



Novus Scientia 2021

**18. Medzinárodná vedecká konferencia doktorandov
strojných fakúlt technických univerzít a vysokých
škôl**

Novus Scientia 2021

**Zborník príspevkov z XVIII. Medzinárodnej
vedeckej
konferencie doktorandov strojných fakúlt
technických univerzít a vysokých škôl**

28. 1. 2021
Strojnícka fakulta
Technická univerzita v Košiciach

Zameranie konferencie:

- Automatizácia, mechatronika a robotika
- Technologické a materiálové inžinierstvo
- Manažment, priemyselné a digitálne inžinierstvo
- Konštrukčné a procesné inžinierstvo
- Špeciálne inžinierske procesológie

Vedecký a organizačný výbor konferencie

Patronát konferencie

Dr.h.c. mult. prof. Ing. Jozef Živčák, PhD., MPH,
Technická univerzita v Košiciach, Slovensko

Garant konferencie

prof. Ing. Ján Slota, PhD.,
Technická univerzita v Košiciach, Slovensko

Vedecký výbor

Dr.h.c. mult. prof. Ing. Miroslav Badida, PhD., Technická univerzita v Košiciach, Slovensko
prof. Ing. Jozef Bocko, CSc., Technická univerzita v Košiciach, Slovensko
prof. Ing. Radovan Hudák, PhD., Technická univerzita v Košiciach, Slovensko
prof. Ing. Michal Kelemen, PhD., Technická univerzita v Košiciach, Slovensko
prof. Ing. Emil Spišák, CSc., Technická univerzita v Košiciach, Slovensko
prof. Ing. Peter Trebuňa, PhD., Technická univerzita v Košiciach, Slovensko
prof. Ing. Dušan Šimšík, PhD., Technická univerzita v Košiciach, Slovensko
doc. Ing. Ján Kráľ, PhD., Technická univerzita v Košiciach, Slovensko
doc. Ing. Peter Frankovský, PhD., Technická univerzita v Košiciach, Slovensko
prof. RNDr. Dušan Knežo, CSc., Technická univerzita v Košiciach, Slovensko
prof. Ing. Eva Tillová, PhD., Žilinská univerzita v Žiline, Slovensko
prof. Ing. Stanislav Ďuriš, PhD., Slovenská technická univerzita v Bratislave, Slovensko
prof. Ing. Peter Šugár, CSc., Slovenská technická univerzita v Bratislave, Slovensko
prof. Ing. Ivan Křupka, Ph.D., Vysoké učení technické Brno, Česká republika
doc. Ing. Miroslav Mahdal, Ph.D., VŠB Technická univerzita Ostrava, Česká republika
prof. Ing. Tomáš Jirout, Ph.D., ČVUT Praha, Česká republika
doc. Ing. Petr Lepšík, Ph.D., Technická univerzita v Liberci, Česká republika
doc. Ing. Václav Vaněk, Ph.D., Západočeská univerzita v Plzni, Česká republika
dr hab. inž. Andrzej Burghardt, prof. PRz, Politechnika Rzeszowska, Poľsko
Dr inž. Tomasz Jachowicz, Politechnika Lubelska, Poľsko

Organizačný výbor

prof. Ing. Ján Slota, PhD.,
Ing. Viktória Krajňáková, PhD.

Príspevky uvedené v zborníku z konferencie sú recenzované recenzentmi, členmi vedeckej rady konferencie. Za obsah, textovú a jazykovú úpravu, etiku citovania príspevku zodpovedajú autori.

ISBN 978-80-553-3798-2

Novus Scientia 2021

Zborník príspevkov z XVIII. Medzinárodnej vedeckej
konferencie doktorandov strojnícckych fakúlt technických
univerzít a vysokých škôl

Názov: Novus Scientia 2021
Editor: © prof. Ing. Ján Slotá, PhD.
© Ing. Viktória Krajňáková, PhD.
Vydavateľ: Technická univerzita v Košiciach,
Strojnícka fakulta, Letná 9, 042 00 Košice
Rok: 2021
Vydanie: prvé
Náklad: 70
Rozsah: 306 s
Miesto konania: Strojnícka fakulta, Technická univerzita v
Košiciach
Dátum konania: 28.01.2021

ISBN 978-80-553-3798-2

OBSAH:

<i>Autorský kolektív a názov príspevku</i>	<i>Strany</i>
Tomáš BALINT, Alena FINDRIK BALOGOVÁ, Jozef ŽIVČÁK, Radovan HUDÁK, Tomáš BREŠKOVIČ, Samuel LANCOŠ, Marek SCHNITZER Aditívna výroba a mechanické skúšky polyméru PLA/PHB	10-15
Ondrej BENEDIK, Tatiana KELEMENOVÁ Signal filtering methods	16-19
Martin BEZÁK Návrh bezkontaktného meracieho zariadenia pre kontrolu kvalitatívnych parametrov polotovaru pre výrobu pneumatiky – pätkové lano	20-23
Tomáš BREŠKOVIČ, Tomáš BALINT, Marek SCHNITZER, Jozef ŽIVČÁK Návrh lumbálnej, stabilizačnej podložky na vertikálnu korekciu a fixáciu iopatickej skoliózy počas spánku	24-26
Jakub BREZINA, Jan VIŇÁŠ QUALITY EVALUATION OF LAYERS CREATED BY PLASMA TRANSFERRED ARC TECHNOLOGY	27-31
Denis CMOREJ, Ľuboš KAŠČÁK OPTIMALIZATION OF TRIP STEEL WELDING PROCESSES	32-37
Gabriela DANCÁKOVÁ, Nicole BROUWER, Samuel Lancoš, Marek SCHNITZER, Viktória RAJŤUKOVÁ, Ladislav MOLNÁR, Miroslav KOHAN, Marianna TREBUŇOVÁ, Jozef ŽIVČÁK, Radovan HUDÁK Dizajn individuálneho implantátu na úpravu balansu pre sokola sťahovavého (falco peregrinus) po amputácii krídla	38-42
Michal DEMKO, 2 Marek VRABEL, 3 Peter IŽOL, 4 Matúš LAVČÁK, 5 Miroslav Greš ANALÝZA MOŽNOSTÍ MONITOROVANIA CNC OBRÁBACIEHO STROJA	43-48
Michal Dic, Miriam Pekarčíková IMPROVEMENTS OF KEY PERFORMANCE INDICATORS AFTER IMPLEMENTATION OF MOM SOLUTIONS IN DISCRETE MANUFACTURING	49-52
Filip Duda, Natália Jasmínská, Tomáš Brestovič Návrh, pevnostná analýza a výpočet prestupu tepla nízkotlakových, metalhydridových zásobníkov na uskladnenie vodíka	53-56
Lukáš ĎURIŠ, Ivan HABALA, Hana PAČAIOVÁ FOR REPORTING AND RECORDING OF DANGEROUS EVENTS	57-60
Laura DŽUŇOVÁ, Ružena KRÁLIKOVÁ ANALÝZA VNÚTORNEJ KVALITY VZDUCHU V INTERIÉRI AUTOMOBILU	61-66

<i>Autorský kolektív a názov príspevku</i>	<i>Strany</i>
Katarína FIRMENTOVÁ, Hana PAČAIOVÁ TOOLS OF MANAGEMENT IN HEALTH AND SAFETY REGARDING CONSTRUCTION MECHANISMS	67-70
Tomáš GAZDA, Hana PAČAIOVÁ ISO/TR 14121-2 AKO UŽITOČNÁ POMÔCKA PRI VYTVÁRANÍ POSÚDENIA RIZÍK A ZNIŽOVANÍ RIZIKA	71-75
Zuzana GREŠOVÁ, Peter IŽOL HODNOTENIE STRATÉGIÍ FRÉZOVANIA PRI OBRÁBANÍ TITÁNU	76-81
MAKSYM GRYTSIV, MAREK SUKOP SIMULATION OF REAL CONDITIONS IN THE MOVEMENT OF ROBOTS	82-85
Veronika GUMANOVÁ, Lýdia SOBOTOVÁ, Laura DŽUŇOVÁ, Anna YEHOŘOVÁ SOUND ABSORPTION PROPERTIES OF NATURAL FIBERS AS SUSTAINABLE ACOUSTIC SOLUTION	86-92
Július Hajduk, Janka Majerníková ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF CUTTING CLEARANCE ON THE QUALITY OF THE CUTTING SURFACE WHEN CUTTING OF AHSS STEEL CLIPPINGS	93-96
Ján HAŠUL, Jozef TREBUŇA, Lukáš RUSINKO, Daniel KOTTFER Prekursorzy pre fyzikálne a chemické technológie deponovania povlakov z pár	97-100
Lukáš HRIVNIAK, Jozef SVETLÍK, Michal ŠAŠALA, Štefan ONDOČKO VYUŽITIE 3D TLAČE KOMPOZITNÝCH MATERIÁLOV AKO PROSTRIEDOK OPTIMALIZÁCIE KONŠTRUKCIE ROTAČNÉHO MODULU	101-104
Ľuboš CHROMÝ, Viktória RAJŤUKOVÁ, Marek Schnitzer, Andrea SINČÁK-KONEČNÁ, Marcel Riznič, Radovan HUDÁK 3D NÁVRH A VÝROBA DENTÁLNYCH CHIRURGICKÝCH NAVÁDZAČOV	105-109
Eduard JAKUBKOVIČ, Ivana KOLÁRIKOVÁ, Tatiana KELEMENOVÁ VPLYV METÓDY KALIBRÁCIE NA SPRÁVNOSŤ MERANIA LINEÁRNEHO MERADLA	110-116
Sára JANIGOVÁ, Barbara SCHÜRGER NUMERICAL ANALYSIS AND DESIGN OF A PLANETARY GEARBOX THIRD STAGE CARRIER	117-123
Erik JANOŠKO, Anna GUZANOVÁ CORROSION RESISTANCE OF IRON AND ZINC PHOSPHATE COATING ON STEEL	124-129
Adam KALAVSKÝ, Róbert HUŇADY, Martin HAGARA, Peter PALIČKA DETERMINATION OF FATIGUE MATERIAL CURVE AT FULLY REVERSE CYCLE WITHOUT MEAN STRESS FOR ALUMINIUM ALLOY ENAW 5754 - H12	130-133

<i>Autorský kolektív a názov príspevku</i>	<i>Strany</i>
Ján KÁN, Hana PAČAIOVÁ POROVNANIE NÁKLADOV NA BOZP V STREDNOM PODNIKU ZA OBDOBIE ROKOV 2019 - 2020	134-138
Eva KAŠČÁKOVÁ ZAČÍNAME PUBLIKOVAŤ V ANGLIČTINE	139-143
Michal KICKO, Peter FRANKOVSKÝ, Peter PAVELKA, Vojtech NEUMANN MODAL ANALYSIS OF AN AIRCRAFT WING MODEL BASED ON DIGITAL IMAGE CORRELATION DATA	144-146
Jana KLÍMOVÁ, Marek SCHNITZER, Jozef ŽIVČÁK, Radovan HUDÁK ANALÝZA HORČÍKOVÝCH ZLIATIN V PROCESE 3D TLAČE	147-151
Ivana KOLÁRIKOVÁ, Eduard JAKUBKOVIČ, Tatiana KELEMENOVÁ EXPERIMENTÁLNE TESTOVANIE SNÍMAČA POSUNUTIA CITLIVÉHO NA MAGNETICKÉ POLE	152-155
Róbert KOZEL, Štefan MARKULIK NÁSTROJE ŠTÍHLEJ VÝROBY A ICH POUŽITEĽNOSŤ V MALÝCH VÝROBNÝCH ORGANIZÁCIÁCH	156-160
František KUPEC, Michal FABIAN, Michal PUŠKÁR SURFACE DATA IN AUTOMOTIVE DEVELOPMENT PROCESS	161-165
Laura LACHVAJDEROVÁ, Jaroslava KÁDÁROVÁ DIGITALIZÁCIA V PRIEMYSELNÝCH PODNIKoch	166-171
Samuel LANCOŠ, Miroslav KOHAN, Gabika DANCÁKOVÁ, Tomáš BALINT, Marek SCHNITZER, Peter SZEDLAK, Jozef ŽIVČÁK, Radovan HUDÁK METODIKA PROCESU VÝROBY MEDICÍNSKEHO POLYMÉRU PEEK S PRÍMESOU KERAMIKY	172-175
Matúš LAVČÁK, Samuel SIVÁK, Michal PUŠKÁR, Michal Fabian, Silvia Maláková ZVYŠOVANIE EFEKTIVITY SPAĽOVACIEHO PROCESU EXPERIMENTÁLNEHO MOTORA OPTIMALIZÁCIU PALIVOVEJ A ZÁŽIHOVEJ MAPY	176-180
Lukáš MITRÍK, Marianna TREBUŇOVÁ, Marek SCHNITZER, Michal KARÁSEK, Martin Juhás, Radovan HUDÁK, Jozef Živčák PREHĽAD IMPLANTAČNÝCH ZOSTÁV PRE FIXÁCIU SPINÁLNYCH SEGMENTOV	181-183
Marek MIZERÁK, Peter TREBUŇA, Jozef TROJAN, Tomáš ŠVANTNER CONTACT AND CONTACTLESS MEASUREMENT METHODS AS A TOOL FOR REVERSE ENGINEERING	184-189

<i>Autorský kolektív a názov príspevku</i>	<i>Strany</i>
Marcel MODRÁK, Lukáš MITRÍK, Martin JUHÁS, Alena FINDRIK BALOGOVÁ, Marianna TREBUŇOVÁ, Jozef ŽIVČÁK, Radovan HUDÁK BIODEGRADOVATEĽNÉ MATERIÁLY AKO SUBSTITÚTY TVRDÝCH TKANÍV	190-196
Róbert MORO, Dagmar DRAGANOVSKÁ MONITORING OF MORPHOLOGICAL SURFACE CHANGES ACCORDING TO CURRENT TRENDS	197-201
Štefan Ondočko, Jozef Svetlík PhD, Tomáš Stejskal, Michal Šašala, Lukáš Hrivniak SPRACOVANIE DÁT Z INVERZNEJ KINEMATIKY V PROSTREDÍ MATLAB PRE ROBOTICKÉ RAMENO ZLOŽENÉ Z URM MODULOV	202-206
Peter PALIČKA, Adam KAĽAVSKÝ, Róbert HUŇADY, Peter PAVELKA, Teodor Tóth DETERMINATION OF MATERIAL PROPERTIES OF ALUMINIUM ALLOY USING 3D DIGITAL IMAGE CORRELATION	207-211
Maroš Palko, Miroslav Palko, Ján Král ANALÝZA A NÁVRH VSTREKOVACEJ SÚSTAVY PRE MOTOR EXPERIMENTÁLNEHO ULTRAĽAHKÉHO VOZIDLA	212-217
Miroslav Palko, Maroš Palko, Ján Král NÁVRH A KONŠTRUKCIA ULTRAĽAHKEJ KAROSÉRIE PRE VOZIDLO SHELL ECO MARATHON 2019	218-224
Kristián PÁSTOR, Miroslav BADIDA MEASUREMENT OF THE TRANSMISSION LOSS USING AN IMPEDANCE TUBE	225-228
Dominika PECHOVÁ, Hana PAČAIOVÁ KOMPLEXNÉ VZDELÁVANIE V OBLASTI BOZP AKO OPAKUJÚCI SA GENERAČNÝ CYKLUS	229-234
Vladimír Rohaľ, Emil Spišák THE EFFECT OF COATING ON THE DURABILITY AND LIFE CYCLE OF CUTTING TOOLS	235-240
Henrich Sailer, Janette Brezinova USE OF LASER TECHNOLOGIES IN SHEET METAL WELDING FOR THE AUTOMOTIVE INDUSTRY	241-244
Barbara SCHÜRGER, Sára JANIGOVÁ, Peter FRANKOVSKÝ DYNAMIC ANALYSIS OF THE SENSOR MOUNTING BRACKET IN RAILWAY APPLICATIONS	245-250
Peter Ján SINČÁK, Michal KELEMEN, Ivan VIRGALA, Filip FILAKOVSKÝ DESIGN OF CHIMNEY/IN-PIPE ROBOT	251-256

<i>Autorský kolektív a názov príspevku</i>	<i>Strany</i>
Samuel SIVÁK, Matúš LAVČÁK, Silvia MALÁKOVÁ, Michal PUŠKÁR TVORBA GEOMETRICKÉHO MODELU OZUBENIA PRE PREVODY EXPERIMENTÁLNEHO VOZIDLA POMOCOU CAD APLIKÁCIÍ	257-260
Michal ŠAŠALA, Lukáš HRIVNIAK, Štefan ONDOČKO, Jozef SVETLÍK PREHLAD IMPLANTAČNÝCH ZOSTÁV PRE FIXÁCIU SPINÁLNYCH TOPOLOGICKÁ OPTIMALIZÁCIA KONŠTRUKCIE ROTAČNÉHO MODULU S POUŽITÍM METÓD ADITÍVNEJ VÝROBY	261-264
Branko ŠTEFANOVIČ, Monika MICHALÍKOVÁ, Lucia BEDNARČÍKOVÁ, Viktória RAJŤUKOVÁ, Teodor TÓTH, Jozef ŽIVČÁK OVERENIE METODIKY NÁVRHU A ADITÍVNEJ VÝROBY ORTÉZ RUKY A PREDLAKTIA	265-270
Lukáš TÓTH, Tomáš BRESTOVIČ, Marián LÁZÁR MOŽNOSTI VYUŽITIA ODPADNÉHO TEPLA Z PLAZMOVÉHO REAKTORA PRE OHREV TEPLEJ VODY	271-273
Jozef TROJAN, Peter TREBUŇA, Marek MIZERÁK, Štefan KRÁL RIADENIE SPRÁVY DÁT CEZ PLM A DP	274-277
Miloš Ujlaky, Teodor Tóth, Anton Frič OPTIMALIZAČNÉ KRITÉRIA PRE PROCES PLÁNOVANIA PROGRAMU MLPM	278-282
Martin VARGA, Filip FILAKOVSKÝ, Ivan VIRGALA, Michal KELEMEN PRELIMINARY DESIGN AND ANALYSIS OF A PROTOTYPE 3D PRINTED LINEAR PNEUMATIC ACTUATOR	283-287
Patrik VARGA, Marek SCHNITZER, Radovan HUDÁK, Teodor TÓTH, Jozef ŽIVČÁK ANALÝYA MOŽNOSTÍ SEGMENTÁCIE STAVCOV Z DICOM DÁT	288-293
Tomáš VILINSKÝ, Štefan MARKULIK SYNERGIA LEAN A SIX SIGMA V ŠTÍHLEJ ORGANIZAČNEJ ŠTRUKTÚRE	294-296
Samuel VILKOVSKÝ, Janka MAJERNÍKOVÁ, Ján VARGA CAM SYSTEM TO SUPPORT THE SIMULATION OF CORE PRODUCTION FOR THE INJECTION MOLD	297-300
Anna YEHOŘOVA, Ervin LUMNITZER HODNOTENIE ZVUKOIZOLAČNÝCH VLASTNOSTÍ KONŠTRUKČNÝCH PRVKOV PRI NÍZKYCH FREKVENCIÁCH	301-305

Aditívna výroba a mechanické skúšky polyméru PLA/PHB

Tomáš BALINT, Alena FINDRIK BALOGOVÁ, Jozef ŽIVČÁK, Radovan HUDÁK, Tomáš BREŠKOVIČ,
Samuel LANCOŠ, Marek SCHNITZER

Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Katedra biomedicínskeho inžinierstva a merania, Letná 9, 042 00 Košice
tomas.balint@tuke.sk, alena.balogova@tuke.sk, jozef.zivcak@tuke.sk, radovan.hudak@tuke.sk, tomas.breskovic@tuke.sk,
samuel.lancos@tuke.sk, marek.schnitzer@tuke.sk

Abstrakt:

Pre vykonanie mechanických skúšok vzoriek vytlačených pomocou aditívnej technológie je potrebné stanoviť parametre výroby filamentov, parametre 3D tlače a parametre mechanického skúšania. Článok sa venuje výrobe filamentov, aditívnej technológii pre tlač vzoriek z materiálu PLA/PHB využitých na podrobne popísané mechanické skúšky a následne na vyhodnotenie týchto mechanických skúšok. Cieľom príspevku je analyzovať mechanické skúšky na 3D vytlačených vzorkách z PLA/PHB s tromi rôznymi koncentraciami rozpúšťadla TAC.

Kľúčové slová:

PLA, PHB, aditívna výroba, mechanické skúšky, mechanické vlastnosti

ÚVOD

Úsilie o rozvoj nových biodegradovateľných polymérov z obnoviteľných zdrojov sa prehĺbilo v obavách o zotrúvaní plastov v životnom prostredí, ubúdajúcich ropných zdrojov a obáv z emisií toxických plynov počas spaľovania. Poly (kyselina mliečna) v skratke (PLA) je lineárny termoplastický polyester získaný fermentáciou obnoviteľných poľnohospodárskych plodín. Je kompostovateľný a degradovateľný v časovom úseku menšom ako jeden mesiac a v súčasnosti najviac používaný biologicky rozložiteľný polymér na krátkodobé použitie. Poly (3-hydroxybutyrát) (PHB) ako alifatický polyester syntetizovaný mikroorganizmami s vysokou kryštalinitou a vysokou teplotou topenia sa často používa ako zložka na zmiešanie s PLA čo prináša materiály, ktoré vynikajú zaujímavými fyzikálnymi, tepelnými a mechanickými vlastnosťami v porovnaní s čistým PLA [1] - [6].

Aditívna technológia je atraktívna pre množstvo oblastí ako je:

- medicínsky odbor
- výrobný priemysel na výrobu náhradných dielov pre automobily alebo lietadlá.

Každoročne sa vývoj aditívnej výroby zrýchľuje z dôvodu zníženia výrobných cyklov, odpadu, obmedzeného použitia rezných kvapalín atď. [7]. Preto je často používaná aj na vývoj a výrobu

flexibilných zdravotníckych pomôcok, robotiku, zubných implantátov a skáfoldov pre tkanivové inžinierstvo. Metódy aditívnej výroby sú určené pre rôzne typy materiálov, ako sú termoplasty, živice, kovy, prášky na báze sadry, keramika, voskované materiály, biomateriály. Polyméry sú najviac využívané v oblasti 3D tlače [7] – [9].

1 PROCES VÝROBY A TESTOVANIA FILAMENTOV

1.1 Výroba filamentov PLA/PHB s rôznou koncentraciou TAC

Na vykonanie ťahových a tlakových skúšok na objekty vytlačené pomocou 3D aditívnej technológie z materiálu PLA/PHB s tromi rôznymi druhmi rozpúšťadiel je potrebné vyrobiť filamente. Výroba filamentov je náročný proces, pretože na Slovensku a v okolitých krajinách je málo firiem, ktoré sa špecializujú na výrobu filamentov určitých požiadaviek pre medicínske účely. Požadované filamente majú byť vyrobené zo špecifických materiálov ako je kyselina polymliečna (PLA) a polyhydroxybutyrát (PHB) s rôznym pomerom pridaného rozpúšťadla, čo ešte viac komplikuje počiatočný vedecký výskum. Spoločnosti, ktoré sa venujú zákazkovej aditívnej tlači a výrobe filamentov pre 3D tlač :

- 3Demon
- Fillamentum

- MAKERSLAB
- MATERIALPRO3D
- 3D PRINT
- NEXEO Plastics
- Innofil 3D
- FILAMENTS.CA
- ABTI.

V snahe vyrobiť čo najpresnejší filament z materiálov PLA a PHB boli kontaktované zahraničné spoločnosti. Následným priblížením vedeckého výskumu a cieľa sme dostali vo veľkej miere negatívne odpovede. Filament sa podarilo vyrobiť za spolupráce s Bratislavskou Technickou univerzitou.

1.2 Modelovanie a 3D tlač vzoriek

Vzorky pre ťahovú skúšku boli vyrobené v rozmeroch v zmysle platnej normy. Ak dôjde k pretrhnutiu vzorky v strede, materiál dosiahne svoju maximálnu pevnosť v ťahu. Ak dôjde k pretrhnutiu vzorky na jednom z jej koncov, môže sa zlyhanie pripísať nesprávnemu zaťaženiu alebo vade materiálu [10]. ASTM D638 je najbežnejšou skúšobnou normou na určovanie ťahových vlastností vystužených a nevystužených plastov. Testy podľa normy ASTM D638 sa vykonávajú pôsobením ťahovej sily na vzorku a následným meraním rôznych vlastností vzorky. Test je vykonávaný na univerzálnom skúšobnom stroji pri ťahových rýchlostiach v rozsahu od 1 do 500 mm/min, až do poškodenia vzorky. Na ťahové skúšky sme zvolili vzorku, ktorá má hrúbku 3,2 mm, celkovú dĺžku 165 mm a šírku 13 mm s dĺžkou rozchodu 50 mm. Na testovanie tlakových skúšok sa zvolil valček s priemerom 10 mm a výškou 20 mm. Vzorky boli modelované pomocou programu Solidworks [11].

Na tlač objektov pre následné ťahové a tlakové skúšky sa použila tlačiareň TRILAB. Objekty boli relatívne jednoduchšieho tvaru avšak problémom bol novo skúšaný materiál, ktorý mal tendenciu zasekávania sa a následného upchatia trysky tlače. [12].

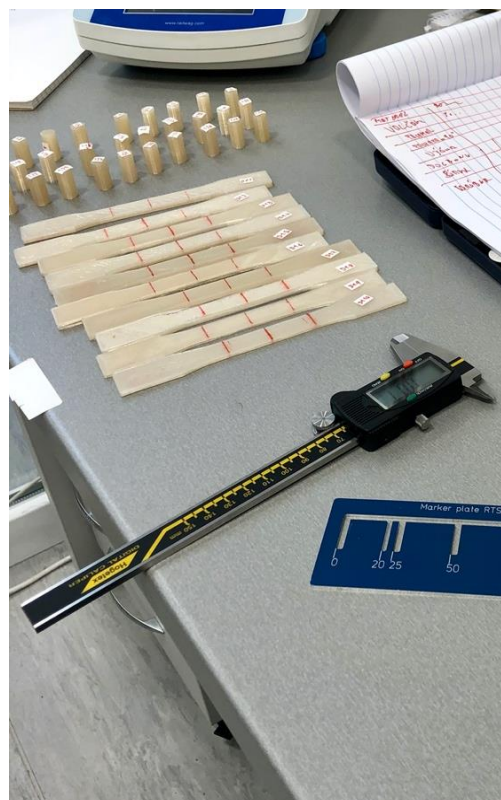
1.3 Parametre tlače a príprava vzoriek na ťahovú a tlakovú skúšku

Na vykonanie ťahových a tlakových skúšok bolo potrebné vytlačiť 90 vzoriek pre skúšku tlakom a 30 vzoriek pre skúšku ťahom. Celkový čas tlače bol 36 hod. Jednotlivé parametre tlače sú uvedené v Tab. 1.

TAB. 1. PARAMETRE TLAČE

Teplota na tryske	210 °C
Teplota podložky	55 °C
Čas tlače 1 ťah.vz.	45 min.
Čas tlače 1 tlak. vz.	9 min.
Celkový čas tlače	36 hod.
Použitý materiál	PLA/PHB s 0 % TAC, PLA/PHB s 6 % TAC, PLA/PHB s 8 % TAC

Pre úpravu a transformáciu .stl súboru vytvoreného v programe Solidworks bol potrebný program KISSlicer. Pri samotnej tlači dochádzalo k rôznym problémom zasekávaniu filamentu v tlačiarni. Muselo sa pristúpiť k niektorým modifikáciám, ktoré pomohli k priechodnosti filamentu. Výsledné produkty sú v dobrej kvalite bez pórov. Nedostatky na testovaných objektoch sú spôsobené samotnou tlačou a výberom 3D tlačiarnie. Na Obr. 1 sú vytlačené vzorky pre mechanické testovanie.



Obr. 1. Označené vzorky pre testovanie.

Po vytlačení vzoriek sa začala príprava na samotné testovanie. Výsledné objekty sa merali pomocou meracích zariadení. Najviac sa využívalo

posuvné meradlo. Vzorky bolo potrebné označiť kvôli správnosti zapísania údajov a kvôli rozlíšeniu materiálu. Ťahové a tlakové skúšky sa vykonávali podľa normy ASTM D638 na stroji od spoločnosti Hegewald & Peschke. Pri testovaní sa okrem samotného stroja využívajú špeciálne kamery a programy. LabmasterPROFESSIONAL je program na poskytujúci 4-kanálový zber dát a úprava signálu. Software má široké uplatnenie aj v mechanických skúškach ťahom a tlakom. Pomocou RTSS Videoextensometra sa meria pozdĺžne a priečne namáhanie počas materiálových skúšok ako sú skúšky ťahom [13][14].

2 ANALÝZA VÝSTUPOV PRAKTICKEJ ČASTI

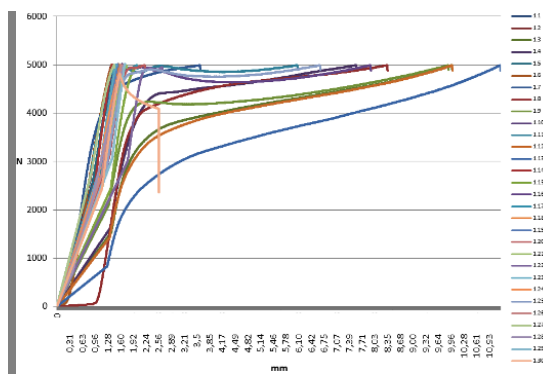
2.1 Vyhodnotenie tlakovej skúšky

Na základe tlakovej skúšky, pri ktorej sa testovalo 90 vzoriek z troch rôznych materiálov boli získané údaje, ktoré sú zaznamenané v grafoch a tabuľkách. Testovali sa sady 1, 2 a 3. V každej sade bolo 30 valčekov. Na grafoch sú zaznamenané údaje sila v N a poloha v mm, kde výsledkom grafu znázorňuje krivka napätia pri, ktorom sa vzorka deformovala.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad [\text{MPa}] \quad (1)$$

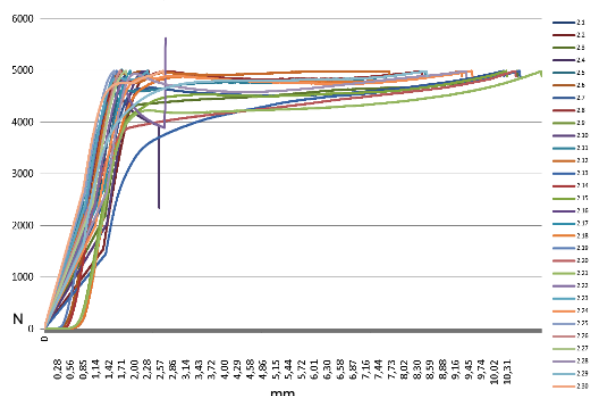
Pevnosť v tlaku je definovaná ako sila F pôsobiaca na plochu A v momente jeho porušenia.

Krivky 30-tich vzoriek sady 1 sú na Obr. 2, kde sa časti 16-tich vzoriek nezatláčajú do seba pričom dochádza ku krehkému lomu bez viditeľnejších zmien na vzorke. Svoj vplyv má aj materiál bez známok použitia zmäkčovadla. Na osi x je poloha v mm a na osi y sila v N. Celkovo materiál PLA/PHB s 0 % TAC vykazuje dobré pevnostné vlastnosti.



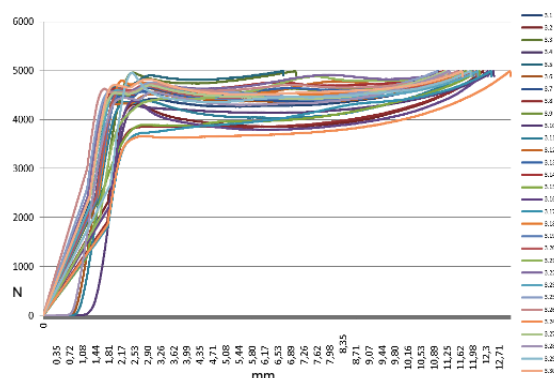
Obr. 2. Grafické znázornenie hodnôt sady 1.

Krivky 30 vzoriek sady 2 (Obr. 3), ktoré sú z materiálu PLA/PHB s 6 % TAC vykazujú v porovnaní so sadou 1 horšie vlastnosti pevnosti, pretože časti 18 vzoriek sa začínajú vtlačať do seba.



Obr. 3. Grafické znázornenie hodnôt sady 2.

Pre 30 vzoriek sady 3 (Obr. 4) z materiálu PLA/PHB s 8 % TAC platí v porovnaní s ostatnými materiálmi horšia pevnosť v tlaku a väčšia plasticita, pretože časti všetkých 30 vzoriek sa vtlačili do seba. Svoj vplyv na tento priebeh má použitie zmäkčovadla TAC s najväčšou koncentráciou až 8 %.



Obr. 4. Grafické znázornenie hodnôt sady 3.

2.2 Vyhodnotenie ťahovej skúšky

Vyhodnotenie realizovanej ťahovej skúšky spočíva vo vyhodnotení modulu pružnosti v ťahu E [MPa] a napätia σ_{MAX} [MPa].

Počas ťahovej skúšky zaznamenával softvér ťahového stroja hodnotu prierezu S_0 , hodnotu modulu pružnosti v ťahu E , hodnotu maximálneho napätia σ_{MAX} , či hodnotu napätia na medzi klzu σ_y . Prídavná zariadenie extenzometer zaznamenal začiatočnú meranú dĺžku L_0 , pomerné predĺženie a percentuálne predĺženie. Celkovo bolo otestovaných 30 vzoriek v troch sádach po 10 vzoriek. Farebné grafické vyhodnotenie s doplnenými tabuľkami slúži na čo najlepšiu interpretáciu získaných výsledkov.

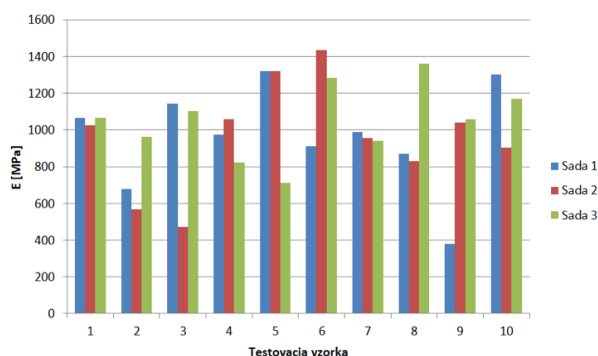
2.3 Vyhodnotenie modulu pružnosti

Hodnoty modulu pružnosti sú uvedené v Tab. 2.

TAB. 2. HODNOTY MODULU PRUŽNOSTI

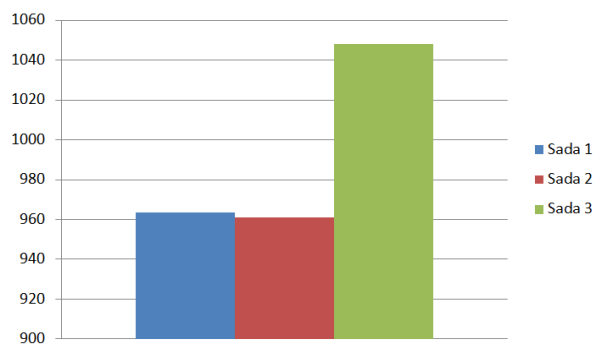
Modul pružnosti v ťahu [MPa]			
Č. vzorky	Sada 1	Sada 2	Sada 3
1	1065,523	1025,238	1066,986
2	677,3	569,497	963,873
3	1144,988	472,724	1103,005
4	975,5	1058,407	823,571
5	1319,02	1321,501	711,621
6	911,393	1433,128	1283,201
7	988,572	954,864	938,795
8	871,41	830,077	1360,67
9	378,99	1040,054	1058,021
10	1303,15	904,446	1169,553
Priemer	963,58	960,99	1047,93

Uvedené hodnoty graficky znázorňuje graf (Obr. 5). Vyplýva, že najväčšie hodnoty 1433,128 MPa vykazuje vzorka 6 z druhej sady z materiálu PLA/PHB s 6 % TAC. Naopak najmenšie hodnoty 378,99 MPa dosiahla vzorka 9 z prvej sady z materiálu PLA/PHB s 0 % TAC.



Obr. 5. Graf modulu pružnosti v ťahu.

Pri porovnaní všetkých dát (Obr. 6) dosiahla najvyššiu hodnotu 1047,93 MPa sada 3.



Obr. 6. Priemerné hodnoty modulu pružnosti v ťahu v jednotlivých sadách.

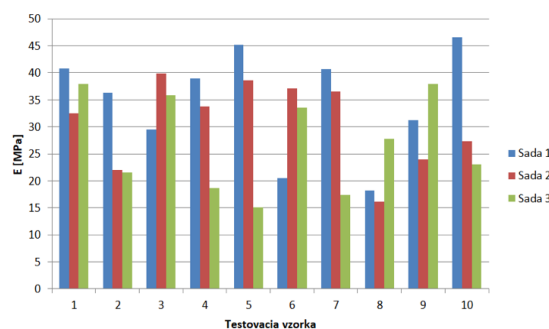
2.4 Vyhodnotenie pevnosti v ťahu

Postup vyhodnocovania pevnosti je totožný s modulom pružnosti v ťahu. V Tab. 3 sú uvedené namerané hodnoty R_m .

TAB. 3. HODNOTY NAPÄTIA

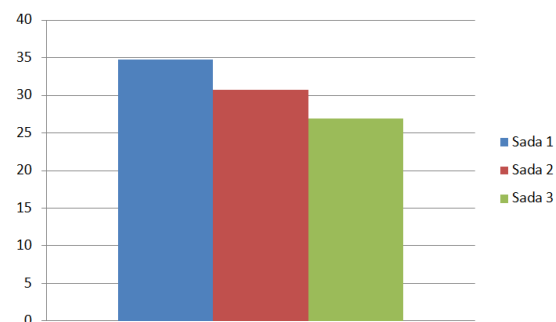
Pevnosť [MPa]			
Č. vzorky	Sada 1	Sada 2	Sada 3
1	40,786	32,511	37,908
2	36,327	21,969	21,566
3	29,485	39,924	35,885
4	38,961	33,745	18,689
5	45,204	38,62	15,109
6	20,498	37,115	33,494
7	40,741	36,489	17,431
8	18,173	16,175	27,8
9	31,235	23,946	37,894
10	46,591	27,348	23,107
Priemer	34,80	30,78	26,89

Uvedené hodnoty graficky znázorňuje graf (Obr. 7). Je zrejme, že najväčšie hodnoty R_m 46,59 MPa vykazuje vzorka 10 z prvej sady z materiálu PLA/PHB s 0 % TAC.



Obr. 7. Grafické znázornenie napätia.

Naopak najmenšie hodnoty 15,11 MPa dosiahla vzorka 5 zo sady 3 z materiálu PLA/PHB s 8 % TAC. Pri porovnaní všetkých dát (Obr. 8) dosiahla najvyššiu hodnotu 34,80 MPa sada 1.



Obr. 8. Priemerné hodnoty napätia v jednotlivých sadách.

3 ZÁVER

Spracovaná teoretická časť a jej možná aplikácia v praxi predstavujú prínos pre danú oblasť mechanického testovania materiálov. Tento príspevok má za cieľ analyzovať nové poznatky z oblasti mechanických vlastností PLA/PHB a aplikovať ich do praxe. Jednotlivé prínosy je možné zhrnúť do nižšie nasledovných bodov:

3.1 Prínos práce pre vedu, výskum a prax

- Zostavenie metodického postupu ťahovej a tlakovej skúšky.
- Teoretický základ pre ďalší výskum v danej oblasti.

3.2 Prínos práce pre prax

Zo získaných výsledkov mechanických skúšok by materiály na báze PLA/PHB dali využiť v rôznych oblastiach:

- potravinársky priemysel – výroba zdravotne nezávadných produktov,
- ekológia prostredia – materiály sú v porovnaní s ostatnými plastmi biodegradovateľnejšie.

V sade 1 pri ťahových skúškach bolo použité najmenšie množstvo rozpúšťadla a v sade 3 najväčšie množstvo. Z výsledkov vyplýva, že sada 1 dosahuje najvyššie hodnoty napätia a sada 3 najvyššie hodnoty modulu pružnosti v ťahu.

Pri tlakových skúškach vzorky s najvyšším pridaním rozpúšťadla TAC dosahovali horšiu pevnosť v tlaku a väčšiu plasticitu, čím menej bolo pridaného rozpúšťadla, tým lepšia bola pevnosť v ťahu.

Celkové vyhodnotenie modulu pružnosti a napätia je v Tab.4.

TAB. 4. CELKOVÉ VÝSLEDKY

	Modul pružnosti v ťahu E [MPa]	Pevnosť [MPa]
Sada 1	963,58	34,80
Sada 2	960,99	30,78
Sada 3	1047,93	26,88

Podakovanie :

Tento príspevok bol podporený projektami: Centrum medicínskeho bioaditívneho výskumu a výroby (CEMBAM) ITMS2014+: 313011W358, Centrum pre pokročilé terapie chronických zápalových ochorení pohybového aparátu (CPT ZOPA) ITMS2014+: 313011W410, Vývoj a komplexná charakterizácia biosyntetických tubulárnych 3D-extracelulárnych matríc (skafoldov) ako substituentov poškodenej ľudskej močovej rúry (APVV-15-0111), Výskum, vývoj a testovanie

bioreaktora pre kultiváciu tkanív a orgánov po bioaditívnej výrobe (VEGA) 1/0179/19.

References

- [1] ARRIETA, M. et al.: Functional properties of sodium and calcium caseinate antimicrobial active films containing carvacrol. In: Journal of Food Engineering. Vol 121, pp. 94-101.
- [2] ARRIETA, M. et al.: Combined effect of poly (hydroxybutyrate) and plasticizers on polylactic acid properties for film intended for food packaging. In: Journal of Polymers and the Environment. Vol. 22, pp. 460-470.
- [3] ARRIETA, M. et al.: Disintegrability under composting conditions of plasticized PLA-PHB blends. In: Polymer degradation and stability. Vol. 108, pp.307-318.
- [4] DOLORES, S. et al.: Influence of biodegradable materials in the recycled polystyrene. In: Journal of Applied Polymer Science. Vol. 131, no. 23.
- [5] ARRIETA, M. et al.: Biodegradable electrospun bionanocomposite fibers based on plasticized PLA-PHB blends reinforced with cellulose nanocrystals. In: Industrial Crops and Products. Vol. 93, pp. 290-301.
- [6] XIUYU, M. et al.: Effect of PBAT on Property of PLA/PHB Film Used for Fruits and Vegetables. In: MATEC Web of Conferences. Vol. 88.
- [7] BAX, B. et al.: Impact and tensile properties of PLA/Cordenka and PLA/flax composites. In: Composites Science and Technology. Vol. 68, no. 7-8, pp. 1601-1607.
- [8] ROGERS, T., 2015. Everything You Need To Know About Polylactic Acid (PLA) <https://www.creativemechanisms.com/blog/learn-about-poly-lactic-acid-pla-prototypes>. [online], [cit. 11.05.2020].
- [9] TÜRK, D.-A. et al.: Composites part production with additive manufacturing technologies. In: Procedia CIRP. Vol. 66, pp. 306-311.
- [10] LIGON, S. et al.: Polymers for 3D Printing and Customized Additive Manufacturing. In: Chem. Rev. Vol. 117, pp. 10212-10290.
- [11] FARBMAN, D. et al.: Materials Testing of 3D Printed ABS and PLA Samples to Guide Mechanical Design. In: Proceedings of the ASME 2016 11th International Manufacturing Science and Engineering Conference. Vol. 2: Materials.
- [12] RAHEEM, Z., 2014. Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. <https://www.researchgate.net/publica>

- tion/330713593_Standard_Test_Method_for_Tensile_Properties_of_Plastics_1. [online], [cit. 11.05.2020].
- [13] GENOVESE, K. – CASALETTO, L. – RAYAS, J. A. – FLORES, V.: "Stereo-Digital Image Correlation (DIC) Measurements With a Single Camera Using a Biprism," Opt. Lasers Eng., 51(3), pp. 279–285.
- [14] CODELLA, C. – JALILI, R. – KOVED, L. – LEWIS, B. – LING, D.T. – LIPSCOMB, J.S. – RABENHORST, D.: Interactive simulation in a multi-person virtual world. ACM Human Factors in Computing Systems, CHI '92 Conf., pp. 329-334

Korešpondenčná adresa:

Ing. Tomáš Balint

Technical University of Košice
Faculty of mechanical engineering
Department of Biomedical Engineering and
Measurement
Letná 9
Tel.: +421904069325
Email: tomas.balint@tuke.sk

SIGNAL FILTERING METHODS

¹ Ondrej BENEDIK, ² Tatiana KELEMENOVÁ

¹ Technical university of Kosice, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Biomedical Engineering and Measurement, currently employed in Kybernetes, s.r.o. Slovakia

² Technical university of Kosice, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Biomedical Engineering and Measurement, Slovakia

ondrej.benedik@kybernetes.sk, tatiana.kelemenova@tuke.sk

Abstract:

The article deals with methods for signal filtering. Signals captured by sensors very frequently include also noises. If it is possible, the best way is to eliminate source of noise, but it is very complicated to find it and also new source of noise can occurs. For this purpose, it is necessary to include filters for reduction of noises in measured signals. Filtered data can be processed and evaluated.

Key words:

filter, signal, noise, measurement, signal

INTRODUCTION

Many analogue signals - temperature, pressure, strain, and so on - can benefit from some type of conditioning to improve the quality of measurement. Filtering is a type of conditioning which removes interference from your signals. The data acquisition interface might filter the signal (analogue filtering); alternatively you could use analysis software for filtering. Here we are focusing primarily on analogue filtering in hardware. For our purposes a filter is a device that removes undesired signals according to their frequency. If the frequency spectra of signals and interference are sufficiently different, filtering can be very effective.

In the field of signal processing, a filter is a device or process that, completely or partially, suppresses unwanted components or features from a signal. This usually means removing some frequencies to suppress interfering signals and to reduce background noise. Filters are commonly used to remove unwanted spectral content from a signal. You can choose from a variety of filters to do this. You choose a lowpass filter when you want to remove high frequency content, or a highpass filter when you want to remove low frequency content. You can also choose a bandpass filter to remove low and high frequency content while leaving an intermediate band of frequencies intact. You choose a bandstop filter when you want to remove frequencies over a given band [1, 2, 3].

1 SELECTION OF SUITABLE FILTER

Selection of suitable filter is the key activity in process of processing the measured signal. The main aim is to clean signal from all unwanted parasitic signals (fig. 1). When a low-level transducer signal is superimposed on a large dc output voltage, a high-pass filter might be useful. This attenuates (removes) low frequencies. A high-pass filter will remove "drift". This can be a particular problem with biological and chemical signals, but not usually with modern electronic signals.

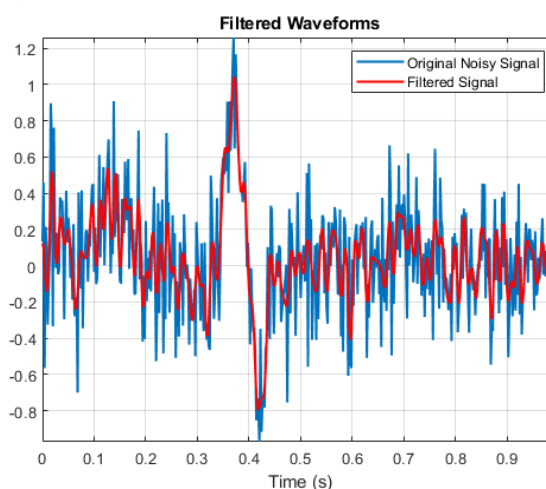


Figure 1. Original measured and filtered signal

More commonly used is a low-pass filter. This lets through the lower frequencies and attenuates the higher frequencies. Choose the cut-off frequency to be compatible with the unwanted frequencies, the frequencies present in the signal you are measuring and the sampling rate of the analogue-to-digital converter.

When recording a signal waveform, a computerised data acquisition system takes readings from (samples) the signal and interpolates for whatever the signal is doing between readings. Basically it joins up the dots to make a waveform. Too few dots and it can produce a totally misleading picture, showing a waveform with much too low a frequency. This is known as aliasing.

Analogue filters are a basic block of signal processing and are designed to operate on a continuously signal (the signal has the value at every instance of time). They are electronic circuits that are dependent on the elements used: passive (capacitors, inductors and sometimes resistors), active (active elements such as amplifiers combined with passive elements).

A digital filter is a signal processing system that performs mathematical operations on a sampled (a continuous signal that has been reduced to a discrete one), discrete-time (unlike the continuous signal, the discrete one does not have a value at every instance of time - it is quantized), digital (a physical signal that is a representation of a sequence of discrete values - for example, an arbitrary bit stream or a digitized analog signal) signal.

2 FILTERING METHODS

Filters can be divided into two main groups as passive and active filters. Passive filters are composed from combination of passive electric components as resistors, capacitors and inductors. Inductors have ability to block high frequency part of signal and allow to flow low frequency part of signals. Capacitors block low frequency part of signals and allows flow of high frequency part of signals. Resistor has no direct impact to transmitted frequency, but it has influence to value of time constant of filter circuit.

These passive components can be used for building of simple passive low-pass frequency filter (fig. 2), high-pass frequency filter (fig. 3).

Low pass filter is used for removing of high frequency noise. But high pass filter is used for removing of low frequency noise. Beside the mentioned passive filters, there are also Band-pass filter and Band-stop filter. Band-pass filter allows to

pass only wanted band of frequencies, but Band-stop filter blocks only frequencies belong to specified bans (Fig. 4). Frequency response shown on figure 4 is only ideal case. Real frequency responses of filters have different characteristic. Rising edge and falling edge are not rectangular but there is any slope angle on these responses (fig. 5).

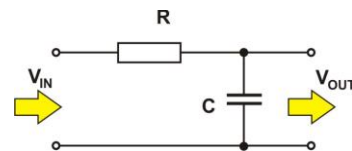


Figure 2. Low-pass frequency passive filter

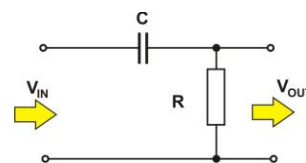


Figure 3. High-pass frequency passive filter

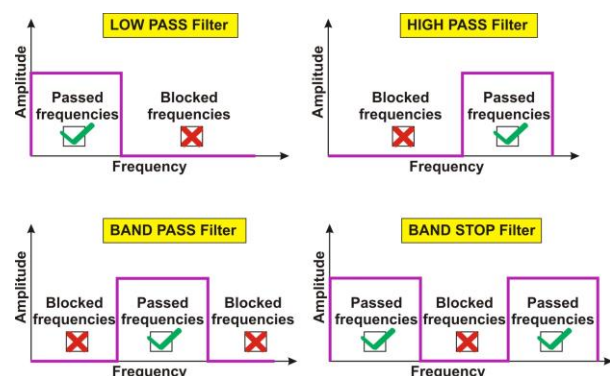


Figure 4. Ideal frequency response of basic types of passive filters

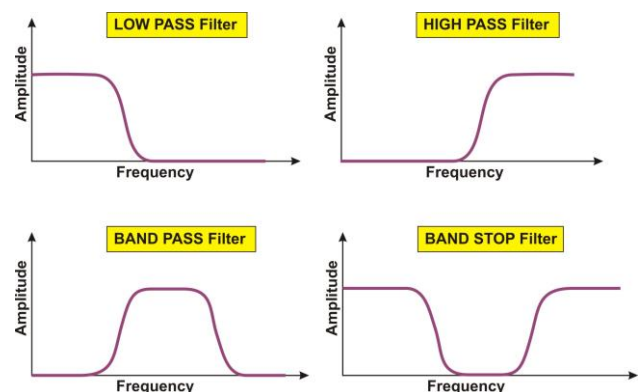


Figure 5. Frequency response of basic types of passive filters

Low-pass filter shown on figure 2 is also called as "first order filter", because it includes only one reactive components (capacitor). For low-pass filters (fig. 2), it is possible derive the equation for cut-off

frequency (also called as “break-point”). For low-pass filter it specifies the frequency when input signal amplitude is reduced by value -3dB. For low-pass filter it is defined as:

$$f_{cutoff} = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C} \cdot (1)$$

The same equation for cut-off frequency is valid also for high-pass filter. Cut-off frequency for both second order filters (low-pass and high-pass) is defined as follow:

$$f_{cutoff} = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{R_1 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot C_2}} \cdot (2)$$

Active filters include also active electronic parts for amplifying of signal intensity. Normally, transistor or operational amplifiers are used for this purpose. For example, non-inverting amplifier can be used as it shown on figure 6 for low-pass active filter and high-pass active filter shown on figure 7. These filters are based on Sallen-Key topology.

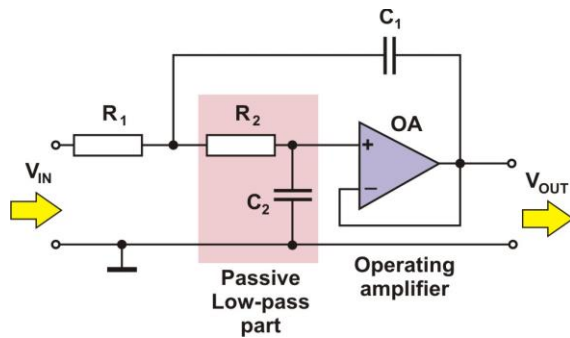


Figure 6. First order low-pass active filter

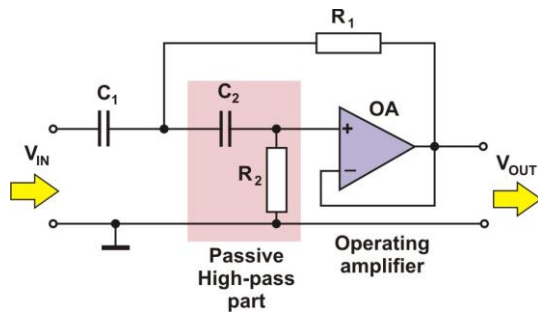


Figure 7. First order high-pass active filter

Natural undamped frequency f_0 is defined:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{R_1 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot C_2}} \cdot (3)$$

Attenuation is defined as:

$$A_T = \frac{1}{2 \cdot C_1} \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2} \cdot (4)$$

Analogically, it is possible to build high-pass active filter (fig. 7). Natural frequency is defined with the

same equation as before, but attenuation is defined as:

$$A_T = \frac{1}{2 \cdot R_2} \cdot \frac{C_1 + C_2}{C_1 \cdot C_2} \cdot (5)$$

3 FILTER DESIGN

Activity of displacement actuator has been measured via using the measurement data acquisition card into PC. Measured signal (fig. 8) is damaged by noise and this signal cannot be used for analysis and for this reason it is necessary to repair it. Noise source was not identified. Therefore, the only possible way is to filter the measured signal. The measured signal was recorded in a file (fig. 8) and its offline processing is thus possible additionally.

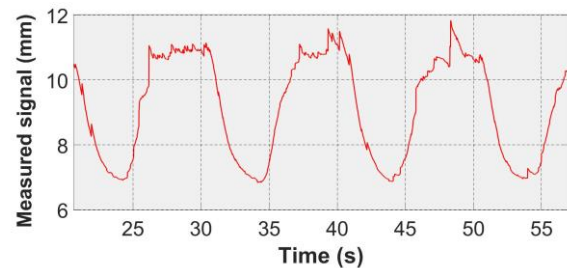


Figure 8. Original measured signal

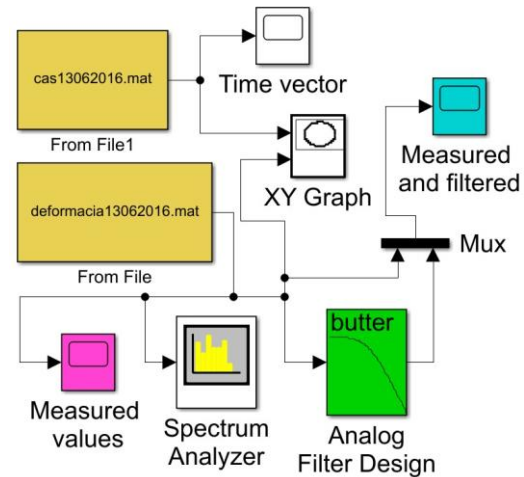


Figure 9. Simulink model for data filtering and setup of filter parameters

Offline data processing can be realized via using of simulation model (fig. 9) with data recorded from real process.

The course of the measured signal (fig. 8) is wavy, and this indicates the presence of higher frequencies in the signal. For this purpose, a frequency analysis was performed (fig. 10), according to which the individual frequencies of the signals present in the measured course were identified (fig. 10).

Result from Spectrum analyser (Fig. 10) shows amplitudes of all frequencies. We know that excitation frequency of actuator was 0.3Hz and this signal is the main signal. Other higher frequencies are undesirable, and we would like to reject them from measured signal.

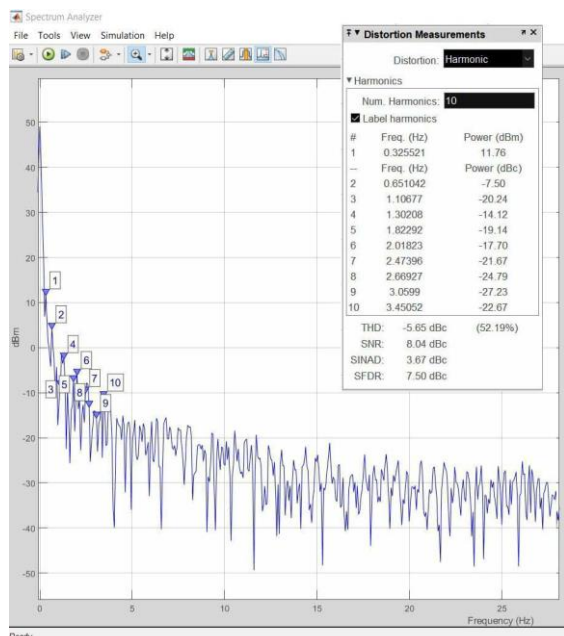


Figure 10. Spectrum analysis in Matlab/Simulink

Low pass filter has been proposed into simulation structure (fig. 16) for suppressing of higher frequencies. Result if filtering is visible on fig. 11.

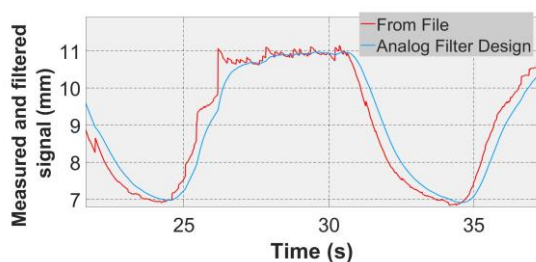


Figure 11. Filtered signal and detail of signal

The filtered signal (fig. 11) is smoothed, and it is possible to make any analysis of actuator dynamic characteristic. As it is visible the filtered signal has also phase shifting as small-time delay of signal.

4 CONCLUSION

Paper presents the basic methods for signal filtering and solving of case study for selection and design of suitable filter for removing of unwanted frequencies from original measured signal. Almost in all cases

the filtering is inseparable part of measurement process. Also it is necessary to write, that noised measured signal can causes the many problems in control systems [4, 5].

5 REFERENCES

- [1] MILIC, L.: Multirate Filtering for Digital Signal Processing: Matlab Applications. Information Science Reference, Hershey – NewYork, 2009. 414 p. ISBN 978-1-60566-178-0.
- [2] LACANETTE, K.: A Basic Introduction to Filters–Active, Passive, and Switched-Capacitor. National Semiconductor Application Note 779, National Semiconductor Corporation. April 1991, 22 pages.
- [3] WINDER, S.: Analog and Digital Filter Design. Second Edition. Newnes. Elsevier Science (USA). 2002. 458 pages. ISBN 0-7506-7547-0.
- [4] KELEMENOVÁ, T. - KELEMEN, M. - JEZNY, J.: Properties identification of the Hall effect linear position sensor. In: Acta Mechanica Slovaca. Vol. 12, No. 3-B (2008), p. 417-422. - ISSN 1335-2393.
- [5] TÓTH, T. - RAJÚKOVÁ GLITTOVÁ, D. - KELEMENOVÁ, T. - DOVICA, M.: Determination of material density by means of computerized tomography. In: Acta Mechanica Slovaca. Vol. 20, No. 4 (2016), p. 68-71. ISSN 1335-2393

Acknowledgment

The work has been accomplished under the research project APVV-15-0149, VEGA 1/0224/18, KEGA 006STU-4/2018 financed by the Slovak Ministry of Education. This paper was published in cooperation with company KYBERNETES s.r.o. within the project "Research and development of the ECOGI product at KYBERNETES", ITMS Code of Project: 313012Q955.

Correspondence address:

Tatiana Kelemenová, doc. Ing. PhD.,
 Technical University of Kosice
 Faculty of Mechanical Engineering
 Department of Biomedical Engineering and Measurement
 Letná 9, 04200 Kosice, Slovakia
 Tel.: +421 55 6022361
 Email: tatiana.kelemenova@tuke.sk

NÁVRH BEZKONTAKTNÉHO MERACIEHO ZARIADENIA PRE KONTROLU KVALITATÍVNYCH PARAMETROV POLOTOVARU PRE VÝROBU PNEUMATIKY – PÄTKOVÉ LANO

Martin BEZÁK

Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Katedra robotiky, Slovenská republika
martin.bezak@vipo.sk

Abstrakt

Príspevok sa zaoberá návrhom zariadenia pre bezkontaktné meranie a hodnotenie geometrických a kvalitatívnych parametrov polotovaru pre pneumatiku – pätkové lano. Vzhľadom na súčasné metódy merania a vyhodnocovania v sériovej výrobe predstavuje toto zariadenie technický a technologický posun vo výrobnom procese výroby pneumatík. Pri meraní a hodnotení parametrov je vylúčený vplyv meracieho procesu alebo obsluhy na výsledok merania. Zariadenie využíva najnovšie poznatky a komponenty používané v priemysle, v oblasti automatizácie a elektrotechniky. Navrhnuté zariadenie je okamžite aplikovateľné v celosvetovom meradle ako autonómne zariadenie. Jeho úpravou umožňuje aj integráciu do plne automatického procesu výroby polotovaru pneumatiky – pätkového lana pomocou manipulačných zariadení. Z nameraných hodnôt je v budúcnosti možné vzájomnou iteráciou s výrobným zariadením zabezpečiť potrebnú zmenu výrobného zariadenia. Takéto riešenie umožní samotným výrobcam minimalizovať vplyv operátora na proces výroby a plnú kontrolu nad výrobným procesom.

Kľúčové slová:

Pätkové lano, bezkontaktné snímače, meranie a vyhodnocovanie

ÚVOD

V súčasnej dobe sa v oblasti automobilového priemyslu kladie veľký dôraz na oblasť kontroly a vyhodnocovania parametrov produktu, resp. polotovaru. Zároveň požiadavka na automatizáciu procesov a podprocesov vo výrobnom podniku, kladie veľké nároky na výrobcov týchto zariadení na riešenia strojných zariadení a ich súčastí.

Na základe analýzy súčasných možností riešenia merania a vyhodnocovania parametrov pätkového lana bol pre túto prácu vybratý koncept riešenia bezdotykového meracieho zariadenia s využitím snímania pomocou kamier a senzorov uvedený na Obr.1. Hlavným prínosom je možnosť hodnotenia viacerých parametrov súčasne bez potreby opakovania merania pre jednotlivé parametre. Pridanou hodnotou zariadenia je možnosť jeho práce v off-line režime a rovnako pri zabezpečení zariadenie na vkladanie a vyberanie produktu aj v online režime linky na výrobu pätkových lán.

Merací systém by mal byť spôsobilý pre meranie definovaných parametrov pätkových lán (Obr. 2) pre osobné pneumatiky a prípadne aj

kvality aplikácie apexového profilu na ojadrovaných pätkových lán v rozsahu v základnom rozsahu 12" – 24". Opcia zariadenie 8" – 12", resp. 24" – 48". Počas procesu merania a manipulácie v zariadení nesmie dôjsť k zmene parametrov najmä deformáciou, poškriabaním, tepelným ovplyvnením, kontaktu s tekutinou.

Súčasťou meracieho zariadenia má byť kaliber, prípadne kalibre pre nastavovanie zariadenia. Obsluhu zariadenia zabezpečuje operátor a je riešené ako samostatné zariadenie.

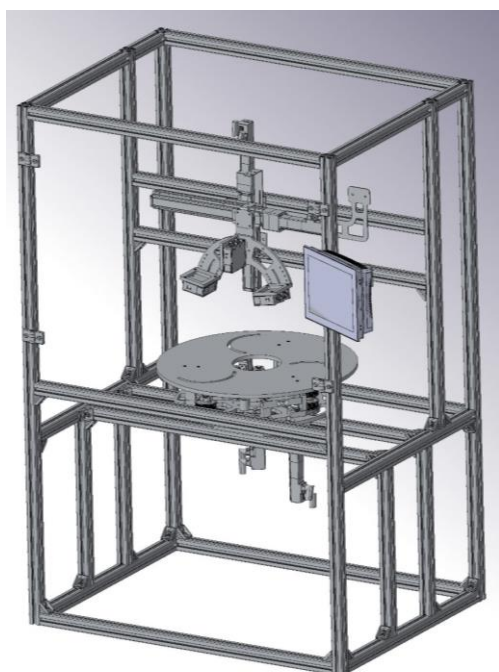
Požiadavky na merané parametre pätkového lana:

1. Vnútorň obvod – tolerancia $\pm 0,8$ mm
2. Vnútorň priemer - tolerancia $\pm 0,2$ mm
3. Kruhovitosť / Ovalita - tolerancia ± 3 mm
4. Výška lana - tolerancia $\pm 0,3$ mm
5. Šírka lana - tolerancia $\pm 0,3$ mm
6. Presadenie spoja drôtov - tolerancia ± 10 mm
7. Hmotnosť lana – tolerancia ± 1 g
8. Snímanie spoja
9. Snímanie polohy koncov drôtov a meranie dĺžky presadenia
10. Snímanie plochy nepogumovaného povrchu pätkového lana
11. Snímanie uhla základne pätkového lana.

1. RIADENIE PROCESU

Proces merania musí byť riadený pomocou SW a PLC počítača, výsledky merania zobrazované v grafickej podobe na HMI paneli. Namerané hodnoty zobrazované v tolerančnom poli a výsledky možno následne exportovať do nadradených systémov. Priebehy predošlých meraní v danom rozmere zobrazené v grafickej forme s históriou najmenej 10 meraní. Zariadenie musí minimálne zobrazovať:

1. Stav systému – off/on, štart, merací proces, kalibrovací proces, vyhodnocovací proces; in line alebo off-line meranie
2. Merací stav – zber dát, meranie, ukladanie dát, export dát, stav merania / ukladania / exportu dát, chybové hlásenia.

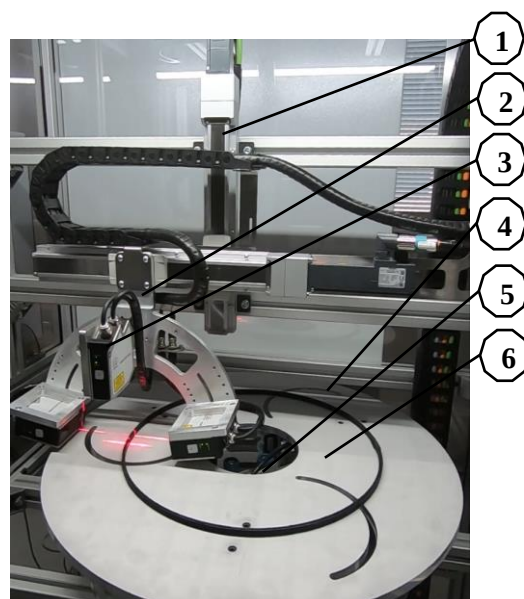


Obr. 1. Prototypový konštrukčný návrh zariadenia pre bezdotykové meranie pätkového lana



Obr. 2. Základné typy pätkových lán

Detailnejší pohľad na uloženie pätkového lana je uvedený na Obr.3

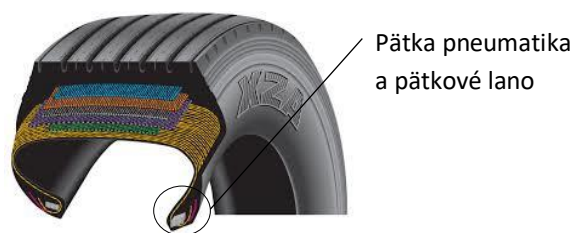


Obr. 3 Pohľad na uloženie pätkového lana

1 – servo pohon súvu držiaka snímačov, 2 – držiak snímačov, 3 – laserový profilometer, 4 – pätkové lano, 5 – polohovacia platňa, 6 – centrovanie lana

Pätkové lano

Pätkové lano je súčasťou každej štandardnej pneumatiky v oblasti pätky (Obr. 4). V pneumatike sa nachádza na oboch stranách po jednom kuse. Je vytvorené procesom navíjania pogumovaného oceľového drôtu podľa definovaných parametrov. Podľa typu pneumatiky môže mať pätkové lano v priereze tvar hexagonálneho, pentagonálneho, kruhového alebo obdĺžnikového prierezu. Vo svete sa zaužívalo označovanie lán podľa vnútorného priemeru v palcoch s doplnkovou hodnotou priemeru v mm. Ďalším charakterizovaným parametrom je počet návinov, špecifikácia šírky a výšky lana, priemer nepogumovaného a pogumovaného drôtu a uhol základne lana. V štandardných pneumatikách medzi ktoré sa radia osobné, ľahké nákladné, nákladné, poľnohospodárske a priemyselné sa používajú nasledovné typy pätkových lán.



Obr. 4. Prierez pneumatiky

ZÁVER

Cieľom dizertačnej práce bol návrh bezkontaktného meracieho zariadenia pre kontrolu kvalitatívnych parametrov polotovaru pre výrobu pneumatika – pätkové lano. Analýzou súčasného stavu merania a hodnotenia parametrov lana sa zadefinovali dostupné a používané možnosti zariadení. Zároveň sa zadefinovali požiadavky výrobcov pneumatík na hodnotenie kvalitatívnych parametrov pätkového lana v širšom rozsahu so spôsobmi riešenia týchto požiadaviek. Predstavená koncepcia bezdotykového meracieho zariadenia je v tomto štádiu ojedinelá. Jej jedinečnosť spočíva nielen v technickom riešení a možnostiach integrácie vo výrobnom procese, ale aj množstvom hodnotených kvalitatívnych parametrov priamo vo výrobnom procese. Týmto riešením sa rozširuje hlbšie poznanie procesu bez zásahu do výkonnosti výrobného stroja pätkového lana, zvýšených nárokov na odbornosť obsluhy a rovnako aj zaťaženia obsluhy ďalšími úlohami vo výrobnom procese. Reakčný čas výrobného manažmentu sa tak výrazne skráti pri nezhodnej výrobe, čo zníži riziko preniknutia nezhodných výrobkov do ďalších procesov a rovnako zníži náklady vo výrobe elimináciou chybovosti.

Zariadenie pre meranie a hodnotenie výsledkov meraní parametrov polotovaru pre pneumatiky je jedinečným zariadením svojím rozsahom a počtom meraných veličín vo svete. Využíva najnovšie poznatky vedy a výskumu v oblasti elektroniky, riadenia a mechatroniky. Počas riešenia návrhu koncepcie merania parametrov sa uplatnili metódy z oblasti vedy a výskumu pri návrhu správnych snímačov a rovnako aj metodika výpočtu nameraných veličín. V súčasnosti používané meracie zariadenia vo výrobnej sfére sú v priamom kontakte s meraným polotovarom – pätkovým lanom a nepriamo ovplyvňujú výsledok, resp. kvalitu polotovaru po procese merania (deformácia, poškodenie pogumovanej časti lana a pod.). Týmto zariadením nedochádza k priamemu alebo aj nepriamemu ovplyvneniu výsledkov merania. Možnosťou integrácie zariadenia do výrobného linky je nevyhnutné zhodnotiť aspekty tohto riešenia aj na proces ako celok, či už technické riešenie spôsobu manipulácie s polotovarom, integráciou riadenia meracieho zariadenia do riadiaceho systému výrobného linky, riešenie vyhodnocovania a exportu dát zo zariadenia a pod.

Zariadenie je komplexným riešením viacerých oblastí v časti mechaniky, mechatroniky, riadiacich systémov, oblasti kvality, automatizácie a robotizácie a tým ponúka využiteľnosť prístupu komplexného riešenia požiadaviek na meranie

rôznych veličín využitím spoločnej zobrazovacej jednotky - senzora. Zároveň integrovanie merania a hodnotenia produktu v procese s možnosťou napojenia zariadenia na nadradené systémy pre zber a vyhodnocovanie parametrov procesu posúva aj kvalitu stability procesu.

Použité skratky a akronymy

HMI - Human Machine Interface - ovládací panel,
PLC - Programmable Logic Controller - riadiaci počítač.

Použitá literatúra:

- [1] VARGA, Jozef - JÁNOŠ, Rudolf - SUKOP, Marek - HAJDUK, Mikuláš - DUCHOVIČ, Peter - BEZÁK, Martin - Measurment of bead wire circumference via optical sensor / Jozef Varga ... [et al.] - 2016. In: Technical Sciences and Technologies. No. 4(6) (2016), p. 194-199. - ISSN 2411-5363
- [2] VARGA, Jozef - JÁNOŠ, Rudolf - SUKOP, Marek - HAJDUK, Mikuláš - DUCHOVIČ, Peter - BEZÁK, Martin - The proposal of two methods for measure weight of bead wires / Jozef Varga ... [et al.] - 2016. In: Technical Sciences and Technologies. No. 4(6) (2016), p. 200-204. - ISSN 2411-5363
- [3] SUKOP, Marek - HAJDUK, Mikuláš - SEMJON, Ján - VARGA, Jozef - JÁNOŠ, Rudolf - VAGAŠ, Marek - BEZÁK, Martin - VIRGALA, Ivan - Testing of adhesive spray painting with robot / Marek Sukop ... [et al.] - 2017. In: Technical gazette. Vol. 24, no. 2 (2017), p. 545-550. - ISSN 1330-3651
- [4] VARGA, Jozef - SUKOP, Marek - JÁNOŠ, Rudolf - HAJDUK, Mikuláš - DUCHOVIČ, Peter - BEZÁK, Martin - Solutions for measuring weight of bead wires / Jozef Varga ... [et al.] - 2016. In: Applied Mechanics and Materials vol. 841 : Aerospace, Robotics, Manufacturing Systems, Mechanical Engineering, Biomechanics and Neurorehabilitations. - Switzerland : TTP, 2016 P. 145-151. - ISBN 978-3-03835-668-4
- [5] KOVÁČ, Juraj - JENČÍK, Robert - ANDREJKO, Peter - HAJDUK, Mikuláš - PILAT, Zbigniew - TOMČI, Peter - VARGA, Jozef - BEZÁK, Martin - Integrated Palletizing Workstation with an Industrial Robot and a Cobot / Kováč, Juraj ...

- [et al.] - 2020. In: Advances in Service and Industrial Robotics : proceedings of the 28th International Conference on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region. - Cham (Švajčiarsko) : Springer International Publishing AG s. 202-209 [print, online]. - ISBN 978-3-030-19648-6
- [6] BEZÁK, Martin - Successful solutions for bead wire production In: Tyre Asia, published Feb 1, 2019 [print, online]. (<https://tyre-asia.com/2019/02/01/successful-solutions-for-bead-wire-production/>)
- [7] BEZÁK, Martin - Focus on winding and apexing tyre beads In: Tyre Asia, published Feb 17, 2018 [print, online]. (<https://tyre-asia.com/2018/02/17/vipo-focus-winding-apexing-tyre-beads/>)
- [8] BEZÁK, Martin - Tyre manufacturing technology In: Tire Technology International, published October 2018 [print, online]. <https://www.ukimediaevents.com/publication/ed63a87d/88>

Korešpondenčná adresa:

Ing. Martin Bezák
Technická univerzita Košice
Strojnícka fakulta
Katedra robotiky
Strojnícka fakulta TU v Košiciach, Letná 9/B, 042 00
Košice
Tel.: +421 38536 1502
Email: martin.bezak@vipo.sk

NÁVRH LUMBÁLNEJ, STABILIZAČNEJ PODLOŽKY NA VERTIKÁLNU KOREKCIU A FIXÁCIU IOPATICKÉJ SKOLIÓZY POČAS SPÁNKU.

Tomáš BREŠKOVIČ, Tomáš BALINT, Marek SCHNITZER, Jozef ŽIVČÁK

Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Katedra biomedicínskeho inžinierstva a merania, Letná 9, 042 00 Košice
tomas.breskovic@tuke.sk, tomas.balint@tuke.sk, marek.schnitzer@tuke.sk, jozef.zivcak@tuke.sk

Abstract:

Článok je venovaný návrhu lumbálnej podložky na korekciu idiopatickej skoliózy. Lumbálnu podložku bola navrhnutá v softvéri Fusion 360. Jej návrh bol uskutočnený na základe zaznamenaných kompresných a odľahčených zón. Posudzované zóny boli stanovené tvarovým odčítaním plochy pôvodného 3D skenu od plochy skenu po uskutočnení prediktívnej analýzy.

Key words:

skolióza, liečebná podložka, liečebná dlaha, stabilizačná podložka, korekcia skoliózy

ÚVOD

Skolióza je jedno alebo viacero laterálnych zakrivení chrbtice o viac ako 10°. Pri nadmernom laterálnom zakrivení chrbtice vzniká deformácia rebier, ktorú opticky vnímame ako nadmernú kyfózu alebo nadmernú lordózu. Táto deformita vzniká prevažne v najviac deformovanej časti chrbtice. [1] [2] [3]

Deformita rebier je aj jedným z hlavných faktorov, ktoré vplyvajú na výber správnej liečebnej metódy. [4] Ďalšími dôležitými faktormi pri správnom výbere liečby sú: príčina vzniku skoliózy, veľkosť krivky, umiestnenie krivky, počet zakrivení alebo zdravotný stav kostrového skeletu. [5]

Liečbu skoliózy môžeme z primárneho hľadiska rozdeliť na invazívnu a neinvazívnu.

Invazívna liečba ma za úlohu zabezpečiť korekciu a stabilizáciu skoliotickej krivky pomocou trvalej fixačnej armatúry. [2] [5] Fixačná armatúra je vkladaná a upevňovaná do kostrového skeletu chrbtice počas operačného zákroku.

Ak deformovaný hrudný kôš tlačí na srdce alebo priamo či nepriamo zamedzuje funkčnosti iných pre život dôležitých orgánov je nutné zvoliť okamžité riešenie v podobe operačného zákroku.

Neinvazívna liečba alebo taktiež nazývaná konzervatívna liečba je praktikovaná pomocou rôznych stabilizačných a korekčných ortéz alebo pomocou cvičení. [5] [3]

A práve konzervatívny spôsob liečby skoliózy je systém pri ktorom by mohol návrh takejto fixačnej alebo korekčnej, lumbálnej podložky pomôcť k dosiahnutiu podstatne väčšej liečebnej efektivity.

1 NÁVRH KOREKČNEJ PODLOŽKY

Návrh korekčnej podložky bol uskutočnený na základe správneho určenia kompresných a odľahčených zón posudzovaného 3D skenu (Obr. 1).

Kompresné zóny sú miesta deformácie hrudného koša, kde vplyvom laterálneho zakrivenia chrbtice vzniklo kyfotické vybočenie rebier. Tieto zóny sú vyznačené červenou farbou na tvarovej ploche 3D skenu.

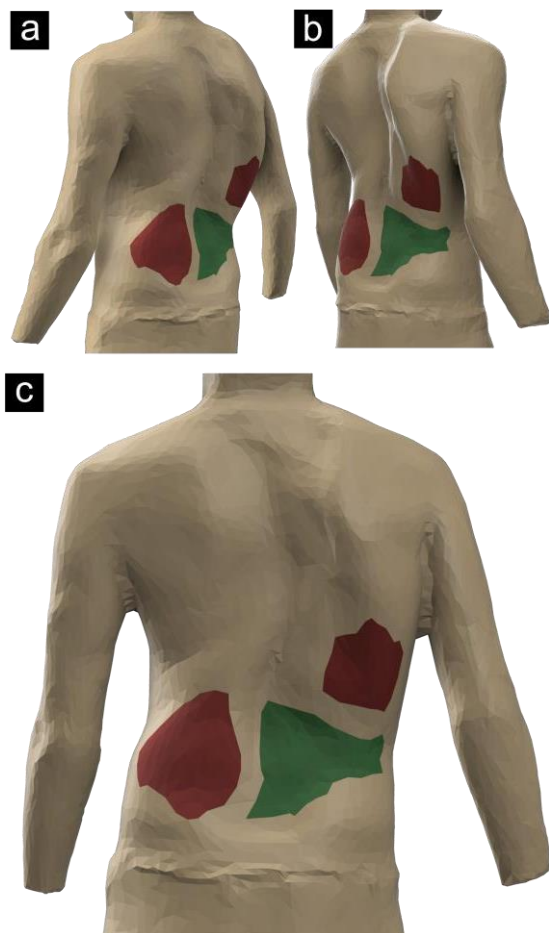
Odľahčené zóny sú miesta deformácie hrudného koša kde vplyvom laterálneho zakrivenia chrbtice vzniklo vybočenie rebier v tvare lordózy. Tieto zóny sú vyznačené zelenou farbou na tvarovej ploche 3D skenu.

Táto korekčná podložka je primárne navrhnutá ako stabilizácia torzného namáhania stavcov lumbálnej chrbtice vplyvom točivého momentu, ktorý vzniká ako kompenzácia kyfotického vybočenia rebier hornej skoliotickej krivky.

Torzne namáhanie stavcov v lumbálnej oblasti ma za následok deformáciu platničiek v dôsledku čoho vzniká postranná bolesť v oblasti najväčšieho vybočenia, najväčšej deformácie.

Celkovo, či už vplyvom prirodzeného tlaku ale aj lumbálnym vybočením chrbtice alebo torzným namáhaním medzi jednotlivými stavcami, vzniká z dlhodobého hľadiska deformácia platničiek čo je zdravotný problém, ktorý môže viesť až k operačnému zákroku.

V rámci operačného zákroku môže byť vložená trvalá armatúra, ktorá trvalo stabilizuje lumbálnu chrbticu alebo môžu byť individuálne navrhnuté a voperované umele náhrady platničiek lumbálnej chrbtice.



Obr. 1 Neupravený 3D sken s vyznačenými kompresnými a odľahčenými zónami. a – nárožný pohľad zľava, b – nárožný pohľad sprava, c – pohľad zozadu

Navrhnutá korekčná podložka ma dve základné funkcie (Obr. 2) :

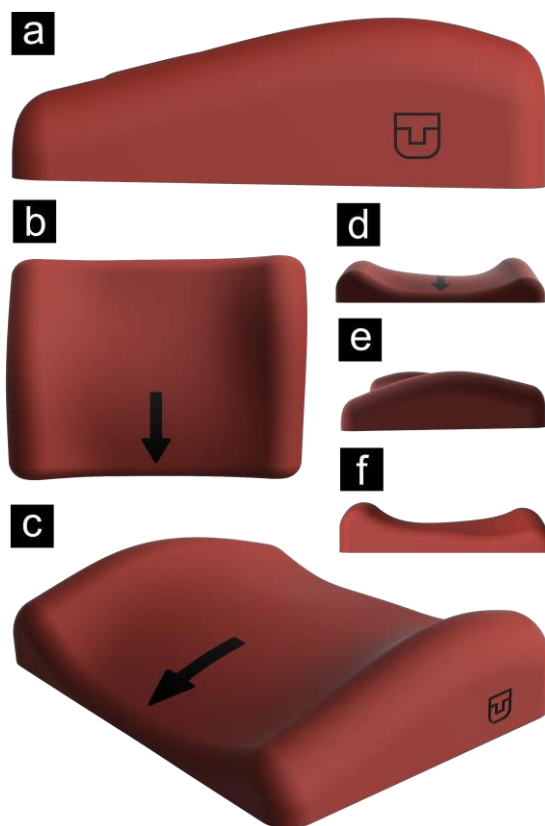
- Slúži ako stabilizačná podpera prirodzenej lordózy lumbálnej časti chrbtice v horizontálnej polohe počas spánku.
- Tvarové riešenie korekčnej podložky slúži ako náhrada pelót aplikovaných pri návrhu tradičnej, stabilizačnej alebo korekčnej ortézy na liečbu skoliózy

Pri tradičnom návrhu korekčnej ortéz na liečbu skoliózy je tlak na kyfotické zakrivenie rebier vytvorený pelotami, ktoré sú zatláčané na

potrebné miesto prirodzeným tlakom konštrukčného skeletu ortézy.

Pri navrhnutej podložke sú pelóty nahradené presným ergonomickým zakrivením podložky a tlak ktorými pelóty tlačia na zdeformované miesto je nahradený prirodzenou gravitačnou silou, ktorá tlačí telo na podložku. Ergonomické zakrivenie je vytvorené presne na mieru pacienta podľa zaznamenaného 3D skenu.

Navrhnutá podložka taktiež obsahuje šípku ktorá označuje spodnú časť. Toto označenie je dôležité z toho dôvodu aby nedošlo k zámene strán A tým k nesprávnej aplikácii podložky.



Obr. 2 Lumbálna, stabilizačná podložka na vertikálnu korekciu a fixáciu idiopatickej skoliózy počas spánku. a – pohľad zľava, b – pohľad zhora, c – ortho pohľad, d – pohľad spredu, e – pohľad sprava, f – pohľad zozadu

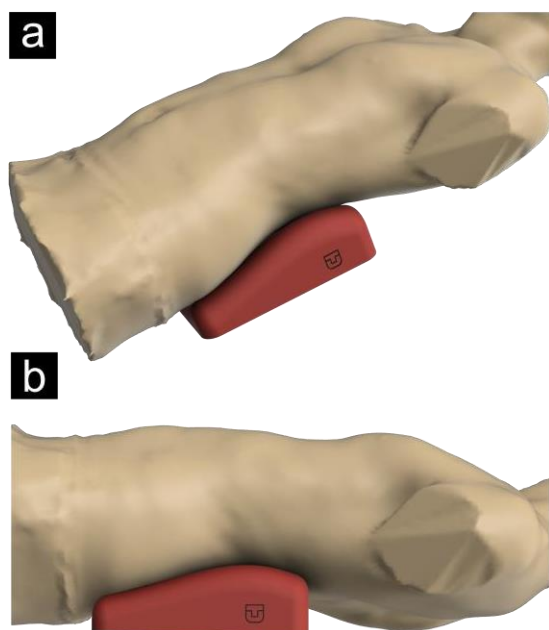
2 VYHODNOTENIE

Pri návrhu podložky bola použitá kombinácia upraveného a neupraveného 3D skenu tela pacienta. Upravený sken v rámci prediktívnej analýzy (ako bude vyzeráť telo pacienta po ukončení liečby) bol prevzatý z predošlej publikácie.

Odčítaním hodnôt maximálneho kyfotického vybočenia rebier medzi neupraveným a upraveným 3D skenom v lumbálnej oblasti sme dostali hĺbku kompresných miest, ktoré bolí následne prenesené na matricu liečebnej podložky ale reverzným spôsobom.

Matrica bola vytvorená retušovaným premodelovaním a odsadením plochy lumbálnej oblasti z 3D skenu upraveného prediktívnou analýzou.

Po priložení liečebnej podložky k upravenému 3D skenu (Obr. 3) musí telo podložky dokonale zapadnúť na posudzované miesta kompresie. Ak liečebná podložka presne zapadne na telo upraveného 3D skenu, vieme zhodnotiť, že liečebná podložka je navrhnutá správne. Ak nezapadne správne, musíme sa znovu vrátiť k návrhu a nepresnosti odstrániť.



Obr. 3 Lumbálna stabilizačná podložka, tvarovo osadená na 3D sken skoliotického trupu, ktorý bol upravený prediktívnou analýzou. a – ortho pohľad, b – pohľad zľava

3 ZÁVER

Liečebná podložka posudzovaná v tomto článku má potenciál byť spoľahlivým pasívnym nástrojom na vertikálnu stabilizáciu alebo prípadnú korekciu skoliózy, pôsobením tlaku tvoreného prirodzenou hmotnosťou tela. Jednoduchý spôsob užívania

a tvarová kompaktnosť robia z navrhutej podložky potenciálne efektívny, liečebný nástroj, ktorý by mohol zlepšiť kvalitu života mnohým pacientom so skoliózou.

Aby sa však potvrdila liečebná účinnosť je ešte nutné uskutočniť sériu testovaní a vyhodnotiť výsledky liečby.

Podakovanie:

Tento článok bol vypracovaný na základe podpory získanej z projektov: APVV-19-0290, KEGA 041TUKE-4/2019, KEGA 023TUKE-4/2020 a Centrum pre pokročilé terapie chronických zápalových ochorení pohybového aparátu 313011W410.

4 REFERENCES

- [1] Patias, P. & Stylianidis, E & Pateraki, Maria & Chrysanthou, Yiorgos & Contozis, C & Zavitsanakis, Th. (2006). 3D digital photogrammetric reconstructions for scoliosis screening. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 36.
- [2] Cheung, Chung-Wai & Zhou, Guangquan & Law, Siu-Yin & Mak, Tak Man & Lai, Ka-Lee & Zheng, Yong-Ping. (2015). Ultrasound Volume Projection Imaging for Assessment of Scoliosis. IEEE transactions on medical imaging. 34. 10.1109/TMI.2015.2390233.
- [3] Zivcak, Jozef & Michalíková, Monika & Toth, Teodor & Hudak, Radovan & Majernik, Jaroslav. (2007). Biomechanika človeka I
- [4] Roaf Robert, THE BASIC ANATOMY OF SCOLIOSIS, The Journal of Bone and Joint Surgery. British volume 1966 48-B:4, 786-792
- [5] Gignac D, Aubin CE, Dansereau J, Labelle H. Optimization method for 3D bracing correction of scoliosis using a finite element model. Eur Spine J. 2000;9(3):185– 190. doi:10.1007/s005860000135

Korešpondenčná adresa:

Ing. Tomáš Breškovič

Technická univerzita v Košiciach

Strojnícka fakulta

Katedra biomedicínskeho inžinierstva a merania

Letná 9, 042 00, Košice

Tel.: +421 910 221 425

Email: tomas.breskovic@tuke.sk

QUALITY EVALUATION OF LAYERS CREATED BY PLASMA TRANSFERRED ARC TECHNOLOGY

Jakub Brezina, Jan Viňáš

Technical University of Košice, Faculty of Mechanical Engineering,
Department of Technology, Materials and Computer Aided Manufacturing, Slovakia
jakub.brezina@tuke.sk, jan.vinas@tuke.sk

Abstract:

The paper presents results of quality research of hardfacing layers used as renovation for mold surfaces. Renovation method used in experiment was Plasma Transferred Arc (PTA) technology. As base (mold) material was medium alloy steel X38CrMoV5-1 (H11). In form of powder, three types of additives were applied. Two types on iron basis with the designation HSS 23 and HSS 30 and one type on nickel basis with the designation Nibasit 625. The hardfacing layers were made on a plate 120x350x50mm in two layers on Plasma hardfacing machine PPC 250 R6. Quality of layers was evaluated by means of non-destructive and destructive tests. Impact of used parameters and mixing the hardfacing metal with base material, as well as the structure analysis were assessed by means of light and electron microscopy (SEM, REM). Chemical composition of elements was determined by EDX analyses on SEM microscope. Hardness of individual layers were evaluated. Molds subject to significant friction wear, friction coefficients for selected temperatures were determined by the equipment for tribology properties evaluation. Based on conducted experiments all three types of additives can be used for renovation. However, from tribology perspective for the renovation, the additive Nibasit 625 on nickel alloy basis is recommended.

Key words:

Plasma, hardfacing, layers, mold, wear mechanism,

INTRODUCTION

Prevention of instantaneous mold failure is often connected with a critical hardness level that must not be exceeded for a given application. In certain applications such as die-casting, however, ductility has a greater effect on tool lifetime than toughness. Heat is derived from friction and numerous adhesions and seizure events only at the beginning of the plunging and after being believed only through viscous heat dissipation of mechanical energy in the stick condition. Therefore, precise knowledge of the viscosity of FSW-welded alloys as the key factor of internal friction is vital to a better understanding of the process fundamentals, modeling activities and control of technology-related aspects.[1,2] Contrary to arc hardfacing, Plasma Transferred Arc or laser coating, explosion cladding does not exhibit dilution between the base metal and the cladding layer [3-5]. This feature allows a good control of the coating chemical composition. Investigations of plasma hardfacing on X38CrMoV5-1 base material. These investigations

focus on the interface between the two materials. Macrostructure and microstructure are studied in detail. Hardness tests at the interface are presented. Paper presents the corrosion resistance and mechanical properties, including hardness, abrasion and bonding strength are analyzed [6-9].

1 Material and methods

As base material used for the experiment was medium alloy tool steel marked as X38CrMoV5-1. Chemical composition of material is presented in Table 1. It is characterized by high heat strength (Table 2.) and resistance to tempering, very good toughness and plastic properties at both normal and elevated temperatures. Furthermore, the steel shows very good resistance to thermal fatigue cracking and low sensitivity to sudden thermal shocks. It is well malleable when hot and well machineable in the soft annealed condition.

Table 1. Chemical composition of X38CrMoV5-1 [wt.%]

C	Mn	Si	Cr	Mo	V	P	S	Fe
0.37	0.45	1	5.3	1.3	0.4	0.017	0.011	res.

Table 2. Mechanical properties of base material

Yield strength	Tensile strength	Elongation A5	Hardness
[MPa]	[MPa]	[%]	HRC
1420	1680	12	50

Steel is used for the production of molds for fixed and movable parts, for thermoforming tools such as small and medium-sized dies and die inserts. Die, mandrels, jaws and punches, in particular with a high strength > 1800 MPa, water-cooled. Highly stressed extruders and other tools for hot extrusion of non-ferrous metals, extruders for aluminum and its alloys. Hot cutting tools, e.g. small and medium-sized scissor blades, cutting dies and cutting mandrels.

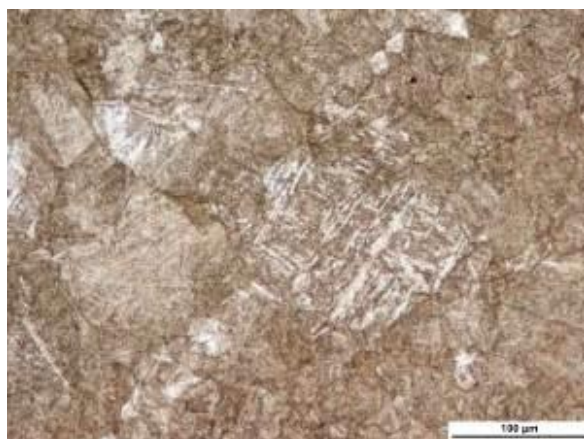


Fig. 1. Base material X38CrMoV5-1 microstructure - formed by tempered martensite.

Additive material was used in form of powder made of HSS 23 and HSS 30 which are high-alloy high-speed steels produced by progressive methods of powder metallurgy. Purity of both materials is high, low content of content of non-metallic inclusions, high hardness, compressive strength, toughness, machinability and high resistance to abrasive wear. Both materials are used to make cold working materials such as cutting tools for cutting harder materials. In addition, HSS 30 is also used for production of cutting tools. Nibasit 625 additive in powder form is used for high quality hardfacing and hardfacing joints of materials with high content of Mo, Ni, Cr. Chemical composition of used powder filler materials is presented in Table 3.

Table 3. Chemical composition of the powder filler material HSS 23, HSS 30 and Nibasit 625 (wt.%)

	C	Cr	Mo	W	V	Co	Fe	Si	Mn	Al	Nb	Ni
HSS23	1.28	4.2	5.0	6.4	3.1	-	Res.	-	-	-	-	-
HSS30	1.28	4.2	5.0	6.4	3.1	8.5	Res.	-	-	-	-	-
Nibas 625	0.025	22	9	-	-	0.01	0.5	0.4	0.7	0.02	3.3	Res.

Additional material was used to the base material in two hardfacing layers using a hardfacing machine PPC 250 R6 with PTA technology. Before proceeding with the hardfacing process itself, we prepared the surface of the base material for hardfacing. Base material was preheated to 250 °C and hardfacing process was started with the hardfacing parameters for individual layers shown in Table 4.

Table 4. Hardfacing parameters for first and second layer

First layer	
Pulsating direct current:	110/45 [A], with a frequency of 44.4 [Hz]
Trajectory:	swing step 3.9 mm (step speed 2.1 mm.s ⁻¹)
	swing length 80 mm (speed 3.1 mm.s ⁻¹)
Serving:	26,4 g.min ⁻¹
Second layer	
Pulsating direct current:	140/45 [A], with a frequency of 44.4 [Hz]
Trajectory:	swing step 5 mm (step speed 4.5 mm.s ⁻¹)
	swing length 80 mm (speed 3.3 mm.s ⁻¹)
Serving:	27.8 g.min ⁻¹

After hardfacing the aim of the current research is microstructural characterization. In order to analyze in detail the microstructure in different zones (fusion zone—FZ, heat-affected zone—HAZ, and base metal—BM) and, especially, in order to determine mixing of additive and base material it was necessary to use combined methods of light microscopy (LM) and scanning electron microscopy (SEM). After hardfacing, metallographic cut samples were prepared according to the first chapter from test hardface from the base material and additives HSS 23, HSS 30 and Nibasit 625, on which we subsequently performed optical microanalysis of the structure using a drunken microscope (Fig. 2). The following is a series of images taken on an optical microscope showing the

metallographic structure of the base material with hardfacing material HSS 23, HSS 30 and Nibasit 625.

2 RESULTS AND DISCUSSION

Results of evaluated hardface metallographic analyzes are presented in Fig. 2 through to Fig. 6. Fig. 2 documents the microstructure of the hardface sample cut-section with HSS 23 layer in the area of the base material penetrating hardfacing layer. Namely, the area of melting, eventually area under the hardface is the most common source of defects. On the metallographic section the presence of globular pores was observed. The transition of hardfacing layer and base material is sharp, without apparent mixing. This was also confirmed by conducted surface EDX analyses. Fig. 3 shows the microstructure of HSS 23 hardfacing layer created by tempered martensite with the martensitic matrix consisting of fine, uniformly distributed carbide phases. X-ray analysis of the matrix carbide phase allowed us to identify carbide phases of the following types: MC (V), M₆C (Fe,W), M₇C₃(Fe,Cr).

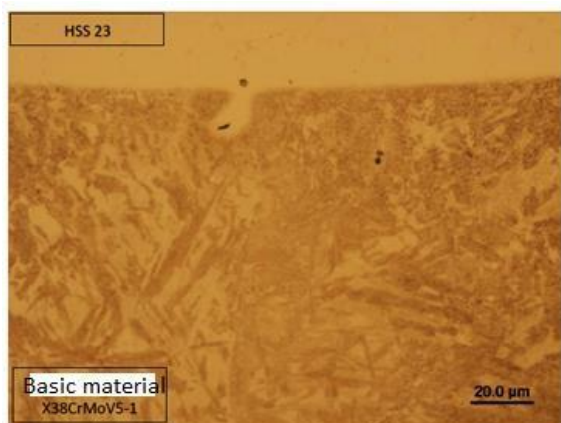


Fig. 2. Hardfaced layers microstructure of HSS 23 on base material-SM

Content of Cr and Mo increased from the base material to hardface. There was even a difference in the content of Ni, Cr, Mo, Nb in the first layer and the second layer of the hardface, while their content was higher in the cover layer than in the first layer. The Fe content decreased towards the cover layer of the hardface, which also indicates the mixing of materials not only between the base material and the hardface, but also between the first and second hardfacing layer (cover).

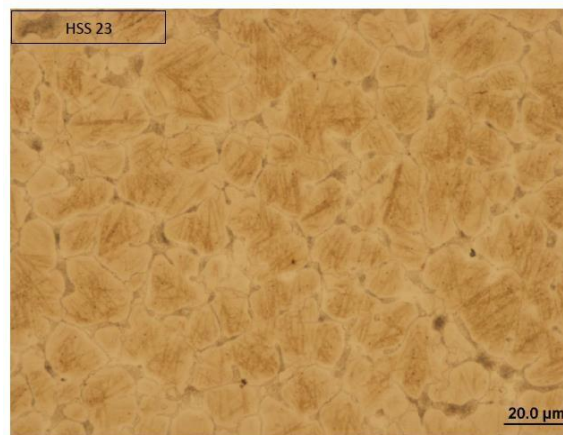


Fig. 3. Microstructure of hardfacing layer HSS 23- SM

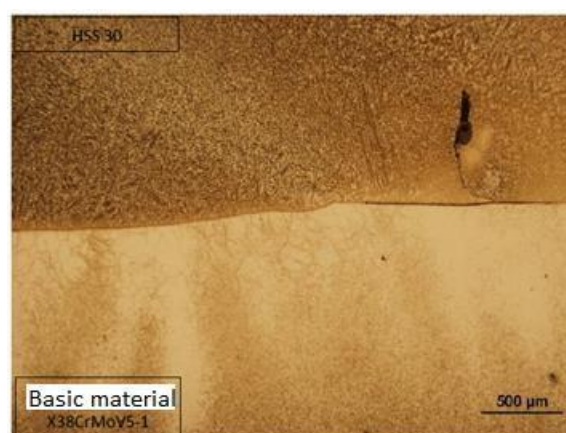


Fig. 4. Macrostructure of HSS 30 hardfacing layer on base material, etched on the hardface-SM.

In Fig. 4 in the etched state there is a layer on a large part of the interface, eventually a crack that may have formed when the hardface was cooled.

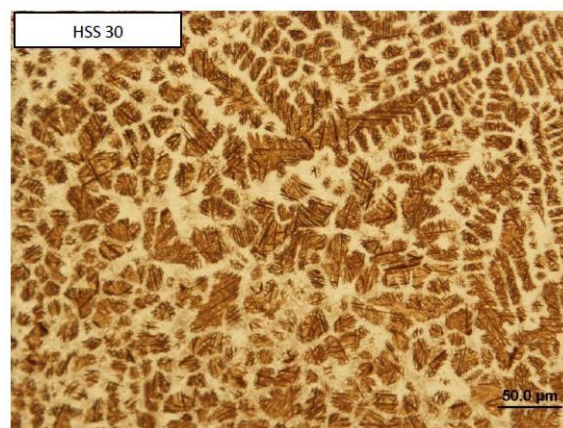


Fig. 5. Microstructure of Nibasit 625 layer on the base material, around the melting zone-SM

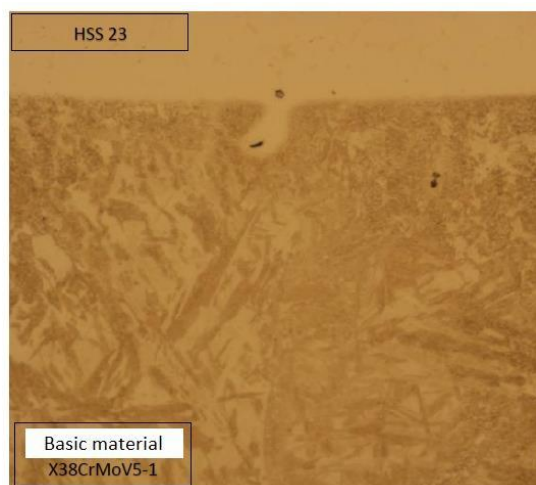


Fig. 6. Microstructure of Nibasit 625 hardfacing layer on the base material, around the melting zone

After the test, a graph based in the Fig. 7 measured values was developed, which shows hardness of individual hardfacing layers as a function of the distance from the hardface surface. The hardness of HSS 23 and HSS 30 hardfacing layers ranged from 650-850 HV 0.5. The materially different hardfacing layer Nibasit 625 reached the base material hardness level, i.e. 210-250 HV 0.5. Results of the friction coefficient evaluation are documented on the graphs in the Fig. 8.

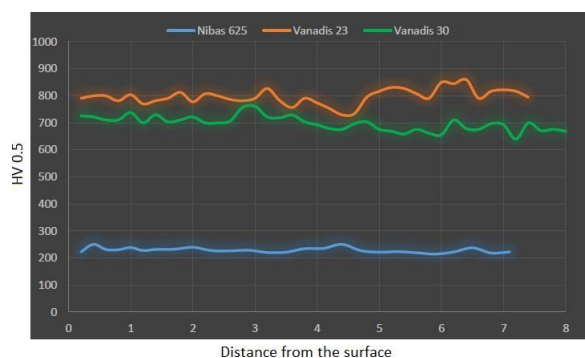


Fig. 7 Hardness comparison of individual hardfacing

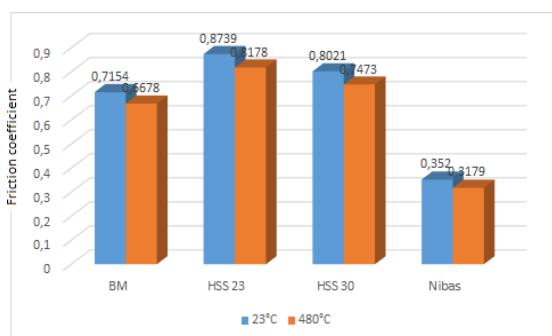


Fig. 8 Friction coefficient of a) base material X38CrMoV5-1 (1.2343), b) second layer HSS 23, c) second layer HSS 30, d) second layer Nibasit 625

Based on the friction coefficient results it can be stated that the second layer of the hardface metal made using the additive Nibasit 625 reached the lowest average friction coefficient values at 23 and 480 °C.

3 Conclusion

Paper presents the results of research into the quality of functional layers made from powder filler materials HSS 23, HSS 30 and Nibasit 625 by plasma arc hardfacing (PTA) technology. Layers were made using a Plasma hardfacing machine PPC 250 R6 on X38CrMoV5-1 base material. There were made two hardfacing layers. The quality of layers were evaluated using non-destructive and destructive tests. Surface integrity as well as the occurrence of surface defects was evaluated using Visual Testing (VT), another was Penetration Testing (PT). Surface defects were not detected on the hardfacing layers surface. As part of the destructive testing, metallographic sections were made for observation by light microscopy, electron microscopy as well as for the evaluation of the chemical composition on the surface spectra of selected parts of the samples. Occurrence of inner defects in the hardfacing layers was recorded on cross sections. After metallographic analysis, the hardness in the lines passing through the hardface metal into the base material was evaluated on the sections. The maximum values of hardness in the interval (720 HV0.5 - 850 HV0.5) were measured in the covering layers of the HSS 23 hardface metal, which is in accordance with their chemical composition and the observed martensitic structure. The lowest hardness values were measured on Nibasit 625 samples (210 HV0.5 - 250 HV 0.5). As part of experiments, the tribological properties of the newly formed hardfacing layers at four different temperatures were analyzed. The lowest friction coefficient was shown by surfaces with Nibasit 625 layer and the highest values of friction coefficient were measured on surfaces with hardfacing layers HSS 23. Based on the performed experiments it can be stated that the selected energy beam (PTA) technology of renovation of functional surfaces of casting molds is suitable. As an additional material for the restoration of exposed mold areas, all investigated additional materials can be used, but due to the low friction coefficient and also lower solubility of the hardface metal in liquid Al, it is possible to recommend a nickel-based additive, namely Nibasit 625.

Acknowledgment

This contribution is the result of the project implementation: (APVV-16-0359) supported by the Slovak Research and Development Agency; Scientific Grant Agency (1/0497/20) and Cultural and educational Grant Agency „Modernization of teaching in the field of technologies for joining construction materials” (001STU-4/2019).

References

- [1] Fang, X.Y.; Cai, Z.B.; Wang, J.G.; Yang, X.F. Evaluation of temperature-sensitive fatigue crack propagation of a high-speed railway wheel rim material. *Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structures* 2019, 42(8), 1815–1825, doi: 10.1111/ffe.13021.
- [2] Hokamoto, K.; Fujita, M.; Shimokawa, H.; Okugawa, H. J. A new method for explosive welding of Al/ZrO₂ joint using regulated underwater shock wave. *Journal of Materials Processing Technology* 1999, 85, 175–179, doi: 10.1016/S0924-0136(98)00286-6.
- [3] Kuykendall, K. An Evaluation of Constitutive Laws and their Ability to Predict Flow Stress over Large Variations in Temperature, Strain, and Strain Rate Characteristic of Friction Stir Welding, A Dissertation submitted to the faculty of Brigham Young University, 16.06.2011.
- [4] Kuykendall, K.; Sorensen, C.; Nelson T. A Comparison of Experimental Data and Model Predictions with Constitutive Laws Commonly used to Model Friction Stir Welding John Wiley and Sons, Inc, San Diego, CA, USA, 2011, doi: 10.1002/9781118062302.ch41.
- [5] Tello, K.; Gerlich, A.; Mendez, P. Constants for hot deformation constitutive models for recent experimental data. *Science and Technology of Welding and Joining* 2010, 15, 260–266, doi: 10.1179/136217110X12665778348380.
- [6] Gallina, D. Finite element prediction of crack formation induced by quenching in a forged valve. *Engineering Failure Analysis* 2011, 18, 2250–2259, doi: 10.1016/j.engfailanal.2011.07.020.
- [7] Souki, I.; Delagnes, D.; Lours P. Influence of heat treatment on the fracture toughness and crack propagation in 5% Cr martensitic steel. *Procedia Engineering* 2011, 10, 631–637, doi: 10.1016/j.proeng.2011.04.105.
- [8] Qiao, M.; Zhou C. Hot corrosion behavior of Co modified NiAl coating on nickel base superalloys. *Corrosion Science* 2012, 63, 239–245, doi: 10.1016/j.corsci.2012.06.027.
- [9] Hassannejad, H.; Nouri, A. Formation of β -NiAl nanocomposite coating by electrodeposition and effect of cerium ion doping on its oxidation mechanism. *Ceramics International* 2017, 43, 9979–9984, doi: 10.1016/j.ceramint.2017.05.010.

Correspondence address:

Ing. Jakub Brezina
Technical university of Kosice
Faculty of mechanical engineering
Department of Technology,
Materials and Computer Aided Manufacturing
Mäsiarska 74, Košice 040 01
Tel.: +421 055/602 3519

OPTIMALIZATION OF TRIP STEEL WELDING PROCESSES

Denis CMOREJ, Ľuboš KAŠČÁK

Technical University of Košice, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Technology, Materials and Computer
Support of Production, Letná 9, 042 00 Košice, Slovakia
denis.cmorej@tuke.sk, lubos.kascak@tuke.sk

Abstract: (max. 100 words)

The paper focuses on the analysis of the influence the parameters of resistance spot welding. Resistance spot welding is one of the most productive technologies for joining metallic materials. The application of resistance spot welding is still the most used joining method in car body production. The influence of the parameters of resistance spot welding was determined by experiment and the optimal parameters for achieving the highest load-bearing capacity of joints for the material TRIP40 / 70 with a thickness of 0.77 mm were determined.

Key words: (max. 5)

Resistance spot welding (RSW), TRIP steel, tensile test, metallography

INTRODUCTION

Nowadays, there are several important reasons for using TRIP steel sheets in the manufacture of car bodies. Car manufactures choose the steel with good fatigue resistance and ability to absorb impact energy. One of the most used steels, with fulfill these criteria are TRIP steels. TRIP steel is a class of high-strength steel used in the automotive industry. TRIP means "Transformation-induced plasticity". TRIP steel is known to have an excellent combination of strength and ductility. TRIP steels possess a microstructure consisting of austenite with sufficient thermodynamic instability such that transformation to martensite is achieved during loading or deformation. Many automotive TRIP steels possess retained austenite within a ferrite matrix, which may also contain hard phases like bainite and martensite [1-7].

Resistance spot welding (RSW) is one of the best known and most used method of joining high-strength steels. RSW as technology is highly used in the automobile industry. This process consists of generating heat by means of a welding current. One of the advantages of resistance spot welding is high process intensity. The parameters of resistance spot welding are the welding current, welding time and the pressing force of the electrode, which affect the quality of the resulting joint [8-11].

The paper deals with the evaluation of joints created by resistance spot welding on high-strength steel sheets TRIP 40/70.

1 MATERIALS AND METHODS

1.1 RESISTANCE SPOT WELDING

Resistance spot welding is high efficiency process. Resistance spot welding is the process to join materials by the means of heat and pressure. The heat is generated by the transient resistance of the material to electric current, which is combination of bulk resistance (within the material) and contact resistance (electrode-material and material-material). Electrodes made of copper or copper alloys are used to conduct electric current and to pressure the welded materials. When an electric current passes at the point of contact, heat is generated by the welded material putting an electrical resistance [12-14]. This heat melts the materials at the faying interface and they are subsequently welded (the process is shown in Figure 1).

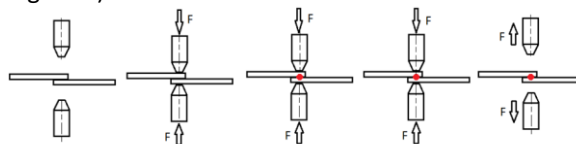


Figure 1. The principle of the resistance spot welding

A BPK 20 spot welder, manufactured by VTS Elektro Bratislava, was used for sheet metal welding

(see Figure 2.). The BPK 20 pneumatic spot welder welds materials to thicknesses of 5 mm and allows changing the required welding parameters (welding times, welding electrode pressure, welding current).



Figure 2. BPK 20 pneumatic resistance spot welder

Electrodes of CuCr (A2 / 1) material according to the ON 42 3039.71 standard were used for welding. The diameter of the contact surface of the electrode was $d = \varnothing 5$ mm. The parameters recommended by the International Welding Institute were used in the selection of spot welding parameters.

Welding was performed at a pressing force $F_z = 4$ kN, with a welding time of 12 periods on a given spot welder. The welding current (I) was different in the range of 4.5 to 8 kA for each set of samples (sample A- sample I) - see Table 1.

Six sample welds were performed at individual current values, of which one sample was left for metallographic observation.

TABLE 1
WELDING PARAMETERS USED FOR MATERIAL TRIP40/70

Sample	F_z [kN]	t [per. (1per. = 0.02s)]	I [kA]
A	4	12	4.5
B	4	12	5
C	4	12	5.4
D	4	12	6
E	4	12	6.4
F	4	12	6.7
G	4	12	7.2
H	4	12	7.6
I	4	12	8.1

1.2 USED MATERIAL

A high-strength hot-dip galvanized steel sheets TRIP 40/70 manufactured by VOESTALPINE Austria, 0.77 mm thick, were used for the experiments.

TRIP steels are also called multiphase steels as they contain at least two different structural components, e.g. a relatively soft phase, which forms a matrix (ferrite) and allows achieving good

compressibility and a hard phase to achieve a high tensile strength.

Table 2 shows the basic mechanical properties. The chemical composition of the steel sheet is shown in Table 3.

TABLE 2
BASIC MECHANICAL PROPERTIES OF TRIP 40/70

$R_{p0.2}$ (MPa)	450
R_m (MPa)	766
A_{80} (%)	26%
N_{90}	0.278

TABLE 3
CHEMICAL COMPOSITION OF MATERIALS USED (%WT)

Material	Chemical composition				
	C	Mn	Si	P	Al
TRIP 40/70 [0.77 mm]	0.204	1.683	0.198	0.018	1.731
	Nb	Ti	V	Mo	Cr
	0.004	0.009	0.004	0.008	0.055

Samples with dimensions of 40 x 90 mm were cut from sheet metal sheets 0.77 mm thick on NTE 2000 / 6.3 electric shears. On these samples, after cutting, lines were marked at a distance of 32 mm from the edge of the sheet to indicate the location of the welds. Sample preparation for resistance spot welding consisted of cleaning and degreasing of joined parts. The dimensions of the samples used were determined according to DIN 50 124- see Figure 3 and Table 4.

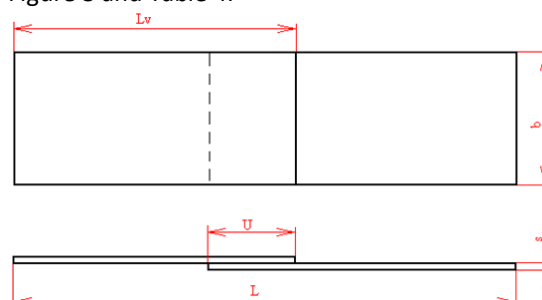


Figure 3. Sample dimensions for tensile test

TABLE 4
DIMENSIONS OF THE SAMPLE

s [mm]	L_v [mm]	b [mm]	U [mm]	L [mm]
0.77	90	40	32	148

1.3 TENSILE TEST

In the experiment, the load-bearing capacity of resistance spot welded joints was measured. A test according to DIN 50 124 was used to evaluate the load-bearing capacity of joints created by resistance

spot welding. The test was carried out on the TIRA test 2300, see Figure 4.



Figure 4. TIRA test 2300

1.4 METALLOGRAPHIC OBSERVATIONS OF CREATED JOINTS

Microscopic analysis of welds was performed on prepared metallographic sections on a light microscope TH 4 - 200, manufactured by OLYMPUS OPTICAL CO. (Figure 5) Photo documentation was made from the observations.



Figure 5. Microscope TH 4 – 200

Using light microscopy, it is possible to monitor the cleanliness of the contact surfaces, the character of the structure, the presence of oxides, the heat affected zone, the type of joint (cold or fusion joint), the occurrence of various internal defects and also the size of the weld nugget.

2 ANALYSIS OF ACHIEVED RESULTS

2.1 RESULTS OF TENSILE TEST

In this part of the work are shown measured values after tensile test of welded joints. The measured values of the load-bearing capacity F_{max} and the determination of the type of welded joint are given in Table 5. The table shows all values for samples A, B, C, D, E, F, G, H, I.

TABLE 5
MEASURED VALUES OF LOAD-BEARING CAPACITY - F_{max}

Sample	F_{max} [N]	Sample	F_{max} [N]	Sample	F_{max} [N]
A1	6926	B1	7342	C1	6733
A2	6798	B2	7447	C2	7357
A3	7273	B3	7301	C3	7215
A4	7176	B4	7494	C4	7841
A5	6994	B5	7863	C5	7295
Average	7033	Average	7489	Average	7288
Sample	F_{max} [N]	Sample	F_{max} [N]	Sample	F_{max} [N]
D1	7777	E1	6053	F1	8482
D2	8127	E2	8228	F2	8619
D3	7198	E3	6898	F3	6181
D4	7237	E4	6923	F4	7881
D5	7522	E5	6958	F5	7727
Average	7581	Average	7008	Average	7778
Sample	F_{max} [N]	Sample	F_{max} [N]	Sample	F_{max} [N]
G1	8986	H1	9323	I1	7522
G2	7522	H2	8432	I2	8035
G3	8843	H3	7756	I3	7079
G4	8814	H4	6721	I4	6335
G5	8432	H5	7725	I5	8578
Average	8519	Average	7991	Average	7509

The weld load-bearing capacity values F_{max} ranged from 6035 N to 9323 N. The average load-bearing capacity F_{max} was calculated for each sample. From these average values, a graphical course of the average values of load-bearing capacity of the welded joint was subsequently constructed at individual values of the welding current - see Figure 6. All values were created at the pressing force $F_z = 4\text{ kN}$ and the welding time $t = 12$ periods. Tensile test were executed under displacement control conditions on the specimen configurations in order to characterize the static behavior of the joints and to estimate the ultimate tensile strength. The maximum shearing load was the most significant value obtained from the "load-displacement" curves as shown in Figure 6. Figure 7 shows the average values of the force F_{max} measured during the tensile test.

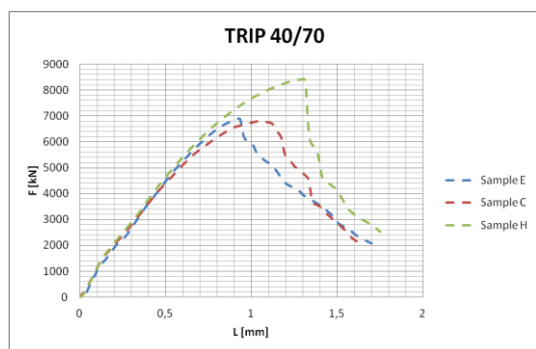


Figure 6. Load-displacement curves for material TRIP40/70

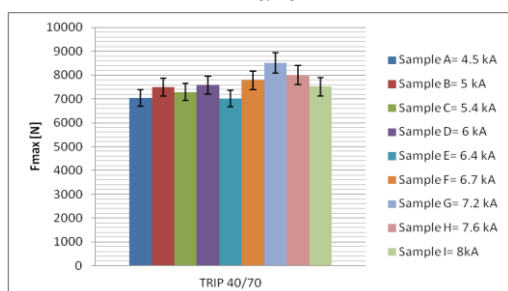


Figure 7. Graph of average values of load-bearing capacity of joints after tensile test for material TRIP 40/70

It can be seen from the graph that the maximum value of the load-bearing capacity of the welded joint was reached at the welding current $I = 7.2$ kA. The value of the load-bearing capacity of the weld increased from the increasing value of the current up to sample G, where the maximum load-bearing capacity was reached. In other measurements (increasing the welding current) the load-bearing capacity has already decreased. It is clear that a further increase in the welding current resulted in a decrease in the load-bearing capacity. Within the investigated parameters and in terms of bearing capacity of the spot weld, it is most suitable to use a welding current $I = 7.2$ kA.

2.2 METALLOGRAPHIC OBSERVATION

The parameters of thermo mechanical processing affect the resulting microstructure of TRIP steel. In this part of the paper, the structure of the material and the structure of welded joints were investigated by means of metallographic analysis.

2.2.1 SAMPLE A ($I=4.5$ kA)

The lowest values of welding current ($I_1 = 4.5$ kA) were used to create this welded joint. The lowest load-bearing capacity was also measured for

these samples. No cracks or cavities were visible in the weld- see Figure 8.

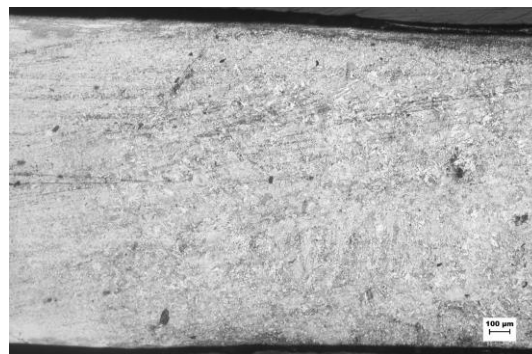


Figure 8. Microstructure of sample A

Figure 9 shows the formation of a structure in the core of the weld nugget. The sample is displayed in 200x magnification.

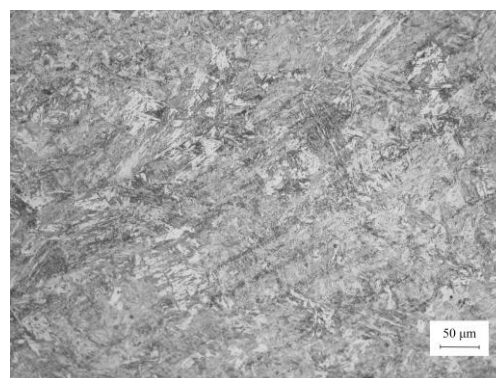


Figure 9. Microstructure of weld nugget-Sample A-200 x magnifications

2.2.1 SAMPLE I ($I=8$ kA)

Welding current $I = 8$ kA were used to create the welded joint. The weld nugget is high, with the heat affected area in a relatively narrow range. Significant deformations on the surface of the joined materials can be seen.

The use of this welding current is therefore unsuitable not only in terms of the load-bearing capacity of the weld, but also in terms of evaluating the microstructure of the resistance spot weld. The microstructure view of Figure 10 shows a weld with a markedly dendritic structure in the heat affected zone.

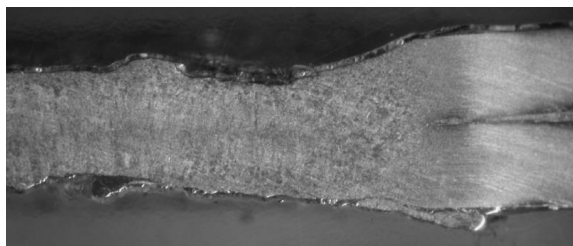


Figure 10. Microstructure of sample I

Figure 10 shows the formation of a structure in the core of the weld nugget. The cavity caused by the shrinkage of weld metal, can be seen in the micrograph (Figure 11). The sample is displayed in 200x magnification.



Figure 11. Microstructure of weld nugget-Sample I-200 x magnifications

3 CONCLUSIONS

In article, the possibilities of resistance spot welding of TRIP steels were investigated. Within the paper, parameters for resistance spot welding of TRIP steels were proposed. To evaluate the properties of the resulting welded joints, a tensile test was used to determine the load-bearing capacities of spot welds.

Based on the results obtained from experiments, we can state:

- with increasing value of welding current, the value of load-bearing capacity also increased, but only up to the value of welding current $I = 7.2$ kA (sample G)
- further increase of the welding current above the value $I = 7.2$ kA did not bring a positive effect, because there was a significant decrease in the load-bearing capacity of the welded joint
- from the point of view of the load-bearing capacity of the welded joint, the most suitable is the

use of welding current $I = 7.2$ kA, within the examined welding parameters

- with increasing value of the welding current, the size of the welding lens changed at the expense of the heat-affected area and also the imprints of the welding electrodes changed significantly

• at high values of welding current, the electrodes overheated, which resulted in excessive wear of the welding electrode tips, which was reflected in the surface of the weld with a significant brass layer

- for joining TRIP steels 40/70 with a thickness of 0.77 mm, with a pressing force $F = 4$ kN and a welding time $t = 12$ periods, it is most watery to use a welding current $I = 7.2$ kA within the examined parameters.

References

- [1] ADAMCZYK, J.- GRAJCAR A.: Structure and mechanical properties of DP-type and TRIP-type sheets obtained after the thermomechanical processing. *Journal of Materials Processing Technology*. Vol. 162-163. 2005. p.267-274.
- [2] FISCHER, F.D. et al.: A new view on transformation induced plasticity (TRIP). *International Journal of Plasticity*. Vol.16. 2000. P.1937-1947.
- [3] VALERA, J. et al.: Optimization of electrical parameters in Resistance Spot Welding of dissimilar joints of micro-alloyed steels TRIP sheets. *Procedia Manufacturing*. Vol.13. 2017. P.291-298.
- [4] GITAE, P. et al.: Effects of in-situ post-weld heat treatment on the microstructure and mechanical properties of the coarse-grained heat-affected zone in a resistance spot weld in medium Mn TRIP steel. *Materials Science and Engineering:A*. Vol. 788. 2020. 139477.
- [5] Wang, W. et al.: Microstructure and mechanical properties of friction stir welded joint of TRIP steel. *Journal of Manufacturing Processes*. Vol.56. 2020. p.623-632.
- [6] VARGAS, V.H. et al.: Characterization of resistance spot welded transformation induced plasticity (TRIP) steels with different silicon and carbon contents. *Journal of Manufacturing Processes*. Vol.32. 2018. p.307-317.
- [7] MIRONOV, S. et al.: Microstructure and tensile behavior of friction-stir welded TRIP steel. *Materials Science and Engineering:A*. Vol.717. 2018. p.26-33.

- [8] BIRADAR, A.K.- DABADE B.M.: Optimization of resistance spot welding process parameters in dissimilar joint of MS and ASS 304 sheets. *Materialstoday:proceedings*. Vol.26. 2020. p.1284-1288.
- [9] KAŠČÁK, Ľ. – SPIŠÁK, E. – MUCHA, J.: Clinchrivet as an alternative method to resistance spot welding. *Acta Mechanica et Automatica*. Vol.26. 2013. p.79-82.
- [10] WATMON, T.B. – WANDERA, C. – APORA, J.: Characteristics of resistance spot welding using annular recess electrodes. *Journal of Advanced Joining Processes*. Vol.2. 2020. 100035.
- [11] SHAMSUJJOHA, M. et al.: Mechanisms of paint bake response in resistance spot-welded first and third generation AHSS. *Materialia*. Vol. 15. 2021. 100975
- [12] WANG, Y. – TAO, W. – YANG, S.: A method for Improving Joint Strenght of Resistance Spot Welds of AA 5182-O Aluminium Alloy. *Journal of Manufacturing Processes*. Vol.45. 2019. p.661-669.
- [13] CHABOK, A.- VAN DER AA, E. – PEI, Y.: A study on the effect of chemical composition on the microstructural characteristics and mechanical performance of DP1000 resistance spot welds. *Materials Science and Engineering:A*. Vol.788. 2020. 139501.
- [14] BEMANI, M. – POURANVARI, M.: Microstructure and mechanical properties of dissimilar nickel-based superalloys resistance spot welds. *Materials Science and Engineering: A*. Vol.773. 2020. 138825

Acknowledgment

This work was supported by the project APVV-17-0381 - Increasing the efficiency of forming and joining parts of hybrid car bodies and project VEGA No. 1/0259/19 - Research of innovative forming and joining methods to improve the utility properties of thin-walled components.

Correspondence address:

Ing. Denis Cmorej
Technical University in Košice
Faculty of Mechanical Engineering
Department of Technology, Materials and
Computer Support of Production
Letná 9, 042 00 Košice
Tel.: +421 918 785 562
Email: denis.cmorej@tuke.sk

DIZAJN INDIVIDUÁLNEHO IMPLANTÁTU NA ÚPRAVU BALANSU PRE SOKOLA SŤAHOVAVÉHO (*Falco peregrinus*) PO AMPUTÁCII KRÍDLA

¹Gabriela DANCÁKOVÁ, ²Nicole BROUWER, ¹Samuel LANCOŠ, ¹Marek SCHNITZER,
¹Viktória RAJTÚKOVÁ, ²Ladislav MOLNÁR, ¹Miroslav KOHAN, ¹Marianna TREBUŇOVÁ,
¹Jozef ŽIVČÁK, ¹Radovan HUDÁK

¹ Faculty of Mechanical Engineering, Department of Biomedical Engineering and Measurement, Technical University of Košice, Letná 9, 042 00 Košice, Slovakia

² Clinic of Birds, Exotic and Free Living Animals, University of Veterinary Medicine and Pharmacy in Košice, Komenského 73, 041 81 Košice, Slovakia

gabriela.dancakova.2@tuke.sk, nicobroros@hotmail.com, samule.lancos@tuke.sk, marek.schnitzer@tuke.sk,
viktoria.rajtukova@tuke.sk, ladislav.molnar@uvlf.sk, miroslav.kohan@tuke.sk, marianna.trebunova@tuke.sk,
radovan.hudak@tuke.sk, jozef.zivcak@tuke.sk

Abstract:

Predkladaná štúdia sa zaoberá individuálnym návrhom prototypu implantátu krídla, ktorý má zabezpečiť nápravu balančných vlastností u sokola sťahovavého po traumatickom zranení, s následnou chirurgickou amputáciou poranenej časti krídla. Na zistenie rozmerov a tvaru prototypu implantátu boli použité RTG snímky poranenej dravca. Následne bol navrhnutý dizajn jednotlivých typov a veľkostí implantátov, ako aj povrchová porézna štruktúra. Prototyp implantátu bol vyrobený z biokompatibilného materiálu pomocou 3D tlač.

Kľúčové slová:

Falco peregrinus, krídlo, implantát, MED610

ÚVOD

Poranenia u voľne žijúcich dravých vtákov sú pomerne časté. Spôsoby, akými dochádza k ich zraneniam môžu byť rôzne. Jedná sa o strelné poranenia (zvýšený počet u denných dravcov), ktoré majú za následok zlomeniny končatín, zlomené alebo chýbajúce perie. V konečnom dôsledku tieto zranenia vážne narúšajú štruktúru krídla. Medzi ďalšie kategórie nehôd, pri ktorých vznikajú poranenia vtákov sú kolízie s vozidlami, rezné poranenia a iné typy kolízií či napadnutia ostatnými dravcami. U nočných dravcov je zvýšený výskyt kontaktu s ostatnými drôtmami [25][25][27].

Zdravie dravých vtákov ohrozuje aj elektrické vedenie. Tieto kolízie spôsobujú do značnej miery hlavne odpočinok na elektrickom vedení, častokrát je to výhodné miesto pri love, prípadne jeho využitie ako bidlo. Elektrické vedenie je vtákmi často využívané aj pre pristávanie a vzlet [28].

Pomerne veľké telo dravcov taktiež navyšuje riziko kontaktu s cudzími telesami. Medzi takto ohrozené dravce patria orly, jastraby a veľké sovy [29].

Aditívna výroba postupom času nachádza čoraz väčšie uplatnenie aj vo veterinárnej oblasti [36]. Jedným z možných využití je atypický spôsob liečenia v ortotike zvierat [1-6]. Výroba 3D náhrad má vo veterinárnej protetike veľký význam pri život ohrožujúcich zraneniach akými sú napr. okrem poranení krídel aj poranenia zobákov a končatín [9]. Galicia a kolektív **Error! Reference source not found.** vyvinula protetickú náhradu pre ľavú nohu amazónskeho papagája vyrobenú pomocou 3D tlač. Ranganathan a kol. [31] rovnako využili možnosť aditívnej výroby a navrhli tak individuálnu protézu pre páva s amputovanou končatinou.

Používanie 3D tlač ako nástroja pre výrobu protetických krídel nie je v oblasti veterinárnej medicíny bežné. Z tejto oblasti existuje len málo publikovaných článkov (American kestrel, Broad-winged hawk) [32][33]. Aj to je jeden z dôvodov, prečo 3D tlač v tejto oblasti môže nájsť v budúcnosti využitie aj vo veterinárnej medicíne. 3D tlač sa vo veterinárnej medicíne v súčasnosti využíva hlavne pri výrobe anatomických modelov zvieracích častí tela [34][34].

Naším cieľom bolo vytvorenie dizajnu a modelu prototypového protetického implantátu

vyrobeného aditívnou technológiou pre krídlo poraneného sokola sťahovavého (*Falco peregrinus*).

1. MATERIÁLY IMPLANTÁTU A METÓDY VÝSKUMU

1.1 Materiály individuálneho implantátu

Na výrobu prototypu bol použitý polymetylmetakrylát MED610 (*Stratasys, Rehovot, Izrael*) s podporným materiálom FullCure705 (*Stratasys, Rehovot, Izrael*). Materiál MED610 je vhodný pre medicínske a veterinárne aplikácie vďaka svojej biokompatibilite, ktorá umožňuje kontakt s kožou 30 dní a 24 hodín v kontakte so sliznicou resp. kosťou. Mechanické vlastnosti materiálu MED610 (pevnosť v ťahu MED610 je 50 MPa až 65 MPa, a pevnosť v ohybe je 75 MPa až 110 MPa) umožňujú výrobu a aplikáciu pre rôzne využitie vo veterinárnej oblasti [23].

1.2 Metódy experimentálneho výskumu

Prípadová štúdia sa zaoberá návrhom prototypu protetického implantátu krídla pre sokola sťahovavého. Jednalo sa o mladého sokola, ktorý bol prinesený na veterinárnu kliniku s nefunkčným ľavým krídlom. Traumatické zranenie bolo spôsobené v dôsledku napadnutia iným sokolom. To spôsobilo nekrózu okolitého tkaniva a kosti špičky krídla v proximálnej časti *radiusu* a *ulny*. Nakoľko rekonštrukcia krídla nebola možná, pristúpilo sa k amputácii poškodených kostí.

Po zotavení sa z počiatočných zranení a pooperačného procesu, sme navrhli využitie aditívnej technológie pre rekonštrukciu chýbajúcej časti krídla.

Ako vstupné dáta pre vypočítanie rozmerov prototypu implantátu boli použité RTG snímky, ktoré boli nasnímané z rôznych uhlov poškodennej oblasti pomocou RTG zariadenia s nastavením 38 kV a 2 mAs. S ohľadom na RTG snímky bol určený tvar a veľkosť prototypu implantátu krídla. Avšak RTG snímky neposkytujú príliš presné informácie o rozmeroch a celkovom tvare. Pre získanie potrebných dát preto do budúcnosti navrhujeme využitie CT skenovania. Z CT skenu by sa následne vybral 3D model zvyškovej časti kosti pre presnejšiu rekonštrukciu.

Keďže sa u vtákov jedná o špeciálny typ pneumatických kostí, ktoré vykazujú vysokú pevnosť pri relatívne nízkej hmotnosti [21], výber materiálu finálneho implantátu tak podliehal prísnyh kritériám. Prihliadalo sa najmä na celkovú hmotnosť implantátu. Ak by celková hmotnosť finálneho implantátu prevyšovala fyziologickú hmotnosť stratenej časti krídla, mohlo by sa to

prejaviť pri stabilite a udržaní rovnováhy počas letu, čím by sa stal implantát neúčinným. Okrem vyššie uvedeného, musí materiál spĺňať aj mnohé iné kritéria ako biokompatibilitu či osseoinduktivitu. Nakoľko jedna časť implantátu mala mať priamy kontakt s okolitým prostredím, materiál nesmel podliehať degradácii UV žiarením.

Dizajn implantátu bol realizovaný na základe návrhu a konzultácie s veterinárnou praxou.

Materiály, ktoré spĺňali dané požiadavky bolo možné rozdeliť do dvoch skupín na kovové a nekovové. Z kovových materiálov spĺňal dané podmienky titán, ktorý je rovnako používaný aj pre implantáty v oblasti ľudskej medicíny.

Z nekovových materiálov sa vďaka svojim osseoinduktívnym vlastnostiam a UV stálosti [22] ako vhodná alternatíva javil PEEK (polyetereterketón). Kontrolná prototypová vzorka pre posúdenie korektnosti dizajnu pred samotnou 3D tlačou originálneho implantátu bola vytlačená z materiálu MED610.

2. 3D MODELOVANIE NÁVRHU INDIVIDUÁLNEHO IMPLANTÁTU

Na základe RTG snímok, boli určené tri veľkosti (malá, stredná, veľká) pre daný implantát. Samotný model, by sa dal rozdeliť na 3 časti podľa ich miesta umiestnenia interná (proximálna), krčková (prechodná) a externá (distálna) časť implantátu.

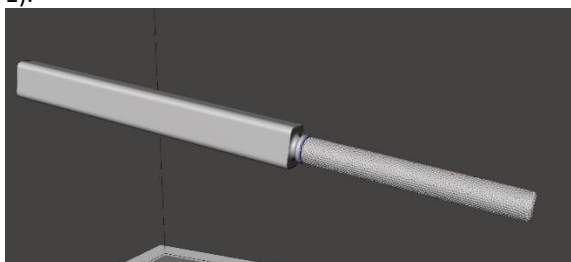
Okrúhly prierez tvaru prvej (internej) časti bol podmienený fyziologickým tvarom kosti. Táto časť mala byť v priamom kontakte s kosťou a vsunutá do jej dutiny. Pri modelovaní veľkostí sa menil iba priemer kruhovej podstavy (4mm, 7mm a 10mm). Dĺžka tejto časti ostávala vo všetkých troch veľkostných variantoch konštantná, a to 60mm. Vo všetkých troch prípadoch bol navrhnutý plný model, ale aj model s dutinou vo vnútri, ktorého úlohou bolo zníženie celkovej hmotnosti implantátu. Povrch tejto časti bol navyše špeciálne upravený poréznym povrchom, ktorý mal zabezpečiť zvýšenú retenciu implantátu v kosti.

Druhá časť implantátu, krčok, tvoril prechodný segment medzi vnútorným a vonkajším prostredím implantátu. Rozmery boli oproti vnútornej časti zväčšené o 1 mm. Vnútro krčkovej oblasti malo vyplnený objem (solid infill), aby nedochádzalo ku komunikácii vonkajšieho a vnútorného prostredia, čím by sa predišlo možnému vzniku infekcie v kosti.

Pre modelovanie implantátu boli použité dva softvéry – Creo Parametric 3.0 a Meshmixer od spoločnosti Autodesk. V programe Creo Parametric

3.0 bol namodelovaný základný tvar implantátu. Program Meshmixer bol využitý najmä pri vytváraní porézneho povrchu.

Koncovú, externú časť implantátu tvoril kváder opäť v troch veľkostných rozmeroch (7x12mm, 8x12mm a 11x12mm). Podobne ako pri vnútornom segmente, mala táto časť konštantnú dĺžku a to 100mm. Steny kvádra mali hrúbku 1 mm pre hornú a dolnú plochu a 2,5 mm pre prednú a zadnú plochu. Vznikol tak dutý priestor vo vnútri segmentu, čo malo v konečnom dôsledku rovnako ako pri internej časti vplyv na konečnú hmotnosť implantátu. Hrúbka stien zároveň tvorila veľkosť plochy potrebnej pre fixáciu poškodeného peria veterinárnym lekárom postoperačne (Obrázok 1).



Obrázok 1. 3D model finálnej verzie implantátu

2.1 Oprava poškodeného/chýbajúceho peria

Oprava poškodeného peria u vtákov je nevyhnutná kvôli samotnej rehabilitácii. Ak má vták jedno alebo viac poškodených kusov peria, znemožňuje mu to optimálny let [24].

“Imping” peria je oprava kompletne zlomeného peria. Perie môže byť zlomené v celom priečnom priereze jeho brka. Ostávajúca časť brka môže, ale nemusí ostať viditeľná. Nápravou je vloženie materiálu do brka v jeho oboch častiach a ich fixácia. Chýbajúci kúsok musí byť v presnej pozícii, rovnakého veku a veľkosti [24][27].

V danej prípadovej štúdií išlo o amputáciu, koncovej časti krídla chýbala časť peria. Navrhovaným riešením bola postoperačná úprava koncovej (externej) časti implantátu navrtaním drážok v správnom uhle a počte s následnou fixáciou peria. To by umožnilo takmer kompletnú rehabilitáciu chýbajúcej časti krídla.

Po konzultáciách a ukážke jednotlivých typov a veľkostí počítačových modelov implantátov boli vytlačené dva typy modelov. Aditívnu výrobu z materiálu MED610 s použitím tlačiarne OBJET Eden 260. Tieto modely slúžili na posúdenie a výber konečného typu implantátu, ktorý mal byť vytlačený z PEEK.

DISKUSIA VÝSLEDKOV

Výskum v oblasti postamputačnej rehabilitácie krídel vtákov poukázal na množstvo chýbajúcich poznatkov danej problematiky. Pri rozsiahlejšom poranení krídel s následnou amputáciou, došlo k protetickej rehabilitácii len v ojedinelých prípadoch. Limitujúcim faktorom ovplyvňujúcim postamputačnú liečbu a rehabilitáciu je dizajn protetického implantátu, ktorý by aspoň čiastočne kompenzoval stratu chýbajúceho tkaniva. Nemenej dôležitým kritériom je aj množstvo a tvar zvyšku kosti, ktorá by umožňovala dostatočnú fixáciu pre upevnenie implantátu. Ak by distálna časť amputovanej kosti nemala priamy, ale zaoblený tvar, tento problém by bolo možné vyriešiť z hľadiska dizajnu samotného implantátu. Sériový kĺbový segment, by sa danému tvaru dokázal prispôbiť a tým zvýšil priestor pre fixáciu implantátu v kosti.

Biokompatibilita materiálov a výber finálneho materiálu, vhodného pre využitie v oblasti implantológie u vtákov si rovnako vyžaduje zvýšenú pozornosť a ďalší výskum.

Využitie aditívnej výroby a individuálneho dizajnovania by tak našlo vo veterinárnej oblasti využitie nie len v prípadoch zameraných na vedecký výskum. Mohlo by sa zaradiť aj ako bežný liečebný postup pre reparáciu trvalých defektov u zvierat a rozšíriť tak veterinárnym lekárom možnosti liečby. K trvalým poškodeniam tvrdých tkanív u zvierat patria defekty spôsobené nie len traumatickým, ale aj nádorovým poškodením.

ZÁVER

Použitie protetických náhrad krídel má dôležité miesto vo veterinárnej medicíne pre lietavé druhy živočíchov a veľký potenciál pre budúci výskum z dôvodu minimálneho predchádzajúceho výskumu.

Štúdia vykonaná na zvieracom modeli pre sokola sťahovavého odhalila niekoľko faktorov ovplyvňujúcich využitie protetických implantátov takéhoto druhu. Ide nielen o množstvo zvyškovej kosti, ktoré limituje plochu pre intraoseálnu fixáciu implantátu, ale aj fyziologické zakrivenie „S“ tvaru a štruktúry u kostí vtákov. V danej oblasti je tak vhodný ďalší výskum a to nie len z dizajnového hľadiska, ale aj interakcie kostného tkaniva s biokompatibilnými materiálmi vhodnými pre takýto typ použitia.

Navrhnutý prototyp implantátu s funkciou pre udržanie a vyrovnávanie balansu u vtákov s amputovaným krídlom sa javí ako jedno z riešení pre prípady takéhoto typu. Zameraním ďalšieho výskumu ako vyplýva z vyššie uvedeného by mohla byť nielen možná úprava samotného dizajnu implantátu, navrhnutím sériového pohyblivého

spojenia pre intraosseálnu časť ako riešenie problému esovitého zahnutia kostí krídla u vtákov.

Podakovanie

Tento článok vznikol za podpory KEGA 023TUKE-4/2020, KEGA 041TUKE-4/2019, KEGA 040TUKE-4, STIMULY PRE VÝSKUM A VÝVOJ: Výskum a vývoj kompozitných a biodegradovateľných materiálov pomocou inteligentných aditívnych technológií a ich testovanie v zmysle medzinárodných noriem pre personalizovanú medicínu a tkanivové inžinierstvo 1233/2018, Otvorená vedecká komunita pre moderný interdisciplinárny výskum v medicíne (OPENMED) - ITMS2014+: 313011V455

Referencie

- [1] TAMPI, Tarun. 10 ANIMALS WHO GOT A 2ND CHANCE IN LIFE WITH 3D PRINTING. *3D Printing Industry* [online]. 22.06.2015 [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <https://3dprintingindustry.com/news/10-animals-who-got-a-2nd-chance-in-life-with-3d-printing-51221/>
- [2] HILL, Kyle. *3D printing gives a turtle its life back with titanium jaw implants* [online]. [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <https://nerdist.com/3d-printing-gives-a-turtle-its-life-back-with-titanium-jaw-implants/>
- [3] CULPAN, Daniel. *3D-printed titanium jaw lets turtle eat again* [online]. 18.05.2015 [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <https://www.wired.co.uk/article/sea-turtle-3d-printed-jaw>
- [4] NORTH CAROLINA STATE UNIVERSITY. *Injured sea turtle? Just print a splint!* [online]. 19.02.2014 [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <https://phys.org/news/2014-02-sea-turtle-splint.html>
- [5] TAMPI, Tarun. *3D PRINTED SHELL BRINGS TORTOISE BACK INTO SHAPE* [online]. 19.02.2014 [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <https://3dprintingindustry.com/news/3d-printed-shell-brings-tortoise-back-into-shape-45771/>
- [6] STARR, Michelle. *Robo-turtle gets a new 3D-printed face* [online]. 19.05.2015 [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <https://www.cnet.com/news/robo-turtle-gets-a-new-3d-printed-face/>
- [7] HOPPES, Sharman, M. *Traumatic Injury of Pet Birds* [online]. <https://www.msdevetmanual.com/exotic-and-laboratory-animals/pet-birds/traumatic-injury-of-pet-birds>
- [8] ARNOLD, Carrie. *Injured Animals Get Second Chance With 3-D Printed Limbs*. *National Geographic* [online]. 2016 [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <https://news.nationalgeographic.com/2016/08/prosthetics-animals-rescued-3d-dogs-cats/>
- [9] BANDEIRA, Luiza. *Mutilated toucan gets 3D-printed beak prosthesis*. *BBC* [online]. 2015 [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <https://www.bbc.com/news/world-latin-america-34039680>
- [10] ALEC. *Victoria the goose gets 2nd 3D printed beak prosthesis after failing to adapt to first model*. *3ders* [online]. 2016 [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <http://www.3ders.org/articles/20160731-victoria-the-geese-gets-2nd-3d-printed-beak-prosthesis-after-failing-to-adapt-to-first-model.html>
- [11] NICKELS, Liz. *Positive prognosis for 3D printed animal implants* [online]. 2018, , 188-192 [cit. 2019-11-18]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mprp.2018.02.036>. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0026065718300626>
- [12] SCOTT, Clare. *Gigi the Macaw is the Proud Recipient of the World's First 3D Printed Titanium Beak* [online]. 2016 [cit. 2019-11-18]. Dostupné z: <https://3dprint.com/121117/gigi-macaw-3d-printed-beak/>
- [13] *3D-printed titanium beak gives Brazilian macaw Gigi chance to crunch food for first time* [online]. 2016 [cit. 2019-11-18]. Dostupné z: <https://www.abc.net.au/news/2016-02-25/titanium-beak-gives-macaw-chance-to-crunch-food/7198934>
- [14] *Gigi the Macaw Got the World's First 3D Printed Titanium Beak* [online]. 2016 [cit. 2019-11-18]. Dostupné z: <https://www.exoticlife.com.br/single-post/2016/11/09/Gigi-the-Macaw-Got-the-World's-First-3D-Printed-Titanium-Beak>
- [15] *A 3D Printed Beak Saves This Toucan's Life*. *3D Print* [online]. 2015, 20. August [cit. 2020-02-05]. Dostupné z: <https://3dprint.com/>
- [16] ALEXANDER, Harriet. *Costa Rican toucan to receive a 3D printed beak*. *The Telegraph* [online]. 2015, 13. February [cit. 2020-02-05]. Dostupné z: <https://www.telegraph.co.uk/news/worldnews/centralamericaandthecaribbean/costarica/11410620/Costa-Rican-toucan-to-receive-a-3D-printed-beak.html>

- [17] Bald Eagle Gets 3D Printed Beak Prosthesis. *Singularity Weblog* [online]. 2012, 13. September [cit. 2020-02-05]. Dostupné z: <https://www.singularityweblog.com/bald-eagle-gets-3d-printed-beak-prosthesis/>
- [18] MOHAMMADI, Goli. *Beauty's Bionic Bald Eagle Beak* [online]. 2012, 09. August [cit. 2020-02-05]. Dostupné z: <https://makezine.com/2012/08/09/beautys-bionic-bald-eagle-beak/>
- [19] THANKS TO A 3D PRINTED BEAK A BALD EAGLE COMES BACK TO LIFE [online]. 2012, 15. September [cit. 2020-02-05]. Dostupné z: <https://rossellacoleto.wordpress.com/tag/implant/>
- [20] HARTERY, Samantha. Bionic Wildlife: 3D Printing Technology Gives Animals A Second Chance. *Roaring Earth* [online]. [cit. 2020-02-05]. Dostupné z: <https://roaring.earth/bionic-wildlife-3d-printing-technology-gives-animals-a-second-chance/>
- [21] DUMONT, Elizabeth R. Dumont. Bone density and the lightweight skeletons of birds. *The Royal Society Publishing: Proceedings of the Royal Society B*. Royal Society, 2010, **277**(1691). DOI: <https://doi.org/10.1098/rspb.2010.0117>. ISSN 1471-2954.
- [22] Panayotov, I.V., Orti, V., Cuisinier, F. et al. Polyetheretherketone (PEEK) for medical applications. *J Mater Sci: Mater Med* **27**, 118 (2016). <https://doi.org/10.1007/s10856-016-5731-4>
- [23] <https://www.stratasys.com/materials/search/biocompatible>
- [24] MULLER, M. G. 2009. *Practical Handbook of Falcon Husbandry and Medicine*. New York: Nova Science Publishers, Inc., 2009. pp. 141-149. ISBN 978-1-60741-608-1.
- [25] FARROW, C. S. *Veterinary Diagnostic Imaging: Birds, Exotic Pers and Wildlife*. Missouri: Mosby Elsevier, 2009. P. 433. ISBN: 978-0-323-0257-0
- [26] RESS, S. – GUYER, C. A Retrospective Study of Mortality and Rehabilitation of Raptors in Southeastern United States. *Journal of Raptors Research*. 2004, vol. 38, no. 1, pp. 77-81.
- [27] SCOTT, D. E. *Raptor medicine, surgery and rehabilitation*. Croydon: CABI, 2016. p. 326. ISBN-13: 978-1-78064-746-3.
- [28] BEVANGER, K. Bird interaction with structures: collision and electrocution. Causes and mitigating measures. *International Journal of Avian Science*, 1994, vol. 136, no. 4, pp. 412-425
- [29] KAGAN, R. A. Electrocution of raptors on Power Lines: A Review of Necropsy Methodes and findings. *Veterinary pathology*. DOI: 10.1177/0300985816646431, 2016, vol. 53, no. 5, pp. 1030-1036
- [30] Galicia, Cecilia & Urraca, Vanessa & Castillo, Luis & MVZ, Jaime. (2018). Design and Use of a 3D Prosthetic Leg in a Red-lored Amazon Parrot (*Amazona autumnalis*). *Journal of Avian Medicine and Surgery*. 32. 133-137. 10.1647/2017-282.
- [31] Ranganathan, Rajesh & S K, Pradeep & Pugalendhi, Arivazhagan & Arumugam, Sivasankar. (2018). Design and development of a prosthetic leg for an amputated peacock using additive manufacturing. *International Journal of Rapid Manufacturing*. 7. 356. 10.1504/IJRAPIDM.2018.095806.
- [32] OMARZU, Tim. Freya the falcon fit for prosthesis provided by Chattanooga-based company (with video) [online]. <https://www.timesfreepress.com/news/local/story/2014/nov/07/freya-the-falcon-fit-for-prosthesis/272828/>
- [33] PACE, Mark. Joe, Chattanooga's one-winged hawk, receiving prosthetic device [online]. <https://www.timesfreepress.com/news/local/story/2019/may/28/joe-chattanooga-one-winged-hawk-receiving-pr/495466/>
- [34] Hespel, Adrien-Maxence & Wilhite, Ray & Hudson, Judith. (2014). Invited review–Applications for 3D printers in veterinary medicine. *Veterinary Radiology & Ultrasound*. 55. 10.1111/vru.12176.
- [35] WULSTER, Kate. Use of 3D printing in veterinary medicine [online]. https://www.vet.upenn.edu/docs/default-source/penn-annual-conference/pac-2017-proceedings/equine-track/3d-printing---dr-wulster.pdf?sfvrsn=de43e1ba_2
- [36] Iiska WD. Marcellin-Little DI. Fskelinen FV. Sidebotham CG. Harrvsson OI. Hielm-Biörkman AK. Custom total knee replacemant in a dog with femoral condylar bone loss. *Vet Surg*. 2007;36(4):293-301. doi:10.1111/j.1532-950X.2007.00270.x

Korešpondečná adresa:

Ing. Gabriela Dancáková
Technická univerzita v Košiciach
Strojnícka fakulta
Katedra biomedicínskeho inžinierstva
Letná 9, 040 01 Košice
Tel.: +421 55 602 2655
Email: gabriela.dancakova.2@tuke.sk

ANALÝZA MOŽNOSTÍ MONITOROVANIA CNC OBRÁBACIEHO STROJA

¹ Michal Demko, ² Marek Vrabel', ³ Peter Ižol, ⁴ Matúš Lavčák, ⁵ Miroslav Greš

^{1,3} Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Katedra technológií, materiálov a počítačovej podpory výroby, Slovenská republika

^{2,5} Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Prototypové a inovačné centrum, Slovenská republika

⁴ Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Katedra konštrukčného a dopravného inžinierstva, Slovenská republika
michal.demko@tuke.sk, marek.vrabel@tuke.sk, peter.izol@tuke.sk, matus.lavcak@tuke.sk, miroslav.gres@tuke.sk

Abstract:

The paper analyzes the possibilities of communication with CNC machine tools in order to use it for the development of its own solution for monitoring the tool wear. Monitoring the condition of the tool allows to analyze the manufacturing process and look for ways to increase its efficiency. The paper provides an overview of commercially available monitoring systems, describes the procedures for connecting to CNC and data acquisition using OPC communication, ibaPDA software and diagnostic tool Trace. Also is described CNC machine tool and its control system, which was used for research purposes, as well as selected parameters and results of the performed monitoring of the tool during milling.

Key words:

data acquisition, CNC, tool monitoring, SINUMERIK

ÚVOD

Zlepšovanie konektivity, komunikácie a monitorovania výroby, za účelom zvyšovania efektivity a automatizácie výrobného procesu v súčasnosti patrí medzi hlavné smery vo vývoji výrobných zariadení. Konkrétnym príkladom takejto funkcie je monitorovanie stavu opotrebenia nástroja v CNC obrábacích centrách. Táto funkcionálna výrazným spôsobom zvyšuje efektívnosť výroby predvídaním kritického poškodenia nástroja, ktoré môže spôsobiť znehodnotenie obrábaného dielu. Tým sa eliminujú finančné straty z produkcie nepodarkov a znížia náklady na nástroje a ich servis.

Keďže sú tieto systémy monitorovania opotrebenia nástroja súčasťou iba najnovších modelov strojov, na implementáciu do starších obrábacích centier slúžia riešenia špecializovaných firiem, ktoré sú však pre menšie prevádzky finančne náročné. Z toho dôvodu sa tento príspevok zaoberá možnosťami vytvorenia základu pre vývoj vlastného monitorizačného systému.

V úvode príspevku je popísané CNC obrábacie centrum a jeho riadiaci systém. Ďalej je vytvorený prehľad rôznych možností pripojenia a získavania dát, ktoré môžu byť na účel monitorovania opotrebenia nástroja použité. Sú predstavené existujúce riešenia od viacerých spoločností. Popísané sú tiež parametre pohonov, u ktorých je predpokladaná závislosť na opotrebení nástroja.

V závere je priblížená testovacia operácia, počas ktorej bolo uskutočnené monitorovanie vybraných parametrov. Cieľom tohto monitorovania bolo zaznamenať dáta, ktoré dokazujú vplyv opotrebenia nástroja na zvolené parametre.

1. MOŽNOSTI MONITOROVANIA CNC OBRÁBACIEHO CENTRA

Možnosti prístupu k aktuálnym hodnotám premenných veličín pohonov a ich monitorovanie boli v tejto práci testované na CNC frézovačke DMG ecoMill 50 Obr. 1.



Obr. 1 DMG ecoMill 50

1.1 DMG ecoMill 50

Toto obrábacie centrum bez krytov so zásobníkom na automatickú výmenu 16 nástrojov, a tiež rozsah jeho pohybov je zobrazený na Obr. 1. Je na ňom možné obrábať súčiastky z piatich strán, a to vďaka otočnému stolu, ktorý umožňuje rotáciu okolo osí Y a Z. Ten však slúži iba na polohovanie obrobku, takže obrábať plynulými pohybmi súčasne je možné len v troch osiach X, Y a Z.

Na pohyb vretena v jednotlivých osiach sú použité AC servomotory SIMOTICS S-1FK7, ktoré sú s ich vysokým krútiacim momentom a presnosťou enkodérov využívané práve v aplikáciách, ako sú posuvy pre obrábacie stroje. Každý z nich pomocou ozubeného remeňa prenáša krútiaci moment na guľôčkovú skrutku, ktorá spolu so systémom priameho odmeriavania polohy umožňuje pohyb určitého celku stroja po lineárnom vedení s vysokou presnosťou polohovania. Maximálna rýchlosť lineárneho pohybu, ktorú tieto pohony dokážu vyvinúť je 24 m/min.

Obrábacie centrum DMG ecoMill 50 je v štandardnom prevedení vybavené inline vretenom s 12000 ot./min, ktoré je poháňané trojfázovým asynchrónnym motorom SIMOTICS M-1PH8107. Má tiež zabudovaný snímač teploty, vrátane vyhodnocovacej jednotky, ktorá zisťuje a kompenzuje geometrické zmeny spôsobené zahrievaním pri frézovaní. Vreteno je plynule programovateľné v rozsahu od 20 až po 12000 ot./min.

Na riadenie pohonov v CNC obrábacom centre DMG ecoMill 50 je použitá modulárna jednotka SINAMICS S120 Combi pre riadenie pohybu, prispôbena pre sústružnícke a frézovacie centrá. Je optimalizovaná pre riadenie 6 pohonov v obrábacích strojoch. Z toho riadenie 3 osí a vretena je integrované priamo v jednotke a na riadenie ďalších osí je možné pripojiť externé moduly v takzvanom „booksize“ prevedení.

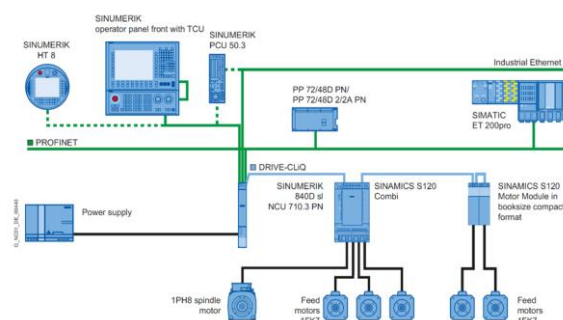
Čo sa týka NC systémov, ktorými môže byť obrábacie centrum vybavené, sú to SINUMERIK 840D sl, HEIDENHAIN TNC 620 alebo MAPPS IV. V prípade obrábacieho centra, na ktorom bolo uskutočnené nepriame monitorovanie, je to SINUMERIK 840D sl.

1.2 SINUMERIK 840D sl

NC systém SINUMERIK 840D sl je riadiaci systém obrábacích strojov (MTCS) s otvorenou architektúrou. Je schopný vysoko výkonného frézovania a sústruženia, ale aj ďalších aplikácií od CNC brúsenia, až po moderné výrobné technológie, ako je laserové obrábanie, či dokonca obrábanie pomocou robota. SINUMERIK 840D sl poskytuje

vynikajúcu modularitu komponentov práve kvôli architektúre otvoreného systému, takže CNC s týmto NC systémom možno optimálne prispôsobiť akejkoľvek technológii stroja. Tak isto podporuje rôzne komunikačné protokoly a to na všetkých úrovniach komunikácie.

SINUMERIK 840D sl pozostáva hlavne z rozhrania človek – stroj (HMI), jednotky PC (PCU), numerickej riadiacej jednotky (NCU), jednotky pre riadenie pohonov a samotných motorov. Komunikačná architektúra medzi nimi je znázornená na Obr. 2 [1].

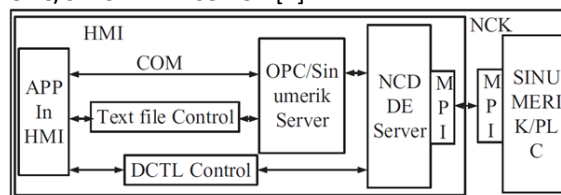


Obr. 2 Komunikačná architektúra SINUMERIK 840D sl [1]

Tmavo-zelené linky znázorňujú komunikáciu prostredníctvom priemyselného Ethernetu a PROFIBET-u. Svetlo modré zase komunikáciu DRIVE-CLiQ. [1]

NCU tak pomocou komunikačných rozhraní Ethernet, USB a PROFIBUS DP poskytuje najdôležitejšie informácie o výrobných procesoch. Jej kapacitu možno ďalej rozširovať pridaním ďalších NX modulov [2]. Samotná NCU pozostáva z výpočtového jadra kontroléra (NCK), programovateľného logického kontroléra (PLC) a ďalších modulov, ktoré poskytujú základné funkcie, ako je ukladanie údajov a generovanie alarmov. NCU a NCK sú prepojené pomocou multi-point-interface-bus (MPI-bus), čo je aplikačná zbernica založená na topológii a protokole PROFIBUS. [3]

Obr. 3 znázorňuje prenos stavových dát medzi aplikáciami HMI a riadiacou jednotkou NCK len cez rozhranie NCDDE servera. Na výmenu dát a interakciu súborov medzi aplikáciami HMI a serverom NCDDE následne existujú dve metódy. Jednou z nich je prístup pomocou DCTL a druhou je OPC/SINUMERIK server. [4]

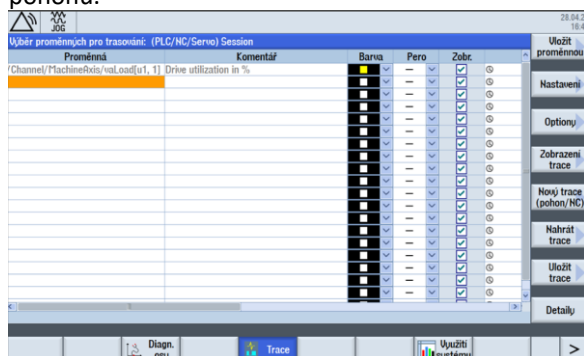


Obr. 3 Prenos dát do HMI [4]

1.3 Možnosti prístupu k dátam

Riadiaca jednotka zaznamenáva celý rad údajov, ako napr. krútiaci moment pohonov, výkon, rýchlosť, zaťaženie, teplotu vinutia pohonov a mnoho ďalších, ktoré môžu byť použité na monitorovanie technologického procesu. Existujú rôzne spôsoby získania prístupu k týmto údajom.

Jednou z možností je využitie diagnostického nástroja Trace (Obr. 4), čo je vstavaná funkcionálna v SINUMERIK Operate - HMI obrábacieho centra. Možno ním zaznamenávať a graficky zobrazovať akékoľvek časové priebehy systémových premenných z NC riadenia alebo z pohonov. K dispozícii je možnosť výberu sledovania premenných PLC/NC/Servo alebo premenných pohonu.



Obr. 4 Diagnostický nástroj Trace

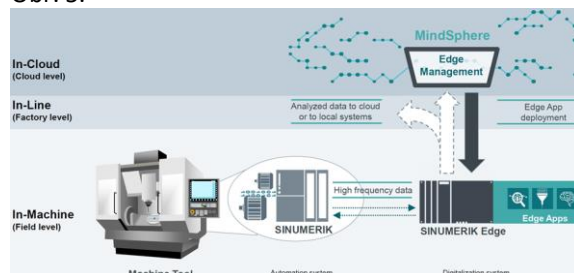
Zaznamenané priebehy je možné uložiť a exportovať ako dokument vo formáte xml alebo csv. Následne je možné importovať uložený súbor do Excelu, Matlabu alebo iných programov. [5]

Výhodou interného záznamu stavových veličín prostredníctvom diagnostického nástroja Trace je to, že sa merania dajú realizovať bez ďalšieho hardvéru, meraním priamo na stroji. Na druhej strane je nevýhodou možnosť iba externého spracovania údajov, až po dokončení záznamu a uložení, keďže nástroj Trace ponúka len ich zobrazenie do grafu.

Opísané monitorovanie údajov sa môže vykonať aj prostredníctvom externého počítača a servisného nástroja Siemens SinuCom NC alebo IBN-Tool [6]. Na tento účel je však potrebný sieťový prepínač, pretože pripojenie sa realizuje prostredníctvom zásuvky RJ45 „X120“ numerickej riadiacej jednotky, ktorá je už obsadená pripojením pre displej HMI obrábacieho centra. [5]

Toto zapojenie využíva aj najnovšie cloudové riešenie od firmy Siemens, ktoré spočíva v takomto pripojení priemyselného PC SINUMERIK Edge. Dáta sú vyhodnocované priamo v tomto zabudovanom PC pomocou nainštalovaných aplikácií, ktoré sú vyvíjané na rôzne účely s cieľom zvýšiť kvalitu, stabilitu a efektivitu výrobného procesu. Výsledky

týchto analýz a reporty sú následne pre používateľa dostupné po prihlásení k jeho cloudovému kontu. Prehľad systému Industrial Edge je zobrazený na Obr. 5.

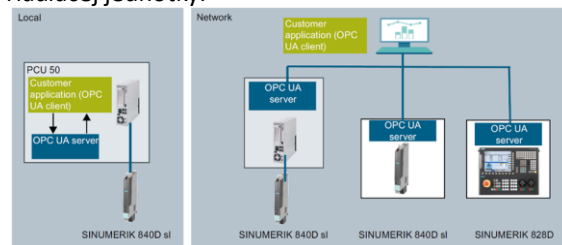


Obr. 5 Systém Industrial Edge pre obrábacie centrá

Ďalšou z možností získania prístupu k dátam je komunikačný štandard OPC UA. Špecifikácie OPC definujú rozhranie medzi klientom a serverom, ako aj medzi servermi, vrátane prístupu k údajom v reálnom čase.

Komunikačný štandard OPC je teda založený na architektúre klient–server, kde sa využívajú dva typy programov OPC Server a OPC Klient. V oboch prípadoch ide o softvérovú aplikáciu. OPC Server je program, ktorý komunikuje s pripojeným zariadením prostredníctvom komunikačného protokolu daného zariadenia. Môžu to byť napr. MPI, Modbus, PPI a iné. V prípade NC systému SINUMERIK 840D sl je aplikácia OPC servera už implementovaná.

OPC klient je komplexný program, ktorý prijíma dáta z OPC serveru vo formáte OPC. Jedná sa o aplikácie SCADA HMI, ktoré umožňujú archiváciu a prezentáciu dát pre užívateľa v podobe grafov, reportov a podobne. Výhodou OPC klienta je tiež to, že môže spracovávať dáta z viacerých OPC serverov zároveň, čím je možné vytvoriť centrálnu riadiacu pracovisko viacerých technologických procesov. Možnosti prepojenia NC systému SINUMERIK 840D sl s aplikáciou OPC klienta sú zobrazené na Obr. 6. Pripojenie k OPC serveru sa realizuje prostredníctvom ethernetovej siete zapojením do zásuvky RJ45 „X130“ numerickej riadiacej jednotky.



Obr. 6 OPC komunikácia SINUMERIK 840D sl [7]

V súčasnosti vzniká iniciatíva s názvom umati (universal machine tool interface), ktorej cieľom je na základe špecifikácii komunikácie OPC UA zjednotiť prístup k monitorovaniu dát.

Hlavnou úlohou je vytvoriť rozhranie, ktorým by bolo možné pripájať do monitorizačného systému obrábacie centrá od akéhokoľvek výrobcu a to pomocou technológie plug and play, teda bez žiadnej dodatočnej konfigurácie hardvéru, ako je to dnes napr. u spotrebnej elektroniky.

Iný spôsob ako zaznamenávať dáta z riadiaceho systému využíva softvér ibaPDA, ktorý je univerzálnym nástrojom na získavanie údajov z automatizovaných procesov. Získané dáta môžu byť analyzované interaktívne raz alebo na základe určitých pravidiel. Výsledky sú generované v podobe v reportov alebo ukladané do databáz.

Doplnok SINUMERIK-Xplorer je špeciálne vytvorený na získavanie údajov z numerického riadiaceho jadra NCK riadiacej jednotky NCU systému Siemens SINUMERIK cez Ethernet pomocou štandardných kariet sieťového rozhrania, ako aj Profibus-u cez karty rozhrania SIMATIC NET. Pre riadiaci systém SINUMERIK je tak tento prístup transparentný a použitím tohto modulu preto nie je potrebné pre komunikáciu a monitorovanie premenných vykonávať žiadne ďalšie nastavenia na strane NC systému SINUMERIK. Premenné, ktoré je potrebné zaznamenávať, je možné jednoducho vybrať pomocou SINUMERIK prehliadača symbolov v I/O správcovi softvéru ibaPDA. Pri získavaní dát týmto spôsobom pripájame sieťový kábel do zásuvky RJ45 „X127“.

1.4 Existujúce riešenia monitorovania CNC

V súčasnosti existuje viacero firiem, ktoré vyvíjajú monitorizačné systémy CNC obrábacích strojov, s využitím získavaných dát na rôzne účely. Ide napr. o monitorovanie strojov v prevádzke pre účely ekonomického charakteru, ako je analýza produktivity výroby, a pod.

Pre tieto účely slúži napr. riešenie CIMCO MDC-Max, ktoré umožňuje zber výrobných údajov zo strojov, ale aj informácií zadávaných obsluhou. Je tak pomocou neho možné generovať správy a grafy s automatickým výpočtom OEE, doby cyklu obrábania, času nastavovania CNC, prestojov a ďalších.

Inou kategóriou využitia online prístupu k dátam CNC obrábacích strojov je ich využitie na účely monitorovania stavu rezných nástrojov. To má význam pri predikcii jeho zlomenia, ktoré môže spôsobiť poškodenie ďalších častí stroja a znehodnotenie obrobku.

Jedným z takýchto systémov je TMAC (Tool monitoring adaptive control), ktorý zaznamenáva opotrebenie nástroja v reálnom čase, a to monitorovaním výkonu motora vretena, ktorý sa v čase zväčšuje kvôli narastajúcemu reznému odporu pri opotrebení rezných hrán. Limitné hodnoty môžu

byť nastavené manuálne alebo pomocou funkcií na naučenie sa z predchádzajúcich cyklov.

V najnovších obrábacích centrách DMG MORI, ktoré sú vybavené riadiacim systémom CELOS so systémom SINUMERIK je implementovaný aj nástroj Easy tool monitoring 2.0, ktorý takisto umožňuje monitorovanie nástroja za účelom vyhodnotenia jeho opotrebenia v reálnom čase, a to priamo na ovládacom paneli. Na Obr. 7 je zobrazené zadávanie limitných hodnôt.



Obr. 7 Limitné hodnoty Easy tool monitoring 2.0

Na monitorovanie stavu opotrebenia nástroja existujú aj ďalšie podobné riešenia, ako TMAC implementované do výroby na externých PC. Sú to napríklad Artis od firmy MARPOSS Monitoring Solutions, NORDMANN tool monitoring a iné. Nevýhodou týchto riešení je vysoká obstarávacía cena, ktorá sa pohybuje rádovo na úrovni tisícok eur. Pre menšie podniky je preto príliš veľkou investíciou s dlhou dobou návratnosti, a to aj napriek nespochybniteľným výhodám, ktoré tieto monitorizačné systémy ponúkajú.

2. POPIS TESTOVACEJ OPERACIE

2.1 Výber monitorovaných premenných

Zo zoznamu systémových premenných NC systému SINUMERIK 840D sl a parametrov SINAMICS S120 boli vyčlenené nasledujúce premenné, u ktorých je pri obrábaní predpokladaná závislosť na opotrebení nástroja: \$VA_LOAD[X] – zaťaženie pohonu v percentách; \$VA_POWER[X] – činný výkon pohonu vo wattoch; \$VA_TORQUE[X] – hodnota krútiaceho momentu v newtonmetroch; \$VA_CURR[X] – skutočný prúd pohonu osi, resp. vretena v ampéroch. [8]

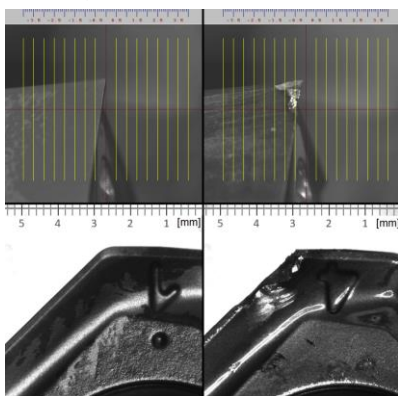
Pre zvolenie konkrétneho pohonu je potrebné za X v zátvorke vybrať jeho označenie, resp. číslo. Označenia osí X, Y, Z a vretena boli v nástroji Trace X1, Y1, Z1 a SP1. V programe ibaPDA boli tieto premenné v zozname parametrov pod ich analogickým označením vaLoad[.], vaPower[.], vaTorque[.] a vaCurr[.]. Tu bolo potrebné v zátvorkách dosadiť čísla osí X – 1, Y – 2, Z – 3 a vretena – 6.

Pri testovacom pripojení bolo zistené, že premenná \$VA_TORQUE[SP1], teda krútiaci moment

vretena je počas frézovania rovná 0 a teda nezobrazuje aktuálnu hodnotu. Preto bola použitá premenná r0031 priamo z riadiacej jednotky pohonov SINAMICS S12.

2.2 Testovacia operácia - frézovanie

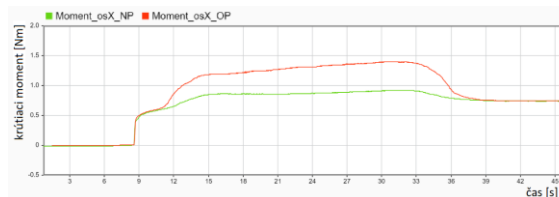
Na túto operáciu bola použitá rovinná fréza s vymeniteľnými reznými platničkami a priemerom 63 mm. Ako materiál, bola zvolená nástrojová oceľ 19 436 s rozmermi 50x50x170 mm. Operácia spočívala v rovinnom frézovaní celej plochy materiálu, v smere osi X na jeden záber s hĺbkou rezu $a_p = 1$ mm. Počas frézovania bolo uskutočnené monitorovanie krútiaceho momentu vretena s použitím softvéru ibaPDA a tiež pohonu osi X nástrojom Trace. Nastavená bola rezná rýchlosť $v_c = 90$ m/min a posuv na zub $f_z = 0,15$ mm. Pre porovnanie bola operácia vykonaná raz s novými reznými platničkami a raz s opotrebenými platničkami. Na Obr. 8 je na ľavej strane zobrazená nová nepoužitá rezná platnička a na pravej strane opotrebená.



Obr. 8 Rezné platničky

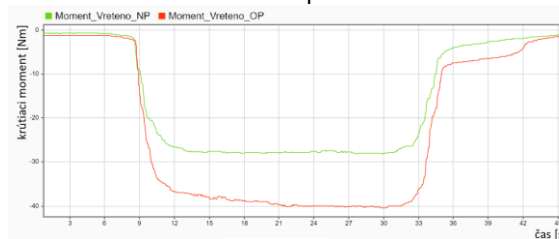
3. VÝSLEDKY A DISKUSIA

Graf (Obr. 9) zobrazuje synchronizované a vyhladené časové priebehy krútiaceho momentu pohonu osi X. Zelenou farbou je vyznačený priebeh krútiaceho momentu pri frézovaní novými platničkami. Na úseku v čase od 15 do 30 s, kedy je fréza v zábere, je priemerná hodnota krútiaceho momentu 0,87 Nm a maximálna hodnota 0,91 Nm. Červenou farbou je vyznačený priebeh pri frézovaní s opotrebenými platničkami a v tomto prípade je v tom istom časovom úseku priemerná hodnota rovná 1,28 Nm. Maximálna hodnota je 1,39 Nm. Hodnota rozdielu priemerného krútiaceho momentu pohonu osi X pri frézovaní novými a opotrebenými platničkami, tak je 0,42 Nm. Tento rozdiel predstavuje nárast krútiaceho momentu o 47,13% a na grafickom priebehu je ho možné jednoznačne identifikovať.



Obr. 9 Krútiaci moment pohonu osi X pri frézovaní

Hodnotovo väčší rozdiel v krútiacom momente bol pri zobrazení zaznamenaných dát vretena (Obr. 10). V tomto prípade sú hodnoty záporné, čo vyjadruje pravotočivé otáčanie vretena. Znova sú zobrazené obidva priebehy. V rovnakom časovom úseku, ako pri predchádzajúcom grafe, bol pre nové platničky priemerný krútiaci moment 27,80 Nm a maximálny 28,16 Nm. Pri frézovaní opotrebenými platničkami bol priemerný krútiaci moment 39,52 Nm a maximálny 40,36 Nm. V tomto prípade už bol rozdiel priemerných hodnôt výraznejší, a to 11,72 Nm. Predstavoval však nárast o 42,16%, čo je menej ako u krútiaceho momentu pohonu osi X.



Obr. 10 Krútiaci moment vretena pri frézovaní

Na základe týchto výsledkov je možné predpokladať, že pri frézovaní hrubovacími nástrojmi je napriek nižšiemu percentuálnemu nárastu výhodnejšie monitorovať krútiaci moment vretena. A to z toho dôvodu, že rozdiel hodnoty krútiaceho momentu vretena pri opotrebení nástroja je od rozdielu momentu pohonu osi rádoovo vyšší a poskytuje tak väčší rozsah hodnôt na zachytenie a identifikáciu tohto stavu. Výsledky však naznačujú, že rovnako spoľahlivým spôsobom môže byť identifikácia pomocou krútiaceho momentu pohonu osi, čo je však potrebné overiť viacerými meraniami.

ZÁVER

Pomocou dostupných informácií o parametroch NC systému SINUMERIK 840D si a využitím metód komunikácie, bolo zrealizované nepriame monitorovanie stavu opotrebenia nástroja na obrábacom centre DMG ecoMill 50. Na toto monitorovanie bola navrhnutá a uskutočnená testovacia operácia.

Po vyhodnotení zaznamenaných dát bolo jednoznačne viditeľné zvýšenie krútiaceho momentu

pri frézovaní opotrebenými platničkami oproti frézovaniu novými. Na základe priemerných hodnôt na zvolenom časovom úseku bolo vypočítané zvýšenie krútiaceho momentu pohonu osi X o 0,42 Nm, čo predstavovalo percentuálny nárast o 47,13%. Krútiaci moment vretena sa zvýšil o 11,72 Nm, čo bola o 42,16% väčšia hodnota. Jednoznačne sa tak potvrdil vplyv opotrebenia na obidva monitorované parametre.

Na základe opísaných možností a predpokladov, ktoré boli pri monitorovaní a vyhodnotení potvrdené, je v budúcnosti možné vytvoriť monitorizačný systém pracujúci v reálnom čase, napr. ako aplikáciu OPC klienta, vytvorenú v programe Matlab. Pre jej vytvorenie je však nutné uskutočniť väčšie množstvo meraní, pri rôznych operáciách a situáciách, ktoré pri obrábaní nastávajú. Vhodnou možnosťou v tomto prípade môže byť takzvané naučenie, kedy sa zaznamenávajú hodnoty pri prvom referenčnom obrábacom cykle a pri nasledujúcich cykloch sú hodnoty porovnávané s vopred nastaveným limitom pre jednotlivé nástroje.

Pod'akovanie

Tento príspevok vznikol s podporou projektu VEGA 1/0219/18: Vývoj inteligentného monitorovacieho systému pre produkciu nezameniteľných dielcov s nulovou chybovosťou.

Literatúra

- [1] SIEMENS: SINUMERIK 840D sl CNC Commissioning: NC, PLC, Drive. 2013. 414 s, online: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/074/74607074/att_112432/v1/IDsl_en_en-US.pdf [cit. 2020-12-20].
- [2] ZHENG, B. et al.: Development of Remotely Monitoring and Control System for Siemens 840D sl NC Machine Tool Using Snap 7 Codes. In: Advances in Engineering Research. 2017, roč. 86. ISSN 2352-5401, online: <https://doi.org/10.2991/eame-17.2017.26> [cit. 2020-12-21].
- [3] WEI, W. et al.: Open CNC machine tool's state data acquisition and application based on OPC specification. In: Procedia CIRP. 2016, roč. 56, s. 384-388. ISSN 2212-8271, online: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.10.061> [cit. 2020-12-21].
- [4] IWANITZ, F. et al.: OPC-Fundamentals, Implementation and application, 3. vyd. Heidelberg : Hüthing Verlag, 2006. ISBN 3778529048.
- [5] MÜLLER, J. et al.: Process and Energy Data Acquisition on Machining Center and Individual Machine Components. In: Applied Mechanics and Materials. roč. 856, (2016), s. 123-130. ISSN: 1662-7482, online: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/am.856.123> [cit. 2020-12-21].
- [6] SIEMENS: SINUMERIK 840D sl/840Di sl/840D/840Di/810D: SinuCom Installation/Service Tools. 2008, 138 s, online: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/144/103883144/att_107752/v1/INC_0708_en.pdf [cit. 2020-12-22].
- [7] SIEMENS: SINUMERIK: SINUMERIK 840Dsl/828D SINUMERIK Access MyMachine / OPC UA. 2018, 106 s, online: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/318/109760318/att_960876/v1/840Dsl OPCUA_commiss_man_0818_en-US.pdf [cit. 2020-04-15].
- [8] SIEMENS: SINUMERIK: SINUMERIK 840D sl System variables. 2013, 683 s, online: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/601/74513601/att_31006/v1/LIS3sl_0313_en.pdf [cit. 2020-04-10].

Korešpondenčná adresa:

Ing. Michal Demko
Technická univerzita v Košiciach
Strojnícka fakulta
Katedra technológií materiálov a počítačovej podpory výroby
Mäsiarska 74, Košice
Tel.: +421917576775
Email: michal.demko@tuke.sk

IMPROVEMENTS OF KEY PERFORMANCE INDICATORS AFTER IMPLEMENTATION OF MOM SOLUTIONS IN DISCRETE MANUFACTURING

Michal Dic, Miriam Pekarčíková

Technical University of Košice, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Management, Industrial and Digital Engineering, Slovakia

michal.dic@gmail.com, miriam.pekarcikova@tuke.sk

Abstract

This article deals with complexity of implementing Manufacturing Operation Management (MOM) software and its influence on overall metrics of discrete manufacturing. Those metrics might be positively influenced by success implementation by any MOM solution like (APS, MES or QMR ...). Clear definition of needs might lead customer success. MOM solutions are considered as brain of smart manufacturing. It is also answer how to remain competitive. The top 5% of companies are dominating the economy by exploiting digital competencies with Smart manufacturing solutions. This article is considering only improvements of production metrics and does not take to consideration improvements by implementing other solutions on level of Enterprise Resource planning and Product Lifecycle management.

Key words

Advanced Scheduling, Advanced planning, Manufacturing Execution system, operations, metrics

INTRODUCTION

A traditional discrete manufacturing companies intends to react to unforecastable customer demand on a “push” basis and by building buffers such as inventory that mitigate forecasting errors and hide all production planning issues. This paradigm is also characterized by the sequential flow of information from one business unit to another. Due to the reason of the sequential information flow does not give an organization the opportunity to synchronize its functional activities and will impair its visibility throughout the planning processes, the same hidden problems will recur and the vicious cycle of inefficiency will continue without the problems ever being addressed. The best way to break this vicious cycle is to create an advanced system that allows the organization to see the big picture of the business/production processes and then analyze the impact of the whole business processes on the organizational-wide goals rather than the departmental goals. In other words, to continuously improve business/production processes, the traditional business paradigm should be replaced by Manufacturing Operations management systems, which can create a whole greater than the sum of its parts.

1 Defining Manufacturing Operations Management and the future of ISA - 95

Manufacturing Operations Management (MOM) systems are the layer of software applications that fill the gap between plant systems and business systems in a manufacturing enterprise. These are also sometimes called Manufacturing Execution Systems (MES). The diagram fig.1. also shows the temporal nature of the different layers from millisecond control at the equipment level all the way to the long-term business view at the higher levels. When looking at the top operational objectives faced by manufacturers, the top three (and others) are directly impacted by plant level systems. Moreover, bringing MOM together with business systems will help enhance that success. Real-time performance visibility is seen as one of the critical areas of MOM software for business success. [3]

1.1 Evolution of Manufacturing operations software towards Smart manufacturing

1. Improved Manufacturing Execution (‘90s)
Stand-alone MES
 - Focus on vertical integration

- Rich set of Industry-specific out of the box functionalities
- Real-time data acquisition
- 2. Manufacturing Digitalization ('00) Monolithic MOM
 - From execution to a broader coverage of manufacturing disciplines
 - Scalable solutions, extensibility and code-less configuration
 - Data synchronization and contextualization
- 3. Digital Enterprise and Industry 4.0 (Today) MOM for Smart Manufacturing
 - Focus on collaboration through horizontal integration
 - Cloud-ready technologies
 - Orchestration based on principles of Artificial Intelligence
 - Augmented data contextualization through IIoT



Figure 1. Traditional value chain technology architecture

2 Performance metrics used in discrete manufacturing in evaluating MOM solutions

1. **Capacity Utilization** – This metrics shows how much of production available capacity is available for production line. The higher the better.
2. **On Standard Operating Efficiency** – Metrics which present how employees are performing against the labor standards which is reflected in cost of the product. MES shop floor solution can identify and visualize overall operating efficiency.
3. **Overall Equipment Effectiveness OEE** – It can be understanding it as a measure of how well a manufacturing operation is utilized (facilities, time and material) compared to its full potential, during the periods when it is scheduled to run. OEE performance indicator identifies the percentage of manufacturing time that is truly productive. If OEE achieves 100% that's means that only good parts are produced (100% quality), at the maximum speed (100% performance), and without interruption (100% availability). This KPI is described below.

4. **Machine Downtime** – This KPI and the two below are components of OEE above, but worth measuring on their own. You can visualize this KPIs with manufacturing intelligence tools. It is important to differentiate between all 3 to be able to trace root cause of the problem. This includes scheduled downtime for maintenance, setups and unscheduled downtime and can include machine changeover.

5. **Unscheduled Down Time** – This one can be a killer and one to minimize because it affects other processes in the production chain. Scheduled and predictive maintenance can help minimize unscheduled downtime. There are wireless sensors you can use which can help support predictive maintenance to reduce unscheduled downtime.

6. **Machine Set Up Time** - A lot of production time can be lost to set up and changeovers. Implementing SMED (single minute exchange of dies or similar techniques) can really help keep this lost time to a minimum.

7. **Quality** – Percent defective is one of many ways to measure quality.

8. **First Pass Yield** – The percentage of products manufactured correctly and to spec the first time through the process.

9. **Rework** – Implementing quality at the source and effectively training people can go a long way to minimizing this waste. It is important to properly trigger and standardize rework. Scheduler with his Advance scheduling tools needs to be able to allocate time and resources for rework.

10. **On-Time Delivery** – This is a KPI that really keeps customers happy but is also motivating production employees. Discrete production companies should have implemented MES + APS solution to improve this KPI.

2.1 Productivity performance indicator OEE

One of the most important indicators to measure productivity is **Overall equipment effectiveness** (OEE). However, when comparing output, in most cases, the first situation of only one breakdown will produce significantly more output than the situation of 10 breakdowns. The logic is quite simple. Every time your plant stops unexpectedly, there is a high probability you will have some form of quality loss such as scrap or rework. Also, when you start back up again, there is a high probability that there will be a speed loss as you ramp the plant back up to full speed. Hence, there was a need to create a measure that would reflect all losses that can affect the capacity to

produce perfect, or within-specification, output first up. Ideally, the measure could also be used for prioritizing improvement activities while bringing everyone together to improve, as everyone would benefit from its improvement. Therefore, OEE was developed. It was the first time you could measure how effective your equipment was at producing good output, recognizing that equipment is only effective if it is available when required, running at the ideal speed, and producing perfect or within-specification output.

3 Case Study – production of turbines

Connection of MES – ERP – APS solution in production of turbines and turbomachinery. (Management of workflow and workforce) [3]

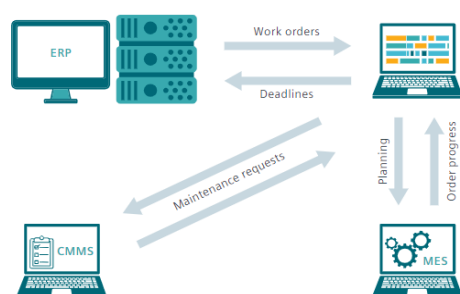


Figure 2. Connection between ERP – MES – APS and Maintenance architecture [3]

Key challenges of customer before implementation:

- Digitally managed data
- Effectively manage schedules
- Increase visibility across production and supply chain
- Standardization of process

Implementation started in end of year 2018 in turbine cell which supplies parts to manufacturing and to service organizations. Before implementation, each job was allocated a time and budget and this resulted in a manufacturing route detailed on a piece of paper known as a “traveller”. At any time, were hundreds of travellers to manage. There were a lot of manual intervention relating to travellers, drawings and the submission of completed job tickets. Delays in tracking progress and identifying issues that resulted from tickets not being collected manually and entered into the tracking system the following morning.

3.1 Traceability and delivery speed

This metrics were improved significantly after implementation of MES and APS. In past was common to have lost parts, missing serial number of a part getting processed in the wrong batch. Missing parts in end of the process significantly increased costs and time delays. MES solution resolves this issues by clearly specifying operational tasks at each stage of manufacturing and by tracing raw material/ components with bar codes. Operators verify each parts if its belongs to the batch. MES is resolving issues such as specifying clear operational tasks and applying barcodes to raw material and components before are sent to the shop floor. When operators scan an item, they see the part reference, order number and batch code, along with relevant operational details. Increasing visibility leads to increasing delivery speed where customer is expecting a **five percent** increase in efficiency and reduction of lead time for introduction of new products.

3.1 Clear control of stock level

Define abbreviations and acronyms the first time they are used in the text, even after they have been defined in the abstract. Abbreviations such as EU, SI, GPS, MKS, CGS, sc, dc, rms and others generally known abbreviations do not have to be defined. Do not use abbreviations in the title unless they are unavoidable.

CONCLUSION

Implementation of Manufacturing Operations Management solution needs to have right bottom line justification. To be able to justify such a measurement, companies needs to have clear vision what is their current state and be able to identify weak points of the system. Only, after right current state analysis, company can estimate KPI improvements and translate this improvement into the bottom-line justification. Current competitive environment + high focus on personalization of products creates right environment to implement such a solution. Implementation of MOM solution is not answer to all discrete manufacturing problems. It is important to consider consistency of data generated by organization. Data coming from Enterprise Resource Planning (ERP) and Product Lifecycle management (PLM) are also mandatory steps to become successful. ERP systems generate data for which are later used across whole organization. Smart manufacturing can be considered as continuous process of improvement.

Health organization still decides to start with part of the story with the biggest Return of Investment.

Acknowledgment

This article was created by implementation of the grant project APVV-17-0258 "Digital engineering elements application in innovation and optimization of production flows", APVV-19-0418 "Intelligent solutions to enhance business innovation capability in the process of transforming them into smart businesses", VEGA 1/0438/20 "Interaction of digital technologies to support software and hardware communication of the advanced production system platform" and KEGA 001TUK-4/2020 "Modernizing Industrial Engineering education to Develop Existing Training Program Skills in a Specialized Laboratory."

References

- [1] Hokey, M.: The Essentials of Supply Chain Management – New Business Concepts and Applications. United States of America, Paul Boger, 2015, ISBN -10:0-13-403623-9
- [2] Masood, S.A., Jahanzaib, M., Akhtar, K.: Business Process: A Case of Manufacturing Industry. Life Sci J 2013, ISSN:1097-8135 <http://www.lifesciencesite.com>
- [3] Siemens Digital Industries Software: "Gas turbine factory uses Opcenter Execution

Discrete and Opcenter APS to establish a base for smart manufacturing", online: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/our-story/customers/siemens-industrial-turbomachinery-opcenter/63996/> [access 23.12.2020]

- [4] Huges. A.: The impact of the Internet of Things on MOM Solution. LNS-global.com, 2018.
- [5] Kennedy, K. R.: Understanding, Measuring, and Improving Overall Equipment Effectiveness – How to Use OEE to Drive Significant Process Improvement. Warsaw, Taylor & Francis Group, 2018, ISBN: 13: 978-1-138-05420-2
- [6] Meyer, H., Fuchs, F., Thiel, K.: Manufacturing Execution Systems – Optimal Design, Planning and Deployment. McGraw-Hill Companies, Inc. ISBN: 978-0-07-162602-6

Correspondence address

Ing. Michal Dic
Technical University of Kosice
Faculty of Mechanical Engineering
Industrial and Digital Engineering
Park Komenského 9, Košice
Tel.: +421908915130
Email: Michal.dic@gmail.com

NÁVRH, PEVNOSTNÁ ANALÝZA A VÝPOČET PRESTUPU TEPLA NÍZKOTLAKOVÝCH, METALHYDRIDOVÝCH ZÁSOBNÍKOV NA USKLADNENIE VODÍKA

Filip Duda, Natália Jasminská, Tomáš Brestovič

Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Katedra energetickej techniky, Vysokoškolská 4, 04200
Košice, filip.duda@tuke.sk, natalia.jasminska@tuke.sk, tomas.brestovic@tuke.sk,

Abstrakt

Predmetný článok popisuje návrh, pevnostný výpočet a výpočet prestupu tepla v nízkotlakovej oceľovej nádobe, ktorá slúži pre uskladnenie vodíka s použitím zliatin kovov na báze LaCeNi. Návrh konštrukcie je realizovaný s vonkajším kvapalinovým výmenníkom tepla. Pevnostné výpočty a výpočet prestupu tepla boli realizované z dôvodu zistenia ideálnej hrúbky steny nádoby pre implementáciu metalhydridového zásobníka do prevádzkových podmienok.

Kľúčové slová

Vodík, zliatina kovu, metalhydridový zásobník, uskladnenie vodíka, pevnostný výpočet, výpočet prestupu tepla

ÚVOD

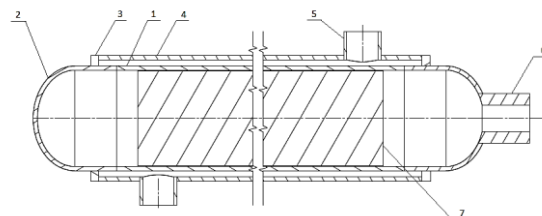
V súčasnej dobe z dôvodu globálneho otepľovania a znečisteného prostredia z výfukových plynov sa dostávajú do popredia nízko emisné technológie. V roku 2019 vyšla iniciatíva v Európskej únii, ktorá sa zaoberá dekarbonizáciou priemyslu a slúži na celkové zníženie emisií vo vzduchu s použitím alternatívnych zdrojov energie. Ako hlavné alternatívne palivo sa považuje vodík a využitie vodíkových technológií. Jeden z hlavných problémov vodíka je jeho čistá produkcia, uskladnenie a distribúcia.

Najviac používaný systém uskladnenia vodíka je založený na využívaní vysokotlakových nádob. Z bezpečnostného hľadiska, táto metóda nemusí byť vždy najlepšia a najbezpečnejšia. Z tohto dôvodu v súčasnosti prebieha vývoj nízkotlakových nádob s využitím zliatin kovov pre uskladnenie vodíka. Hlavnou prekážkou využitia nízkotlakových nádob je potreba chladenia zliatin počas absorpcie vodíka a ohrevu zliatin počas desorpcie.

1. KONŠTRUKČNÝ NÁVRH ZÁSOBNÍKA

Konštrukčný návrh zásobníka vychádza z normy STN EN 13322-2. Táto norma popisuje prepravné fľaše na plyny, navrhovanie a výrobu znovuplniteľných oceľových fliaš na plyny. Konštrukcia pozostáva

z dvoch hlavných častí, a to je hlavné telo tlakovej nádoby a puzdra, ktoré slúži pre prúdenie chladiacej kvapaliny tak, ako je zobrazené na obrázku 1. Materiál, z ktorého pozostáva zásobník je nerezová oceľ 1.4306. Mechanické vlastnosti tejto ocele sú zobrazené na tabuľke 1.



1- valcová časť hlavnej nádoby, 2- eliptické dno, 3-príruba pre puzdro s chladiacou kvapalinou, 4-valcová časť puzdra s chladiacou kvapalinou, 5-Príruba NPT 1/2", 6-Príruba NPT 1/4", 7-Intenzifikátor prenosu tepla.

Obr. 1. Konštrukčný návrh zásobníka

Tabuľka 1. Mechanické vlastnosti nerezovej ocele 1.4306

0.2% Re (MPa)	Rm (MPa)	ρ (kg·m ⁻³)	μ	E (MPa)
190	460-680	7950	0,3	2,1·10 ⁵

Kde: Re-medza klzu, Rm-pevnosť v ťahu, ρ -hustota, μ -Poissonovo číslo a E-Youngov modul pružnosti.

Pri konštrukčnom návrhu bolo potrebné navrhnuť aj typ dna, ktorý sa bude používať pri uzatvorení nádoby. Norma STN EN 13322-2 popisuje dva typy dien, ktoré je možné použiť pri návrhu. Jedná sa o dno torisferické a elipsoidné, ako je znázornené na obrázku 2. Pre obidva typy dien musia byť splnené tieto podmienky:

Pre torisferické dná:

$$R \leq D \quad (1)$$

$$r \leq 0,1D \quad (2)$$

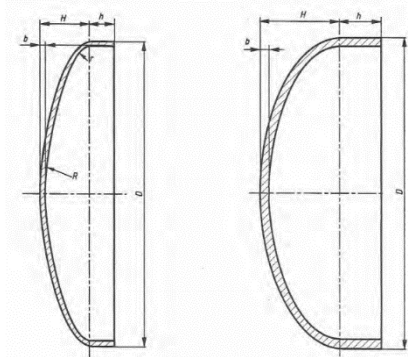
$$h \geq 4b \quad (3)$$

Pre elipsoidné dná:

$$H \leq 0,192D \quad (4)$$

$$h \geq 4b \quad (5)$$

kde: R-vnútorý polomer klenutého dna, D-vonkajší polomer fľaše, r-vnútorý polomer dna, h-výška valcovej časti, b-vypočítaná minimálna hrúbka valcového dna, H-vonkajšia výška klenutej časti dna. Všetky rozmery uvedených veličín sú v milimetroch.



Obr. 2. Torisferické a elipsoidné dná

Hrúbka steny valcového plášťa nesmie byť menšia, ako je vypočítaná podľa rovnice (6):

$$a = \frac{D}{2} \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{10 \cdot F \cdot J \cdot R_e - \sqrt{3} \cdot p_h}{10 \cdot F \cdot J \cdot R_e}} \right) \quad (6)$$

kde: a - vypočítaná minimálna hrúbka valcového plášťa (mm), F- návrhový súčiniteľ napätia (s hodnotou 0,77), J - súčiniteľ zníženia napätia (s hodnotou 1), R_e - medza klzu použitého materiálu (MPa), p_h - skúšobný hydraulický tlak nad atmosférickým (MPa).

Hrúbka steny dien fliaš na plyny nesmie byť menšia ako hrúbka vypočítaná podľa rovnice (7):

$$b = a \cdot C \quad (7)$$

kde b - vypočítaná minimálna hrúbka valcového dna (mm), C- tvarový súčiniteľ klenutých dien (použitá hodnota 1,4).

Okrem rovníc (6) a (7) musí platiť podmienka, že minimálna hrúbka steny valcového plášťa a dna nesmú byť menšie ako hodnota odvodená z rovnice (8):

$$D \leq 100 \text{ mm}, a = b = 1,1 \text{ mm} \quad (8)$$

Podľa rovníc (1) až (8) boli zvolené nasledujúce rozmery zásobníka:

Tabuľka 2. Zvolené rozmery zásobníka

A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)	F
900	840	19	50	60	1/4" NPT
G	a (mm)	b ₁ (mm)	b ₂ (mm)	m (kg)	m _{MH} (kg)
1/2"	2	2	2	4,6	5

Kde: A-celková dĺžka zásobníka, B-dĺžka puzdra s chladiacou kvapalinou, C-priemer príruby s závitom NPT 1/4", D-priemer hlavnej časti zásobníka, E-priemer puzdra s chladiacou kvapalinou, F-závit NPT 1/4", G-závit 1/2", a-hrúbka steny dna zásobníka, b₁-hrúbka steny hlavnej časti zásobníka, b₂-hrúbka steny puzdra s chladiacou kvapalinou, m-celková hmotnosť zásobníka, m_{MH}- hmotnosť použitého metalhydridu v zásobníku. Typ dna použitý v návrhu konštrukcie zásobníka je elipsoidné a rozmery dna sú nasledovné: H=20mm, h=20mm.

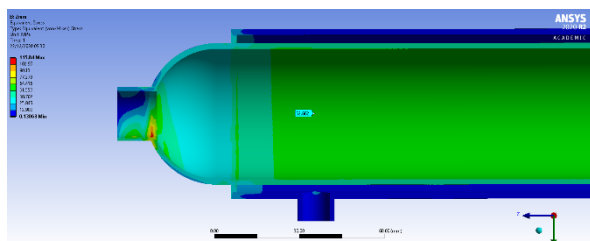
2. PEVNOSTNÝ VÝPOČET ZÁSOBNÍKA

Pevnostný výpočet zásobníka bol realizovaný v programe ANSYS Static Structural. Na začiatku simulácie je potrebné nadefinovať okrajové podmienky a určiť materiálové hodnoty pre nerezovú oceľ 1.4306. Okrajové podmienky použité v simulácii:

- nastavenie pevnej väzby, ktorá sa nachádza na hrdle zásobníka
- nastavenie tlaku o veľkosti 4.7 MPa vo vnútri primárneho zásobníka, čo predstavuje maximálny skúšobný tlak
- Príkaz hydrostatický tlak s hustotou 1000 kg·m⁻³ v oblasti puzdra s chladiacou kvapalinou, čo predstavuje voda
- Príkaz hydrostatický tlak s hustotou 3500 kg·m⁻³ v oblasti primárneho zásobníka, čo predstavuje zaťaženie metalhydridom

- Teplotná podmienka 60 °C, čo predstavuje maximálnu pracovnú teplotu s použitím zliatiny kovu a považuje sa aj za medznú teplotu pre absorpciu zliatiny vodíkom.

Na obr. 3 je možné vidieť maximálne napätia, ktoré vznikajú na zásobníku a považujú sa za bezpečné, pretože maximálne napätia nepresahovali 50 % medze klzu zvoleného materiálu podľa normy STN EN 13322-2.

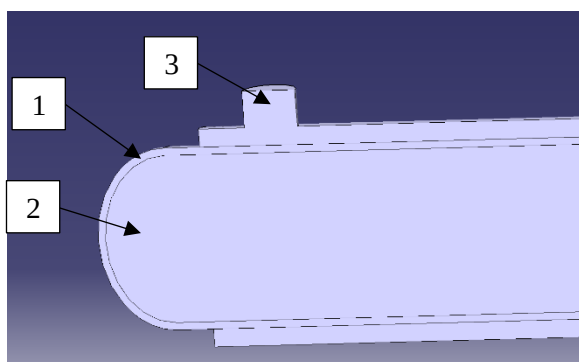


Obr. 3. Vznikajúce napätia na zásobníku

3. VÝPOČET PRESTUPU TEPLA V ZÁSOBNÍKU

Výpočet prestupu tepla bol realizovaný v programe ANSYS CFX. Na začiatku simulácie je potrebné vytvoriť vhodnú geometriu modelu zásobníka. Model bude pozostávať z troch hlavných častí zliatina kovu, plášť zásobníka a voda ako je znázornené na obr. 4.

V ďalšom kroku simulácie je potrebné vytvoriť sieť konečných prvkov v časti mesh, kde sa sieťuje každý prvok konštrukcie zvlášť. V tejto časti je často použitý príkaz „named selection“, ktorý výrazne pomáha pri rozpoznávaní plôch geometrie v nasledujúcej časti simulácie, kde sa určujú okrajové podmienky simulácie.



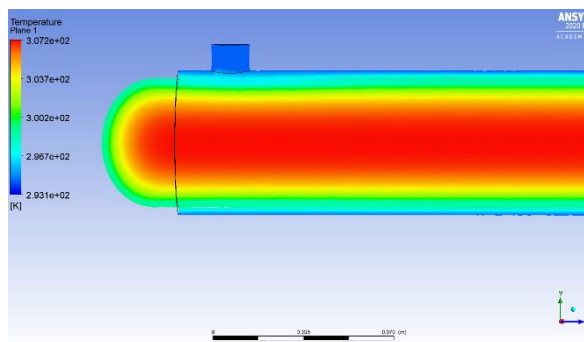
1- plášť zásobníka, 2-zliatina kovu, 3-chladiaca kvapalina(voda)

Obr. 4. Model zásobníka pre výpočet prestupu tepla

Okrajové podmienky simulácie:

- Vytvorenie domén, ktoré predstavujú plášť zásobníka, vodu a zliatinu kovu
- určenie prívodu a odvodu vody, ktoré sú umiestnené v oblasti príruby NPT 1/2" s konštantnou teplotou 20 °C
- Ostatné časti v sekcii voda je potrebné definovať ako stenu
- V časti metalhydrid je potrebné vytvoriť subdoménu, ktorá predstavuje zdroj energie s veľkosťou 500 Kg·m²·s⁻³
- Ostatné časti v sekcii metalhydridová zliatina je potrebné definovať ako stenu
- Na koniec je dôležité určiť prepojenie domén, kde prvé je fluid-solid, čo predstavuje prepojenie medzi plášťom zásobníka a vodou a solid-solid, čo predstavuje prepojenie medzi plášťom zásobníka a zliatinou kovu. V obidvoch prepojeniach je potrebné zadefinovať prestup tepla
- Použité materiály v simulácii sú oceľ (plášť zásobníka), voda, nikel(zliatina kovu) s hustotou 3250 kg·m⁻³ a termálnou konduktivitou 1, pretože sa jedná o práškovú zliatinu kovu

Po zavedení okrajových podmienok je potrebné zadefinovať typ simulácie. V prípade tejto simulácie ide o prechodnú simuláciu od prvej až po 60-tú sekundu. Následné po zavedení potrebných krokov je možné prejsť do výpočtovej časti



Obr. 5. Prestup tepla v zásobníku

Na obr. 5 je možné vidieť rozloženie teplotného poľa v zásobníku počas absorpcie vodíka. Na základe simulácie môžeme skonštatovať, že dochádza k ohrevu vody a následnému ochladzovaniu metalhydridovej zliatiny. Pre udržiavanie danej teploty bolo vytvorené opláštenie, v ktorom prúdi voda v čase absorpcie vodíka do zliatiny kovu. Počas doby desorpcie vodíka zo zliatiny je následne do opláštenia privádzaná teplá ohrievacia voda, aby sa zabezpečilo kontinuálne uvoľňovanie vodíka zo zliatiny kovu na báze LaNiCe.

Záver

Zo simulácií v programe Ansys static structural bolo zistené, že tlakové nádoby navrhnuté podľa normy STN EN 13322-2 plne vyhovujú požiadavkam kladeným na prevádzkové parametre uskladenia vodíka. Pomocou simulácií bol zvolený najvhodnejší tvar dna zásobníka vzhľadom k tlakovému zaťaženiu a výrobným požiadavkám v spojení s návrhom konštrukcie uloženia zásobníkov. Pomocou simulácie boli zvolené vhodné hrúbky stien opláštenia pre podporu pevnosti zásobníkov v ich uložení. Výsledkom kombinácie normy STN EN 13322-2 a následnej pevnostnej analýzy v programe ANSYS Static Structural boli zvolené ideálne hrúbky stien nádoby, vzhľadom na požadovanú konštrukčnú pevnosť, ale aj vzhľadom na rozloženie teplotného poľa počas absorpcie a desorpcie vodíka.

Zo simulácie v programe Ansys CFX vyplynulo, že dochádza k relatívne dobrému ohrevu vody a ochladzovaniu metalhydridovej zliatiny, a po určitom čase sa teplota v zásobníku stabilizuje na teplotu, ktorá nepresahuje maximálnu povolenú pracovnú teplotu, čo predstavuje 60 °C. Simulácia bola vykonaná bez použitia intenzifikátora prestupu tepla.

POĎAKOVANIE

„Tento príspevok bol vypracovaný s finančnou podporou grantovej agentúry VEGA v rámci riešenia projektu č. 1/0108/19 a projektu č. 1/0626/20 a grantovej agentúry KEGA v rámci riešenia projektu č. 005TUKE-4/2019.“

POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] STN EN 13322-2, Prepravné fľaše na plyny. Navrhovanie a výroba znovuplniteľných oceľových fliaš na plyny. Časť 2: Nehrdzavejúce ocele, 2003
- [2] Murín, Justín; Hrabovský, Juraj; Kutiš, Vladimír. Metóda Konečných Prvkov Vybrané kapitoly

pre mechatronikov, Slovenská technická univerzita v Bratislave 2014

- [3] BOCKO, Jozef; Lengvarský, Pavol; Huňady, Róbert; Delyová, Ingrid. Simulácia v programe ANSYS. Strojnícka fakulta, Technická Univerzita v Košiciach, 2020.
- [4] COMMUNICATION FROM COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS. A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe, Brussels, 2020.
- [5] Lototsky, Mykhaylo; Tolj, Ivan; Klochko, Yevgeniy; Wafeeg Davids, Moegamat; Swanepoel, Dana; Linkov, Vladimir. Metal hydride hydrogen storage for fuel cell utility vehicles, HySA Systems Competence Centre, South African Institute for Advanced Materials Chemistry, 2019.
- [6] Babu, Rajesh; Gugulothu, Santosh Kumar; CFD analysis of heat transfer enhancement by using passive technique in heat exchanger, Department of Mechanical Engineering, GITAM University, India, 2015.
- [7] Kumar, Mukesh; Chandrasekar. CFD analysis on heat and flow characteristics of double helically coiled tube heat exchanger handling water nanofluids, Department of mechanical engineering, University College of Engineering, India, 2019.
- [8] Masaryk, Michal; Ferstl, Karol; Prenos Tepla, Strojnícka fakulta, Slovenská Technická Univerzita v Bratislave, Bratislava, 2011

Kontaktná osoba:

Ing. Filip Duda
Technická Univerzita v Košiciach
Strojnícka Fakulta
Katedra energetickej techniky
Vysokoškolská 4, 042 00, Košice, Slovensko
Tel.: +421 907 631 192
Email: filip.duda@tuke.sk

SYSTEM FOR REPORTING AND RECORDING OF DANGEROUS EVENTS

Lukáš ĎURIŠ, Ivan HABALA, Hana PAČAIOVÁ

Technical University of Košice, Faculty of Mechanical Engineering, Quality and Safety, Slovakia
durisko4@gmail.com, ivan.habala@student.tuke.sk, hana.paciaova@tuke.sk

Abstract:

The legislative requirement in accordance with Act No. 124/2006 Coll. on occupational safety and health determines our obligations to notify and take the necessary measures for each dangerous events. The same requirements follow from the ISO 45001 Occupational health and safety Management Systems standard. The aim of this paper is to describe the process of reporting and managing dangerous events in the company, to determine their value and impact for individual processes.

Key words:

Dangerous event, Near-miss, Unsafe condition, Accident at work, Remedial measure.

INTRODUCTION

A near-miss has not been regulated by any legal provision or standard in more detail. The only references to near-misses can be found in the Act No. 124/2006 Coll. on occupational health and safety as amended, in form of “a dangerous event” including the reporting obligation for every employee. Another reference to near-misses can be found in the norm ISO 45 001:2018 Occupational Health and Safety Management Systems.

How should a near-miss, an unsafe condition and a dangerous event be defined correctly?

Near-miss – An unplanned event that occurred and represents a threat but that has not caused any injury or environmental or property damage [internal definition].

Near-miss – An event that does not cause any injury or health damage or that has such potential [2].

Unsafe condition – Inappropriate state of working environment that represents a potential risk of injury or environmental or property damage [internal definition].

Dangerous event – An event that puts the employee's safety or health at risk but that has not caused his injury [1].

Near-miss prevention
Reporting of unsafe conditions
Adoption of measures
Prevention of the event repetition

Work accident prevention
Reporting of near-misses
Adoption of measures
Prevention of the event repetition

It follows from the above that the reporting of near-misses and unsafe conditions serves as an instrument for reduction of injuries and elimination of work accidents.

Understanding a near-miss and unsafe condition and provision of information

In order to have an effective system for reporting of near-misses and unsafe conditions and to identify weak points in processes connected with the accident risks, it is necessary to fulfill the following basic steps:

- Provision of information to managers and employees. The employees must be informed sufficiently in order to understand the terms near-miss and unsafe condition correctly.
- Motivation of employees and managers to report near-misses and unsafe conditions.
- Definition of the correct instrument for reporting and recording that must be as simple as possible in order to be used anytime, anywhere and as fast as possible.

The record of the event must be managed by a specialist who is able to assess the severity of the reported event, analyze it, evaluate and determine remedial measures. [3]



Provision of information to employees and managers

The provision of information to employees and managers must be done regularly and understandably. The ideal solution is to integrate this provision of information into the agenda of the initial and repeated trainings of employees and managers in line with Par. 7, Act No. 124/2006 Coll. on occupational health and safety as amended.

The next important step for the correct function of the entire system of event reporting is the regular check of knowledge of employees about near-misses and unsafe conditions during internal audits.

Motivation of employees

The ideal solution for motivation of employees for reporting of near-misses and unsafe conditions is the integration of this element into the key performance indicators for individual production areas. Based on the practical experience, we can mention the following: 5 reported event for each production department.

Instrument for reporting and recording

Among the main requirements for reporting and recording of events is simplicity. The instrument must be anytime and anywhere at disposal. The simplest way is to implement the instrument for reporting of near-misses and unsafe conditions into the application platform of the company.



Accident report

Figure 1. Instrument launch

SK-EN Brief Record of Incidents
SK-EN Brief Record of Incidents

Rýchle hlásenie udalostí

Vyber typ udalosti:

Skoronehoda Nebezpečná podmienka

Poranenie na pracovisku Pracovný úraz Ostatné zranenia

Enviroincident

Figure 2. Event selection

Rýchle hlásenie udalostí

Vyber typ udalosti:

Option for attaching photos

Compulsory selection of incident source:

- 1) Safety marking
- 2) Building
- 3) Pedestrian path
- 4) Unsafe handling
- 5) Preparation without certification
- 6) Work organization
- 7) Marked areas
- 8) Damaged equipment
- 9) Stored material
- 10) Storing of material
- 11) Machine equipment – Electricity
- 12) Machine equipment – Parts
- 13) Workplace organization
- 14) Blocked access

Submit the incident

Definition of incident priority

Figure 3. Event reporting

Event management, control and evaluation

The responsibility for the entire system of event reporting must have a person who knows the local conditions, knows how to use various principles of evaluation, knows the legislative requirements for individual areas and has the knowledge of legal provisions.

Practical experience and results

In 2017, 30 near-misses and unsafe conditions were reported. After the introduction of the system for event reporting and KPI setting in the OHS area for production departments, we achieved 857 reported near-misses and unsafe conditions in 2018. More detailed data for individual areas are described in Table 1.

TABLE I.

COMPARISON OF INCIDENTS FOR 2017 AND

Year	Unsafe conditions	Near-misses	Recorded injuries	LT A	Fatal accidents
2017	16	14	109	22	0
2018	624	233	75	13	0

The graphic presentation of the relation of unsafe conditions, near-misses, recorded injuries

and injuries that resulted in employee missing work (LTA) (Heinrich pyramid).

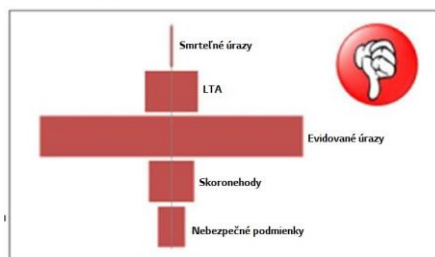


Figure 4. Year 2017

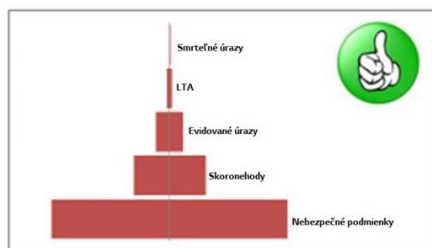


Figure 5. Year 2018

It was our aim to reduce the number of injuries by 10 % in 2018. After the implementation of the instrument for event reporting and KPI, we reduced the number of injuries by 32 %.

Areas for improvement based on the reported events

On the basis of source selection, we are able to evaluate in which area we can improve and at the same time fulfill the legal requirements. The employees can select from 14 event source categories that are divided in accordance with Table 2.

TABLE II DIVISION OF INCIDENT

Number and source description	Legal requirements	Other requirements
1. Safety marking	Government Act (GA) No. 387/2006 Coll.; STN 920102	6S
2. Building	GA No. 391/2006 Coll.; STN 735150; PBS	
3. Pedestrian path	ČSN 269010; STN 735150;	Layout
4. Unsafe handling	GA No. 281/2006 Coll.; ČSN 269030;	
5. Preparation	Act No. 56/2018 Coll.	Other

without certification		requirements
6. Work organization	Act No. 124/2006 Coll.; GA No. 286/2004 Coll.,	Procedures and instructions
7. Area marking	ČSN 269030	6S; Workplace layout
8. Damaged equipment	GA No. 392/2006 Coll.	Other provisions
9. Stored material	ČSN 269030	Internal provisions
10. Storing of material	STN ISO 3691 Amd-1; ČSN 269030;	Internal provisions
11. Machine equipment – Electricity	Act No. 508/2009 Coll.; GA No. 436/2008 Coll.	Technical documentation
12. Machine equipment – Parts	Act No. 508/2009 Coll.; Act No. 59/1982 Coll.; GA No. 436/2008 Coll.	Technical documentation
13. Workplace organization	GA No. 391/2006 Coll.	6S
14. Blocked access	Act No. 121/2002 Coll.	Workplace layout

Event evaluation and adoption of measures

Dangerous events are evaluated in two time intervals:

- Weekly** – The aim of this evaluation is to assess how relevant the dangerous event is, to assess correctly whether it is a near-miss or an unsafe condition. The selection of the department for the elimination of the dangerous event is also assessed, and the remedial measures determined by the notifier are checked.
- Quarterly** – The evaluation of dangerous event sources and the definition of three most frequently repeated sources for the evaluated period. Planning of meetings for each individual source of dangerous event. All concerned people must participate in the meeting. The further step of the quarterly evaluation is the

check whether the obligation to eliminate the dangerous event for individual departments was fulfilled. It is defined by the success rate (SR) of event elimination:

$$SR = \frac{\text{Number of eliminated dangerous events}}{\text{Number of all dangerous events}} \times 100 [\%]$$

Examples of evaluation from practical experience:

In the first three months, 184 near-misses and unsafe conditions were reported. The evaluation consists in the definition of the three most frequently repeated event sources. The next step is the check how the remedial measures determined by the notifier of the dangerous event were fulfilled.

Three most frequently repeated sources for the first quarter:

1. Pedestrian paths – 50 reports, 27,17 % of all events
2. Building – 25 reports, 13,59 % of all events
3. Unsafe handling – 20 reports, 10,87 % of all events

CONCLUSION

As a conclusion, we can evaluate that ignoring unsafe conditions and near-misses at the workplace can have serious consequences. The statistical data collected during three years of event reporting indicate that a certain number of unsafe conditions and near-misses lead, in a certain proportion, to real accidents with various accident severity. It is in the interest of all employees in individual work processes to prevent such events. So, if we can eliminate the number of repeating

unsafe conditions and near-misses efficiently, we have a certain, non-negligible chance that we can prevent more severe accidents. [3]

Acknowledgment

Príspevok bol vypracovaný v rámci projektu KEGA 015TUKE-4/2019 Manažérstvo auditov využitím softvérovej aplikácie v zmysle požiadaviek normy ISO 9001:2015

References

- [1] Ivan Gašparovič, Pavol Hrušovský, Mikuláš Dzurinda (2006): Act No. 124/2006 Coll. on occupational safety and health and amendment of some acts. National Council of the Slovak Republic.
- [2] Ing. Jozef Grauzel, CSc. (2019): STN ISO 45001 Occupational Health and Safety Management Systems Standard. Requirements with application instructions]. First edition. Úrad pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo SR [Slovak Office for Standards, Metrology and Testing]. 72 p. Publication No. 127665.
- [3] Petr Markl, Jiří Vencl (2015): Skoronehoda. Bezpečnosť a hygiena práce [Near-miss. Work safety and hygiene], Vol. 65, No. 7-8.

Correspondence address:

Lukáš ĎURIŠ
Technical University of Košice
Faculty of Mechanical Engineering
Quality and Safety
Tel.: +421 911 446 483
Email: durisko4@gmail.com

ANALÝZA VNÚTORNEJ KVALITY VZDUCHU V INTERIÉRI AUTOMOBILU

Laura DŽUŇOVÁ, Ružena KRÁLIKOVÁ

Technická Univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Katedra procesného a environmentálneho inžinierstva, Košice
laura.dzunova@tuke.sk, ruzena.kralikova@tuke.sk

Abstrakt:

Kvalita vnútorného ovzdušia vozidiel sa stáva dôležitým problémom na celom svete, ako dôsledok neustále sa zvyšujúceho počtu vozidiel na cestách. Motorové vozidlá sú zdrojom výfukových emisií (napr. NO_x , SO_x , CO_x , uhľovodíky a VOC) a bez výfukových emisií (napr. pevné častice). Tento článok sa zameriava na dôležitý aspekt znečistenia ovzdušia a to znečistenie ovzdušia v interiéroch automobilov jednotlivými znečisťujúcimi látkami. Taktiež príspevok poskytuje prehľad nedávno publikovaných štúdií z danej problematiky a ich výsledkov, a taktiež základné informácie, ktoré slúžia ako teoretický podklad pre budúci výskum v tejto oblasti.

Kľúčové slová:

kvalita vzduchu, automobil, VOC, CO_x , NO_x , pevné častice

ÚVOD

Človek v priemere trávi väčšinu svojho času vo vnútornom prostredí. Či už je to čas strávený doma, na pracovisku, v obchodnom centre, v telocvični, alebo v dopravných prostriedkoch, väčšina aktivít moderného života prebieha v uzavretých priestoroch. Takýto moderný spôsob života s nedostatkom pohybu, čerstvého vzduchu a taktiež absenciou prirodzeného denného osvetlenia a slnečného žiarenia prispieva k vzniku a rozvoju mnohých civilizačných chorôb.

Vo vyspelých krajinách, má mnoho krát jedna rodina viac, ako jeden automobil. Celkovo patrí automobilová doprava medzi tie najvyužívanejšie, a to najmä z dôvodov mnohých benefitov, ktoré ponúka, ako sú pohodlie, úspora času, súkromie a možnosť priamej dopravy na konkrétne miesto, takmer všade vo svete. Môžeme tvrdiť, že výhody, ktoré táto doprava ľuďom ponúka sú tak významné, že sa väčšine oplatí priplatiť si za tento komfort a uprednostniť tento druh dopravy pred inými. Avšak s enormným záujmom a dopytom po automobiloch pribúdajú aj negatíva. Rastúci počet obyvateľov a potreba vlastniť automobil v rozvinutých krajinách významne prispieva k záťaži životného prostredia. Rastúci počet áut na cestách vedie k zníženiu účinnosti vyššie spomínaných benefitov. Čas strávený na cestách sa v dôsledku hromadenia áut predlžuje, vytvárajú sa dlhé kolóny, rýchlo sa míňajú voľné parkovacie miesta, vodiči sa stávajú čoraz viac

agresívnymi, netrpezlivými a bezohľadnými a aj z týchto dôvodov stúpa počet dopravných nehôd, čo prispieva k tomu, že sa tento druh dopravy právom radí medzi tie najnebezpečnejšie a najrizikovejšie.

Z environmentálneho hľadiska automobilová doprava výrazne prispieva k zhoršovaniu kvality životného prostredia. S narastajúcim počtom áut dochádza k zvýšenému dopytu po surovinách na výrobu automobilových súčastí a surovinách na výrobu pohonných hmôt. V dôsledku ťažby a priemyselnej výroby dochádza k vedľajšej produkcii veľkého množstva skleníkových plynov a odpadu, taktiež samotná prevádzka a údržba motorových vozidiel v tomto smere nezaostáva. Kvalita vzduchu v okolí vyťažených ciest, najmä vo veľkomestách je zlá, motorové vozidlá znečisťujú vzduch, ktorý dýchame toxickými časticami a výparmi. Kvapky oleja, pohonných látok a iné toxické látky sa spolu s úločkami pneumatík zachytávajú na cestách a spolu s najbližším dažďom putujú do okolia a znečisťujú podzemnú vodu a pôdu v okolí vozoviek. Moderný spôsob života si vyberá svoju daň a je jasné, že kvalita života v budúcnosti bude odrazom každodenných rozhodnutí jednotlivcov, prístupu veľkých korporácií a súdržnosti spoločnosti.

Tento článok sa zameriava na problematiku kvality vzduchu v interiéri automobilu a vplyvom tohto vnútorného prostredia na zdravie a kvalitu života pasažierov. S neustále pribúdajúcimi informáciami o dôsledkoch znečistenia ovzdušia a jeho prvenstvu v rebríčku najčastejších príčin

predčasných úmrtí naberá problematika kvality vzduchu, ktorý dýchame v našom motorovom vozidle na dôležitosť. Kvalita vzduchu v interiéri automobilu je ovplyvnená rôznymi faktormi, ako napríklad spôsob a intenzita využívania ventilačného systému, klimatizácie a vykurovania, kvalita vzduchu okolitého prostredia a individuálnymi charakteristikami automobilu (značka, vek, model...).

1 LÁTKY ZNEČISŤUJÚCE OVZDUŠIE V INTERIÉRI AUTOMOBILOV

Medzi najčastejšie znečisťujúce látky v ovzduší emitované motorovými vozidlami patria tuhé častice (PM), oxid dusičitý NO₂, oxid uhličitý CO₂, oxid uhoľnatý (CO) a prchavé organické zlúčeniny (VOC), tieto látky sú najviac koncentrované v okolí často využívaných ciest a z okolitého prostredia môžu prenikať do interiéru automobilu. Medzi ďalšie látky znečisťujúce interiéri automobilov patria najmä cigaretový dym, hromadenie CO₂ ako výsledok dýchania pasažierov, prchavé organické látky z plastových komponentov a používaním rôznych chemikálií na čistenie interiéru, taktiež v interiéri môžu byť prítomné rôzne baktérie, plesne, huby. Vystavenie týmto znečisťujúcim látkam je spojené s krátkodobými, alebo dlhodobými nepriaznivými účinkami na ľudské zdravie a môže viesť až k predčasnej smrti.



Obr. 1. Znečisťujúce látky v interiéri automobilu

Prchavé organické zlúčeniny

Prchavé organické zlúčeniny (VOC) patria medzi významnú skupinu znečisťujúcich látok. K VOC patrí napríklad benzén, formaldehyd, acetón, toulén a iné. Podieľajú sa aj na tvorbe fotochemického smogu, ktorého najškodlivejšou zložkou je prízemný ozón. Medzi zdroje emisií VOC spôsobené ľudskou činnosťou patria najmä produkcia ropy a zemného plynu, spaľovanie palív, chemické a priemyselné procesy (výroba a používanie farieb a organických rozpúšťadiel, spracovanie syntetickej gumeny...), používanie

pesticídov a cigaretový dym. VOC môžu spôsobiť rôzne zdravotné problémy, ako napríklad bolesti hlavy, problémy s dýchaním, podráždenie pokožky a očí, ochorenia kardiovaskulárneho systému a iné. Niektoré prchavé organické zlúčeniny sú rakovinotvorné, ako napríklad formaldehyd a benzén.

Medzi zdroje VOC v interiéri automobilu môžu patriť rôzne plastové komponenty, textilie, používanie chemikálií na čistenie interiéru a kožených sedačiek, rôzne vône do auta a iné. Odporúčané hodnoty expozície pre jednotlivé VOC sa líšia v závislosti od toxicity prchavej látky, hodnoty expozície tVOC (celková koncentrácia VOC) vo vnútornom prostredí sú uvedené v nasledujúcej tabuľke 1. Žiadna z jednotlivých VOC by nemala prekročiť 10% koncentrácie v celkovej koncentrácii VOC [1].

TABUĽKA 1. HLADINY EXPOZÍCIE TVOC [2]

Expozícia tVOC		Odporúčaná dĺžka expozície
0-65 ppb	odporúčaný rozsah	bez limitu
65-220 ppb	nízke nebezpečenstvo, odporúčanie zvýšenia vetrania	bez limitu
220-660 ppb	stredné nebezpečenstvo, odporúčanie zvýšenia vetrania a odstránenie zdroja	< 12 mesiacov
660-2200 ppb	vysoké nebezpečenstvo, nutnosť vetrania a odstránenia zdrojov	< 1 mesiac
>2200 ppb	neakceptovateľná úroveň, nutnosť intenzívneho vetrania a okamžitého odstránenia zdroja	niekoľko hodín

PM – pevné častice

Polietavý prach predstavuje sumu pevných častíc rôznej veľkosti, ktoré sú voľne rozptýlené v ovzduší. Do ovzdušia sa dostávajú prirodzenou cestou, ale aj v dôsledku ľudskej činnosti (spaľovanie tuhých látok, opotrebovávanie pneumatík, výfukové plyny...). Ich vplyv na ľudské zdravie závisí najmä od toxicity, počtu a veľkosti týchto častíc. Zatiaľ čo väčšie častice, nad 10 µm (PM₁₀) sú zachytávané v horných dýchacích cestách a môžu spôsobiť podráždenie horných dýchacích ciest a očí, častice menšie, ako 10 µm sa dostávajú až do dolných dýchacích ciest, kde sa môžu usadzovať a spôsobovať zdravotné ťažkosti. Najnebezpečnejšie sú častice menšie, ako 2,5 µm (PM_{2,5}), ktoré môžu prenikať až do pľúcnych mechúrikov a tu sa usadzovať, alebo prenikať do krvného obehu. Je dokázané, že práve znečistenie ovzdušia prachovými časticami spôsobuje zvýšenú úmrtnosť obyvateľov na ochorenia dýchacej a srdcovo-cievnej sústavy [3].

Znečistenie ovzdušia pevnými časticami v okolí ciest je spôsobené najmä opotrebovaním pneumatík,

až potom nasledujú výfukové plyny. Množstvo častíc uvoľnených opotrebením pneumatík závisí od veľkosti a váhy vozidla a taktiež spôsobu jazdy. Napríklad na SUV autách a elektromobiloch dochádza k zvýšenému opotrebovaniu pneumatík. Okrem toho, že tieto častice spôsobujú znečistenie vzduchu, s dažďami dochádza taktiež, ku kontaminácii okolitej pôdy, vodných zdrojov a podzemnej vody mikroplastami [4].

Usmernenie WHO (Svetová zdravotnícka organizácia) stanovuje, že koncentrácia PM_{2,5} nesmie prekročiť ročný priemer 10 µg / m³ alebo denný priemer (24hod.) 25 µg / m³. A koncentrácia PM₁₀ nesmie prekročiť ročný priemer 20 µg / m³ alebo priemerný priemer 50 µg / m³ [5].

Oxid uhličitý

Oxid uhličitý (CO₂) je bezfarebný, nehorľavý plyn bez chuti a zápachu, ktorý je ťažší ako vzduch a môže sa hromadiť v nižších priestoroch a spôsobovať nedostatok kyslíka. Prirodzene je prítomný v zemskej atmosfére ako stopový plyn a produkt bunkového dýchania, alebo spaľovania fosílnych palív. Jeho nestabilná pevná forma sa označuje ako suchý ľad.

Typické vonkajšie koncentrácie CO₂ sú približne 380 ppm (0,038%) pričom jeho koncentrácia v ovzduší závisí od miestnych podmienok, nadmorskej výšky a relatívnej vlhkosti vzduchu. V dôsledku ľudskej činnosti, ako je spaľovanie fosílnych palív, výroba cementu, odlesňovanie koncentrácia CO₂ v atmosfére rastie. Hlavným zdrojom CO₂ v interiéroch je ľudské dýchanie. Pri malých koncentráciách má zanedbateľný toxický účinok. Pri vyšších koncentráciách vedie k vzostupu dychovej frekvencie, poruchám srdcového rytmu, nevoľnosti a strate vedomia. Závažnosť symptómov závisí od koncentrácie CO₂ a času expozície. Vo vysokých koncentráciách (>4 %) spôsobuje okamžité ohrozenie života a zdravia [6].

TABUĽKA 2. HLADINY EXPOZÍCIE CO₂ [7]

Expozícia CO ₂	
250-400 ppm	koncentrácia podobná vzduchu vo vonkajšom prostredí
401-1000 ppm	normálna koncentrácia pre vnútorné obývané priestory s dobrou výmenou vzduchu
1001-2000 ppm	vyššia koncentrácia pri dlhodobom vystavení spôsobujúca ospalosť a zlú kvalitu vzduchu
2001-5000 ppm	vysoká koncentrácia pri dlhodobom vystavení spôsobujúca bolesti hlavy, ospalosť, stratu pozornosti, nevoľnosť ...
5000 ppm	predstavuje limitnú hodnotu expozície na pracovisku pre 8 hod. zmenu
>40,000 ppm (4%)	ohrozenie života, alebo zdravia

Oxid uhoľnatý

Oxid uhoľnatý (CO) je bezfarebný plyn bez chuti a zápachu, vznikajúci pri nedokonalom spaľovaní materiálov obsahujúcich uhlík. Je ľahší ako vzduch, v atmosfére je prítomný v nepatrnom množstve a vzniká fotolýzou oxidu uhličitého pôsobením ultrafialového žiarenia. Medzi prírodné zdroje patrí taktiež sopečná činnosť a požiare. Oxid uhoľnatý je plyn, ktorý zapríčinil najviac otráv v histórii ľudstva. Je prítomný vo výfukových plynoch automobilov, taktiež vzniká pri kúrení plynovými, naftovými, benzínovými ohrievačmi a hromadí sa najmä v malých a zle vetraných miestnostiach. Medzi ďalšie významné zdroje patrí aj fajčenie a drevné grily.

Oxid uhoľnatý (CO) sa uvoľňuje, ako vedľajší produkt naftových aj benzínových spaľovacích motorov a je toxický pre ľudí a zvieratá v koncentráciách nad ~ 35 ppm. Správne fungujúci výfukový systém musí zabrániť prenikaniu CO do kabíny. Porušené tesnenie výfuku systému, praskliny alebo otvory pozdĺž výfukového potrubia, otvorený kufo, či nesprávne utiahnuté spoje môžu mať za následok prenikanie toxických plynov do kabíny. Na oxid uhoľnatý sú najcitlivejšie tehotné ženy, malé deti, osoby s ochoreniami srdcovo-cievneho aparátu a staré osoby. Pre ochranu zdravia je dôležité vyhýbať sa cigaretám, dlhodobého pobytu v zafajčených priestoroch a miestam s vysokou koncentráciou splodín z cestnej dopravy [8].

Pri vysokých koncentráciách oxidu uhoľnatého dochádza k intoxikácii čo vážne zhoršuje schopnosť viesť vozidlo. Ľudia trpiaci intoxikáciou CO myslia pomaly a iracionálne, sú zmätení a nie sú schopní bezpečne viesť motorové vozidlo. Tento stav je obzvlášť nebezpečný, pretože si ho človek neuvedomuje.

TABUĽKA 3. HLADINY EXPOZÍCIE CO [9]

Expozícia CO	
9 ppm	maximálna dlhodobá expozícia (norma ASHRAE)
35 ppm	maximálna expozícia počas 8 hod. pracovnej zmeny (OSHA)
>800 ppm	smrť v priebehu niekoľkých hodín
>12 800 ppm	smrť v priebehu 1 – 2 minút

Oxid dusičitý

Oxid dusičitý (NO₂) je žltohnedý, agresívny, jedovatý plyn. V ovzduší spôsobuje kyslé dažde a smog. Pôsobí dráždivo na sliznice dýchacích ciest a znižuje ich obranyschopnosť proti infekciám.

Až 50% oxidu dusičitého pochádza práve z automobilovej dopravy, ďalším významných

zdrojom je spaľovanie zemného plynu. Prechod z benzínových na naftové vozidlá nebezpečenstvo NO_x ešte zhoršuje. NO_x je zmes oxidu dusnatého (NO), ktorý je neškodný, a oxidu dusičitého (NO₂). Pri spaľovaní nafty v motore namiesto benzínu sa celkovo produkuje viac NO_x z čoho až 70 % tvorí NO₂, v porovnaní s iba 10 až 15 percentami NO₂ pri spaľovaní benzínu. Od istých koncentrácií (>20 ppm počas niekoľkých minút) spôsobuje inhalácia NO₂ otravy spojené s toxickým opuchom pľúc, a okamžité ohrozenie života [10].

TABUĽKA 4. HLADINY EXPOZÍCIE NO₂ [11]

Expozícia NO ₂	
< 0,1 ppm	minimálny vplyv na zdravie
0,1 - 5 ppm	nepriaznivé účinky na zdravie, najmä u zraniteľnej populácie (astmatici, staršie osoby, osoby s dýchacími problémami...)
>5 ppm	nebezpečenstvo poškodenia zdravia

2 ANALÝZA SÚČASNÉHO STAVU

Problematika vplyvu automobilovej dopravy na zdravie ľudí a životné prostredie je veľmi rozsiahla a aktuálna, aj preto je čoraz častejšie predmetom mnohých medzinárodných štúdií, výskumu a vývoja. „Zlý vzduch“ v interiéri je často príčinou nepohodlia, ale okrem toho môže viesť aj k vážnym chorobám. Dýchaním sa škodlivé látky zo vzduchu dostávajú do pľúc a krvného obehu. Kvalita ovzdušia hrá preto dôležitú úlohu v ochrane ľudského zdravia a životného prostredia. V tejto časti príspevku sú uvedené štúdie zaoberajúce sa kvalitou ovzdušia v automobile. Každodenná emisia toxických látok do ovzdušia spôsobená cestnou dopravou (ako napríklad obrusovaním pneumatík a výfukovými plynmi) sa prejavuje najmä na kvalite vzduchu ktorý dýchame pri pohybe v okolí ciest, ako aj v interiéri vozidla.

Medzi nedávno publikované štúdie v tejto oblasti patrí štúdia Bakhtiariho a kol. [12], ktorá bola zameraná na hodnotenie koncentrácií prchavých organických látok (VOC) v interiéroch taxíkov v závislosti od veku vozidla a druhu paliva. Štúdia bola vykonaná na štyroch modeloch taxíkov v troch vekových skupinách a poháňanými troma rôznymi druhmi paliva (benzín, CNG - stlačený zemný plyn a LPG - kvapalný ropný plyn). Množstvo prchavých organických látok v interiéri taxíkov bolo merané pred a po doplnení paliva. Z výsledkov štúdie vyplýva, že tankovanie zvýšilo koncentrácie znečisťujúcich látok vo vozidle, predovšetkým u palív CNG a LPG, ďalej koncentrácie prchavých organických zlúčenín boli najvýraznejšie pri

benzínových modeloch a vek taxíka nepriamo ovplyvňoval koncentráciu formaldehydu a acetaldehydu v interiéri.

Barnes a kol. [13], vo svojej štúdii testovali päťdesiatjeden vozidiel na prítomnosť častíc (PM_{0,3} a PM_{2,5}), celkových prchavých organických zlúčenín (TVOC), oxidu uhoľnatého (CO), oxidu uhličitého (CO₂), vzdušných baktérií a plesní. Z celkového počtu testovaných vozidiel až 24% z nich prekročilo odporúčanú hladinu prchavých organických látok a táto koncentrácia pozitívne korelovala s vekom vozidla. Taktiež prítomnosť tVOC bola výrazne vyššia pri voľnobehe motora, ako počas jazdy. Úroveň oxidu uhoľnatého (CO) vo všetkých vozidlách neprekračovala odporúčané hodnoty, zatiaľ čo 96% vozidiel prekročilo odporúčanú hladinu CO₂ 1 000 ppm a 16% vozidiel dokonca hodnotu 5000 ppm. Prítomnosť mikróbov, baktérií a plesní v interiéroch bola relatívne nízka. Ďalej v štúdii Barnes a kol. až 96% testovaných automobilov prekročilo odporúčané hodnoty CO₂ (1000 ppm) počas jazdy, hodnoty sa pohybovali v priemerne okolo 3 413 ppm, 16% vozidiel prekročilo hodnotu 5 000 ppm. Celkom 90% testovaných automobilov prekročilo odporúčané hodnoty CO₂ v kabíne počas voľnobehu motora.

Podľa Chena a kol. [14] koncentrácie VOC stúpajú s teplotou a relatívnou vlhkosťou a klesajú s vekom automobilu a celkovým počtom najazdených kilometrov. Ďalej sú vyššie u automobilov s malými kabínami a závisia aj od modelu automobilu a miesta vzorkovania.

Znečistenie ovzdušia tuhými časticami (PM) z emisií z dopravy má významný vplyv na ľudské zdravie. Dröge a kol. [15] skúmali hladiny PM v kabíne automobilu mobilným aerosólovým spektrometrom pri rôznych podmienkach. Koncentrácie častíc záviseli od veľkosti častíc a koncentrácie PM v okolitom vzduchu. Koncentrácia menších častíc vykazovala malé výkyvy, ale koncentrácia hrubých častíc vykazovala vysoké výkyvy s maximálnymi hodnotami na frekventovaných cestách. Zatvorenie okna vozidla znížilo expozíciu PM a to najmä hrubým časticami.

Koncentrácie častíc vo vzduchu (PM) vo vnútri kabín vozidiel sú často extrémne vysoké. Ďalšia štúdia z roku 2019 [16] sa zaoberala vzťahom medzi emisiami vedúceho vozidla a úrovňami koncentrácie PM v kabíne bezprostredne nasledujúceho vozidla. Štúdia sa uskutočňovala na pevnej trase dlhej 26 km, kde sa počas 60-minútových jazd uskutočnilo 10 opakovaných testov. Monitorovanie koncentrácií častíc rôznych veľkostí (PM_{0,3-1} a PM_{1-2,5}) sa uskutočňovalo vo vnútri kabíny vozidla s pevným nastavením vetrania (t.j. okná zatvorené, klimatizácia vypnutá a recirkulácia vypnutá).

Výsledky ukázali, že hladiny PM v kabíne boli významne ovplyvnené emisiami vedúceho vozidla.

Štúdia, ktorú vykonali Hudda, N. & Fruin, S.A. z roku 2018 [17], skúmala vplyv jazdy a vetrania na akumuláciu CO₂ v kabíne. Výsledky značia o tom, že recirkuláciou vnútorného vzduchu a zatváraním okien sa znižujú hladiny jemných častíc vo vozidle no zvyšuje sa koncentrácia CO₂, ako výsledok dýchania cestujúcich. Na koncentráciu CO₂ majú veľký vplyv okolnosti, ako je počet cestujúcich, vek vozidla, nastavenie vetrania, objem kabíny, rýchlosť a doba jazdy. Nastavením vnútorného okruhu vzduchu môže hladina CO₂ prekročiť prahovú hodnotu (2 500 ppm), čo má negatívne kognitívne alebo fyziologické následky, ako sú ťažkosti so sústredením a únava). Pri dlhších cestách alebo väčšom počte pasažierov by malo byť používanie recirkulácie vzduchu pravidelne prerušované alebo čiastočne zmiešané s vonkajším vzduchom, ideálne tak, aby sa koncentrácia CO₂ pohybovala pod hodnotou 1000 ppm.

Medzi znečisťujúce a škodlivé látky výfukových plynov motorových vozidiel patrí aj oxid dusičitý (NO₂). Poľská štúdia [18] sledovala vystavenie vodičov, cestujúcich a chodcov účinkom NO₂ počas rôznych výletných scenárov. Vzorky NO₂ boli zhromažďované v interiéroch automobilov, nákladných automobilov a autobusov, ako aj v okolitom ovzduší pomocou pasívnych vzorkovačov a ďalšie koncentrácie NO₂ boli analyzované pomocou spektrofotometrickej techniky. Výsledky výskumu naznačujú, že najvyššie koncentrácie NO₂ boli spojené s cestovaním po mestských komunikáciách zatiaľ čo nižšie koncentrácie boli spojené s pohybom v prímestskej doprave, na cestách s nízkou intenzitou dopravy.

Taktiež kórejská štúdia [19] sa zoberala osobnou expozíciou NO₂ 31 taxikárov v dvoch kórejských mestách. Expozícia sa odhadovala na základe meraní vo vonkajšom prostredí a vnútornom prostredí domova a taxíku. Na základe výsledkov môžeme, ako hlavný zdroj expozície NO₂ taxikárov považovať vedenie vozidla v zamestnaní. Taktiež z výskumu vychádza, že expozície NO₂ v taxíkoch na LPG sú významne nižšie, v porovnaní s vozidlami na naftu.

ZÁVER

Aj keď si to často krát ani neuvedomujeme kvalita ovzdušia má nezanedbateľný vplyv na životné prostredie a naše zdravie. Cestná doprava sa už niekoľko rokov nachádza na popredných miestach v rebríčku znečisťovateľov ovzdušia. Každoročne zaznamenávame nárast v cestnej mobilite a

preprave tovarov čo vedie k zhoršeniu kvality ovzdušia. Pociťovať to môžu najmä ľudia žijúci vo veľkomestách a v blízkosti frekventovaných ciest.

S dnešnou rýchlosťou doby sa spája aj dlhý pobyt v uzavretých priestoroch, dlhší čas strávený na cestách a v dopravných prostriedkoch, preto je udržiavanie vhodnej kvality ovzdušia v interiéroch dôležité a priťahuje čoraz väčšiu pozornosť. Pravidelné vetranie, správne používanie klimatizačných systémov, kontrola a výmena filtrov môžu byť užitočnými nástrojmi zlepšenia kvality a hygieny vzduchu v interiéri.

Problematika kvality vzduchu v interiéri automobilu je veľmi široká a napriek doteraz vykonaným štúdiám poskytuje priestor na ďalšie experimenty, ako je získanie informácií o vplyve individuálnych charakteristík vozidla, ako sú vek, model, výrobca a iné. Možnosť posilniť testovacie série o viac vozidiel s rôznymi charakteristikami pre väčšiu reprezentatívnosť a validáciu získaných výsledkov. Vykonávanie testov za rôznych podmienok, ako sú zmeny v rýchlosti automobilu, nastavení klimatizácie a ventilácie, počet cestujúcich, vykonávanie činností, ako je tankovanie, či čistenie interiéru a iné.

Výsledky výskumov by mali vo všeobecnosti viesť k získaniu dôležitých informácií pre ochranu zdravia cestujúcich a ostatných účastníkov cestnej premávky. Znižovanie nepriaznivých účinkov dopravy je taktiež dôležitým cieľom politiky EÚ. Strategické dokumenty EÚ sú zamerané na smerovanie k nulovej bilancii emisií skleníkových plynov, upozorňuje sa na dôležitosť prechodu na nízkouhlíkové režimy a vozidlá s nulovými emisiami, podčiarkuje sa ústredná úloha elektrifikácie a obnoviteľných zdrojov energie a do popredia sa dávajú zlepšenia prevádzkovej účinnosti. Vyzýva sa aj na lepšie územné plánovanie a využívanie výhod verejnej dopravy v plnej miere.

Významnú úlohu pri znižovaní negatívneho vplyvu cestnej premávky na celkovú kvalitu ovzdušia môže zohrať aj urýchlený prechod k využívaniu vozidiel na vodíkový pohon.

POĎAKOVANIE

Príspevok bol vypracovaný v rámci projektu KEGA č. 1/045/2018 (50%) a projektu APVV č. 15-0327, podporeného Ministerstvom školstva Slovenskej republiky a riešeného na Katedre procesného a environmentálneho inžinierstva Technickej univerzity v Košiciach.

Použitá literatúra:

- [1] Montero-Montoya, R. et al. (2018). Volatile Organic Compounds in Air: Sources, Distribution, Exposure and Associated Illnesses

- in Children. *Ann Glob Health*. 2018. Vol. 84, No. 2, pp. 225-238. doi:10.29024/aogh.910
- [2] Indoor air quality and volatile organic compounds. Sensirion. Online: https://www.repcomsrl.com/wp-content/uploads/2017/06/Environmental_Sensing_VOC_Product_Brochure_EN.pdf
- [3] Lozhkin, V. et al. (2018). A study of air pollution by exhaust gases from cars in well courtyards of Saint Petersburg. *Transportation Research Procedia*. 2018. Vol. 36, pp. 453-458. ISSN 2352-1465. doi: 10.1016/j.trpro.2018.12.124.
- [4] Tyres not tailpipe. Emission analytics. 2020. Online: <https://www.emissionsanalytics.com/news/2020/1/28/tyres-not-tailpipe>
- [5] World Health Organization, Occupational and Environmental Health (2005). "WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide: Global update 2005: Summary of Risk Assessment". Online: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69477/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf;jsessionid=3252302599942E092D270818EDBB969F?sequence=1
- [6] Azuma, K. et al. (2018). Effects of low-level inhalation exposure to carbon dioxide in indoor environments: A short review on human health and psychomotor performance, *Environment International*. 2018. Vol. 121, No.1, pp. 51-56. ISSN 0160-4120. doi:10.1016/j.envint.2018.08.059.
- [7] What are safe levels of CO and CO₂ in rooms? KANE. Online: <https://www.kane.co.uk/knowledge-centre/what-are-safe-levels-of-co-and-co2-in-rooms>
- [8] Dirks, K. et al. (2018). In-Cabin Vehicle Carbon Monoxide Concentrations under Different Ventilation Settings. *Atmosphere*. 2018. Vol. 9. doi: 338. 10.3390/atmos9090338.
- [9] What are safe levels of CO and CO₂ in rooms? KANE. Online: <https://www.kane.co.uk/knowledge-centre/what-are-safe-levels-of-co-and-co2-in-rooms>
- [10] Carslaw, D. et al. (2013). Remote sensing of NO₂ exhaust emissions from road vehicles. A report to the City of London Corporation and London Borough of Ealing. Online: https://uk-air.defra.gov.uk/assets/documents/reports/cat05/1307161149_130715_DefraRemoteSensingReport_Final.pdf
- [11] Adverse Health Effects of Elevated Nitrogen Dioxide (NO₂) Levels in Homes. E Instruments. Online: <https://www.e-inst.com/applications/adverse-effects-of-elevated-no2/>
- [12] Bakhtiari, R. et al. (2018). Investigation of in-cabin volatile organic compounds (VOCs) in taxis; influence of vehicle's age, model, fuel, and refueling. *Environ Pollut*. 2018. Vol. 237, pp. 348-355. doi: 10.1016/j.envpol.2018.02.063.
- [13] Barnes, N.M. et al. (2018). In-Cabin Air Quality during Driving and Engine Idling in Air-Conditioned Private Vehicles in Hong Kong. *Int J Environ Res Public Health*. 2018. Vol.15, No. 4, p. 13. doi: 10.3390/ijerph15040611.
- [14] Chen X. et al. (2014). Analyses on influencing factors of airborne VOCs pollution in taxi cabins. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2014. Vol. 22. doi: 10.1007/s11356-014-3223-y.
- [15] Dröge, J. et al. (2018). Mobile Measurements of Particulate Matter in a Car Cabin: Local Variations, Contrasting Data from Mobile versus Stationary Measurements and the Effect of an Opened versus a Closed Window. *Int J Environ Res Public Health*. 2018. Vol. 15, No. 12. doi: 10.3390/ijerph15122642.
- [16] Campagnolo, D. et al. (2019). In-vehicle airborne fine and ultra-fine particulate matter exposure: The impact of leading vehicle emissions. *Environ Int*. 2019 Vol. 123, pp. 407-416. doi: 10.1016/j.envint.2018.12.020.
- [17] Hudda, N. & Fruin, S.A. 2018. Carbon dioxide accumulation inside vehicles: The effect of ventilation and driving conditions. *Sci Total Environ*. 2018. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.08.105.
- [18] Zak, M. et al. (2016). The exposure of pedestrians, drivers and road transport passengers to nitrogen dioxide. *Atmospheric Pollution Research*. 2016. Vol. 8, pp.781–790. doi: 10.1016/j.apr.2016.10.011
- [19] Son, B. et al. (2004). Estimation of occupational and nonoccupational nitrogen dioxide exposure for Korean taxi drivers using a microenvironmental model. *Environ Res*. 2004.Vol. 94, No. 3, pp. 291-6. doi: 10.1016/j.envres.2003.08.004.

Kontakt:

Ing. Laura Džunová
 TUKE, SJF, KPaEI
 Park Komenského 5
 Email: laura.dzunova@tuke.sk

TOOLS OF MANAGEMENT IN HEALTH AND SAFETY REGARDING CONSTRUCTION MECHANISMS

Katarína FIRMENTOVÁ, Hana PAČAIOVÁ

Technical University Košice, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of special engineering processes, Department of Safety and Quality

katarina.firmentova@student.tuke.sk, hana.paciaova@tuke.sk

Abstract:

The article focuses on tools of management - it analyses advantages and disadvantages of various systems in relation to an ever-changing work environment, i.e. an 'organic building site' which is being managed by construction mechanisms. The aim is to evaluate a given situation and its potential risks and to take adequate preventive measures. Nowadays a proactive attitude and involvement is expected from all employees of any organisation to ensure that the health and safety rules are met. The implementation of effective managements systems allows for a flexible reaction to changing needs of any construction. This is a deciding factor of an effective functioning of a management and health and safety at a workplace.

Key words:

system, management, health and safety, work safety, development

INTRODUCTION

Companies tend to implement a integrated system of management to deal with problems which arise due to a number of managers and overseers. These managements systems bring clear rules, guidelines and norms for all concerned. The management of the organization can reduce its activities of supervision and worker coordination and focus on management systems and processes. The application of a management tool into the suitable approach of directorial practice depends on individual circumstances of a company and its effort to have a proactive attitude towards its current and potential problem solving. The possibilities of applying an appropriate instrument within the framework of the management approach into operative managerial practice depend on the particular situation and the efforts to address its current and potential problems in a proactive way.

Effective running of company processes is a tool for strengthening and keeping the company's standing on a market-oriented environment. Specific circumstances of every type of a integrated system differs with every company and its morphology defines many factors, both inside and out.

If the company is to prosper it is in its interest to command a sufficient number of healthy employees who are able to guarantee a certain

level work productivity, which enables the company not only to survive alongside its competition but also to profit financially.

A responsible approach in managing the risks ensures also other additional benefits, for example:

- More efficient focus on productivity of the company,
- optimisation of allocation and better utilization of financial and workforce capital
- lowering the costs for individual transactions,
- more precise estimate of prices of products and services,
- minimizing of accidents at the workplace

1 MANAGEMENT SYSTEMS

A specific singularity of well-functioning management systems is the risk management according to ISO 31000 together with tools for risk management according to ISO 31010. From these the most strongly represented are.

Process Mapping (PM) – In project management, process mapping is the ultimate tool to streamline the work and accomplish the project goals in a smoother and more efficient manner.

Preliminary Hazard Analysis (PHA) - An early or initial system safety study of potential loss events. It is a list or inventory (PHL) of system hazards and includes qualitative, not quantitative, assessments of risk for the individual hazards.

Operational Hazard Analysis (HAZOP) is a structured and systematic technique for system examination and risk management. In particular, HAZOP is often used as a technique for identifying potential hazards in a system and identifying operability problems likely to lead to nonconforming products.

Error Tree Analysis (FTA) is a top-down approach to failure analysis, starting with a potential undesirable event (accident) called a TOP event, and then determining all the ways it can happen.

Analysis of failures and their consequences (FMEA) Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) is a systematic, proactive method for evaluating a process to identify where and how it might fail and to assess the relative impact of different failures, in order to identify the parts of the process that are most in need of change.

Analysis of critical failures and their consequences (FMECA) FMECA is a technique used to identify, prioritize, and eliminate potential failures from the system, design or process before they reach the customer. they occur." Initially, the FMECA was called FMEA.

1.1 Complexness of individual methods

The choice of an optimal analysis of health and safety risks depends on many factors, such as:

- Content and goals of the analysis of risks and the environment encompassing these risks,
- Quality and quantity of available information about analysed risks,
- Workers' level of know-how.

2 EMPLOYEE-MANAGEMENT COOPERATION

Effectively co-working group within a company creates such a homogeneous unit that can generate power as a synergic effect of a mutually beneficial environment.

In this case was a cooperation between:

- HSE (Health and safety and environment) manager,
- Manager of transport and mechanization,
- Foreman of the repair workshop,
- Worker – mechanical engineer, respectively an operator of a construction mechanism.

Mechanisms were being compared on the basis of their complexness [1].:

Machinery and devices for ground work:

- Bulldozers,
- excavators and dredgers,
- mechanical arm machines used for loading and unloading cutters and trenchers,
- scrapers,
- pipe layers,
- road rollers.

Machinery and devices for groundwork (continued):

- concreting plant,
- mobile concrete mixer, concrete agitator,
- concrete pumps.

Other machinery and devices

- special motorized snow machines,
- compressors.

As input data for processing:

- instructions,
- information from the department of repairs,
- statistical evaluation of the most common failures,
- knowledge of mechanical engineers,
- legislative of the Slovak Republic.

2.1 Short – comings of machines

All machines that are placed on the market must be designed in such a way that (due to their overall safety) a number of dangerous situations, threats and risks are minimized during their actual use - during the operation, maintenance, repairs or in the process of their disposal. [2]. The correct operation of the operating personnel, who should be fully acquainted with the construction and specifics of the machine as well as of the safety rules for their use, also contributes to the minimisation of these risks. [3].

3 Construction machinery

Working with mechanisms of any kind requires manual skill, following health and safety precautions and using necessary personal protective equipment (PPE).

Minimum requirements for safe manipulation and usage for work:

- acquaintance with the instructions for use,
- checking of necessary documents - audit reports,
- visual inspection of the condition of the device just before use,
- provision of prescribed PPE,
- provision of regular repairs and inspections

The solution is in the form of simple checklist. The workers, they have little time and a lot of work responsibilities. It must be efficient. It is necessary that the output control sheet is simple and can be filled in quickly. These are located in the cab of the machine. /Figure 1/. It was prepared for all machines in accordance with the requirements of the manufacturer and HSE department.

CHECKLIST - DODERS AND TRACTORS ON A TRACK CHASSIS			
Nr.	Subject of the daily inspection according to the operating instructions	OK	Note
1	Do you perform a thorough visual inspection of the machine?		
2	Have you checked the accessories - cylinders and clutches of the accessories for excessive wear?		
3	Have you checked for dirt on the radiator guard?		
4	Have you checked the oil on the cooling system for leaks?		
5	Have you checked the condition and cleanliness of the stairs?		
6	Have you checked that the guards are securely fastened?		
7	Have you checked the belts for damage or excessive wear?		
8	Have you checked the gauges and indicator lights for damage?		
9	Have you checked the condition of the accessories and hydraulic systems?		
10	Did you check the oil level?		
11	Did you drain the water and sediment from the fuel tank?		
12	Did you check the level of accumulated dirt in the air supply to the engine?		
13	Have you checked that all the controls are working properly?		
14	Have you checked that all protective devices are working properly?		
15	Did you check the lighting on the device?		
16	Have you checked the left and right steering gears?		
17	Have you checked the brake pedal and the condition of the accessories?		
18	Have you checked the status of the audible warning device? Does the machine have a working reversing camera?		
19	Have you checked the engine controller control lever?		
20	Is there any prescribed documentation in the machine (inspection book, operation log, instructions)?		

Figure1. Check list dozers and tractors / repaired by K. Firmentová and coll. /Company Inžinierske stavby a.s/.

CONCLUSION

Solving the issue of the policy of quality, work safety and environment protection is a complicated process when looked at from the point of view of a construction company. The article shows interdependencies of main representatives of a company – managers and the workforce who both participate in a risk-inducing environment. Implementation of various systems and their management becomes very confusing and more often than not they only lead to complicate the management and the administrative side, too. It is paramount to rationally coordinate and integrate the individual systems and their tools into one integrated system of management. In this case the most suitable and the simplest output, which could be understood by all employees, was the compilation of the check-up lists. Everyone attempting to use any kind of machinery is compelled to fill these before starting their work.

Assignment of appropriate goals for a company is within the competence of the top management. The basis for this is the company's analysis, the potential of the company and management's idea of a functioning system of managing it.

Acknowledgment

Príspevok bol vypracovaný v rámci projektu KEGA 015TUKE-4/2019 Manažérstvo auditov využitím softvérovej aplikácie v zmysle požiadaviek normy ISO 9001:2015

References

- [1] CAIS, Ľ. Stavebné stroje. I. diel. Stroje na zemné a skalné práce, 1 vydanie. (Author: CAIS. Title: Building machinery, 1st part. Machinery for ground and rock work, 1st edition.) Elfa, Košice, 2020.200s. ISBN 8089066550
- [2] Everett, J. G., & Frank, P. B. (1996). Costs of accidents and injuries due to the construction industry. Journal of Construction Engineering and Management — ASCE, 122(2), 158–164.
- [3] G. CESARINI, G. HALL, Building a proactive safety culture in the construction industry– 12 step to a safer job site, ACE Group, 2013
- [4] JURÍČEK, V. Technológia pozemných stavieb hrubá stavba. (Author: JURICEK. Title: Technology of surface buildings, construction building) Bratislava Jaga group, v.o.s. ,Bratislava 2001, ISBN 80-88905-29-X.)

- [5] Zákon NR SR č. 124/2006 Z.z. o bezpečnosti a ochrane zdravia pri práci a o zmene a doplnení niektorých zákonov. (Act of the National Council of the Slovak Republic No. 124/2006 coll. about health and safety rules and regulations, with amendments and further changes and applications of related laws.)
- [6] Nariadenie vlády SR č. 396/2006 Z. z. o minimálnych bezpečnostných a zdravotných požiadavkách na stavenisko. (Edict of the Government of the Slovak republic no. 396/2006 about minimal health and safety demands for a building site.)
- [7] PAČAIOVÁ H. - Bezpečnosť a riziká technických systémov. / Pačaiová, Hana; Sinay, Juraj, Glatz, Juraj. - 1. vyd. - Košice : Technická univerzita, 2009. - 246 s. - ISBN 978-80-553-0180-8.

Correspondence address:

Ing. Katarína Firmentová
Technical University in Košice,
Faculty of Mechanical Engineerin, Institute of
special engineering processes, Department of
Safety and Quality, Letná 9, 042 00 Košice
Tel.: +421 904 375 980
Email: Firmentovakatarina@gmail.com

prof. Ing. Hana Pačaiová, PhD., Technical University
in Košice, Faculty of Mechanical Engineering,
Institute of special engineering processes,
Department of Safety and Quality, Letná 9, 042 00
Košice
Tel: +421 55 602 22 90,
E-mail: hana.pacaiova@tuke.sk

ISO/TR 14121-2 AKO UŽITOČNÁ POMÔCKA PRI VYTŤVÁRANÍ POSÚDENIA RIZÍK A ZNIŽOVANÍ RIZIKA

Tomáš GAZDA, Hana PAČAIOVÁ

Technická Univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Katedra bezpečnosti a kvality produkcie, Slovensko
tomas.gazda@ausys.sk, hana.pacaiova@tuke.sk

Abstrakt:

Jedným zo základných pilierov každého stroja je okrem jeho funkčnosti aj jeho bezpečnosť. Za posledné roky prešli bezpečnostné komponenty značným vývojom a rovnako tak aj normy a postupy pre návrh bezpečnosti. Dôležitou súčasťou návrhu bezpečnosti je posúdenie rizík, ktoré je neoddeliteľnou súčasťou každého stroja. Posúdenie rizík identifikuje všetky ohrozenia, určuje aké sú navrhnuté opatrenia a aké zníženie rizika bolo dosiahnuté. Na to, aby sa nám po naštudovaní noriem ľahšie takéto posúdenie vytváralo, je tu pomôcka vo forme technickej normalizačnej informácie ISO/TR 14121-2.

Kľúčové slová:

bezpečnosť strojov, posúdenie rizík, odhadovanie rizika, zníženie rizika.

ÚVOD

Bezpečnosť strojov v priemysle je často diskutovanou témou. Neustále je však podceňovaná a jej zmysel nepochopený. Napriek neustálemu kontaktu s výrobou a pociťovaním priamych dopadov zanedbanej bezpečnosti pri úrazoch, sú zodpovední pracovníci vo fabrikách neustále nedostatočne informovaní o požiadavkách na bezpečnosť, čo vedie aj k väčšej neochote k spolupráci. Neochota vyplýva z práce navyše, ktorú je potrebné spraviť ihneď, aby došlo k náprave zanedbaných strojných zariadení, pričom táto práca je forma prevencie a v konečnom dôsledku je väčším šetrením, ako investíciou a stratou času na začiatku. Cena ľudského zdravia je nevyčísliteľná a preto si nezaslúži byť podceňovaná. Ak sme už však presvedčili kompetentné osoby a primáli ich k spolupráci, je potrebné niekde začať, čo opäť býva problémom, ak poverená osoba nie je dostatočne skúsená. Práve tu prichádza na rad po naštudovaní potrebných noriem praktický radca a sprievodca vytváraním posúdenia rizík. Normy bývajú často krát nejasné a nezrozumiteľné, ich formulácia je nejednoznačná, čo vedie k rôznym vysvetleniam, dá sa povedať, že „podľa potreby“. ISO/TR 14121-2 nie je norma, ale technická normalizačná informácia, ktorej úlohou je priniesť trochu svetla do spleti informácií pri posudzovaní rizika. Nenahradzuje však potrebné vedomosti a nespraví za nás všetku

prácu, preto je vždy potrebné dodržiavať správne zásady a pravidlá.

1 PODKLADY PRE POSUDZOVANIE RIZÍK

Predtým ako začneme spracovávať samotné posúdenie rizík je potrebné si pripraviť kvalitné podklady, čím zabezpečíme plynulejší prechod medzi bodmi posúdenia, ale hlavne, nemali by sme opomenúť žiadne ohrozenie.

V prvom rade musíme poznať stroj, jeho funkcie a princíp činnosti. Najvhodnejšie je disponovať 3D návrhom, kedy si vieme do detailov pozrieť jeho jednotlivé časti. Z fyzikálnych vlastností a konštrukcie stroja vyplývajú jeho limity, definované prípadné pohyby, prístupové miesta a ohrozenia. Dôležité je si uvedomiť, že ohrozenie môže byť spôsobené priamo procesom, ale ohrozením môže byť aj vedľajší produkt procesu, ako napríklad sálavé teplo.

Ďalším krokom je zvoliť si prístup k posudzovaniu rizík. Dôležitá je forma, akou ho budeme vytvárať a aký výpočet pre ohodnotenie miery rizika a jeho následného zníženia si zvolíme. Môžeme použiť softvér na vytváranie posúdenia rizík, alebo si vytvoríme vlastnú šablónu, ktorú budeme vyplňať, alebo disponujeme už existujúcou šablónou. Pri vytváraní nášho prvého posúdenia rizík je práve forma, ako má takáto dokumentácia vyzeráť, najčastejším otáznikom. V rámci noriem,

nariadení či usmernení neexistuje predpis, ako má takéto posúdenie vyzeráť a ani do detailov nie je popísané, čo má obsahovať. Najjednoduchší prístup ktorý nám dá jednoznačné odpovede je, pozeráť sa na posúdenie rizík z opačnej strany a to zo strany kontrolného orgánu. V prípade, že sa stane úraz na stroji, kontroluje sa všetka dokumentácia a v prvom rade ako bola navrhnutá bezpečnosť, aké boli vykonané opatrenia a ako bolo riziko znížené. Preto dokumentácia musí obsahovať všetky informácie, s ktorými sme pracovali, vhodné je použiť aj fotografie, obrázky, uložiť na prenosné médium videá a pod. Určite je vhodné uviesť aj konkrétne čísla produktov použitých ako doplnková ochrana. Neurobíme žiadnu chybu, ak pôjdeme krok za krokom podľa normy a to napríklad podľa ISO 12100-1, alebo aj krok za krokom podľa technickej normalizačnej informácie ISO/TR 14121-2 [1] a rovnako tak, ako sú uvedené kapitoly v týchto dokumentoch, vytvárať rovnaké kapitoly v posúdení rizík. Ako metódu výpočtu ohodnotenia miery rizika môžeme zvoliť napríklad metódu HRN (Hazard Rating Number), alebo inú.

Tím ľudí, ktorí sa budú podieľať na vypracovávaní posúdenia rizík musí byť zložený z viacerých odborníkov na rôzne oblasti. Určite nie je vhodné, ak posúdenie robí jedna osoba, nakoľko jej pohľad môže byť občas neobjektívny a daná osoba nemusí disponovať dostatočnými technickými vedomosťami z danej oblasti. Ideálne je, ak členovia tímu disponujú takými znalosťami, aby vedeli čítať výkresovú dokumentáciu, poznali príslušné normy, poznali proces a princíp stroja, poznali už riešené podobné stroje a mali štatistiky o úrazoch na týchto strojoch.

2 ODHADOVANIE RIZIKA

Určenie parametrov, hraníc stroja a identifikácia ohrození sú individuálnou záležitosťou pre každý stroj. Aj tu však existuje veľmi dobrá pomôcka akou sú normy typu C, ktoré nás sprevádzajú konkrétnymi krokmi a taktiež obsahujú aj všetky typické ohrozenia pre daný typ zariadenia, ako napríklad dopravníkový systém, alebo lis, či výťah. Vďaka týmto normám a ich aplikovaniu, sme si ušetrili veľa práce, v prvých fázach posúdenia rizík.

Po identifikácii ohrození nasleduje odhadovanie rizika týchto ohrození a to je možné robiť niekoľkými spôsobmi. Pri každom zo spôsobov sa jedná buď o kvalitatívny alebo kvantitatívny spôsob. Akýkoľvek spôsob si zvolíme, stále pôjde iba o náš subjektívny pohľad. Pri použití tej istej metódy iným tímom ľudí môžu byť dosiahnuté rozdielne výsledky. Cieľom posúdenia rizík nie je však dosiahnuť

absolútnu presnosť pri výpočtoch odhadovania rizika. Cieľom je dokázať, že riziko bolo znížené v maximálnej možnej miere a posúdenie dáva aj návod, ako takéto zníženie dosiahnuť a za akých podmienok. Niekedy nestačí aplikovať mechanické či elektrické opatrenie, je potrebné pridať aj vizuálne pomôcky ako sú piktogramy a pod.

2.1 Matice a grafy rizika

Matica rizika je viacrozmerná tabuľka, ktorá obsahuje vzťah medzi závažnosťou škody a pravdepodobnosťou jej vzniku. Je na nás, akú maticu si zvolíme. Na základe tejto kombinácie je vyhodnotená miera rizika. Tá môže byť vyjadrená číselnou hodnotou, akýmkoľvek písomným označením alebo slovnou formuláciou. Ukážky takýchto matíc je možné nájsť v ISO/TR 14121-2 v prílohe A [1].

Graf rizika je reprezentovaný formou rozhodovacieho stromu, kedy si vopred určíme jednotlivé hodnoty prechodov a na ich základe dospejeme k celkovému hodnoteniu. Vyjadrenie je veľmi podobné ako pri matici rizika. Pri grafe je ilustrácia zníženia rizika jednoznačnejšia, pretože ihneď vidieť, ktorý parameter riziko znížil.

2.2 Číselné vyjadrenie rizika

Skladba je vždy zložená z viacerých parametrov, ktorých súčin je výsledkom nášho odhadu. Každému parametru je priradená hodnota a tá zvyšuje alebo znižuje výšku odhadu rizika [1]. Pri všetkých týchto výpočtoch neexistuje žiaden parameter, ktorý by mal nulovú hodnotu, preto z toho logicky vyplýva, že žiadne riziko nie je možné úplne odstrániť, čo je pochopiteľné a akceptovateľné. Počet parametrov a ich hodnoty závisia od zvolenej metódy a rovnako ako pri maticiach a grafoch platí, že si ich môžeme vytvoriť sami, ak sa nám žiaden z existujúcich postupov nepozdáva.

2.3 Kvantifikovaný odhad rizika

Pokiaľ nám žiaden z kvalitatívnych odhadov nepostačuje, môžeme použiť veľmi presný a detailný matematický výpočet pravdepodobnosti rizika. Pri tomto spôsobe sa najčastejšie jedná o celkový odhad a nie o odhad jednotlivých rizík [1]. Výpočet však potrebuje na vstupe veľké množstvo štatistických údajov z už existujúcich podobných aplikácií, čo je možné získať iba v rámci buď veľkého koncernu, ktorý disponuje množstvom veľmi podobných až rovnakých strojov, alebo ak výrobca

strojov v sériovej výrobe disponuje v rámci spätnej väzby aj týmito štatistikami od zákazníka. Metóda je však veľmi prácná pre prax je tým pádom neatraktívna. Čím viac času venujeme výpočtom, tým máme vyššie vstupné náklady. Ako bolo spomenuté v predošlých riadkoch, ide o dokázanie dostatočného zníženia rizika.

3 ZNIŽOVANIE RIZIKA

Cieľom posúdenia rizík je dostatočné zníženie rizika. Dôležité pre tím podieľajúci sa na vytváraní posúdenie je vytvárať toto posúdenie vo fáze návrhu a vývoji stroja či zariadenia. Práve v prvotných fáza návrhu je možné implementovať to najúčinnnejšie opatrenie a tým je dizajn. Práve správnym dizajnom konštrukcie stroja vieme dosiahnuť tú najefektívnejšiu a cenovo najoptimálnejšiu ochranu, ktorou je konštrukcia stroja alebo pevné kryty. Nesmieme zabúdať ani na veľmi dôležité pravidlo a tým je, aby ochranné opatrenie na zníženie rizika nevytváralo nové riziko, či už spôsobom použitia alebo umiestnením, kedy môže dôjsť k zakopnutiu a pod.. Najlepším a z pohľadu výroby aj najjednoduchším riešením je zavádzanie štandardov výroby určitých dielov. Jedným z najčastejších rizík na stroji sú ostré hrany. Odstránenie rizika je odstránenie ostrých hrán stroja, napríklad zaoblením, minimálne v častiach u ktorých dochádza ku kontaktu s obsluhou. Ak výrobca zavedie ako štandard výrobu všetkých dielov bez ostrých hrán, veľmi efektívne a jednoducho dosiahol úplne odstránenie tohto rizika. Tu je práve dôležité vytvárať posúdenie vo fáze vývoja a návrhu, nakoľko ak sú riziká odhalené až po výrobe stroja, odstránenie týchto rizík môže viesť k predĺženiu dodacej doby, zvýšeniu nákladov a môže viesť k vzniku ďalších rizík. Cenové porovnanie pri tomto riešení býva šetrnejšie o desiatky až stovky percent v porovnaní s napríklad doplnkovou ochranou akou sú bezpečnostné optické brány. Práve aj v ISO/TR 14121-2 [1] v kapitole o znižovaní rizika uvedené ako prvé konštrukčné riešenie, ktorým dokážeme riziko dokonca odstrániť. Sú však riziká, ktorá sa nedajú odstrániť, pretože vyplývajú priamo z charakteru stroja, ako sú prístupové zóny pre nakladanie a odoberanie spracovávaných dielov v stroji. Práve tu je možné znížiť riziko použitím napríklad pohyblivými ochrannými krytmi. Takéto kryty môžu byť monitorované, alebo dokonca uzamknuté. Ak však z dôvodu efektívneho využitia stroja niekedy takéto kryty neprichádzajú do úvahy a preto sa v poslednej fáze znižovania rizika aplikujú doplnkové ochranné opatrenia, ktoré bývajú najmä

elektronické, opto-elektronické, elektro-mechanické atď.

4 Použitie HRN pre odhad rizika

HRN (Hazard Rating Number) spadá pod číselné vyjadrenie rizika. Táto metóda disponuje širšou škálou možných výsledných vypočítaných hodnôt, čo vedie k vyššej stabilite výpočtov, nakoľko nedochádza k veľkým vychýleniam a skokom medzi podobnými rizikami. Metóda vychádza zo súčiny štyroch parametrov a tými sú:

- FE – frekvencia vystavenia ohrozeniu
 - 5 – konštantne
 - 4 – každú hodinu
 - 2,5 – denne
 - 1,5 – týždenne
 - 1 – mesačne
 - 0,5 – občasne
- PO – pravdepodobnosť výskytu
 - 15 – určite, bez pochybností
 - 10 – pravdepodobné, očakávané
 - 8 – pravdepodobné, neprekvapivé
 - 5 – takmer nepravdepodobné, môže nastať
 - 2 – možné, ale neobvyklé
 - 1,5 – nepravdepodobné, ale stále možné
 - 1 – vysoko nepravdepodobné, ale málo možné
 - 0,033 – veľmi málo možné, až za určitých extrémnych podmienok
- DPH – úroveň možného zranenia
 - 15 – fatálne
 - 10 – strata dvoch končatín, permanentná strata zraku alebo sluchu
 - 6 – strata jednej končatiny, permanentná strata zraku alebo sluchu
 - 4 – zlomenina hlavnej kosti alebo závažné dočasné ochorenie
 - 2 – zlomenina kosti alebo menej závažné dočasné ochorenie
 - 0,5 – popálenina, rezná rana, krátkodobé ochorenie
 - 0,1 – poškriabanie, oder
- NP – počet osôb vystavených ohrozeniu
 - 12 – viac ako 50 osôb
 - 8 – 16 až 50 osôb
 - 4 – 8 až 15 osôb
 - 2 – 3 až 7 osôb
 - 1 – 1-2 osoby

Ako môžeme vidieť, v tomto výpočte neexistuje nulová hodnota, preto riziko nevieme úplne odstrániť. Ak sa nám podarí prvotné riziko odstrániť

už vo fáze vývoja, riziko tým zaniklo a nemusíme ho uvádzať. Ako napríklad ostré hrany. Zo zadaných parametrov a ich hodnôt dostávame nasledovný rozsah miery ohrozenia:

- 0,00165 až 5 – zanedbateľné
- 6 až 50 – nízke ale relevantné
- 51 až 500 – vysoké
- 501 – 13500 – neakceptovateľné

Vo fáze identifikácie ohrození vypočítavame počiatočnú hodnotu HRNi, ktorá hovorí o miere ohrozenia pred aplikovaním metód pre znižovanie rizika.

Napríklad hrozí nám nebezpečenstvo nárazu alebo zrážky s pohyblivými časťami stroja. Obsluha je vystavená tomuto riziku stále, FE = 5, pravdepodobnosť výskytu je možná, ale neobvyklá, PO = 2, možný úraz je zlomenina kosti alebo závažné dočasné ochorenie, DPH = 4 a počet vystavených osôb je 1 až 2, NP = 1. Výsledná hodnota HRNi je 40, teda ohrozenie je nízke, ale možné. Pre nás je táto počiatočná hodnota vysoká a povedali sme si, že neakceptujeme takéto riziko.

Počiatočné hodnotenie nebezpečnosti	Režim: Automatický	Úroveň nebezpečí: Nízke ale možné
Z01.1 - Nebezpečí nárazu či srážky: Frekvencie: 5 - Stále Pravděpodobnost: 2 - Možné, ale neobvyklé Max. ztráta: 4 - Zlomenina hlavní kosti nebo závažná dočasná nemoc Počet osob: 1 - 1-2 osoby Úroveň nebezpečí (HRNi): 40,00	Riziko kontaktu s pohyblivými částmi s přísavkami pro uchycení plátů	

Obrázok 1. Počiatočné hodnotenie rizika

Aplikujeme teda metódy na znižovanie rizika a priestor v ktorom hrozí nebezpečenstvo ochránime ochranným oplotením, ktoré má dostatočnú výšku, vzdialenosť od nebezpečnej časti stroja a otvory na oplotení majú dostatočne malú veľkosť, aby sa zabránilo vniknutiu končatín alebo ich častí. Pre prístup do nebezpečného priestoru boli nainštalované v rámci oplotenia dvere, ktoré boli monitorované bezpečnostným bezkontaktným spínačom. Ochranné oplotenie teda spĺňalo požiadavky podľa normy 13857 Bezpečnosť strojov. Bezpečné vzdialenosti na ochranu horných a dolných končatín pred siahnutím do nebezpečného priestoru.

Výsledkom bolo zníženie rizika na akceptovateľnú úroveň, kedy výsledná hodnota HRN bola 0,66. Túto hodnotu sme dosiahli zopakovaním prepočtu parametrov, ktoré po aplikovaní bezpečnostných opatrení mali hodnoty:

- FE = 5
- PO = 0,033
- DPH = 4
- NP = 1

Ako si môžeme všimnúť, zmenila sa pravdepodobnosť výskytu, pretože vďaka ochrannému oploteniu je len veľmi malá možnosť,

iba za extrémnych podmienok, že k úrazu môže dôjsť. Túto hodnotu sme mohli znížiť iba za predpokladu, že sa pri inštalácii všetkých opatrení postupovalo podľa noriem ISO 12100 a ISO 13849-1.

Konečné vyhodnocení nebezpečí	Režim: Automatický	Úroveň nebezpečí: Zanedbateľný
Z01.1 - Nebezpečí nárazu či srážky: Frekvencie: 5 - Stále Pravděpodobnost: 0,033 - Malá/nízká možnost, za extrémních okolností Max. ztráta: 4 - Zlomenina hlavní kosti nebo závažná dočasná nemoc Počet osob: 1 - 1-2 osoby Úroveň nebezpečí (HRN): 0,66	Riziko kontaktu s pohyblivými částmi s přísavkami pro uchycení plátů	

Obrázok 2. Konečné hodnotenie rizika

ZÁVER

Používanie noriem nie je povinnosťou, avšak neradiť sa nimi, pokiaľ existujú dostupné normy pre náš stroj, je určite náročnejšie. Normy týkajúce sa bezpečnosti sú dnes dostupné vo veľkej miere a neustále sa pracuje na ich zlepšovaní. Dalo by sa povedať, že normy dohŕňajú technické riešenia výrobcov, ktorý vyrábajú bezpečnostné komponenty. Postupovaním podľa noriem ISO 12100, ISO 13849-1 a IEC 62061, dosiahneme želaný výsledok vo forme posúdenia rizík a preukázateľne dostatočne zníženému riziku, čo v končnom dôsledku znamená bezpečný stroj, pri dodržiavaní nami stanovených podmienok. Pre menej skúsených konštruktérov je tu práve technická normalizačná informácia ISO/TR 14121-2, ktorá je vynikajúcim pomocníkom a sprievodcom posúdenia rizík. Nespravíme žiadnu chybu, ak ju budeme nasledovať kapitolu po kapitole a na jej základe si vytvoríme vlastnú šablónu pre posúdenie. Taktiež je možné inšpirovať sa všetkými vytvorenými príkladmi tabuliek, matíc a grafov v prílohách. Postupným zdokonaľovaním sa, je možné vycibriť si aj svoju vlastnú šablónu a postupy, pretože každé priemyselné odvetvie a stáje majú svoje špecifiká. Štandardizáciou postupov sa taktiež zavedie poriadok a jednotnosť do vypracovávaných dokumentácií, čo zvyšuje ich prehľadnosť. Netreba zabúdať na spoluprácu v tíme s dostatočne kvalifikovanými osobami a prípadne nechať skontrolovať posúdenie rizík aj nezávislej osobe mimo tímu. Často krát prinesie iný pohľad na problematiku.

Acknowledgment

*KEGA 015TUKE-4/2019 Manažérstvo auditov
využitím softvérovej aplikácie v zmysle požiadaviek
normy ISO 9001:2015*

REFERENCIE

- [1] TNI ISO/TR 14121-2:2007. Bezpečnosť strojov.
Posúdenie rizika. Časť 2: Praktické návody a
príklady metód (TNI ISO/TR 14121-2:2007).
2009.

Korešpondenčná adresa:

Ing. Tomáš Gazda, prof. Ing. Hana Pačaiová, PhD.
Technická Univerzita v Košiciach
Strojnícka fakulta
Katedra bezpečnosti a kvality produkcie
Letná 9, 042 00, Košice
Tel.: +421 940 400 710
Email: tomas.gazda@ausys.sk

HODNOTENIE STRATÉGIÍ FRÉZOVANIA PRI OBRÁBANÍ TITÁNU

EVALUATION OF MILLING STRATEGIES FOR MACHINING OF TITANIUM

Zuzana GREŠOVÁ, Peter IŽOL

Technical University of Košice, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Technologies, Materials and Computer Aided Engineering Production, Slovakia
ingzgresova@gmail.com, peter.izol@tuke.sk

Abstract:

This article deals with the comparison and evaluation of 'finishing milling strategies' when applied to one of the most difficult to use materials ie. titanium. The importance of strategies stems from their impact on the economic aspects of production, realized using CNC machines. A sample was designed for the purposes of the experiment, enabling finishing strategies for shaped surfaces to be assessed on planar surfaces. For assessment of the effect of the movement, each strategy used three different movement values. The evaluation of the strategies is performed by measuring the surface roughness and visually comparing the surface of the sample to the surface obtained in the simulation. There was no clear effect of the movements on the surface roughness values.

Key words:

milling strategy, machining of titanium alloys, surface roughness

ÚVOD

Pojmom stratégie obrábania sa označujú v CNC programovacích systémoch preddefinované dráhy nástroja, určené pre obrobenie rôznych tvarov plôch a optimalizované za účelom čo najefektívnejšieho zhotovenia dielca. Dráhy nástroja sú výsledkom geometricko-kinematických relácií medzi tvarom obrobku, tvarom nástroja a kinematickou štruktúrou stroja [1].

Použitie stratégie vplyvajú na čas a výsledky obrábania a v konečnom dôsledku aj na ekonomické aspekty výroby. Pri výrobe tvarovo zložitých dielcov je možné starostlivou kombináciou stratégií obrábania skrátiť výrobné časy, ovplyvniť rozmerovú presnosť dielcov, zlepšiť kvalitu povrchu a v neposlednom rade zvýšiť životnosť nástrojov.

Pojem stratégie sa najčastejšie používa v súvislosti s technológiou frézovania. Je to dané najväčšou variantnosťou možností pohybu nástroja a súvisiacou potrebou definovať a charakterizovať generované dráhy nástroja. Súčasne je frézovanie dominantnou technológiou pri zhotovovaní tvarových plôch na objemových dielcoch.

Stratégie frézovania sú hodnotené podľa rôznych kritérií. Najčastejším hodnotiacim kritériom je drsnosť a textúra povrchu [2, 3, 4]. Ďalšími

hodnotiacimi kritériami sú napr. rozmerová presnosť zhotovených plôch a udržiavanie konštantného úberu materiálu resp. reznej sily [5].

Proces zhotovovania dielcov frézovaním je vo väčšine prípadov rozložený do dvoch operácií – hrubovanie a dokončovanie. Pretože ciele týchto operácií sú výrazne odlišné, v programovacích systémoch sú k dispozícii dve základné typy stratégií – hrubovacie a dokončovacie. Pri výrobe tvarových plôch sa medzi tieto operácie vkladá aj pred dokončovanie [6]. Vo väčšine prípadov pri dokončovaní tvarových plôch nepostačuje jedna stratégia. Pre voľbu vhodnej stratégie na konkrétnu oblasť dielca sa v takýchto prípadoch využíva topografická analýza [7]. Výsledkom je rozdelenie tvaru dielca na skupiny plôch podľa tvarovej príbuznosti a zhotovovanie každej skupiny samostatnou stratégiou.

Jedným zo súčasných trendov je využívanie vysokopevných a odolných kovových materiálov v rôznych konštrukciách. Spoločnou vlastnosťou týchto materiálov je obtiažna obrobiteľnosť. Jedným z týchto materiálov je titán. Jeho mechanické a fyzikálne vlastnosti ho predurčujú pre použitie v odvetviach, ako je letecký, vojenský alebo medicínsky priemysel. K hlavným problémom pri jeho obrábaní patrí rýchle opotrebenie nástrojov,

zapríčinené vysokým tepelným a silovým zaťažením [9].

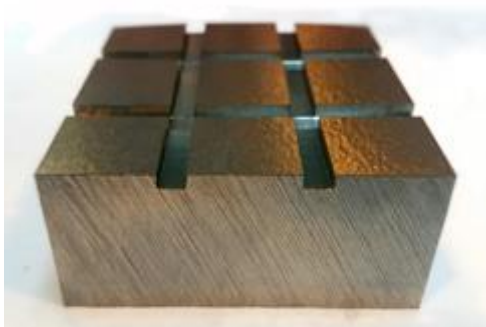
1 NÁVRH METODIKY A PODMIENOK EXPERIMENTÁLNYCH PRÁČ

Pre realizáciu experimentálnych prác bol navrhnutý nasledovný postup:

- Návrh vzorky, umožňujúcej rýchlu výrobu a zabezpečujúcej bezproblémový prístup meracími zariadeniami.
- Voľba stroja a nástroja, vhodných pre obrábanie ťažkoobrábateľných materiálov.
- Voľba posudzovaných stratégií určených pre dokončovanie tvarových povrchov.
- Určenie rezných podmienok vzhľadom k obrábanému materiálu, použitému stroju a nástroju.
- Výroba vzorky.
- Meranie drsnosti povrchu zhotovenej vzorky.
- Vyhodnotenie získaných poznatkov.

1.1 Návrh vzorky

Pre experiment bola navrhnutá vzorka z materiálu Ti-6Al-4V podľa obr. 1. Na polotovare rozmerov 70 x 70 x 28 mm boli frézovaním zhotovené drážky, vytvárajúce deväť plôšok pre aplikáciu stratégií.



Obr. 1 Navrhnutá vzorka z materiálu Ti-6Al-4V

1.2 Výber stroja

Navrhnutým strojom bola 5-osová indexovaná frézovačka DMG Mori EcoMill 50 s riadiacim systémom Sinumerik 840D – obr. 2. Riadiaci systém stroja má rýchlu odozvu, čo je nevyhnutný predpoklad pre aplikáciu stratégií pre dokončovanie tvarových povrchov.



Obr. 2 Päťosová frézovačka DMG Mori EcoMill 50

1.3 Voľba nástroja a rezných podmienok

Zvolený nástroj WNT 50 953 080 je určený pre tvarové dokončovacie obrábanie ocelí, antikoročných ocelí a žiaruvzdorných zliatin – obr. 3. Vzhľadom na veľkosť zhotovovaných plôšok bol zvolený priemer nástroja 8 mm. Nástroj má tri rezné hrany s dĺžkou 12 mm.



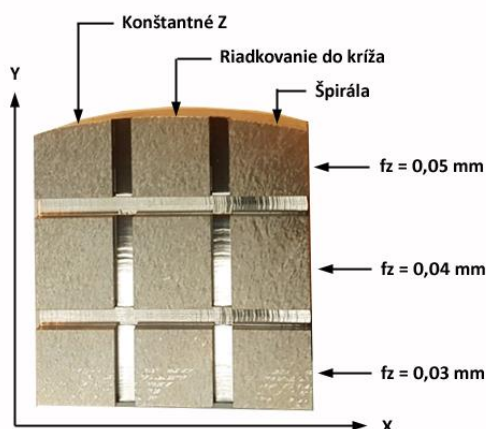
Obr. 3 Kopírovacia fréza WNT 50 953 080

Výrobca nástroja odporúča pre daný obrábaný materiál reznú rýchlosť $100 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ a posuv na zub v rozsahu 0,03 až 0,05 mm. Tieto parametre boli pri experimente aj využité. Hĺbka rezu bola 0,3 mm, čo zodpovedá štandardnej hodnote prídavku po pred dokončení tvarových povrchov. Obrábanie prebiehalo za použitia emulzie s obsahom rezného oleja 6%.

1.4 Návrh stratégií frézovania

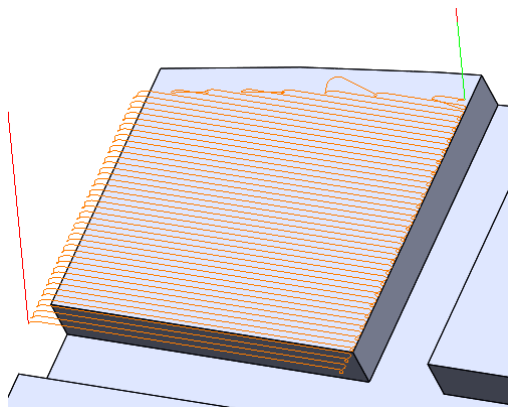
Pre zhotovenie NC programov sa použil CAM systém SolidCAM. Pre posudzovanie boli zvolené tri dokončovacie stratégie – Konštantné Z, Riadkovanie do kríža a Špirála. Vzhľadom k tomu, že stratégie sú

určené pre tvarové plochy a plôšky sú rovinné, bola vzorka počas obrábania naklonená o 45° okolo osi X súradnicového systému stroja. Tým sa zároveň zabezpečilo, že nástroj nebude v kontakte s obrobkom v mieste s nulovou, resp. malou reznou rýchlosťou. Umiestnenie stratégií na vzorke spolu s aplikovanými posuvmi je znázornené na obr. 4.



Obr. 4 Vzorka s vyznačením plôch pre jednotlivé stratégie a hodnoty posuvu na zub

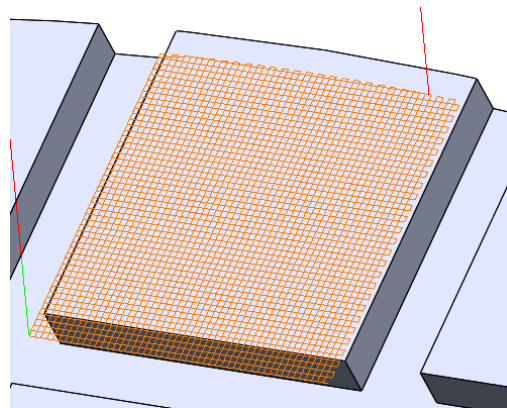
V rámci jednej stratégie sa nastavenia pre tri plôšky líšili len definovanou hodnotou posuvu na zub. Dráhy nástroja pre stratégiu Konštantné Z sú na obr. 5. Dráhy nástroja sú rovnobežné s osou X súradnicového systému stroja a je badateľný minimálny výskyt tzv. neproduktívnych dráh, t. j. dráh bez rezania.



Obr. 5. Dráhy nástroja pri stratégii Konštantné Z

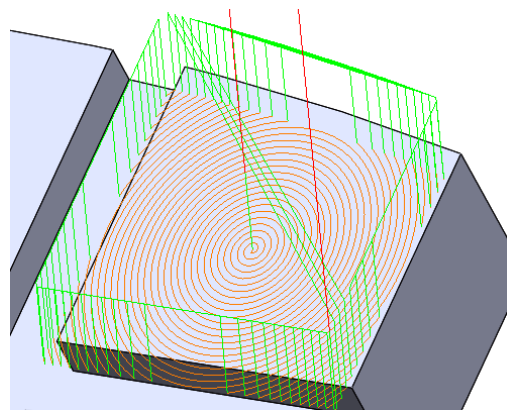
Na obr. 6 sú znázornené dráhy nástroja pre stratégiu Riadkovanie s doplnkovou voľbou Dokončenie do kríža. Základná stratégia generuje

rovnobežné dráhy vo zvolenom smere a voľba do kríža zabezpečí generovanie druhej sady dráh v smere pootočenom o 90° . Plocha je v tomto prípade prejdenná nástrojom dvakrát. Aj pri tejto stratégii je minimalizovaný výskyt neproduktívnych dráh nástroja.



Obr. 6. Dráhy nástroja pri stratégii Riadkovanie do kríža

Treťou posudzovanou stratégiou je Špirála – obr. 7. Jej výhodou je plynulý neprerušovaný rez pri vhodnom tvare zhotovovanej plochy. Pri obdĺžnikovom tvare sa rez preruší na hrane plochy, následne sa nástroj zdvihne nad plochu, presunie sa a spustí na začiatok ďalšieho elementu dráhy. Dôsledkom je veľký výskyt neproduktívnych dráh nástroja.



Obr. 7 Dráhy nástroja pri stratégii Špirála

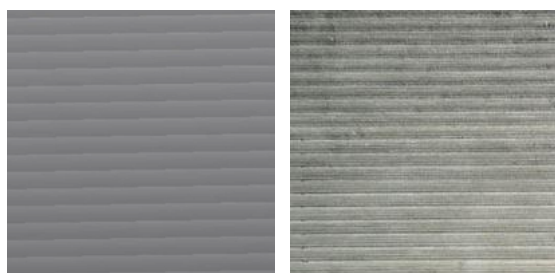
Pri všetkých stratégiách bol nastavený režim udržiavania nastavenej drsnosti povrchu formou určenia výšky nerovností na zhotovenom povrchu (SH – Scallop Height). Zadaná výška nerovností bola 0,005 mm.

2 REALIZÁCIA A VYHODNOTENIE EXPERIMENTOV

Na získanej vzorke boli vizuálne porovnané povrchy získané simuláciou s povrchmi získanými frézovaním. Na všetkých ploškách vzorky bola meraná drsnosť povrchu.

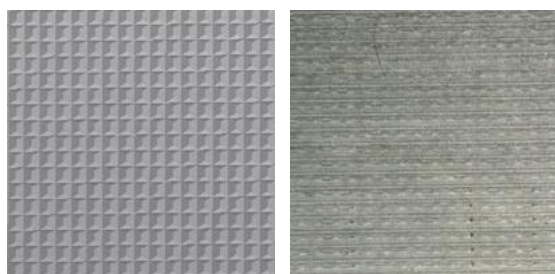
2.1 Porovnanie simulovaného a reálneho povrchu

Stav povrchu plôšok vzorky bol dokumentovaný pomocou mikroskopu. Povrch plôšok bol vizuálne porovnávaný s virtuálne obrobeneým povrchom, simulovaným v systéme SolidCAM. Porovnanie pre stratégiu Konštantné Z je na obr. 8. Zreteľné sú stopy po nástroji vo vzdialenosti, navolenej programovacím systémom na základe zadanej výšky nerovností.

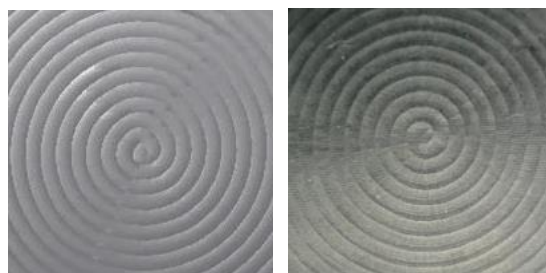


Obr. 8 Simulovaný a reálny povrch plochy zhotovenej stratégiou Konštantné Z

Simulovaný a reálny povrch plôšky zhotovenej stratégiou Riadkovanie do kríža je na obr. 9. Pre stratégiu Špirála je porovnanie zobrazené na obr. 10.



Obr. 9 Simulovaný a reálny povrch plochy zhotovenej stratégiou Riadkovanie do kríža

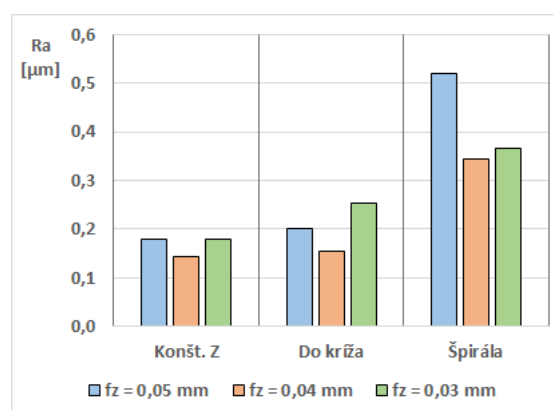


Obr. 10 Simulovaný a reálny povrch plochy zhotovenej stratégiou Špirála

2.2 Vyhodnotenie drsnosti povrchu

Na zhotovených plôškach vzorky bola pomocou prístroja Mitutoyo SJ-301 SurfTest meraná drsnosť povrchu. Boli vyhodnocované parametre povrchu R_a , R_z , R_t , R_p , R_v a R_{Sm} . Tieto parametre sa merali na každej ploške trikrát v smere osi X a trikrát v smere osi Y súradnicového systému stroja, na ktorom bola vzorka zhotovená. Z nameraných parametrov drsnosti povrchu boli zhotovené závislosti na stratégii frézovania a posuve na zub. V grafoch sú prezentované závislosti strednej aritmetickej odchýlky profilu R_a a aritmetický priemer najväčších výšok profilu R_z .

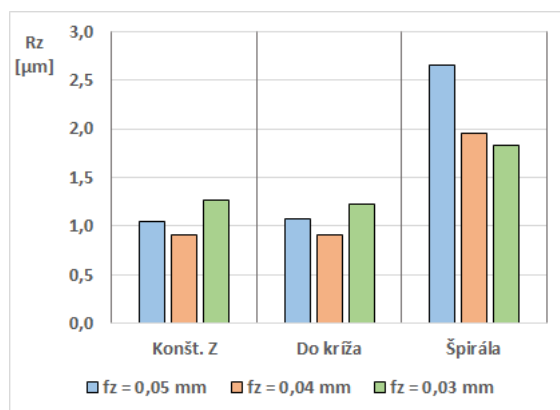
Na obr. 11 je závislosť strednej aritmetickej odchýlky profilu R_a na stratégiách a nastavených posuvoch pri meraní v smere osi X. Najväčšie hodnoty sa dosiahli pri stratégii Špirála, najmenšie pri Konštantné Z.



Obr. 11 Drsnosť povrchu R_a pre jednotlivé stratégie a posuvy na zub v smere osi X

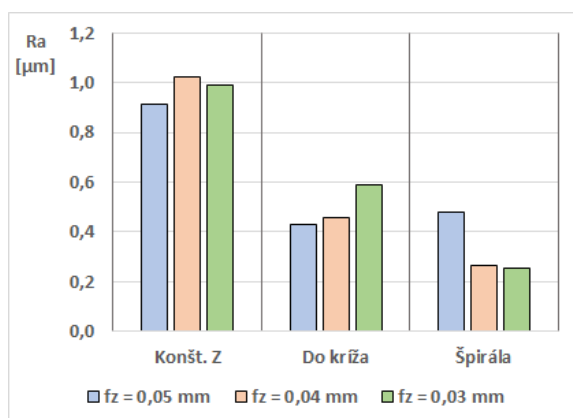
Obr. 12 prezentuje závislosť aritmetického priemeru najväčších výšok profilu R_z na stratégiách

a nastavených posuvov pri meraní v smere osi X. Aj v tomto prípade sa najväčšie hodnoty dosiahli pri stratégii Špirála, hodnoty pri ostatných stratégiách sú takmer zhodné.



Obr. 12 Drsnosť povrchu Rz pre jednotlivé stratégie a posuvy na zub v smere osi X

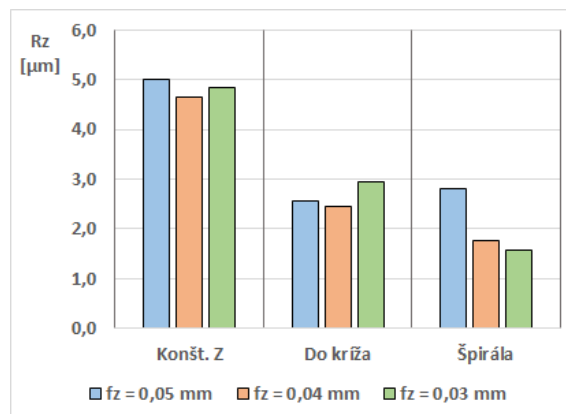
Na obr. 13 je závislosť strednej aritmetickej odchýlky profilu Ra na stratégiách a posuvoch na zub pri meraní v smere osi Y. Najväčšie hodnoty sa dosiahli pri stratégii Konštantné Z. Stratégia Špirála dosahuje najnižšiu drsnosť povrchu pri posuve na zub 0,03 a 0,04 mm. Pri posuve 0,05 mm dosiahla najnižšiu stratégiu Riadkovanie do kríža.



Obr. 13 Drsnosť povrchu Ra pre jednotlivé stratégie a posuvy na zub v smere osi Y

Závislosť aritmetického priemeru najväčších výšok profilu Rz na stratégiách a nastavených posuvoch pri meraní v smere osi Y je na obr. 14. Aj v tomto prípade sa najväčšie hodnoty dosiahli pri stratégii Konštantné Z. Stratégia Špirála dosahuje

najnižšiu drsnosť povrchu pri posuve na zub 0,03 a 0,04 mm, stratégia Riadkovanie do kríža pri posuve 0,05 mm.



Obr. 14 Drsnosť povrchu Rz pre jednotlivé stratégie a posuvy na zub v smere osi Y

ZÁVER

Vyhodnotenia drsnosti povrchu nepotvrdili jednoznačne pravidlo, že so znižujúcou sa hodnotou posuvu klesá drsnosť povrchu. Najnižšia drsnosť sa vo väčšine prípadov dosiahla pri strednej hodnote posuvu na zub 0,04 mm. Vysvetlením môže byť optimalizácia geometrie rezných klinov nástroja na výrobcou odporúčanú strednú hodnotu posuvu. Súčasne to poukazuje na skutočnosť, že proces rezania je ovplyvňovaný aj inými faktormi, ktorých vplyv môže byť premenlivý podľa aktuálnych podmienok.

Pre lepšie posúdenie vplyvu posuvu na drsnosť povrchu by bolo potrebné zmenšiť nastavenú hodnotu výšky nerovností (SH). Pri prezentovanom nastavení má príliš veľký vplyv na drsnosť povrchu systémom vypočítaná hodnota bočného kroku (stepover). Získané poznatky korešpondujú s publikovanými poznatkami iných autorov, ktorí sa zaoberajú hodnotením stratégií frézovania.

Popisované experimenty sú časťou rozsiahlejších činností, zameraných na vyhodnocovanie existujúcich dokončovacích stratégií frézovania. V nasledujúcom období sa predpokladá rozšírenie experimentov na tvarové plochy a viacero obrábaných materiálov. Konečným cieľom je vytvorenie poznatkovej bázy, umožňujúcej technológovi – NC programátorovi rýchlo zvoliť vhodnú stratégiu pre určitý typ plôch.

POĎAKOVANIE

*Príspevok vznikol v rámci riešenia projektu
KEGA 048TUKE-4/2020 Web based training pri
podpore experimentálnej zručnosti
v technologickom skúšobníctve*

POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] POKORNÝ, P.: Stratégie frézovania voľných tvarových plôch. Trnava: AlumniPress, 2011, 89 s. ISBN 978-80-8096-136-7.
- [2] PETERKA, J. et al.: Surface roughness by copy milling. In: Manufacturing and Industrial Engineering. Vol. 8, no. 3 (2009), p. 15-16. ISSN 1339-2972.
- [3] QUINSAT, Y. – SABOURIN, L. – LARTIGUE, C.: Surface topography in ball end milling process: Description of a 3D surface roughness parameter. In: Journal of materials processing technology. Vol 195 (2008), p. 135–143. ISSN 0924-0136.
- [4] RAMOS, A.M. – RELVAS, C. – SIMÕES, J.A.: The influence of finishing milling strategies on texture, roughness and dimensional deviations on the machining of complex surfaces. In: Journal of materials processing technology. No. 136 (2003), p. 209–216. ISSN 0924-0136.
- [5] QIAN, L. – YANG, B. – LEI, S.: Comparing and combining off-line feedrate rescheduling strategies in free-form surface machining with feedrate acceleration and deceleration. In: Robotics and Computer-Integrated

Manufacturing. Vol. 24 (2008), p. 796-803. ISSN 0736-5845.

- [6] TOH, C.K.: Design, evaluation and optimisation of cutter path strategies when high speed machining hardened mould and die materials. In: Materials and Design. No. 26 (2005), p. 517–533. ISSN 0264-1275.
- [7] QUINSAT, Y. – LAVERNHE, S. – LARTIGUE, C.: Characterization of 3D surface topography in 5-axis milling. In: Wear. Vol. 271 (2011), p. 590–595. ISSN 0043-1648.
- [8] BEŇO, J. – MAŇKOVÁ, I.: Technologické a materiállové činitele obrábania. Košice: Viena, 2004, 418 s. ISBN 978-80-7099-701-7.
- [9] HIČÁK, M.: Hodnotenie kvalitatívnych ukazovateľov stratégií frézovania. Bakalárska práca. Košice: SJF TU v Košiciach, 2019.
- [10] PRAMANIK, A.: Problems and solutions in machining of titanium alloys. In: Journal for Advanced Manufacturing Technology. Vol. 70 (2014), p. 919–928. DOI 10.1007/s00170-013-5326-x.

Korešpondenčná adresa

Peter Ižol, doc. Ing. PhD.
Technická univerzita v Košiciach
Strojnícka fakulta
Prototypové a inovačné centrum
Park Komenského 12A
Tel.: +421 55 602 3361
Email: peter.izol@tuke.sk

SIMULATION OF REAL CONDITIONS IN THE MOVEMENT OF ROBOTS

MAKSYM GRYTSIV, MAREK SUKOP,

Technical university of Košice, faculty of mechanical engineering, Institute of Automation, Mechatronics, Robotics and Production Systems, Department of Manufacturing Engineering and Robotics,
Park Komenského 8 040 01 Košice, Slovak Republic
maksym.grytsiv@tuke.sk, Marek.sukop@tuke.sk,

Abstract:

To implement the necessary task of testing the robot's behavior and localizing it in a closed space, without human assistance and remotely controlling it, this task can be recreated in simulation. This problem was solved using the Flowcode software, based on the simulation blocks that were given in the previous article on this topic. With the addition of real-time sensor simulation, it was possible to maximize the real environment. Their functionality was adjusted to the needs of the robot control by avoiding collisions between the robot and foreign objects. In the capacity of which were specially modeled obstacles.

Key words:

simulation, mobile robot, Flowcode, sensor, conditions

INTRODUCTION

Over the last year, due to the increase in the number of remote works, the need for remote simulation without the use of real parts, parts or components has increased accordingly. All you need to get started is the installation of the necessary software on your PC, such as the Flowcode program in this case. In the continuation of the researching of the problematic of the movement simulation of a mobile robot, in which the simulation of a specific trajectory, given initially, along which the robot should have moved, was tested, a new task was presented.

To make the simulation of this process in more realistic conditions, with additional advantages of a sensors. In order for the simulation to serve as a clear example of programming a robot for researching ways to localize service robots for indoor spaces. A simulation is an approximate imitation of the operation of a process or system that represents its operation over time.[1] By changing variables in the simulation, predictions may be made about the behavior of the system. It is a tool to virtually investigate the behavior of the system under study.[1]

The main goal of this article is to approximate the simulation of the movement of a robot in a computer environment to the most realistic conditions, while simultaneously showing all the subtleties of this process, simplifying it.

1 USED MODEL

There are certain limitations to be considered during the simulation or developing a model. The main among them is the ability to create a model that accurately represents the system that you want to simulate. Real systems are extremely complex, and it is necessary to define the details that will be reflected in the model. Some details need to be omitted, and their influence is lost or combined with other variables included in the model. Simulation is the process of designing a model of a real or imagined system and conducting experiments with that model.

The purpose of simulation experiments is to understand the behavior of the system or evaluate strategies for the operation of the system.[2] In a continuous simulation, variables change continuously, usually through a function in which time is a variable.[2] Simulation allows the analysis of a system's capabilities, capacities, and behaviors without requiring the construction of or experimentation with the real system.

A two-wheeled mobile robot was taken as a basis, to which 3 infrared sensors were added. The shape and size of the sensors on the mobiles were added approximate since this did not affect the experiment. The working platform for the movement of the robot was also modeled in the Flowcode program itself and selected according to

the difficulty levels for testing the robot's performance.

The robot model for real world simulation was taken from a previous study and displayed in Fig 1.

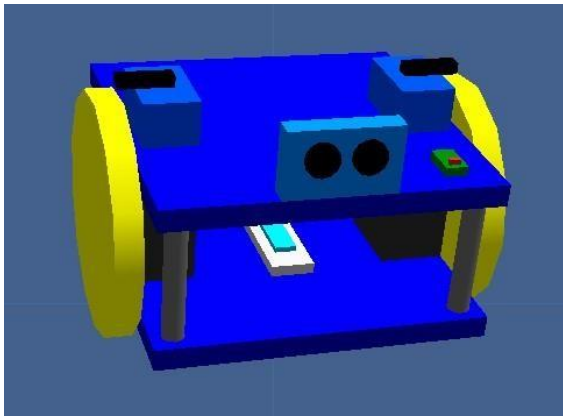


Figure 1. 3D model OF a mobile robot

The first level of difficulty reflected the ability of the robot to avoid collisions with the walls of the working area, which was made in the form of a closed square. The second level of difficulty was made in such a way as to test the ability of the robot to turn around, to avoid collisions already in a closed room of a more complex irregular geometric shape.

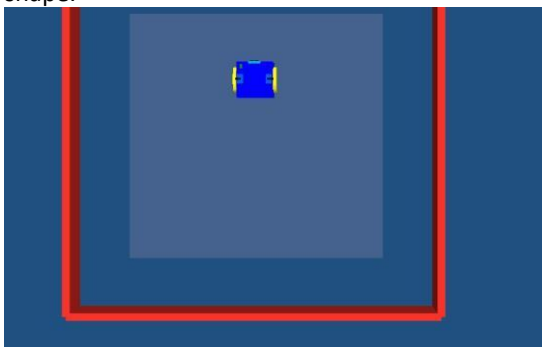


Figure 2. The first level of difficulty

And already the third level of difficulty was modeled more realistically, with the addition of various kinds of obstacles, not only along the edges of the working area, but also the addition of narrow corridors, sharp corners and obstacles in the center, which already more reflects the real conditions of the robot in which it should be localized.

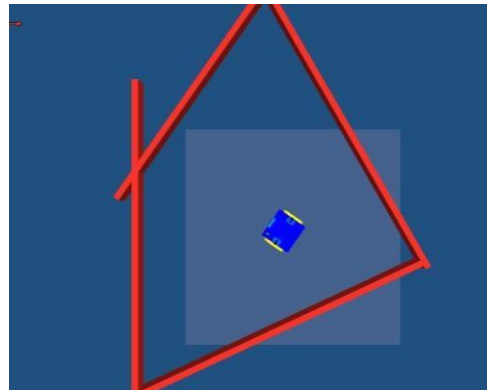


Figure 3. The second level of difficulty

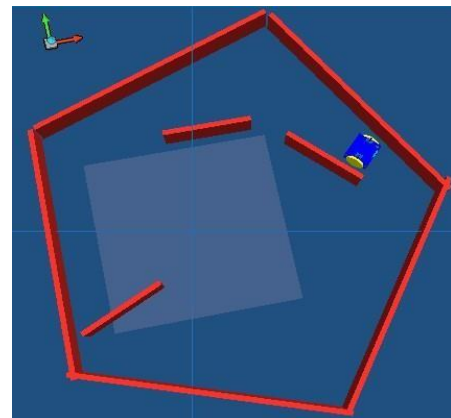


Figure 4. the third level of difficulty

2 EQUATIONS

The simulation was based on a model from a study using a specific trajectory. This base for the simulation of the model is placed in the block Ev_timer. It remains unchanged with the exception of the object used for modeling, as sensors are added, which are combined with the main moving part of the robot and simulated together.

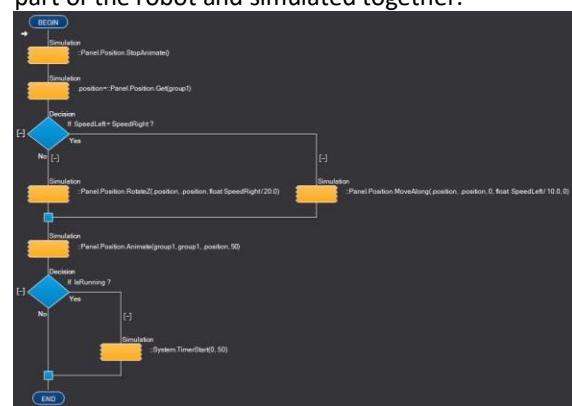


Figure 5. Ev_Timer simulating [3]

For each of the three sensors located in front of the robot and on its sides, you need to make a separate block to simulate the operation of the infrared signal. To calculate the length of the signal sent by each of the sensors, we use a variable of the Byte type, the maximum value of which is 255, the minimum value is 0, using a potentiometer for this. When detecting the maximum value, the sensor will pick up the signal at the closest possible position, a value of 0 means that no object was detected at the maximum distance from the sensor, where it can send infrared waves.

For each sensor, the signal length, direction, and intensity were individually adjusted. The sent signal is in the form of a small beam of the same shape as the sensor exit.

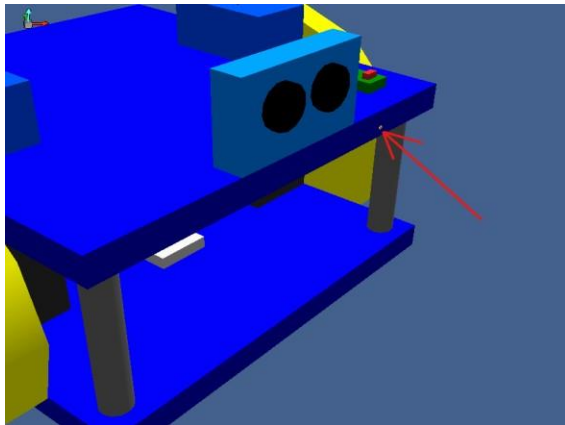


Figure 6. infrared signal Test

The block for calculating and simulating the detection of each sensor changed only in the name of the variables used for this task. The software base was unchanged and shown in the figure 7 and 8.

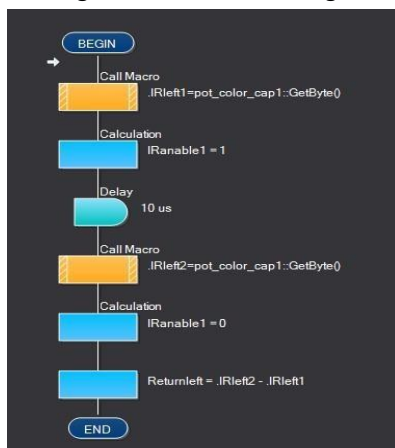


Figure 7. Sensor calculation block

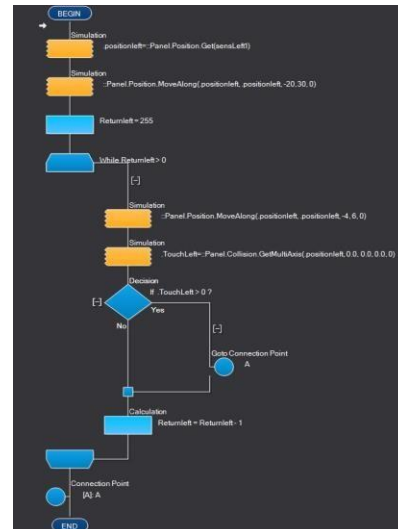


Figure 8. Sensor simulation block

All sensor simulation blocks are connected via the program interface settings to the main sensor blocks with calculations. Also, all function blocks are set as loadable resource. Each sensor is connected by a single pin to the Arduino processor.

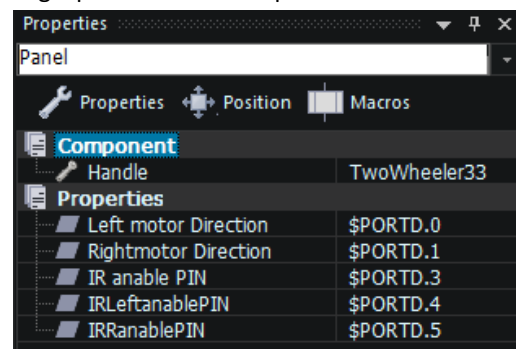


Figure 9. Conection properties

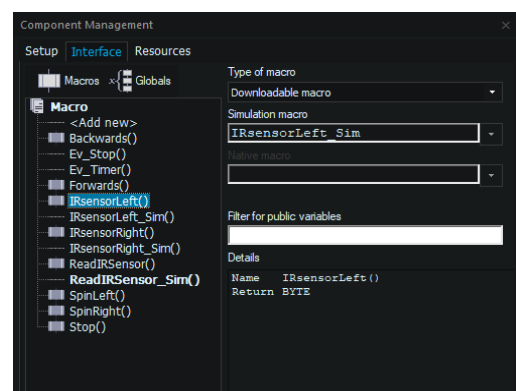


Figure 10. Component Management

2.1 Main part

Since the previous blocks were mainly responsible for the operation of the simulation and the correct adjustment of the sensors, the main part of the program is already responsible for the logic

itself. This part can already be modified, refined, put in new conditions, and improved.

My research explores more the methodology of the operability of the mobile robot simulation than the ideal logic for bypassing any kind of obstacle. Tested at three levels of difficulty, this version of the logic showed itself from a very good side, including the possibility in which the robot realizes that it is stuck and there is no way out further - it turns back and turns around to find a new way out. This eliminates the possibility of the robot moving along a closed chain from which it could not get out.

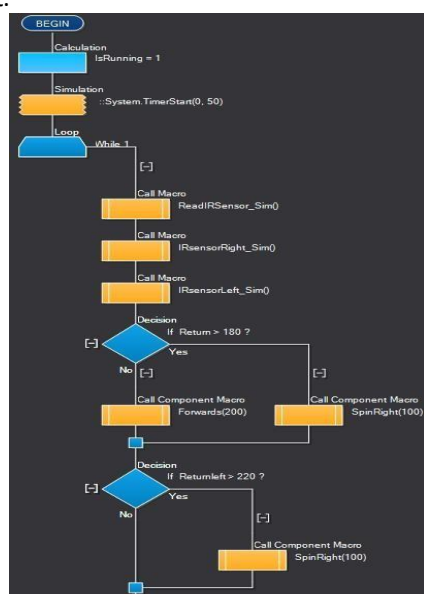


Figure 11. First half of the Main program

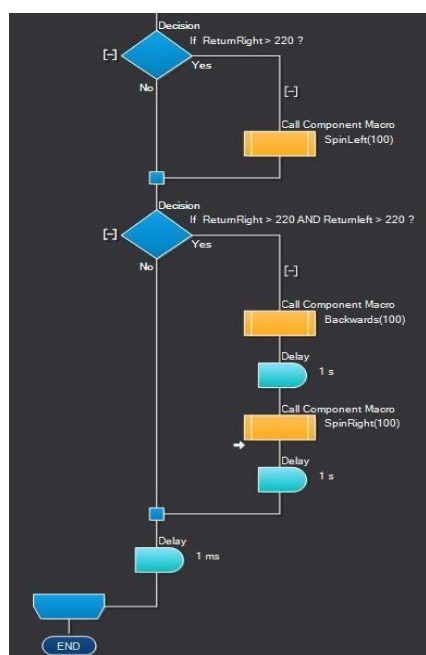


Figure 12. Second half of the Main program

By calling the simulation blocks of sensors inside the loop, a continuous update of the collision signal is ensured to obtain the fastest possible response to an obstacle.

CONCLUSION

As a result, a ready-made scheme for simulating a mobile robot in more real conditions was obtained. The simulation coped with the task: without the participation of process control, to achieve localization of the robot and bypassing all obstacles in different spatial conditions. This system helps to obtain approximate reality data on the behavior of the robot under specific conditions without special resource and monetary costs.

In the further study, there is the prospect of developing the idea of simulating two or more robots to understand the interaction between them. Also, the ability to detail special levels, the task of the robot on which is to go from point A to point B.

References:

- [1] J. Banks; J. Carson; B. Nelson; D. Nicol (2001). Discrete-Event System Simulation. Prentice Hall. p. 3. ISBN 978-0-13-088702-3.
- [2] In the words of the Simulation article in Encyclopedia of Computer Science, "designing a model of a real or imagined system and conducting experiments with that model".
- [3] Flowcode: Main. Matrixtsl [online]. [cit. 2020]: https://www.matrixtsl.com/wiki/index.php?title=Main_PageSURNAME. A.: "Title of paper if known," unpublished.
- [4] GRYTSIV, Maksym. SIMULATION OF THE TRAJECTORY OF A MOBILE ROBOT IN FLOWCODE. Kosice, 2020, 5. Available from: doi:621.941-229.3:621.822.172
- [5] Simulation. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-[cit. 2021]. Aval.: <https://en.wikipedia.org/wiki/Simulation>

Correspondence address:

Maksym Grytsiv

Technical university of Košice
faculty of mechanical engineering
Department of Manufacturing Engineering and Robotics
Park Komenského 8 040 01 Košice, Slovak Republic
Tel.: +421944229579
Email: Maksym.grytsiv@tuke.sk

SOUND ABSORPTION PROPERTIES OF NATURAL FIBERS AS SUSTAINABLE ACOUSTIC SOLUTION

Veronika GUMANOVÁ, Lýdia SOBOTOVÁ, Laura DŽUŇOVÁ, Anna YEHOŘOVÁ

Technical University of Kosice, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Process and Environmental Engineering, Slovakia

veronika.gumanova@tuke.sk, lydia.sobotova@tuke.sk, laura.dzunova@tuke.sk, anna.yehorova@tuke.sk

Abstract:

Currently, there are not many studies on the use of natural materials for acoustic purposes, but it suggests that many of them have comparable acoustic properties to currently used synthetic materials, which burden the environment in their production and recycling. This review has gathered the most recent advances on the acoustics of natural fibers (mycelium, cork fibers, hemp), and also the sound absorption design principles of natural-based materials. Information related to the improvement of the sound absorption properties of hemp is given, which mainly including the optimization of manufacturing, materials component, bulk density, and structural parameters.

Key words:

acoustic properties, sustainable materials, sound absorption, acoustic barrier, natural materials.

INTRODUCTION

Natural materials or recycled materials could be an effective alternative to conventional acoustic materials, due to low costs, lower energy input and lower environmental impact. All are 100% recyclable and many are biodegradable.

Evidence of the promising acoustic performance of natural materials are various studies examining the acoustic properties of coconut fibers, bamboo fibers, cork, hemp or other materials. Researchers from the Technical University of Malaysia compared the acoustic properties of glass wool panels and coconut fiber panels at frequencies of 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz and 4000 Hz. The measurement took place in a reverberant room according to STN 354 and the thickness of both materials was 20 mm. As a result, coconut fibers showed higher air absorption than glass wool at frequencies lower than 500 Hz (glass wool - 125 Hz: $\alpha = 0.06$; 250 Hz: $\alpha = 0.11$; 500 Hz: $\alpha = 0.56$ / coconut fibers - 125 Hz: $\alpha = 0.10$; 250 Hz: $\alpha = 0.15$; 500 Hz: $\alpha = 0.42$). At higher frequencies, the difference in sound absorption coefficient values between coir fibers and glass fibers was 0.10 at 1000 Hz (glass wool - $\alpha = 0.82$; coconut fibers - $\alpha = 0.72$); 0.11 at 2000 Hz (glass wool - $\alpha = 0.77$; coconut fibers - $\alpha = 0.66$); and 0,10

at 4000 Hz (glass wool - $\alpha = 0,61$; coir fibers - $\alpha = 0,51$) [1].

Authors from the University of Japan, T. Koizumi et al., found by detailed measurements at different bulk densities of materials that bamboo fiber material can have equivalent acoustic properties as glass wool (500 Hz - glass wool, 32 kg/m³: $\alpha = 0.49$ bamboo fibers, 120 kg/m³: $\alpha = 0,59$) [2]. Cork insulation also showed better performance than glass fibers in the tests, for transmission loss at a frequency of 1000 Hz (glass wave: TL = 31.6 dB, cork: TL = 32.6). Both materials reached the highest value at a frequency of 2000 Hz (scanning fibers: TL = 49.5 dB, cork: 44.4 dB) and the lowest at 500 Hz (scanning fibers: TL = 26.2 dB, cork: 10.5dB) [3]. Due to its thermal insulation properties, hemp has been a popular building material in the past. Based on the results of various studies and its ability to absorb sound [4], [5], it can also serve as acoustic insulation. In addition, hemp consumes CO₂ as it grows, making it an important component of nature conservation.

The acoustic performance of conventional absorbers depends on the structure of their pores (small holes), which ensure good sound absorption at medium and high frequencies. Many natural materials are fibrous and differ from porous absorbers in that they have long, slit cavities. As a result, they are good for absorbing low frequencies,

and therefore could be used to form composite panels from both fibrous and porous materials that would absorb sound well over the entire frequency range. There are several studies examining the effect of the shape, length and porosity of straw, coconut, bamboo, hemp and other natural materials on their acoustic performance [6], [7].

1 MYCELIUM

Mycelium is a vegetative part of a fungus or bacterial colony similar to a fungus formed by the action of actinobacteria. It is a set of hyphae with a network structure (Fig. 1) [8].



Figure 1. Microscopic view of mycelial fibers (1 mm²) [8]

Mogu Acoustic wall and ceiling acoustic panels from Mogu are the first commercially available products of their kind to be made entirely from fungal sponges and recycled textile scraps. Thanks to its unique technology, Mogu Acoustic is today the most sustainable solution dedicated to acoustic comfort.

The technology of their production is based on the mycelium, the vegetative stage of fungi. Over the years, the company has identified descriptors to monitor the growth of these organisms and designed the properties of the resulting materials accordingly. The materials are produced by growing selected strains of mycelia on pre-prepared substrates made from agro-industrial residues. The fungal mycelium acts as a reinforcement of the matrix structure and thus creates a 100% plastic material without plastics. They have a high potential to replace the use of plastics and other fossil fuel derivatives. At the end of the manufacturing process, the mycelial materials are inerted by slow drying to reduce energy consumption. The resulting products are completely stable, safe and durable and also 100% biodegradable.

The panels feature a unique velvet surface and 3D shape to maximize sound absorption. Their production does not use traditional

paints and varnishes, which could endanger the biodegradability and overall circulation of the product, as well as its technical properties.

The materials are certified by recognized independent laboratories that meet the standards of EU legislation. Exceptional fire resistance (B-s1-d0), thanks to the ecological surface treatment of combustion, complements their acoustic performance. Therefore, Mogu Acoustic is suitable for all types of public environments. Mogu products are certified as safe, durable and even positively contributing to indoor air quality. The materials were tested for allergen and VOC emissions. The results show that products are safer than wood and many other industrial materials found in our everyday environment

Mogu Acoustic contains several models (Fig. 2), each of which combines functionality with the organic design of nature and allows for a variety of configurations. The models fall into two groups, Fire Proof and Natural Touch. The technical parameters of Mogu Acoustic panels are summarized in Table I.

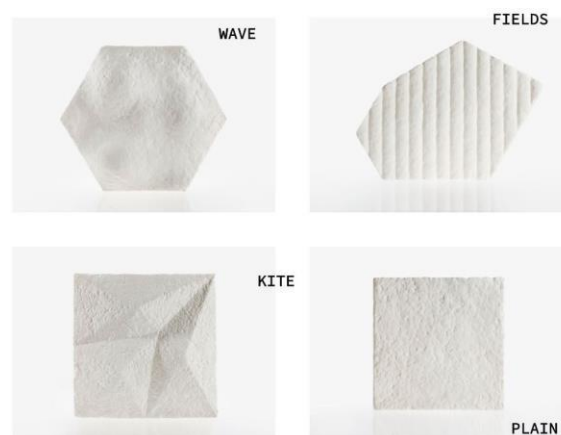


Figure 2. Product models Mogu Acoustic –Wave (560x485x25-75 mm), Fields (760x535mmx45mm), Kite (500x500x40-75 mm) and Plain (500x500x40mm) [9]

The sustainability also lies in the fact that Mogu operates their production processes from low-value materials that other valuable applications will not find in the industry. The production of the material transforms the low-value starting material into a high-value-added product. Mogu has developed its technology with respect for the ecosystem, using only microorganisms that are completely harmless to humans and the environment. It uses fungal strains that do not contain GMOs and non-allergenic strains that do not release spores throughout the production process.

TABLE I.
TECHNICAL PARAMETERS OF MOGU ACOUSTIC
PANELS [9]

Bulk density [kg/m ³]	Moisture resistance	Fire resistance	Thermal conductivity [W/m.K]
180	Fire Proof: RH > 50% Natural Touch: RH > 80% (UNI EN 13501-1)	Fire Proof: B-s1-d0 Natural Touch: D-s2-d0 (EN 13501-1)	0.050 (EN 12664-2)
Bending strength [MPa]	Compressive strength [kPa]	Deformation [%]	VVOC emission rate [µg/m ² h]
0.05	10.72 (UNI EN 826)	2,5 before the breach	91
TVOC emission rate [µg/m ² h]	Impact resistance [mm]		
10	10-200: no damage [5/5]; 400: slight damage [4/5] (ISO 4211-4)		

Mogu Acoustic products are characterized by excellent performance in absorbing speech frequencies. They are designed to maximize acoustic comfort in noisy areas such as restaurants, offices and retail stores with high reverberation times. The values of the sound absorption coefficient for individual Mogu Acoustic models are shown in Fig. 3.

2 CORK FIBRE

Cork is a natural material with a specific cellular structure. The acoustic properties of cork result from its structure and chemical composition. The chemical content of cork consists of suberin (45%), lignine (27%), cellulose and polysaccharides (12%), tissues (6%), wax (5%), and others (5%). Suberin together with wax makes the cork impermeable to liquids and gases. As cork mesh contains 89.7% gaseous substances, its density is low. This figure expresses a large disparity between the volume and weight of the cork raw material. The gaseous element contained in the cork hardly allows conductivity in terms of sound effects. Cork has in 1 cm³ up to 40 mil. air cells, 60% of the cork is air. Each cell contains air-like gas (min. 50%) (Fig. 4). Therefore, cork is characterized by good sound absorption. Cork is able to absorb from 30 - 70% of sounds in the range from 400 to 4000 Hz. The structure of the cork and its elasticity allows it to absorb air and shock sounds and eliminate zones of acoustic bridges [10].

As a material, it has lasting technical properties. Its service life reaches 50 - 60 years. It is used in ecological low-energy buildings. By its nature, cork gives the acoustic panels breathability, which allows the potential moisture to continuously evaporate, thus preventing the formation of mold in the space between the cork panel and the wall. In addition to good acoustic properties, the physical structure of the cork also provides good compressibility and flexibility. It has very good thermal insulation properties, low absorptency, is

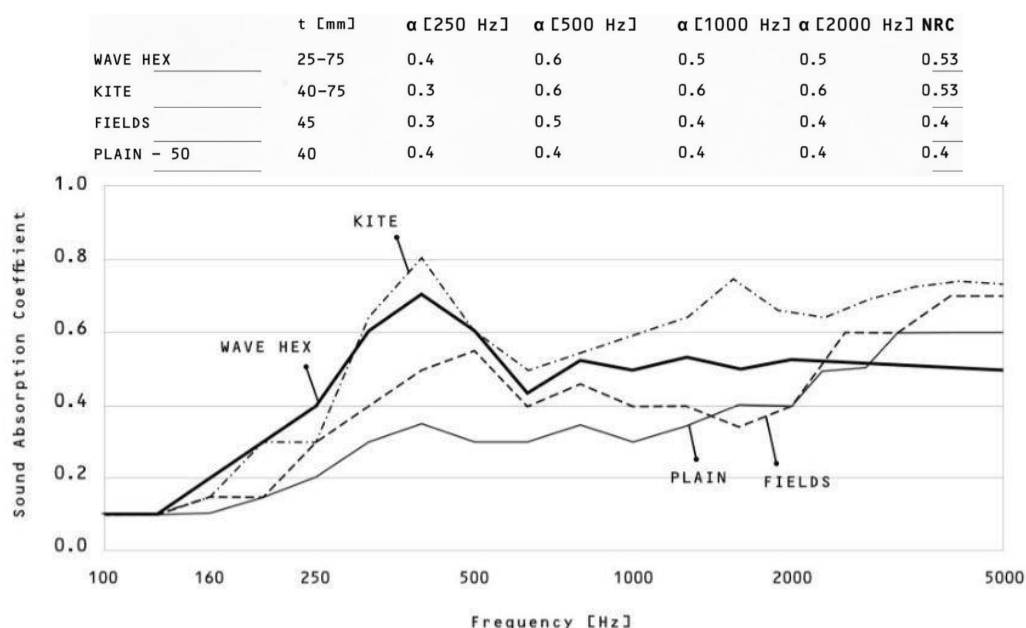


Figure 3. Sound absorption coefficient for individual Mogu Acoustic models [9]

very flexible and has relatively small volume changes. Cork is almost non-flammable - when tested for flammability it does not burn with an autogenous flame, it only turns black and is included in group C1 - hardly flammable substances [11].

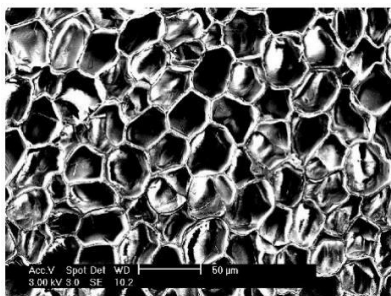


Figure 4. Cork microstructure (50 μm) [12]

The environmental impact of cork is very low. Primary energy consumption reaches only PEI = 7.10 MJ/kg. As with other products of plant origin, the carbon dioxide balance is negative and has a GWP value = -1.23 kg CO₂ eq/kg mass. Also the production of SO₂ with AP = 0.00274 kg SO₂, eq / kg cork is very low. It is used in ecological low-energy buildings [10].

Cork insulation is produced in the form of expanded pulp or boards. Cork boards are made without the use of foreign binders. At elevated temperature, by the action of water vapor in combination with high pressure (in an autoclave), the resin itself is extruded from the cork granules, which compresses the granules into a plate mold. Slabs of the required thickness are then cut from the blocks. In this way, the boards are produced in the required thickness and density, and we call this process "baking" or "expanding", giving the material

an unusually dark color. If it is necessary to use foreign binders, the natural properties of the basic cork can be preserved by using both synthetic and natural binders (for example, linseed oil and rosin with attachment to a jute substrate) [11].

Cork can be used as acoustic insulation of roofs, exterior walls, interior partitions, floor, coverings, ceilings as well as decorative solutions for interior walls with acoustic benefits.

Floors, on the other hand, are often made of recycled cork (wine caps and other waste) and result in environmentally friendly floors. Recycled cork is also combined with recycled rubber, the result is used, for example, as an anti-vibration pad under industrial machinery [10].

In the comparative life cycle analysis of conventional insulation products and Amorim Cork Insulation products, the expanded insulation cork is clearly characterized from an environmental point of view. Thanks to its virtually unlimited durability, it retains all its properties throughout the life of the product, except that it is 100% natural and fully recyclable. It is produced industrially without the use of additives and requires low production energy, which is a unique benefit that maximizes its positive impact on the use of the environment. In the production process, the use of natural resources is a priority for this company - 93% of energy needs for the production of acoustic insulation are covered by the use of biomass from the waste of its own process (cork powder) [13].

The technical parameters of the "Expanded Insulation Cork Board" acoustic boards are summarized in Table II.

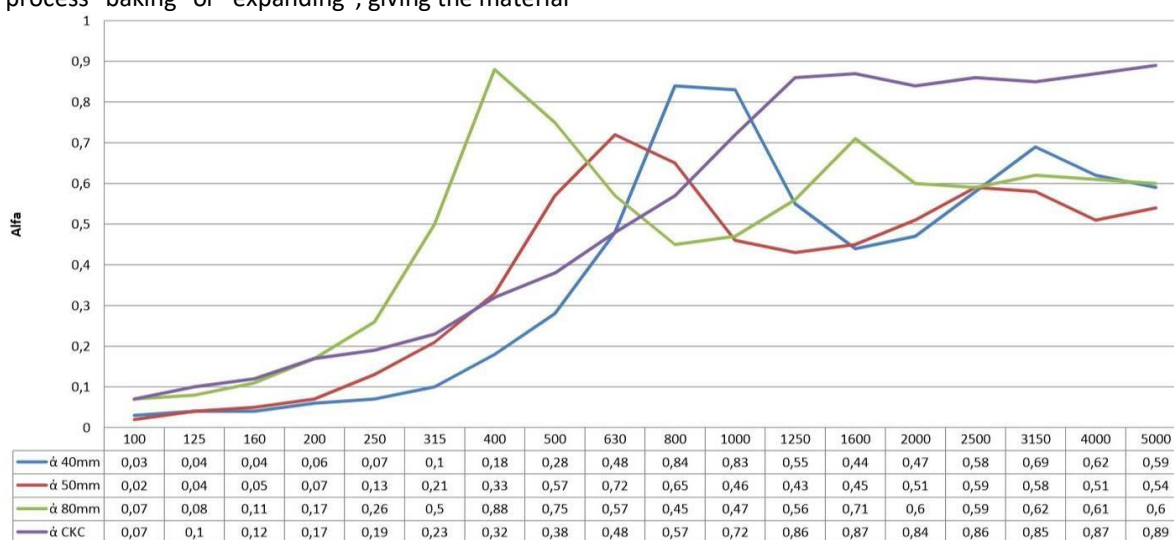


Figure 5. Sound absorption coefficient of the product "Expanded Insulation Corkboard", measured at a thickness of 40 mm, 50 mm and 80 mm [14]

TABLE II.
TECHNICAL PARAMETERS OF "EXPANDED
INSULATION CORK BOARD" [15, 13, 10]

Bulk density [kg/m ³]	Water absorption [kg/m ²]	Fire resistance	Thermal conductivity [W/m.K]
110 - 120	0,5 (EN 1609)	Euroclass E (EN 13501 – 1)	0.040
Specific heat capacity in the dry state [J/kg.K]	Compressive strength at 10% deformation [kPa]	Diffusion resistance factor [-]	Maximum moisture content [%]
1880	110-120	5 – 10	8 (EN 1215)

3 Hemp

Hemp (*Cannabis sativa* L.) is one of the oldest cultivated plants. It is a classic renewable growing material and can be grown to an altitude of up to 450 m. The plant is able to reach a height of 4500 mm in 120 days. From one hectare it is possible to collect 12 tons of dry raw material, from which 8 tons of material is produced. Rapid growth causes plants to obscure the soil, preventing it from becoming clogged. As a result, it does not need any herbicides. It contains substances that they repel insects naturally, so no insecticides are needed to protect them. It can be planted and harvested in the same field for several years.

One kilogram of hemp consumes and binds approximately 4 kg of CO₂ as it grows. At the same time, only 0.2 kg of CO₂ per 1 kg of plant is released into nature. This makes cannabis, like other natural plant materials, an important component of nature conservation. This situation is more favorable compared to the CO₂ balance achieved in the production of foamable insulating materials from petroleum or glass-based or mineral fiber-based inorganic fibers. The amount of bound primary energy in hemp insulation reaches the value PEI = 31.1 MJ/kg. CO₂ production is in the range of negative values: GWP = - 0.133 kg CO₂, eq/kg. SO₂ production is in the amount of AP = 0.00539 kg SO₂, eq/kg [38]. Hemp insulation has good thermal insulation, mechanical and acoustic properties. The coefficient of thermal conductivity is in the range of 0.039 - 0.050 W/m.K. The bulk density of technical hemp is 24 - 42 kg/m³ [10].

In the area of dynamic stiffness, a value in the range of 3 - 9 MPa/m was measured, thanks to which this material belongs to the group of dynamically soft materials, which are suitable as acoustic insulation for floating floor structures. In addition, the material is impermeable to water vapor, belongs to flammability class B2, is

inconsistent for rodents and insects, is water repellent, is light and malleable [16].

It contains 82% to 85% hemp fibers, 10% to 15% bicomponent (bicomponent) fibers and 3% to 5% soda for fire protection. The calculated value of the thermal conductivity coefficient is $\lambda = 0.040$ W/(m.K). The specific specific heat capacity is $c = 1600$ J/(kg.K) to 1700 J/(kg.K), which is almost twice the value of mineral fibers with a range of $c = 880$ J/(kg). K) to 1150 J/ kg.K). The diffusion resistance factor is $\mu = 1$ to 2 , for comparison polystyrene insulation has a diffusion resistance factor $\mu = 20$ to 100 . A low diffusion resistance factor prevents condensation in the structure. This has a positive effect on the quality of the indoor microclimate. The hydrodynamic resistance is equal to 6.0 kPa.s/m² [10].

Hemp has good sound absorption due to its open pore structure (Fig. 5). Natural fibers are flexible and tough. They are able to vibrate at the same frequency as sound waves. The fibers are not connected to each other, they form a loose structure in the insulation mats and, in addition, friction between the fibers occurs due to vibrations. Long, flexible, tough fibers significantly weaken the intensity of sound waves due to their behavior in the structure. These facts are a prerequisite for the use of hemp insulation as quality acoustic insulation of sandwich compositions to increase airborne sound insulation. However, official laboratory measurements are not yet available [17].

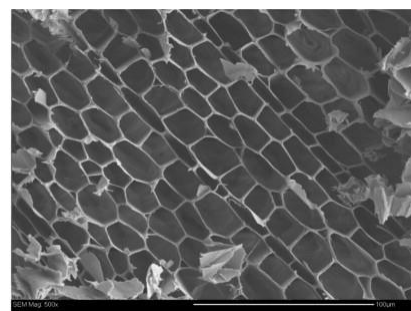


Figure 6. Hemp fiber microstructure (100 μ m)

ISOHEMP insulation blocks consist of hemp chips and hydraulic lime. The blocks are formed to the required thickness and dimensions, pressed and then cured and dried in fresh air without the need for any energy heat input [18]. They serve as a layer to the existing masonry wall, self-supporting walls and partitions, or as an envelope for concrete filling. They are not suitable for floors and roofs. The technical parameters of ISOHEMP hemp blocks are given in Table III.

TABLE III.
TECHNICAL PARAMETERS OF ISOHEMP HEMP
BLOCKS AT A THICKNESS OF 30 MM [18], [19]

Bulk density [kg/m ³]	Water absorption [kg / m ²]	Fire resistance	Thermal conductivity [W/m.K]
340 (EN 772-13)	0,5 (EN 1609)	B, S1, d0	0,071 (EN 12667)
Thermal resistance [m ² .K/W]	Flexural strength [kPa]	Compressive strength [kPa]	Diffusion resistance factor [-]
4,48 (EN 12667)	230 (EN 12667)	300 (EN 772-1)	2,8 (EN ISO 12572)

Hemp products are supplied as thermal, sealing and sound insulation for roofs, walls and floors in the form of form-retaining boards, mats, wool or loose hemp called hemp shingles. As these materials do not contain any harmful substances, they can be safely composted at the end of their life cycle [10].

The airborne soundproofing values are given in Table IV.

TABLE IV.
AIRBORNE SOUND INSULATION (R_w) OF ISOHEMP
HEMP BLOCKS AT DIFFERENT THICKNESSES (ISO
10140-2) [18]

Thickness [mm]	75	90	120	150
Airborne sound insulation (R _w) [dB]	37	37	38	38
Thickness [mm]	200	250	300	360
Airborne sound insulation (R _w) [dB]	40	41	42	44

CONCLUSION

Natural and recycled materials have the potential to replace conventional acoustic materials as environmentally friendly solutions based on the principles of circular economy and renewables, but many materials lack official laboratory measurements to confirm their effectiveness.

In addition to sustainability and good acoustic properties, acoustic materials should also meet other requirements that determine their suitability for use as an insulating material, such as e.g. service life, thermal insulation properties, fire resistance, health safety and others.

There is no best product as such. Only an individual comparison of individual LCAs (Life Cycle Analysis) offers objective data for a possible comparison. Many companies support the development of LCA for insulation products

according to ISO standards and newly prepared European standards (EN 15 804 and ISO 21930). This is the only scientific way to calculate and compare the impacts of any products.

Acknowledgment

The paper was elaborated within the framework of the project KEGA No 1/045/2018 supported by Slovak Ministry of Education and solved at Department of process and environmental engineering at Technical University of Kosice.

References

- [1] SALINAH, D. et al. 2016. Effect of Thickness Acoustic Panels Utilizing Coconut Coir. In: 6th International Conference, Geomate 2016, Geotechnique Construction Materials & Environment (Bangkok, Thailand, Nov. 14 - 16, 2016). Tsu city, Mie, Japan: The GEOMATE International Society, 2016. pp. 687 – 691. ISBN: 978-4-9905958-6-9 C3051.
- [2] KOIZUMI, T. – TSUJIUCHI, N. – ADACHI, A. 2002. The development of sound absorbing materials using natural bamboo fibers. In: High Performance Structures and Composites. WIT Press (2002), pp. 157 – 166 (672 p). Book ISBN 978-1-85312-904-9, article ISBN 1-85312-904-6. DOI 10.2495/HPS020161.
- [3] KITOWSKI, Z. – MARSH, A. – GRAVES, ROY. 2019. The Feasibility of Noise Insulating Materials With Variability of Frequencies and Amplitudes. In: Conference Proceedings, International Mechanical Engineering Congress and Exposition (Salt Lake City, Utah, Nov. 11 – 14, 2019). New York: The American Society of Mechanical Engineers, 2019. 7 p. ISBN: 978-0-7918-5936-0. DOI 10.1115/IMECE2019-11024.
- [4] GLÉ, P. – GOURDON, E – ARNAUD, L. 2012. Modelling of the acoustical properties of hemp particles. In: Construction and Building Materials. Vol. 37 (2012), pp. 801 – 811. ISSN: 0950-0618. DOI 10.1016/j.conbuildmat.2012.06.008.
- [5] FERNEA, R. et al. 2019. Hemp-clay building materials - An investigation on acoustic, thermal and mechanical properties. In: Procedia Manufacturing. Vol. 32 (2019), pp. 216–223. ISSN 2351-9789. DOI 10.1016/j.promfg.2019.02.205.
- [6] OLDHAM, D. J. – EGAN, CH. A. – COOKSON, R. D. 2011. Sustainable acoustic absorbers from the biomass. In: Applied Acoustics. Vol. 72, No.

- 6, pp. 350-363. ISSN 0003-682X. DOI 10.1016/j.apacoust.2010.12.009.
- [7] SHARMA, S. K. – SHUKLA S. R. – SETHY, A. K. 2020. Acoustical behaviour of natural fibres-based composite boards as sound-absorbing materials. In: Journal of the Indian Academy of Wood Science. Vol. 17, no. 4, pp. 66–72. ISSN 0972-172X. DOI 10.1007/s13196-020-00255-z.
- [8] STAMETS, P. Mycelium Running: How Mushrooms Can Help Save the World. Mycelium Running: How Mushrooms Can Help Save the World. Ten Speed Press, New York, 2005. 339 p. e-ISBN 978-1-58008-579-3.
- [9] Mogu catalog called "Mogu, radical by nature 2019". Freely available for download [cit. 06/18/2020]: <https://mogu.bio/mg19b10/wp-content/uploads/2019/06/Mogu-Catalogue-2019-Low-res2.pdf>
- [10] CHYBÍK, J. Přírodní stavební materiály. Grada Publishing, Praha, 2009. 272 s. ISBN 978-80-247-2532-1.
- [11] SVOBODA, L. a kol. Stavební hmoty. Jaga Group, Bratislava, 2004. 400 s. ISBN 80-8076-007-1.
- [12] GIL, L. 2009. Cork Composites: A review. In: Materials. Vol. 2, no. 3, pp. 776 – 789. ISSN 1996-1944. DOI: 10.3390/ma2030776.
- [13] AMORIM company catalog: "Amorim Insolamentos". Freely available for download [cit. 06/18/2020]: https://amorimcorkinsulation.com/xms/files/BROCHURAS_DOWNLOADS/2017_Amorim_Isolamentos_brochure.pdf
- [14] Information on the benefits of Amorim products: "ONE PRODUCT THREE ADVANTAGES!". Available online [cit. 06.08.2020]: <https://www.amorimcorkinsulation.com/en/advantages/three-advantages/>
- [15] Information on the technical properties of the product "Expanded Insulation Cork Board" from Amorim: "TECHNICAL FEATURES 100% RECYCLABLE". Available online. [cit. 08/06/2020]: <https://www.amorimcorkinsulation.com/en/the-process/technical-features/>
- [16] HUDEC, M. – JOHANISOVÁ, B. – MANSBART, T.: Pasivní domy z přírodních materiálů. Grada Publishing, Praha, 2013. 160 s. ISBN 978-80-247-4243-4.
- [17] ŠKOPEK, J. 2010. Tepelná izolácia z technického konope. In: ASB. Roč. 15 (2010). ISSN 1335-1230.
- [18] Technical data sheet for the "Hemp Block" product from ISOHEMP: "TECHNICAL DATA SHEET. ISOHEMP HEMP BLOCK ". Freely available for download [cit. 08/07/2020]: <https://www.iso hemp.com/sites/default/files/fichiers/iso hemp-technical-data-sheet-hempblocks.pdf>
- [19] Product sheet for "Hemp Block" from ISOHEMP: "THE HEMP BLOCK. PAL30 ". Freely available for download [cit. 08/07/2020]: <https://www.iso hemp.com/sites/default/files/fichiers/iso hemp-hemp-block-30-product-sheet.pdf>

Correspondence address:

Ing. Veronika Gumanová
Technical University of Kosice
Faculty of Mechanical Engineering
Department of Process and Environmental Engineering
Park Komenského 4, 042 00 Košice
Tel.: +421 (55) 602 2643
Email: veronika.gumanova@tuke.sk

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF CUTTING CLEARANCE ON THE QUALITY OF THE CUTTING SURFACE WHEN CUTTING OF AHSS STEEL CLIPPINGS

Július Hajduk, Janka Majerníková

Technical University of Košice, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Technologies, Materials and Computer Aided Engineering Production, Mäsiarska 74, 040 01 Košice, Slovakia

julo.haduk@centrum.sk, janka.majernikova@tuke.sk

Abstract

In the last years, high strength steel sheets have been increasingly applied, especially in the automotive industry. The paper deals with the influence of the cutting conditions on quality of the cutting area in AHSS steel clippings. In order to verify the influence of the cutting clearance on quality of the cutting area through an experiment two types of high strength steel sheets, namely those made of TRIP steel and deep-drawing steel, were used. The clippings were cut using a cutting tool with a pressure edge while applying two different cutting gaps. The quality of the cutting area was evaluated by microscopic observation of the surface and by comparing the size of the plastic cut and the total thickness of the sheet.

Keywords: TRIP steel, deep-drawing steel, cutting, cutting clearance, area of plastic cut

INTRODUCTION

The significance of high strength steel has in the recent years increased, especially in the automotive industry. Cutting, bending, and drawing have been the fundamental technologies of sheet processing. When cutting sheets, the quality of cutting areas, dimensions of blanks and the life of cutting tools increase under the optimum cutting conditions. The cutting clearance is the difference between the dimensions of the clipping die and that of the clipping punch at a corresponding cross-section point. The ideal cutting gap is the same along the entire circumference of the clipping punch (die) and equals a half of the cutting clearance. The optimum cutting gap is an important benchmark for the quality of the cutting tool, and it has an ultimate impact on the fatigue life of the cutting edge and on the total life of active parts of the tool. The size of the cutting gap has an influence on both, the life of the tool and on the final quality of a part being cut. In practice, the size of this gap is selected based on the thickness of the material being cut. [1]. [5].

1 ADVANCED HIGH STRENGTH (AHSS) STEEL

Advanced high strength steel (AHSS) - represents the materials of a higher strength than that of HSS steel designed for safety and load-bearing automotive structural elements (DP, CP, TRIP, TWIP and MS steel). Deep-drawing steel resists ageing, has good cold formability, sufficient weldability and meets the requirement of low yield strength falling in the range of 100 – 340 MPa. The tensile strength is on the level of 250 - 500 MPa and the ductility on the level of 23 - 32%. The microstructure is usually fully ferritic. However, there might also be a very small amount of carbides found in the grain volume there (Fig. 1). [2],[4].

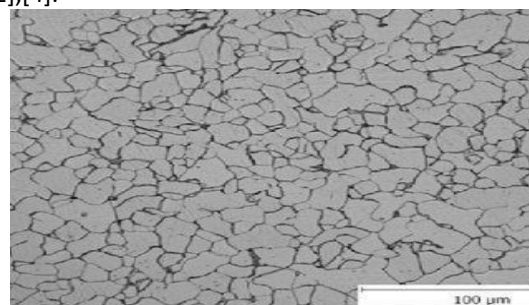


Figure 1 Microstructure of deep-drawing steel

TRIP steel belongs to the group of advanced high strength steel. Its microstructure comprises several phases and it is therefore sometimes called multi-phase steel. Figure 2 shows the microstructure of TRIP steel. [3].

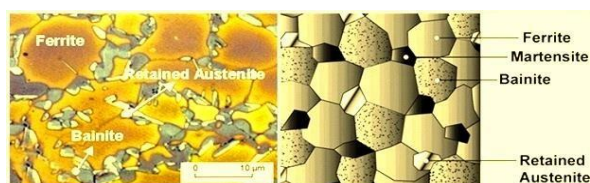


Figure 2 Microstructure of TRIP steel

In this paper, the influence of the cutting conditions on the quality of a cutting area for two types of high strength steel sheets is subject to examination.

2 EXPERIMENTAL METHODOLOGY

As part of experimental work, the influence of the cutting gap on the quality of the cutting area will be evaluated. Deep-drawing steel (DC06BZE75/75PHOL) marked “D”, thickness $a_0 = 0.75$ mm and steel with transformation-induced plasticity (TRIP RAK40/70 Z100MBO) marked “T”, thickness $a_0 = 0.75$ mm were selected as experimental materials. The deep-drawing steel plate D was zinc-plated on both sides with the zinc amount of 75 g/m^2 (BZE75/75PHOL) being applied. The deep-drawing steel plate T under evaluation was also electrolytically zinc plated on both sides with the zinc amount of 100 g/m^2 (Z100MBO) being applied. The chemical composition of steel can be found in Table 1.

TABLE I. CHEMICAL COMPOSITION [%] OF STEEL

	C	Mn	P	S	Ti	Si	
T	0.204	1.683	0.018	0.003	0.009	0.2	
D	0.02	0.25	0.002	0.02	0.3		
	Al	Cr	Cu	Ni	Nb	Zr	Mo
T	1.73	0.055	0.028	0.018	0.004	0.007	0.008
D							

The results of a single axis tensile test for “D” and “T” material samples can be found in Tables 2 and 3.

TABLE II. VALUES TAKEN FROM MATERIAL “T” TESTING SAMPLES

Direction [°]	A [mm]	ao [mm]	Lo [mm]	Rp0.2 [MPa]	Rppr [MPa]	Rm [MPa]	Rmpr [MPa]	A80 [%]	A80pr [%]
0°	0.75	0.74	80.26	441	442	769	772	28.1	27.7
0°	0.75	0.74	80.34	440		774		29	
0°	0.75	0.74	80.24	445		771		26.3	
45°	0.75	0.75	80.38	443	441	763	763	25.2	25.3
45°	0.75	0.75	80.39	438		757		25.5	
45°	0.75	0.75	80.34	442		765		25.3	
90°	0.75	0.75	80.43	447	450	766	767	26.1	25.8
90°	0.75	0.75	80.44	452		764		25.9	
90°	0.75	0.75	80.35	451		767		25.8	

TABLE III. VALUES TAKEN FROM MATERIAL “D” TESTING SAMPLES

Direction [°]	A [mm]	ao [mm]	Lo [mm]	Rp0.2 [MPa]	Rppr [MPa]	Rm [MPa]	Rmpr [MPa]	A80 [%]	A80pr [%]
0°	0.75	0.77	80.00	139	138	278	277	53.8	52.9
0°	0.75	0.77	80.00	138		276		51.3	
0°	0.75	0.77	80.00	139		276		52.7	
0°	0.75	0.76	80.00	138		278		53.3	
0°	0.75	0.76	80.00	138		278		53.8	
45°	0.75	0.76	80.00	142	142	281	282	53.2	50.4
45°	0.75	0.76	80.00	143		283		49.3	
45°	0.75	0.76	80.00	142		284		50.2	
45°	0.75	0.76	80.00	141		281		49.4	
45°	0.75	0.77	80.00	141		280		50.3	
90°	0.75	0.76	80.00	142	141	277	277	51.2	51.7
90°	0.75	0.76	80.00	143		277		57.6	
90°	0.75	0.76	80.00	142		279		54.8	
90°	0.75	0.76	80.00	139		276		48.4	
90°	0.75	0.76	80.00	139		276		46.3	

The testing samples were cut on a hydraulic press ZD40 using a cutting tool with a pressure edge. The experimental tool (Fig. 3) has replaceable active parts and its parameters in the case of precision cutting with a pressure edge are as follows:

1. Size of ramming edge h is from 0.5 mm to 1,5mm;
2. Distance of ramming edge from the cut line is from 1.2 mm to 2.0 mm;
3. Size of the cutting clearance is from 0 to 0.15 mm. [4].

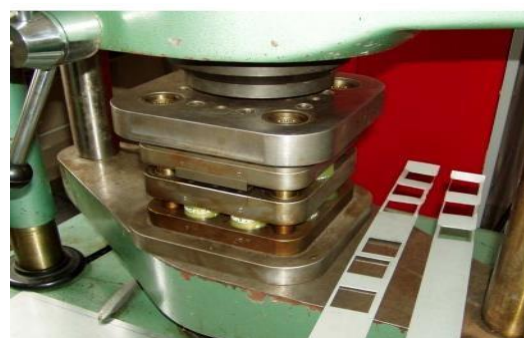


Figure 3 Experimental tool

For the purpose of the experiment, individual samples were cut with two cutting clearances, namely 0.01 mm and 0.08 mm. On sample sides 1 and 3, the clearance was 0.08 mm and on sides 2 and 4, it was 0.01 mm. The cutting clearance for individual sample sides is stated in Table 4. In Figure 4, the marking of sample sides is shown.

TABLE IV. CUTTING CLEARANCE ON SAMPLE SIDES

Sample side	1	2	3	4
Cutting clearance (mm)	0.08	0.01	0.08	0.01

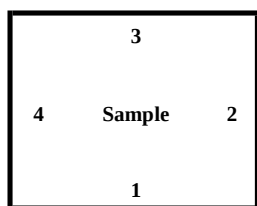


Figure 4 Marked samples sides

As part of the experiment, the depth of the plastic cut h_v of samples of the two materials under examination were subject to evaluation. The depth of the plastic cut was measured with the use of a digital microscope Keyence VHX-5000 available to the department. Table 5 shows the average values of the depth of plastic cut of the deep-drawing steel samples. Figure 5 shows the values of the depth of plastic cut of all the "D" material samples.

TABLE V. AVERAGE VALUES OF THE DEPTH OF THE PLASTIC CUT OF INDIVIDUAL „D“ SAMPLE SIDES

Side	D I.	D II.	D III.	D IV.	D V.	D VI.	D VII.	D VIII.	Average
1	510	502	490	478	428	435	495	481	477,4
2	398	368	405	386	453	374	317	334	379,4
3	417	460	393	391	391	398	379	381	401,3
4	337	386	330	350	337	361	351	402	358,6

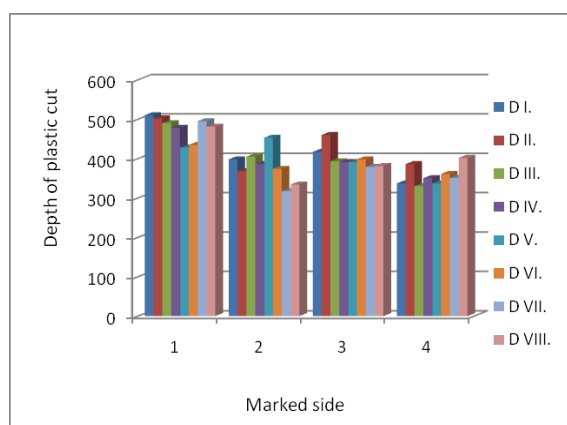


Figure 5 Chart comparing the depth of the plastic cut of material "D" individual sides and samples

Table 6 shows the average value of the depth of plastic cut of the TRIP steel samples. Figure 6 shows the values of the depth of plastic cut of all the "T" material samples.

TABLE VI. AVERAGE VALUES OF THE DEPTH OF PLASTIC CUT OF INDIVIDUAL „T“ SAMPLE SIDES

Side	T I.	T II.	T III.	T IV.	T V.	T VI.	T VII.	T VIII.	Average
1	223	289	307	300	263	245	307	287	277,6
2	287	375	340	384	275	281	335	334	326,4
3	340	443	341	342	335	400	361	381	367,9
4	239	238	225	276	233	215	264	263	244,1

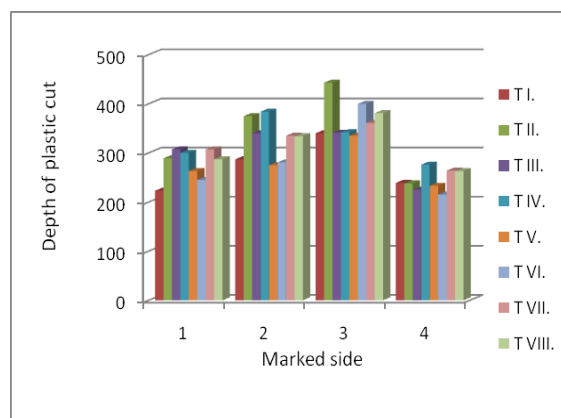


Figure 6 Chart comparing the depth of the plastic cut of individual material "T" sides and samples

In Table 7, plastic cut depths are stated in correlation with cutting clearances.

TABLE VII. HEIGHT OF THE PLASTIC AREA DEPENDING ON THE EXAMINED MATERIAL CUTTING CLEARANCE

SAMPLE - SIDE	h_v [mm]	a_0 [mm]	h_v/a_0
T - 1,3	0.261	0.75	0.348
T - 2,4	0.347	0.75	0.462
D - 1,3	0.390	0.75	0.520
D - 2,4	0.417	0.75	0.556

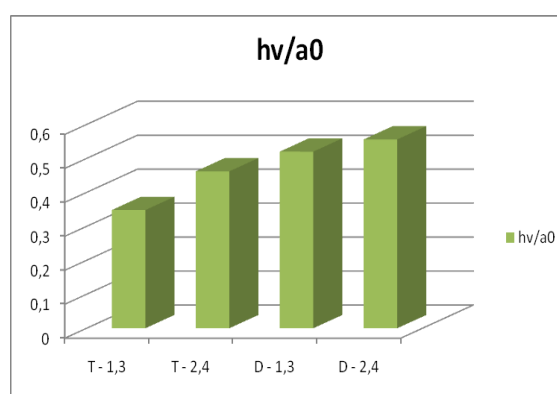


Figure 7 Plastic cut depth - sheet thickness ratio

3 SUMMARY OF EXPERIMENT RESULTS

As regards the TRIP steel, the area of plastic cut that shows the lowest value of roughness and the most precise dimension becomes smaller with a greater cutting clearance, the area of failure becomes larger and, in the case of a great clearance, a bevelled area with reduced quality of clipping surface is formed. As regards the deep-drawing steel, the results of the experiment are identical with those of the TRIP steel; in the case of a larger cutting clearance the area of plastic cut becomes smaller and the quality of the clipping surface deteriorates. The experiment has proven that a change in cutting clearance has a substantial impact on the quality of a cutting area. The experiment has also proven that in the case of a reduced cutting clearance of the two types of material under examination, the quality of the cutting area shows better parameters.

CONCLUSION

In order to define the influence of the cutting clearance on the quality of the cutting area in connection with precision cutting, the following results have been gained:

- (1) When cutting steel sheets of 0.75 mm thickness, the quality of the cutting area is influenced by the distance between the clipping die and clipping punch expressed as an h_v / a_0 ratio;
- (2) The 'height of plastic cut to depth of materials being cut' ratio values of both materials under examination were higher for the cutting clearance of 0.01 mm than for that of 0.08 mm;

The gained results prove that the same cutting tool can be used for precision cutting of both material types under examination using the cutting clearance of 0.01 mm.

Acknowledgment

This paper was written with the financial support of the granting agency VEGA within the project solution VEGA 1/0384/20.

References

- [1] BAČA, J., BÍLIK, J. Technológia tvárnenia. Bratislava : STU, 2000. 242 s. ISBN 80-227-1339-2
- [2] SPIŠÁK, E., MAJERNÍKOVÁ, J., SPIŠÁKOVÁ, E. The Influence of Punch-Die Clearance on Blanked Edge Quality in Fine Blanking of Automotive Sheets, Materials Science Forum, Pfaffikon, Switzerland: Trans Tech Publications, 818, 2015, 264-267.
- [3] SPIŠÁK, E., MAJERNÍKOVÁ, J., KAŠČÁK, Ľ., SLOTA, J. Influence of cutting on the properties of clippings from electrical sheets, Acta Metallurgica Slovaca, 21(4), 2015, 302-310.
- [4] MAJERNÍKOVÁ, J., SPIŠÁK, E. Punch-Die Gap Effect on Blanked Edge in Fine Blanking of Low-Carbon, Micro-Alloyed and High-Strength Steels, Applied Mechanics and Materials, 474, 2014, 279-284.
- [5] JAMBOR, A., BEYER, M. New cars: New materials, Materials& Design, 18, 1997, 203-209.

PREKURZORY PRE FYZIKÁLNE A CHEMICKÉ TECHNOLOGIE DEPONOVANIA POVLAKOV Z PÁR

Ján HAŠUL, Jozef TREBUŇA, Lukáš RUSINKO, Daniel KOTTFER

Technická Univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta,
Katedra technológií, materiálov a počítačovej podpory výroby

Abstrakt:

Autori v článku charakterizujú používané prekursory pri deponovaní tenkých vrstiev (TV) pre strojársku výrobu. Popisujú prekursory pre PVD metódy ako je naparovanie a naprašovanie a CVD metódy s a bez použitia nízkotlakovej nízko-teplotnej plazmy. Sú predstavené prekursory v skupenstve pevnom ako Ti Cr; v skupenstve kvapalnom ako $TiCl_4$ a v skupenstve plynnom ako N_2 , C_2H_2 , Si_3H_4 a karbonyly W, Cr a Mo. Autori uvádzajú publikované príklady použitia uvedených prekursorov a ich ďalšie možnosti využitia pri realizovaní experimentov dizertačných prác autorov.

Kľúčové slová:

Tenké vrstvy, PVD, CVD, naparovanie, naprašovanie, prekursory

ÚVOD

Tenké vrstvy (TV) umožňujú zlepšiť vlastnosti (mechanické, tribologické...) funkčných povrchov súčiastok. Predlžujú životnosť rezných a tvárniacich nástrojov. Tenké vrstvy sa deponujú vákuovými technológiami, ktoré delíme na dve skupiny [1,2]:

PVD (Physical Vapor Deposition) - patria tu technológie naparovania, naprašovania, iónovej implantácie, iónového plátovania a ich modifikácii.

CVD (Chemical Vapor deposition) - patria tu technológie PACVD, PECVD, RF PECVD, MOCVD.

Osobitnú skupinu tvoria hybridné technológie, ktoré spájajú 2 a viac uvedených metód deponovania TV do jedného procesu. Zdrojové materiály tiež označované ako prekursory, z ktorých sa vytvára povlak môžu mať rôzny tvar, rôzne skupenstvo, rozličné chemické zloženie a iné vlastnosti podľa použitia a funkcie povlaku v praxi.

Prekursory vo všeobecnosti musia spĺňať nasledujúce kritériá [1,2]: nízku teplotu odparovania (sublimácie), dostatočnú prchavosť, vysokú stabilitu pri nízkych teplotách, vysokú bezpečnosť, nízku cenu a pod.

V ďalšej časti tohto príspevku bude uvedená klasifikácia prekursorov podľa ich skupenstva, popísané jednotlivé druhy prekursorov a publikované príklady použitia prekursorov v praxi pri procese deponovania povlakov na funkčné časti strojníckych súčiastok.

1 PREKURZORY A ICH KLASIFIKÁCIA

Podľa skupenstva, v ktorom prekursory vstupujú do procesu deponovania povlakov rozlišujeme: **tuhé** prekursory, **kvapalné** prekursory a **plynné** prekursory [3,4].

1.1 Tuhé prekursory

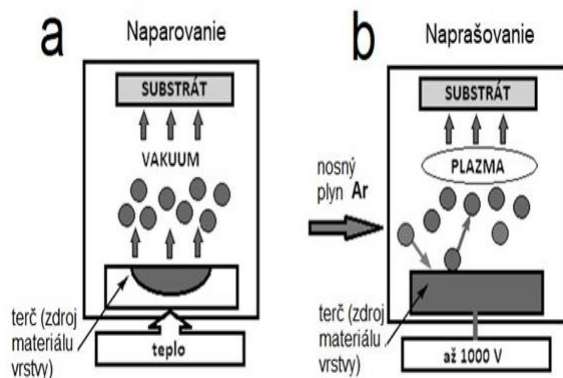
Tu patria prekursory pre deponovanie TV metódami PVD, t.j. technológie naparovania a naprašovania.

Pri procese naparovania sú prekursory ohrievané na teplotu tavenia a ich ďalším ohrevom sa z prekursora odparujú častice (atómy, molekuly), ktoré sú následne transportované na povrch súčiastky (substrátu, vzorky), kde kondenzujú a vytvárajú povlak (obr. 1a). Ohrev terča a tým aj odparovanie môže byť vykonané el. odporom, elektrónovým lúčom, laserovým lúčom, indukčne.

Pri procese naprašovania je povrch terča bombardovaný časticami (ióny, atómy) nosného alebo reaktívneho plynu. Ich dopadom na povrch terča sú vyrážané častice (atómy, molekuly) a tie sú napríklad prechodom cez ionizovaný plyn (plazma) urýchľované smerom na povlakovaný povrch (obr. 1b) [3,4].

Počas procesu deponovania tenkých vrstiev je do vákuovej komory privádzaný aj reaktívny plyn alebo viac plynov ako napríklad N_2 , Si_3H_4 , ktoré v

processe transport odparených, resp. odprášených častíc z terčov s nimi reagujú a dopadajú na povlakovaný povrch substrátu. Vytvárajú sa tak povlaky ako CrN, TiN Al₂O₃ a iné [4].



Obr. 1 Proces: (a) naparovania a (b) napašovania s využitím plazmy [4]

Medzi pevné prekursory patria napr. karbonyly W, Cr, a Mo, ktoré sú dodávané vo forme prášku. Uvedené chemické prvky majú vysokú teplotu tavenia a odparovania, preto ak by sme ich odparovali el. odporom, indukčne alebo elektrónovým lúčom, spotrebovali by sme veľké množstvo energie.

Karbonyly sú soli uvedených kovov, ktoré sublimujú už pri izbovej teplote. Karbonyl W sublimuje už pri teplotách z intervalu 20 °C až 40 °C a tlaku z intervalu 2,7 Pa až 19 Pa. Teplota sublimácie je podľa Garnera a Chandru 170 °C [5,6].

1.2 Kvapalné prekursory

Časť prekursorov používaných pri CVD metódach je pri izbovej teplote v kvapalnom stave, napríklad TiCl₄ [3,7,8] a karbonyl Fe [3,9]. Prekursor sa zahrieva na vhodnú teplotu odparovania (sublimácie) a transportujú sa do reakčnej komory prostredníctvom nosného plynu, najčastejšie Ar.

Existujú tri metódy, prostredníctvom ktorých sa kvapalný prekursor dodáva do reakčnej komory. Sú to [3]:

a) priame odparovanie bez použitia nosného plynu;
b) transport prekursora prostredníctvom nosného plynu

c) metóda prebublávania kvapalinou.

Na zlepšenie toku prekursorového plynu je potrebné regulovať teplotu a výšku hladiny kvapalného prekursora, pretože s týmito parametrami sa mení rýchlosť zachytávania nosného plynu.

Nádoba s prekursorom sa obvykle umiestni do olejového kúpeľa, ktorý sa miešaním udržiava na

konštantnej teplote. Prietok pár je daný nasledujúcou rovnicou [3]:

$$F_{vap} = \frac{P_{vap} P_{cyl}}{P_{cyl} - P_{vap}} \cdot \frac{F}{RT_{std}} \quad (1)$$

F_{vap} – molárny prietok pár [mol/min]

P_{vap} – tlak nasýtených pár tekutého prekursora pri teplote kúpeľa [Pa]

P_{cyl} – celkový tlak v prekursorovom valci [Pa]

F – objemový prietok pár [l/min]

RT_{std} – plynová konštanta pri teplote

$T_{std} = 273 \text{ K}$

1.3 Plynné prekursory

Prekursor sú privádzané do vákuovej komory vo forme plynov a ich prietok je regulovaný regulátormi tlaku a prietokomermi. Niektoré plynné prekursor (Si₃H₄, N₂) majú však niekoľko nevýhod a to že sú výbušné, drahé a nebezpečné. Aby sa dalo s nimi bezpečne pracovať, je potrebné ich zmiešať s inými plynmi ako napríklad Ar + N₂ [10].

Okrem toho je tiež dôležité zabezpečiť, aby medzi plynnými prekursorami a všetkými súčastami reakčnej komory, ktorými sú prietokometry, ventily, meradlá a potrubia nedochádzalo k chemickej reakcii, čím sa minimalizuje vznik a šírenie korózie. Je tiež veľmi dôležité a potrebné zabrániť úniku prekursorov v systéme privodu plynu [3,10].

2 PREKURZORY V PRAXI

Horňák a kol. [10] hodnotili WC povlak deponovaný z pevného prekursoru W(CO)₆ vo forme prášku bez a s použitím plynu N₂ metódou PECVD pri zadaných parametroch:

p = 1-3 Pa; **bias** = 5 kV. Tlak plynu bol v rozmedzí 1-2 Pa. S použitím N₂ boli namerané tieto hodnoty:

- tvrdosť **H** = 19,7 ± 4,1 GPa,

- Youngov modul **E** = 292 ± 2,1 GPa

- **COF** = 0,35 ± 0,09

Bez použitia N₂ boli namerané tieto hodnoty:

- tvrdosť **H** = 20,9 ± 2 GPa

- Youngov modul **E** = 292 ± 20 GPa

- **COF** = 0,69 ± 0,05

Povlak bol následne žiňaný na teploty 200 °C, 500 °C a 800 °C [10].

Kottfer a kol. [11] študovali Ti a Cr povlaky, ktoré boli deponované z Ti, Cr a TiCr prekursorov v tuhom stave PVD metódami s pridávaným prekursorom N₂ (plyn) na špirálové vrtáky vyrobené z rýchloreznej ocele HSS Co5. Povlaky boli deponované pri týchto parametroch, ktoré sú uvedené v tabuľke 1 [11].

Získali tieto mechanické a tribologické vlastnosti, ktorých hodnoty sú uvedené v tabuľke 2 [11].

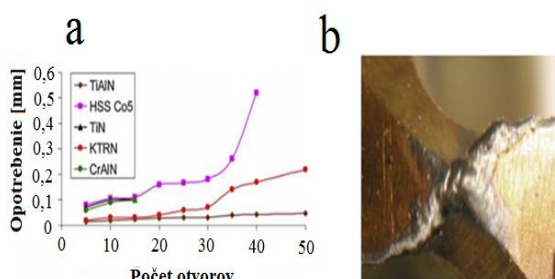
Tab. 1 Parametre deponovania Ti a Cr povlakov [11]

Typ povlaku	Parametre procesu deponovania				
	Tlak [Pa]	Teplota [°C]	I _{katóda} [A]	U [V]	Prietok N ₂ [cm ³ . min ⁻¹]
CrAlN	0,2	400	80	150	120
TiN					
TiAlN					
KTRN (TiAl)	0,1	500	100	200	-

Graf životnosti nástroja s a bez povlakov je uvedený na obrázku 2a a opotrebenie nástroja, zväčšené 40 krát je na obrázku 2b [11]:

Tab.2 Namerané hodnoty mechanických a tribologických vlastností povlakov [11]

	Hrúbka [μm]	Tvrdosť [GPa]	Drsnosť R _a [μm]	COF rýchlosť 5/10/15 [cm/s]
CrAlN	1,1	16,5	0,31	0,73/0,65/0,58
TiN	1,9	14,3	0,76	0,87/0,84/0,82
TiAlN	1,7	34,7	0,31	0,61/0,49/0,48
KTRN (TiAl)	2,3	34,9	0,58	0,81/0,63/0,56



Obr. 2 Graf životnosti nástroja s a bez povlakov a); opotrebenie nástroja 40x zväčš. b) [11]

Kottfer a kol. v [12] deponovali povlak z Ti prekursoru v tuhom skupenstve. Skúmali vlastnosti Ti povlaku nanášaného metódou EB PVD s aktivovaným odparovaním na vnútorný povrch oceľových rúr OKhN3 MFA pri teplote 200°C. Povlak sa deponoval pri týchto zadovaných parametroch, ktoré sú uvedené v tabuľke 3 [12].

Tab.3 Parametre deponovania Ti povlaku [12]

Povlak	Parametre procesu				
	Tlak [Pa]	Teplota [°C]	I _{katóda} [A]	U [V]	Čas depozície [min]
Ti	0,01	200	0,2	240	30

Získali nasledujúce namerané hodnoty [12]:

- **hrúbka** povlaku od 1,3 μm do 3,9 μm; hrúbka rástla so zväčšením polomeru dopadu častíc a vzdialenosti substrátu od odpareného zdrojového Ti materiálu

- boli namerané najvyššie hodnoty tvrdosti

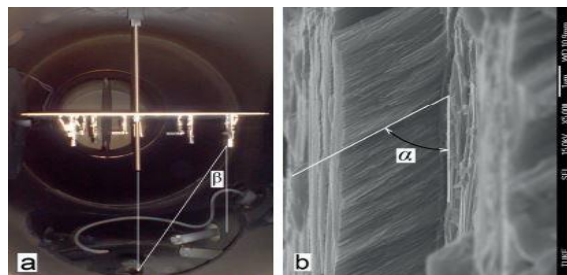
H = 8,5 GPa a Youngovho modulu

E = 210 GPa

- boli namerané najnižšie hodnoty tvrdosti

H = 2,0 GPa a Youngovho modulu

E = 14,0 GPa



Obr. 3 Uhol dopadu β odparených častíc Ti (a), smer rastu α stĺpcov Ti povlaku, priečný rez Ti povlaku (b) [12]

ZÁVERY

Na záver možno konštatovať, že výskum metód a zloženia TV prebieha už od roku 1960. Napriek tomu prebieha v súčasnosti intenzívny výskum prípravy TV s využitím:

i) v strojárskvej výrobe:

- ako tvrdé oteruvzdorné vrstvy na báze nitridov, karbidov a boridov W, V, Cr, Mo, Al a iné napríklad na predĺženie životnosti rezných nástrojov
- ako tepelné bariéry (HfN) používané na predĺženie životnosti leteckých motorov (lopatky satorov a rotorov prúdových lietadiel) atď.
- na upravenie koeficienta trenia trecích dvojíc (GLC povlaky – graphite like carbon) v TV sa C nachádza vo forme grafitu a tak slúži ako suchý lubrikant, čím upravuje koeficient trenia atď.

ii) v elektrotechnike:

- pri výrobe mikroeletromechanických dielov (MEMS)
- pri výrobe nanoeletromechanických dielov atď.

iii) v optike:

- TV deponované na povrch šošoviek optických prístrojov a slnečných okuliarov na odfiltrovanie požadovaného spektra elektrického magnetického žiarenia

TV predstavujú často jediný a cenovo dostupný spôsob na dosiahnutie požadovaných vlastností funkčných plôch.

POĎAKOVANIE

*Tento príspevok bol finančne podporený Slovenskou grantovou agentúrou z projektov **KEGA 048 TUKE-4/2020** a **VEGA 1/0432/17**.*

LITERATÚRA

- [1] OHRING M.: Materials science of thin films – Deposition and structure, 2nd. ed., San Diego, CA, Academic Press 2002, ISBN 0-12-524975-6, p.57
- [2] BEEBY S.: MEMS mechanical sensors, Boston: Artech House, 2004, ISBN 1-58053-536-4, p.11
- [3] YONG DONG X. – YAN X.-T.: Chemical vapour deposition: an integrated engineering design for advanced materials, New York, Springer c2010. Engineering materials and processes, ISBN 978-1-84882-893-3, p.80-85
- [4] MATTOX D. M.: Handbook of physical vapor deposition (PVD) processing, 2nd. ed., Amsterdam, Elsevier 2010, ISBN 978-0-81-552037-5, p.201-210
- [5] FERDINANDY M. et. al: Príprava nano-kryštálických povlakov WC rozkladom $W(CO)_6$ metódou PECVD, Chem. Listy 105, pp. s442-s444 (2011)
- [6] GARNER M.L – CHANDRA D.J: Phase Equilibria 16,24, 1995
- [7] JACQUES S. et.al.: Pulsed reactive chemical vapor deposition in the C-Ti-Si system from $H_2/TiCl_4/SiCl_4$, Thin Solid Films, Volume 478, Issues 1-2, 2005, p.13-20

[8] FAKIH H.et al.: The growth of Ti_3SiC_2 coatings onto SiC by reactive chemical vapor deposition using H_2 and $TiCl_4$, Surface and Coatings Technology, Volume 201, Issue 2006, p.3748-3755

[9] TING. L. et al: Characteristics of oxidized Fe topcoat and its effects on the absorbing property of carbonyl iron coating, Journal of Electronic Materials, Volume 48, 2019, p.3753-3762

[10] HORŇÁK P. et al: Microstructure and Mechanical Properties of Annealed WC/C PECVD coatings Deposited Using Hexacarbonyl of W with Different Gases, Materials 13, 2020, p.3576

[11] KOTTFER D. et. al.: Investigation of Ti and Cr based PVD coatings deposited onto HSS Co5 twist drills, Applied Surface Science, Volume 282, 2013, p.770-776

[12] KOTTFER D. et. al.: The study of selected properties of Ti EB PVD coating deposited onto inner tube surface at low temperature, Arch. Metall. Mater., Vol. 61 (2016), No 1, p. 67–74

Correspondence address:

Ing. Ján Hašul'
Technická univerzita v Košiciach
Strojnícka fakulta
Katedra technológií, materiálov a počítačovej podpory výroby
Mäsiarska 74, 040 01 Košice
Email: jan.hasul@tuke.sk

doc. Ing. Daniel Kottfer, PhD.
Technická univerzita v Košiciach
Strojnícka fakulta
Katedra technológií, materiálov a počítačovej podpory výroby
Mäsiarska 74, 040 01 Košice
Email: daniel.kottfer@tuke.sk

VYUŽITIE 3D TLAČE KOMPOZITNÝCH MATERIÁLOV AKO PROSTRIEDOK OPTIMALIZÁCIE KONŠTRUKCIE ROTAČNÉHO MODULU

Lukáš HRIVNIAK, Jozef SVETLÍK, Michal ŠAŠALA, Štefan ONDOČKO

Technická Univerzita v Košiciach, Stojnícka fakulta, Katedra výrobnéj techniky, Slovensko
lukas.hrivniak@tuke.sk, jozef.svetlik@tuke.sk, michal.sasala@tuke.sk, stefan.ondocko@tuke.sk

Abstrakt:

Článok sa zaoberá pokračujúcim vývojom univerzálneho rotačného modulu URM 02. Pri konštruovaní a zostavovaní funkčného prototypu sa ako výrazný problém ukázala vysoká hmotnosť komponentov z ktorých moduly zostavujú. Rovnako aj hmotnosť ďalších prepojovacích častí potrebných na zostavenie manipulátora resp. robotického ramena. Konštrukčné zmeny priniesly zníženie hmotnosti oproti prvej generácii modulov ale aby mohol manipulator správne fungovať je potrebné ďalšie zníženie hmotnosti. Článok popisuje postup pri odľahčení prepojovacích členov (zakrivení) a to zmenou materiálu. Pôvodná zliatina hliníka bola nahradená kompozitom z kontinuálnym uhlíkovým vláknom vyrábanom pomocou aditívnej technológie CFF. Popísané sú konštrukčné úpravy, ktoré si táto zmena materiálu vyžadovala a porovnané sú výsledné hmotnosti pôvodných kovových dielov s novými kompozitnými dielmi.

Kľúčové slová:

univerzálny rotačný modul, URM 02, kompozitné materiály, uhlíkové vlákno

ÚVOD

Univerzálny rotačný modul s neobmedzeným stupňom rotácie (Unlimited Rotation Module, URM) je modulárny systém, z ktorého je možné zostaviť rôzne stroje a zariadenia, ktoré pri svojej činnosti potrebujú alebo využijú neobmedzenú rotáciu modulov. Takýmito strojmi sú napríklad manipulatory, priemyselné roboty alebo robotické ramená [1]. Jedným z najdôležitejších vlastností konštrukcie URM je jeho modulárny princíp. Ten bol plne využitý pri koncepcii a konštrukcii návrhu modulu. To znamená, že z jedného druhu modulu je možné zostaviť stroje pre rôzne aplikácie a to bez úprav jednotlivých modulov alebo iba s malými modifikáciami [2]. Pri vývoji sa ako problém prejavila vysoká hmotnosť dielov manipulátora. Konštrukčné úpravy medzi prvou a druhou generáciou modulov pomohli znížiť hmotnosť ale nie dostatočne. Preto sa ďalšie znižovanie hmotnosti realizovalo nahradením niektorých kovových dielov.

1 ZLEPŠOVANIE MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ MODULOV URM 02

Po zostavení kinematickej štruktúry URM 02 a testovaní bolo zistené, že je potrebné znižovanie

hmotnosti za účelom zlepšenia funkčnosti a mechanických vlastností. To vyústilo k zmenám materiálov použitých na výrobu mechanických komponentov. Doteraz boli všetky mechanické komponenty modulov vyrobené z kovových materiálov konkrétne zliatin hliníka EN AW 6060 AlMgSi0,5 (vonkajší kryt modulu), EN AW 6082 AlMgSi1 (držák motora), EN AW 7075 AlZnMgCu1,5 (ostatné časti modulu) [3, 4]. Tieto zliatiny už nedovoľujú ďalšie výrazné znižovanie hmotnosti konštrukčnými úpravami a preto budú nahradené súčiastkami vyrobenými z kompozitných materiálov. Použitie kompozitov na výrobu súčiastok prinesie zachovanie požadovaných mechanických vlastností a zároveň prinesie výrazné zníženie hmotnosti celkovej sústavy modulov.

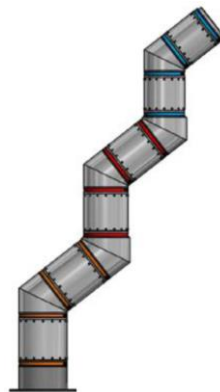


Figure 1. Manipulátor zostavený z modulov URM 02 [3]

1.1 3D tlač kompozitov

Kompozity sú materiály, ktoré sa vyrábajú z dvoch alebo viacerých materiálov súčasne. Materiály sa v kompozite delia na dva druhy, a to výplň (matrix, matrica) a výstuž (reinforcement). Výplň vytvára výsledný tvar súčiastky a zároveň chráni výstuž od vplyvov okolia. Výstuž, ktorá sa nachádza vo vnútri výplne zlepšuje výsledné vlastnosti kompozitu svojimi lepšími mechanickými vlastnosťami oproti materiálu výplne. Takýmto spojením sa dosiahnu mechanické vlastnosti, ktoré prekonávajú vlastnosti samostatne použitých materiálov [5, 6].



Figure 2. Schéma 3D tlače kompozitu [5]

Na výrobu dielov pre URM 02 bola zvolená 3D tlač kompozitu (Figure 2) namiesto ďalšej uvažovanej ručnej výroby z dôvodu väčšej jednoduchosti, rýchlosti a presnosti výroby. Hlavným dôvodom ale je potreba výroby tvarovo zložitej súčiastky, ktorú by bolo náročné vyrobiť ručne [6].

3D tlačiareň od firmy Markforged s označením Mark Two (Figure 3) bola použitá na tlač komponentov pre použitie v univerzálnom rotačnom module. Najväčšou prednosťou tejto 3D tlačiarne je tlač kontinuálnej výstuže z napr. uhlíkových vlákien alebo HSHT a tým dosiahnuť kvalitné výrobky s vysokou pevnosťou a nízkou hmotnosťou [5].



Figure 3. 3D tlačiareň Markforged Mark Two [5]

Tlačiareň vytlačí výstuž do vnútra plastovej matrice. Onyx Filament sa skladá z dvoch častí: nylonu a drobných častíc uhlíkového vlákna. Onyx sa

používa ako termoplastická matrica pre kompozitné diely [5]. V tabuľke (TABLE I) je porovnanie mechanických vlastností Onyxu a bežne používaného plastu ABS. Z porovnania vyplýva, že Onyx bol vhodne zvolený materiál na výrobu dielov pre URM 02 a to ako matrica kompozitu.

TABLE I.
MECHANICKÉ VLASTNOSTI VYBRANÝCH
TERMOPLASTOV [8]

Mechanické vlastnosti	ABS	Onyx
Hustota (g/cm ³)	1,04	1,2
Modul pružnosti v ťahu (MPa)	2 095	1 401
Pevnosť v ťahu (MPa)	29,5	36
Deformácia na medzi pevnosti (%)	1,8	25
Napätie pri porušení (MPa)	22,9	30
Deformácia pri porušení (%)	16,3	58

Do plastovej matrice je pri tlači vložená výstuž z materiálu s lepšími mechanickými vlastnosťami ako plastová matrica. Markforged ponúka na výber z viacerých materiálov výstuže ako napr. uhlíkové vlákno, Kevlar, HSHT, sklolaminát. V tabuľke (TABLE II) je porovnanie mechanických vlastností dvoch najvhodnejších materiálov na výstuž. Z porovnania vyplýva, že uhlíkové vlákno bol vhodne zvolený materiál na výrobu dielov pre URM 02 a to ako výstuž matrice kompozitu. Uhlíkové vlákno je tuhé a silné vlákno, ktorého vlastnosti sú porovnateľné s hliníkom 6061, čo znamená že komponenty z tohto materiálu sú ľahké ale pritom dokážu zniesť vysoké zaťaženie [5, 6].

TABLE II.
MECHANICKÉ VLASTNOSTI VYBRANÝCH
MATERIÁLOV NA VÝSTUŽ [8]

Mechanické vlastnosti	Uhlíkové vlákna	HSHT
Pevnosť v ťahu (MPa)	800	600
Modul pevnosti v ťahu (GPa)	60	21
Ťahové napätie pri pretrhnutí (%)	1,5	3,9
Pevnosť v ohybe (MPa)	540	420
Modul pevnosti v ohybe (GPa)	51	21
Ohybové napätie pri pretrhnutí (%)	1,2	2,2
Hustota (g/cm ³)	1,4	1,5

2 ÚPRAVA KONŠTRUKCIE

Riešeným komponentom konštrukcie je tzv. zakrivenie (uhlový člen), ktorý sa vkladá medzi dva moduly (Figure 4), ktoré navzájom prepája a zároveň priamo určuje možnosti pohybu a veľkosť pracovného priestoru manipulátora resp. robotického ramena zostaveného z modulov URM 02.

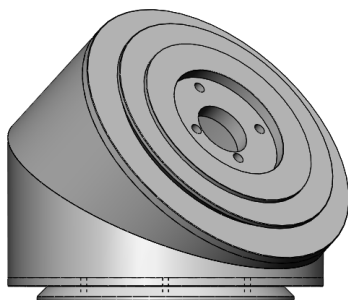


Figure 4. CAD model zakrivenia

Pôvodná konštrukcia zakrivenia nedovoľovala jej použitie v 3D tlači. Skladala sa zo štyroch častí spojených kútovými zvarmi. Pre 3D tlač je ale vhodnejšie navrhnúť súčiastku ako celok. Tým sa odstráni nutnosť použitia spojiva, ktoré by mohlo byť slabým článkom konštrukcie (Figure 5). Úprava pôvodného zakrivenia spočívala v dvoch veciach. Aby bolo možné vystužiť steny uhlíkovým vláknom musela sa zväčšiť ich hrúbka z pôvodných 3 mm okolo celej súčiastky na 6 mm na spodnej a vrchnej strane. Na bočných stranách na 5 mm. Ďalej prídanie podpier do vnútra keďže zakrivenie bude namáhané predovšetkým na ohyb [7].

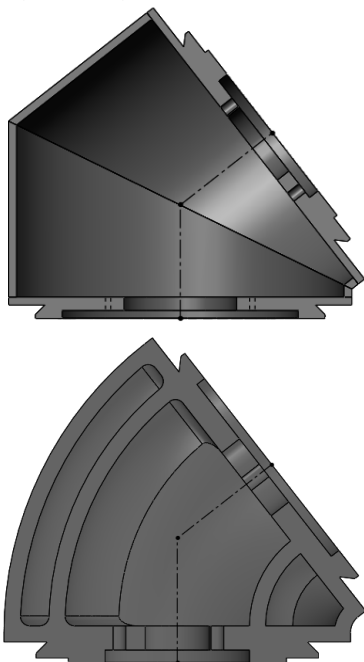


Figure 5. Pôvodné zakrivenie (hore) a upravená konštrukcia pre 3D tlač (dole) v reze

Po úprave CAD modelu bolo potrebné pomocou softvéru Eiger dodávaného k tlačiarňi nastaviť parametre tlače a výsledného kompozitu. Z plastu je vytlačený povrch súčiastky, steny a výplň okolo vrstiev uhlíkového vlákna. Minimálna hrúbka povrchových vrstiev je 4 tzn. 0,5 mm ktorú v tomto prípade nie je možné zmeniť. Hrúbka stien bola nastavená na 0,8 mm. Pre zabezpečenie čo najlepších mechanických vlastností bola výplň bola hustota výplne medzi výstužami zvolená na 100 % (Figure 6).

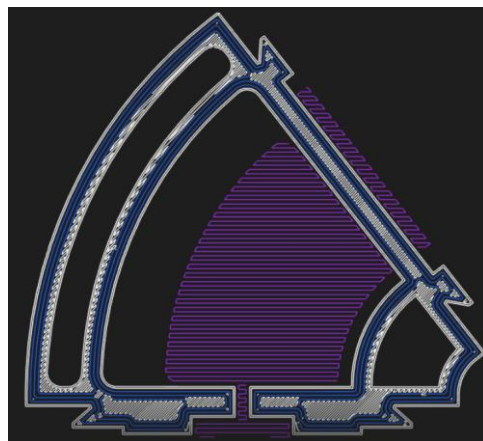


Figure 6. Prierez vnútornou štruktúrou zakrivenia – plastová matrica (biela), uhlíkové vlákno (modrá), support (fialová)

To znamená viac použitého materiálu ale zároveň vyššiu pevnosť súčiastky [7]. Kontinuálne uhlíkové vlákno bolo pridané v troch navzájom spojených línách, ktoré kopírujú tvar súčiastky. Orientácia súčiastky pri tlači bola zvolená na bok aby bolo možné umiestniť výstuž uhlíkovým vláknom v smere najväčšieho zaťaženia a tak v maximálnej miere využiť jeho vynikajúce mechanické vlastnosti.

3 VPLYV ÚPRAV ZAOBLLENÍ NA KONŠTRUKCIU MANIPULÁTORA

Rovnakými úpravami aké boli popísané v kapitole 3 prešli všetky zaoblenia potrebné na úplné zostavenie zostavenie manipulátora so 6° voľnosti pohybu v priestore. Z obrázka (Figure 1) je zjavné, že manipulator sa skladá zo 6 modulov 3 veľkostných rád (TABLE III) a 5 zakrivení 3 veľkostných rád.

TABLE III.
PARAMETRE MODULOV URM 02

Modul	S	M	L
Výška (mm)	109	119	129
Priemer (mm)	108	118	128
Hmotnosť (g)	1299,34	1574,66	1811,22

Parametre všetkých pôvodných zakrivení vyrobených zo zliatiny hliníka a nových upravených zakrivení vyrobených z kompozitu sa nachádzajú v tabuľke (TABLE IV).

TABLE IV.
PARAMETRE ZAKRIVENIA

Pôvodné zakrivenie	L	LM	M	MS	S
Priemer (mm)	128	128	118	118	108
Hmotnosť (g)	563,92	551,29	491,59	477,09	415,73
Upravené zakrivenie	L	LM	M	MS	S
Priemer (mm)	128	128	118	118	108
Hmotnosť (g)	330,29	322,59	271,17	262,55	215,74

Zníženie hmotnosti jednotlivých zakrivení:

L: $563,92 - 330,29 = 233,63$ g (41,43 %)

LM: $551,29 - 322,59 = 228,7$ g (41,49 %)

M: $491,59 - 271,17 = 220,42$ g (44,84 %)

MS: $477,09 - 262,55 = 214,54$ g (44,97 %)

S: $415,73 - 215,74 = 199,99$ g (48,11 %)

Zníženie hmotnosti zostavy manipulátora:

Manipulátor sa skladá z 2 modulov L, 2 modulov M a 2 modulov S. Tie sú prepojené všetkými piatimi zakriveniami z tabuľky (TABLE IV). Spoločná hmotnosť modulov je 9370,44g. Spoločná hmotnosť pôvodných zakrivení je 2499,65g. Spoločná hmotnosť upravených zakrivení je 1402,34g. Uštréná hmotnosť na zakriveniach je 1097,31g čo je 43,89%. Výsledná hmotnosť manipulátora z pôvodnými zakriveniami je 11 870,06g. Výsledná hmotnosť manipulátora z upravenými zakriveniami je 10 772,78g.

ZÁVER

Článok bol zameraný na úpravu prepojovacích členov modulov (zakrivení) URM 02. Dôvodom úprav bolo zníženie hmotnosti dielov pretože vysoká hmotnosť sústavy obmedzuje funkčnosť manipulátora zostaveného z modulov URM 02. Prestriedkom zníženia hmotnosti bola zmena použitých materiálov. Zliatina hliníka bola nahradená kompozitným materiálom vystuženým kontinálnym uhlíkovým vláknom. Výroba zakrivení bola realizovaná prostredníctvom aditívnej technológie, čo si vyžiadalo určité konštrukčné úpravy popísané v článku. Pre všetky zakrivenia bola hmotnosť znížená o viac ako 40% čo vo výsledku znamená zníženie zo pôvodnej spoločnej hmotnosti 2499,65g na 1402,64g, čo predstavuje odľahčenie o 43,89%.

Acknowledgment

This work was supported by the Slovak Research and Development Agency under the Contract no. APVV-18-0413.

References

- [1] SVETLÍK, J. – DEMEČ, P. – TURISOVÁ, R.: Rotačný modul na stavbu modulárnych strojov, Úžitkový vzor č. 99-2010/platný: Banská Bystrica : ÚPV SR, 2010., 12 s.
- [2] SVETLÍK, J.: Príspevok k stavbe výrobnej techniky na princípoch pružnej architektúry : Habilitačná práca: Košice: Technická Univerzita v Košiciach., 2012. 171 strán.
- [3] ŠTOFA, M.: Experimentálny vývoj rotačných modulov pre stavbu sériových kinematických štruktúr vo výrobnej technike: Dizertačná práca: Košice: Technická Univerzita v Košiciach., 2019. 96 strán.
- [4] NEDAL ALUMINIUM: "Overview of alloys and mechanical properties", online: <https://www.nedal.com/quality/alloys/> [access 20.12.2020]
- [5] 3D PRINTING BASICS: "3D Printer Types & Technologies", online: <https://markforged.com/resources/learn/3d-printing-basics> [access 20.12.2020]
- [6] DOBRÁNSKY J. et al.: The influence of the use of technological waste on the mechanical behavior of fibrous polymer composite. In: Composites Part B: Engineering : An International Journal. - Amsterdam (Holandsko) : Elsevier Roč. 166 (2019), s. 162-168 [print]. - ISSN 1359-8368
- [7] POLLÁK, M. - KAŠČAK, J. - TÖRÖKOVÁ, M. - KOČIŠKO, M. - DOBRÁNSKY, J.: Topological Optimization of a Supporting Part of a 3D Printer Pad. In: Manufacturing Technology. - Ústí nad Labem (Česko) : Univerzita Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem Roč. 20, č. 4 (2020), s. 492-499. ISSN 1213-2489
- [8] MARKFORGED: "3D Printing Materials", online: <https://markforged.com/materials> [access 20.12.2020]

Correspondence address:

Ing. Lukáš Hrivniak
Technická univerzita v Košiciach
Strojnícka fakulta
Katedra výrobnej techniky
Letná 9, 04 200 Košice
Tel.: +421 055 602 2192
Email.: lukas.hrivniak@tuk

3D NÁVRH A VÝROBA DENTÁLNYCH CHIRURGICKÝCH NAVÁDZAČOV

¹Ľuboš CHROMÝ, ¹ Viktória RAJŤÚKOVÁ, ¹Marek Schnitzer,
²Andrea SINČÁK-KONEČNÁ, ²Marcel RIZNIČ, ¹Radovan HUDÁK

¹ Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Katedra biomedicínskeho inžinierstva a merania,
Letná 9, Košice, 040 01

²Univerzita Pavla Jozefa Šafárika, Lekárska fakulta, Košice, 040 01
lubos.chromy@tuke.sk, viktoria.rajtukova@tuke.sk, marek.schnitzer@tuke.sk, andrea.konecna@upjs.sk,
marcel.riznic@upjs.sk, radovan.hudak@tuke.sk

Abstract:

Dentálne chirurgické navádzače sa používajú na presné umiestnenie zubných implantátov. Daná štúdia bola zameraná na návrh dentálneho chirurgického navádzača a na výrobu pomocou aditívnej technológie. Po získaní potrebných dát sa pristúpilo k samotnému návrhu a modelácii dentálneho chirurgického navádzača. Pre výrobu navádzača boli použité aditívnej technológie Polyjet s využitím biokompatibilného materiálu MED610 a DLP s biokompatibilným fotopolymérom NextDent C&B MFH. Finálne výťažky boli porovnané s referenčným modelom v programe Gom Inspect. Výsledné hodnoty boli použité pre porovnanie presnosti 3D tlače jednotlivých druhov aditívnej technológie. Pri technológii Polyjet bola hodnota presnosti -0,00935 mm, pri technológii DLP bola hodnota presnosti -0,0062 mm.

Key words:

dentálny chirurgický navádzač, aditívna výroba, biokompatibilný materiál, Polyjet, DLP

ÚVOD

Digitálna stomatológia sa vyvinula z CBCT, intraorálnych skenerov, CAD/CAM, čo malo výrazný vplyv na zubnú implantológiu [1]-[4]. Konkrétne technológia AM, známa ako 3D tlač, prispela k úspešnej implementácii počítačovo vedenej operácie [5][6]. Tradičný implantátový chirurgický navádzač s modifikovanými rádiografickými šablónami vyžaduje zložité laboratórne postupy, ktoré môžu byť nepresné, čo sťažuje presné umiestnenie implantátov v ich plánovaných polohách [7]. Na druhej strane, počítačovo navrhnuté chirurgické navádzače ponúkajú možnosti brať na zreteľ aj vitálne anatomické štruktúry a takisto ušetriť čas a pomôcť pri umiestňovaní implantátu nakreslením vopred naplánovaného konečného návrhu protézy [8][9]. Presné počítačové chirurgické navádzače sú navrhnuté pomocou softvéru CAD na plánovanie implantátov a spracovanie informácií získaných z CBCT, intraorálnych skenerov a diagnostických súborov [10][11].

Daná štúdia je preto zameraná na spracovanie takýchto dát, navrhnutie dentálneho chirurgického navádzača a jeho následná výroba pomocou aditívnej technológie s využitím dvoch rôznych

metód 3D tlače. Následne sú tieto navádzače naskenované a následne sú tieto dáta spolu s originálnym stl. súborom importované do interaktívneho softvéru GOM inspect pre porovnanie a vyhodnotenie kvality 3D tlače oboch výťažkov.

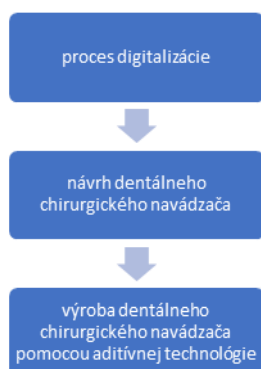
1 POUŽITÝ MATERIÁL A EXPERIMENTÁLNE METÓDY

Predkladaná štúdia je zameraná na spracovanie metodiky výroby chirurgických dentálnych navádzačov. Proces výroby chirurgického dentálneho navádzača pozostáva z procesu digitalizácie, návrhu navádzača v softvéru a následnej výroby z biokompatibilných materiálov pomocou 3D tlačiarň s rôznou technológiou (Obr. 1).

1.1 Proces digitalizácie

Po kompletom diagnostickom vyhodnotení pacienta, vrátane klinickej a fotografickej analýzy, sa vykoná CBCT snímok záujmového kvadrantu a pomocou digitálneho skenera 3Shape TRIOS (3Shape, Dánsko) sa vykoná digitálne povrchové skenovanie maxily, mandibuly a maximálnej

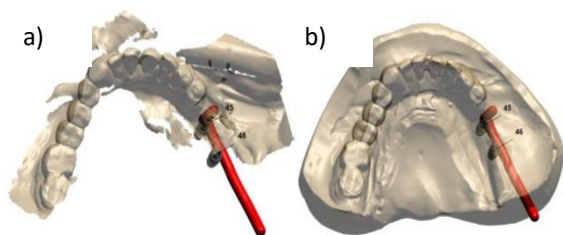
interakcie medzi oblúkmi. Následne sa zhotoví konvenčný alginátový odtlačok mandibuly na výrobu sadrového odliatku.



Obr. 1. Proces výroby chirurgického dentálneho návádzača

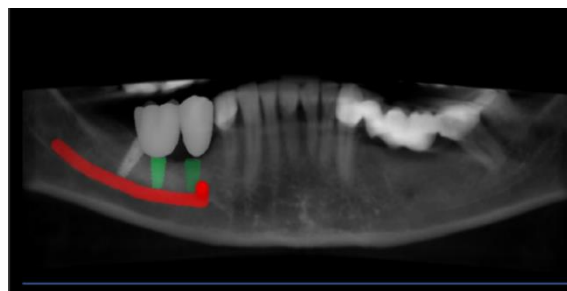
Po vyhodnotení skenovaných zón a ich okluzálnych vzťahov sú súbory exportované do softvéru 3Shape Implant Studio (3Shape, Dánsko). Po prvotnom spracovaní súborov DICOM získaných z CBCT sú dáta importované do softvéru 3Shape Implant Studio, pre skombinovanie skenovania a vytvorili 3D superpozíciu skutočnej intraorálnej situácie a obrázkov CBCT.

Pri skenovaní pacienta intraorálnym skenerom 3Shape TRIOS sa nepodarilo zachytiť celú požadovanú oblasť z dôvodu lesklého povrchu ústnej dutiny. Z tohto dôvodu bol zhotovený silikónový odtlačok mandibuly pre zhotovenie sadrového modelu, ktorý bol následne naskenovaný pomocou dentálneho skenera 3Shape E2 (3Shape, Dánsko) a tieto dáta boli následne využité namiesto dát z intraorálneho skenera (Obrázok 2).



Obr. 2. Porovnanie dát z a) intraorálneho skenera a b) sadrového odliatku

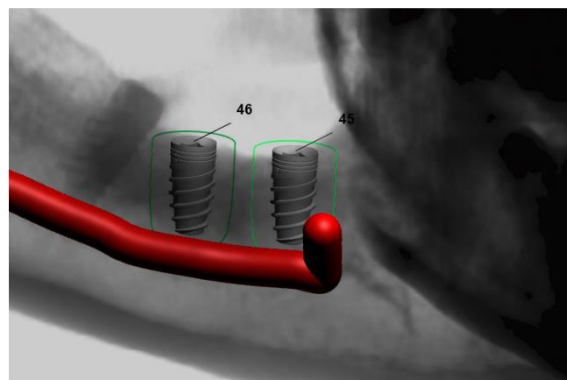
3D digitálne umiestnenie implantátu je definované na získanie ideálneho vzťahu implantát - protetika, pričom sa zistili vitálne štruktúry, ako je dolný alveolárny nerv a vaskularita, ako aj minimálne bezpečnostné merania kostí obklopujúcich implantát. Pri ošetrovaní posteriórnej mandibuly jeden z počiatkových krokov zahŕňa identifikáciu a označenie mandibulárneho nervového kanála a mental foramenu (Obrázok 3).



Obr. 3. Vyznačenie mandibulárneho nervového kanála

Virtuálne umiestnenie dvoch implantátov v posteriórnej časti mandibuly sa uskutoční tak, aby apikálna vzdialenosť implantátov bola 2 mm, zatiaľ čo radiálna vzdialenosť medzi zubom a implantátom je 1,5 mm. Umiestnenie sa následne vyhodnotí v sagitálnej rovine a horizontálnej rovine. Softvér zmení farbu implantátu pri plánovaní zo zelenej na červenú, ak je umiestnenie príliš blízko anatomickeému prvku, ktorý by nemal byť zasiahnutý, aby pomohol udržať plán a následnú operáciu bezpečnú a bezproblémovú.

Plánovanie sa uskutoční s použitím povrchového intraorálneho snímania a súčasne sa skontroluje rekonštrukciou CBCT 3D, čím sa zabezpečí optimálna poloha implantátu a zabráni sa akejkoľvek fenestrácii alebo dehiscencii kostí alebo lézii vitálnej štruktúry (Obrázok 4).



Obr. 4. Definitívna poloha a os implantácie na základe návrhu v 3D rekonštruovanom virtuálnom modeli

1.2 Návrh CAD dizajnu dentálneho chirurgického návádzača

Posledným postupom CAD je navrhnutie chirurgického návádzača. Návrh samotného návádzača sa realizuje jednoducho zakreslením obrysu budúceho návádzača na sken mandibuly. Po spojení konca obrysu k začiatku je možné upraviť ľubovoľnú časť dizajnu okrem umiestnenia otvorov pre vŕtací nástroj. V ponuke je niekoľko ďalších funkcií napríklad pre pridanie mena pacienta alebo ID. Posledným krokom je umiestnenie pár štvorcových alebo obdĺžnikových otvorov na

oklúznú plochu navádzača. Slúžia ako kontrolné miesta pre chirurga pre kontrolu toho, či je navádzač umiestnený na správnom mieste a dolieha na zvyškový chrup.

1.3 Výroba dentálneho chirurgického navádzača pomocou aditívnej technológie

V predkladanej štúdii sú na výrobu dentálneho chirurgického navádzača použité dva druhy biokompatibilných materiálov. Prvým biokompatibilným materiálom bol fotopolymér MED610 (Stratasys, Izrael), ktorý je priehľadný a biokompatibilný. Materiál MED 610 je určený na medicínske aj stomatologické použitie a je schválený na trvalý kontakt s pokožkou (viac ako 30 dní) a obmedzený kontakt so slizničnou membránou (do 24 hodín) [12]. Druhým biokompatibilným materiálom bol fotopolymér NextDent C&B MFH (Envisiontech, Nemecko).

Vygenerovaný .stl súbor namodelovaného chirurgického navádzača je importovaný do 3D tlačiarne a vytlačený z biokompatibilných materiálov. Pre výrobu dentálneho chirurgického navádzača sú použité 3D tlačiarne Objet Eden 260 s biokompatibilným materiálom MED610 [13] a 3D tlačiareň Envisiontec Vida s materiálom NextDent C&B MFH.

3D tlačiareň Objet Eden 260 využíva technológiu Polyjet, ktorá nanáša 16 μ vrstvy fotopolyméru MED 610 a následne sa vytvrdzujú UV svetlom. Po vytvrdnutí sa proces opakuje, až kým nevznikne finálny model, ktorý je vytvorený pomocou podporného materiálu.

3D tlačiareň Envisiontec Vida využíva technológiu DLP (Digital Light Processing). Hlavným rozdielom medzi týmito technológiami je svetelný zdroj. DLP používa bežnejší svetelný zdroj, ako je napríklad oblúková lampa so zobrazovacím panelom z tekutých kryštálov, ktorá sa aplikuje na celý povrch nádrže fotopolymérnej živice v jednom priechole.

TABLE I. 3D TLAČIARNE A BIOKOMPATIBILNÉ MATERIÁLY

3D tlačiareň	Technológia	Biokompatibilný materiál
Envisiontec Vida	DLP	NextDent C&B MFH.
Objet Eden 260	Polyjet	MED610

2 VYHODNOTENIE A VÝSLEDKY

Po navrhnutí modelu dentálneho chirurgického navádzača boli zhotovené dva výtlačky pomocou dvoch rôznych typov 3D tlačiarne – Polyjet a DLP.

V prvom prípade bola použitá 3D tlačiareň Objet Eden 260 s polyjet technológiou a s použitým materiálom MED 610. Výroba na 3D tlačiarne trvala 1:55 hod. pri hrúbke jednotlivých vrstvy 16 μ m. Po zhotovení sa podporný materiál jednoducho odstránil pomocou vysokotlakové vodnej trysky. Následne bol chirurgický navádzač aplikovaný do 96% izopropylalkoholu po dobu 5 minút, aby sa podporný materiál úplne odstránil. S finálnym modelom bolo možné manipulovať aj bez dodatočného vytvrdzovania (žihania).



Obr. 6. Vytlačený navádzač na 3D tlačiarne Objet Eden 260

V druhom prípade bola na výrobu navádzača použitá 3D tlačiareň Envisiontec vida s materiálom NextDent C&B MFH. V tomto prípade bola dĺžka tlače 2:35 hod. pri hrúbke jednotlivých vrstvy 35 μ m. Po zhotovení navádzača bolo potrebné mechanicky odstrániť podporný materiál a následne ho aplikovať do 96% izopropylalkoholu po dobu 10 minút aby sa odstránil prebytočný nevytvrdený materiál. Po následnom vysušení navádzača bola potrebná finálna fotopolymerezácia pomocou UV svetelnej lampy s vlnovou dĺžkou od 410 nm do 500 nm.



Obr. 7. Vytlačený navádzač na 3D tlačiarne Envisiontec Vida

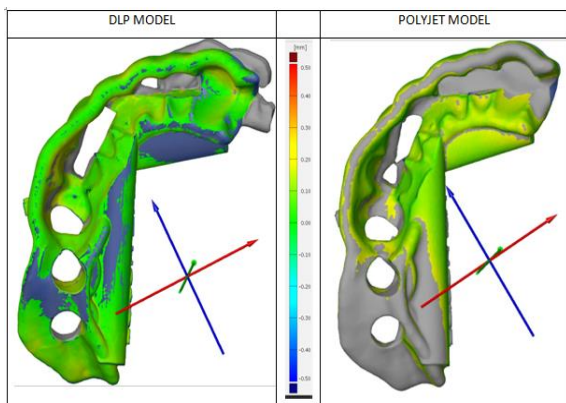
2.1 Porovnanie presnosti dentálnych chirurgických navádzačov vyrobených pomocou aditívnych technológií

Pre potreby tejto štúdie boli pripravené dva modely vytlačené na dvoch rôznych 3D tlačiarňach a to Objet eden 260v s materiálom MED610 a Envisiontec Vida s materiálom NextDent C&B MFH .

Na meranie podobnosti údajov bol použitý interaktívny softvér GOM Inspect. Dáta hlavného modelu STL vytvoreného v programe boli importované a vybrané ako referencia. Dáta zo skenera Dental System E2 boli importované do softvéru a vybrané ako aktuálna hodnota. Pomocou funkcie „Prealignment“ softvér automaticky prekryval oba modely. Pre presnejšie prekrytie modelov sa cez menu „Operations“ zvolila funkcia Alignment → Main Alignment → Local Best Fit. Po zlúčení modelov sa zvolila funkcia Surface Comprasion on CAD, kde sa na modeli objavila farebná mapa prekrytia. Hodnota dovolenej odchýlky sa nastavila na ± 0.50 mm, keďže ide o dovolenú toleranciu pre dentálne pomôcky.

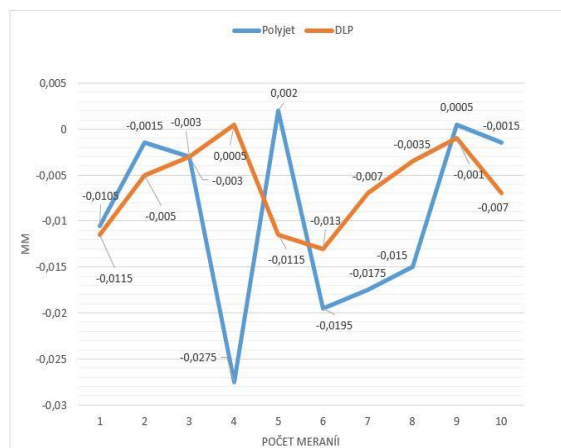
2.1 Výsledky

Pre zobrazenie odchýlok sa zvolila funkcia Equidistant Deviations Labels. Odchýlky sa automaticky zobrazili v jednotlivých bodoch na modeli s odstupom 5 mm, pričom sa zobrazilo 20 hodnôt. Na Obrázku 8 je znázornená farebná mapa ukazujúca rozdiely v tvaroch dentálneho chirurgického navádzača, ktorý bol vyrobený pomocou aditívnej metódy. Záporne hodnoty sú označené modrou farbou a znázorňujú odchýlku modelu, ktorý presahoval do vnútra referenčného modelu. Kladné hodnoty sú označené červenou farbou a znázorňujú odchýlku modelu, ktorý vystupoval nad referenčným modelom. Miesta zafarbené zelenou farbou majú zanedbateľnú hodnotu odchýlky. Celkovo sa vykonalo 10 meraní z každej metódy aditívnej výroby a tieto hodnoty boli zaznamenané v tabuľke.



Obr. 8. Farebná mapa prekrytia naskenovaných modelov s referenčným modelom

Z každého stĺpca nameraných hodnôt danej metódy sa vypočítal aritmetický priemer. Výsledky sú znázornené na Obrázku 9.



Obr. 9. Porovnanie aritmetického priemeru jednotlivých meraní

Pri analýze farebnej mapy prekryvaných tlačných modelov neboli vyznačené intenzívne farby ani pri jednej z metód aditívnej výroby. Superpozície polyjet a DLP modelu preukázali prevenciu zelenej farby, ktorá naznačuje nevýznamné rozdiely. Podľa výsledkov z tabuliek po uskutočnení párového testu mali modelové superpozície naskenovaného tlačného modelu Polyjet štatisticky výraznejšie rozdiely v niektorých parametroch, ako rozdiely v superpozícii DLP modelu.

3 ZÁVER

Digitálna technológia sa ukázala ako podstatný nástroj v diagnostike stavu a plánovaní liečby. Anatomické obmedzenia vyžadujú, aby chirurg získal väčšiu presnosť pri chirurgickom zavádzaní dentálnych implantátov. V tomto ohľade dentálne chirurgické navádzače ukazujú lepšiu predvídateľnosť umiestnenia implantátu.

V danej štúdií bol opísaný postup získania dát a následný návrh a modelácia dentálneho chirurgického navádzača. Ďalším krokom bola následná výroba namodelovaného dentálneho chirurgického navádzača pomocou aditívnej technológie. Pre danú štúdiu boli zvolené dva druhy aditívnej technológie. Prvou bola technológia Polyjet s tlačiarňou Objet Eden 260v s biokompatibilným materiálom MED610. Druhou technológiou bola technológia DLP s tlačiarňou Vida Envisiontec a s použitým biokompatibilným fotopolymérom NextDent C&B MFH. Finálne výtlačky boli následne oskenované pomocou dentálneho skenera 3Shape E2 a porovnané s referenčným modelom v programe Gom Inspect. Zo zistených meraní na jednotlivých modeloch boli vypočítané aritmetické priemery a určené odchýlky tlače pri oboch druhoch aditívnej výroby.

Podakovanie

Táto práca bola vypracovaná za podpory projektov Výskum aditívnej výroby biodegradovateľných magnéziových zliatin a ich aplikácie v implantológii a regeneratívnej medicíne APVV 17-0278, Uplatnenie paradigmy pri metrotomografii VEGA 1/0316/18, Výskum a vývoj protetických lôžok dolných končatín vyrábaných aditívnymi technológiami APVV-19-0290, Zvyšovanie synergie metód výučby biofyziky s využitím laboratórnych zariadení a diagnostických prístrojov zameraných na meranie fyzikálnych a technických veličín KEGA 023TUKE-4/2020, Využitie digitalizačných metód pre podporu edukačného procesu v oblasti protetiky a ortotiky KEGA 040TUKE-4/2019, Návrh postupových algoritmov v aditívnych technológiách pre edukačný proces v biomedicínskom inžinierstve KEGA 041TUKE-4/2019

Použitá literatúra

- [1] PERSSON, A. - ODÉN, A. – ANDERSSON, M. – ENGLUND, G.S.: Digitization of simulated clinical dental impressions: Virtual three-dimensional analysis of exactness. Dent. Mater. 2009; 25:929–936. doi: 10.1016/j.dental.2009.01.100
- [2] PUNJ, A. – BOMPOLAKI, D. – GARAICOA, J.: Dental Impression Materials and Techniques. Dent. Clin. N. Am. 2017; 61:779–796. doi: 10.1016/j.cden.2017.06.004.
- [3] CHAN, H. L. – MISCH, K. – WANG, H. L.: Dental imaging in implant treatment planning. Implant Dent. 2010; 19: 288–298
- [4] WORTHINGTON, P. – RUBENSTEIN, J. – HATCHER, D.C.: The role of cone-beam computed tomography in the planning and placement of implants. J Am Dent Assoc 2010; 141: 19S–24S.
- [5] GREENBERG, A.M.: Digital technologies for dental implant treatment planning and guided surgery, Oral Maxillofac Surg Clin North Am, 27 (2015), pp. 319-340
- [6] KOLA, M.Z., et al.: Surgical templates for dental implant positioning; current knowledge and clinical perspectives, Niger J Surg, 21 (2015), pp. 1-5
- [7] VERCRUYSEN, M. - JACOBS R. - Van ASSCHE N. - Van STEENBERGHE D.: The use of CT scan based planning for oral rehabilitation by means of implants and its transfer to the surgical field: a critical review on accuracy. J Oral Rehab. 2008;35:454–74.
- [8] WHITLEY, D. – BENCHARIT, S.: Digital implantology with desktop 3D Printing, Formlabs White Paper (2015), pp. 1-15
- [9] FLUGGE, T.V. – NELSON, K., SCHMELZEISEN, R. – METZGER, M.C.: Three-dimensional plotting and printing of an implant drilling guide: simplifying guided implant surgery, J Oral Maxillofac Surg, 71 (2013), pp. 1340-1346
- [10] VASAK, C., et al.: Computed tomography-based evaluation of template (NobelGuideTM)-guided implant positions: a prospective radiological study. Clin Oral Implants Res. 2011;22:1157–63.
- [11] TAHMASEB, A. – WISMEIJER, D. – COUCKE, W. – DERKENSEN, W.: Computer technology applications in surgical implant dentistry: a systematic review. Int J Oral Maxillofac Implants. 2014;29:25–42.
- [12] GERSTEL, O. et al. Multi-layer capacity planning for IP-optical networks. In IEEE Communications Magazine . 2014. Vol. 52, no. 1, s. 44–51. .
- [13] GRANDI, T. et al. One abutment-one time versus a provisional abutment in immediately loaded post-extractive single implants: A 1-year follow-up of a multicentre randomised controlled trial. In European Journal of Oral Implantology . 2014. Vol. 7, no. 2, s. 141–149
- [14] Carlsson GE - Magnusson T - Egermark I.: Prediction of demand for treatment of temporomandibular disorders based on a 20-year follow-up study. J. Oral Rehabil., 2004, 31, 511 – 517. (doi:10.1111/j.1365-2842.2004.01275.x,
- [15] Seligman DA - Pullinger AG.: Dental attrition models predicting temporomandibular joint disease or masticatory muscle pain versus asymptomatic controls. J. Oral Rehabil., 2006 33, 789 – 799. (doi:10.1111/j.1365-2842.2006.01650.x)

Korešpondenčná adresa:

Mgr. Ľuboš Chromý
Technická univerzita v Košiciach
Strojnícka fakulta
Katedra biomedicínskeho inžinierstva a merania
Letná 1/9, Košice 042 00
Tel.: +421 055 602 2651
Email: lubos.chromy@tuke.sk

Vplyv metódy kalibrácie na správnosť merania lineárneho meradla

Eduard JAKUBKOVIČ, Ivana KOLÁRIKOVÁ, Tatiana KELEMENOVÁ

Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Katedra biomedicínskeho inžinierstva a merania,
Letná 9, 042 00 Košice, Slovenská republika

eduard.jakubkovic@tuke.sk, ivana.kolarikova@tuke.sk, tatiana.kelemenova@tuke.sk

Abstrakt:

Predložený príspevok nadväzuje na výsledky metrologickej kontroly Abbého dĺžkomera osadeného lineárnym meradlom. Zaoberá sa posúdením vplyvu zmeny metódy kalibrácie na veľkosť systematických chýb a ďalších základných metrologických charakteristík lineárneho meradla. Cieľom práce je opätovnou kalibráciou lineárneho meradla stanoviť krivku chýb a určiť vzťah pre výpočet systematickej chyby v celom meracom rozsahu meradla aj s pridruženou neistotou merania.

Kľúčové slová:

kalibrácia, lineárne meradlo, krivka chýb, neistota merania

ÚVOD

Lineárne meradlá pracujúce na princípe fotoelektrických enkóderov nachádzajú široké uplatnenie pri presnom meraní dĺžok naprieč všetkými odvetvami strojárstva. Využívajú sa ako jednoduché jednoosové meradlá dĺžky, ale aj ako súčasť združených meradiel či zložitejších viacosových meracích systémov. Podľa vyhotovenia a konkrétnej aplikácie majú tieto meradlá rozlíšenie rádovo v desatinách mikrometra a maximálnu chybu merania rádovo v mikrometroch.

Jednou z mnohých aplikácií lineárnych meradiel je digitalizácia starších mechanických jednoosových alebo viacosových súradnicových meracích strojov, ako sú napríklad dĺžkomery, alebo meracie mikroskopy. Presné mechanické vyhotovenie súradnicových meracích strojov v kombinácii s použitým meracím systémom a počítačovým spracovaním nameraných dát umožňujú vykonávať komplexné merania, zaťažené veľmi malou chybou [1].

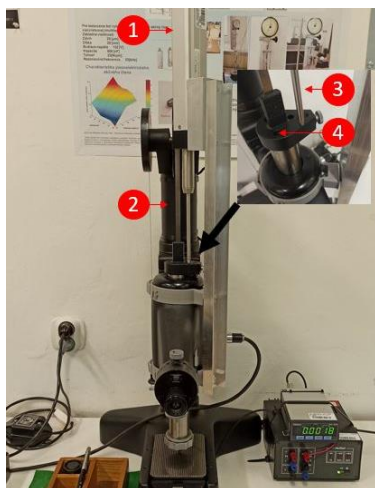
V predchádzajúcom príspevku s názvom "Modernizácia Abbého dĺžkomera aplikáciou lineárneho meradla" sme sa venovali problematike metrologickej kontroly lineárneho meradla, ktoré bolo namontované na Abbého dĺžkomer. Jedným z výstupov tejto kontroly je určenie individuálnej krivky chýb, z ktorej vyplýva vzťah pre kompenzáciu systematických chýb kontrolovaného meradla. Experimentálne zistené systematické chyby takmer vo všetkých kalibračných bodoch presahovali dovolené chyby určené výrobcom.

Z hľadiska kompenzácie systematických chýb je lepšie odstrániť príčiny, ktoré tieto systematické chyby vyvolávajú, ako uplatňovať príslušné korekcie. Vzhľadom na konštrukciu meracieho reťazca Abbého dĺžkomera a lineárneho meradla a zvoleného postupu pri kalibrácii nie je jasné, čo je zdrojom týchto systematických chýb. Cieľom tohto príspevku je zistiť, či majú prípadné chyby nastavenia meradiel vplyv na systematickú chybu.

1 SÚBEŽNÁ KALIBRÁCIA ABBÉHO DĹŽKOMERA A LINEÁRNEHO MERADLA

Systematické chyby oboch kalibrovaných meracích reťazcov prekračujú maximálne dovolené chyby udávané výrobcom takmer vo všetkých kalibračných bodoch (v prípade Abbého dĺžkomera vo všetkých). Pravdepodobným zdrojom týchto chýb sú buď chyby meradla, alebo chyby inštalácie, teda chyby vyplývajúce z nepresnosti montáže, uloženia a vzájomného nastavenia lineárneho meradla ① voči konštrukcii Abbého dĺžkomeru ②, resp. dotyku lineárneho meradla ③ voči pinole Abbého dĺžkomeru ④ (Obr. 1).

Ďalším zdrojom chýb môže byť zvolený postup kalibrácie. Kalibrácia Abbého dĺžkomera spočívala v priamom porovnávaní jeho indikácií s konvenčne pravou hodnotou meranej veličiny realizovanej rovnobežnými mierkami. Lineárne meradlo bolo kalibrované nepriamo, jeho indikácie sa s etalónom porovnávali prostredníctvom polohy pinoly.



Obr. 1 Abbého dĺžkomer s lineárnym meradlom

V prípade nepresnosti konštrukcie Abbého dĺžkomera, alebo už spomínaného nesprávneho vzájomného nastavenia meradiel by mohlo dôjsť k prenášaní chýb dĺžkomera na lineárne meradlo, čo nebolo zohľadnené v žiadnych výpočtoch. Pre určenie metrologických charakteristík lineárneho meradla so zreteľom na elimináciu potenciálnych zdrojov chýb je potrebné navrhnuť nový postup kalibrácie.

2 REKALIBRÁCIA LINEÁRNEHO MERADLA

Nový postup kalibrácie meradla zahŕňa zmenu metódy merania, s čím súvisí aj zmena v konštrukčnom zostavení meracieho reťazca. Lineárne meradlo je upevnené do stojana pre odchýlkomer ① (Obr. 2), ktorého malá odchýlka kolmosti vodiaceho stípa voči základni zabezpečuje správnu polohu meracieho dotyku lineárneho meradla voči etalónu, čím eliminuje možné chyby vznikajúce nesprávnym nastavením meradiel voči sebe. Malá odchýlka rovinnosti základne umožňuje jej hladké spojenie s etalónom.



Obr. 2 Merací reťazec pre kalibráciu lineárneho dĺžkomera

Zmena metódy merania spočíva v priamom porovnávaní indikácií lineárneho meradla s konvenčne pravou hodnotou meranej veličiny realizovanej rovnobežnými mierkami. Základné metrologické parametre členov meracieho reťazca udávané príslušným výrobcom sú uvedené v TAB. I.

TAB. I ZÁKLADNÉ METROLOGICKÉ CHARAKTERISTIKY MERACIEHO REŤAZCA

Lineárne meradlo	
Merací rozsah	100 mm
Najmenšie delenie stupnice	0,0001 mm
Najväčšia dovolená chyba merania	$\pm (2 + 0,01 \cdot L) \mu\text{m}$
Chyba interpolácie	0,0001 mm
Vyhodnocovacia jednotka	
Rozlíšenie	0,0001 mm
Základné mierky	
Trieda presnosti	2
Maximálne dovolené chyby	v certifikáte
Stojan pre odchýlkomer	
Maximálna odchýlka rovinnosti	0,00013 mm
Maximálna odchýlka kolmosti	0,4/100 mm

2.1 Model kalibrácie a postup merania

Zjednodušený model kalibrácie pre priame meranie je možné vyjadriť vzťahom [2]

$$\bar{e}_i = \bar{x}_i - (x_{E_i} + \delta_{E_i}) \quad (1)$$

kde $\bar{e}_i$ je priemerná odchýlka meradla v i -tom meracom bode [mm],

$\bar{x}_i$ je priemerná indikácia meradla [mm],

x_{E_i} je konvenčne pravá hodnota realizovaná etalónom [mm],

δ_{E_i} je systematická chyba etalónu [mm].

Kalibrácia je realizovaná v siedmych kalibračných bodoch i , reprezentovaných etalónmi, v rámci celého rozsahu stupnice.

$$i = \{0; 5; 10; 20; 25; 50; 75; 100\} \text{ [mm]} \quad (2)$$

S ohľadom na vyhodnotenie odchýlky opakovateľnosti merania a splnenia podmienok pre Shapiroov-Wilkov test normálneho rozdelenia hodnôt potrebného ako súčasť výpočtu neistoty kalibrácie, bol zvolený počet indikácií $n = 30$ pre každý kalibračný bod i .

Postup merania pre každý kalibračný bod i zahŕňa:

- nastavenie správnej polohy meracieho dotyku voči základni stojana, vynulovanie počítadla impulzov

- mechanické nadvihnutie meracieho dotyku meradla, vloženie rovnobežnej mierky, spustenie dotyku lineárneho meradla, odčítanie a zapísanie nameranej hodnoty
- opätovné nulovanie počítadla impulzov pri správnej polohe meracieho dotyku voči základni po sérii 30 meraní

2.2 Postup vyhodnotenia kalibrácie

V súvislosti s kritériom presnosti meracích zariadení je dôležité kontrolovať vierohodnosť indikácií. Presnosť merania je definovaná ako tesnosť zhody medzi výsledkom merania a skutočnou hodnotou. Pojem presnosť v sebe zahŕňa dve základné metrologické charakteristiky meradla, opakovateľnosť a správnosť merania [3].

Správnosť meradla je schopnosť meradla udávať indikácie bez systematických chýb. Výsledkom kalibrácie je kalibračná krivka, ktorá určuje závislosť konvenčne pravých hodnôt od údajov meradla. S kalibračnou krivkou úzko súvisí krivka chýb, ktorá určuje závislosť odchýlky meradla od konvenčne pravej hodnoty. Experimentálnym stanovením individuálnej krivky chýb pre konkrétne meradlo je možné určiť systematické chyby k indikáciám meradla [1][4].

Okrem určenia systematických chýb je možné z výsledkov kalibrácie, resp. kalibračnej krivky, určiť aj iné základné metrologické charakteristiky, ako rozsah merania, opakovateľnosť merania alebo odchýlku linearity meradla.

Ako odhad skutočnej hodnoty meranej veličiny, vzhľadom na model merania (1) sa berie aritmetický priemer odchýlok indikácií voči etalónu pre každý kalibračný bod i . Hodnota priemernej odchýlky pre každý kalibračný bod nie je korigovaná o vplyv teploty na meranie.

$$\bar{e}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{ij} - (x_{E_i} + \delta_{E_i}) \quad (3)$$

kde x_{ij} je j -tá indikácia meradla v i -tom kalibračnom bode [mm].

Opakovateľnosť merania vyjadrená výberovými smerodajnými odchýlkami určuje tesnosť zhody medzi výsledkami radu meraní tej istej meranej veličiny uskutočnených za rovnakých podmienok [1]. Je jednou zo zložiek neistoty merania.

$$s_{x_i} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^2} \quad (4)$$

kde s_{x_i} je smerodajná odchýlka radu meraní i -tého meracieho bodu.

Odchýlka linearity je definovaná ako maximálna odchýlka λ_{max} reálnej prevodovej funkcie od priamky, ktorou aproximujeme prevodnú funkciu lineárneho meradla [1]. Reálna prevodová funkcia snímača je daná závislosťou priemernej korigovanej indikácie výstupného zariadenia na konvenčne pravých hodnotách meranej veličiny realizovanej blokmi mierok v každom meracom bode.

2.3 Postup vyhodnotenia rozšírenej neistoty kalibrácie

Pre výpočet celkovej neistoty kalibrácie je najprv potrebné určiť zdroje neistôt. Vo výpočte neistôt uvažujeme tieto zdroje:

- smerodajná odchýlka, resp. rozptyl nameraných hodnôt,
- chyba interpolácie lineárneho meradla udávaná výrobcom v katalógovom liste k meradlu,
- rozlíšiteľnosť poslednej číslice počítadla impulzov uvedená výrobcom v katalógovom liste,
- nedokonalosť rozmerov etalónu udávaná výrobcom ako maximálna dovolená odchýlka.

Potenciálne zdroje neistôt nezohľadnené vo výpočte:

- účinky podmienok prostredia (teplota),
- prírastkové chyby spôsobené odchýlkou od referenčných podmienok,
- nevylúčená systematická chyba etalónu,
- nedokonalosť realizácie meracieho reťazca
 - vplyv odchýlky kolmosti stojana,
 - vplyv odchýlky rovinnosti stojana,
- nedokonalosť meracej metódy
 - vplyv deformácie mierky spôsobenej rozdielnou silou dopadu meracieho dotyku.

Meranie je ovplyvnené veľkým množstvom rozličných faktorov, medzi ktorými existujú komplexné, často nepoznané vzťahy. Vyčíslenie odhadov niektorých zdrojov neistôt je časovo náročné, v niektorých prípadoch takmer nemožné a z hľadiska vplyvu na celkovú neistotu merania zanedbateľné [5].

Pri výpočte neistôt vychádzame zo zákona šírenia neistôt. Predpokladáme, že všetky vyhodnocované zdroje neistôt sú nezávislé a vo výpočte neuvažujeme s kovarianciami. Základnou kvantitatívnu charakteristikou neistoty je štandardná neistota u , čo je vlastne smerodajná odchýlka príslušného rozdelenia pravdepodobnosti. Štandardné neistoty vyhodnocované metódou A získame štatistickými metódami z nameraných údajov [1][6].

Vychádzajú zo smerodajnej odchýlky radu meraní (4) pre každý kalibračný bod

$$u_{A_i} = \frac{s_{x_i}}{\sqrt{n}} \quad (5)$$

Pre štandardnú neistotu typu B so zreteľom na zdroje neistôt platí

$$u_{B_i} = \sqrt{u_{B_{Ei}}^2 + u_{B_{Lmi}}^2 + u_{B_{Pfi}}^2} \quad (6)$$

kde $u_{B_{Ei}}$ je štandardná neistota etalónu [mm],

$u_{B_{Lmi}}$ je štandardná neistota lineárneho meradla [mm],

$u_{B_{Pfi}}$ je štandardná neistota počítadla impulzov [mm].

Výpočet týchto neistôt vychádza z údajov technickej dokumentácie k meradlám a teórie pravdepodobnosti. Zlúčením štandardných neistôt získaných metódou A a metódou B získame celkovú štandardnú neistotu merania

$$u_{C_i} = \sqrt{u_{A_i}^2 + u_{B_i}^2} \quad (7)$$

Rozšírenú neistotu kalibrácie, ktorá pokrýva interval skutočnej hodnoty meranej veličiny s väčšou pravdepodobnosťou ako štandardná neistota určíme podľa vzťahu [1][6]

$$U_i = k_i \cdot u_{C_i} \quad (8)$$

kde k_i je koeficient pokrytia pre známe rozdelenie pravdepodobnosti i -tého kalibračného bodu.

Koeficient pokrytia k_i je pre súbor nameraných hodnôt neznámy. Pre učenie koeficientov pokrytia pre každý kalibračný bod je potrebné urobiť test rozdelenia pravdepodobnosti.

2.4 Shapiroov-Wilkov test

Ak je náhodný výber malého rozsahu $7 \leq n \leq 30$, na vyšetrenie normálneho rozdelenia je vhodné použiť Shapiroov-Wilkov test normality. Na vopred zvolenej hladine významnosti α testujeme nulovú hypotézu $H_0: F(x) = F_0(x)$ proti alternatívnej hypotéze $H_0: F(x) \neq F_0(x)$. Nulová a alternatívna hypotéza boli formulované takto:

- H_0 : Náhodný výber pochádza zo súboru s normálnym rozdelením,
- H_1 : Náhodný výber nepochádza zo súboru s normálnym rozdelením.

Testovacie kritérium je vyjadrené vzťahom

$$w = \frac{(\sum_{i=1}^m a_i(n)(x_{(n-i+1)} - x_{(i)}))^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (9)$$

kde $x_{(i)}$ je i -tá hodnota v postupnosti nameraných hodnôt vzostupne,

$m = n/2$ pre n párne,

$m = (n-1)/2$ pre n nepárne,

$\alpha_i(n)$ sú koeficienty z tabuľky Shapiroov-Wilkovho testu.

Vypočítanú hodnotu testovacej štatistiky w porovnáme s tabuľkovou hodnotou kvantilu W_α pre dané n a hladinu významnosti α . Hypotézu, že základný súbor má normálne rozdelené hodnoty zamietame v prípade, že $w \leq W_\alpha$ [7]. V takomto prípade pre súbor nameraných dát použijeme aproximáciu rovnomerným rozdelením pravdepodobnosti.

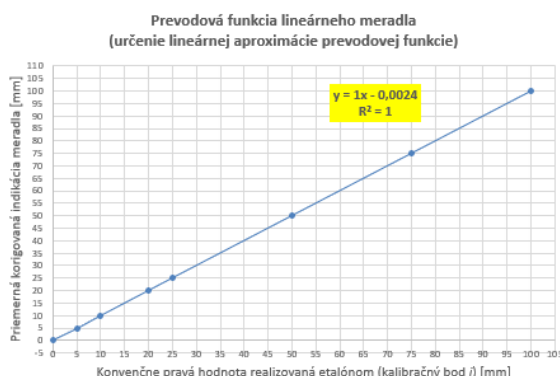
3 VYHODNOTENIE MERANIA

3.1 Určenie statických charakteristík lineárneho meradla

Kalibračná krivka (Obr. 3) určuje závislosť konvenčne pravých hodnôt realizovaných etalónom od údajov lineárneho meradla. Závislosť údajov lineárneho meradla na konvenčne pravých hodnotách vyjadruje prevodová funkcia lineárneho meradla (Obr. 4).



Obr. 3 Kalibračná krivka lineárneho meradla

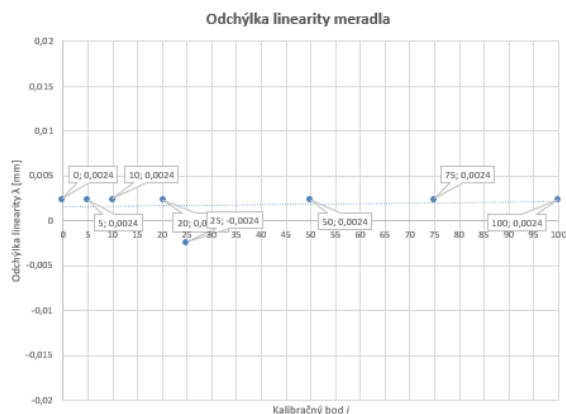


Obr. 4 Prevodová funkcia lineárneho meradla

Lineárnu aproximáciu reálnej prevodovej funkcie je možné vyjadriť vzťahom

$$y = 1x - 0,0024 \quad (10)$$

Dosadením priemerných indikácií meradla (po korekcii o systematickú chybu etalónu) za x získame súradnicu y bodov na ideálnej priamke. Tieto body potom využijeme pri vyčíslení maximálnej odchýlky linearity λ_{max} (Obr. 5).

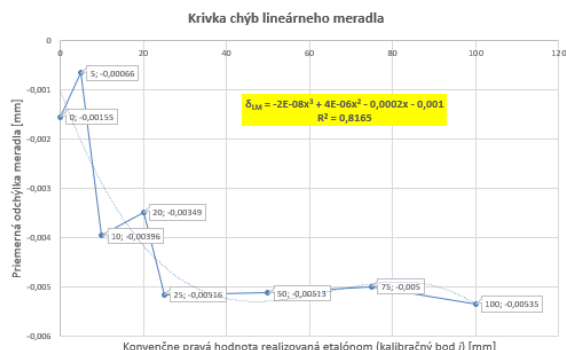


Obr. 5 Odchýlka linearity meradla

Ako vyplýva z grafu na (Obr. 5), odchýlka linearity meradla je vo všetkých kontrolovaných kalibračných bodoch konštantná a nadobúda hodnotu $\lambda_{max} = 0,0024$ mm.

Krivka chýb (Obr. 6) určuje závislosť odchýlky kalibrovaného lineárneho meradla od konvenčne pravej hodnoty. Preloženie krivky chýb polynómom tretieho stupňa sme získali vzťah pre určenie systematickej chyby meradla v ktoromkoľvek bode meracieho rozsahu

$$\delta_{LM} = (-2 \cdot 10^{-8} \cdot x^3) + (4 \cdot 10^{-6} \cdot x^2) - 0,0002 \cdot x - 0,001 \text{ [mm]} \quad (11)$$



Obr. 6 Krivka chýb lineárneho meradla

Výsledky výpočtov všetkých charakteristík potrebných pre vyčíslenie výsledku merania sú uvedené v TAB. II. Priemerné hodnoty odchýlok

a smerodajné odchýlky pre všetky kalibračné body sú vyhodnotené dosadením nameraných hodnôt do rovníc (3) a (4).

TAB. II URČENIE ZÁKLADNÝCH METROLOGICKÝCH CHARAKTERISTÍK MERADLA

Výpočet základných metrologických charakteristík			
i [mm]	e_i [mm]	s_{xi} [mm]	λ_i [mm]
0	-0,00155	0,000830	0,0024
5	-0,00066	0,000482	0,0024
10	-0,00396	0,000946	0,0024
20	-0,00349	0,001148	0,0024
25	-0,00516	0,000358	0,0024
50	-0,00513	0,001150	0,0024
75	-0,00500	0,000728	0,0024
100	-0,00535	0,001035	0,0024

Maximálna hodnota systematickej chyby δ vo všetkých kontrolovaných bodoch je -0,00535 mm pre kalibračný bod $i = 30$ mm. Smerodajná odchýlka nadobúda najväčšiu hodnotu v kalibračných bodoch $i = 20$ mm a $i = 50$ mm a jej hodnota je približne 0,00115 mm.

Porovnaním údajov z TAB. II s dovolenými odchýlkami meradla uvedenými v TAB. I možno konštatovať, že chyba meradla neprekračuje výrobcom dovolené limity len v kalibračných bodoch $i = 0$ mm a $i = 5$ mm.

3.2 Vyhodnotenie štandardnej neistoty merania

Výsledky výpočtov štandardných neistôt pre každý kalibračný bod sú uvedené v TAB. III. Štandardné neistoty sú vypočítané dosadením prislúchajúcich hodnôt do vzťahov (5), (6) a (7).

TAB. III VÝPOČET ŠTANDARDNÝCH NEISTÔT KALIBRÁCIE

Výpočet štandardných neistôt kalibrácie				
i	e_i [mm]	u_{Ai} [mm]	u_{Bi} [mm]	u_{Ci} [mm]
0	-0,00155	0,00015147	0,00008165	0,00017208
5	-0,00066	0,00008797	0,00023936	0,00025501
10	-0,00396	0,00017271	0,00031091	0,00035566
20	-0,00349	0,00020954	0,00031091	0,00037493
25	-0,00516	0,00006532	0,00040825	0,00041344
50	-0,00513	0,00021003	0,00050662	0,00054843
75	-0,00500	0,00013292	0,00060553	0,00061995
100	-0,00535	0,00018891	0,00080416	0,00082605

Vzhľadom na to, že výpočet neistôt metódou A vychádza z výpočtov smerodajnej odchýlky, najväčšiu neistotu stanovenú metódou A majú kalibračné body $i = 20$ mm a $i = 50$ mm. Príspevok k celkovej neistote stanovený metódou B sa zväčšuje s narastajúcou meranou vzdialenosťou, čo súvisí s maximálnymi dovolenými odchýlkami použitých mierok. Pre výpočet rozšírenej neistoty merania

podľa vzťahu (8) je potrebné určiť koeficient rozdelenia pravdepodobnosti pre všetky meracie body.

3.3 Vyhodnotenie Shapiroov-Wilkovho testu

Dosadením koeficientov z tabuľky Shapiroov-Wilkovho testu [7] do vzťahu (9) je možné rozhodnúť o normalite rozdelenia pravdepodobnosti pre všetky meracie body. Výsledky sú uvedené v TAB. IV.

TAB. IV VÝSLEDKY SHAPIROOV-WILKOVHO TESTU

i [mm]	hladina významnosti $\alpha = 0,05$
0	hypotéza H_0 zamietnutá
5	hypotéza H_0 akceptovaná
10	hypotéza H_0 zamietnutá
20	hypotéza H_0 zamietnutá
25	hypotéza H_0 akceptovaná
50	hypotéza H_0 zamietnutá
75	hypotéza H_0 zamietnutá
100	hypotéza H_0 zamietnutá

Pre všetky meracie body, kde bola hypotéza H_0 akceptovaná je rozdelenie pravdepodobnosti normálne, s koeficientom pokrytia $k = 3$. Pre meracie body, kde bola hypotéza H_0 zamietnutá, nevieme určiť zákon rozdelenia pravdepodobnosti a tak predpokladáme rovnomerné rozdelenie s koeficientom pokrytia $k = \sqrt{3}$.

3.4 Vyhodnotenie výsledku merania a rozšírenej neistoty kalibrácie

Vypočítané hodnoty rozšírenej neistoty kalibrácie podľa vzťahu (9) sú pre všetky kalibračné body uvedené v TAB. V.

TAB. V VÝPOČET ROZŠÍRENEJ NEISTOTY KALIBRÁCIE

Výpočet rozšírenej neistoty kalibrácie				
i [mm]	e_i [mm]	u_{Gi} [mm]	k	$\pm U_i$ [mm]
0	-0,00155	0,00017208	$\sqrt{3}$	0,00030
5	-0,00066	0,00025501	3	0,00077
10	-0,00396	0,00035566	$\sqrt{3}$	0,00062
20	-0,00349	0,00037493	$\sqrt{3}$	0,00065
25	-0,00516	0,00041344	3	0,00130
50	-0,00513	0,00054843	$\sqrt{3}$	0,00095
75	-0,00500	0,00061995	$\sqrt{3}$	0,00110
100	-0,00535	0,00082605	$\sqrt{3}$	0,00150

Najväčšia hodnota rozšírenej neistoty merania v rámci kontrolovaných bodov, po zaokrúhlení na dve platné číslice podľa pravidiel zaokrúhľovania výsledkov merania, prislúcha kalibračnému bodu $i = 100$ mm. Hodnotu $U_{100} = 0,00150$ mm budeme uvažovať ako rozšírenú neistotu merania U pre všetky kalibračné body.

Výsledok kalibrácie je možné vyjadriť vzťahom

$$X_{Vi} = \bar{e}_i \pm U \quad (11)$$

V TAB. VI sú uvedené výsledky merania pre všetky kontrolované body. Hodnoty priemerných odchýlok sú zaokrúhlené podľa pravidiel zaokrúhľovania pri vyčíslňovaní výsledku merania.

TAB. VI URČENIE VÝSLEDKU KALIBRÁCIE

Určenie výsledku kalibrácie		
i [mm]	e_i [mm]	$\pm U$ [mm]
0	-0,0016	0,0015
5	-0,0007	
10	-0,0040	
20	-0,0035	
25	-0,0052	
50	-0,0051	
75	-0,0050	
100	-0,0054	

3.5 Porovnanie výsledkov merania s poslednou kalibráciou lineárneho meradla

V porovnaní s predošlou kalibráciou sa zmenila metóda (postup) merania, sada etalónov a rovnako aj podmienky merania. V TAB. VII sú uvedené priemerné hodnoty odchýlok a neistôt stanovených metódou A pre každý kalibračný bod aktuálnej a poslednej (súbežnej) kalibrácie.

TAB. VII POROVNANIE VÝSLEDKOV KALIBRÁCIE

LINEÁRNEHO MERADLA PRI ZMENE METÓDY MERANIA

Porovnanie výsledkov kalibrácie				
i [mm]	Aktuálna kalibrácia		Súbežná kalibrácia	
	e_i [mm]	u_{Ai} [mm]	e_i [mm]	u_{Ai} [mm]
0	-0,00155	0,00015147	0,00028	0,000215578
5	-0,00066	0,00008797	0,006017	0,000205315
10	-0,00396	0,00017271	0,00469	0,00196516
20	-0,00349	0,00020954	0,002817	0,000169331
25	-0,00516	0,00006532	0,00152	0,000338789
50	-0,00513	0,00021003	0,00161	0,000213706
75	-0,00500	0,00013292	0,016147	0,029953386
100	-0,00535	0,00018891	-0,00081	0,0021901

Záver

Výsledkom kalibrácie lineárneho meradla je experimentálne stanovená krivka chýb s pridruženou neistotou merania. Táto krivka slúži na korekciu systematických chýb pri meraní.

Z výsledkov kalibrácie vyplýva, že systematické chyby takmer vo všetkých kontrolovaných bodoch naprieč meracím rozsahom meradla prekračujú dovolené chyby udávané výrobcom. Najväčšia experimentálne zistená systematická chyba je po zaokrúhlení rovná 0,0052 mm, pričom dovolené chyby v rámci meracieho rozsahu by nemali

prekročiť hranicu 0,0025 mm. Najväčšia hodnota smerodajnej odchýlky tesne prekračuje hranicu 0,0002 mm.

V porovnaní s predošlou kalibráciou lineárneho meradla (spolu s Abbého dĺžkomerom) došlo až na niekoľko výnimiek k výraznému zlepšeniu presnosti merania, ako z pohľadu opakovateľnosti merania, tak aj z pohľadu správnosti merania.

Z týchto výsledkov vyplýva, že chyby vo vzájomnom nastavení meradiel pri združenej kalibrácii mali vplyv na zistené systematické chyby a smerodajné odchýlky. Pre zlepšenie presnosti merania lineárneho meradla v rámci modernizácie Abbého dĺžkomera je tak potrebné klásť väčší dôraz na vzájomné nastavenie meradiel.

Pod'akovanie

Tento príspevok vznikol za podpory projektov Výskum a vývoj kompozitných a biodegradovateľných materiálov pomocou inteligentných aditívnych technológií a ich testovanie v zmysle medzinárodných noriem pre personalizovanú medicínu a tkanivové inžinierstvo 1233/2018, Výskum nových metód merania kondície strojov APVV-15-0149, Výskum a vývoj testovacích a meracích metód v súradnicovej metrológii VEGA 1/0224/18 a Modernizácia laboratórií na meranie vybraných tepelnotechnických a technických veličín KEGA 006STU-4/2018.

Literatúra

- [1] Meranie technických veličín: Vladimír Chudý...[et al.]. - Bratislava : STU, 1999. - 688 s.-ISBN 80-2271275-2
- [2] SNAS : Metodická smernica na akreditáciu, MSA-L/12, Vyjadrovanie neistôt merania pri kalibrácii. Bratislava, 2014
- [3] Dovica, Miroslav; Živčák, Jozef; Kelemenová, Tatiana: Geometrické špecifikácie výrobkov. Košice : TUKE, SJF, 2015, ISBN: 978-80-553-2245-2
- [4] Kelemenová, Tatiana; Dovica, Miroslav: Kalibrácia meradiel. Košice : TUKE, SJF, 2016, ISBN: 978-80-553-3069-3
- [5] Measurement of Maximum Deviation from Roundness Based on the Inverse Kinematics Principle / Tomáš Stejskal ... [et al.] - 2019. In: Measurement Science Review : Journal of Institute of Measurement Science of Slovak Academy of Sciences. - Bratislava (Slovensko) : Ústav merania Roč. 19, č. 6 (2019), s. 271-278 [online]. - ISSN 1335-8871 (online)
- [6] Knežo, Dušan ; Andrejiová, Miriam ; Ižaríková, Gabriela: Základné štatistické metódy. Košice : TUKE, SJF, 2012, ISBN: 978-80-553-0841-8
- [7] Jurečková, Mária ; Molnárová, Iveta : Štatistika s Excelom. Liptovský Mikuláš: Akadémia ozbrojených síl gen. M.R. Štefánika, 2005, ISBN: 80-8040-257-4

Korešpondenčná adresa:

Ing. Eduard Jakubkovič
Technická univerzita v Košiciach
Strojnícka fakulta
Katedra biomedicínskeho inžinierstva a merania
Letná 9, 042 00, Košice, Slovenská republika
Tel.: +421 55 602 2745
Email: eduard.jakubkovic@tuke.sk

NUMERICAL ANALYSIS AND DESIGN OF A PLANETARY GEARBOX THIRD STAGE CARRIER

Sára JANIGOVÁ, Barbara SCHÜRGER

Technical University in Košice, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Applied Mechanics and Mechanical Engineering, Slovakia

sara.janigova@tuke.sk, barbara.schurger@tuke.sk

Abstract:

This paper focuses on the design and numerical analysis of the third stage carrier of a planetary gearbox. The aim is to model the assembly of the mounted carrier and by using a proper numerical analysis method to evaluate its load and modal parameters. In the next step, the model is replaced by new designs of the carrier as a single piece component and the fatigue life and static analysis is performed to determine their suitability for use in the given gearbox. For each analysis, total deformation, von Mises stress and the fatigue life is evaluated. The best design is then chosen based on the results and new operating conditions are proposed to ensure its trouble-free operation. The finite element method analysis is performed in ANSYS.

Key words:

Planetary gearbox, planetary carrier, numerical analysis, finite element method.

INTRODUCTION

Finite element method (FEM) analysis is a computer analytical tool for simulation and analysis of products and systems, especially in the field of mechanical engineering. It has become an integral part of the production process, as it can replace physical tests and more effectively predict the behavior of the material based on the given input parameters. One of the possible applications of FEM is the analysis of gearboxes – its design improvement, fatigue life increase, damage prediction etc [1].

The main task of the gearbox is to transfer the rotary motion and mechanical energy from the drive shaft to the driven shaft. Planetary gears have numerous advantages over parallel gears in terms of their power density, low sensitivity to tolerances, relatively low weight, kinematic flexibility, compact structure and self-centering ability [2].

Planetary gear systems are able to produce high torque because the load is distributed between several planet gears what makes them more resistant to damage. They are widely used in aerospace and automotive industry and are usually applied in the final stages of major transmissions [3].

The aim of this paper is to perform the static and modal analysis of a mounted carrier

of a planetary gearbox, which is used as a drive of crusher machines. The carrier assembly is modeled with the prescribed acting forces, the contacts between the individual parts of the assembly, as well as the boundary conditions. After evaluating the results of the static analysis, it will be possible to determine whether the carrier is able to transfer the prescribed load without failure. The analysis is performed in ANSYS.

In the next step, new designs of carrier as a single part component are modeled and submitted to static analysis. Based on the obtained data, the most suitable variant is recommended as an adequate replacement for the mounted carrier. Subsequently, a fatigue life and modal analysis is performed on the selected model, which results enable to define the basic operating conditions.

1 PLANETARY GEARBOXES

Planetary gears are one of the most complex gear arrangements. They can be used in cases where the problem is a lack of space and it is necessary to ensure a low gear weight, but at the same time a large reduction in speed and torque is required. This requirement applies to a wide range of industries, including tractors, construction equipment, turbine engines, automatic transmissions and even electric screwdrivers [3].

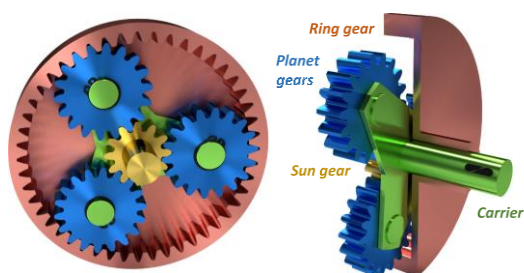


Figure 3. Planetary gear parts

These systems basically consist of 4 main parts (Fig. 1) [3]:

- **Sun gear:** placed in the center, larger and rotates about the center axis,
- **Carrier:** holding the satellites, in engagement with the sun gear,
- **Planet gears:** perform a double motion - rotation around its own axis and entraining movement by means of a carrier that rotates around its axis,
- **Ring gear:** with internal gearing.

With a planetary gear, it is possible to achieve different gear ratios depending on which of the members is fixed. By fixing one of the coaxial elements and using the remaining two for input and output, we get three types of planetary gears [3]:

- **Fixed sun gear:** the planetary gearbox is driven by a ring gear and the carrier serves as an output from the gearbox,
- **Fixed ring gear:** the highest gear ratio is achieved, the gearbox is driven by the sun gear and the output then passes through the carrier,
- **Fixed carrier:** the second highest gear ratio is achieved, the planetary gearbox is driven by a sun gear, but the output passes through a ring gear. By reversing the input and output, the gear ratio has a negative sign and in this way, reversing can be generated.

TABLE I.
PLANETARY GEAR RATIOS BASED ON FIXED MEMBER [4].

Input	Output	Fixed part	Calculation	Gear ratio
Sun gear	Carrier	Ring gear (R)	$1 + K/C$	$3.4 : 1$
Carrier	Ring gear	Sun gear (S)	$1 / (1 + C/K)$	$0.71 : 1$
Sun gear	Ring gear	Carrier (C)	$-K/C$	$-2.4 : 1$

1.1 Mathematical formulations of planetary gears

Following conditions must be met when designing a planetary gear to avoid all kinds of interference between ring and planet gears. An interference can be caused by insufficient number of teeth for planet gears or insufficient difference in number of teeth between ring and planet gears. This can result in unworkable conditions when the teeth of particular gears cut into each other [5].

$$\frac{z_1 + z_2}{x} = \text{integer number}, (1)$$

$$z_2 = (z_1 + 2) \cdot z_3, (2)$$

where z_1 is the number of teeth of the sun gear, z_2 is the number of teeth of the ring gear, z_3 is the number of teeth of the planet gear and x represents the number of planet gears [5].

To prevent the tip interference among planetary gears, this condition must be fulfilled:

$$m(z_B + 2) < (z_A + z_B) \cdot \sin \frac{\Pi}{x}. (3)$$

The basic parameters of these transmissions can be determined according to the relationships

TABLE II.
BASIC PARAMETERS OF PLANETARY GEARBOXES [5].

Power	$P = M_k \cdot \omega = F \cdot v$
Torque	$M_k = F \cdot D / 2$
Tangential force	$F_t = 2M_k / D$
Radial Force	$F_r = F_t \cdot \tan(\alpha)$

given in Tab.II, where ω is the angular velocity, v is the radial speed, D is the diameter of the drive wheel.

2 PROBLEM DEFINITION

A complete analysis of the dynamic load of planetary gears is demanding even under ideal geometric conditions, due to the occurrence of singularities at the points of contact of the teeth of the sun gear with planet gears and between the teeth of planet gears and the ring gear, leading to very different values of contact stress [20].

The assembly of the carrier is a part of the planetary gearbox manufactured by ZTS company. It is used as a drive of the crusher machine with the axial distance of the crushing rollers $a = 650$ mm. The gearbox is driven by 4 hydraulic motors, while each front-planet tower has 2 hydraulic motors.

At the output is a front gearbox with a 1:1 transmission ratio, which distributes the torque from the planet gearbox equally to two output shafts connected to the crushing rollers of the crusher machine. The crushing rollers are mounted in only one bearing and are connected to the gearbox via a radial play clutch, which, in conjunction with the play in the bearings, causes an additional load on the gearbox output bearing.

The paper is focused on the static analysis of the third stage mounted carrier in an arrangement where the fixed member is the ring gear, the input is on the sun gear and the output then passes through the carrier (Fig. 2).

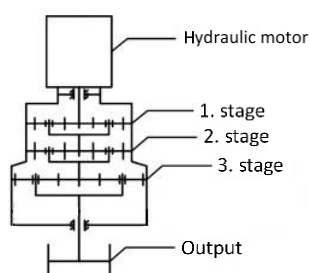


Figure 2. Planetary gear parts

In the planetary gearbox, the torque is transmitted from the sun gear via planet gears through the carrier to the main rotor shaft [6].

3 FINITE ELEMENT MODELLING

The carrier and its parts are made of low-alloy stainless chrome-molybdenum steel grade 42CrMo4+QT. It is characterized by a higher hardenability for stressed machine parts and components of road vehicles such as shafts and couplings. It is characterized by resistance to abrasive wear and medium shock of dynamic forces. Its material properties are given in Tab. III.

TABLE III.
MATERIAL PROPERTIES OF 42CRMO4+QT STEEL.

Young's modulus of elasticity	2.1×10^5 MPa
Poisson's ratio	0.33
Yield strength R_e	640 MPa
Ultimate tensile strength R_m	900 – 1000 MPa
Density	7850 kg/m ³

After applying the appropriate adjustments and simplifying its geometry, the resulting model of the mounted planetary carrier that has been analyzed is shown in Fig. 3.

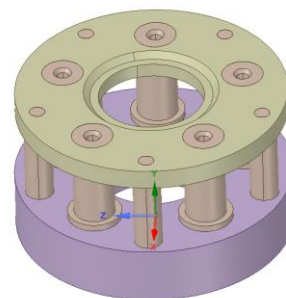


Figure 3. Modification of the mounted planetary carrier geometry for static analysis

In the first step, the individual types of contacts were defined. We analyzed the supporting parts and components of the drive devices, such as the planet carrier, screws, spacers and pins, simultaneously within the model, thanks to the correct definition of the connections of these components.

Due to the complexity of the model, we used the automatic method of the MultiZone type for its meshing. In the finite element model, we applied a finer mesh to the pins and other active load-bearing components using the mesh size definition function on the body surface to achieve the most accurate results. This unevenly distributed finite element mesh is shown in Fig. 4.

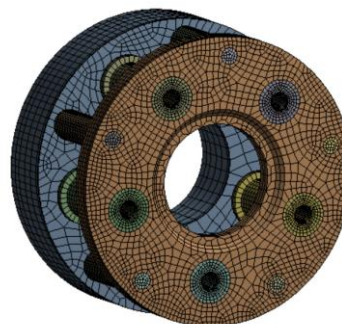


Figure 4. Assembly model with finite element mesh

We applied the prescribed load by a circumferential force of magnitude $F = 38\,4615.38$ N, which is perpendicular to each pin. This is the force transmitted from the sun gear via planet gears and pins to the carrier assembly.

3.1 Numerical analysis of the mounted carrier assembly

After defining all available parameters of the carrier assembly, we subjected this assembly to a static analysis modal and fatigue analysis to predict its service life at given load values.

In the first step, we analyzed the maximum deformations and stresses. The largest deformations occur at the outer edge of the carrier plate, where they reach a value of 0.73 mm. Compared to that, the deformations on the main body of the carrier are much smaller as it is significantly stiffer. At the same time, the parts of the screw joints and the pins are more deformed at the point of contact with the carrier plate, the deformation of the screw joint being approximately 20% greater (Fig. 5).

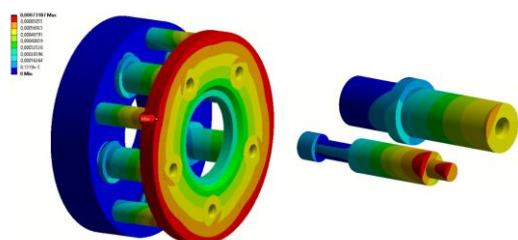


Figure 5. Total deformation of the mounted carrier assembly

The stress concentration occurs at the edge of the pin hole on the main body of the carrier (Fig. 6). This is the area where in practice the most common zone of wear and subsequent failure occurs. However, the stress concentration is lower at the hole in the carrier plate, mainly because the part on the opposite side of the pin is pressed into the main body of the carrier with a larger interference, and thus carries most of the transmitted load. The value of the maximum von Mises stress at the edge of the hole in the main body of the carrier is almost 4% higher than the prescribed value of the yield stress for the given material, so the probability of failure due to fatigue processes is the highest at this point.

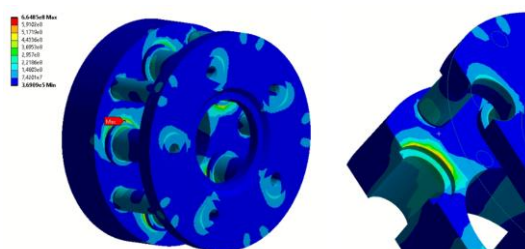


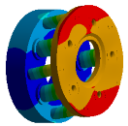
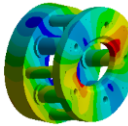
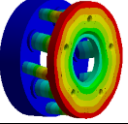
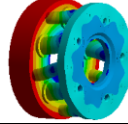
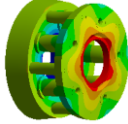
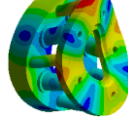
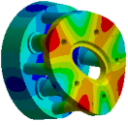
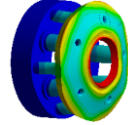
Figure 6. Von Mises stress distribution on the mounted carrier assembly

The analyzed carrier is designed for crusher machines designed for 8 hours of continuous trouble-free daily operation. However, deviations of the gearbox load from this state are also given, ranging from a minimum operating time of 8 hours per day at one start-up per hour to a maximum operating time of 24 hours per day at a number of starts of 2-40 per hour.

Based on a fatigue life analysis, the mounted carrier is only suitable for basic continuous eight-hour operation. Repeated switching on and off of the machine would lead to premature failure of the device due to the action of high stresses (formation of areas of plastic deformation, cracks, etc.).

In the last step, the modal analysis of the mounted carrier assembly is performed. Through FEM simulation, the natural frequencies, natural shapes of oscillations and deformations of the mounted carrier are obtained to evaluate whether resonance occurs in the system in conjunction with the operating frequencies. At the same time, the places where the assembly tends to deform are revealed, which are subsequently used as one of the initial findings in the design of the carrier as a single part component. The results of the modal analysis for the first eight natural shapes are summarized in Tab. IV.

TABLE IV.
MODAL PARAMETERS OF THE MOUNTED CARRIER ASSEMBLY.

	ω (Hz)	Natural shapes		ω (Hz)	Natural shapes
1.	902.16		5.	2262.1	
2.	1091.2		6.	2737.5	
3.	2091.3		7.	2875.2	
4.	2117.5		8.	3257.3	

The data obtained show that the assembly of the mounted carrier is sufficiently rigid and is characterized by high natural frequencies. If we take into account that the angular velocity at the input is 70 Hz and that at the output only 1.5 Hz, it is safe to say that resonance will not occur in the analyzed assembly.

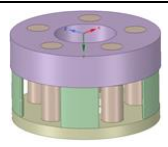
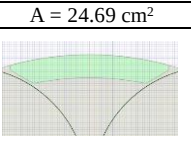
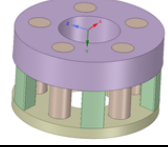
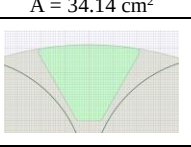
Based on a graphical representation of the natural shapes, it can be assumed that the carrier plate, in particular its outer or inner edge, is prone to the greatest deformation, because it has the lowest stiffness.

3.2 Designs of the carrier assembly as a single part component

When designing the model of the carrier assembly as a single part component, several aspects based on the available general information and the results of analyzes of the given mounted carrier are considered. The aim is to create a carrier with better strength properties, a longer fatigue life and a wider range of operating conditions. At the same time, however, there must be no significant increase in the weight of the carrier assembly, which would lead to an increase in production costs. The material of the product remained unchanged.

Two new models are created with the change in a shape of supports as replacements for screw connections. Their cross-sectional area, 3D shape and the resulting assembly are shown in Tab.V.

TABLE V.
TWO NEW DESIGNS OF CARRIER SUPPORTS.

1.	A = 24.69 cm ²		
			
2.	A = 34.14 cm ²		
			

The area in the place of the former screw joint is used as a reference value for the design of the size of the new supports to prevent excessive weight gain.

3.3 Numerical analysis of the carrier as a single part component

The basic parameters of the analysis have not changed compared to the original settings for the assembled assembly. The material, simplified model, types of contacts and screening methods remain unchanged. A new type of contact between the supports and the carrier plates is used to prevent the separation and displacement of these parts. The results of these analyzes are shown in Fig.7 and Fig.8.

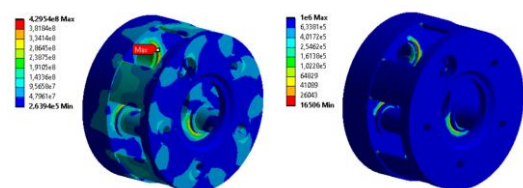


Figure 7. Von Mises stress distribution and fatigue life of model no.1

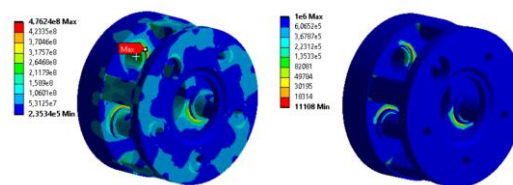


Figure 8. Von Mises stress distribution and fatigue life of model no.2

The main results for all models submitted to the static and fatigue life analysis are shown together in Tab.VI for better comparison and summarization.

TABLE VI.
COMPARISON OF THE MOUNTED MODEL AND 2 NEW DESIGNS.

	Deformation (mm)	von Mises stress (MPa)	Fatigue life (cycles)
Original model	0.73187	664.85	3200
Model 1	0.35441	429.54	16506
Model 2	0.47847	476.24	11108

In all models there is a significant improvement in all properties, the applied stresses fell below the value of the stress at the yield point, the total deformation decreased by more than 50% and the number of cycles that the assembly can withstand without failure increased more than five times.

Despite the fact that model no. 2 has the largest cross-sectional area of supports, the most significant improvement can be observed in model no. 1. It is further adjusted by reduction of the main body diameter, so that it is equal to the diameter of the carrier plate. With this reduction, a weight loss of 5% is ensured, which has a positive effect on production costs. The results of static and fatigue life analysis are shown in Fig. 9.

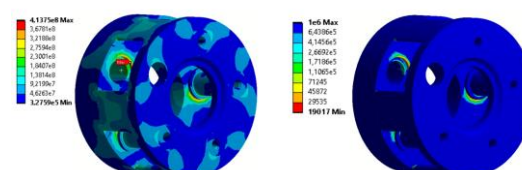


Figure 9. Von Mises stress distribution and fatigue life of the optimized model with reduced diameter

4 RESULTS AND CONCLUSION

In this paper, a static, modal and fatigue life analysis of the planetary gear carrier assembly was performed in ANSYS. The aim was to evaluate these results and, based on that, to design a model of the carrier as a single part component with the most improved strength and fatigue properties.

When evaluating the results for equivalent stresses of the mounted carrier assembly, it was found that at the point of contact of the pin with the main body of the carrier, the stress exceeded the yield strength of the material by 4%. This is an area where the formation of a zone of plastic deformation and subsequent failure can be expected. During the fatigue analysis, it was proved that the maximum number of cycles until failure is sufficient only for eight hours of continuous operation of the crusher machine, and thus the repeated switching on and off of the machine would lead to premature failure due to fatigue processes. The results of the modal analysis were favorable, as it was found that the assembly is sufficiently rigid and has high natural frequencies. As the operating frequencies are significantly lower, it is safe to say that no resonance will occur in the device.

The new designs were created based on the previous results and subjected to all types of analyzes. Model no. 1 proved to be the most effective one in all directions. There was a significant reduction in the maximum equivalent stress, which resulted in an increase in the number of cycles to failure. In general, the goal in the design of a planetary gearbox is also to minimize its weight. Therefore, the model no. 1 was modified by reduction of its main body diameter what ensured a weight reduction of 5%.

The last version of the carrier assembly as a single part component is the most optimal solution for the application in the given gearbox. The maximum values of deformation decreased by more than 55%, the maximum reduced stresses decreased by almost 38%, while the most important fact is that their value in critical places fell below the value of the yield strength of the material. Fatigue life has increased almost six times compared to the original model and based on this calculation, new operating conditions for the optimized carrier were proposed, including a wider range of applications for the use of the crushers in practice.

The overall summary of the results from the mounted carrier to its most optimal shape as a single part component is shown in Tab.VII.

TABLE VII.
COMPARISON OF MOUNTED MODEL, MODEL NO. 1 AND MODEL WITH REDUCED DIAMETER

	<i>Deformation (mm)</i>	<i>von Mises stress (MPa)</i>	<i>Fatigue life (cycles)</i>
Original model	0.73187	664.85	3200
Model 1	0.35441	429.54	16506
Optimized model	0.32452	413.75	19017

Acknowledgment

This research was funded by Ministry of Education of Slovakia Foundation, grant project VEGA no. 1/0500/20.

References

- [1] TALBOT, D. a A. KAHRAMAN. A methodology to predict power losses of planetary gear sets. International Gear Conference 2014: 26th–28th August 2014, Lyon, online: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9781782421948500689>. Elsevier, s. 625-635 [access 14.12.2020]. DOI:10.1533/9781782421955.625
- [2] FAN, Lei, Shaoping WANG, Xingjian WANG, Feng HAN a Huawei LYU. Nonlinear dynamic modeling of a helicopter planetary gear train for carrier plate crack fault diagnosis. Chinese Journal of Aeronautics, online: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1000936116300292>. 2016, 29(3), 675-687 [access 14.12.2020]. DOI: 10.1016/j.cja.2016.04.008.
- [3] From stationary gear to planetary gear, online: <https://www.tec-science.com/mechanical-power-transmission/planetary-gear/epicyclic-planetary-gear/>, Sep 2018 [access 14.12.2020].
- [4] NICE, Karim. How Gears Work: Planetary Gearsets & Gear Ratios, online: <https://science.howstuffworks.com/transport/engines-equipment/gear.htm>. 16 Nov 2000 [access 14.12.2020].
- [5] SEMRAD, Karol. 07-Mechanicke prevody: Mechanizmy a časti, online: <http://web.tuke.sk/lf-kli/Semrad%20Karol/Mechanizmy%20a%20casti/07-Mechanicke%20prevody.pdf>. In: . 6 Nov 2017, s. 160-225 [access 14.12.2020].
- [6] Hd EL MORSY, Mohamed. (2011). Dynamic Analysis of Wind Turbine Gearbox Planet Gear Carrier Using Finite Elements Approach. International Journal of Current Research, online: https://www.researchgate.net/publication/280307740_Dynamic_Analysis_of_Wind_Turbine_Gearbox_Planet_Gear_Carrier_Using_Finite_Elements_Approach. 2011, 12, 220-225 [access 14.12.2020]. ISSN 0975833X.

Correspondence address:

Ing. Sára Janigová
Technical University in Košice
Faculty of Mechanical Engineering
Department of Applied Mechanics and Mechanical Engineering
Letná 9, 042 00 Košice, Slovakia
Tel.: +421944986457
Email: sara.janigova@tuke.sk

CORROSION RESISTANCE OF IRON AND ZINC PHOSPHATE COATING ON STEEL

Erik JANOŠKO, Anna GUZANOVÁ

Technical University of Košice, Faculty of Mechanical Engineering,
Department of Technologies, Materials and Computer Aided Production, Slovakia
erik.janosko@tuke.sk, anna.guzanova@tuke.sk

Abstract:

The paper deals with testing the corrosion resistance of ferrous and zinc phosphate deposited on deep-drawn steel DC 04 and hot-dip galvanized HSLA steel TL 1550-200 + Z using accelerated corrosion tests. Using electrochemical impedance spectroscopy and linear polarization, it was found that iron phosphate deposited on DC 04 steel impairs its corrosion resistance. On hot-dip galvanized steel TL 1550-200 + Z zinc and iron phosphate significantly increases the corrosion resistance.

Key words: surface preparation, zinc phosphate, iron phosphate, EIS, linear polarisation

INTRODUCTION

Phosphating is the process of forming a conversion layer on steel materials in order to increase the adhesion of subsequently applied coatings, or to improve the corrosion resistance of materials. During phosphating, a chemical reaction of the base material with a phosphating solution forms a layer of insoluble phosphates of zinc, iron or manganese. The basic properties of the formed layer include its thickness, which is most often given by weight per unit area [$\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$], conductivity / non-conductivity of the layer, insolubility of the layer and its corrosion resistance. The phosphating process itself consists of a series of chemical reactions, the result of which is a set of phosphate crystals, Tab. 1. During the process, part of the base material becomes part of the newly formed surface layer. For non-alloy steels and zinc layers, therefore, various types of phosphates are very often used - ferrous, zinc, manganese, calcium. [1,2]

In **iron phosphating (PH Fe)**, the deposited conversion film is very thin and consists mainly of the $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ phase and the mineral vivianite of the chemical composition $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8 \text{H}_2\text{O}$, which crystallizes in a monoclinic crystal system. The deposited film has a low weight in the range of $0.1 - 0.4 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ and provides minimal protective properties. Therefore, it is mainly used as an intermediate layer under organic coatings and as an inter-operational protection. [1]

The **zinc phosphating (PH Zn)** bath contains zinc dihydrogen phosphate and provides a thicker layer of the mineral hopeite with the chemical composition $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$, which crystallizes in

the orthorhombic crystal system. If it is formed on a steel substrate, the coating also contains a minor proportion of the mineral phosphothylite with the chemical composition $\text{Zn}_2\text{Fe}(\text{PO}_4)_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$, crystallizing in a monoclinic system. A crystalline layer with weight between $1-10 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ is formed after 3-10 minutes of exposure in a solution at $40-70^\circ\text{C}$. In practice, zinc phosphate is most often used as an intermediate layer under organic coatings, an electrical insulating layer or to facilitate wire drawing. [3,4]

TABLE 1.
PHASES IN PHOSPHATE COATINGS DEPOSITED
ON VARIOUS SUBSTRATES [1]

Metal ions in the phosphating bath	Fe-substrate	Zinc-coated steel substrate
Fe	$\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8 \text{H}_2\text{O}$	$\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$
	$\text{Fe}_3\text{H}_2(\text{PO}_4)_4 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$ hureaulite	$\text{Zn}_2\text{Fe}(\text{PO}_4)_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$
	$\text{FePO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ strengit	$\text{Fe}_3\text{H}_2(\text{PO}_4)_4 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$
Zn	$\text{Zn}_2\text{Fe}(\text{PO}_4)_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$ phosphophyllite	$\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$
	$\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$ hopeit	

1 EXPERIMENTAL SETUP**1.1 Materials**

Cold-rolled low-carbon deep-drawn steel DC 04 (hereinafter referred to as DC) with a thickness

of 0.8 mm and structural high-strength low-alloy steel TL 1550-200+Z (hereinafter referred to as TL) with a thickness of 0.8 mm were used for the experiment. Mechanical properties of materials and their chemical composition are given in Tab. 2 and 3.

TABLE 2.
MECHANICAL PROPERTIES AND SURFACE
CONDITION ON DELIVERY

	DC	TL
yield strength [MPa]	197	220
Tensile strength [MPa]	327	320
elongation [%]	39	28
weight of Zn coating [g.m ⁻²]	-	100
Surface condition	matt	Minimized spangle
Oiled [g.m ⁻²]	0.5-2.5	0.6-2.5

TABLE 3.
CHEMICAL COMPOSITION, WT. %

DC	0.04 %C, 0.25 %Mn, 0.009 %P, 0.008 %S
TL	0.1 %C, 0.5% Si, 1 %Mn, 0.08 %P, 0.03 %S, 0.015 %Al, 0.15 %Ti, 0.1 %Nb, 0.2 %Cu

1.2 Deposition of phosphate coatings

Two types of phosphates were selected to form phosphate layers, namely iron and zinc phosphate. The work procedure was carried out in accordance with the application recommendations of the manufacturer of individual phosphating baths. The process of iron phosphate coating formation is summarized in Tab. 4.

TABLE 4.
IRON PHOSPHATE PROCEDURE

iron phosphating		
operation	Coated substrate	
	DC	TL
1	degreasing, 5% Pragolod 57N, 60 °C, 8 min	
2	water rinsing and mechanical surface cleaning	
3	degreasing, 5% Pragolod 57N, 60 °C, 2 min	
4	water rinsing	
5	immersion phosphating, Pragofos 2051 A, 60 °C, 3 min	immersion phosphating, Pragofos 2051 A + Pragofos 1502, 60 °C, 3 min
6	water rinsing	
7	rinsing with demineralized water	
8	hot air drying	

The process of deposition of zinc phosphate coating is summarized in Tab. 5.

TABLE 5.
ZINC PHOSPHATE PROCEDURE

zinc phosphating		
operation	Coated substrate	
	DC	TL
1	degreasing, 5% Pragolod 57N, 60 °C, 8 min	
2	water rinsing and mechanical surface cleaning	
3	degreasing, 5% Pragolod 57N, 60 °C, 2min	
4	water rinsing	
5	Surface activation, 0,3% Pragofos 1007 A, RT, 3min, constantly stirring the bath	
6	immersion phosphating, Pragofos 1501 , 60 °C, 5 min	immersion phosphating, Pragofos 1501 + Pragofos 1502 , 60 °C, 5 min
7	water rinsing	
8	rinsing with demineralized water	
9	hot air drying	

1.3 Accelerated corrosion test

The BioLogic SP-150 was used to perform accelerated corrosion tests. The measurement was performed using a three-electrode circuit Fig. 1. The size of the measured area was 0.636 cm². The solution used was 3.5% aqueous NaCl solution. The experiment consisted of the following steps:

1. OCP (Open Circuit Potential) was measured for 1 hour.
2. EIS (Electrochemical Impedance Spectroscopy) was performed with the frequency range of 10mHz - 100kHz of sine wave with an amplitude of 10mV. 10 frequencies per decade were used.
3. LP (Linear Polarization) test was carried out with a scan rate of 0.5 mV/s in the range of -200 to 200 mV.

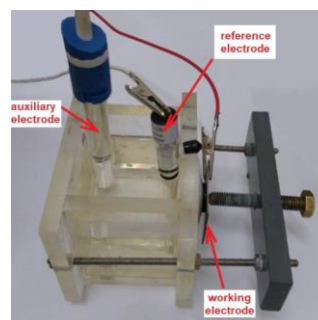


Figure 1. Three-electrode connection used for corrosion tests

For the uncoated material DC and material DC with iron phosphate, the equivalent circuit shown in Fig. 2 was used, where: R1 is the resistance of electrolyte, R2 is the polarization resistance, Q2 is the variable capacitance at the solution-material interface.

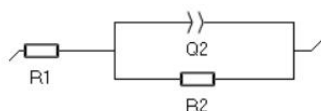


Figure 2. Equivalent circuit for simple impedance loop

For all other measurements, the equivalent circuit shown in Fig. 3 was used, where: R1 is the resistance of electrolyte, R2 is the coating resistance, Q1 is the variable capacitance at the solution-Zn coating interface, R3 is the polarization resistance, C3 is the capacitor (coating-base material interface).

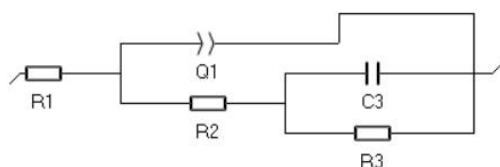


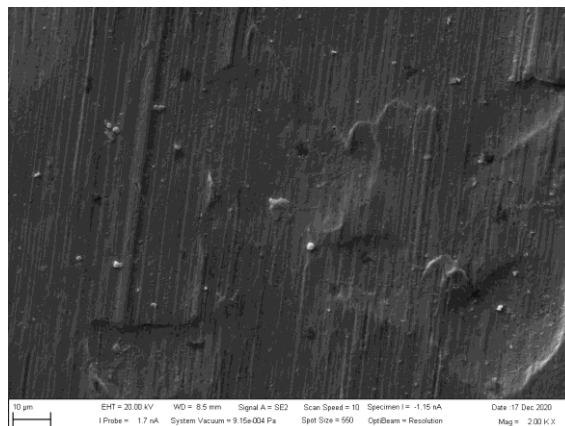
Figure 3. Equivalent circuit for two impedance loops

The output of the EIS measurement is a Nyquist plot and the output of the linear polarization is a Tafel plot. By analyzing these curves using the indicated equivalent circuits, the individual resistances are quantified, by means of which the polarization resistance of the analyzed materials and the applied coatings are determined. The polarization resistance is then inversely proportional to the corrosion rate of the materials.

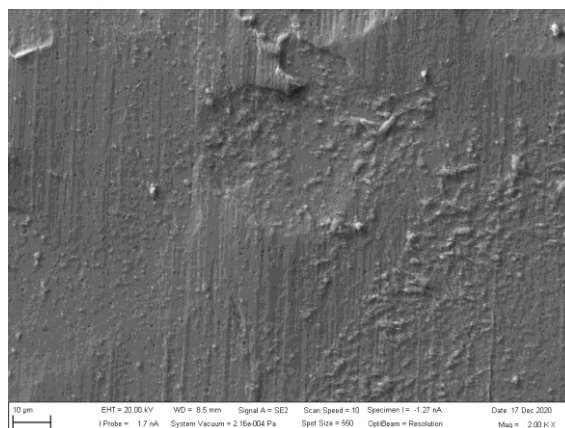
2 RESULT AND DISCUSSION

2.1 Appearance of surfaces and phosphate coatings

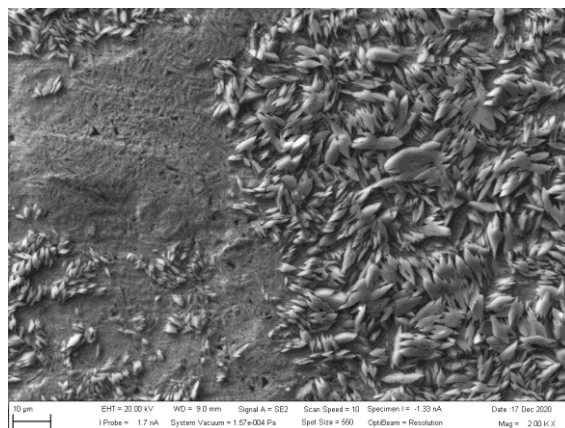
Fig. 4 shows the surface morphology of the DC material after rolling and after deposition of phosphate coatings.



a) uncoated DC material, as delivered



b) DC material coated with iron phosphate

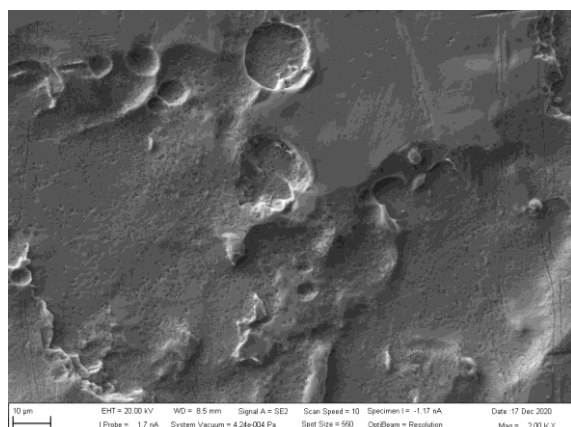


c) DC material coated with zinc phosphate

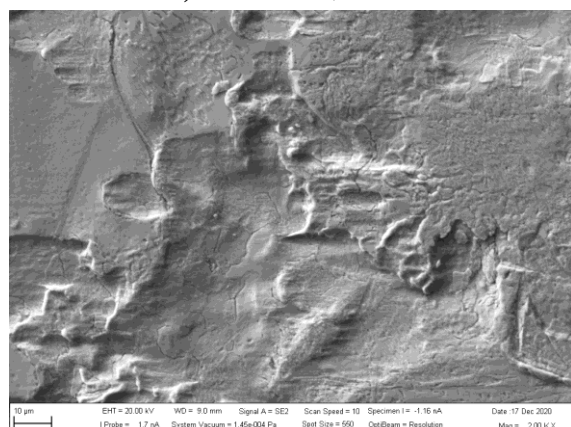
Figure 4. Appearance of material DC, SEM

Fig. 4 shows that the iron phosphate layer copies the original surface and is amorphous in nature. The zinc phosphate layer covers the original surface with a large number of randomly oriented phosphate crystals.

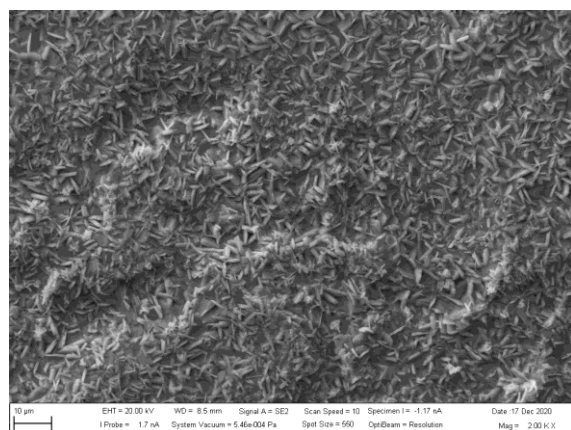
Fig. 5 shows the surface morphology of the TL material after rolling and after deposition of phosphate coatings.



a) TL material, as delivered



b) TL material coated with iron phosphate



c) TL material coated with zinc phosphate

Figure 5. Appearance of material TL, SEM

The iron phosphate coating copies the original surface, it is amorphous in nature. The zinc phosphate layer covers the original surface with a large number of randomly oriented phosphate crystals.

2.2 EIS of DC material

The measured EIS dependences for the DC material using the Nyquist diagram are shown in Fig. 6. The measured curves for uncoated DC and DC with iron phosphate coated material showed only one impedance loop (equivalent circuit in Fig. 2). Thus, the ohmic value of the iron phosphate layer was not reflected in the measurement by a separate impedance loop. The impedance loop for DC with zinc phosphate is composed of two loops, therefore the equivalent circuit in Fig. 3 was used to analyze the measured data, where the ohmic value of zinc phosphate was already reflected in the measurement.

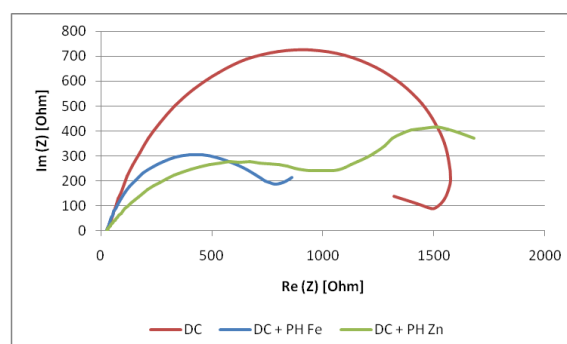


Figure 1. Nyquist plot of DC material and phosphate coatings

The measured values processed using the corresponding equivalent circuits can be found in Tab. 6.

TABLE 6.
EIS RESULTS FOR DC MATERIAL AND
PHOSPHATE COATINGS

	DC	DC + PH Fe	DC + PH Zn
R_1 [Ohm]	27.9±1	29.1±5	25.7±1
R_2 [Ohm]	1662±42	841.2±58	1199±13
Q_2 [$\mu\text{F}\cdot\text{s}^{(a-1)}$]	0.39±0.01	0.48±0.18	-
a^2	0.83±0.01	0.81±0.06	-
Q_1 [$\mu\text{F}\cdot\text{s}^{(a-1)}$]	-	-	0.18±0.01
R_3 [Ohm]	-	-	717±8
C_3 [mF]	-	-	10.22±2.3

By this measurement, it was found that the value of the polarization resistance for iron phosphate is significantly lower than that of the base material. The polarization resistance value for zinc phosphate is similar to that of the base material.

2.3 EIS of TL material

The measured EIS curves for TL using the Nyquist diagram are shown in Fig. 7. Both newly formed phosphate layers have a higher polarization resistance compared to the uncoated TL material, and thus have a positive effect on the corrosion resistance of the TL material.

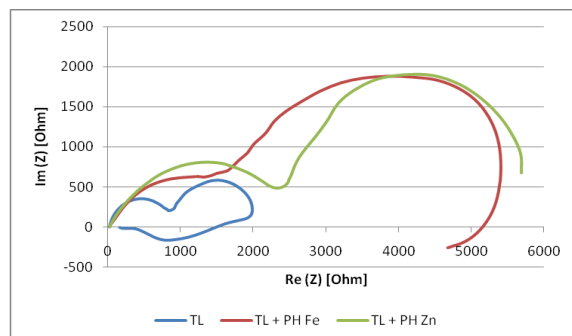


Figure 2. Nyquist plot of TL material and phosphate coatings

The measured values processed using the equivalent circuit shown in Fig. 3 can be found in Tab. 7.

TABLE 7.
EIS RESULTS FOR TL MATERIAL AND PHOSPHATE COATINGS

	TL	TL + PH Fe	TL + PH Zn
R1 [Ohm]	26.7±1	23.1±1	20±4
R2 [Ohm]	889±5	2118±269	2613±78
R3 [Ohm]	1158±58	3213±32	3741±122
Q1 [uF.s ^{1/2} (a-1)]	0.39±0.01	0.48±0.18	18.43±2.4
C3 [uF]	0.74±0.01	0.23±0.01	0.77±0.18

2.4 Linear polarization of DC material

The measured LP curves for the DC material are shown in semi-logarithmic coordinates in Fig. 8 in order to use Tafel analysis. The corrosion rate of iron phosphate is higher than that of the base material. The corrosion rate of zinc phosphate is lower and thus represents an improvement in corrosion resistance. The result of the Taffel analysis of LP is supported by EIS measurements.

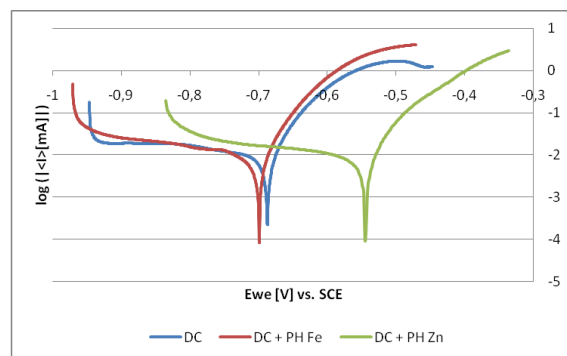


Figure 3. Linear polarization curves of DC material and phosphate coatings

The results of the Taffel analysis are shown in Tab. 8.

TABLE 8.
LP RESULTS FOR DC MATERIAL AND PHOSPHATE COATINGS

	DC	DC + PH Fe	DC + PH Zn
E _{corr} [mV]	-686±4	-702±3	-535±11
I _{corr} [uA]	13±0,1	9±0.7	10±0.5
ba [mV]	60±5	50±5	58±4
bc [mV]	1726±71	393±53	620±27
r _{corr} [mm/r]	0.023±0.002	0.033±0.001	0.019±0.001

2.5 Linear polarization of TL material

The measured LP curves for the TL material are shown in semi-logarithmic coordinates in Fig. 9. Since the tangents to the strongly linear anodic and cathodic parts of the curve never intersect, it is not possible to perform a Taffel analysis. From the mentioned courses it is possible to determine only the corrosion potential E_{corr}, which is given in Tab. 9.

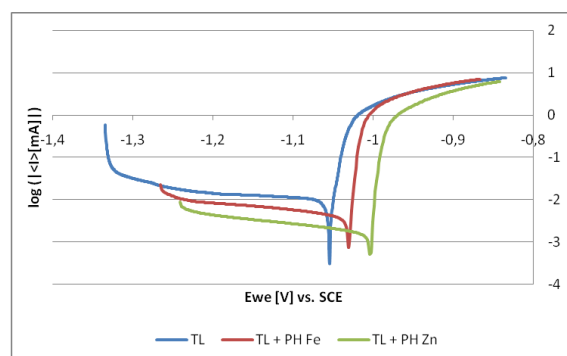


Figure 4. Linear polarization curves of TL material and phosphate coatings

Since the shape of all the curves in Fig. 9 is almost identical, the more positive E_{corr} values represent the better corrosion resistance of both phosphate layers.

TABLE 9.
CORROSION POTENTIAL TL MATERIAL AND
PHOSPHATE COATINGS

material	E_{corr} [mV]
TL	-1058 ± 5
TL + PH Fe	-1031 ± 1
TL + PH Zn	-1003 ± 1

CONCLUSION

Accelerated measurement of the corrosion resistance of ferrous and zinc phosphate revealed that:

- Iron phosphate reduces the corrosion resistance of uncoated low carbon steels, so another operation is needed - sealing the pores in the coating.
- Zinc phosphate improves the corrosion resistance of uncoated low carbon steels.
- Both ferrous and zinc phosphate have a favorable effect on the corrosion resistance of hot-dip galvanized microalloyed steel.

Acknowledgment

The contribution was created within solution of the project VEGA 1/0154/19: Research of the combined technologies of joining dissimilar materials for automotive industry.

References

- [1] Olšovský, M.: Základy povrchové úpravy kovov, MSM Martin, 2015, 41 p, ISBN 978-80-971929-9-0
- [2] Tian, Y. et. al. Accelerated formation of zinc phosphate coatings with enhanced corrosion resistance on carbon steel by introducing α -zirconium phosphate. Journal of Alloys and Compounds, volume 831 (2020)
- [3] Wang, M et. al. Corrosion resistance of black phosphorus nanosheets composite phosphate coatings on Q235 steel. Materials Chemistry and Physics, volume 250, 2020
- [4] Hwang E. H. et. al. Analysis on surface film formed on high-strength carbon steels in acidic phosphate solution and its relationship with localized corrosion in a 3.5% NaCl solution, Journal of Materials Research and Technology, volume 8, issue 1, pages 1419-1426, 2019

Correspondence address:

Ing. Erik Janoško
Technical University of Kosice,
Faculty of Mechanical Engineering,
Department of Technologies, Materials and
Computer Aided Production,
Mäsiarska 74
Email: erik.janosko@tuke.sk

DETERMINATION OF FATIGUE MATERIAL CURVE AT FULLY REVERSE CYCLE WITHOUT MEAN STRESS FOR ALUMINIUM ALLOY ENAW 5754 - H12.

Adam KALÁVSKÝ, Róbert HUŇADY, Martin HAGARA, Peter PALIČKA

Technical university of Košice, Faculty of mechanical engineering, Department of applied mechanics and mechanical engineering, Slovakia

adam.kalavsky@tuke.sk, robert.hunady@tuke.sk, martin.hagara@tuke.sk, peter.palicka@tuke.sk

Abstract:

The paper deals with the determination of the fatigue properties of the material ENAW 5754 - H12, which has a relatively large use in the mechanical engineering industry as well as in other industries. The paper provides a brief overview on fatigue experiments. In the theoretical part, the attention is focused on the compilation of SN curves on the basis of long-term known relationships for fatigue analysis. The experimental part deals with the description of the used material and the realization of the experiment. The result of the analysis is SN curves designed using the standard ČSN 42 036, which the mathematical apparatus was transferred to the computer environment using MATLAB.

Key words:

SN curve, material data, fatigue, Basquin formulation

INTRODUCTION

Fatigue life is one of the main problems in mechanical engineering. A large amount of damage to mechanical components occurs by cyclic stress. Cyclic stress can take various forms, from deterministic courses to purely random behaviour of the loading spectrum. In addition to the signal form, the fatigue process is influenced by a large number of other factors, so for a good description of material fatigue properties and a reliable estimate of lifetime, engineers must obtain the most accurate basic fatigue characteristics. Since, fatigue tests are not only financially but also time consuming, companies that have such data do not usually disclose it, and thus engineers are often forced to approximate fatigue data by empirical relationships. The lifetime estimates obtained in this way are largely purely coincidental and therefore unreliable.

Among the very common materials used in engineering production, we can include, in addition to steels, also aluminum alloys, which are widely used in the automotive, shipbuilding and aerospace industries, where they have an integral representation. Such a material is also Aluminium alloy ENAW 5754 - H12 (hereinafter AL5754), which shows not only good believability but also excellent resistance to corrosion in the atmosphere but also in seawater. For this reason, in addition to

common applications such as body parts, parts of stands in the food industry or rivets, it is also used for shipbuilding, offshore structures or components of fishing equipment. This versatile use of AL5754 makes this material very frequent in life analysis, and thus the identification of basic material properties can be very beneficial for the general engineering community. For this reason, the authors of the paper decided to publish a fatigue curve of this commonly used material and provide the readers with very valuable data that they can work with in their analyses.

1 THEORETICAL BACKGROUND

The most well-known interpretation of the SN curve can be considered Basquin's formulation [1]. In 1910, Basquin used data measured by A. Wöhler [5] (1870) and proposed a mathematical equation to represent the part of the S-N curve for the region $N < 10^6$

$$N_f \cdot S_f^m = C \quad (1)$$

where N_f represents the number of cycles to failure at the stress level S_f , C represents a constant and m is an exponent of fatigue strength.

1.1 Definitions of SN curves according to the standard ČSN 42 0368

Standard ČSN 42 0368 [4], which defines the statistical evaluation of the results of metal fatigue tests, presents two approximations of SN curves:

- **linear**

$$S_i = \frac{\log(N_i) - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \log(N_j) - b \cdot \overline{S_j}}{b} \quad (2)$$

where $\overline{S_j}$ is the arithmetic mean of the values of the measured stresses S_j , the symbol N_j they are marked with corresponding lifetimes in cycles, n represents the number of measured data and b is the coefficient given by the relation

$$b = \frac{n \cdot \sum_{j=1}^n (\log(N_j) \cdot S_j) - \sum_{j=1}^n S_j \cdot \sum_{j=1}^n \log(N_j)}{n \cdot \sum_{j=1}^n S_j^2 - \left(\sum_{j=1}^n S_j \right)^2}$$

- **nonlinear**

$$S_i = \left(\frac{N_i}{10^c} \right)^{\frac{1}{d}} + K \quad (3)$$

where c , d represent the coefficients of nonlinear regression and K represents the minimum sampling variance obtained by the iterative method.

2 EXPERIMENT

The experiment was performed on 20 tested specimens (Fig. 1) made of the aluminium alloy AL 5754, the chemical composition and material properties of which can be seen in Tab1. and Tab2.

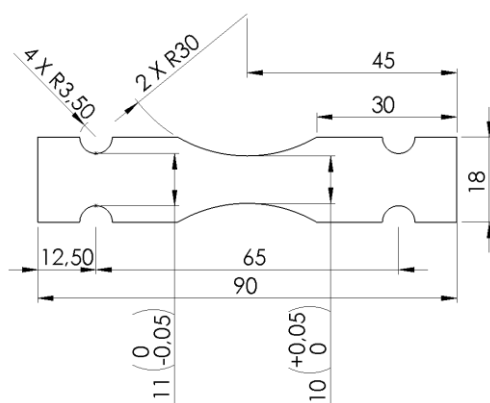


Fig. 1 – Fatigue specimen - drawing.

Testing was performed at 4 stress levels, each of which broke 5 normalized specimens with a constant thickness of 2 mm and a width at the narrowest point of 10 mm.

TABLE I. MATERIAL PROPERTIES OF AL 5754 – H12 [3].

Young Modulus	Poisson Ratio	Yield Strength	Ultimate Tensile Strength
68 GPa	0,33	180 MPa	240 MPa

TABLE II. CHEMICAL COMPOSITION OF AL 5754 – H12 [%].

Al	Mg	Mn	Si	Fe	Cr	Zn	Ti	Cu	Res.
94.2	2.6								0.1
-	-	0.5	0.4	0.4	0.3	0.2	0.15	0.1	-
97.4	3.6								0.6

For experimental measurements, a bending fatigue test rig by SCHENCK was used, which offers to test small specimens (Fig. 2). As it was an older device, it was supplemented with new software, recording the number of cycles achieved and automatically shutting down the machine after breaking the specimen. The software works together with hardware equipment on the FFT principle and was developed at the Department of Applied Mechanics and Mechanical Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, Technical University in Košice [2].



Fig. 2 – Experimental setup.

3 SN-CURVE APPROXIMATION

Experimental data obtained by measurement described in the previous section were used to construct SN curves according to ČSN 42 0368 standard. Individual measured points are available in Tab. 3.

Fig.3 and Fig.4 show the results of the applied formulas, which are mentioned in the theoretical part of this article. These were implemented in the MATLAB program and approximate the points measured at 4 stress levels.

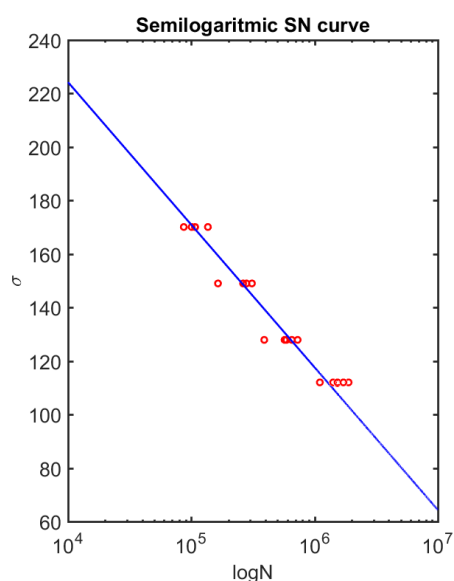


Fig. 3 – Linear approximation of SN curve determined by ČSN 42 0368.

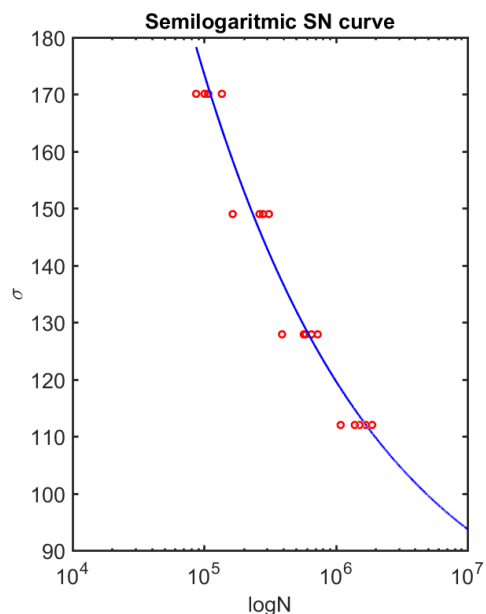


Fig. 4 – Nonlinear approximation of SN curve determined by ČSN 42 0368.

CONCLUSION

The paper describes the determination of SN curves of the material AL 5754 using the standard ČSN 42 0368. Twenty fatigue test were done to construct the approximated curves. There was performed five measurements for each of the 4 stress levels. The results of experimental measurements are summarized in Tab. 3. The results obtained by the method of either the linear or non-linear approximation are suitable for HCF (high cycle fatigue), so an approximation of 10,000 cycles and more can be considered as relevant data. It should be noted that the extrapolated data in the linear approximation, however, may not correspond to reality but at lower stress levels can be used in the modified Miner method for conservative life estimation. As Basquin's definitions of the SN curve often occur in programs, the authors also provide an estimate of the fatigue strength exponent and constants of the Basquin equation.

In further investigation, it would be appropriate to focus on the estimation of the fatigue limit for the material AL 5754 (e.g. by the Staircase method).

Acknowledgement

This work was supported by the Scientific Grant Agency of the Slovak Republic under grant VEGA 1/0355/18.

TABLE III. SN CURVE RAW DATA FOR MATERIAL AL 5754.

No	Stress Amplitude [MPa]	Number of cycles	No	Stress Amplitude [MPa]	Number of cycles
1	112.0	1 887 250	11	149.0	310 375
2	112.0	1 602 025	12	149.0	310 250
3	112.0	1 543 750	13	149.0	280 180
4	112.0	1 423 375	14	149.0	263 250
5	112.0	994 500	15	149.0	164 600
6	127.9	728 500	16	170.1	136 325
7	127.9	653 050	17	170.1	107 500
8	127.9	591 125	18	170.1	107 075
9	127.9	570 975	19	170.1	100 675
10	127.9	390 675	20	170.1	86 900

References

- [1] BASQUIN, O. H.: The exponential law of endurance test. Proceedings of the American Society for Testing and Materials, 1910. Vol. 10. 625–630.
- [2] KAĽAVSKÝ, A., HUŇADY, R. AND LENGVARSKY, P.: Spectral fatigue life for simple notched component. Manufacturing Technology, 2020, vol. 20, iss. 5, p. 612-616. doi: 10.21062/mft.2020.073
- [3] Material datasheet to AL ENAW 5754-H12 – online: <https://www.makeitfrom.com/material-properties/5754-H12-Aluminum>
- [4] Standard ČSN 42 0368: “Metal testing. Metal fatigue tests. Statistical evaluation of metal fatigue test results”
- [5] WALTER, S.: A history of fatigue. Engineering Fracture Mechanics, 1996. vol. 54., iss. 2. 263–300. doi:10.1016/0013-7944(95)00178-6

Correspondence address:

Ing. Adam Kaľavský
Technical University of Košice
Faculty of mechanical engineering Faculty
Department of Applied Mechanics and Mechanical
Engineering Address of Department
Tel.: +421 55-602-2464
Email: adam.kalavsky@tuke.sk

POROVNANIE NÁKLADOV NA BOZP V STREDNOM PODNIKU ZA OBDOBIE ROKOV 2019 - 2020

Ján KÁN, Hana PAČAIOVÁ

Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta
jan.kan@student.tuke.sk, hana.paciaiova@tuke.sk

Abstrakt:

Zranenia a choroby, ktoré súvisia s vykonávaním závislej práce a smrteľné úrazy majú veľký ekonomický dosah na jednotlivcov, zamestnávateľov, štát, ale aj na spoločnosť ako takú. Každý zamestnávateľ je povinný vytvárať pre svojich zamestnancov vhodné pracovné podmienky, ktoré vedú k zvyšovaniu efektívnosti práce zamestnancov. Približne dve tretiny všetkých pracovných miest v Európe sa nachádza v malých a stredných podnikoch. Práve tieto kategórie podnikov však súčasne čelia výrazným problémom a ťažkostiam, ktoré sú spôsobené najmä nižšími zdrojmi v oblasti finančnej a personálnej kapacity a organizácie práce. Činnosť realizovaná v malých a stredných podnikoch má teda aj svoje negatívne prejavy v podobe úrazovosti, nehodovosti a chorôb z povolania. Cieľom príspevku je jednak identifikácia nákladov vynakladaných na zabezpečenie a udržiavanie systému bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci v strednom podniku podľa aktuálnej právnej úpravy a následne porovnanie týchto nákladov vynaložených vo vybranom strednom podniku v rokoch 2019 a 2020.

KLúčové slová:

bezpečnosť a ochrana zdravia pri práci, stredný podnik, náklady, porovnanie nákladov, osobné ochranné pracovné prostriedky

ÚVOD

Každý podnik, či už malý alebo stredný by mal mať na pamäti, že v ťažkých hospodárskych časoch je následkom nedostatočnej bezpečnosti a ochrany zdravia na pracovisku zvyšovanie nákladov. To znamená, že podniky s nedostatočnými systémami bezpečnosti a ochrany zdravia na pracovisku využívajú pri odstraňovaní následkov úrazov a chorôb, ktorým sa dalo predísť, cenné zdroje. Následkom je zároveň drahý predčasný odchod zamestnanca do dôchodku, strata skúsených zamestnancov, absentérstvo a prítomnosť na pracovisku aj počas choroby (ak zamestnanci chodia do práce, aj keď sú práceneschopní). Naproti tomu, dobré riadenie bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci v podniku vedie k vyššej výkonnosti a ziskovosti. Konkrétne dochádza k lepšej produktivite vďaka menšej práceneschopnosti, udržiavajú sa starší zamestnanci v zamestnaní, stimulujú sa účinnejšie pracovné metódy a technológie a dochádza k zníženiu počtu osôb, ktoré museli skrátiť svoj pracovný čas z dôvodu opatery rodinného príslušníka. Vzhľadom na uvedené, je vytvorenie každoročného komplexného plánu nákladov, ktoré podnik vynakladá na zabezpečenie bezpečnosti a ochrany zdravia svojich zamestnancov pri práci zložitou úlohou. Je však dôležité, aby vedenie podniku, resp. subjekt, ktorý v

podniku prijíma rozhodnutia v tejto oblasti, dokázal rozpoznať dôsledky nedostatočných preventívnych opatrení, nakoľko ak nebudú hospodárske vplyvy na kvalitu života a prácu ľudí vyjadrené ekvivalentnou finančnou hodnotou, hrozí, že im nebude venovaná dostatočná pozornosť.

1. BEZPEČNOSŤ A OCHRANA ZDRAVIA PRI PRÁCI V STREDNOM PODNIKU

Pod pojmom podnik rozumieme subjekt vykazujúci ekonomickú činnosť, bez ohľadu na jeho právnu formu. K týmto subjektom patria predovšetkým osoby samostatne zárobkovo činné a rodinné podniky vykonávajúce remeselné alebo iné činnosti a verejné obchodné spoločnosti alebo združenia, ktoré pravidelne vykonávajú hospodársku činnosť. Podniky, ktoré zamestnávajú menej ako 250 osôb a u ktorých ročný obrat nepresahuje 50 miliónov Eur a/alebo celková ročná bilancia nepresahuje 43 miliónov Eur tvoria kategóriu mikro, malých a stredných podnikov. Malý podnik sa pritom definuje ako podnik, ktorý zamestnáva menej ako 50 osôb a jeho ročný obrat a/alebo celková ročná bilančná hodnota nepresahuje 10 miliónov Eur. Mikro podnikom sa potom rozumie taký podnik, ktorý zamestnáva

menej ako 10 osôb a jeho ročný obrat a/alebo celková ročná bilančná hodnota nepresahuje 2 milióny Eur.

Malé a stredné podniky môžeme považovať za nositeľov inovácií, zamestnanosti, ako aj sociálnej a regionálnej integrácie. Keďže sú zárukou vyššej efektívnosti a trvalo udržateľného rastu ekonomiky krajiny, plnia významnú úlohu v krajinách s trhovou ekonomikou, a to z dôvodu pružnosti, menšej kapitálovej náročnosti a schopnosti pokryť rôzne časti trhu. Jedným zo základných predpokladov zdravého ekonomického vývoja krajiny je práve dynamický rozvoj týchto podnikov. Podpora malého a stredného podnikania sa stala súčasťou celkovej hospodárskej stratégie ekonomicky vyspelých krajín. Činnosť realizovaná v malých a stredných podnikoch má aj svoje negatívne prejavy v podobe úrazovosti, nehodovosti a chorôb z povolania, o čom svedčia štatistiky Európskej únie, podľa ktorých, na malé a stredné podniky pripadá približne 82 % všetkých pracovných úrazov. Zároveň tieto podniky zodpovedajú za 90 % všetkých smrteľných úrazov.

Oblasť bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci (ďalej aj ako „BOZP“) a všeobecne ochrany práce zamestnancov patrí medzi jeden z najvýznamnejších prejavov pracovnoprávnej ochrany zamestnancov, pretože svojím účelom i formuláciou zákonných ustanovení zdôrazňuje fundamentálnu príčinu vzniku a existencie pracovného práva ako takého, a tou je ochrana života a zdravia zamestnancov pri výkone práce. Kým ochrana práce predstavuje základný systém povinností, úloh a oprávnení v oblasti ochrany práce na úrovni zamestnávateľov a zamestnancov, bezpečnosť a ochrana zdravia pri práci predstavuje určitý objektívny stav pracovných podmienok, ktorý vylučuje alebo minimalizuje pôsobenie negatívnych činiteľov pracovného procesu a pracovného prostredia na zdravie zamestnancov. Vzhľadom na uvedené predstavuje starostlivosť o bezpečnosť a zdravie zamestnancov pri práci a o zlepšovanie pracovných podmienok ako základných súčastí ochrany práce rovnocennú a neoddeliteľnú súčasť plánovania a plnenia pracovných úloh, ktorá si vyžaduje spoluprácu zamestnávateľa, zamestnancov a taktiež zástupcov zamestnancov.

Ochranu života a zdravia zamestnancov je potrebné považovať za základnú úlohu BOZP, nakoľko v prípade nedodržania základných povinností môže dôjsť k pracovnému úrazu, chorobe z povolania, dokonca i k úmrtiu. Zo strany zamestnávateľa je preto nevyhnuté dbať na prevenciu a uplatňovať všeobecné zásady prevencie pri vykonávaní opatrení nevyhnutných na zaistenie bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci vrátane zabezpečovania informácií, vzdelávania a

organizácie práce a prostriedkov. Okrem uvedeného je ďalším cieľom BOZP prispieť k eliminovaniu škôd zamestnávateľa na zariadeniach, výrobkoch, v službách, pri výlukách v pracovnom procese a iným finančným stratám.

Aby bezpečnosť a ochrana zdravia pri práci bola efektívna, je nevyhnutné aby dochádzalo k skúmaniu príčin aby sa realizovali opatrenia na predchádzanie vzniku nedostatkov. To znamená že BOZP nemôže byť založená len na odstraňovaní nedostatkov ako takých. Podstata systémového riadenia BOZP tkvie na hľadaní spôsobov ako predchádzať nedostatkom, ako aj na tom, aby k vzniku nedostatkov vôbec nedochádzalo. Takýto stav sa dá dosiahnuť zavedením systémovej organizácie práce alebo systémom riadenia za predpokladu, že nedostatky na pracoviskách, nie sú náhodnými chybami, ale dôsledkami nesprávnej organizácie práce, zlej komunikácie, neinformovanosti a nesystémového prístupu.

2. LEGISLATÍVN ÚPRAVA BEZPEČNOSTI A OCHRANY ZDRAVIA PRI PRÁCI V SLOVENSKEJ REPUBLIKE

Legislatíva v oblasti BOZP upravuje práva a povinnosti zamestnávateľov, štátneho dozoru, práva a povinnosti zamestnancov a ostatných orgánov spoločenskej kontroly.

Štát v súčasnosti BOZP reguluje súborom zákonov, nariadení vlády Slovenskej republiky a vyhlášok príslušných ministerstiev. Najvyššou právnou normou, od ktorej sa odvíjajú princípy bezpečnosti je Ústava Slovenskej republiky. Povinnosti zamestnávateľa v oblasti BOZP sú vo všeobecnej rovine zakotvené v § 147 zákona č. 311/2001 Z.z. Zákonníka práce (ďalej len ako „Zákonník práce“), následne v osobitných právnych predpisoch predovšetkým v zákone č. 124/2006 Z.z. o bezpečnosti a ochrane zdravia pri práci a o zmene a doplnení niektorých zákonov (ďalej len ako „zákon o BOZP“), zákone č. 355/2007 Z.z. o ochrane, podpore a rozvoji verejného zdravia a o zmene a doplnení niektorých zákonov a mnohými ďalšími podzákonnými predpismi reflektujúcimi špecifiká konkrétnych podmienok výkonu práce. Legislatíva v oblasti BOZP teda zahŕňa predpisy na ochranu života a zdravia, hygienické a protiepidemické predpisy, technické predpisy a technické normy, dopravné predpisy, predpisy o požiarinej ochrane, predpisy o manipulácii s horľavinami, výbušninami, zbraňami, rádioaktívnymi látkami, jedmi a inými látkami škodlivými zdraviu. Za predpisy na zaistenie BOZP je však potrebné považovať aj pravidlá o bezpečnosti a ochrane zdravia pri práci vydané

zamestnávateľmi po dohode so zástupcami zamestnancov.

Bezpečnosť a ochrana zdravia pri práci predstavuje najsústredenejšiu a najvýznamnejšiu oblasť sociálnej politiky Európskej únie. Zamestnávateľovi a zamestnancovi určujú základné povinnosti v oblasti BOZP, ako aj povinnosti súvisiace so vznikom pracovného úrazu, iného úrazu, choroby z povolania, priemyselnej otravy, nebezpečnej udalosti a pri vzniku závažnej priemyselnej havárie. Podľa článku 153 Zmluvy o fungovaní Európskej únie je Európska únia oprávnená prijímať smernice týkajúce sa bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci. Rámcová smernica so širokým rozsahom uplatňovania, ako aj ďalšie smernice zamerané na osobitné aspekty týkajúce sa bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci predstavujú základ pre európske právne predpisy v oblasti bezpečnosti a ochrany zdravia. Členské štáty môžu pri transponovaní smerníc Európskej únie do vnútroštátneho práva prijať prísnejšie pravidlá na ochranu pracovníkov, takže legislatívne požiadavky v oblasti bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci sa môžu v rámci jednotlivých členských štátov Európskej únie líšiť. Konkrétne je problematika BOZP na nadnárodnej úrovni upravená v smernici Rady ES č. 89/391/EHS o opatreniach na zlepšenie BOZP zamestnancov. Okrem rámcovej smernice je prijatý súbor jednotlivých smerníc, ktoré sú zamerané na osobitné aspekty bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci. Rámcová smernica sa však naďalej uplatňuje vo všetkých oblastiach, ktorých sa jednotlivé smernice týkajú. Ak jednotlivé smernice obsahujú prísnejšie a konkrétnejšie ustanovenia, majú tieto osobitné ustanovenia prednosť.

Aktuálne platný zákon o BOZP vstúpil do účinnosti dňa 01.07.2006 a vzťahuje sa na zamestnávateľov i zamestnancov vo všetkých odvetviach výrobnnej a nevýrobnej sféry. Povinnosti a opatrenia ustanovené týmto zákonom sa v nevyhnutnom rozsahu vzťahujú aj na fyzické osoby, ktoré sú podnikateľmi a nie sú zamestnávateľmi, a na ich príbuzných v priamom rade, súrodencov a manželov, ak sa podieľajú na plnení jej podnikateľských úloh. Podstatnou bola novela zákona o BOZP z roku 2013, účelom ktorej bolo upraviť legislatívny rámec podmienok na zabezpečenie uspokojivej ochrany života a zdravia zamestnancov, a to najmä prostredníctvom úpravy podmienok poskytovania rekondičných pobytov, ustanovenia profesií, pri ktorých je zdravotná spôsobilosť na prácu podmienkou na vydanie preukazu, osvedčenia alebo dokladu o absolvovaní výchovy a vzdelávania na obsluhu a vykonávanie niektorých činností a taktiež spresnenie znenia a

úprava jeho ustanovení so zreteľom na ostatné zmeny súvisiacich právnych predpisov a poznatky z aplikačnej praxe. Posledné novely zákona o BOZP boli prijaté v súvislosti s pandémiou COVID-19 vo forme zákona č. 66/2020 Z.z. a zákonom č. 198/2020 Z.z.

3. NÁKLADY NA BEZPEČNOSŤ A OCHRANU ZDRAVIA PRI PRÁCI V STREDNÝCH PODNIKOKCH

Zamestnávateľ je podľa § 147 Zákonníka práce povinný v rozsahu svojej pôsobnosti sústavne zaisťovať bezpečnosť a ochranu zdravia zamestnancov pri práci a na ten účel vykonávať potrebné opatrenia vrátane zabezpečovania prevencie, potrebných prostriedkov a vhodného systému na riadenie ochrany práce. Zamestnávateľ je povinný zlepšovať úroveň ochrany práce vo všetkých činnostiach a prispôbovať úroveň ochrany práce meniacim sa skutočnostiam. Povinnosti zamestnávateľa pri zabezpečení bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci sú ďalej osobitne upravené v zákone o BOZP, ktorý ako sme už vyššie uviedli ustanovuje všeobecné zásady prevencie a základné podmienky na zabezpečenie a ochranu zdravia pri práci a na vylúčenie rizík a faktorov podmieňujúcich vznik pracovných úrazov, chorôb z povolania a iných poškodení zdravia. Zákon o BOZP sa vzťahuje na zamestnávateľov a zamestnancov vo všetkých odvetviach výrobnnej a nevýrobnej sféry. Medzi základné povinnosti zamestnávateľa vyplývajúce z vyššie uvedených právnych predpisov je vynakladať peňažné prostriedky na zabezpečenie bezpečnosti a ochrany zdravia svojich zamestnancov pri práci.

V najširšom slova zmysle môžeme náklady podniku definovať ako spotrebu práce a prostriedkov. Predstavujú teda zníženie ekonomických zdrojov a obvykle sú spojené peňažnými výdavkami. Náklady predstavujú pre podnik vstup. Náklady na BOZP sú prostriedky vložené do bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci zaraďujeme z účtovného hľadiska do prevádzkových nákladov. Prevádzkové náklady predstavujú všetky náklady na zaistenie prevádzky, nákupu materiálu, služieb, ktoré vznikajú pri bežnej prevádzke. Možno konštatovať, že tieto náklady neprinášajú podniku viditeľný zisk, ale na druhej strane môžu zabrániť vzniku škôd, ktoré by mohli naopak prinášať straty. Riadiť náklady je potrebné považovať za nutnosť, nehľadiac na to, či ide o malý alebo stredný podnik.

Podľa § 6 ods. 11 zákona o BOZP tieto náklady je povinný znášať zamestnávateľ, a preto ich nesmie presunúť na zamestnanca. Výdavky na bezpečnosť a ochranu zdravia pri práci patria v zákone

č. 595/2003 Z. z. o dani z príjmov (ďalej len „ZDP“) do skupiny výdavkov vynaložených zamestnávateľom na pracovné a sociálne podmienky a starostlivosť o zdravie zamestnancov, ktoré sa zahŕňajú do daňových výdavkov v rozsahu a za podmienok ustanovených v § 19 ods. 2 písm. c) tohto zákona. V súlade s prvým bodom tohto ustanovenia náklady vynaložené na zaistenie bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci v rozsahu povinností ustanovených pre zamestnávateľa zákonom o BOZP sú aj daňovo uznanými nákladmi.

Pokiaľ chce byť podnik prosperujúci a úspešný, musí vynakladať veľké množstvo peňažných prostriedkov, nielen na zabezpečenie podniku. Manažment podniku by mal riadiť BOZP a znižovať riziká, ktoré môžu nastať, čo vedie k efektívnejšiemu riadeniu v oblasti BOZP. Prevencia pracovných úrazov a ochorení z povolania vedie k znižovaniu chorobnosti zamestnancov a tým aj k znižovaniu nákladov na úrazovosť a odškodňovanie ochorení z povolania. Vyššiu výkonnosť podniku je preto logicky možné očakávať v prípade nižšej chorobnosti a úrazovosti. Taktiež k znižovaniu rizika vzniku pracovných úrazov a chorôb z povolania dochádza poskytovaním osobných ochranných prostriedkov zamestnancom a ich správnym používaním. K tomu samozrejme patrí aj realizácia školení na BOZP, v rámci ktorých je zamestnanec oboznamovaný s možnými rizikami ohrozenia zdravia s ohľadom na prácu, ktorú vykonáva a preventiami pred nimi.

Medzi náklady na BOZP možno považovať školenia zamestnancov oblasti bezpečnosti, požiadavky na pracovné prostredie, vykonávanie vstupných a preventívnych prehliadok u zamestnancov, odškodňovanie chorôb z povolania a pracovných úrazov, poskytovanie osobných ochranných pracovných pomôcok.

4. ANALÝZA NÁKLADOV NA BEZPEČNOSŤ A OCHRANU ZDRAVIA PRI PRÁCI VO VYBRANOM STREDNOM PODNIKU

Vybraný podnik pôsobí v strojárskom priemysle v okrese Brezno a jeho nosným predmetom podnikania je zákazková výroba z nerezovej ocele, predaj nerezového materiálu, čerpadiel, armatúr, vrátane ich servisu a montáže. Podnik je klasifikovaný ako stredný podnik, nakoľko zamestnáva 66 zamestnancov v trvalom pracovnom pomere v roku 2020, z toho 7 zamestnancov pracuje na ekonomicko – personálnom oddelení, 13 zamestnancov na obchodnom oddelení, 6 zamestnancov zabezpečuje prijímanie a expedíciu tovaru a 40 zamestnancov pracuje priamo vo výrobe.

V rámci vykonanej analýzy bolo zistené, že vzhľadom na skutočnosť, že v dnešnej dobe nie je jednoduché zorientovať sa v kvalite školení v oblasti BOZP, analyzovaný podnik zaviedol hodnotiaci systém absolvovaných školení. Hodnotenie vykonáva každá osoba, ktorá sa zúčastnila toho ktorého školenia, a to známami od 1 do 5, pričom známka 1 je najlepšia. Na základe hodnotenia od zamestnancov následne podnik vyhodnotí, či školiť mal požadovanú kvalitu a či s ním bude spolupracovať aj v budúcnosti. Nakoľko podnik zistil, že v roku 2019 vznikla potreba zamestnania vlastného BOZP technika a od tohoto obdobia prebehlo takmer obdobie dvoch rokov, podnik a zamestnanci hodnotia toto rozhodnutie ako prospešné z praktického, ale ja z ekonomického hodnotenia. O zistených faktoch nám hovorí aj nasledovná tabuľka.

Z uvedených informácií je zrejmé, že celkové náklady na BOZP z pohľadu skúmaného podniku postupne klesajú, čo je dobrým znakom pre ekonomickú situáciu podniku, pokiaľ sa k tomuto faktu pridá ešte nulová hodnota zranení za nové obdobie. Zistené skutočnosti potom nastavujú v skúmanom podniku tzv. zrkadlo, ktoré umožňuje podniku konštatovať, že sa ubera správny smerom v oblasti BOZP.

ZÁVER

Aj napriek tomu, že v globálnom meradle dochádza k znižovaniu počtu pracovných úrazov v stredných podnikoch, stále sa potvrdzuje, že oproti ostatným štátom Európskej únie naďalej zaostávame v oblasti bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci v mnohých smeroch. Zmena v tejto oblasti však bude možná vtedy, keď sa zmení prístup podnikov od potreby financovania len nápravy sociálnych vplyvov pracovných úrazov na potrebu investovať do prevencie a predchádzať ich vzniku. Pochopenie, že prevencia je lacnejšia ako financovanie vplyvov pracovných úrazov, je výsledkom dlhodobého procesu a vychádza nielen z ekonomického poznania, ale najmä z rozvoja ľudských hodnôt. Preto je nevyhnutné zaviesť do súčasného systému zásadnú zmenu. Jej cieľom by bolo nahradiť princíp povinnosti princípom dobrovoľnosti vyplývajúcej z pozitívnej motivácie všetkých zainteresovaných.

Z uvedených dôvodov by mal každý stredný podnik pri plánovaní rozpočtu nákladov na bezpečnosť a ochranu zdravia pri práci svojich zamestnancov na to, že zvyšovanie bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci má dôležitý hospodársky význam, pretože riešenie otázok súvisiacich s bezpečnosťou a ochranou zdravia, s vytváraním priaznivých pracovných podmienok a pracovných vzťahov prináša optimalizáciu pracovného procesu a pozitívny ekonomický efekt a zároveň prináša

zníženie strát, vyššiu produktivitu, efektívnosť a kvalitu práce, čoho následkom je lepšia prosperita podniku a tým aj celej spoločnosti.

TABLE I.

Náklady na BOZP kalkulované na jedného zamestnanca vo vybranom podniku v roku	2019	2020
náklad podniku na mzdu BOZP technika	14 440 €	15 260 €
periodické školenia ktoré bolo nutné absolvovať v príslušnom roku	830 €	1 198 €
nákup nových OOPP	7 113 €	4 307 €
údržba OOPP	869 €	223 €
hasiace prístroje	432 €	131 €
revízne správy	292 €	799 €
počet zamestnancov v príslušnom roku	69	66
spolu	23 976 €	21 918 €
celkové náklady na BOZP na jedného zamestnanca	347 €	332 €

Korešpondenčná adresa:

Ing. Ján Kán
 Technická univerzita v Košiciach
 Strojnícka fakulta
 Katedra bezpečnosti a kvality produkcie
 Letná 9, 042 00 Košice
 Tel.: +421 55 602 2501
 Email: jan.kan@student.tuke.sk
 Školiteľ: prof. Ing. Hana Pačiová, PhD.

LITERATÚRA

1. BARANCOVÁ, H.: Európske pracovné právo. Bratislava: SPRINT 2 s.r.o., 2016, s. 437.
2. MATULOVÁ, S.: Návrhy na zvýšenie kvality BOZP v mikropodnikoch, malých a stredných podnikoch. Záverečná správa z riešenia VÚ č. 2315. Bratislava: Inštitút pre výskum práce a rodiny. 2007. 108 s.
3. PUSKEILEROVÁ, L. – KOTEK, L.: Systémy managementu bezpečnosti. In Sborník přednášek V. ročník mezinárodní konference Bezpečnost a ochrana zdraví při práci, Ostrava, VŠB – TU 14. – 15. června 2005. Ostrava: SPB, 2005; s. 211 – 219.
4. ŠVEC, M. - TOMAN, J. a kol.: Zákoník práce. Zákon o kolektívnom vyjednávaní. Komentár. Zväzok I. Bratislava: Wolters Kluwer SR s. r. o., 2019, s. 1304.

PodĎakovanie

Príspevok bol vypracovaný v rámci projektu KEGA 019TUKE-4/2020 Aplikácie orientované vzdelávanie v oblasti implementácie požiadaviek normy ISO 9001:2015

ZAČÍNAME PUBLIKOVAŤ V ANGLIČTINE

Eva KAŠČÁKOVÁ

Technická univerzita v Košiciach, Katedra jazykov, Slovenská republika
eva.kascakova@tuke.sk

Abstrakt:

Dôležitou súčasťou práce doktorandov a vedeckých pracovníkov je publikačná činnosť v medzinárodných periodikách, na ktorú sa však nie sú systematicky pripravovaní. Tento deficit sa prejavuje v kvalite výstupov, aj v reakciách recenzentov. Ambíciou predkladaného článku je sumarizácia základných tipov a odporúčaní pre organizáciu vedeckého článku písaného v anglickom jazyku na všetkých jeho úrovniach tak, aby bol po jazykovej stránke akceptovateľný a tak pomohol autorom uspieť na medzinárodnej úrovni. Čitateľov prevedie explicitne formulovanými pravidlami, ktoré sú všeobecne platné v anglofónnom vedeckom štýle, ako aj stratégiami, ako zlepšiť svoje autorské zručnosti.

Kľúčové slová:

vedecké písanie, štýl, interkultúrne rozdiely, argument, odsek

ÚVOD

Povinnosť publikovania výsledkov výskumu je spoločná pre všetkých vedeckých pracovníkov bez ohľadu na vedný odbor, či krajinu pôsobenia. Aj keď sa aktívna publikačná činnosť očakáva aj od začínajúcich doktorandov a vedcov, spravidla nie sú na ňu adekvátne teoreticky pripravení. Naše stredoškolské a vysokoškolské vzdelávanie nemá tradíciu písania esejí na rôznych vyučovacích predmetoch, ako je to v anglofónnych, či frankofónnych krajinách a preto jedinými vlastnými súvislými útvarmi, s ktorými má doktorand predchádzajúcu skúsenosť, sú záverečné práce. Ich zameranie a štruktúra sa však od vedeckého článku líšia, obzvlášť ak článok má byť napísaný v angličtine pre medzinárodné publikum.

Hoci v minulosti bol vedecký štýl písania považovaný za uniformný bez ohľadu na jazyk, v ktorom je text napísaný [1], dnes je všeobecne akceptované, že existujú interkultúrne rozdiely [2-4] a rôzne, kultúrne podmienené štýly vedeckého písania. Tieto rozdiely si autori vôbec nemusia uvedomovať. Každý autor je ovplyvňovaný predovšetkým vlastnou kultúrnou tradíciou a literatúrou, ktorú číta – vedeckým štýlom iných autorov. Preto aj výborný článok napísaný v slovenčine a kvalitne preložený profesionálnym prekladateľom môže byť v recenznom konaní zamietnutý pre nedostatočnú jazykovú úroveň. Ako je to možné? Pretože tradície vedeckého písania a kritériá na štandardne napísaný vedecký text sa

v rôznych krajinách líšia. Na Slovensku sa síce vydávajú príručky akademického a vedeckého písania [5-7] väčšinou sa však sústreďujú na spôsob citovania a organizácie bibliografických odkazov, vhodné typy písma a pod., menej už výstavbe samotného textu. Zatiaľ čo príslušníci kultúr bez striktných pravidiel organizácie textu, ako sme my, nemusia pri čítaní článku napísaného podľa pravidiel anglofónneho vedeckého štýlu spozorovať nič prekvapujúce, článok napísaný podľa našich zvyklostí môže byť po preklade pre anglofónnych čitateľov (a recenzentov) ťažkopádny a neprijateľný z hľadiska štýlu. Oboznámenie sa a osvojenie si zásad a typických prvkov anglofónneho vedeckého diskurzu popri zmysluplnej výskumnej činnosti môže zvýšiť šance autorov na publikovanie v medzinárodných periodikách.

1 ZÁKLADNÉ ATRIBÚTY VEDECKÉHO TEXTU V ANGLIČTINE

Najdôležitejšími atribútmi vedeckého článku v anglofónnom intelektuálnom štýle sú:

- jednoduchosť,
- presnosť,
- jasnosť,
- objektivita,
- a citová nezafarbenosť.

Vety a celé jednotlivé odseky majú byť sformulované jednoducho. Vyhybame sa príliš dlhým súvetiam a použitiu nadbytočných slov, ktoré

nepomáhajú pochopeniu podstaty. Primeraná lexika obsahuje správnu a presnú terminológiu, aby odkaz každej vety bol jasný a jednoznačný. Hodnotnú informáciu nie je potrebné prikrášľovať zložitými výrazmi a nepochopiteľnými skratkami; cieľom nie je čitateľa ohúriť autorovou slovnou zásobou a komplikovanými myšlienkovými procesmi, ale docieľiť jednoznačné pochopenie autorových tvrdení bez možnosti dezinterpretácie.

Jasnosť sa dosahuje lineárnou výstavbou textu (bez odbočovania) a logickým členením „IMRaD“ [8]:

- I – *Introduction* – Úvod: odpovedá na otázku PREČO je problematika hodna skúmania? Po úvode môže nasledovať literárny prehľad.
- M – *Method* – Metóda: odpovedá na otázku AKO bol vykonaný výskum?
- R – *Results* – Výsledky: odpovedá na otázku ČO výskum ukázal?
- D – *Discussion* – Diskusia: odpovedá na otázku ČO Z TOHO VYPLÝVA?
- Po diskusii nasleduje záver, ktorý interpretuje výsledky na vyššej úrovni abstrakcie než diskusia a navrhuje ďalšie perspektívy využitia výsledkov.

Ďalším spôsobom dosiahnutia jasnosti je Toulminov [9] argumentačný model tvrdenie–dôkaz–zdôvodnenie:

- Tvrdenie – hlavná myšlienka, ktorá nemôže existovať izolovane, lebo bez dôkazov nemá hodnotu.
- Dôkaz – reaguje na tvrdenie, obsahuje primárne dáta, sekundárne zdroje, nepriame dôkazy.
- Zdôvodnenie – relativizácia tvrdenia, opora alebo vyvracanie dôkazov.

Vizuálne členenie odsekov a ich prísna vnútorná štruktúra úzko súvisí s Toulminovým argumentačným modelom. Každý odsek je ako samostatná esej s úvodom, jadrom a záverom. Mal by rozvíjať jednu hlavnú myšlienku, ktorá je spravidla vyjadrená v úvodnej vete. Túto rozšíri v rozvíjajúcej vete, zameria sa na konkrétny aspekt myšlienky, podporí ho dôkazmi, ktoré analyzuje a nakoniec vyústi do záveru. Táto organizácia pomáha autorovi ustrážiť si argumentačnú líniu a tiež čitateľovi v jej sledovaní, ale aj pri rýchlom čítaní pre základný prehľad, keďže vie, kde hľadať hlavné myšlienky.

Osoba autora sa potláča do úzadia, neosobným vyjadrovaním často v trpnom rode vyznie opis vykonaných experimentov a formulácia záverov rezervovane, stroho a objektívne. Trpný rod by sa však mal používať primerane, nie za každú cenu, keďže je potrebné dosiahnuť jednoduchosť čítania. Často sa vyskytuje modalizácia – opatrnosť vo formulácii výrokov (*as far as can be stated at this stage, it seems, we suppose, probably, it is assumed, a pod.*), keďže autor by mal striktné rozlíšiť nepreukázané domnienky, predpoklady, či špekulácie od preukázaných faktov.

Pre našu kultúrnu tradíciu a intelektuálny štýl vyjadrovania je typické práve zložitý a vysoko odborný vyjadrovanie. Na druhej strane, v anglofónnych kultúrach príliš náročná štylizácia môže u čitateľov vzbudzovať podozrenie, že autor medzery vo vedomostiach vyplňuje zložitými slovami a konštrukciami. Naopak, oceňuje sa schopnosť vyjadriť zložitý princíp čo najjednoduchšími jazykovými prostriedkami. Autor by mal písať s ohľadom na čitateľa a s cieľom poskytnúť objektívne pravdivé tvrdenia a byť správne pochopený.

2 TRANSFORMUJÚCI EFEKT ČÍTANIA

Štylistické znaky a štruktúrne odlišnosti vedeckého diskurzu typického pre anglofónny intelektuálny štýl je možné osvojiť si postupne prostredníctvom čítania veľkého množstva správne napísaných článkov od autorov, pre ktorých je angličtina rodným jazykom, a tiež na základe spätnej väzby od recenzentov na vlastné články. Ak sa však začínajúci vedci pre nedostatočnú znalosť anglického jazyka vyhýbajú autentickej zahraničnej literatúre a čítajú len v materinskom jazyku, pri snahe napísať vedecký článok do medzinárodného časopisu sa ukáže, že nemajú osvojené zvyklosti organizácie vedeckého textu typickej pre anglofónne vedecké písanie. Ak je to možné, pre účely osvojenia správneho jazykového štýlu je vždy lepšie vyhľadávať články autorov, pre ktorých je angličtina rodným jazykom; u iných môžu byť prítomné interferencie rodného jazyka na úrovni slovnej zásoby i štýlu.

Najdôležitejšou radou, akú môže začínajúci autor dostať, je: čo najviac čítajte. Je nevyhnutné najskôr prečítať množstvo vedeckých článkov z oblasti, akej sa profesionálne venujete (ale užitočné môžu byť aj články z iných vedných odborov) a sústrediť sa pritom nie len na obsah, ale cielene práve na štýl a jazyk – analyzovať ako je článok zorganizovaný: čo obsahuje abstrakt, do akej hĺbky preniká úvod a ako stanovuje a odôvodňuje

otázky, na ktoré chce prostredníctvom výskumu nájsť odpovede, ako sú opísané metódy, odôvodnené ciele, prezentované a interpretované výsledky, ako sú sformulované závery.

Pri detailnom čítaní textu podrobne preskúmame na rôznych úrovniach:

- Na úrovni dokumentu: názov, abstrakt, kľúčové slová, nadpisy častí, obsah úvodu a záveru, koherencia – vzájomná súdržnosť myšlienok v rámci celku.
- Na úrovni odseku: hlavná myšlienka, použitie dôkazov, vyvodenie záverov, kohézia – prepojenosť a nadväznosť na úrovni viet – dosahuje sa pomocou lingvistických prostriedkov, ako sú:
 - spojky, napr. *Either/or, Provided that, Unless, Although, Whereas,*
 - zámená, napr. *Their, Its, These,*
 - kolokácie, napr. *Changes in temperature, Research on/into a subject, Correlation coefficient, Boundary condition,*
 - konektory, napr. *And so we see, Additionally, Moreover, Therefore, Thus, As a result, However, Nevertheless, On the other hand, Consequently, Most importantly, Finally.*

Zameriame sa na to, ako je zostavený celý článok, na jednotlivé odseky a ich vnútornú štruktúru, prepojenie viet a vystavanie argumentačných línií. Na mikroúrovni pozorujeme výber slov, čím si osvojíme okrem špecifickej terminológie aj lexiku a lingvistické prostriedky typické pre vedecké písanie.

Všimame si, aké názvy článkov v nás vyvolávajú čitateľský záujem, ako je možné v nich koncentrovane vyjadriť oblasť a cieľ, prípadne aj výsledok výskumu. Zistíme, že najužitočnejšie grafy a tabuľky sú tie, ktoré by boli pochopiteľné aj bez opisu v texte, ale vždy sú v texte interpretované, obrázky sú kvalitné, jasné a dobre označené. Z interpretácie výsledkov má byť jasný prínos daného výskumu pre vednú disciplínu, načrtnuté jeho ďalšie využitie v praxi, či otázky a predpoklady, na ktoré ešte bude potrebné odpovedať ďalším výskumom.

Počas detailného čítania by sme mali byť schopní odpovedať na nasledovné otázky:

- Aký problém tento výskum rieši?
- Prečo je to dôležité?

- Je použitá metóda výskumu správna?
- Sú experimenty (a použité metódy, materiály, parametre a pod.) opísané dostatočne na to, aby mohli byť zopakované?
- Je počet vzoriek dostatočný na vyvodenie zovšeobecňujúcich záverov?
- Aké faktory mohli ovplyvniť výsledok?
- Boli zohľadnené všetky premenné, ktoré mohli ovplyvniť výsledok?
- Sú obrázky a tabuľky kvalitné, jasné a dostatočne vysvetlené v texte?
- Sú výsledky dostatočne podporené dôkazmi?
- Sú interpretované správne a jednoznačne?
- Prinášajú výsledky nové informácie?
- Aký majú význam pre vedný odbor a pre prax?
- Sú závery v súlade so súčasným stavom poznania v danom odbore?

Ak sa článok nečíta ľahko, snažíme sa identifikovať, prečo. Býva to z viacerých dôvodov – sú vedci, ktorí publikačnú činnosť vnímajú len ako záťaž, alebo nepíšu cielene tak, aby sa text čítal ľahko, prípadne sú tak zahĺbení do témy, že nie sú schopní o nej písať zrozumiteľne aj pre čitateľov, ktorí nie sú expertmi v danom odbore. Niekedy sú v texte vynechané logické prepojenia – nie je vyjadrené prečo bol výskum dôležitý, aké hypotézy sa overovali, autor len poskytuje opis experimentov.

Ďalšou črtou článkov, ktoré sa nečítajú jednoducho, je ich presýtenosť príliš zložitými výrazmi. To neznamena, že sa majú používať neodborné, laické názvy; použitie terminológie je dôležité, ale odborné termíny sa v jednom článku nemajú variať – nenahrádzajú sa synonymami. Ostatná slovná zásoba má byť hlavne zrozumiteľná.

Autor má čitateľa navigovať svojimi myšlienkovými pochodmi lineárne, aby sa predišlo nesprávnej interpretácii. Neočakáva hľadanie významov „medzi riadkami“, vyjadruje ich explicitne. Mal by sa vyhýbať preceňovaniu významu svojich záverov, práve naopak, upozorniť na možné obmedzenia výskumu. Pre čitateľa musí byť jednoznačne identifikovateľné čo je fakt a čo domnienka, rovnako aj ktoré myšlienky sú autorove vlastné a ktoré sú citátmi, či parafrázami tvrdení iných autorov.

Neodporúčame fázu intenzívneho čítania prác anglicky hovoriacich vedcov vynechávať, lebo jej vplyv na kvalitu písania je významný – aj pri porovnaní publikačnej činnosti jednotlivých autorov zo začiatku ich vedeckej kariéry a po niekoľkých rokoch je zväčša viditeľný progres, ktorý je dosiahnutý predovšetkým tým, že už prečítali viac.

3 ZAČÍNAME PÍSAŤ

Potom, ako si osvojíme otázky z predchádzajúcej kapitoly a máme čitateľskú skúsenosť s rôznymi spôsobmi autorského vysporiadania sa s nimi, môžeme začať koncipovať vlastné texty. Rovnaké otázky, aké sme stanovili pre detailné čítanie, je potrebné položiť si pri písaní vlastných článkov a pri kritickej revízii článku analyzovať článok ako celok, aj každý z odsekov. Pri vlastnom písaní sa snažíme myslieť na čitateľa a na to, ako by odpovedal na otázky z predchádzajúcej kapitoly na základe nami sformulovaného textu. Vo vlastných textoch zrejme najskôr budeme napodobňovať štýl iných autorov, ale postupne si vybudujeme svoj vlastný.

Venujeme sa otázkam autorskej etiky a vyhýbame sa plagiátorstvu vo všetkých jeho podobách, správne citujeme a parafrázujeme. Nie každý autor si uvedomuje, že správna parafráza má mať identický význam a podobný rozsah ako pôvodný text, len formulácia a použitá lexika je iná. Citáty a parafrázy sa spravidla používajú vo vnútri odseku v rámci argumentácie, zakončiť odsek citátom, či parafrázou sa pokladá za nesprávne, lebo autor nevyjadril svoj vlastný postoj.

Do oblasti autorskej etiky platí aj uvedenie zdrojov financovania výskumu a prípadného konfliktu záujmov. Do zoznamu autorov uvedieme všetkých, ktorí mali intelektuálny podiel na výstupe. Nemanipulujeme dáta, ani nepozmeňujeme obrázky tak, aby zobrazovali želaný výsledok.

Niektorí autori najskôr napíšu článok a potom hľadajú možnosti publikovania. Iní píšú s cieľom publikovať v konkrétnom periodiku. Väčšina vydavateľov má presne sformulované požiadavky pre autorov týkajúce sa spôsobu citovania, jazyka, interpunkcie, štýlu a pod. Ak autor vopred vie, kde chce publikovať, ľahšie zohľadní pri písaní všetky požiadavky vydavateľa. Ak redakcia periodika pravidelne dostáva veľké množstvo rukopisov, z ktorých si môže vyberať, aj obyčajné preklepy môžu spôsobiť, že je článok zamietnutý skôr, ako by sa dostal do recenzného konania. Kvalita použitého jazyka je sa dá posúdiť aj pri letmom prečítaní textu, teda skôr ako kvalita výskumu, preto je potrebné venovať dostatočnú pozornosť obom. Účinnou metódou je požiadať niekoho o revíziu textu, čím eliminujeme nedostatky spôsobené tzv. autorskou slepotou – neschopnosťou mozgu spozorovať chyby vo vlastnom texte (autor vidí to, čo si myslí, že napísal, nie to, čo skutočne v texte je, preto pri kontrole prehliada vlastné chyby).

Mnohí autori riešia otázku, či je lepšie písať v rodnom jazyku a potom si článok preložiť, prípadne ho dať preložiť profesionálnemu

prekladateľovi, alebo či ho písať priamo v angličtine. Na túto otázku neexistuje univerzálne odporúčanie, pretože dôležitým faktorom pri rozhodovaní je otázka, na akej úrovni sám autor ovláda anglický jazyk, či je schopný napísať článok priamo správne sám. Pri posudzovaní tejto schopnosti nestačí, že sa vie plynule dohovoriť, kľúčová je schopnosť rozlišovať štýly a prispôbiť svoj prejav adekvátnemu štýlu. Ak to nedokáže, je jednoduchšie napísať ho v jazyku, ktorý autor ovláda suverénne, zorganizovať ho však na makro-aj mikroúrovni podľa pravidiel anglofónneho intelektuálneho štýlu. Potom je väčšia šanca, že po preklade bude výsledok prijateľný. Prekladateľ môže eliminovať gramatické, či lexikálne nedostatky, ktoré sú bežné, ak si vedci prekladajú články sami; medzi najvypuklejšie problémy však patrí nedodržanie striktnej štruktúry anglofónneho vedeckého písania a nedostatočné využívanie lingvistických prostriedkov zabezpečujúcich súdržnosť celého prejavu. Pokiaľ sa autor explicitne s predkladateľom nedohodne, nie je dobre očakávať zásahy do štýlu, táto úloha nie je automatickou súčasťou prekladu.

ZÁVER

Úspešnosť našich vedcov pri publikovaní v zahraničných periodikách závisí od kvality ich výskumu, ale aj od spôsobu písania vedeckých článkov. Recenzenti, rovnako ako aj čitatelia, majú určité očakávania týkajúce sa organizácie textu a ak sa text nečíta ľahko a plynule, môže byť zamietnutý napriek jeho vedeckému a inovačnému potenciálu. Niektoré vydavateľstvá poskytujú rady autorom [10-12] na základe sformulovaných kritérií, ktoré používajú pri hodnotení, s ktorými by sa autori mali oboznámiť. Odporúčame už prvý rukopis formulovať štýlom zodpovedajúcim zaužívanému anglofónnemu akademickému diskurzu. Najefektívnejším spôsobom, ako si ho osvojiť, sa javí kombinácia oboznámenia sa so základnými atribútmi vedeckého písania v angličtine a čítania autentickej vedeckej literatúry, pričom sa cielene zameriavame nielen na obsah, ale aj na formu, štruktúru, použitý štýl, gramatiku, lexiku, syntax a pod. Ak sa autori vyjadrujú jednoznačne a logicky, s ohľadom na cieľového čitateľa už pri písaní slovenského rukopisu, zvýšia svoje šance uspieť aj na medzinárodných fórach.

Bibliografické odkazy

- [1] WIDDOWSON, H. G.: Aspects of Language Teaching. 226 s. 1979/1990 Oxford: Oxford University Press. ISBN 978-0194371285.
- [2] KAPLAN, R. B.: Cultural Thought Patterns in Inter-Cultural Education. In: E.S. LOTTGEN (ed.), Cultural Studies in the Second Language Classroom: Needs, Problems, Solutions. Universidad de Murcia, s. 109-128. 1966/1980/1997 ISBN 84-7684-806-4.
- [3] GALTUNG, J.: Structure, Culture and Intellectual Style. Social Science Formation, 20, s. 817–856. 1981 online: DOI: 10.1177/053901848102000601 [cit. 14.01.2020].
- [4] SIEPMANN, D.: Academic writing and culture: An overview of differences between English, French and German. Meta, 51, 1, s. 131–150. 2006. online: <https://doi.org/10.7202/012998ar> [cit. 14.01.2020].
- [5] KATUŠČÁK, D.: Ako písať vysokoškolské a kvalifikačné práce. 2. vyd. Bratislava: Stimul, 1998. ISBN 80-85697-82-3.
- [6] KIMLIČKA, Š.: Ako citovať a vytvárať zoznamy bibliografických odkazov podľa noriem ISO 690 pre „klasické“ aj elektronické zdroje. Bratislava: Stimul, 2002 ISBN 80-88982-57-X.
- [7] MEŠKO, D. – KATUŠČÁK, D. – FINDRA, J. a kol.: Akademická príručka. 2. vyd. Martin: Vydavateľstvo Osveta, 2005. ISBN 10-1412901979.
- [8] STAROŇOVÁ, K.: Vedecké písanie. Martin: Osveta, 2011. ISBN 978-80-8063-359-2.
- [9] TOULMIN, S.E. – RIEKE, R. – JANIK, A.: Introduction to Reasoning. 2. vydanie 1984. New York. Macmillan Publishing Co. ISBN 0-02-421160-5.
- [10] ZWAAF, E.: 8 Reasons I Accepted Your Article. Elsevier Connect. 2013. online: <https://www.elsevier.com/connect/8-reasons-i-accepted-your-article> [cit. 15.01.2021]
- [11] THROWER, P.: Eight Reasons I Rejected Your Article. Elsevier Connect. 2013. online: <https://www.elsevier.com/connect/8-reasons-i-rejected-your-article> [cit. 15.01.2021]
- [12] THRELFAL, R.: Tips for Writing Better Science Papers. Asian Chemical Editorial Society. 2013. online: https://www.chemistryviews.org/details/education/5202161/Tips_for_Writing_Better_Science_Papers.html [cit. 15.01.2021]

Korešpondenčná adresa:

Eva Kaščáková
Technická univerzita v Košiciach
Katedra jazykov
Vysokoškolská 4, 042 00 Košice
Tel.: +421 55 602 4217
Email: eva.kascakova@tuke.sk

MODAL ANALYSIS OF AN AIRCRAFT WING MODEL BASED ON DIGITAL IMAGE CORRELATION DATA

Michal KICKO, Peter FRANKOVSKÝ, Peter PAVELKA, Vojtech NEUMANN

Technical University of Košice, Faculty of mechanical engineering, Department of applied mechanics and mechanical engineering, Slovakia

michal.kicko@tuke.sk, peter.frankovsky@tuke.sk, peter.pavelka@tuke.sk, vojtech.neumann@tuke.sk

Abstract:

The article refers to the estimation of modal parameters, i.e., natural frequencies, mode shapes and damping ratios, while object of the interest is model of the aircraft wing. The component was analyzed by the OMA approach, i.e., the excitation of the system was not recorded. By the ISTRA 4D software from Dantec Dynamics company the results were obtained while using optical experimental method DIC and saved them in the form of hdf5 files. Using our proposed post processing application, these results were evaluated, and the resulting modal parameters were determined.

Key words:

digital image correlation (DIC), operational modal analysis (OMA), ISTRA 4D, Scilab, aircraft wing

ÚVOD

Hlavnou myšlienkou predloženého článku je využitie digitálnej obrazovej korelácie ako jednej z bezkontaktných optických metód mechaniky na určenie modálnych parametrov krídla lietadla. Podobnej problematike sa venovali autori v článkoch [1, 2]. Tí vytvorili postprocesovú aplikáciu ktorá využila výsledky posunutí nameraných metódou DIC a následne ich vyhodnotila, pričom výsledky modálnych parametrov boli verifikované s konvenčnou metódou ktorá využila program PULSE. Hlavnou výhodou tohoto nového prístupu je eliminácia vplyvu snímačov na analyzovanom objekte, nakoľko výsledky (v našom prípade posunutí) sú zachytené programom ISTRA 4D a uložené vo forme hdf5 súborov. Tieto súbory hovoria o posunutíach jednotlivých bodov (fazi) na vzorke v závislosti od zaťaženia, smeru a času.

Dôvodom tejto publikácie bolo otestovať správnosť naprogramovaného aplikačného postprocesového modulu v programe Scilab a jeho aplikáciu na odhad modálnych parametrov s využitím prístupu OMA [3]. To znamená, že výsledná matica posunutí bude vyhodnotená bez ohľadu na veľkosť a spôsob vyvolania budiacej sily.

Výstupom predloženého článku bude vyhodnotenie vlastných tvarov kmitania, rezonančných frekvencií a koeficientov tlmenia pre model krídla plastového lietadla.

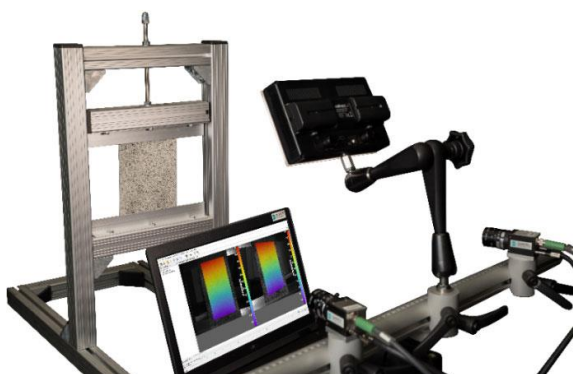
1 POUŽITÉ METÓDY

1.1 Prevádzková modálna analýza

Prevádzková modálna analýza je technika na skúmanie dynamického správania sústavy, počas prevádzky. OMA sa vykonáva pri uložení štruktúry "in situ" pri reálnych podmienkach zaťaženia. Vykonanie skúšky počas prevádzky však znamená, že vstupné sily nie je možné kvantifikovať, ako je to v iných technikách. OMA je technika založená iba na odozve, čo znamená, že sa počas testu nemerajú žiadne vstupné sily a výsledkom sú údaje o odozve v čase. [4-5]

1.2 Digitálna obrazová korelácia (DIC)

Digitálna obrazová korelácia (Obrázok 1.) je 3D bezkontaktná optická experimentálna metóda mechaniky s celoplošným meraním deformácií, vibrácií a namáhania takmer na akomkoľvek materiáli. Túto techniku je možné použiť pri mnohých testoch vrátane ťahu, tlaku, krútenia, ohybu a kombinovaného zaťaženia pre statické aj dynamické aplikácie. Metódu je možné aplikovať od veľmi malých (mikro) po veľké testovacie oblasti - a výsledky sú ľahko porovnateľné s výsledkami FEA alebo tenzometrami. [6-7]

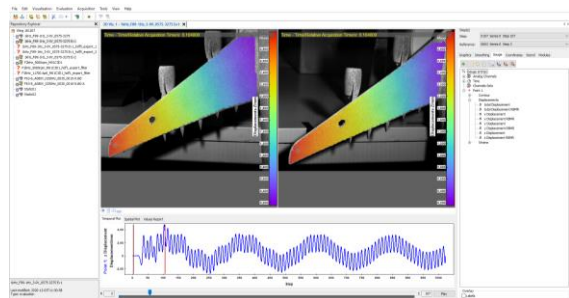


Obrázok 1. Princíp metódy DIC [5]

2 ZÍSKANIE EXPERIMENTÁLNYCH DÁT BUDENÉHO KRÍDLA LIETADLA

Meranie pomocou metódy DIC bolo uskutočnené v laboratóriu firmy Dantec Dynamics, pričom boli použité vysokorýchlostné kamery. Merací čas bol stanovený na 1 sekundu pri požadovanom počte snímok 1024 fps.

Vyhodnocovací softvér ISTR 4D ktorý je možné vidieť na Obrázku 2., zachytil požadované snímky a na základe zvoleného počtu a veľkosti fazií uložil data vo forme hdf5 súborov.



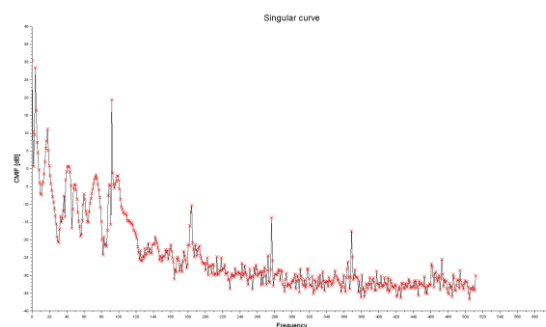
Obrázok 2. Zber dát merania softvérom ISTR 4D

3 POST PROCESOVÁ APLIKÁCIA

Navrhnutá aplikácia na vyhodnotenie modálnych parametrov z meraní bola naprogramovaná v softvéri Scilab. Jej hlavným princípom bola práca s výsledkami meraní z program ISTR 4D z ktorého boli načítané matice posunutí v smere osi Z. Nakoľko hlavným zameraním bol test aplikácie, výsledky z ostatných smerov neboli uvažované.

Výsledky posunutí v závislosti na čase boli následne pomocou FFT metódy transformované do frekvenčnej oblasti. Následoval časovo náročný proces usporiadania získaných výsledkov z maticovej do vektorovej podoby. To bol krok potrebný na to aby sa mohlo pristúpiť k metóde CMIF (complex

mode identification function) ktorá využíva funkciu SVD teda rozklad na singulárne hodnoty. Z daného bolo možné vykresliť singulárnu krivku ktorú je možné vidieť na Obrázku 3. Hodnoty na x-ovej osi ktoré zodpovedali lokálnym maximám funkcie reprezentovali rezonančné frekvencie, pričom spätným postupom SVD boli následne získané aj matice posunutí pre príslušné frekvencie a teda znázornené tvary módov kmitania.

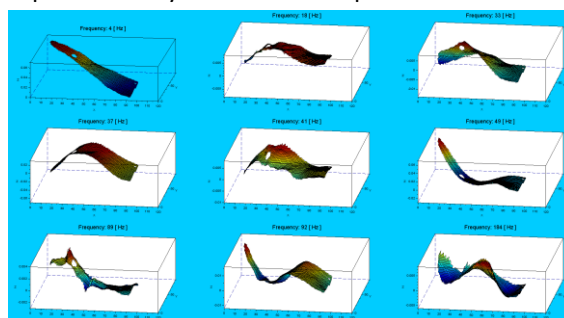


Obrázok 3. Singulárna krivka zostrojená pomocou metódy CMIF

Posledným krokom odhadu modálnych parametrov bolo určenie koeficientov tlmenia. Keďže nebol predpoklad tlmenia väčšieho ako 10% zvolil sa postup peak picking tzv. 3dB metóda.

4 VYHODNOTENIE VÝSLEDKOV

Výsledné tvary kmitov v smere osi Z s príslušnými hodnotami rezonančných frekvencií je možné vidieť na Obrázku 4. Je zrejmé, že rezonančný stav je nežiadúci účinok sústavy a preto je potrebné sa počas prevádzky týmto vlastným frekvenciám vyhnúť, resp. sústavu naladiť tak aby sa do týchto frekvencií alebo ich blízkosti počas prevádzky nedostala. Tvar kmitu pri 89Hz nieje práve reprezentatívny z dôvodu šumu pri meraní.



Obrázok 4. Vlastné tvary kmitov s príslušnými rezonančnými frekvenciami

Kompletizáciu výsledkov modálnej analýzy tvorí odhad koeficientov tlmenia ktoré sú vypočítané metódou peak picking a definované pre príslušnú rezonančnú frekvenciu na Obrázku 5.

Scilab 6.0.2 Console		
Eigenmod [Number]	Eigenfrequency [Hz]	Damping ratio [Percent]
1	4.00	5.12
2	18.00	3.83
3	33.06	3.67
4	37.07	1.72
5	41.10	6.22
6	49.10	4.02
7	89.19	1.24
8	92.16	0.12
9	184.36	0.43

Obrázok 5. Výsledky koeficientov tlmení pre jednotlivé rezonančné frekvencie pomocou metódy peak picking

ZÁVER

Článok sa venoval popisu navrhutej postprocesovej aplikácie ktorá mala za úlohu vyhodnotiť modálne parametre analyzovanej sústavy metódou DIC na základe zozbieraných dát v programe ISTR4 4D.

Výsledkom bola skupina deviatich módov resp. tvarov kmitania s príslušnými vlastnými frekvenciami. Tie sú v praxi ako bolo povedané nežiadúce nakoľko vyvolávajú degradačný stav – rezonanciu. Z toho dôvodu je tieto frekvencie nutné poznať a snažiť sa sústavu naladiť tak aby sa do týchto rezonančných stavov nedostala. Pre potreby praxe je niekedy potrebné poznať aj koeficienty tlmenia. Tie boli určené metódou peak picking pre každú vlastnú frekvenciu kmitania.

Momentálne je daná aplikácia v tvare skriptu ktorý sa v budúcnosti adaptuje do prostredia GUI (graphical user interface) čo bude viac používateľsky priateľská verzia pre ďalšie použitie.

POĎAKOVANIE

Tento článok bol podporený projektom KEGA 027TUKE-4/2020 a projektom VEGA 1/0290/18.

LITERATÚRA

- [1] HUŇADY, R., HAGARA, M.: A new procedure of modal parameter estimation for high-speed digital image correlation. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 2017, 93. Jg., S. 66-79.
- [2] BATEL, Mehdi. Operational modal analysis-another way of doing modal testing. *Sound and Vibration*, 2002, 36. Jg., Nr. 8, S. 22-27.
- [3] GADE, S., et al. Frequency domain techniques for operational modal analysis. In: *Proceedings of the 1st international operational modal analysis conference*. 2005. S. 261-271.
- [4] RIZO-PATRON, S., SIROHI, J.: Operational modal analysis of a helicopter rotor blade using digital image correlation. *Experimental Mechanics*, 57(3), 2017, 367-375.
- [5] DI LORENZO, E., MASTRODICASA, D., WITTEVRONGEL, L., LAVA, P., PEETERS, B.: Full-Field Modal Analysis by Using Digital Image Correlation. In *Rotating Machinery, Optical Methods and Scanning LDV Methods, Volume 6: Proceedings of the 38th IMAC, a Conference and Exposition on Structural Dynamics 2020* (p. 119). Springer Nature.
- [6] <https://community.sw.siemens.com/s/article/OMA-in-Simcenter-Testlab>
- [7] <https://www.dantecdynamics.com/solutions-applications/solutions/stress-strain-espi-dic/digital-image-correlation-dic/>

Korešpondenčná adresa:

Michal Kicko
 Technical University of Košice
 Faculty of mechanical engineering
 Department of applied mechanics and mechanical engineering
 Košice 04001, Letná 9
 Tel.: +421
 Email: michal.kicko@tuke.sk

ANALÝZA HORČÍKOVÝCH ZLIATIN V PROCESE 3D TLAČE

Jana KLÍMOVÁ, Marek SCHNITZER, Jozef ŽIVČÁK, Radovan HUDÁK

Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Katedra biomedicínskeho inžinierstva a merania, Košice
jana.klimova@tuke.sk, marek.schnitzer@tuke.sk, jozef.zivcak@tuke.sk, radovan.hudak@tuke.sk

Abstrakt:

Horčík (Mg) ako kov s nízkou mernou hmotnosťou, mechanickými vlastnosťami podobnými s kostným tkanivom, významom v biologických procesoch ľudského tela a degradáciou v prostredí živého organizmu je vhodný na výrobu biokompatibilných, biodegradovateľných a osteokonduktívnych implantátov v ortopedických alebo kardiovaskulárnych aplikáciách. Na rozdiel od doposiaľ používaných zliatin titánu je aplikácia zliatin horčíka omnoho vhodnejšia.

Kľúčové slová:

horčíkové zliatiny, aditívna výroba, powder bed fusion

ÚVOD

Biodegradovateľné implantáty sú stredobodom pozornosti v obore a čelia stále rastúcemu záujmu v posledných rokoch. Hlavný dôvod vývoja biodegradovateľných implantátov je práve ich degradovateľnosť vo fyziologickom prostredí (slová „degradovateľnosť“ a „korózia“ majú podobné významy ale sú použité v kontexte s in vivo alebo in vitro). Výhoda poskytnutá touto triedou materiálu je tá, že klinická funkcia trvalého implantátu je dosiahnuteľná a ak je úspešne kompletná, implantát sa rozloží ak nie je ďalej potrebný. Ďalšia z hlavných výhod biodegradovateľných implantátov je eliminovanie následnej operácie na odstránenie implantátu po dostatočnom zahojení tkaniva ako je pri trvalých implantátoch. Teda to znamená zníženie alebo vylúčenie doživotných problémov spôsobených trvalými implantátmi ako napríklad dlhotrvajúca endotelová dysfunkcia, permanentné fyzické podráždenie a chronické lokálne zápalové reakcie. Napriek tomu polymérové materiály majú dominantné postavenie v súčasných medicínskych aplikáciách, ale zliatiny na báze horčíka, železa a zinku boli predstavené ako výhodnejšie biodegradovateľné materiály pre nosné a zaťažované implantáty pre ich prvotriednu kombináciu pevnosti a húževnatosti oproti polymérom.

1 RÔZNE HORČÍKOVÉ ZLIATINY

Výskum vývoja biologicky odbúrateľných ortopedických kovov sa zameriaval hlavne na horčík (Mg) a jeho zliatiny, a to vďaka ich vynikajúcej biologickej kompatibilite a mechanickým vlastnostiam. Ako esenciálny minerál v ľudskom tele je v kostiach a zuboch prítomné značne veľké množstvo horčíka. Rýchly proces ionizácie zahŕňajúci aktívnu degradáciu horčíkových implantátov preukázal pozitívny vplyv na okolité tvrdé tkanivá a je známe, že nadmerné množstvo horčíka vylučujú obličky. [1.] [2.]

1.1 Čistý horčík

Čistý Mg je najjednoduchšia forma materiálového systému, ktorý je k dispozícii pre ortopedické pomôcky na báze Mg. Mechanická pevnosť čistého Mg je relatívne nízka, pokiaľ ide o jeho efektívne využitie ako implantátu s vysokým zaťažením, ale jeho použitie vylučuje obavy z toxicity ďalších legujúcich prvkov. Okrem toho sa ukázalo, že horčík s mimoriadne vysokou čistotou (>99,99%) sa degraduje pomalšie ako väčšina dostupných zliatinových systémov, čo z neho robí atraktívny materiál napríklad pre aplikácie s nízkym zaťažením v ortopédii. Jednou z najväčších výziev čistého Mg je kontrola množstva nečistôt. [3.][4.]

1.2 Mg-REE (prvky vzácnych zemín)

Spočiatku sa pridávanie týchto REE uskutočňovalo na drastické zvýšenie odolnosti proti tečeniu a korózii Mg pri izbovej aj zvýšenej teplote. Experimentovaním s rôznymi zloženiami prvkov sa dosiahol pozoruhodný pokrok vo vývoji systémov zliatin Mg-REE s rôznymi mechanickými a koróznymi charakteristikami. Najpokrokovejším systémom zliatin Mg-REE je zliatina MgYREZr, ktorá sa už klinicky používa. Z materiálového hľadiska je zliatina MgYREZr veľmi podobná zliatine WE43. Systém obsahuje >90% hm. horčíka s priemernou veľkosťou zŕn <5 μm . Ďalej sa jeho pevnosť v ťahu a predĺženie odhaduje na 275 MPa, respektíve 10%. Po schválení Conformité Européene (CE) pre humánne použitie v roku 2013 sa v súčasnosti vyvíja široká škála implantátov používajúcich tento zliatinový systém. Aby sa ďalej optimalizovali jeho degradačné vlastnosti, testujú sa aj rôzne techniky povrchovej úpravy na modeloch in vivo. [5.][6.]

1.3 Mg- Zn zliatiny

Zinok, ktorý sa nachádza v bunkách v celom ľudskom tele, je základným prvkom, ktorý hrá úlohu v bunkových interakciách, imunitnom systéme a katabolizme sacharidov. Nedávno bola publikovaná unikátna aplikácia zliatin Mg6Zn ako zošívачky na liečbu črevnej anastomózy. V priamom porovnaní zliatina Mg-6Zn prekonala zliatinu titánu stimuláciou akumulácie extracelulárnej matrice, aby sa podporilo lepšie hojenie črevnej anastomózy. [7.]

1.4 Mg- Ca zliatiny

Vápnik, ktorý je väčšinou uložený v kostiach a zuboch, má rozhodujúcu úlohu pri signalizácii buniek a udržiavaní štruktúry a funkcie kostrových tkanív. Uvádza sa, že uvoľňovanie iónov Ca do lokálneho bunkového prostredia má pozitívny vplyv na hojenie kostí a uskutočnili sa rôzne štúdie zamerané na vývoj klinicky relevantných zliatin Mg-Ca. V dlhodobých testoch na zvieratách sa pozorovalo zníženie tvorby plynného vodíka a zvýšené ukladanie kostí v mieste implantácie. [8.][9.]

1.5 Zliatina Mg-Ca-Zn (Resomet)

Tento systém zliatin bol testovaný v prospektívnej, otvorenej klinickej skúške na skupine 53 pacientov, kde cieľom bolo vyhodnotiť jeho účinnosť pri liečbe zlomenín zápästia. Celkom

53 prípadov ukázalo normálnu rýchlosť hojenia s kontinuitou kortikálnej kosti a znížením priemeru skrutiek zo zliatin Mg-Ca-Zn po implantácii bez jedinej poruchy 6 a 12 mesiacov po implantácii (Obr. 1). Žiadny z pacientov nepreukázal žiadne známky bolesti a nahlásil obnovenie svojho normálneho rozsahu sily úchopu. Okrem toho boli Mg-Ca-Zn skrutky po 1 roku od implantácie úplne nahradené novou kosťou, čo jasne ukazuje skutočné klinické prínosy biologicky odbúrateľných kovov v ortopédii. [9.]



Obr. 1 Röntgenové snímky znázorňujúce fixáciu distálnej zlomeniny vretennej kosti pomocou konvenčného implantátu z nehrdzavejúcej ocele a člnkovitej kosti pomocou skrutiek RESOMET pri predoperačnom, pooperačnom, 6-mesačnom a 12-mesačnom sledovaní. Úplné degradovanie skrutiek a zhojenie kostí bolo pozorované pri 12-mesačnom sledovaní. [9.]

2 ADITÍVNA VÝROBA

Záujem o aditívnu výrobu (AM) zliatin Mg vzrastá v komunite, pretože umožňuje konštrukčné schopnosti nedosiahnuteľné pri tradičnej výrobe a jej potenciál pre rozvoj biologicky rozložiteľných implantátov. Pri výrobe komponentov týmto spôsobom je možné AM použiť na vývoj vysoko komplexných geometrických tvarov, ktoré je ťažké alebo nemožné vyrobiť konvenčnými procesmi obrábania. AM umožňuje individualizované implantáty, ktoré sú bližšie podobné k anatomickým tvarom. AM tiež znižuje výrobný čas a náklady na implantáty, pretože môže byť eliminovaných viac krokov konvenčného obrábania a stáva sa

uskutočniteľné dávkové spracovanie. Schopnosť vytvárať komplexné vnútorné a vonkajšie geometrické tvary pomocou AM umožňuje vývoj geometrických prvkov, ktoré podporujú rast buniek, proliferáciu a regeneráciu kostí. Podobná tuhosť medzi ľudskou kosťou a horčíkom sa vyhýba stress shieldingu a je ideálnym kandidátom na takéto nosné implantáty. Okrem toho porovnanie zliatin horčíka s polylaktidovým polymérom, ktorý je existujúcim biologicky rozložiteľným polymérom používaným pre implantáty bez nosnosti, ukázalo vyššiu tvorbu kostných buniek v magnéziových implantátoch. [10.][11.]

2. 1. Výzvy a prekážky v aditívnej výrobe horčíka

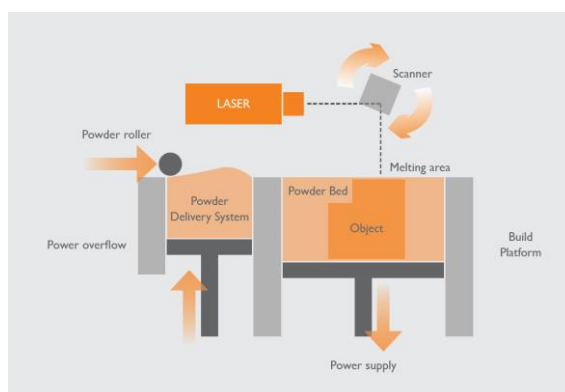
V posledných rokoch je aditívna výroba reaktívnych materiálov, najmä horčíka, predmetom záujmu výskumnej komunity a vyvíja sa technológia na minimalizovanie ťažkostí spojených s 3D tlačou. Horčík je kov, ktorý sa ťažko spracúva pomocou 3D tlače kvôli svojej vysoko reaktívnej povahe. Horčík oxiduje nekontrolovateľne v čistej forme a musí sa skladovať spôsobom, ktorý zabráni vystaveniu kyslíkom. Surovinu pre aditívnu výrobu sú dostupné vo forme prášku, tekutej živice alebo drôtu. V tomto stave sa povrchová energia kovu zvyšuje a predstavuje vyššie riziko reakcie s atmosférickým kyslíkom, ktorý umožňuje spaľovanie. Tieto riziká viedli k neadekvátnemu výskumu výrobných procesov na použitie horčíka ako potenciálnej biologicky odbúrateľnej zliatiny. Vyžaduje sa špecializované zariadenie, ktoré je schopné tlačiť horčík v inertnej atmosfére, a zároveň zabezpečiť bezpečné prostriedky na manipuláciu s materiálom. [12.]

3 POWDER BED FUSION

Spekanie práškovej vrstvy (PBF) je proces aditívnej výroby, v ktorom sa tepelná energia používa na selektívne spojenie oblastí práškoveho lôžka. Práškové lôžko obsahuje ako surovinu kov, polymér alebo keramický prášok. Zdroj energie nasmerovaný k práškovému lôžku selektívne skenuje a taví vrchnú vrstvu práškoveho lôžka (Obr. 2). Práškové lôžko sa potom zníži a cez roztavenú vrstvu sa rozprestrie čerstvá vrstva prášku. Tento proces pokračuje, kým sa celá štruktúra nevytvorí stohovaním roztavených vrstiev prášku. Prášok používaný v PBF sa pohybuje medzi 20 μm a 150

μm , ale obvykle býva na spodnej úrovni tohto rozsahu. [13.]

PBF má širokú škálu parametrov, ktoré môžu spôsobiť zmeny v chemickom zložení, mechanických vlastnostiach a geometrickom tvare vyrobených komponentov. Preto je dôležité identifikovať a zamerať sa na dôležité parametre, ako napríklad výkon lasera, rýchlosť skenovania a hrúbka vrstvy. Jedným zo spôsobov stanovenia významných parametrov v horčíkovom PBF je návrh experimentov. Návrh experimentov je štatistická metóda, ktorá pomáha znižovať náklady a čas potrebný na nájdenie významných parametrov znížením počtu experimentov. Zliatina horčíka, AZ31, pozostávajúca z hliníka, zinku a mangánu, bola vytlačená na systéme PBF. Parametre ovplyvňujúce PBF s AZ31 sa analyzovali pomocou návrhu experimentov a zistilo sa, že vysoký výkon lasera drasticky znižuje pórovitosť. To tiež ukazuje, že zníženie rýchlosti laserového skenovania pri konštantnom výkone lasera, prášok vytvoril porézne časti. Preto je potrebné počas PBF Mg starostlivo zvážiť výkon lasera a rýchlosť skenovania.



Obr. 2 Technológia Powder bed fusion

Lasery sú najčastejšie skúmaným zdrojom energie pre PBF zliatin horčíka. Lasery spôsobujú, že vysoká koncentrácia tepla je zameraná na malé oblasti práškoveho lôžka po obmedzenú dobu na roztavenie prášku. Tento krátkodobý tepelný tok spôsobuje rýchle zahriatie a ochladenie roztaveného prášku, čo vedie k rýchlemu stuhnutiu. Toto rýchle tuhnutie má za následok zjemnenie zrna, čo umožňuje materiálu vydržať väčšie zaťaženie. [14.]

Ak je prášok zliatiny horčíka vystavený vysokým teplotám, niektoré prvky v prášku

podliehajú odparovaniu. Odparovanie prášku vedie k lokalizovanému zvyšovaniu tlaku pár v mieste taveniny počas depozície materiálu. Tlak spôsobí, že roztavený materiál v tavenine sa rozstrekne smerom von, čo vedie k vytvoreniu štruktúry s nízkou hustotou. To tiež vedie k zmenám chemického zloženia v porovnaní s pôvodným práškom.

Hrúbka vrstiev určuje rýchlosť tlače. Menšia hrúbka vrstvy vedie k častejšiemu nanášaniu prášku po práškovom lôžku. Hrubá vrstva prášku nanosená po práškovom lôžku môže viesť k nedostatočnému nataveniu. Zistilo sa, že hladkosť nanášania čistého Mg prášku bola prítomná len dovtedy, kým hrúbka vrstvy nedosiahla 0,25 mm. Nad 0,25 mm povrch obsahoval póry. Pri vyššej hrúbke vrstvy sa tiež zvýšilo množstvo materiálu v tavenine. Bolo zistené, že prášok potom vyžaduje na roztavenie vyššiu hustotu laserovej energie.

Povrchová energia horčíkového prášku je vysoká v dôsledku malej veľkosti častíc. Výsledkom je, že Mg prášok ľahko oxiduje a je ťažké ho ukladať vo vrstvách. Preto sa obvykle používa legovanie na zníženie citlivosti na oxidáciu. Niektoré z bežných netoxických legujúcich prvkov zahŕňajú vápnik, zinok a mangán. Tieto prvky ovplyvňujú získanú štruktúru zrn, pevnosť a tepelnú odolnosť horčíka [15.][16.][17.]

ZÁVER

V súčasnosti sa intenzívne pracuje na materiálovom vývoji vhodných horčíkových zliatin. Preto je potrebný systematický prístup, ktorý zahŕňa aj využitie interdisciplinárnych vied. Taktiež by prinieslo úžitok ustanoviť presné experimentálne štandardy a normy v záujme maximalizovať porovnateľnosť výskumov na medzinárodnej úrovni. Využitím aditívnej výroby sa skracuje potrebný čas a je možnosť vyrábať komplexnejšie tvary ako inými konvenčnými metódami.

PodĎakovanie

Článok vznikol za podpory projektov: Zvyšovanie synergie metód výučby biofyziky s využitím laboratórnych zariadení a diagnostických prístrojov zameraných na meranie fyzikálnych a technických veličín KEGA 023TUKE-4/2020, Výskum aditívnej výroby biodegradovateľných magnéziových zliatin a ich aplikácie v implantológii a regeneratívnej medicíne APVV-17-0278, Vývoj nových biodegradovateľných kovových zliatin určených pre medicínske a protetické aplikácie

APVV-17-0008, Návrh postupových algoritmov v aditívnych technológiách pre edukačný proces v biomedicínskom inžinierstve KEGA 041TUKE-4/2019, Využitie digitalizačných metód pre podporu edukačného procesu v oblasti protetiky a ortotiky KEGA 040TUKE-4/2019.

Zdroje

- [1.] SARIS E. L.- MERVAALA E.- KARPPANEN H.- A KHAWAJA J.- LEWENSTAM A. Magnesium. Clinica Chimica Acta [online]. 2000, 294(1-2), 1-26 [cit. 2020-07-20]. ISSN 00098981.
- [2.] VORMANN, J. Magnesium: nutrition and metabolism. Molecular Aspects of Medicine [online]. 2003, 24(1-3), 27-37 [cit. 2020-07-20]. ISSN 00982997.
- [3.] HAN G.- LEE J.- KIM Y.- PARK J.- KIM D.- HAN H.- YANG S.- SEOK H. Preferred crystallographic pitting corrosion of pure magnesium in Hanks' solution. Corrosion Science [online]. 2012, 63, 316-322 [cit. 2020-07-20]. ISSN 0010938X.
- [4.] HAN P.- CHENG P.- ZHANG S., et al. In vitro and in vivo studies on the degradation of high-purity Mg (99.99wt.%) screw with femoral intracondylar fractured rabbit model. Biomaterials [online]. 2015, 64, 57-69 [cit. 2020-07-20]. ISSN 01429612.
- [5.] ZHENG Y.F.- X.N. GU- WITTE F. Biodegradable metals. Materials Science and Engineering: R: Reports [online]. 2014, 77, 1-34 [cit. 2020-07-20]. ISSN 0927796X.
- [6.] BIBER R.- PAUSER J.- BREM M.- BAIL H. Bioabsorbable metal screws in traumatology: A promising innovation. Trauma Case Reports [online]. 2017, 8, 11-15 [cit. 2020-07-21]. DOI: 10.1016/j.tcr.2017.01.012. ISSN 23526440.
- [7.] WINDHAGEN, H. a kol. Biodegradable magnesium-based screw clinically equivalent to titanium screw in hallux valgus surgery: Short term results of the first prospective, randomized, controlled clinical pilot study. In BioMedical Engineering Online [online]. 2013. Vol. 12, no. 1, s. 62. [cit. 2020-07-21].
- [8.] LI Z.- GU X.- LOU S.- ZHENG Y. The development of binary Mg-Ca alloys for use as biodegradable materials within bone. Biomaterials [online]. 2008, 29(10), 1329-1344 [cit. 2020-07-21]. DOI: 10.1016/j.biomaterials.2007.12.021. ISSN 01429612.
- [9.] LEE J.- HAN H.- HAN K. a kol. Long-term clinical study and multiscale analysis of in vivo biodegradation mechanism of Mg alloy.

- Proceedings of the National Academy of Sciences [online]. 2016, 113(3), 716-721 [cit. 2020-07-21]. DOI: 10.1073/pnas.1518238113. ISSN 0027-8424.
- [10.] STAIGER M.- M. PIETAK A.- HUADMAI J.- DIAS G. Magnesium and its alloys as orthopedic biomaterials: A review. Biomaterials [online]. 2006, 27(9), 1728-1734 [cit. 2020-07-20]. ISSN 01429612.
- [11.] LI, Y.- ZHOU J.- PAVANRAM P. et al. Additively manufactured biodegradable porous magnesium. Acta Biomaterialia [online]. 2018, 67, 378-392 [cit. 2020-07-21]. DOI: 10.1016/j.actbio.2017.12.008. ISSN 17427061.
- [12.] INTERNATIONAL, A. ISO/ASTM52900–15. Standard Terminology for Additive Manufacturing – General Principles – Terminology. In Standard Terminology for Additive Manufacturing - General Principles - Terminology . 2015.
- [13.] KRUTH, J.-P.- MERCELIS P.-VAN VAERENBERGH J.- FROYEN L.- ROMBOUTS M. Binding mechanisms in selective laser sintering and selective laser melting. Rapid Prototyping Journal [online]. 2005, 11(1), 26-36 [cit. 2020-07-21]. DOI: 10.1108/13552540510573365. ISSN 1355-2546.
- [14.] NIU X.- SHEN H.- FU J.- YAN J.- WANG Y. Corrosion behaviour of laser powder bed fused bulk pure magnesium in hank's solution. Corrosion Science [online]. 2019, 157, 284-294 [cit. 2020-07-21]. DOI: 10.1016/j.corsci.2019.05.026. ISSN 0010938X.
- [15.] GANGIREDDY S.- GWALANI B.- LIU K.- FAIERSON E.- MISHRA R. Microstructure and mechanical behavior of an additive manufactured (AM) WE43-Mg alloy. Additive Manufacturing [online]. 2019, 26, 53-64 [cit. 2020-07-21]. DOI: 10.1016/j.addma.2018.12.015. ISSN 22148604.
- [16.] LI, Y.- JAHR H.- ZHANG X. et al. Biodegradation-affected fatigue behavior of additively manufactured porous magnesium. Additive Manufacturing [online]. 2019, 28, 299-311 [cit. 2020-07-21]. DOI: 10.1016/j.addma.2019.05.013. ISSN 22148604.
- [17.] SAVALANI M.- PIZARRO J. Effect of preheat and layer thickness on selective laser melting (SLM) of magnesium. Rapid Prototyping Journal [online]. 2016, 22(1), 115-122 [cit. 2020-07-21]. DOI: 10.1108/RPJ-07-2013-0076. ISSN 1355-2546.

Korešpondenčná adresa:

Ing. Jana Klímová
Technická Univerzita v Košiciach
Strojnícka fakulta
Katedra biomedicínskeho inžinierstva a merania
Letná 9, Košice
Tel.: +421 902 310 119
Email: jana.klimova@tuke.sk

EXPERIMENTÁLNE TESTOVANIE SNÍMAČA POSUNUTIA CITLIVÉHO NA MAGNETICKÉ POLE

Ivana KOLÁRIKOVÁ, Eduard JAKUBKOVIČ, Tatiana KELEMENOVÁ

Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Katedra biomedicínskeho inžinierstva a merania, Letná 9, 042 00 Košice, Slovenská republika

ivana.kolarikova@tuke.sk, eduard.jakubkovic@tuke.sk, tatiana.kelemenova@tuke.sk

Abstrakt:

Hallovo senzor je elektronický snímač citlivý na magnetické pole, ktorý využíva Hallov jav. Vďaka tomuto senzoru je možné využiť indukované napätie na určenie vzdialenosti magnetu od senzoru. V tomto experimente sa posúval magnet od bipolárnej Hallovej sondy a tieto zmeny v polohe sa zaznamenávali pomocou napätia. Okrem vzdialenosti bola menená i strana bipolárneho snímača a magnetu. Cieľom tohto experimentu bolo zistiť, ako nasmerovať senzor a magnet voči sebe a do akej vzájomnej vzdialenosti je najvhodnejšie ich umiestniť, aby bol správne identifikovaný okamih zmeny polohy. Výsledky budú neskôr aplikované na sklonnom tribometri, kde je potrebné určiť moment uvedenia telesa do pohybu.

Kľúčové slová:

Hallova sonda, zmena polohy, magnetické pole, základné rovnobežné mierky

ÚVOD

V praxi je možné na meranie neelektrických veličín používať snímače, ktoré prevádzajú neelektrickú veličinu na veličinu elektrickú, ktorú je možné potom ďalej spracovávať [1]. Medzi tieto snímače patrí i Hallova sonda, ktorá umožňuje meranie magnetickej indukcie, elektrického výkonu a elektrickej energie v statickom elektrometri. Skladá sa z tenkej polovodičovej dosičky vlozenej do magnetického poľa, cez ktorú prechádza prúd a na priečnych elektródach sondy sa objavuje Hallovo napätie [2].

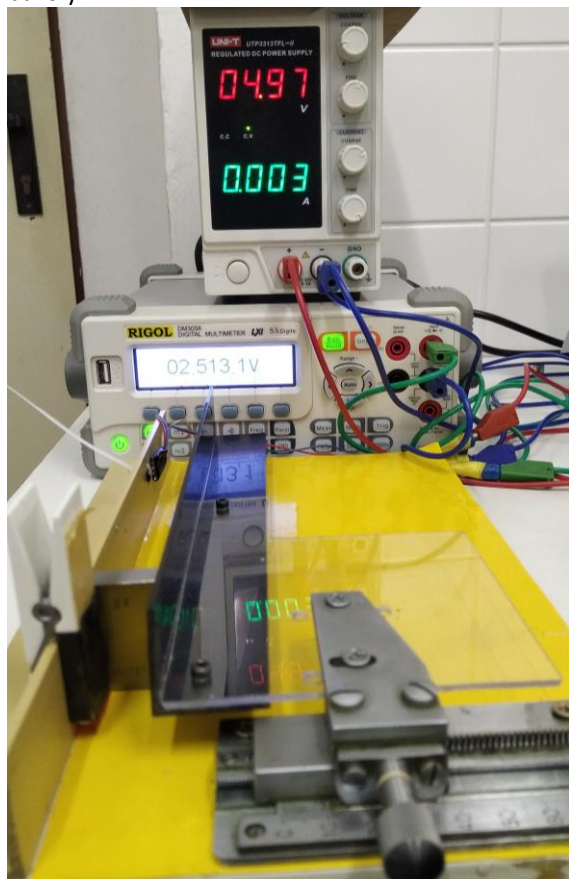
Týmto snímačom je teda možné odmerať zmenu polohy permanentného magnetu, čo sa prejaví zmenou výstupného napätia v snímači. Keďže tento snímač je bipolárny, tak je možné ním merať z dvoch strán. Permanentný magnet má tiež severný a južný pól, preto je možné ho umiestniť ku snímaču dvomi spôsobmi. Takto vznikajú štyri možnosti umiestnenia komponentov voči sebe. Preto je dôležité zistiť, aké rozdiely vo výstupnom napätí budú pri experimente vznikať, v akej vzdialenosti od seba budú rozdiely signifikantné a ktoré rozloženie bude mať adekvátnu využiteľnú oblasť pre meranie vzdialenosti. Získané poznatky by sa ďalej využili pri skladaní sklonného tribometra, na ktorom by sa pomocou Hallovho snímača zisťoval okamih spustenia sa telesa nadol plošinou tribometra.

1 MERACÍ REŤAZEC A METODIKA MERANIA

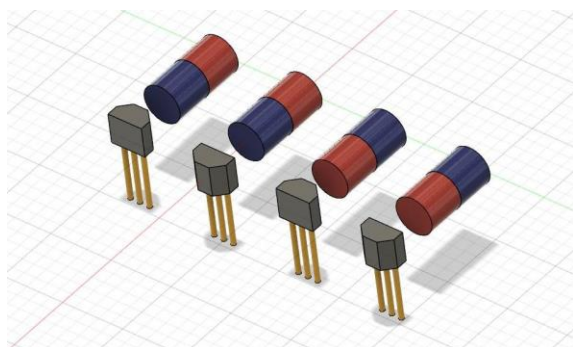
Hlavné časti meracieho reťazca boli zložené z bipolárneho Hallovho snímača SS495A od spoločnosti Honeywell [3], permanentného neodýmového blokového magnetu N35H s povlakom Ni-Cu-Ni a prídružnou silou 7,2 N s rozmermi 5 x 5 x 3 mm magnetizovaného axiálne [4]. Tieto časti boli pripevnené na špeciálnom stojane s nastaviteľným posunom jedného ramena, na ktorom bol magnet upevnený naproti Hallovej sonde. Sonda bola napájaná z laboratórneho zdroja UNI-T UTP3313TFL-II s presne nastaviteľným výstupným napätím pre náš experiment nastaveným na 4,97 V a napätie vznikajúce bolo snímané stolným multimetrom Rigol DM3058 [5]. Medzi rameno magnetu a snímača boli vkladané oceľové základné rovnobežné mierky s triedou presnosti 2 v dostatočnej vzdialenosti od magnetu, aby neovplyvňovali magnetické pole pri meraní. Hotový reťazec počas jedného z meraní je možné pozorovať na Obr. 1.

Bipolárne vlastnosti snímača aj magnetu umožnili štyri kombinácie ich nasmerovania oproti sebe. Snímač má svoju úzku a širokú plochu, ktorá bola striedavo menená voči severnému pólu (SP) a južnému pólu (JP) magnetu, ako je zobrazené

na Obr. 2. Magnetické vlastnosti a polarita neodymového magnetu sa overovali pomocou buzoly.



Obr. 1 Merací reťazec



Obr. 2 Kombinácie Hallovho snímača a magnetu

Keďže snímač i magnet majú svoju šírku, táto sa odpočítala od vkladanej rovnobežnej mierky, čím sa získala ich vzájomná vzdialenosť od seba L_x . Snímač bol široký 2 mm a magnet 3 mm. Meranie sa uskutočňovalo pri teplote 20°C. Pri meraní vzdialenosti L_x sa postupne menili rovnobežné mierky od najmenšieho celého milimetra tej mierky, ktorá zachytila ako prvá zmenu vo veľkosti napätia. Pri každej rovnobežnej mierke sa uskutočnilo 10 meraní. Rovnobežné mierky sa zaradom obmieňali za iné, vždy o jeden celý milimeter väčšie.

2 SPRACOVANIE NAMERANÝCH DÁT

Pri meraní bolo použitých 39 rozličných základných rovnobežných mierok, ktoré mohli byť skladané aj do koncových blokov. Keďže takto vzniklo veľké množstvo používaných kombinácií týchto mierok, do TAB. 1 bola vybraná iba malá reprezentatívna časť z nich, ku ktorým je spracovaná prislúchajúca systematická chyba bloku mierok δ_c a ich výsledná štandardná neistota typu B mierok u_B , ktorá do konečnej neistoty merania bola zanedbaná.

TAB. 1 VÝBER Z POUŽITÝCH ZÁKLADNÝCH ROVNOBEŽNÝCH MIEROK

Rozmer bloku mierok L_c [mm]	Menovitý rozmer mierky 1 L_1 [mm]	Menovitý rozmer mierky 2 L_2 [mm]	Systematická chyba bloku δ_c [μ m]	Výsledná neistota bloku u_B [μ m]
7	7	-	-0,06	$\pm 0,26$
15	15	-	-0,22	$\pm 0,346$
20	20	-	-0,28	$\pm 0,346$
25	25	-	0	$\pm 0,346$
26	15,5	10,5	-0,01	$\pm 0,49$
29	25	4	0,03	$\pm 0,433$
40	23,5	16,5	-0,03	$\pm 0,49$
50	50	-	0,22	$\pm 0,577$
52	50	2	0,45	$\pm 0,633$
56	50	6	0,13	$\pm 0,633$

Závislosti priemerného výstupného napätia $\bar{U}$ od vzdialenosti L_x z každej desiatky meraní všetkých variácií senzoru a magnetu boli spracované do spoločného grafu na Obr. 3.

Z týchto meraní sa vypočítala i výberová smerodajná odchýlka s , ktorej závislosti od vzdialenosti sa nachádzajú na grafe Obr. 4.

Na základe vypočítaných výberových smerodajných odchýlok s sa vypočítala i smerodajná odchýlka radu meraní, ktorú tiež možno považovať i za štandardnú neistotu typu A u_A . Z údajov od výrobcu multimetra [6] boli odpísané vzťahy potrebné na výpočet štandardnej neistoty typu B multimetra u_B :

- pre napätie vyššie ako 0,2 V nižšie ako 2 V

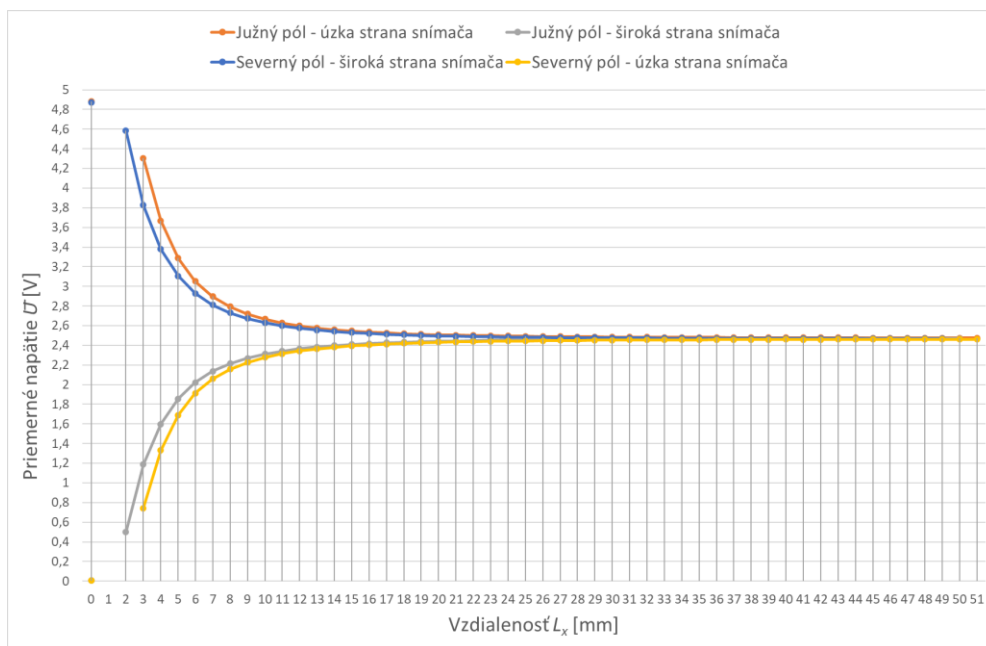
$$u_B = 0,015\% \cdot \bar{U} + 0,003\% \cdot 2 \quad (1),$$
- pre napätie vyššie ako 2 V a nižšie ako 20 V

$$u_B = 0,015\% \cdot \bar{U} + 0,004\% \cdot 20 \quad (2).$$

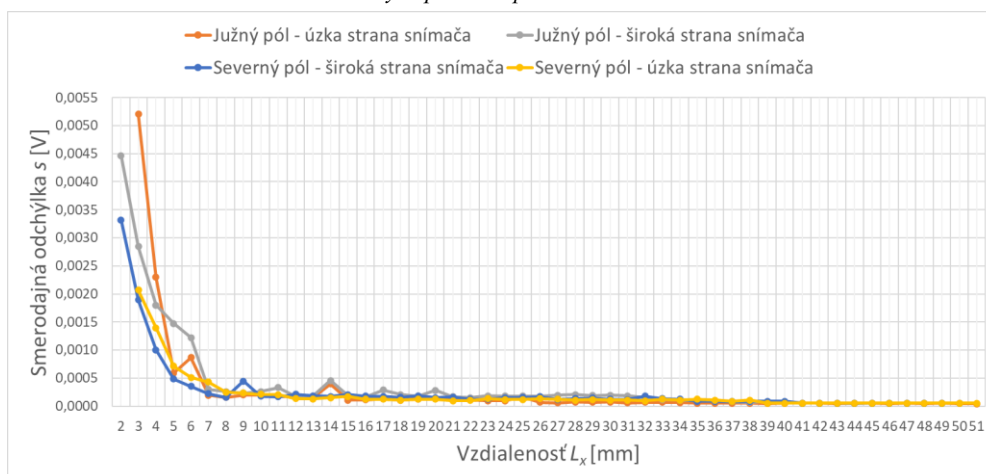
Štandardná neistota merania u_c sa potom vypočítala z týchto neistôt typu A a B vzorcom

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \quad (3),$$

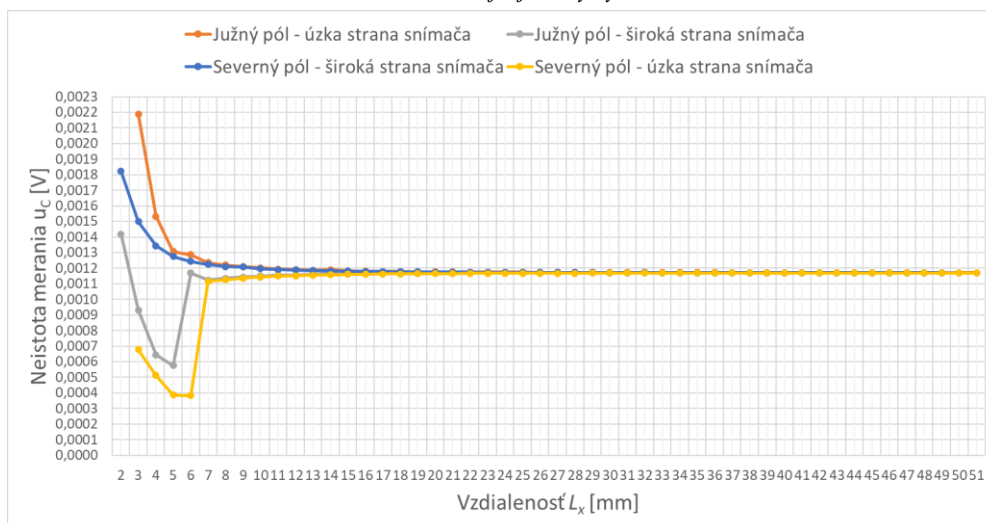
ktorého výsledky sú na grafe Obr. 5.



Obr. 3 Závislosť výstupného napätia snímača od vzdialenosti



Obr. 4 Závislosť smerodajnej odchýlky od vzdialenosti



Obr. 5 Závislosť štandardnej neistoty merania od vzdialenosti

ZHODNOTENIE VÝSLEDKOV A ZÁVER

Počas tohto experimentu sa uskutočnilo takmer 2000 meraní napätia. Z grafu Obr. 3 je možné pozorovať, že ak sa JP magnetu vzdďľuje od úzkej strany snímača, alebo SP vzdďľuje od širokej strany, tak napätie má podobný priebeh a klesá. V tomto prípade je vo vzdialenosti 0 mm napätie rovné približne 4,9 V. Keď sa JP magnetu vzdďľuje od širokej strany, alebo SP od úzkej strany, tak napätie naopak podobne stúpa, počiatkové napätie je tesne nad 0 V. Po vložení 6 mm mierky (L_x 1 mm) sa vo všetkých prípadoch napätie nezmenilo. Najmenší použitý rozmer mierky v meraní bol 7 mm (L_x = 2 mm), ak bol snímač zo širokej strany. Keď bol snímač z úzkej strany, prvý nameraný celý milimeter bol 8 mm mierkou (L_x = 3 mm). Na polohe magnetu v tomto prípade nezáležalo. Tieto zóny, v ktorých nebola nameraná žiadna zmena, považujeme za mŕtve zóny a nie je možné v nich merať. Približne od vzdialenosti L_x = 38 mm sa všetky výsledky približujú hodnote napätia tesne nad 2,4 V a ďalej sa už napätie takmer nemení, preto tieto vzdialenosti tiež nie sú vhodné na meranie.

Skúmaním závislosti smerodajnej odchýlky od vzdialenosti na Obr. 4 sa zistilo, že rozptyl nameraných hodnôt bol v prvých 6 mm najvyšší, teda meranie zo začiatku nie je tak presné. Najväčší rozptyl bol na začiatku merania, keď JP magnetu smeroval k úzkej strane snímača s = 0,0052 V, menší bol pri širokej strane snímača s = 0,0045 V. SP nasmerovaný ku širokej strane snímača mal s = 0,0034 V a najnižšiu počiatkovú s = 0,002 V mal SP nasmerovaný k úzkej strane. Z tejto závislosti vyplýva, že vhodnejší na meranie v malej vzdialenosti je SP a po 21 mm je s zanedbateľná pre všetky variácie.

Štandardné neistoty merania na Obr. 5 dopadli najlepšie pre kombinácie SP – úzka strana medzi 3 a 6 mm a ďalej pre JP – široká strana snímača vo vzdialenosti medzi 4 a 5 mm.

Na základe týchto výsledkov by pre použitie na meranie okamihu uvedenia telesa do pohybu na sklonnom tribometri bolo najvhodnejšie použiť postavenie SP – úzka strana snímača vo vzdialenosti medzi 3 a 6 mm.

Ako pokračovanie tohto článku by sa mohlo začať merať od najväčšej základnej rovnobežnej mierky až po najmenšiu, teda pri približovaní magnetu ku snímaču, aby sa mohla zistiť miera hysterézie. Tiež by sa mohli otestovať rôzne typy a veľkosti magnetov, či iná Hallova sonda, aby sa zistilo, ako sa výsledky budú líšiť a či sú porovnateľné.

Podďľakovanie

Tento príspevok vznikol za podpory projektov Výskum a vývoj kompozitných a biodegradovateľných materiálov pomocou inteligentných aditívnych technológií a ich testovanie v zmysle medzinárodných noriem pre personalizovanú medicínu a tkanivové inžinierstvo 1233/2018, Výskum nových metód merania kondície strojov APVV-15-0149, Výskum a vývoj testovacích a meracích metód v súradnicovej metrológii VEGA 1/0224/18 a Modernizácia laboratórií na meranie vybraných tepelnotechnických a technických veličín KEGA 006STU-4/2018.

Referencie

- [1] Měření neelektrických veličin. In: ELUC [online]. [cit. 2020-12-12]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/725>
- [2] Hallov článok [online]. Encyclopaedia Beliana, ISBN 978-80-89524-30-3. [cit. 2020-12-26]. Dostupné z: <https://beliana.sav.sk/heslo/hallov-clanok>
- [3] SS495A HONEYWELL [online]. [cit. 2020-12-26]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/sk/details/ss495a/hallov-e-senzory/honeywell/>
- [4] NEODYM BLOK, ANIZOTROP [online]. [cit. 2020-12-26]. Dostupné z: <https://www.magnety.sk/neodymy/neodym-blok-anizotrop/>
- [5] Rigol DM3058 stolný multimeter digitálne/y CAT II 300 V Displej (counts): 200000 [online]. [cit. 2020-12-26]. Dostupné z: <https://www.conrad.sk/p/rigol-dm3058-stolny-multimeter-digitalny-cat-ii-300-v-displej-counts-200000-409754>
- [6] Rigol Datasheet DM3058 [online]. Rigol Technologies, 2014 [cit. 2020-12-26]. Dostupné z: <https://eshop.micronix.sk/data/sk/att/002/9029-6004.pdf>

Korešpondenčná adresa:

Ing. Ivana Koláriková
Technická univerzita v Košiciach
Strojnícka fakulta
Katedra biomedicínskeho inžinierstva a merania
Letná 9, 042 00 Košice, SR
Tel.: +421 950 805 181
Email: ivana.kolarikova@tuke.sk

NÁSTROJE ŠTÍHLEJ VÝROBY A ICH POUŽITELNOSŤ V MALÝCH VÝROBNÝCH ORGANIZÁCIÁCH

Róbert KOZEL, Štefan MARKULIK,

Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta,
Katedra bezpečnosti a kvality produkcie, Letná 9, 042 00 Košice, Slovenská Republika,

email : robo.kozel@gmail.com, email : stefan.markulik@tuke.sk

Abstrakt

Článok sa venuje problematike malosériovej a kusovej výroby. Poukazuje na potrebu flexibility pri meniacich sa výrobných podmienkach. Popisuje súbor opatrení, ktoré je potrebné dodržať a neustále upravovať pre dosiahnutie efektívnej výroby. Táto potreba vychádza z objemu výroby, z požadovaného množstva, prípadne kusovej výroby bez ďalšej možnosti výrobu opakovať. V článku sú popísané princípy a techniky smerujúce k efektívnej výrobe ako je sedem druhov strát a štíhla výroba. Zároveň článok poukazuje aj na to, že tieto techniky sú hlavne aplikovateľné pri veľkých organizáciách s veľkosériovou výrobou a kontraktom na dlhšie obdobie, aby investovaný čas a peniaze do týchto techník priniesol aj požadovaný zisk. Avšak malé výrobné organizácie sa musia prispôsobiť trhovým podmienkam trochu inak.

Kľúčové slova v SJ

Štíhla výroba, plytvanie, činnosti s pridanou hodnotou, činnosti nepridávajúce pridanú hodnotu

Abstract

The article tackles the issue of small-lot and piece production. It points out the need for flexibility during the changing production conditions. It describes a set of measures necessary to be followed and continuously modified in order to achieve effective production. This need stems from the production volume, required quantity or piece production with no further possibility of repeating the production. The article describes principles and techniques leading to effective production such as seven types of waste and lean production. At the same time, the article points out the fact that these techniques are mainly applicable within large organisations with large-lot production and a longer-term contract, so that the time and money invested in these techniques bring the desired profit. Yet, small production organisations have to adapt to market conditions in a slightly different way.

Kľúčové slova v AJ

Lean manufacturing, waste, value-added activities, non-value-added activities

ÚVOD

Cieľom tohto článku je poukázať na vysoké nároky, ktoré sú kladené na organizácie z hľadiska konkurencieschopnosti na trhu. Tak ako každý segment na trhu aj segment výroby podlieha tlakom z každej strany. Konkurencieschopnosť a boj o zákazníka patrí do každodennej náplne organizácie. Každá spoločnosť by mala pracovať na neustálom zlepšovaní svojich procesov a postupov za účelom udržania si zákazníka. Výrobné

organizácie by sa mali zamerať na inováciu svojich výrobných technológií, ktoré napomáhajú zvyšovať kvalitu produkcie pri znížení výrobných nákladov (úspora času, materiálu a pracovnej sily...).

Ďalej sú uvedené podporné nástroje a princípy štíhlej výroby (Lean production).

V závere je poukázané na to, či sú tieto nástroje štíhlej výroby vhodné aj pre malé výrobné organizácie a akým spôsobom by sa dali aplikovať.

1 ŠTÍHLA VÝROBA A ŠTÍHLA ORGANIZÁCIA

Štíhla výroba je charakterizovaná systematickým prístupom k identifikácii a odstraňovaniu plytvania vo výrobe pomocou neustáleho zlepšovania v produkcii výrobkov, ktorá je podporovaná a motivovaná spokojnosťou zákazníka a neustálej snahy o dokonalosť.

Ide o realizáciu takých organizačných zmien, ktoré sú spojené s cieľom zvýšenia jej zisku. Systematickým vyhľadávaním plytvania, prijímaním odpovedajúcich opatrení vo výrobe je možné zvýšenie zisku zabezpečiť. Vychádzať pri tom možno zo všeobecne známej rovnice:

$$\text{Cena} = \text{Náklady} + \text{Zisk}$$

V dnešnej dobe je však cena produktu vopred dohodnutá než sa samotný projekt (výroba) spustí. Pri pohľade na vyššie uvedenú rovnicu je zrejmé, že, ak chce organizácia maximalizovať svoj zisk pri pevne dohodnutej cene je len jedna možnosť, a to znižovať svoje náklady. Túto skutočnosť možno zapísať nasledujúcou rovnicou:

$$\text{Cena} - \text{Náklady} = \text{Zisk}$$

Cestou ako ten zisk maximalizovať je práve aplikácia Lean filozofie, ktorá obsahuje rôzne podporné nástroje.

Ak sa organizácia snaží o úplnú aplikáciu v čo najširšom meradle, nestačí sa sústrediť len na zoštíhľovanie výroby. Musí byť jej snahou implementovať princípy štíhlosti postupne do všetkých svojich činností. Koncept štíhlej výroby sa neskôr zameriaval na komplexné štíhle myslenie založené na holistickom prístupe so snahou o uplatnenie prvkov štíhlosti aj do ostatných oblastí organizácie, akými sú napr. návrh a vývoj produktu, nakupovanie, personalistika, údržba, administratíva a pod. Štíhle myslenie sa zameriava na odstránenie všetkých činností, ktoré nepridávajú zákazníkom pridanú hodnotu.

Medzi podporné nástroje Lean filozofie možno zaradiť viaceré nástroje, ktoré svojou myšlienkou podporujú princíp zoštíhľovania. Dôležité pri implementácii Lean filozofie je skutočnosť, že nejde len o „implementáciu jednotlivých nástrojov“ ale o stotožnenie sa, či osvojenie si princípov Lean. Ďalej v článku sú uvedené niektoré z nich, ktoré sa najčastejšie využívajú pri zavádzaní Lean princípov v praxi.

1.1 Nástroj 5S

Metóda 5S je skupina princípov prostredníctvom ktorých sa vytvára a udržiava organizované, vysoko výkonné a čisté pracovisko. 5S vzniklo v Japonsku tak, ako aj mnoho ďalších dnes známych nástrojov zlepšovania procesov. Je to

základným nástrojom Lean filozofie v prostredí organizácie. Cieľom je zlepšenie prostredia organizácie a to nie len v priestoroch výroby. Označenie 5S vychádza z piatich japonských slov:

- **Seiri** – znamená vytriedenie všetkých vecí tak, aby sa rozdelili na potrebné a nepotrebné, ktoré sa na pracovisku nachádzajú.
- **Seiton** – usporiadať / rozmiestniť potrebné veci tak, aby sa mohli byť rýchlo nájdené, použité a následne uložené na svoje určené miesto.
- **Seiso** – udržiavať čistotu na pracovisku a v jeho bezprostrednom okolí, vychádza sa z japonskej filozofie, že ten kto upratuje svoje okolie, upratuje aj svoju myseľ. Upratovať by mal každý pracovník svoje pracovné prostredie, od manažmentu, až po najnižšiu pracovnú úroveň.
- **Seiketsu** – zavedené opatrenia na usporiadanie pracoviska a udržiavanie jeho čistoty je potrebné štandardizovať.
- **Shitsuke** – udržiavať poriadok, dodržiavať štandardy usporiadaného a čistého pracoviska sebadisciplínou každého pracovníka.

5S je vhodná pomôcka pre vytvorenie efektívneho pracoviska. Je to jeden z potrebných predpokladov kvality v snahe neustáleho zlepšovania. Aplikácia 5S našlo svoje široké uplatnenie najmä vo výrobných spoločnostiach. Čím rozmanitejšia je samotná výroba v prípade kusovej a málo sériovej výroby v porovnaní s veľkosériovou výrobou, tým väčšie množstvo prípravkov, pomôcok, nástrojov a náradia potrebuje organizácia. Takýto počet môže pracovisko zahliť, čo môže byť v rozpore s myšlienkou prvého kroku 5S.

1.2 Kaizen

Kaizen je metodika, ktorou sa postupne zlepšujú všetky činnosti späté s výrobou. Jeho myšlienka vychádza z kultúrnych tradícií Japonska. Samotné slovo Kaizen je japonského pôvodu a v Japonsku je jedno z najpoužívanejších japonských slov vôbec. Aj keď je Kaizen prezentovaná v odbornej verejnosti ako metodika na zlepšovanie, v Japonsku je to bežné slovo zo slovníka každého Japonca. Zlepšovaním sa má dosiahnuť optimalizácia procesov a pracovných postupov. Má ďalej dopad na zvyšovanie kvality a elimináciu nepodarkov. Úspora materiálu a časová úspora vedie k znižovaniu celkových nákladov.

Podstata metodiky spočíva v zapojení veľkého počtu pracovníkov, manažérov až po

operátorov. Do zlepšovania sa môže zapojiť ktokoľvek, nové nápady sú vítané a neskôr kolektívne diskutované o ich funkčnosti a zmyselnosti. Táto metóda zlepšuje komunikáciu na pracovisku, zlepšuje klímu a aj kultúru spoločnosti. Pôsobí na pracovný výkon motivačne.

Avšak aplikácia Kaizen v malých organizáciách s charakterom kusovej výroby má isté obmedzenie. Podstatou Kaizen je aktívna účasť pracovníkov. Výroba s 3 až 5 pracovníkmi a jedného vedúceho, ktorý musí zabezpečiť všetko pre chod výroby nebudú mať takú kapacitu pracovného času, aby mohli generovať návrhy na zlepšovanie.

1.3 Just in Time

Just-in-time (JIT), je spôsob riadenia výrobných logistiky. Dá sa ju chápať ako aj metóda na organizovanie logistických tokov za účelom minimalizovania dopravných a skladovacích nákladov. Jeho princíp spočíva v zabezpečení potrebných materiálnych dodávok do procesu výroby tak, aby boli k dispozícii v moment, keď budú použité v procese výroby. Minimalizujú sa tak pohyby materiálu v organizácii. Rozmiestnenie výrobných liniek a nadväznosť sú navrhované tak, aby výsledkom bola minimalizácia skladovacích a dopravných nákladov.

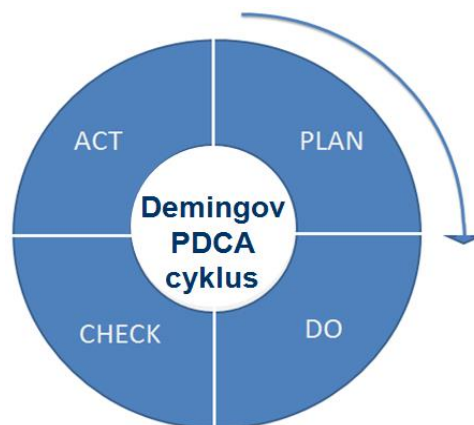
Pôvodcom tohto konceptu je japonská automobilka Toyota. Z toho vyplýva aj alternatívny názov Toyota Production System, ktorý v preklade znamená: výrobný systém Toyoty. JIT sa používa v spoločnosti vtedy, ak chce spoločnosť minimalizovať náklady na dopravu a skladovanie. Minimalizovanie nákladov použitím metódy JIT je možné iba pri splnení veľmi vysokých nárokov kladených na presnú koordináciu všetkých procesov, ktoré súvisia s tokom materiálu.

Otázkou je, ako efektívne riešiť dopravu pri kusovej výrobe v prípade potreby malého množstva materiálu od viacerých dodávateľov.

1.4 PDCA Cyklus

Je to nástroj postupného zlepšovania procesu výroby a jeho prvkov. Toto zlepšovanie je založené na cyklickom opakovaní štyroch základných činností:

- **Plan** – naplánovať zlepšenie, ktoré sa má vykonať,
- **Do** – realizovať zlepšenie v zmysle plánu,
- **Check** – vyhodnotiť dosiahnuté výsledky realizovanej zmeny v porovnaní s plánom,
- **Act** – reagovať na zistený rozdiel a prijať nápravu v procese.



Obrázok 1. Demingov PDCA cyklus

PDCA cyklus sa po svojom autorovi označuje ako Demingov cyklus. PDCA cyklus sa používa ako presne stanovený a pravidelne sa opakujúci sled krokov. Prevažne sa využíva pri zavádzaní inovácií a zvyšovaní kvality produkcie, ale aplikovať sa dá na každý proces v spoločnosti.

Táto metóda sa dá ľahko využívať aj pri kusovej výrobe v malých organizáciách.

1.5 Sedem druhov strát

Za plytvanie alebo stratu sa považuje všetko, čo nepridáva hodnotu produktu pre zákazníka. Sedem druhov strát (jap. MUDA) je súčasťou nástroja 3MU a patrí medzi základné princípy Lean. Ide o tieto základné druhy strát:

Nadprodukcia - Je výsledkom zvýšeného množstva produkcie oproti plánovanému množstvu. Vyrába sa viac produktov ako je zákazník ochotný nakúpiť. Pri takomto plytvaní vzniká potreba skladov a zbytočných priestorov. Toto má za následok nutnosť dopravných zariadení, ktoré zvyšujú náklady. Plytvaniu z nadprodukcie je možné zabrániť aplikáciou metódy JIT, ktorý sa zameriava na plytvanie zásob. Cieľom je naplánovať a vyrábať len to, čo môže byť okamžite expedované. Pri kusovej výrobe sa tento druh plytvania nevyskytuje.

Nadmerné zásoby - vznikajú skladovými zásobami náhradných dielov, materiálov a polotovarov z nedokončenej výroby, ale aj skladovaním hotových dielcov. Tieto položky zabierajú miesto a tak tvoria ďalšie náklady. Náklady vznikajú v dôsledku potrebnej manipulácie skladovaných dielov. Ide o vysokozdvížne vozíky, regály a priestory uskladnenia. Pri zákazkovej alebo kusovej výrobe sa tak isto tento druh plytvania nevyskytuje.

Zbytočný pohyb - Ide o pohyb v rámci procesu. Nemyslí sa tým pohyb materiálu medzi jednotlivými procesmi. Ide o zbytočné pohyby pracovníkov.

Presun pracovníka z pracoviska do skladu materiálu neprináša žiadnu pridanú hodnotu. Týmto typom plytvania sa zaoberá aj ergonómia a vzťahuje sa na všetky možné pohyby. Nevhodné pohyby spôsobujú únavu a stres a tak zvyšujú pravdepodobnosť úrazu. Pre efektívnu prácu musia byť všetky potrebné súčiastky a zariadenia na dostupnom mieste v blízkosti pracoviska na ktorom pracovník vykonáva svoju činnosť. Avšak tomuto plytvaniu sa pri kusovej výrobe nedá predísť. Každý výrobok je jedinečný a vyžaduje jedinečnú prípravu, ktorá vie len ťažko predvídať straty z pohybov.

Transport - Doprava je pre výrobu dôležitá bezohľadne na to, či ide o externú, či internú dopravu. Dopravu možno vnímať ako súčasť výrobného procesu, no napriek tomu nedáva pridanú hodnotu. Ideálna doprava je taká doprava, ktorá rieši len dovoz materiálu a odvoz hotových výrobkov, ale v praxi je to inak. V praxi máme oddelené výrobné úseky, sklady sú od výroby tiež oddelené a materiálový tok je zabezpečovaný internou dopravou. V dôsledku toho vznikajú zvýšené náklady (plytvanie). Sú to vysokozdvížné vozíky, dopravníkové pásy, paletové vozíky a iné manipulačné zariadenia. Je to plytvanie financií nadbytočnou dopravou. Zároveň pohyb tovaru a manipulácia môžu zapríčiniť poškodenie tovaru. Vizualizáciou pracovísk a procesov ktoré na seba naväzujú a ich logickým usporiadaním, možno straty z transportu minimalizovať. Tieto straty sú typické pre kusovú výrobu a ťažko im predchádzať.

Čakanie - Je to typ plytvania, keď výrobný proces je pozastavený z akéhokoľvek dôvodu čakania. Medzi takéto hluché miesta vo výrobe možno zaradiť poruchu stroja, nedostatok materiálu potrebného pre výrobu, nerovnomerný výrobný proces alebo aj procesy byrokratického schvaľovania. Vzniká vtedy, keď súvisiace procesy nie sú synchronizované. Vytvára to prestoj niekoľkých minút, ale niektoré organizácie hľadajú úsporu na úrovni niekoľkých sekúnd. Zosynchronizovanie procesov môžu dramaticky znížiť čakanie. Riešením je správne navrhnutý pôdorys pracoviska, čím sa skráti vzdialenosť medzi jednotlivými pracoviskami a procesmi. Avšak pri kusovej výrobe je tok materiálu v pracovnom priestore stále iný a preto je ťažké prispôbiť pracovisko výrobku.

Nepodarky - Sú to straty z nekvalitných produktov, nezhodných produktov, ktoré spôsobujú náklady na prepracovanie alebo opravu, prípadne výrobu nového dielca pre dosiahnutie zhody produktu. Oprava nezhodných produktov vyžaduje čas a finančné prostriedky. Nepodarky, ktoré sa dostanú k zákazníkovi, vyvolávajú nespokojnosť zákazníka a reklamácie. Tento druh plytvania sa často vyskytuje v kusovej výrobe.

Opakovaného opracovanie a opravy - Pod opracovaním sa rozumie modifikácia produktu, ktorý je poslaný do nasledujúceho procesu. Spojením výrobných liniek v procese výroby, napríklad s finálnou linkou, kde sa výrobky nakladajú na palety, možno odstrániť presun produktov medzi linkami a tak dôjde k odstráneniu jednej činnosti a zároveň k časovej úspore. Plytvanie pri výrobe je výsledkom neschopnosti časovo zladiť určité procesy. Cena prepracovania môže dosiahnuť až 10 násobok ceny produktu.

2 ŠTÍHLA VÝROBA V PRAXI MALÝCH VÝROBNÝCH ORGANIZÁCIÍ

Podľa popisu charakteristík vybraných nástrojov a metodík štíhlej výroby (resp. organizácie) je zrejmé, že nie všetky sa dajú aplikovať v malosériovej (kusovej) výrobe. Avšak to neznamena, že tieto nástroje respektíve filozofia štíhlej organizácie nemá byť smerodajný pre progres. Otázkou je to, ako ich aplikovať a ako vytvoriť dobre fungujúci systém v rámci malej organizácie. Vo veľkých sú na to vytvorené tímy, ktoré tieto nástroje a metodiky zavádzajú, kontrolujú a neustále vylepšujú.



Obrázok 2. Pomer THP ku R

Je zrejmé, že malé výrobné organizácie si nemôžu dovoliť platiť samostatnú skupinu expertov na zavádzanie a následnú kontrolu uplatňovania týchto nástrojov. V malých organizáciách je to najčastejšie samotný majiteľ, kto musí tieto princípy zaviesť a kontrolovať. Miera zavedenia a kontroly samozrejme závisí od dostupného času a finančných možností. Avšak určite je to nevyhnutnosť pre zdravú konkurencieschopnú organizáciu.

ZÁVER

Na zlepšovanie procesov existuje mnoho nástrojov, systémov ale aj komplexných filozofií, ktoré ak sa aplikujú správne, mali by priniesť očakávanú zmenu. Aj proces zlepšovania treba neustále zdokonaľovať. Pri diskusii v organizáciách o hlavných prekážkach v zlepšovaní procesov sa naráža na stále ten istý hlavný argument: nedostatok času. Je to ale relevantný argument alebo len alibistická výhovorka? Ak by sa problémy skutočne analyzovali až na úroveň ich kľúčovej príčiny a prijímali sa účinné a efektívne opatrenia, problémy by začali ubúdať. Subúdajúcimi problémami by sa našiel potrebný čas na systém zlepšovania. Je namieste zaviesť tzv. krúžky kvality – pracovné porady na ktorých by sa riešili otázky kvality na dennej báze. To by motivovalo viac pracovníkov sa zapájať do procesu zlepšovania, pretože by boli do diskusie o kvalite vtiahnutí. Práve to je cieľom zlepšovania, zapojiť pracovníkov a vzbudiť u nich pocit potreby nielen ako pracovnej sily, ale aj ich myslenia a nápadov

Na dosiahnutie štíhlej výroby a neustáleho zlepšovania podľa princípov Kaizen a zároveň odstránenie plytvania vo výrobe podľa TPS (Toyota production system) je neodmysliteľnou súčasťou ľudský potenciál. Slová jedného z otcov TPS Taiichi Ohno povedal: *The Toyota style is not to create result by working hard. It is a system that says there is no limit to people's creativity. People don't go to Toyota to „work“ they go there to think.*

Pri rozvoji ľudského potenciálu v spoločnosti je dôležité si uvedomiť, že nejde iba o výber a rozvoj správnych ľudí, ale predovšetkým o ich správne prepojenie, „namixovanie“ tak, aby dokázali spolupracovať a systematicky rozvíjať znalosti v organizácii. Analýza rozvoja organizácií v posledných rokoch ukazuje, že hlavnou konkurenčnou výhodou sú zlepšovanie a inovácie, učenie sa a schopnosť neustálej zmeny. Práve táto konkurenčná výhoda vychádza z ľudského potenciálu organizácie.

Zhrnutím záverov tohto článku, je skutočnosť, že veľkosériová výroba svojou efektívnosťou a ziskovosťou prevyšuje kusovú a malosériovú výrobu. Práve odbornými znalosťami a ľudským potenciálom neustáleho sa zlepšovania sa organizácia bez ohľadu na svoju veľkosť dokáže prispôbiť aj ťažkým trhovým podmienkam a zostať súčasťou dodávateľského reťazca veľkých spoločností na uspokojenie potrieb svojich zákazníkov.

Acknowledgment

Príspevok bol vypracovaný v rámci riešenia projektu KEGA 019TUKE-4/2020 Aplikácie orientované vzdelávanie v oblasti implementácie požiadaviek normy ISO 9001:2015“ a v rámci projektu APVV-19-0367 „Rámec Integrovaného prístupu riadenia procesnej bezpečnosti pre Inteligentný podnik“.

Zoznam použitej literatúry

- [1] JURKO, J. – PANDA, A.: Výrobný proces, TUKE – Fakulta výrobných technológií so sídlom v Prešove, 2004. 140 s. ISBN 978-80-8073-923-2.
- [2] GREGOR, M. – MIČIETA, B.: Produktivita a inovácie, 1.vyd. Žilina: Slovenské centrum produktivity, 2010. 320 s. ISBN 978-80-89-16-5.
- [3] ŘEPA, V.: Procesně Řízená organizace, 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 2012. 304 s. ISBN 978-80-247-4128-4.
- [4] CIENCIALA, J., a kol.: Procesně řízená organizace, 1. vyd. Příbram: PBtisk, 2011. s. ISBN 978-80-7431-044-7.
CHEBENĚ, J.: Strategický marketingový plán : analýza - plánovanie -stratégia a realizácia plánu. Bratislava : Vydavateľstvo EKONÓM, 2009. 216 s. ISBN 978-80-225-2752-1.
- [5] NEWTON, R.: Úspěšný projektový manažer: Jak se stát mistrem projektového managementu. 1. vyd. Praha : Grada Publishing, a.s, 2008. 264 s. ISBN 978-80-247-2544-4.

Korešpondenčná adresa

1. Ing. Róbert Kozel
Externý doktorand na Technickej univerzite v Košiciach, Strojnícka fakulta, Katedra bezpečnosti a kvality produkcie, Letná 9, 042 00 Košice, Slovenská Republika, email : robo.kozel@gmail.com
2. doc. Ing. Štefan Markulik, PhD.
Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Katedra bezpečnosti a kvality produkcie, Letná 9, 042 00 Košice, Slovenská Republika, Tel : +42155 6022600, email : stefan.markulik@tuke.sk

SURFACE DATA IN AUTOMOTIVE DEVELOPMENT PROCESS

František KUPEC, Michal FABIAN, Michal PUŠKÁR

Technical university of Kosice, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Automotive Manufacturing, Slovakia

Technical university of Kosice, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machine Design Engineering and

Transport Engineering, Slovakia

frantisek.kupec@tuke.sk, michal.fabian@tuke.sk, michal.puskar@tuke.sk

Abstract:

The current development of cars is taking place thanks to the wide application of CAx systems in the majority part in the virtual environment. The result of simultaneous work in the environment of CAx systems is a virtual vehicle that collects the geometric and functional properties of the car. It is a summary of complex data that group together data on individual components and units of the car. In virtual development, the creation of surface data is a more demanding part in terms of creation and debugging. These data are all free-form surfaces of the car, which are subject to extensive requirements directly related to the concept, design, construction and especially the technology of production of the developed vehicle. The creation of surface data is specific and requires an empirical approach. There is no specific guide for it, only individual recommendations can be reached on how to achieve a suitable surface.

Key words:

CAD, CAS, strak, surface, car, surface data, a-class surface

ÚVOD

Každý výrobok v strojárstve má určitý tvar, ktorý na konci vývojovej fázy podlieha možnostiam technológii výroby. Výrobky, na ktoré sú kladené požiadavky funkčného a najmä estetického charakteru, majú tvary, ktoré sú konsenzom možností technológie výroby, konštrukčných požiadaviek a dizajnu. Takýmto výrobkami možno nazvať karosériu, interiér a ostatné časti automobilu. Rámcovú štúdiu stvárnenia konečných povrchových dát z hľadiska použitého materiálu vykonal Bergman et al. [1], tvorbu povrchových dát z hľadiska estetických požiadaviek vo svojej práci opísal Valentin [2].

1. POVRCHOVÉ DÁTA AUTOMOBILOV

1.1 Povrchy a ich kvalitatívne rozdelenie

Povrchové dáta vozidla sú všetky plochy konštruované CA plošným modelovaním. Z hľadiska kvalitatívnych požiadaviek v oblasti strojárstva existuje niekoľko druhov plôch. V jednoduchosti možno najskôr automobilové povrchy rozdeliť na funkčné a pohľadové. V prvom prípade ide o povrchy, na ktoré nie sú kladené dizajnové požiadavky. Sú to časti rôznych menej viditeľných krytov, kanálov a iných prvkov, ktoré plnia predovšetkým funkčnú úlohu. V druhom prípade sú

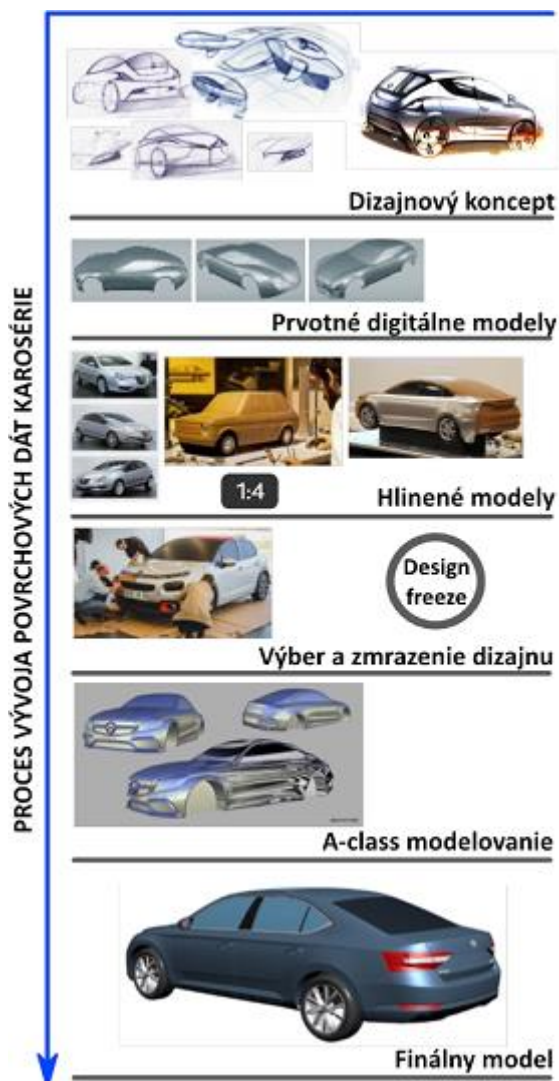
to povrchy, ktoré sú viditeľné okom užívateľa automobilu, z čoho vyplývajú aj rozsiahle požiadavky na ich spracovanie. Pohľadové plochy je potrebné kontrolovať na dopad svetla a estetické stvárnenie. V oboch prípadoch je potrebné dbať na vyrobiteľnosť, resp. technológiu výroby komponentov reprezentovaných týmito plochami.

V strojárstve sa z hľadiska kvality povrchy rozdeľujú na A-class, B-class a C-class. **A-class** označuje pohľadové povrchy s plynulými prechodmi a kontrolovaným dopadom svetla a tieňa za účelom zabezpečenia vysokej estetickej kvality. Tento kvalitatívny druh plôch sa používa na všetkých viditeľných a kvalitatívne hodnotených povrchoch exteriéru a interiéru automobilu.

Pre ostatné povrchy typu **B** a **C-class** sa neuplatňuje vysoký kvalitatívny štandard, keďže ide väčšinou o funkčné časti, ktoré pri používaní vozidla nie je vidieť (konštrukcia sedadla alebo vnútorné štruktúrne časti karosérie). [3]

1.2 A-class povrchové dáta automobilov

V automobilovom vývoji sa proces tvorby povrchových dát označuje ako CAS (Computer Aided Styling). V niektorých vývojových centrách sa označuje aj ako STRAK (koncern Volkswagen). Oba názvy pomenúvajú procesy tvorby povrchových dát automobilu v A-Class kvalite. [2][4]



Obr. 1 Schéma procesu vývoja povrchových dát karosérie vozidla [4]

Schéma na obrázku 1 poukazuje postupnosť tvorby povrchových dát karosérie vozidla v procese vývoja automobilu. Počiatok tvorby je situovaný v rovnakej fáze ako vývoj všetkých celkov vozidla, teda pri hľadaní prvotných tvarových návrhov na základe zadania (package) vozidla. V ďalších krokoch sa pristupuje k tvorbe prvotných digitálnych modelov, z ktorých môžu byť prostredníctvom CAM technológie v závislosti od zvoleného postupu vyrobené hlinené modely. Po dôkladnom zhodnotení kvality návrhov sa pristupuje k zmrazeniu dizajnu, ktoré znamená štart pre tvorbu povrchových dát automobilu v zmysle konkrétnych požiadaviek. Fáza tvorby povrchových dát končí finálnym a kompletným 3D modelom vozidla pozostávajúcim z A-Class plôch. [3]

Vstupom pre procesy modelovania povrchov môžu byť mračná bodov získané skenom dizajnového hlineného modelu. Úlohou je preložiť mračnom bodov hladké tvarové povrchy tzv. NURBS

povrchy (Non-uniform rational B-spline Surfaces). Vstupné dáta ešte nerespektujú technológiu výroby a podmienky konštrukcie, zakladajú sa na prvotnej koncepcnej stavbe a predstave stvárnenia budúceho automobilu oddelením dizajnu. [5]

Know-how modelovania A-class plôch spočíva v tvorbe, ladení, delení a celkovej logike usporiadania. Usporiadanie a konkrétne rozdelenie plôch na karosérii vozidla vyžaduje odborné skúsenosti modelára. Plyní to z možností naladenia a napojenia jednotlivých plôch v zmysle požiadaviek na ich kvalitu.



Obr. 2 A-class plošný model automobilu [6]

V súčasnosti patria medzi najpoužívanejšie softvérové nástroje pre A-class modelovanie tieto softvéry:

- **ICEM Surf** od Dassault Systèmes je najpokročilejší softvér pre tvorbu povrchových dát, analýzu kvality povrchov, vizualizáciu dizajnu a analýzu geometrických vlastností plôch, patrí medzi najpoužívanejšie v automobilovom priemysle,
- **Autodesk Shape Modeling** – plug-in pre Rhinoceros obsahuje nástroje pre tvorbu A-class plôch s možnosťou analýzy vytvorených povrchov v reálnom čase,
- **Autodesk Alias** – používaný všeobecne pre priemyselný dizajn s pokročilými funkciami pri koncepcnom dizajne vo vývoji automobilov s možnosťou tvorby A-class povrchov. [7]

2. TVORBA POVRCHOVÝCH DÁT V ICEM SURF

Často používaným softvérom pri tvorbe povrchových dát v automobilovom priemysle je **ICEM Surf**. Vznikol na účely tvorby vysokopresných povrchov v automobilovom a leteckom priemysle. Ide o neparametrický modelár, ktorý plochy usporadúva voľne vo virtuálnom priestore v orientovanom smere osí **x**, **y** a **z**. Kótovanie vzdialeností alebo fixácia plôch k virtuálnemu

priestoru nie sú možné tak ako opakovanie alebo kopírovanie vzorov pomocou známych príkazov z objemového alebo povrchového modelovania. Plochy je možné editovať jedine pomocou riadiacich polygónov – každú samostatne. [8]



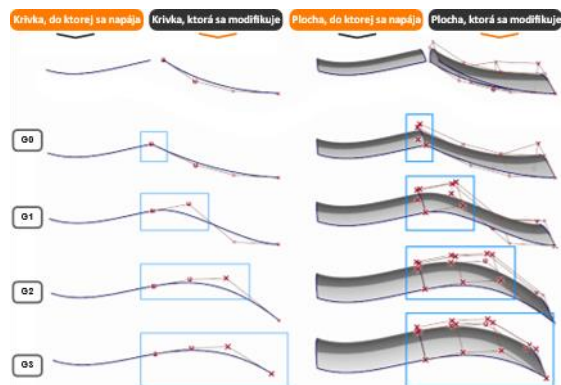
Obr. 3 Prostredie Icem Surf

2.1 Princíp práce

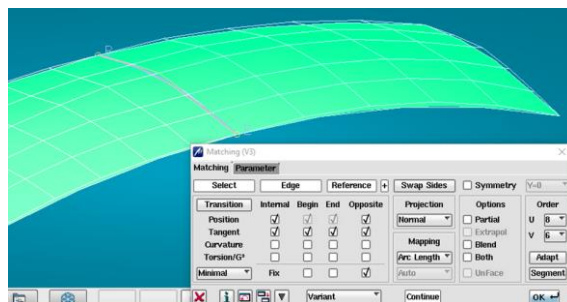
Vstupom pre modelovanie v softvéri ICEM Surf a vytváranie povrchových dát môže byť mračno bodov (sken fyzického modelu) alebo prvotné povrchové dáta z oddelenia dizajnu (bez stavby fyzického modelu). Technika spočíva najskôr v opísaní modelovaného tvaru pomocou základných plôch do tzv. teórie. Teória je modelovaný diel zostavený základnými a neorezanými plochami. Tieto plochy sa označujú ako „patch“ a tvoria časť konečnej orezanej plochy, ktorá sa označuje „face“. Zatiaľ čo „patch“ plochy možno v ICEM Surf modifikovať, „face“ je potrebné pre editáciu najskôr použitím príkazu „unface“ rozbiť späť do „patch“ formy. [8]

Plochy typu „patch“ v softvéri ICEM Surf majú vždy štyri hrany. Plochu možno vytvoriť definovaním ľubovoľných geometrických prvkov - roviny, krivky alebo bodov v závislosti od potrieb. Po vytvorení ju možno modifikovať pomocou riadiacich bodov - **polygónov**. Medzi základné druhy manipulácie s polygónmi patrí translácia – po normále alebo po tangente.

Komponenty sú poskladané z viacerých plôch, ktorých počet je závislý od zložitosti tvaru. Jednotlivé plochy sú na seba napojené. Spôsob napojenia je charakterizovaný niekoľkými stupňami. Prvým je napojenie na pozíciu (G0), druhým napojenie na tangentu (G1) a tretím napojenie na krivosť (G2). Existuje tiež torzné napojenie (G3), ktoré sa pri tvorbe povrchových dát automobilu používa veľmi zriedka. Jednotlivé stupne napojenia sú ilustrované na obrázku č.4. Úprava, kontrola napojenia a ostatné podmienky napojenia plôch sa v softvéri ICEM Surf realizujú pomocou nástroja „matching“ (obrázok 5).



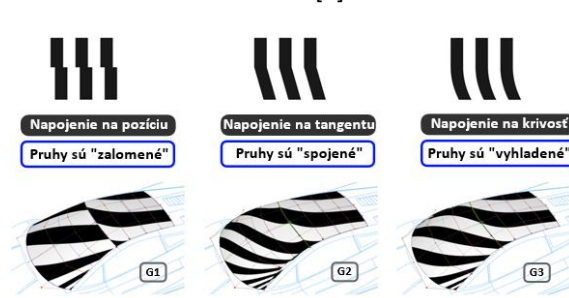
Obr. 4 Spôsoby napojenia kriviek a plôch [4]



Obr. 5 Kontrolný nástroj napojenia plôch

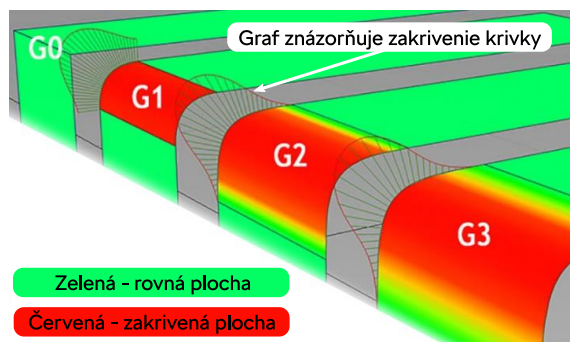
2.2 Estetické požiadavky

Jednou z hlavných požiadaviek na povrchy je **dizajnová kvalita**. Kontrolovaná je kvalita napojenia a plynulosť prechodov jednotlivých plôch. Kvalitu možno vizuálne kontrolovať a analyzovať metódou zebřých pruhov, ktorá spočíva v premietaní rovnobežných pruhov na povrch vozidla. Nastavením rôznej hustoty a hrúbky pruhov sa zisťuje kvalita napojenia a zakrivenia. Jednotlivé napojenia sú pomocou analýzy zebřých pruhov ilustrované na obrázku č. 6. [9]



Obr. 6 Kontrola napojenia nástrojom zebřých pruhov [9]

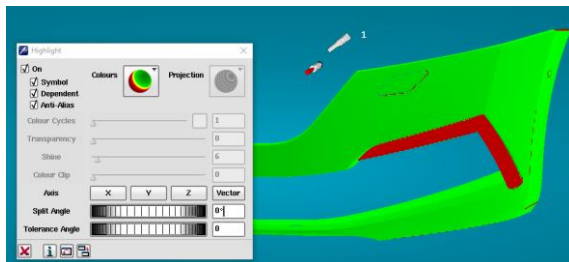
Pre kontrolu estetiky plôch možno tiež použiť nástroj hrebeňový graf krivosti. Ten graficky vykresľuje stupne zakrivenia a poukazuje na prípadné nerovnomerné zaoblenia kriviek (obr. 7).



Obr. 7 Kontrola stupňa zakrivenia [9]

2.2 Technologické a konštrukčné požiadavky

Okrem dizajnej kvality povrchových dát automobilu je potrebné plochy modifikovať v zmysle technológie výroby a konštrukcie jednotlivých dielov. Pre zohľadnenie **technológie výroby** sa v závislosti od modelovaného komponentu a použitého materiálu používajú kontrolné nástroje minimálnych uhlov a zaoblení. V softvéri Icem Surf sa kontrola vykonáva nástrojom „Highlight“, ktorý na základe zvoleného intervalu (uhol, polomer) zafarbí kontrolovaný diel. Miesta, kde je rozmer mimo zvoleného intervalu, kontrolný nástroj farebne zvýrazní pre potrebu úpravy. Na obrázku 8 je ukážka predného nárazníka (zelená) a ozdobná lišta nárazníka konštruovaná samostatne v inom formovacom smere (červená).



Obr. 8 Kontrola formovacích smerov [8]

Z hľadiska **konštrukcie** sa povrchové dáta upravujú na základe odporúčaní vo forme nákresov v jednotlivých rezoch, sú to procesy geometrickej integrácie. Do konštrukčných požiadaviek patria tiež pevnostné charakteristiky komponentov. Pre exaktné posúdenie sú diely podrobené kontrole prostredníctvom MKP (FEM) analýzy podľa okrajových podmienok použitia. V závislosti od výsledkov analýz dáta podliehajú úpravám – pridaním výstužných rebier, klipov alebo doplnkových montážnych prvkov.

Pre niektoré povrchové dáta platia podmienky **homologizácie** - napr. predný nárazník. Homologizácia súvisí s právno-technickými požiadavkami. Týka sa to umiestnenia hrán nárazníka v prípade stretu s chodcom alebo celkového riešenia vzniknutej škody pri poisťovacích nárazoch, ktoré priamo súvisia s poistnou sadzbou pre dané vozidlo.

ZÁVER

Povrchové dáta vozidla sú rozsiahlo zasahujú do podstatnej časti vývoja vozidla. Zasahujú do dizajnu, konštrukcie, technológie výroby a podliehajú tiež homologizácii. Pri konštruovaní povrchových dát vozidla je potrebné dbať najmä na estetické požiadavky, ktoré často ovplyvňuje potrebné zohľadnenie technológie výroby. Vyhovieť týmto požiadavkám znamená usporiadane a principiálne tvoriť povrchové dáta A-class kvality podľa nasledovných odporúčaní:

1. Riadiace body plôch musia plynulo nadväzovať – zaisťuje sa použitím hladkých kriviek bez náhlych zmien smeru, rovnomerným rozmiestnením riadiacich polygónov.
2. Počet riadiacich polygónov by mal byť čo najnižší – zaisťuje sa prístupom k popísaniu požadovaného tvaru čo najnižším stupňom polygónu.
3. Zaistenie požadovanej spojitosti v rovine súmernosti – pri vytváraní symetrických častí karosérie automobilu je potrebné zaisťovať nadväznosť po stredovej rovine súmernosti karosérie.
4. Dodržiavať tolerancie pre A-class plochy.
5. Dodržiavať rovnaký počet riadiacich bodov okrajových kriviek plôch – pri nadväzujúcich plochách preferovať rovnaký počet polygónov v susednom smere.
6. Každou zmenou kontrolovať technologické podmienky výroby a homologizačné odporúčania

POĎAKOVANIE

Článok bol vypracovaný s podporou projektu VEGA 1/0110/18.

LITERATÚRA

- [1] BERGMAN, M.: Material & Surface design methodology—the user study framework. 2020. Surf. Topogr.: Metrol. Prop. 8 044001; DOI: 10.1088/2051-672X/ab915f.
- [2] VALENTIN K.: Modelování ploch pro automobilové karosérie, Bakalárska práca, ČVUT Brno, 2016 [cit 07-11-2020]
- [3] SCHWAIGER, N.: Differences between class-A and class-B [online]. 2018, [cit 06-11-2020], Dostupné na <<https://www.mdds-schwaiger.de/english/product-optimising/>>
- [4] Autodesk.help: Understanding Class A Modeling in Alias Foundation Tutorials, 2018 [online], [cit 07-10-2020], Dostupné na <<https://knowledge.autodesk.com/support/alias-products/getting-started/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/ENU/Alias-Tutorials/files/GUID-64611955-D2CC-44F2-98F0-D4F1FE931D8B-htm.html>>
- [5] Škoda Storyboard: 8 kroků ke konceptu [online]. 2019, obrázok [cit 10-11-2020]. Dostupné na <https://www.skoda-storyboard.com/cs/inovace-cs/8-kroku-ke-konceptu/?_post_list_type=images>
- [6] ŠKODA Auto a.s. – interný materiál
- [7] TRAVERSO M.: Car Body Design Softwares [online], 2017 [cit 01-11-2020], Dostupné na <<https://www.carbodydesign.com/directory/car-design/car-design-software/>>
- [8] ŠKODA Auto a.s. – stáž v ŠKODA Auto
- [9] Autodesk.help: Visual Evaluation of 'Surface Area' - Surface Interior and Joins, 2013 [online], [cit 25-10-2020], Dostupné na <<http://www.bluesmith.co.uk/LW/theoryBuilders/evaluateZebra.htm>>

Correspondence address:

Ing. František Kupec
Technical University of Košice
Faculty of Mechanical Engineering
Department of Automotive Production
Mäsiarska 74, 040 01, Košice
Tel.: +421 55 602 3530
Email: frantisek.kupec@tuke.sk

DIGITALIZÁCIA V PRIEMYSELNÝCH PODNIKoch

Laura LACHVAJDEROVÁ, Jaroslava KÁDÁROVÁ

Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Ústav manažmentu, priemyselného a digitálneho inžinierstva
laura.lachvajderova@tuke.sk, jaroslava.kadarova@tuke.sk

Abstrakt:

Malé a stredné podniky (MSP) sú základom rastu väčšiny európskych ekonomík. Aj keď je zvýšenie ich konkurencieschopnosti na popredných miestach agendy, organizáciám na podporu podnikania a samotných podnikateľov a manažérov, stále chýba relevantná diskusia o rozvoji MSP prostredníctvom implementácie princípov Industry 4.0. Vykonaná analýza zaznamenala rozdiel a rozsah v príslušnej literatúre pre definíciu Industry 4.0. Analýza predstavuje výhody a nevýhody implementácie Industry 4.0. Takáto transformácia vyvoláva kritickú diskusiu o vplyve na vzdelanie a zručnosti pracovníkov. Výstupom je celkové zhodnotenie prínosov vykonanej teoretickej analýzy.

Kľúčové slová:

priemyselná revolúcia, Industry 4.0, výhody a nevýhody, malé a stredné podniky

ÚVOD

Nová priemyselná revolúcia známa aj ako Industry 4.0 je zameraná na digitalizáciu a integráciu hodnotového reťazca. Táto štvrtá priemyselná revolúcia mení výrobné procesy a logistické činnosti v dodávateľskom reťazci a hlavným cieľom implementácie Industry 4.0 v spoločnosti je dosiahnuť vyššiu produktivitu a flexibilitu. To sa však nedá dosiahnuť iba zlepšením výrobného procesu prostredníctvom postupných inovácií procesov, ale hlavne dôkladnou technologickou a organizačnou transformáciou, ako aj aktualizáciou obchodného modelu spoločnosti.

Aplikácia rôznych druhov inovácií a implementácia Industry 4.0 podporuje evolúciu systémov, v ktorých interakcia, a dokonca aj integrácia, dosahuje samostatnosť obchodných prvkov. Mnoho veľkých spoločností, ktoré majú zdroje a stratégie pre rozvoj, uznalo dôležitosť prijatia týchto nových postupov. Táto vlna priemyselnej revolúcie čoraz viac angažuje malé a stredné podniky (MSP), z ktorých sú mnohé stále vo fáze preverovania a analýzy nákladov a prínosov.

V záujme podporiť implementáciu Industry 4.0 tento dokument ponúka analýzu hlavných výhod a nevýhod pre malé a stredné podniky. Očakáva sa však, že rovnako ako v predchádzajúcich priemyselných revolúciách, kde zmeny ovplyvňovali mnoho segmentov fungovania spoločností a aj samotného ekosystému, nebudú schopné prežiť tie podniky, ktoré sa nedokážu prispôbiť.

1 INDUSTRY 4.0

Približne 80% európskeho vývozu predstavuje priemyselný tovar. Európsky priemysel predstavuje 16% HDP EÚ a zamestnáva približne 32 miliónov ľudí vo viac ako 2 miliónoch podnikov. Tieto čísla ukazujú, že odvetvie priemyslu je motorom prosperity a rastu v Európe [1]. Po mnoho desaťročí je prebiehajúci proces priemyselnej automatizácie a digitalizácie jedným zo zdrojov, vďaka ktorým môžu európske spoločnosti uspieť v globálnej konkurencii. Takmer vo všetkých európskych krajinách je dnes priemysel nútený k zvýšenej a systematickej digitalizácii tak, aby sa stala efektívnejšou (znižovanie nákladov), flexibilnejšou (individualizované produkty bez zvyšovania nákladov za kus) a predovšetkým aby inovovala nové, digitalizované obchodné modely. Digitalizácia sa tak stala nevyhnutným faktorom úspechu európskych spoločností [2]. Vznik a nakoniec aj všade prítomnosť internetu v každodennom živote navyše núti priemyselné odvetvia prispôbiť svoju organizáciu vysokej úrovni konektivity. Prevrat praktík vyvolaný internetom a digitálnymi technológiami sa dostal do výrobného procesu v priemyselných odvetviach a táto potreba spojenia začala hlbokými zmenami a zaviedla novú paradigmatu, ktorou sa stala už spomínaná priemyselná revolúcia, resp. Industry 4.0. Vzťahuje sa na jav súvisiaci s novým využitím pre spotrebiteľov a novými objektmi, ktoré majú priamy vplyv na súčasné obchodné modely a organizácie.

Čoraz viac sa spája s definíciou digitalizácie a tento termín sa čoraz viac používa v kontexte digitálnej transformácie spoločností [4].



Obr. 1 Prehľad iniciatív v oblasti digitalizácie priemyslu v EÚ. Zdroj: [3]

Tvárou v tvár digitálnemu prevratu sa digitálna transformácia stala hlavnou a strategickou témou pre organizácie všetkých veľkostí: obchod, marketing, ľudské zdroje, výrobný proces, informačný systém, dáta atď. [5].

2 INDUSTRY 4.0 V MALÝCH A STREDNÝCH PODNIKOKCH

Záujem o implementáciu konceptov Industry 4.0 v rámci obchodných operácií MSP v posledných rokoch výrazne stúpa. Je rovnako dôležité na makroúrovni aj na pevnej úrovni, čo vedie k nekonečným diskusiám o výhodách a nevýhodách.

2.1 Výhody implementácie Industry 4.0

Očakáva sa, že vplyv Industry 4.0 na spoločnosti a priemysel umožní vznik nových obchodných modelov ovplyvňujúcich a pretvárajúcich celý životný cyklus výrobkov od ich prípravy po ich marketing, čo povedie k zlepšeniu obchodných procesov a v konečnom dôsledku k zvýšeniu konkurencieschopnosti spoločností [6]. Podľa Müllera a kol. (2018) proces implementácie nových technológií sa vedie vo všetkých priemyselných odvetviach tak, aby viedol k zníženiu nákladov, zvyšovaniu produktivity a poskytovaniu zákazníkom riešenia šité na mieru a naplňujú ich špecifiká [7]. Pretože pojem Industry 4.0 pochádza z high-tech stratégie zavedenej nemeckou vládou, bude sa vplyv na malé a stredné podniky analyzovať s ohľadom na niekoľko štúdií a správ založených na údajoch zhromaždených nemeckými spoločnosťami.

Podľa štúdie uskutočnenej spoločnosťou Boston Consulting Group s viac ako 600 nemeckými a americkými spoločnosťami približne 19% nemeckých

spoločností úplne aplikovalo Industry 4.0, čo znamená, že implementovali opatrenia inteligentnej továrne alebo minimálne zaviedli prvé opatrenia smerujúce ku konceptu (autonómnych robotov) pričom v porovnaní s americkými spoločnosťami to bolo 16%. Ďalšie poskytnuté údaje ukazujú, že nemeckých výrobcov možno považovať za veľmi ambiciózných, pretože 60% z nich plánuje aplikáciu alebo použitie pokrokových technológií (v priebehu nasledujúceho jedného alebo dvoch rokov), ako je logistika digitálnych závodov alebo prediktívna údržba, v porovnaní s približne 40% amerických výrobcov. Zdá sa, že nemecké spoločnosti sú v oblasti prípravy na Industry 4.0 v porovnaní s kolegami z USA ďalej vpred, pretože takmer polovica (47%) nemeckých spoločností vyvinula svoje prvé úplné koncepty Industry 4.0 a iba 18% nemeckých respondentov uviedlo, že ich spoločnosť ešte nie je pripravená predstaviť technológie Industry 4.0. Na porovnanie, iba 29% amerických spoločností vyvinulo svoje prvé koncepty a 41% uviedlo, že ich spoločnosť ešte nie je pripravená. Mierne rozdiely v pokročilejšej fáze Industry 4.0 v nemeckých a amerických spoločnostiach sa neodzrkadľujú v názoroch respondentov na dôležité výhody jeho prijatia. Napríklad tri štvrtiny nemeckých respondentov a dve tretiny amerických respondentov spája Industry 4.0 so zvýšenou produktivitou a znížením nákladov. Takmer rovnaké množstvo respondentov v oboch krajinách (48% v Nemecku a 43% v USA) to tiež spája s rastom výnosov. Čo stojí za zmienku je, že výhody vyplývajúce z Industry 4.0 závisia od toho, ako úspešne sa spoločnosti rozvíjajú a riadia nový kvalifikovaný personál [8].

Schröder (2016) zaznamenal silné prepojenie medzi veľkosťou spoločnosti a implementáciou Industry 4.0, pretože veľké spoločnosti sú podstatne pokročilejšie v integrácii svojich výrobných závodov do systémov IT na vyššej úrovni. Tvrdí tiež, že neexistuje univerzálny model uplatňovania Industry 4.0 v MSP a vnímanie výziev a príležitostí, ktoré Industry 4.0 predstavuje, závisí od rôznych charakteristík spoločností [9]. **Ekonomický potenciál Industry 4.0** - Hodnotenie ekonomických výsledkov je dosť ťažké. Jednou z vecí, ktorú možno považovať za veľkú príležitosť, je zníženie nákladov, ako je uvedené vyššie, ktoré vedie k hospodárnosti finančných zdrojov. Keďže v súčasnosti existuje veľa obchodných nástrojov a softvérov dostupných prostredníctvom cloud computing (aplikácie alebo programy uložené na serveroch - dostupné kdekoľvek a kedykoľvek), malé a stredné podniky nemusia platiť vysoké náklady za digitalizáciu svojich podnikov [10]. **Inteligentný proces = kvalitný výrobok** - Inteligentné technológie sa dnes používajú

v každom priemysle, najmä vo výrobných procesoch v MSP, ktoré vedú k vytváraniu inteligentných produktov. Začlenením inteligentných technológií do výrobného procesu sú malé a stredné podniky schopné tento proces monitorovať, sledovať, kontrolovať a robiť ho autonómnym. Inteligentné produkty tiež obsahujú dôležité informácie o ich výrobnom procese, ako aj o ich účele a použití. Takéto inteligentné produkty sú vybavené senzormi, komponentmi a procesormi, ktorých cieľom je zhromažďovať informácie a pokyny zákazníkom a posilať tieto údaje do výrobného systému. Týmto spôsobom sa výrazne zvyšuje kvalita výrobkov, ako aj efektívnosť výrobného procesu z hľadiska času a nákladov [11]. Tieto výhody môžu transformovať model práce MSP na inteligentný model a pomôcť im rásť. Prognóza potenciálnych úspor pre rôzne oblasti výroby je uvedená v tabuľke 1.

Tab. 1 HODNOTENIE POTENCIÁLNYCH PRÍNOSOV

Druhy nákladov	Celková hodnota
náklady na inventarizáciu	-30% až -40%
výrobné náklady	-10% až -20%
logistické náklady	-10% až -20%
náklady na obtiažnosť	-60% až -70%
náklady na kvalitu	-10% až -20%
náklady na údržbu	-20% až -30%

Zdroj: [9]

Dôležitou príležitosťou, ktorú predstavuje Industry 4.0 a má veľký dopad na malé a stredné podniky, je koncept „digitálneho dvojčata“. Tento koncept je definovaný ako virtuálna ilustrácia a model daného aktíva (hmotného a nehmotného). Digitálne dvojča je opísané prostredníctvom štruktúry a správania spojených prvkov alebo „vecí“ generujúcich údaje v reálnom čase. Údaje sa analyzujú, kombinujú s ostatnými údajmi súvisiacimi s pracovným prostredím a predkladajú sa MSP alebo používateľovi vo forme „digitálneho dvojčata“ s myšlienkou porozumieť jeho histórii, potrebám, pozadiu a komunikovať s ním s cieľom dokončiť určité úlohy. Digitálne dvojča predstavuje spoločnostiam a používateľom možnosti rýchlo a pragmaticky hľadať najlepšie riešenia daných problémov. Dobrým príkladom využitia takéhoto riešenia v praxi je Laboratórium pre spoluprácu, ktorý patrí Inštitútu pre informačný manažment v strojárstve a Technologickému inštitútu v Karlsruhe. Tam sa digitálne dvojča stroja na brúsenie používa na optimalizáciu procesu a na prácu v sieti virtuálnej reality. Spolu s týmito činnosťami sa berie do úvahy aj tok zdrojov, aby sa preukázali praktické výhody navrhovaného riešenia umožňujúce zvýšenie produktivity o viac ako 20%. Podľa Nemeckej

asociácie informačných technológií, telekomunikácií a nových médií (BITKOM) budú mať digitálne dvojčata vo výrobných odvetviach do roku 2025 kombinovaný ekonomický potenciál presahujúci 78 miliárd EUR [12]. Lorenz a kol. v roku 2016, tiež poznamenáva, že nedostatočná bezpečnosť údajov je jednou z hlavných výziev spoločností. Rovnaký zdroj poukazuje na nedostatok kvalifikovaných zamestnancov ako na najvyššiu výzvu, po ktorej nasledujú investičné požiadavky [8]. Podľa Türkes M. a kol. (2019), nedostatok odborných znalostí tiež predstavuje hranicu pre rozvoj Industry 4.0, čo znamená, že v spoločnosti chýba kultúra, neuskutočňujú sa žiadne interné školenie ohľadom získavania digitálnych zručností a majú značný deficit špecialistov pre implementáciu nových technológií [13].

2.2 Nevýhody implementácie Industry 4.0

Malé a stredné podniky majú v súvislosti s prijatím Industry 4.0 v porovnaní s veľkými spoločnosťami väčšie problémy, pretože väčšina z nich nemá plne automatizovanú výrobu, takže podiel manuálnych a hybridných činností je vyšší. Odporúča sa im preto, aby sa obrátili na sieťovo prepojenú výrobu, aby nestratili svoju konkurenčnú výhodu na medzinárodných trhoch. Jednou z najväčších výziev, ktorým malé a stredné podniky čelia alebo budú čeliť, je vypracovanie príslušnej stratégie, analýza nákladov a prínosov technológií Industry 4.0, ktorá bude pre nich užitočná, a nedostatočná bezpečnosť údajov. **Nedostatok digitálnej stratégie** - digitálna stratégia, ktorá je prispôbená digitálnej a obchodnej realite a výzvam, sa označuje za jednu z príležitostí pre rozvoj, ktorú predstavuje Industry 4.0, avšak jej nedostatok sa považuje za obmedzenie rastu MSP. Vrcholový manažment malých a stredných podnikov v oblasti výroby je v súvislosti s Industry 4.0 a predovšetkým vo vzťahu k výrobným sieťam v porovnaní s výrobnými manažermi opatrnejší [14]. Táto opatrnosť môže byť problematická, pretože aplikácia a integrácia Industry 4.0 v malých a stredných podnikoch musí byť starostlivo naplánovaná a vývoj komplexnej digitálnej stratégie by mal byť zahájený vo veľmi skorej fáze implementácie. V rámci stratégie by sa mala zohľadniť reštrukturalizácia všetkých firemných procesov, postavenie a kvalifikácia zamestnancov, najmä pokiaľ ide o vývoj nových obchodných modelov a otváranie nových trhov. **Nedostatok jednotných noriem a právnych predpisov** - ide o absenciu jednotných štandardov a noriem v oblasti integrácie IT systémov a ďalších údajov a strojov v rámci spoločnosti. Medzinárodný štandard ešte nebol implementovaný a nenašli sa žiadne aktuálne

informácie. To umožňuje výskyt chýb a nesúlado v integračnom procese spolu s narastajúcimi nepokojmi o neoprávnenom prístupe k určitým údajom. **Nedostatočná bezpečnosť údajov** - tento nedostatok je prepojený s nedostatkom jednotných noriem a právnych predpisov. Ak si malý a stredný podnik želá vytvoriť funkčnú digitálnu sieť, vyžaduje sa, aby mali všetci aktéri vzájomnú dôveru v údajoch, ktoré zdieľajú. Predmetné údaje siahajú od informácií o výrobných výhodách malých a stredných podnikov po nové nápady na vytváranie inovatívnych výrobkov. Únik dôležitých dokumentov môže negatívne ovplyvniť reputáciu spoločností a viesť k strate ziskov a klientov. Malé a stredné podniky vnímajú, že používanie technológie Industry 4.0, napríklad cloudových služieb, nechráni dôverné údaje spoločnosti a umožňuje prístup tretích strán. Problémy s bezpečnosťou zvyšuje skutočnosť, že MSP si nie sú isté geografickým umiestnením uložených údajov a jurisdikciou, v ktorej sa uplatňujú.

Všetky tieto nevýhody predstavujú výzvu pre MSP, najmä v krajinách EÚ, ktoré sa považujú za „skromných inovátorov“, ako je napr. Bulharsko. Táto krajina bola na jednom z posledných miest z hľadiska zavádzania digitálnych technológií v ekonomike a spoločnosti podľa indexu DESI, 2018. S cieľom podporiť rast bulharských malých a stredných podnikov sa uskutočnila národná stratégia „Transformácia bulharského priemyslu - Industry 4.0“ no aj napriek tomu Bulharsko čaká ešte dlhá cesta. Jednou z najväčších prekážok je nepracujúci ekosystém inovácií (veda - vzdelávanie - inovácie) a slabý vplyv výskumu a vývoja konkurencieschopnosti MSP. V IKT sektore sa uznáva veľká príležitosť, pretože je definovaný ako najsilnejšia hybná sila rastu v priemysle. Vytváranie klastrov IKT pre priemyselné využitie v krajine by mohlo urýchliť prijatie prvkov Industry 4.0 v malých a stredných podnikoch. Ďalšia príležitosť spočíva v rozšírení sietí pre prístup novej generácie (NGA) a prijatí budúcich internetových aplikácií založených na vysoko kvalitných elektronických službách. Vplyvy Industry 4.0 na Bulharsko a všetky ostatné krajiny sa považuje za vyšší stupeň internacionalizácie výroby, ktorý bude ľahšie dosiahnuteľný pre veľké spoločnosti, ktoré implementovali riešenia založené na Industry 4.0, a pre malé a stredné podniky by to bolo ťažšie, lebo tie sú viac závislé od veľkých spoločností ako od svojich zákazníkov.

Podľa Smith a kol. (2016), je potrebné tieto výzvy riešiť prijatím všestranného prístupu vrátane nasledujúcich opatrení:

- umiestnenie v existujúcich dodávateľských reťazcoch vedľa vedúcich predstaviteľov Industry 4.0 a ťaženie z ich znalostí a skúseností,
- zameranie sa na rozvojové medzery v rozptýlenejšom produkčnom systéme a ich marketing na medzinárodnej úrovni,
- implementácia pokročilých riešení, ktoré uľahčujú výrobu, napr. 3D tlač,
- zlepšenie spracovania údajov so zreteľom na plánovanie zdrojov a riadenie vzťahov so zákazníkmi [15].

Nové technológie a koncepcie zavedené v rámci Industry 4.0 rýchlo menia obchodné prostredie pre malé a stredné podniky. Či už chcú alebo nie, budú sa musieť zaoberať budúcimi trendmi, aby si udržali svoju konkurenčnú výhodu a prosperovali. Vzdelanie v oblasti zložitosti a predpokladov implementácie Industry 4.0 je preto nanajvýš dôležité pre manažment aj zamestnancov MSP. Kľúčovým prínosom pre úspech Industry 4.0 môže byť rekvalifikácia, celoživotné vzdelávanie a neustále prispôsobovanie sa potrebám trhu a priemyslu, vedené zvyšujúcou sa digitalizáciou ekonomiky a pracovných procesov. Dopad Industry 4.0 na stroje, systémy a procesy vo firmách by spočíval v tom, že by sa integrovali a bezdrôtovo prepojili, čo by pre vysoko kvalifikovaní zamestnancov znamenalo nutnosť interakcie a tak by zabezpečili efektívny pracovný proces. Odstránenie rozdielov v kvalifikácii zamestnancov v MSP by znamenalo, že MSP majú veľkú šancu dobehnúť vývoj v rámci Industry 4.0 a nezostanú pozadu za veľkými spoločnosťami.

ZÁVER

Cieľom tohto príspevku bola podpora prieniku Industry 4.0 v malých a stredných podnikoch prostredníctvom podpory základných pilierov: objasnenie rozsahu Industry 4.0 a jeho dopadu na malé a stredné podniky. Koncepcia Industry 4.0 sa vo väčšine svojich oblastí opiera o možnosti odvodené z digitalizácie a IoT. Avšak obsahuje tiež malú časť založenú iba na nedigitálnych prvkoch, ako sú ľudia, organizácie a procesy. Toto je najlepšia ilustrácia jeho rozsahu. Túto štvrtú priemyselnú revolúciu vedú iba súčasné technické a technologické príležitosti, ktoré predstavujú novú éru nových flexibilných obchodných modelov. Vytvára sa tak úplne nový ekosystém, v ktorom budú mať výsadu úspechu iba tie spoločnosti, ktoré budú

schopné využívať optimálne zdroje a proaktívne a reaktívne reagovať na rýchlo sa meniace prostredie.

Vplyv, ktorý má Industry 4.0 na konkurencieschopnosť priemyslu prostredníctvom produktivity, flexibility a efektívnosti, mení jeho pozíciu revolučnej reformy na zásadný koncept. MSP, ktoré už analyzujú svoje príležitosti na reštrukturalizáciu podľa nových trendov, už prekonal hlavné bariéry vstupu spojené s nedostatkom znalostí a stratégie. Zámery Európskej komisie, národných a miestnych orgánov k Industry 4.0 naznačujú, že prinajmenšom v polovici cesty budú mať MSP v celej Európe ako podporu pri reštrukturalizácii alternatívne možnosti dostupného financovania (pôžičky alebo spolufinancované granty). Tento proces implementácie projektov financovaných z verejných prostriedkov je zvyčajne oveľa dlhší, ale malé a stredné podniky potrebujú toto oneskorenie na to, aby mohli začať s nedigitálnymi reformami. Táto revolúcia v obchodnom modeli, kultúre a myslení organizácií musí byť v súlade s rozvojom ľudského kapitálu a technologickou a trhovou stratégiou organizácie. Je zrejmé, že pre mnohé malé a stredné podniky bude samotné splnenie predpokladov úspešnej implementácie Industry 4.0 prínosom.

POĎAKOVANIE

Článok je čiastkovým výstupom riešenie nasledujúcich grantových projektov KEGA 009TUKE-4/2020 Transfer digitalizácie do vzdelávania v študijnom programe riadenie a ekonomika podniku, VEGA 1/0340/21 Vplyv pandémie a následnej hospodárskej krízy na vývoj digitalizácie podnikov a spoločnosti na Slovensku.

Použitá literatúra:

- [1] Shaping Industrie 4.0. Autonomous, interoperable and sustainable (2019) [online]. [cit. 2020-12-28]. Dostupné z: <https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/EN/Downloads/Publication/2019-progress-report.html>.
- [2] KÁDÁROVÁ, J.: Economics of the enterprise innovation. Interdisciplinarity in Theory and Practice, 2017, (14), 29-33 [cit. 2020-12-28]. ISSN 2344-2409.
- [3] Coordination of European, national & regional initiatives [online]. European Commission, 2018 [cit. 2020-12-28]. Dostupné z: [https://ec.europa.eu/digital-single-](https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/coordination-european-national-regional-initiatives)
- market/en/coordination-european-national-regional-initiatives.
- [4] MARIO, M., HIRIGOYEN, S.: Réussir le défi du digital en 2019. Bordeaux: Digitall Conseil.
- [5] KÁDÁROVÁ, J., BAJUS, R., RAJNOHA, R.: Optimal Financing of the Industrial Enterprise. Procedia Economics and Finance: Business, Economics, Management and Tourism. 2015, (Vol. 23), 953-958 [cit. 2020-12-28]. ISSN 2212-5671.
- [6] PEREIRA, A.C. a F. ROMERO. A review of the meanings and the implications of the Industry 4.0 concept. Procedia Manufacturing [online]. Department of Production and Systems, University of Minho, Portugalsko: Elsevier, 2017, (Vol. 13), 1206-1214 [cit. 2020-12-29]. Dostupné z: [doi:https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.032](https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.032).
- [7] MULLER, J. a kol.: What Drives the Implementation of Industry 4.0? The Role of Opportunities and Challenges in the Context of Sustainability [online]. Nürnberg 90403, Nemecko, 2018 [cit. 2020-12-29]. Dostupné z: [doi:https://doi.org/10.3390/su10010247](https://doi.org/10.3390/su10010247).
- [8] LORENZ, M. a kol.: Time to Accelerate in the Race Toward Industry 4.0 [online]. [cit. 2020-12-29]. Dostupné z: <https://www.bcg.com/publications/2016/lean-manufacturing-operations-time-accelerate-race-toward-industry-4>.
- [9] SCHRÖDER, CH. The Challenges of Industry 4.0 for Small and Medium-sized Enterprises [online]. Friedrich-Ebert-Stiftung. Division for Economic and Social Policy, 2016, 29 [cit. 2020-12-29]. ISBN 978-3-95861-543-4. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/305789672_The_Challenges_of_Industry_40_for_Small_and_Medium-sized_Enterprises.
- [10] DECKER A. (2017) Industry 4.0 and SMEs in the Northern Jutland Region. In: Marinova S., Larimo J., Nummela N. (eds) Value Creation in International Business. Palgrave Macmillan, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-39369-8_13.
- [11] MARESOVA, P. a kol.: Consequences of Industry 4.0 in Business and Economics [online]. 2018 [cit. 2020-12-29]. Dostupné z: [doi:https://doi.org/10.3390/economies6030046](https://doi.org/10.3390/economies6030046).
- [12] POPOVA, M. a kol.: Industry 4.0 - Challenges and consequences for the economic and social development of Bulgaria, 2018, Friedrich-Ebert-Stiftung, ISBN 978-954-2979-32-6.

- [13] TÜRKEŞ, M. a kol.: Drivers and Barriers in Using Industry 4.0: A Perspective of SMEs in Romania. *Proceses* 7(3), Marec 2019 [online]. [cit. 2020-12-29]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.3390/pr7030153>.
- [14] PEREIRA, A.C., ROMERO, F.: A review of the meanings and the implications of the Industry 4.0 concept, *Procedia Manufacturing*, Volume 13, 2017, s. 1206-1214.
- [15] SMIT J. a kol.: Industry 4.0, Policy Department A: Economic and Scientific Policy, 2016, European Union.

Korešpondenčná adresa:

Ing. Laura Lachvajderová
prof. Ing. Jaroslava Kádárová, PhD.
Technická univerzita v Košiciach
Strojnícka fakulta
Ústav manažmentu, priemyselného a digitálneho
inžinierstva
Park Komenského 9, 042 00, Košice
Tel.: +421 55 602 2724
Email: laura.lachvajderova@tuke.sk

METODIKA PROCESU VÝROBY MEDICÍNSKEHO POLYMÉRU PEEK S PRÍMESOU KERAMIKY

Samuel LANCOŠ, Miroslav KOHAN, Gabika DANCÁKOVÁ, Tomáš BALINT, Marek SCHNITZER,
Peter SZEDLAK, Jozef ŽIVČÁK, Radovan HUDÁK

Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Katedra biomedicínskeho inžinierstva a merania, Slovensko
samuel.lancos@tuke.sk, miroslav.kohan@tuke.sk, gabika.dancakova2@tuke.sk, tomas.balint@tuke.sk,
marek.schnitzer@tuke.sk, peterszedlak@gmail.com, jozef.zivcak@tuke.sk, radovan.hudak@tuke.sk

Abstrakt

Článok popisuje kompletnú metodiku a postup výroby filamentov (3D tlačového vlákna) ako aj popis základných parametrov stroja. Medicínsky certifikované materiály vo forme granulátu boli použité pre výrobu filamentov, ktoré sa používajú pre aditívnu výrobu. Výroba filamentov bola realizovaná dvoma materiálmi: čistý PEEK a PEEK s kompozitnou prísadou keramiky. Prímes bola tvorená dvoma keramickými zložkami: Hydroxyapatit (HA) a Trikalciom fosfát (TCP), pričom percentuálne zastúpenie oboch materiálov bolo 10%. Na výrobu filamentov sa použili zariadenia filament maker (Precision series) a sušička od spoločnosti 3Devo (Holandsko).

Kľúčové slová:

PEEK, keramika, extrúzia, filament maker

ÚVOD

Progres v technológiách a výrobných postupoch už dlhšie umožňuje vyrábať medicínske predmety aj z vysokoteplotných polymérov za pomoci aditívnej technológie. Implantáty vyrobené touto technológiou nie sú v terajšej dobe ničím zvláštnym. Sú dlhodobo používané napr. pri liečbe chrbtice, ortopédii, maxilofaciálnej chirurgii, atď [1]. V súčasnosti sa mnoho výrobcov pokúša dostať na trh nové materiály, ktorých mechanické a biologické vlastnosti sa viac hodia na konkrétny medicínsky účel, a budú slúžiť ako náhrada dnešným bežne používaným materiálom.

Polyéteréterketón (PEEK) je semikryštalický biokompatibilný polymér s mechanickými vlastnosťami prijateľnými pre biomedicínske aplikácie [2,3]. Vďaka svojej relatívnej inertnosti sú biomateriály na báze PEEK atraktívnou voľbou pre vývoj nových bioaktívnych materiálov. Práve kvôli tomu sa do PEEK materiálu pridávajú rozličné prímesi keramických materiálov, ako napríklad TCP (trikalciom fosfát) a HA (hydroxyapatit) [4]. Prídavok HA/TCP materiálu do PEEK znižuje jeho Youngov modul pružnosti, čím sa táto zmes mechanickými vlastnosťami viac približuje ľudským kostiam [5]. Osseointegrácia spomínaných keramických materiálov hrá pri medicínskych aplikáciách tak isto veľkú úlohu [3]. Práve kvôli tomu je PEEK v zmesi

s keramikou vhodný pre budúce medicínske použitie.

1. POSTUP VÝROBY TLAČOVÉHO VLÁKNA

Pri výrobe filamentov sa použili materiály: PEEK (Grade: LUVOCOM 3F PEEK 9581 NT) a zmes PEEK-80%/TCP-10%/HA-10% (Grade: SOLVAY – ZENIVA ZA-500). Druhý menovaný materiál obsahuje okrem podielu PEEKu aj keramické materiály: HA a TCP, obe 10 percentný hmotnostný podiel. Proces transformácie materiálu sa vykonával na zariadeniach od výrobcu 3Devo (Holandsko) (Obr. 2,3).

1.1 Predpríprava granulátu



Obr. 1 Granulát: čistý PEEK (A), PEEK s prísadou keramiky (B)

Obe PEEK-ové varianty materiálu boli dodané vo forme granulátu (Obr. 1), chránené pred vlhkosťou a svetlom nepriehľadným vákuovým balením. Napriek tomu boli materiály podrobené procesom sušenia v zariadení sušička od spoločnosti 3Devo. Sušenie granulátu bolo vykonávané pri teplote 150°C a trvalo 3 hodiny. Pri oboch variantoch bol zvolený rovnaký postup sušenia. Rotujúce lopatky prístroja počas procesu sušenia miešajú materiál, pričom rovnomerne distribuujú teplo vyžarované sušičkou. Proces sušenia bol zvolený z dôvodu eliminovania vlhkosti v materiály.



Obr. 2 Sušička granulátu

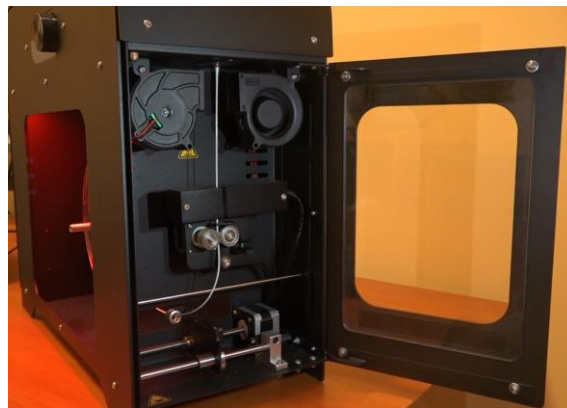
1.2 Extrúzia filamentu

Extrúzia bola vykonaná na zariadení filament maker (Precision series). Prístroj bol umiestnený do miestnosti s klimatizáciou, pre udržanie stálnej teploty. Pre čistý PEEK, ako aj PEEK s prísadou keramiky, sme zvolili rovnaké počiatočné teploty na všetkých štyroch tepelných telesách filament makera, t.j. 400°C. Táto teplota bola zvolená na základe poznatkov o teplote topenia materiálu PEEK, zvýšenú o 50°C pre dosiahnutie redšej zmesi [6]. Pre dosiahnutie takej vysokej teploty sme potrebovali tranzitné materiály, pretože málo materiálov dokáže zniesť taký široký teplotný rozsah (15-400°C). Použili sa 3 tranzitné materiály:

- HDPE - teplotný rozsah 180-280°C,
- Devoclean MidTemp - teplotný rozsah 180-320°C,
- Devoclean HighTemp - teplotný rozsah 320-420°C.

Tieto tranzitné materiály slúžia aj ako čistiace materiály po ukončení extrúzie. Na začiatok sme na filament makery nastavili hodnoty všetkých

štyroch výhrevných článkov na teplotu 280°C. Táto teplota má spoločný prienik teplotných rozsahov HDPE a materiálu Devoclean MidTemp. Ďalším krokom bolo použitie druhého spomenutého materiálu. Následne sa na výhrevných telesách nastavili hodnoty 320°C a tento postup sa opakoval s materiálmi Devoclean MidTemp a Devoclean HighTemp. Postupným zvyšovaním teplôt sme sa dostali na požadovaných 400°C. Čistý PEEK ako aj PEEK s keramikou pri tejto teplote nehorí, ale zároveň nemajú príliš vysokú hustotu.

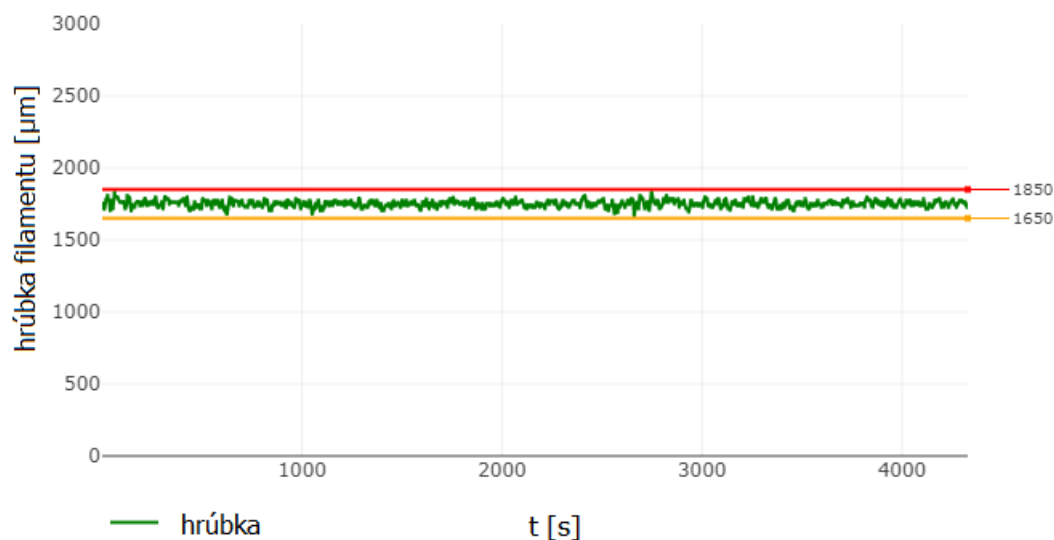


Obr. 3 Extrúzia materiálu filament makerom

Po ustálení toku filamentu sme vyextrudované vlákno umiestnili do snímača, ktorý sníma jeho priemer. Pri následnom znižovaní teplôt jednotlivých tepelných telies sme sa snažili doceliť aby bol rozsah odoberaného prúdu od 2000-2200mA. Pri extrúzii sa sledovali aj iné dôležité parametre ako sú: rýchlosť rotácie posuvnej skrutky a chladenie príslušnými ventilátormi. Vhodnou kombináciou týchto parametrov sme sa snažili doceliť filament s priemerom 1,75mm. Finálne kombinácie parametrov sú zhrnuté v TABUĽKÁCH 1,2. Filament sa následne navíja do cievky. Graf zobrazujúci hrúbku filamentu môžete vidieť na Obr. 4,5.

TABUĽKA 1. Výrobné parametre – čistého PEEK

Čistý PEEK				
Výhrevné teleso	#4	#3	#2	#1
Teplota reálna	371	383	385	390
Teplota nastavená	372	385	385	390
Otáčky skrutky (RPM)	4,5			
Výkon ventilátora [%]	70			
Teplota okolia [°C]	18			

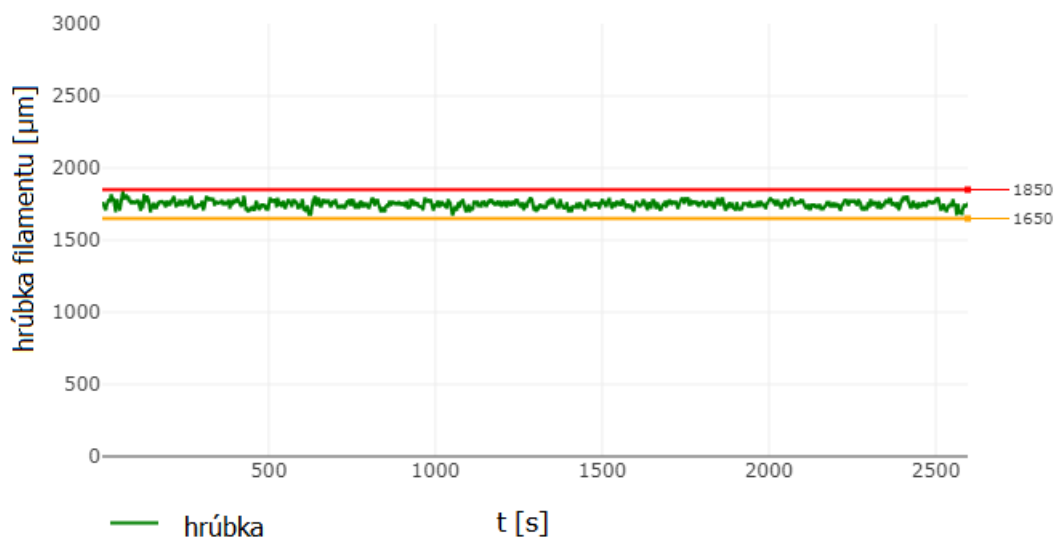


Obr. 4 Časový priebeh priemeru extrudovaného filamentu – čistý PEEK

TABUĽKA 2. Výrobné parametre – PEEK-80%/TCP-10%/HA-10%

Zmes: PEEK-80%/TCP-10%/HA-10%

Výhrevné teleso	#4	#3	#2	#1		Otáčky skrutky (RPM)	4
Teplota reálna	422	397	399	399		Výkon ventilátora [%]	100
Teplota nastavená	420	400	400	400		Teplota prostredia [°C]	18



Obr. 5 Časový priebeh priemeru extrudovaného filamentu - PEEK-80%/TCP-10%/HA-10%

ZÁVER

Výstupom článku je kompletný postup výroby filamentov transformáciou z granulátovej formy. Pri výrobe filamentov bola snaha vytvoriť filament s priemerom 1,75mm s toleranciou $\pm 0,1$ mm, ktorá je postačujúca pre väčšinu 3D tlačiarň. Pri tomto procese zohralo rolu veľa premenných. K nim treba

zahrnúť aj limitujúce faktory stroja. Konštantná teplota v miestnosti zabezpečila rýchle ochladzovanie vyextrudovaného vlákna. Pri výrobe vysokoteplotných polymérnych materiálov je nami zvolená teplota (18°C) kvôli vysokému rozdielu teplôt vyextrudovaného filamentu a miestnosti vhodná. K ochladeniu filamentu prispeli aj príslušné chladiace ventilátory.

Ak má nami použité zariadenie (filament maker) extrudovať stále rovnaké množstvo

materiálu, je nutné aby motor zariadenia udržal konštantné otáčky posuvnej skrutky. Z nášho pozorovania z displeja zariadenia môžeme povedať, že nastavené otáčky mali tendenciu kolísať ($\pm 0,2$ RPM). Ku nestálosti priemeru filamentu prispeli aj rozdiely v nastavených a reálnych teplotách výhrevných telies.

Zo zistených poznatkov, t.j. vhodných parametrov stroja pre extrúziu nových materiálov bolo zistené, že pre PEEK s keramikou boli potrebné vyššie teploty výhrevných telies ako čistý PEEK. Tento úkaz pripisujeme 20% prítomnosti keramiky, ktorá sa vyznačuje nízkou tepelnou vodivosťou ako PEEK [6,7]. Výhrevné telesá musia vyvinúť vyššie teploty na to, aby zohriali všetok materiál nachádzajúci sa v komore stroja. Pomocou zistenej kombinácie parametrov stroja a teploty prostredia je možné vyrobiť tlačové vlákno s relatívne malou odchýlkou v priemere filamentu.

Príspevok dáva základy budúcemu výskumu, ktorý sa bude zaoberať mechanickým a biologickým testovaním vyrobených materiálov. Mechanické testy určia pevnostné vlastnosti materiálov po procese výroby vzoriek aditívnou technológiou. Zistenia mechanických ako aj biologických analýz týchto materiálov určí ich budúcu aplikáciu v biologickom organizme vo forme medicínskej pomôcky - implantátu.

PodĎakovanie

Tento príspevok bol podporený projektami: Výskum a vývoj kompozitných a biodegradovateľných materiálov pomocou inteligentných aditívnych technológií a ich testovanie v zmysle medzinárodných noriem pre personalizovanú medicínu a tkanivové inžinierstvo 1233/2018, Analýza polyméru PEEK a možnosti jeho aditívnej výroby APVV-15-0356, Zvyšovanie synergie metód výučby biofyziky s využitím laboratórnych zariadení a diagnostických prístrojov zameraných na meranie fyzikálnych a technických veličín KEGA 023TUKE-4, Návrh postupových algoritmov v aditívnych technológiách pre edukačný proces v biomedicínskom inžinierstve KEGA 041TUKE-4,

Centrum pre pokročilú terapiu chronických zápalových ochorení pohybového aparátu (CPT ZOPA) ITMS2014+: 313011W410, Centrum medicínskeho bioaditívneho výskumu a výroby (CEMBAM) ITMS2014+: 313011W358.

Použitá literatúra

- [1] SINGH, S. et al.: 3D printing of polyether-ether-ketone for biomedical applications. In: European Polymer Journal.
- [2] PANAYOTOV, I. et al.: Polyetheretherketone (PEEK) for medical applications. In: Clinical applications of biomaterials.
- [3] MOLLER, B. et al.: A comparison of biocompatibility and osseointegration of ceramic and titanium implants: an in vivo and in vitro study. In: International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery.
- [4] KURTZ, S. et al.: PEEK biomaterials in trauma, orthopedic, and spinal implants. In: Biomaterials. 0142-9612.
- [5] AWADLY, T. et al.: Ahistomorphometric study on treated and untreated ceramic filled PEEK implants versus titanium implants: Preclinical in vivo study. In: Clinical Oral Implants Research.
- [6] "Polymer Ether Ketone (PEEK): Properties, Production, and Applications", online: <https://matmatch.com/learn/material/polyether-ether-ketone-peek> [access 14.12.2020].
- [7] SUMIN SIH, S. et al.: Measurement and prediction of the thermal conductivity of powders at high temperatures.

Korešpondenčná adresa

Ing. Samuel Lancoš
Technická univerzita v Košiciach
Strojnícka fakulta
Katedra biomedicínskeho inžinierstva a merania
Letná 9, 042 00
Tel.: +421 918022783
Email: samuel.lancos@tuke.sk

ZVYŠOVANIE EFEKTIVITY SPAĽOVACIEHO PROCESU EXPERIMENTÁLNEHO MOTORA OPTIMALIZÁCIOU PALIVOVEJ A ZÁŽIHOVEJ MAPY

Matúš LAVČÁK, Samuel SIVÁK, Michal PUŠKÁR, Michal Fabian, Silvia Maláková

Technická Univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Katedra konštrukčného a dopravného inžinierstva, Slovenská republika
matus.lavcak@tuke.sk, samuel.sivak@tuke.sk, michal.puskar@tuke.sk, michal.fabian@tuke.sk, silvia.malakova@tuke.sk

Abstract:

Due to strict emission standards, car companies are forced to invest more and more financial resources in to development of environmentally friendly vehicles with low fuel consumption. the aim is to develop technology or vehicle propulsion that meets ever-adhering standards. The developers' dream is to combine the fuel efficiency of a diesel engine with low emissions from a petrol engine. Many years of research have yielded an answer in the form of HCCI technology, which is the result of a fusion of both the engine and the principles of fuel combustion.

Key words:

combustion engine, fuel map, pre-ignition map, HCCI technology

ÚVOD

Je známe, že so zvyšovaním spotreby fosílnych palív sa tlačí stále viac do popredia použitie alternatívnych zdrojov palív a taktiež využitie nových technológií spaľovania, ktoré zabezpečujú ekologickjšiu prevádzku spaľovacích motorov. V dnešnej dobe je aj napriek tomuto faktoru v popredí použitie konvenčných spaľovacích motorov, ktoré sú najbežnejšie používané v cestnej, leteckej ale aj lodnej doprave. Zlepšenie účinnosti piestových spaľovacích motorov a elimináciu nevýhod, ktoré majú za následok znečisťovanie životného prostredia a s tým spojené nežiadúce procesy v prírode, je možné dosiahnuť pomocou modifikácie systému riadenia, ktorý využíva zmeny dátového poľa obsiahnutých v riadiacom čípe spaľovacích motorov. Táto úprava je možná modifikovaním jednotlivých čiastkových sekcií dátových polí, ktoré ovplyvnia zmeny v jednotlivých rozsahoch otáčok motora.

1. MATERIÁL A METÓDY

1.1 Riadiaci systém pohonnej jednotky

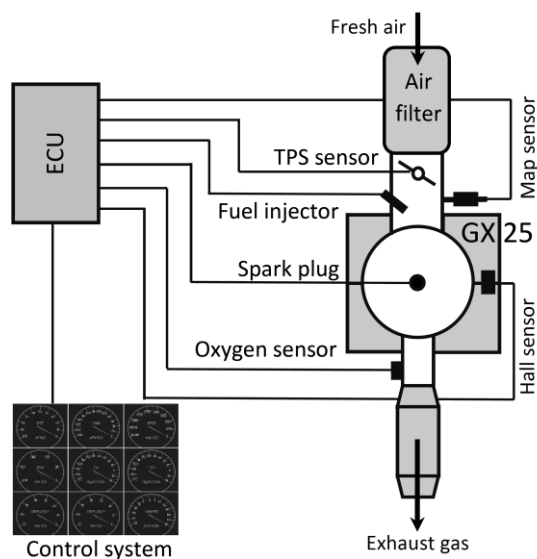
Činnosť riadiacej jednotky je dôsledkom kontinuálne idúceho toku vstupných informačných tokov. Čím je riadiaca jednotka zložitejšia, tým viac informačných tokov a samotných signálov musí byť prenesených a spracovaných. Vstupné hodnoty sú snímané pomocou senzorov nachádzajúcich sa priamo na motore a sú spracované spomínanou

riadiacou jednotkou. Riadiaca jednotka koriguje, na základe prijatých vstupných informácií, faktory ovplyvňujúce výkon motora v reálnom čase. Týmto faktormi sú objem a dĺžka vstrekovanej palivovej zmesi a moment zapalovania zmesi paliva a vzduchu v agregáte. Na základe použitia motora sa mení aj charakteristika riadiacej jednotky.

Všetky tieto faktory sa musia brať do úvahy pri tvorbe údajových polí charakterizujúcich konkrétnu riadiacu jednotku. Tieto údajové polia vieme vytvoriť aj pomocou matematickej simulácie predzápalu [1, 2, 3, 4, 5].

1.2 Experimentálny model a meracie zariadenie

Modifikácia dátových polí sa uskutočňovala pomocou špeciálneho softvéru [6]. Návrh dátových polí sa vytvoril po jazde v reálnej premávke na skutočnej riadiacej jednotke v skúšobnom vozidle, navrhnutej pre vozidlo, určeného pre súťaž Eco-marathon. Systém TCI (Transistor Coil Ignition) bol nahradený zložitejším komplexným systémom EFI (Electron Fuel Injection) (Obr. 1), ktorý sa používa hlavne pri použití motorov s nízkym zdvihovým objemom. Na obr. 1 je zapojenie snímačov do vstrekovacieho modulu, ktoré snímajú správnu činnosť riadiacej jednotky. Pomocou nainštalovaných senzorov je možné namerať skutočné hodnoty a pracovať s nimi.



Obr. 1 Aplikácia EFI systému v testovacom motore

1.3 Tvorba jednotlivých dátových máp

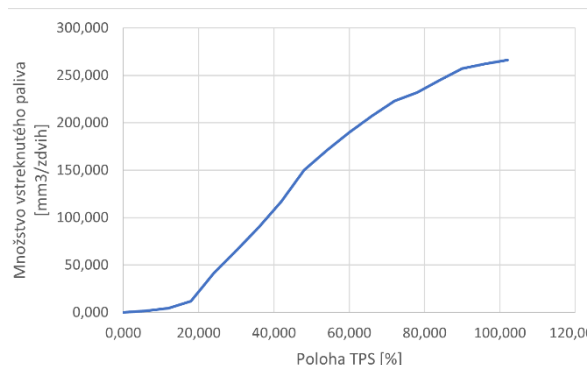
Jednotlivé dátové mapy sa vytvárali prostredníctvom softvérového produktu ProCal, ktorý je súčasťou použitého systému EFI. Softvér umožňuje sledovanie prevádzkových parametrov pohonnej jednotky (otáčky motora, tlak v sacom potrubí, pozícia škrtiacej klapky ...) v reálnom čase. Tieto hodnoty sú dôležité pri tvorbe dátových máp predzápalu a taktiež pre tvorbu palivových máp. Po pripojení jednotky riadenia EFI ku modifikačným komponentom pomocou rozhrania KDS zobrazí softvér ProCal odporúčané nastavenia palivových máp a máp predzápalu, ktoré sú doporučené pre konkrétny motor [6]. Výskum a vývoj ďalších nových máp je teda založený na vyššie popísaných nastaveniach, ktoré boli optimalizované.

1.4 Inovácia palivovej mapy pre experimentálny motor

Návrh palivových máp je navrhnutý pre dané konštrukčné riešenie agregátu. Pri optimalizácii je podstatné zachovať správne zloženie vstrekovanej zmesi pri rôznych prevádzkových podmienkach [7, 8]. Softvér na správu motorov opisuje stav motora pomocou polohy škrtiacej klapky, ktorý ju sníma snímačom polohy škrtiacej klapky (TPS). Rozsah zaťaženia agregátu je ale možné popísať aj hodnotou sacieho tlaku v sacom potrubí, spolu s pomocou snímača absolútneho tlaku v zbernom potrubí (MAP), merajúceho hodnotu podtlaku.

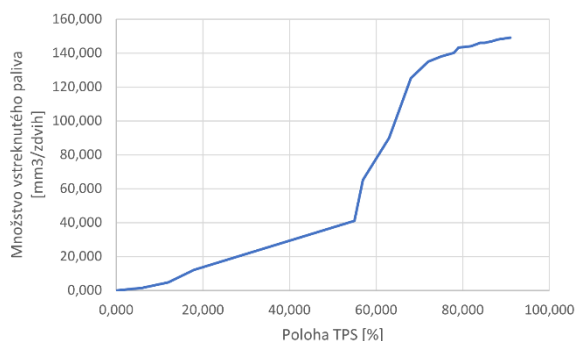
Softvér ProCal používa odlišný princíp. Tento princíp nepopisuje skutočné zaťaženie motora polohou škrtiacej klapky a otáčkami motora. V dôsledku ovplyvnenia tvorby palivových máp rôznymi faktormi (nadmorská výška, teplota vzduchu, rýchlosť vozidla...) prepočítava softvér ProCal pomocou skutočného pomeru reálne nasatým množstvom vzduchu a jeho teoretickým množstvom uvedeným v %. Objem vstrekovaného paliva je taktiež uvedený v percentách a je to pomer medzi objemovou účinnosťou a prietokom paliva vstrekovacou dýzou. Pre správne vytvorenie palivovej mapy je potrebné poznať objemovú účinnosť motora, pretože je rozhodujúcim faktorom pre určenie časového intervalu vstrekovanie palivovej zmesi.

Poloha TPS [%]	0,000	6,000	12,000	18,000	24,000	30,000
Množstvo vstreknutého paliva [mm3/zdvíh]	0,000	1,500	4,688	12,000	41,063	65,063
Poloha TPS [%]	36,000	42,000	48,000	54,000	60,000	66,000
Množstvo vstreknutého paliva [mm3/zdvíh]	90,000	117,000	150,000	171,000	189,938	207,000
Poloha TPS [%]	72,000	78,000	84,000	90,000	96,000	102,000
Množstvo vstreknutého paliva [mm3/zdvíh]	222,938	231,938	245,063	257,063	261,938	266,063



Obr. 2 Prezentácia štandardnej palivovej mapy v tabuľke a 2D grafe

Poloha TPS [%]	0,000	6,000	12,000	18,000	55,008	57,000
Množstvo vstreknutého paliva [mm3/zdvíh]	0,000	1,500	4,688	12,000	41,063	65,063
Poloha TPS [%]	63,000	67,992	72,000	75,000	78,000	79,008
Množstvo vstreknutého paliva [mm3/zdvíh]	90,000	125,063	135,000	138,000	140,063	143,063
Poloha TPS [%]	82,008	84,000	85,008	87,000	88,008	91,008
Množstvo vstreknutého paliva [mm3/zdvíh]	144,000	146,063	146,063	147,000	147,938	149,063

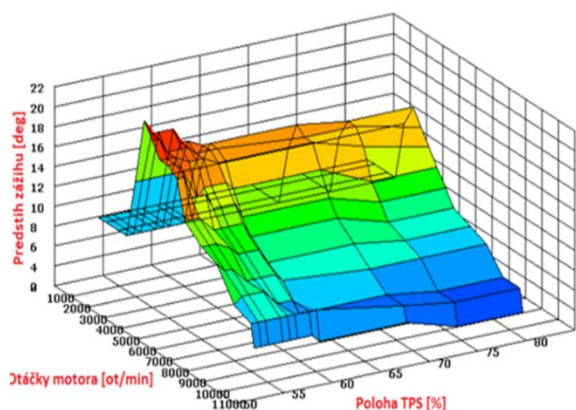


Obr. 3 Prezentácia upravenej palivovej mapy v tabuľke a 2D grafe

Pre návrh palivovej mapy sú potrebné informácie o hodnote objemu paliva pretekajúceho vstrekovacou dýzou a o tlaku v palivovom systéme [7,8]. Na obr.2 je znázornená štandardná palivová mapa v tabuľke a 2D grafe, ktorá bola optimalizovaná v zaujme zvýšenia efektivity spaľovacieho procesu (obr.3).

1.5 Inovácia mapy predzápalu pre experimentálny motor

Aplikáciou softvéru ProCal je možné okrem úprav palivových máp, dosiahnuť aj úpravu a zmenu údajov v mapách predzápalu. Keďže konštrukčné riešenie motora priamo ovplyvňuje proces spaľovania, je aj mapa predzápalu založená a vytvorená pre konkrétne konštrukčné riešenie agregátu. Pri motoroch s nízkym zdvihovým objemom vyhori zmes paliva a vzduchu rýchlo, preto je potrebné upraviť hodnotu predstihu zapalovania. Rýchlosť horenia palivovej zmesi ovplyvňuje hodnota kompresného pomeru, ale aj hodnota oktánového čísla. Je známe, že vyššia hodnota oktánového čísla má za následok aj lepšiu odolnosť paliva voči nežiadúcemu detonačnému horeniu [9].



Obr. 4 Zobrazenie v 3D upravenej mápy predzápalu pri použití softvéru ProCal

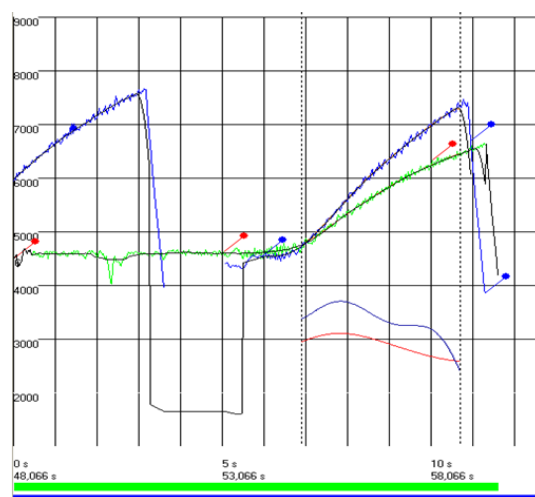
Optimalizáciu mapy predzápalu softvérom ProCal je možné vykonať pomocou úpravy hodnôt údajov v údajovej tabuľke, prípadne zmenami v 2D alebo 3d súradnicovom systéme (obr.4). Podstatnou zložkou mapy predzápalu je oblasť otáčok motora, pri ktorých sa dosahuje najvyšší výstupný výkon [9].

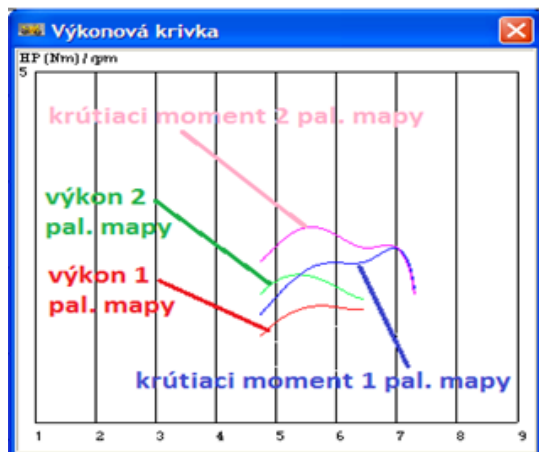
2. VÝSLEDKY A DISKUSIA

Priebehy a výsledky vykonaných meraní prostredníctvom EWAC systému dokazujú, že po aplikovaní modifikovanej palivovej a predzápalovej mapy pohonná jednotka disponovala nárastom výkonu, krútiaceho momentu a redukcii emisií (obr.5).

Charakteristika priebehu krútiaceho momentu poukazuje na plynulý nárast hodnôt krútiaceho momentu v úzkom otáčkovom pásme motora. Uvedená skutočnosť má dôležitý vplyv pri využití pohonnej jednotky v reálnych podmienkach. Zároveň sa kontrolnými meraniami potvrdila zvýšená schopnosť pohonnej jednotky reagovať na premenlivé zaťaženie, ako aj pružnejšia reakcia na otvorenie škrtiacej klapky.

Spotreba paliva sledovaná na testovanom spaľovacom motore sa určovala podľa počtu najazdených kilometrov pri použití 1 litra paliva. Použitie správnej alternatívy systému riadenia motora bol overený pri testovacej prevádzke. Test taktiež prebiehal pri štandardnom nastavení riadiaceho systému. Výsledky naznačujú výrazný prínos aj v oblasti redukcie spotreby paliva.





Obr. 5 Porovnanie priebehov výkonu a krútiaceho momentu

ZÁVER

Výskum spolu s vývojom uskutočneným v oblasti nastavenia riadenia pohonnej jednotky, viedol k významnému zníženiu spotreby paliva oproti konvenčnému systému riadenia hnacieho agregátu. Zvýšenie otáčok motora sa dosiahlo úpravou riadiaceho čipu agregátu, čím sa zvýšila aj maximálna experimentálna rýchlosť vozidla. Optimálna úprava hnacej jednotky vozidla vylepšila spaľovanie. Čím sa dosiahlo zvýšenie účinnosti spotreby paliva a taktiež má modifikácia riadiacej jednotky aj pozitívny vplyv na životné prostredie v dôsledku zníženia produkcie emisií výfukových plynov.

Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-19-0328.

Príspevok vznikol s podporou projektov: VEGA 1/0318/21 „Výskum a vývoj inovácií pre efektívnejšie využitie obnoviteľných zdrojov energie a znižovanie uhlíkovej stopy vozidiel.“ a KEPA 006TUKE-4/2020 „Implementácia poznatkov z výskumu zameraného na redukciiu emisií motorových vozidiel do edukačného procesu“

POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] PUŠKÁR, M.; BIGOŠ, P.: Method for accurate measurements of detonations in motorbike high speed racing engine, Measurement 2012, Vol. 45, no. 3 (2012), 529–534 strán, ISSN 0263-2241
- [2] PUŠKÁR, M.; BIGOŠ, P.; PUŠKÁROVÁ, P.: Accurate measurements of output characteristics and detonations of motorbike high-speed racing engine and their optimization at actual atmospheric conditions and combusted mixture composition, Measurement 2012, Vol. 45, no. 5 (2012), 1067–1076 strán, ISSN 0263-2241
- [3] PUŠKÁR, M.; BIGOŠ, P.; BALÁŽIKOVÁ, M.; PEŤKOVÁ, V.: The measurement method solving the problems of engine output characteristics caused by change in atmospheric conditions on the principle of the theory of optimal temperature range of exhaust system, Measurement 2012, In Press, ISBN 0263-2241
- [4] PUŠKÁR, M. ... [et al.]: Measuring method for feedback provision during development of fuel map in hexadecimal format for high-speed racing engines, In: Measurement. Vol. 50, no. 1 (2014), 203-212 strán, ISBN 0263-2241
- [5] Hiroyuki Yamada, Rumiko Hayashi, Kenichi Tonokura : Simultaneous measurements of on-road/in-vehicle nanoparticles and NOx while driving: Actual situations, passenger exposure and secondary formations, Science of The Total Environment, Volumes 563–564, 1 September 2016, 944-955 strán.
- [6] Xiangyu Feng, Yunshan Ge, Chaochen Ma, Jianwei Tan, Xin Wang : Experimental study on the nitrogen dioxide and particulate matter emissions from diesel engine retrofitted with particulate oxidation catalyst, Science of The Total Environment, Volume 472, 15 Február 2014, 56-62 strán
- [7] PUŠKÁR, M., BRESTOVIČ, T., JASMINSKÁ, N. Numerical simulation and experimental analysis of acoustic wave influences on brake mean effective pressure in thrust-ejector inlet pipe of combustion engine. In: International Journal of Vehicle Design. Vol. 67, no. 1 (2015), 63-76 strán, ISSN 0143-3369
- [8] SINAY, J. et al. (2014) Multiparametric Diagnostics of Gas Turbine Engines. The Transactions of RINA, Vol 156, Part A2, International Journal of Maritime Engineering, 2014, 149-156 strán, ISSN 1479-8751

- [9] Balland, O.; Erikstad S. O.; Fagerholt, K.: Concurrent design of vessel machinery system and air emission controls to meet future air emissions regulations, Ocean Engineering, Volume 84, 1 Júl 2014, 283-292 strán

Korešpondenčná adresa:

Matúš Lavčák
Technická Univerzita v Košiciach
Strojnícka fakulta
Katedra konštrukčného a dopravného inžinierstva
Letná č. 9, 042 00 Košice
Tel.: +421 944 344 186
Email: matus.lavcak@tuke.sk

Prehľad implantačných zostáv pre fixáciu spinálnych segmentov

Lukáš MITRÍK, Marianna TREBUŇOVÁ, Marek SCHNITZER, Michal KARÁSEK, Martin Juhás,
Radovan HUDÁK, Jozef Živčák

Technická Univerzita v Košiciach, Katedra Biomedicínskeho Inžinierstva a Merania, Letná 9, 042 00 Košice
lukas.mitrik@tuke.sk, marianna.trebunova@tuke.sk, marek.schnitzer@tuke.sk, michal.karasek@tuke.sk,
martin.juhás@tuke.sk, radovan.hudak@tuke.sk, jozef.zivcak@tuke.sk

Abstrakt:

Cieľom tejto práce bolo poskytnúť stručný popis anatomického zloženia a pohyblivosti ľudskej chrbtice, doplnený o možnosti liečby jednotlivých zranení so zreteľom na chirurgickú liečbu podporenú aktuálnym prehľadom fixačných systémov na stabilizáciu spinálnych segmentov používaných v klinickej praxi.

Kľúčové slová:

fixačné systémy, chrbtica, chirurgická liečba, pedikulárne skrutky

Úvod

Moderná spoločnosť, sedavé zamestnania ako aj súčasný životný štýl čoraz častejšie negatívne vplyvajú na rast rozličných degeneratívnych porúch chrbtice. S touto situáciou sú úzko spojené chirurgické intervencie v spinálnej oblasti ako jedno z možných riešení týchto problémov. S neustálym vývojom v oblasti spinálnej chirurgie sa jednotlivé výkony sústreďujú na čo možno najväčšie zachovanie funkčnosti a pohyblivosti jednotlivých segmentov.

1 ANATOMICKÉ ZLOŽENIE CHRBTICE

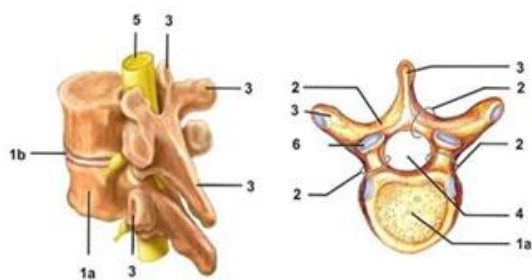
Chrbticu (*columna vertebralis*, Obrázok 1.) je možné definovať ako súbor stĺpcovito usporiadaných stavcov, ktoré spolu tvoria základnú funkčnú a opornú jednotku lokomočnej sústavy človeka. Člení sa na sedem krčných, dvanásť hrudných, päť drienkových, päť krížových a štyri až päť kostrčových stavcov. Jednotlivé segmenty sú vyplnené medzistavcovými spojeniami, trňovými výbežkami a medzistavcovými platničkami.

Chrbtica-bočný pohľad



Obrázok 1. Anatomické rozdelenie chrbtice

Stavec (*vertebrae*, Obrázok 2.) pozostáva z tela stavca, oblúka stavca a trňových výbežkov. Stavec v ľudskom tele plní nosnú funkciu, pričom je kaudálne a kranálne ukončený medzistavcovou platničkou. Pôsobiacie napätie je rozložené na základe typu kosti tak, že kompaktná zložka prenáša približne 45% až 75% zaťaženia, ktoré pôsobí vo vertikálnom smere a zvyšné horizontálne zaťaženie je prenesené na spongióznú zložku.



Obrázok 2. Anatomické zloženie stavca 1a) telo stavca, 1b) medzistavcová platnička, 2) oblúk stavca, 3) výbežky stavca, 4) stavcový otvor, 5) miecha, 6) horný spojovací výbežok

Medzistavcová platnička (*discus intervertebralis*, Obrázok 2. 1b) ma tvar disku a je tvorená väzivovou chrupkou, ktorá sa na obvode mení na husté fibrózne väzivo. V ľudskom tele je 23 medzistavcových platničiek, ktoré tvoria jednu štvrtinu dĺžky chrbtice. Ich funkciou je udržiavanie priestoru medzi dvoma telami stavcov, tlmenie nárazov a limitácia jednotlivých pohybov.

Pohyblivosť je určená v troch základných rovinách pričom sú umožnené pohyby ako je predklon a záklon v maximálnom rozsahu 90°, úklon v rozsahu 30° v krčnej časti a 35° v drienkovej časti a rotácia v rozsahu 30° v krčnej časti, 35° v hrudnej časti a 10° v drienkovej časti.

1.1 Poranenia a liečba

Akékoľvek zranenia chrbtice sú v komparácii s poškodením horných alebo dolných končatín oveľa závažnejšie a to z dôvodu možnosti poškodenia miechy poprípade miechových koreňov a nervov. Intenzita cítenia bolesti sa líši od rozsahu poranenia a tomu je potrebné prispôsobiť aj samotnú liečbu. Väčšinu zranení je možné liečiť konzervatívnou liečbou, vtedy je daný pacient imobilizovaný na lôžku po dobu 4 až 6 týždňov, z dôvodu stabilizácie kostného skeletu a predídeniu ďalším zraneniam. V prípade komplikovaných fraktúr a zranení sa používa chirurgická liečba, pri ktorej sa do tela implantuje cudzorodý materiál za účelom dosiahnutia požadovaných výsledkov. [1], [2], [3]

2 FIXAČNÉ SYSTÉMY

Fixačný systém je možné definovať ako sústavu rôznych platní a tyčí, ktoré je možné pomocou skrutiek, drôtov a háčikov umiestňovať na jednotlivé telá stavcov pri liečbe zlomenín, nádorových

ochorení, degeneratívnych ochorení, infekciách a vrodených deformitách spinálnych segmentov. [4]

Cervikálny fixátor (Obrázok 3.) sa používa pri poraneniach krčných stavcov v oblasti C2 až C7 a pri degeneratívnych ochoreniach platničiek, skolióze, kyfóze, a lordóze. Konštrukcia je tvorená z nízko profilovej platne z materiálu Ti 6Al 4V doplnená o uzamykací mechanizmus spolu so skrutkami s vysokým stupňom zauhlenia. [5]



Obrázok 3. Cervikálny fixátor VECTRA

Torakolumbálny fixátor (Obrázok 4.) sa používa pri komplikovaných patologických zraneniach. Konštrukcia pozostáva z transpedikulárnych polyaxiálnych a monoaxiálnych skrutiek, ktoré je možné doplniť o rôzne časti a nastaviteľné konektory pri predlžovaní už existujúcej konštrukcie.



Obrázok 4. Torakolumbálny fixátor S4 Element

PathFinder NXT (Obrázok 5.) je posteriorný torakolumbálny fixačný systém zložený z polyaxiálnych kanylovaných skrutiek a tyčí. Používa sa na stabilizáciu skeletu počas procesu spinálnej fúzie pri liečbe akútnych a chronických deformáciách torakálnej, lumbálnej a sakrálnej chrbtice.



Obrázok 5. PathFinder NXT

Virage OCT (Obrázok 6.) je occipitálno – cervikálno – torakálny fixačný systém pozostávajúci z polyaxiálnych skrutiek, priečných spojok, tyčí a kotiev, ktoré sú vyrobené zo zliatiny titánu a zliatiny kobalt – chróm. Zabezpečujú stabilizáciu spinálnych segmentov pri akútnych a chronických poškodeniach cervikálnej (C1 až C7) a torakálnej chrbtice (T1 až T3). [5][6]



Obrázok 6. Virage OCT

SOCON (Obrázok 7.) je fixačný systém zložený z pohyblivých transpedikulárnych skrutiek so samorezným tupým hrotom bez závitov v pedikulárnom kanáliku, svoriek s vysokou uhlovou stabilitou a reпозиčného zariadenia s možnosťou pohybu v troch rôznych smeroch. Využíva sa pri jednoúrovňových resp. viacúrovňových segmentálnych fúziách spôsobených zlomeninami a nádorovými ochoreniami chrbtice. [5], [7]



Obrázok 7. Fixačný systém SOCON

ZÁVER

Tento článok sa zaoberal popisom anatomického zloženia chrbtice, jej jednotlivých častí a možnostiach liečby rôznych spinálnych porúch spôsobených fraktúrami a degeneratívnymi ochoreniami kostného skeletu doplnené o komplexný prehľad najrozšírejších fixačných systémov pre stabilizáciu spinálnych segmentov využívaných v klinickej praxi.

Pod'akovanie

Táto práca bola vypracovaná vďaka projektom: Zvyšovanie synergie metód výučby biofyziky s využitím laboratórnych zariadení a diagnostických prístrojov zameraných na meranie fyzikálnych a technických veličín KEGA 023TUKE-4/2020, Využitie digitalizačných metód pre podporu edukačného procesu v oblasti protetiky a ortotiky KEGA 040TUKE-4/2019, Návrh postupových algoritmov v aditívnych technológiách pre edukačný proces v biomedicínskom inžinierstve KEGA 041TUKE-4/2019.

Zdroje

- [1] ČIHÁK, R.: Anatomie 3. Praha : Grada Publishing, 1997. 672 s. ISBN 80-7169-140-2.
- [2] ČIHÁK, R.: Anatomie 1. 2. uprav. a dopl. vydanie. Praha : Grada Publishing, 2001. 497 s. ISBN 80-7169-970-5.
- [3] Feneis, H.: Anatomický obrazový slovník. Praha: Grada Publishing, 1996. 455 s. ISBN 80-7169-197-6.
- [4] CRAMER, G., DARBY, S.: Basic and clinical anatomy of the spine, spinal cord, and ANS. Saint Louis : Mosby, 1995. 441 s. ISBN 0-8016-6467-5.
- [5] IZZO, R., GUARNIERI, G., GUGLIELMI, G., MUTO, M.: Biomechanics of the spine. Part I: Spinal stability. European Journal of Radiology [online]. 2013, 82(1), 118-126 [cit. 2020-07-12]. ISSN 0720048X.
- [6] O'SULLIVAN, P.B.: Masterclass. Lumbar segmental 'instability': clinical presentation and specific stabilizing exercise management. Manual Therapy [online]. 2000, 5(1), 2-12 [cit. 2020-07-06]. ISSN 1356689X.
- [7] WEINSTEIN, J. N. a kol.: Surgical versus Non-Operative Treatment for Lumbar Spinal Stenosis Four – Year Results of the Spine Patient Outcomes Research Trial (SPORT). In Spine. [online]. 2010, vol. 35, no. 14, p. 1329 – 1338. [cit. 2020-06-18]. ISSN 0362-2436.

Korešpondenčná adresa:

Ing. Lukáš Mitrík
Technická Univerzita v Košiciach
Strojnícka fakulta
Katedra biomedicínskeho inžinierstva a merania
Letná 9/B, Košice 042 00
Tel.: +421 55 602 2043
Email: lukas.mitrik@tuke.sk

CONTACT AND CONTACTLESS MEASUREMENT METHODS AS A TOOL FOR REVERSE ENGINEERING

Marek MIZERÁK, Peter TREBUŇA, Jozef TROJAN, Tomáš ŠVANTNER

Technical university of Košice, Faculty of Mechanical engineering, Institute of management, industrial and digital engineering

marek.mizerak@tuke.sk, peter.trebuna@tuke.sk, jozef.trojan@tuke.sk, tomas.svantner@tuke.sk

Abstract:

This article deals with the issue of contact and contactless measurement method as a tool for reverse engineering. Thanks to these methods, engineers are able to obtain information about the object under investigation to create a digital model or even a prototype of the object. This article discusses the term “reverse engineering” also describes the basic concepts, properties and last but not least, explains the principle of these methods. Each of these methods has its advantages and disadvantages described.

Key words:

Contact method, contactless method, measurement, reverse engineering

INTRODUCTION

Reverse engineering is in essence as the name suggests, a reverse approach to classical engineering. In the classic procedure, we start from the initial design, nowadays created mainly with the support of computer technology - CAD systems. The data created by the designer are then made available to the technologist, who will design the production technology, production process, etc. The last step is the production itself and the result produced.

In the case of the opposite procedure, the finished part is already at the beginning. It can be e.g. an older part for which there is no longer any documentation, or a part for which no documentation is available at all. As an example of the second case, it is possible to take e.g. design proposals that are often edited manually by the designer. In the final phase, we need to get the final shape of the design into digital form, i.e. to create a CAD model. Recently, reverse engineering is also often used in medicine for easy and accurate design of the shape of joint implants, dental prostheses and the like.



Figure 1 Dental prosthesis scanning

1 POSSIBILITIES OF LINKING REVERSE ENGINEERING TO OTHER ACTIVITIES

Reverse engineering can be connected to a number of other activities. The reconstructed model can serve as a basis for CAM systems, which are used to create production technology on NC machines. Both activities, ie classical and reverse engineering, follow each other. In this case, it is actually a copy of the original part. However, it can be e.g. also another of the progressive methods, such as Rapid Prototyping (hereinafter referred to as RP). The RP method is designed for very fast and simple production of prototype components. These components are usually used for initial testing and often undergo a number of changes. These changes must then be reflected back into the CAD model of the part, which will serve as a model for CAM systems in the design of technology.

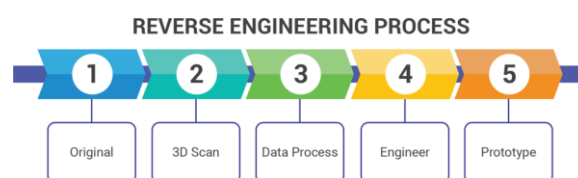


Figure 2 Reverse engineering process

2 DIVISION OF METHODS FOR SURFACE MEASUREMENT

Dividing methods into individual groups is always a bit difficult, because it is usually possible to

divide according to several criteria. However, each company or manufacturer attaches different weight to these criteria. We therefore consider the following division of digitization methods only as informative, which will serve for clarity describing the individual principles.

One of the basic criteria that we can assess is whether the measuring device comes into mechanical contact with the measured object. Based on this statement, we divide the methods into contact and contactless.

CONTACT MEASUREMENT

Contact measurement is most often performed using electronic probes that measure the surface using a touch element. However, there are two principles that are commonly used with this device. This is the so-called switching probes and the second type are analog probes. In the case of switching probes, which are structurally simpler, the measuring device can recognize two states, on and off. After each recording of the measured value, ie after switching on the probe, it is necessary to return the probe to a state where the measuring contacts are not closed. In this situation, this is not a problem, we measure if there are only individual points on the surface of the body (eg when anchoring the workpiece or when measuring individual dimensions during in-process control). However, if we want to measure a larger number of points (eg for the reconstruction of shaped surfaces), this "departure" from the workpiece prolongs the scanning time. This method of measuring the surface is called "digitization".

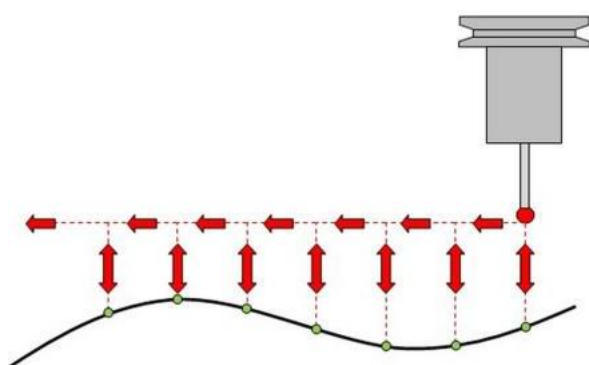


Figure 3 Touch scanning

The second type of touch probes are the so-called analog probes. The measuring mechanisms of these probes are able to continuously monitor the magnitude of the forces on the contact element and, based on these forces, record individual points on the surface of the measured part. This is a structurally more complex type of device, where the touch element can be "pulled" over the surface and can record data much faster than with the previous type of probes. If we recorded all the measured points on the surface, the data density would be unnecessarily high. When measuring, we use a certain filtering of measured points (usually values are set for filtering such as minimum and maximum point spacing, minimum and maximum line spacing, required accuracy and more).

This method of measuring a surface is called "scanning".

With the introduction of the terms digitization and scanning, two methods of touch scanning are distinguished, but at the same time there is a bit of confusion in the overall terminology. This is because measuring the surface of a part is commonly referred to as digitization - that is, the conversion of information into digital form, regardless of how the data is obtained. Therefore, it is always necessary to find out on what principle a particular device actually works.

Principles of contact methods

Switching probe: this type of probe is also referred to as a kinematic probe. The probe touch is at rest before the measurement. As the machine moves, the probe contacts the measured surface. Due to the interaction of compressive forces, an elastic deformation of the contact occurs, which results in the deflection of the kinematic mechanism of the probe from the position at rest. When the probe mechanism is deflected, one or two electrical contacts are disconnected and a switching signal is generated. The machine and the probe leave the measured surface and the probe returns to the rest position. Switching of the contacts is ensured by measuring the resistance when current passes through the contacts of the switches. The switches are implemented as contact balls. With a changing pressing force, elastic

deformations occur at the contact surface of the balls and thus the electrical resistance also changes. This electrical resistance is evaluated by the control electronics of the probe and on the basis of it it is decided whether the probe is in contact or not.

When the resistance threshold is reached, the position is recorded. The contacts are not completely disconnected at the time the point is captured. Before the actual disconnection of the contacts, the current in the electrical circuit of the probe is interrupted to prevent possible sparking in the contacts.

Strain gauges: this is another principle of touch probe design. Thin silicon strain gauges measure the magnitude of the force transmitted by contact upon contact with the measured surface, and a sensing signal is generated when the set force is reached. The kinematic mechanism is used only in transmitting the touch to a position at rest, not for measurement. The advantage of this solution is, on the one hand, higher sensitivity and thus also higher accuracy than with the previous type of probes, and, on the other hand, uniform sensing with low sensing forces in all directions.

Four silicon strain gauges are used inside the probe body, which measure forces in the X, Y, Z directions. The last, fourth, strain gauge is used to compensate for temperature effects.

Piezo probes: A piezo sensor generates voltage when exposed to pressure. The sensors detect mechanical pulses generated by the contact ball upon contact with the body surface, while the sensor is able to respond to a higher pulse frequency than other systems. As a result, the piezo probes seem to "hear" the contact of the ball with the measured surface. This system is therefore very sensitive and accurate. At the same time, it is more accurate than both previous systems. The maximum accuracy stated by the manufacturer reaches values of $0.25\mu\text{m}$.

Optical probes: very sensitive optoelectronic sensors are housed in the probe body, which record the amount of touch deflection during scanning. The probe module contains a disk with two mirrors, which is firmly connected to the touch. By

deflecting the contact in contact with the measured surface, this disc and thus also the mirrors will be angularly rotated. A beam of LEDs stored in the probe body is continuously incident on these mirrors. This beam is reflected and impinges on the photosensitive PSD detectors, which constantly record the exact position of the X, Y, Z points in contact with the measured part. The repeatable accuracy of this type of probes reaches up to $1\mu\text{m}$.

Advantages and disadvantages of contact methods

The main advantage of touch probes is, above all, their high accuracy. For this reason, touch systems are still used on precision measuring machines, the so-called three-coordinate measuring machines. The high accuracy and reliability of these systems outweighs a number of disadvantages associated with the use of these systems. Perhaps the biggest disadvantage is the shape of the probe itself and especially the touch element. The entire probe cannot fit into the confined spaces of some measured objects. Manufacturers are trying to address this by introducing high-precision probes with narrow bodies and long tactile elements. However, the measurement accuracy decreases significantly when using elements with a long extension.

At the same time, the mentioned shape of the touch element significantly limits the measuring possibilities. The most commonly used shape is a sphere. However, it is clear that a ball with a radius of 3 mm is not able to measure cavities with smaller radii. In general, regardless of the radius of the ball, the contact element is not able to reach the inner corners and the like.

For this reason, other shapes of contact elements are also used, which eliminate or at least limit these disadvantages. It is e.g. o the shape of a roller, disc or point with a pointed end. Star touches are also very widespread, as they have a larger number of individual touch elements.

CONTACTLESS MEASUREMENT

There are several ways to perform non-contact measurements. However, optical and laser

methods are the most common. Other methods include X-ray, sonar and radar. In general, contactless methods offer significantly higher scanning speeds than contact methods. When using optical devices, thousands of hundreds of thousands of points are measured in a single image of a component, and even up to millions of points in state-of-the-art devices. In the case of contact methods, where there is only one point in contact at a time, such a measurement speed is completely impossible.

On the contrary, compared to contact methods, a lower accuracy of measurement is generally achieved (it is usually in the range of a hundredth of a millimeter, while in contact methods it is now a common thousandths).

Principles of contactless methods

Unlike contact methods, non-contact methods do not come into contact with the measuring device and the measured object. Various physical principles are used for this type of measurement, but the most common are the optical, laser and X-ray methods.

Optical measurement: optical methods use the reflection of light rays from the surface of the body. These reflected rays are then captured by a measuring device and processed into digital form. The first way is to use a fixed focal length lens (or in some cases a variable focal length lens - the lenses are then able to enlarge details). Subjects at this distance from the lens appear to be in focus. Thus, if we know the exact position of the lens, we can add the focal length to this position to obtain the position of the focused parts of the measured object. The fixed focal length lens is then gradually approached or moved away from the measured object, and the positions of the individual body parts are gradually recorded. However, these devices are used for measuring manufactured components rather than for conventional reverse engineering. Thanks to their high accuracy and resolution, they are used for very fine mechanical parts. However, thanks to the great depth of field, it is possible to measure even larger objects.

Another method is the use of triangulation. The measured object is measured from several places and the images are then folded together. Metering from two or more directions can be performed at the same time as with a multi-lens device. The object is simultaneously scanned from two directions and individual points are recognized in both images. The position of these points is then determined by triangulation.

Another way is to use the gradual acquisition of images of the object from different directions. These images must then be assembled using appropriate software. Labels are used for this folding, which are glued to the surface of the measured object before the measurement. These labels contain encoded information that the software evaluates and binds the individual images to each other correctly.

The advantage of portable devices is the ability to digitize large objects, such as cars, ships, planes or entire production halls and exteriors. Digitization of the entire production hall is then a possible data input for production planning, layout design and generation of material flows during the modernization or reconstruction of large company halls and production lines.

Optical digitization also offers dynamic scanning of objects. It is the acquisition of a series of images that capture changes in the shape of the measured object. This can be used to measure object deformations.

If the deformed object cannot be scanned during deformation (drop forging, deep drawing, etc.), the pattern created on the surface of the object (eg in the shape of a square mesh or dark and light dots) is used for measurement. When comparing images before and after deformation, it is possible to measure the deformation of the object.

In principle, laser measurement is also optical, as it also uses the reflection of a light beam. In this case, however, the source is the measuring device itself. As in the previous group, a larger number of principles can be found in the case of laser devices. The first principle is to simply send a laser beam to

the surface of the measured object and record the time to return. The device thus gradually traverses the entire surface of the body and records the individual points. A far more powerful, and therefore more widespread method, is the projection of a laser beam onto the surface of the body and its recording by a camera.

It is no longer a single point measurement, but a measurement along the entire projected beam. Loading the surface of the body is much faster. As in the case of optical digitization, it is possible to use certain marks on the surface of the body. Using them then eliminates the need for precise positioning of the scanning device and it is possible to guide the device by hand.

Laser measurement can also be used to measure the position of a touch element that is portable. The laser device (tracker) is stationary in this case and forms a kind of coordinate system in which the touch probe moves. This touch probe can then be carried in a large space, such as the interiors of production halls and the like. The digitization of such buildings can then become the basis for the design of production halls and their layouts or the modernization or reconstruction of existing facilities.

Advantages and disadvantages of contactless methods

Contactless methods offer a considerable number of advantages over contact methods. At the same time, however, it is necessary to take into account certain disadvantages and limitations that arise from the principles of individual methods. In general, however, it can be said that the main advantage of non-contact methods is the high scanning speed. While tactile methods scan only one point on the body surface at a time, optical methods can scan hundreds of thousands to millions of points, depending on the resolution of the sensor chip. Similarly, X-ray and laser digitization achieve significantly higher speeds.

Another advantage is the recording of points directly on the surface of the body, not points shifted by a distance equal to the radius of the ball, as in the case of tactile digitization (or scanning).

It is therefore not necessary to shift the measured points or solve the associated problems. Because non-contact methods do not exert a force on the measured object, there is no risk of its deformation as in the case of tactile methods. It is therefore possible to measure objects with low rigidity, such as e.g. thin sections and ribs, car seats, foam parts, paper parts, etc.

In addition, optical digitization can capture objects in color and can therefore also create color textures on the surface of the digitized bodies. This is particularly advantageous in the entertainment industry (film tricks, etc.).

At the same time, it is possible to measure objects, which in case of contact of the measuring device with the surface of the body could damage the device. This is e.g. in the case of very high temperature bodies (forgings, castings, etc.).

At the same time, contactless methods offer the possibility to measure very large objects, such as vehicles, interiors, buildings or outdoor areas. Objects measured in this way can then be used e.g. For simulation, ergonomic studies, layout creation, etc.

On the contrary, the disadvantage is the lower measurement accuracy. For some tactile methods, the accuracy is in the order of 0.001 mm, while the optical and laser methods reach values around 0.01 mm.

Another limitation of laser and optical digitization is the condition of the surface. These are mainly glossy surfaces or very dark surfaces. In the case of glossy surfaces, the surroundings are mirrored and thus the individual points are incorrectly recognized. In the case of dark surfaces, on the other hand, a large amount of light is absorbed by the surface, which again causes problems. For this reason, a thin layer of matt powder is applied to the surface. Although this layer is very thin, it further reduces the measurement accuracy.

CONCLUSION

The process of reverse engineering can also be called the process of creating duplication of existing components. In most cases, no documentation, no drawings, or a computer model are available. A good prerequisite for a "reverse engineering" solution is to have a real existing component, or a prototype, or a randomly selected component from series production, which we need to transfer to a CAD program. This component should be digitized using proper scanning technology. This article pointed out the possibility of using two methods to obtain dimensional information about the examined objects, namely contact and contactless. The choice of one of these methods must be adapted to the requirements of the users and this gives the possibility of variability or comparison of measurement results.

Acknowledgment

This article was created by implementation of the grant project APVV-17-0258 "Digital engineering elements application in innovation and optimization of production flows", APVV-19-0418 Intelligent solutions to enhance business innovation capability in the process of transforming them into smart businesses VEGA 1/0438/20 "Interaction of digital technologies to support software and hardware communication of the advanced production system platform" and KEGA 001TUKÉ-4/2020 "Modernizing Industrial Engineering education to Develop Existing Training Program Skills in a Specialized Laboratory."

References

- [1] EBRAHIM, Mostafa Abdel-Bary. 3D SCANNERS: HISTORY, APPLICATIONS, AND FUTURE [online]. ResearchGate, 10/2014. Available on: <https://www.researchgate.net/publication/267037683_3D_LASER_SCANNERS_HISTORY_APPLICATIONS_AND_FUTURE>
- [2] 3D scanning technologies and the 3D scanning process [online]. 2020. available on: <https://www.aniwaa.com/guide/3d-scanners/3d-scanning-technologies-and-the-3d-scanning-process/>
- [3] Grznar, P., Gregor, M., Mozol, S., Krajcovic, M., Dulina, L., Gaso, M., Major, M.: A System to Determine the Optimal Work-in-Progress Inventory Stored in Interoperation Manufacturing Buffers, Sustainability, vol. 11, no. 14, 1-36, doi: 10.3390/su11143949, 2019.
- [4] Muhammad Enamul Hoque: Advanced Applications of Rapid Prototyping Technology in modern Engineering, ISBN 978-953-307-698-0, Croatia, 2011,
- [5] F. Belarifi, E. Bayraktar, A. Benamar: The reverse engineering to optimise the dimensional conical spur gear by CAD, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, Volume 31 Issue 2 December 2008,
- [6] Vinesh Raja, Kiran J. Fernandes: Reverse Engineering – An Industrial Perspective, Springer, ISBN 978-1-84628-855-5, 2008,

Correspondence address

Ing. Marek Mizerák
Technical university of Košice,
Faculty of Mechanical engineering,
Institute of management, industrial and digital
engineering
Park Komenského 9
042 00 Košice
Slovensko
Tel.: +421 55 602 3232
Email: marek.mizerak@tuke.sk

BIODEGRADOVATEĽNÉ MATERIÁLY AKO SUBSTITÚTY TVRDÝCH TKANÍV

Marcel MODRÁK, Lukáš MITRÍK, Martin JUHÁS, Alena FINDRIK BALOGOVÁ, Marianna TREBUŇOVÁ,
Jozef ŽIVČÁK, Radovan HUDÁK

Technická Univerzita v Košiciach, Katedra Biomedicínskeho Inžinierstva a Merania, Letná 9, 042 00 Košice,
marcelmodrak@gmail.com, lukas.mitrik@tuke.sk, mudr.martin.juhas@gmail.com, alena.balogova@tuke.sk,
marianna.trebunova@tuke.sk, jozef.zivcak@tuke.sk, radovan.hudak@tuke.sk

Abstrakt:

Cieľom príspevku je poskytnúť aktuálny prehľad o biodegradovateľných materiáloch vhodných pre náhrady tvrdých tkanív. Jeho prvá časť je venovaná rozdeleniu biodegradovateľných materiálov do základných skupín. V ďalšej časti príspevku sú poskytnuté relevantné charakteristiky základných druhov biodegradovateľných materiálov. Záver príspevku ponúka porovnanie vybraných druhov materiálov z hľadiska ich výhod a nevýhod.

Kľúčové slová:

polyméry, skafold, biokompatibilita, bioaktivita, regenerácia.

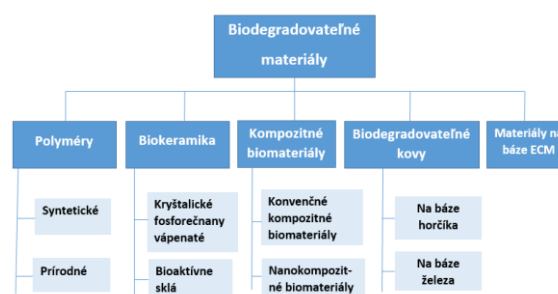
ÚVOD

Narastajúci význam regeneračnej medicíny a tkanivového inžinierstva je odrazom toho, že metabolické kostné a súvisiace ochorenia predstavujú približne 50%-ný podiel na všetkých chronických ochoreniach u ľudí vo veku nad 50 rokov [1]. Okrem toho dochádza často k mechanickému poškodeniu kostí z titulu úrazu, nevyhnutného chirurgického zákroku a pod. Poruchy alebo poranenia kostí spôsobené starobou, dopravnou nehodou, zlomeninou, resp. resekciou kostného nádoru, patria medzi závažné problémy v ortopédii nakoľko spôsobujú veľké škody na zdraví a kvalite života [2]. Súčasná regeneračná medicína a tkanivové inžinierstvo sa opierajú o široké portfólio biodegradovateľných materiálov, ktoré sú využiteľné prevažne ako substitúty poškodeného resp. chýbajúceho tvrdého tkaniva. Za najdôležitejšie materiály pre vytvorenie dočasných implantovateľných medicínskych náhrad sú považované prírodné a syntetické biodegradovateľné polyméry a hydrolyzovateľné kovy [3]. Z pomedzi prírodných biodegradovateľných polymérov sú často využívané hodváby, kolagén, fibrín, z polysacharidov sú to škrob, alginát, chitín a chitosan. Veľká pozornosť je v poslednej dobe venovaná materiálom na báze ECM (extracellular matrix). Tieto pozostávajú z proteínov, glykozaminoglykánov a glykoproteínov [4]. Je nesporné, že vývoj a aplikačný výskum biodegradovateľných materiálov sa v poslednom desaťročí značne zintenzívil, o čom svedčí

narastajúci počet publikácií z tejto oblasti. Tento výskum je súčasťou multidisciplinárneho odboru biomateriály, ktorý vznikol začiatkom šesťdesiatych rokov v súvislosti s riešením problému materiálových obmedzení kostných substitútov. Snahou tohto príspevku je stručne charakterizovať jednotlivé skupiny biodegradovateľných materiálov a poukázať na aktuálny výskum v tejto oblasti.

1 KLASIFIKÁCIA A CHARAKTERISTIKA BIODEGRADOVATEĽNÝCH MATERIÁLOV

Vo všeobecnosti sú za biodegradovateľné materiály považované tie, ktoré sa v tele rozkladajú a postupne sa vstrebávajú [5]. Biodegradovateľné materiály je možné kategorizovať do základných skupín podľa schémy na obr. 1.



Obrázok 1. Základné členenie biodegradovateľných materiálov

Cieľom tejto schémy je predovšetkým vymedziť rozsah záberu tohto príspevku zameraného na analýzu jednotlivých skupín biodegradovateľných materiálov a nie poskytnúť reprezentatívnu klasifikáciu existujúcich biodegradovateľných materiálov.

1.1 Polyméry

Hlavné skupiny prírodných biodegradovateľných polymérov sú bielkoviny a polysacharidy. Prírodné polyméry majú viacero výhod, napríklad lepšiu interakciu medzi implantátom a bunkami. Avšak ich viaceré nevýhody - ako ťažšia dostupnosť vo väčšom množstve a náročnejšie spracovanie vrátane čistenia - spôsobili zvýšený záujem práve o výskum syntetických polymérov. Syntetické polyméry ponúkajú oproti prírodným polymérom možnosť prispôsobenia ich parametrov. V závislosti od potreby použitia je možné upraviť mechanické vlastnosti, ako pórovitosť či rýchlosť degradácie. Syntetické polyméry sú taktiež dobre dostupné a je možné ich vyrobiť vo veľkých množstvách. Takto vyrobené polyméry majú dobré mechanické a fyzikálne vlastnosti ako napr. pevnosť v ťahu, modul pružnosti a rýchlosť degradácie.

Syntetické polyméry

Najbežnejšie používané syntetické polyméry pre tkanivové inžinierstvo a dodávku liečiv sú alifatické polyméry, ktoré zahŕňajú: kyselinu polymliečnu (PLA) a kyselinu polyglykolovú (PGA); kopolymér kyseliny mliečnej a glykolovej (PLGA); polykaprolaktón (PCL); poly-p-dioxanón a kopolymér mákkého trimetylénkarbonátu a glykolidu [6]. Tieto materiály sú schválené americkým Úradom pre kontrolu potravín a liečiv (FDA) pre klinické aplikácie u ľudí [7]. PLA existuje v troch formách - D-PLA, PDLA a L-PLA (PLLA). Zmesi D-PLA a L-PLA (PDLLA), PLA, PGA a PLGA sa klinicky používajú na liečbu pacientov s poškodenými orgánmi alebo tkanivami a na systémy dodávania liekov [8]. Ukázalo sa, že tieto polyméry sú biokompatibilné a degradujú na netoxické produkty s kontrolovateľnou rýchlosťou degradácie, keď sa implantujú in vivo. Medzi ďalšie biodegradovateľné syntetické polyméry patria polyanhydridy, polyfosfazény, polyuretány a syntetické hydrogély. Tieto sú aplikovateľné ako obnoviteľné stehy, systémy dodávania liekov, umelá pokožka, hojenie rán a ortopedické implantáty.

Aj keď poly (α -hydroxyestery), ako sú PGA, PLA, PCL a ich kopolyméry, degradujú hydrolýzou a môžu byť metabolizované a vylučované, ich biokompatibilita

je niekedy sťažená kyslými degradačnými produktami [9]. Vo všeobecnosti majú polymérne materiály obmedzenú pevnosť a mechanickú stabilitu ak sú vyrobené z veľkoobjemových častí, ktoré majú makro pórovitú štruktúru, čo je žiaduci atribút pre regeneračné materiály. Tieto polyméry podstupujú proces celkovej erózie, čo môže mať za následok predčasné zlyhanie skafoldov, navyš nie sú osteokonduktívne a nepodporujú primerane adhéziu, rast a množenie kostných buniek [10].

Prírodné polyméry

Medzi prírodné polyméry patria polysacharidy (napr. škrob, alginát, chitín/chitosan, deriváty kyseliny hyalurónovej) alebo proteíny (napr. sója, kolagén, fibrínové gély, hodváb). Tieto materiály majú dobrú biokompatibilitu. Majú však tiež schopnosť stimulovať imunitnú odpoveď. Molekulárna štruktúra prírodných polymérov je vysoko organizovaná a obsahuje extracelulárne ligandy, ktoré sa môžu viazať na bunkové receptory. Rýchlosť degradácie prírodných aj syntetických polymérov sa môže u jednotlivých pacientov líšiť, pretože degradácia prírodných polymérnych materiálov závisí od aktivity enzýmov, ktorá je u pacientov premenlivá [6].

Ďalším veľmi častým prírodným polymérom je kolagén. V súčasnosti rozoznávame najmenej 28 rozdielnych typov kolagénu. Kolagén sa nachádza v spojivových tkanivách cicavcov, ktorý dodáva tkanivám pevnosť a pružnosť. Najviac vyskytujúcim je kolagén typu I, ktorý sa hojne nachádza v tkanivách, pričom vyššie hladiny sa nachádzajú v šľachách, pokožke, kostiach a fasciách. Tento materiál nachádza široké uplatnenie v lekárstve a farmakológii.

1.2 Biokeramika

Kryštalické fosforečnany vápenaté

Syntetické fosforečnany vápenaté (CaP) sú osteokonduktívne a biologicky vstrebateľné a tiež sú podobné anorganickej zložke kosti. Fosforečnany vápenaté používané na opravu kosti sú podľa ich zloženia klasifikované do týchto skupín [11]:

1. Apatit s nedostatkom vápnika (CDA),
2. Hydroxyapatit (HA) $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$,
3. Beta-trikalcium fosforečnan (β -TCP), $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$,
4. Dvojfázový fosforečnan vápenatý (BCP) - dokonalá zmes HA a β -TCP s rôznymi hmotnostnými pomermi HA / β -TCP.

Výroba hutného a hustého prášku CaP alebo skafoldu na kostnú regeneráciu si vyžaduje

vysokoteplotné spekanie pri teplotách 1000 až 1200 °C. Degradácia CaP in vitro alebo in vivo závisí od ich zloženia, fyzikálneho tvaru, kryštalickosti, pórovitosti a podmienok prípravy [12]. Bioaktivita CaP biokeramiky bola pozorovaná priamym pripojením na natívnu kosť na biomateriálovom povrchu potiahnutom hydroxyapatitom [13].

Tvorba biomimetického uhličitanového apatitu na povrchoch CaP v simulovanej telesnej tekutine (SBF) bola ako in vitro bioaktivita tiež dokázaná príjmom vápenatých a fosforečnanových iónov z roztoku [14]. CaP umožňujú osteoblastovým bunkám pripojiť sa, proliferovať a diferencovať [15]. Diferenciačné bunky osteoblastov nasadené na BCP produkujú kolagén typu I, alkalickú fosfatázu, proteoglykány (dekorín, lumican, biglykán) a proteíny kostnej hmoty (osteokalcín, osteopontín a kostný sialoproteín) známe tým, že sa prejavujú tvorbou kostí [16]. CaP povlaky na bioinertných materiáloch používaných na celkovú artroplastiku kĺbov preukázali zlepšenú osseointegráciu na rozhraní kosť/implantát, ktorá vedie k lepšej stabilite implantátu [17].

Bioaktívne sklá

Bioaktívne sklá patria do triedy nekryštalických silikátových skiel, ktoré dokážu stimulovať tvorbu minerálov podobných kosti (hydroxid uhličitanový apatit, HCA) za prítomnosti fyziologických tekutín. HCA je podobný anorganickej zložke prírodnej kosti a predpokladá sa, že vrstva HCA interaguje s kostnou mimobunkovou hmotou (ECM) za účelom spojenia sa s prírodnou kosťou [18]. Bioaktívne sklo (BG) bolo prvýkrát vynájdené v roku 1969 a pozostávalo zo 46,1 mol % SiO_2 , 24,4 mol % Na_2O , 26,9 mol % CaO a 2,6 mol % P_2O_5 , neskôr bolo pomenované ako 45S5 a Bioglass®, ktorý počas in vivo štúdií vytvoril silnú väzbu s natívnou kosťou v dôsledku tvorby vrstvy HCA na rozhraniach kosť/implantát, za čím nasledovalo rozpustenie sklenených materiálov [19]. Postupne bolo vyvinutých niekoľko druhov bioaktívnych skiel – na báze kremičitanu, na báze fosfátov a na báze boritanu.

Pri vývoji umelého kostného tkaniva je nevyhnutné prispôbiť mieru degradácie biomateriálového skafoldu. Úprava zloženia bioskla umožňuje kontrolovať jeho rýchlosť degradácie in vitro a tiež zvýšiť regeneráciu kostí. Napríklad v biosklách na báze kremičitanu sa čiastočným nahradením SiO_2 s B_2O_3 môže rýchlosť degradácie meniť v širokom rozsahu [20]. Týmto spôsobom je možné zosúladiť rýchlosť degradácie bioskiel na báze boritanu s

rýchlosťou tvorby novej kostnej mimobunkovej hmoty.

1.3 Kompozitné biomateriály

Pevnosť a spracovateľnosť polymérov môže byť doplnená o vynikajúcu bioaktivitu bioskiel vyrobením kompozitných materiálov. Organicko-anorganické (O-A) kompozity vyrobené z bioskiel a biodegradovateľných polymérov sú výhodným materiálom kvôli možnosti kombinovania ich vlastností a kvôli možnosti získania požadovaných mechanických vlastností, biodegradovateľnosti a bioaktivity. Spravidla sa tieto kompozity pripravujú tým, že sa polyméry použijú ako matrice a biosklenné prášky ako výplň. Kompozitné skafoldy vyrobené z bioskiel a polymérov ako PCL, PLA, PGA, PLGA atď., preukázali v porovnaní s čistými biosklami alebo čistými polymermi lepšie mechanické vlastnosti. [21].

Konvenčné kompozitné biomateriály

Príprava kompozitov z bioskiel a bioresorbovateľných polymérov tiež modifikuje degradačné správanie polymérov. Vedľajšie produkty kyslej degradácie polymérov môžu pôsobiť toxicky pre bunky, zatiaľ čo biosklo degraduje tak, že uvoľňuje kationy, ktoré môžu tmiť kyslé vedľajšie produkty a udržiavať neutrálnu pH na O-A rozhraniach [22]. Biosklá sú hydrofilné a zahrnutie bioskiel v hydrofóbných polymérnych matriciach tiež mení povrchové a celkové vlastnosti organicko-anorganických kompozitných skafoldov zvýšením hydrofilnosti a absorpcie vody a tak upravuje kinetiku degradácie [23]. Je však ťažké zosúladiť rýchlosti degradácie týchto dvoch zložiek v organicko-anorganických kompozitoch. V bežných O-A kompozitoch sa rôzne fázy degradujú rôznymi rýchlosťami, čo zapríčiňuje nerovnomerné rozpúšťanie a mechanickú nestabilitu skafoldov. Alternatívny spôsob, ako prekonať tieto nejednotné vlastnosti, je výroba O-A nanokompozitov, v ktorých sú anorganické nanočastice alebo nanovlákná zmiešané s polymérnou maticou [24].

Nanokompozitné biomateriály

O-A nanokompozity pripravené s nanočasticovou biosklennou náplňou poskytujú väčšiu povrchovú plochu v porovnaní s konvenčnými kompozitmi, ktoré sú pripravené s mikroskopickými časticami bioskla. Zväčšená povrchová veľkosť bioskla pozitívne ovplyvňuje interakcie medzi bunkami a materiálom. Nanočastice biokeramiky zlepšili adsorpciu proteínov a adhéziu osteoblastov v porovnaní s ich mikro-časticovými náprotivkami [25]. Pre získanie organicko-anorganických

nanokompozitov so zlepšenou bioaktivitou, interakciami bunka-materiál a mechanickými vlastnosťami je veľkosť nanočastíc dôležitým parametrom. V detailnej štúdii o poréznych 3D PLLA/biosklo nanokompozitných skafoldoch bolo pozorované, že pridanie nanočastíc bioskla až do 20% hmotnosti nezmenilo ich morfológiu, ale zvýšilo ich bioaktivitu [26]. So zvyšovaním množstva bioskla od 0 do 30% hmotnosti sa modul tlaku v nanokompozitných skafoldoch zvýšil z 5,5 MPa až na 8,0 MPa. Začlenenie nanočastíc bioskla do PLLA matrice tiež napomohlo k rovnovážnemu príjmu vody nanokompozitnými skafoldami a ovplyvnilo rýchlosť degradácie.

1.4 Biodegradovateľné kovy

Výskum v oblasti biodegradovateľných kovových materiálov je v súčasnosti na vzostupe. Skúmané sú tri hlavné skupiny biodegradovateľných kovov: biodegradovateľné kovy na báze horčíka, na báze zinku a železné zliatiny. V popredí výskumu biodegradovateľných medicínskych implantátov sú biodegradovateľné kovy na báze horčíka [3].

Zliatiny na báze horčíka

Čistý horčík nie je veľmi vhodný pre biodegradovateľné implantáty z dôvodu nízkej mechanickej pevnosti. Zliatiny na báze horčíka korodujú vo vodnom prostredí prostredníctvom elektrochemických reakcií, ktoré vedú k produkcii hydroxidu horečnatého a vodíkového plynu. Produkt korózie horčíka (Mg^{2+}) sa ľahko vylučuje močom, čo má za následok dobré biologické správanie pozorované keď sú horčík a jeho zliatiny použité v medicínskych aplikáciách. Hustota kovov na báze horčíka ($1,7\text{--}2,0\text{ g/cm}^3$) je veľmi podobná hustote kostí ($1,8\text{--}2,1\text{ g/cm}^3$). Zatiaľ čo hustoty iných kovov (titán a nehrdzavejúca oceľ) sú oveľa vyššie alebo v prípade polymérov sú hustoty oveľa nižšie v porovnaní s prírodným kostným tkanivom. Taktiež modul pružnosti v ťahu u kovov na báze horčíka je ~ 45 GPa, čo je bližšie k prírodnej kosti.

Kovy na báze horčíka boli kvôli svojim prednostiam skúmané pre použitie pri oprave a regenerácii kosti. Väčšinou sa pozornosť sústredila na výrobu skrutiek a platní na fixáciu zlomenín a na výrobu pórovitých skafoldov. I keď materiály na báze horčíka majú vynikajúci pomer pevnosti a hmotnosti v porovnaní s inými biologicky odbúrateľnými materiálmi, kritickým problémom je kontrolovateľnosť rýchlosti degradácie [27]. Majú vysokú rýchlosť degradácie, ktorá indukuje osteolýzu, hemolýzu a prudké zníženie mechanických vlastností [28].

Predmetom skúmania boli tiež dvojzložkové zliatiny horčíka a vápnika (Mg-Ca) s rôznymi úrovňami obsahu vápnika a pri rôznych podmienkach spracovania [29]. Z dôvodu nízkej hustoty vápnika ($1,55\text{ g/cm}^3$), zliatiny Mg-Ca majú podobnú hustotu ako kost. Dvojzložkové zliatiny Mg-Ca sú obvykle zložené z dvoch fáz: (i) α -Mg a (ii) Mg_2Ca . Zvýšenie fázy α -Mg v mikroštruktúre zliatiny vedie k vyššej miere korózie, zatiaľ čo extrúzia za tepla a valcovanie za tepla redukujú koróziu [30]. Po implantácii ihneď zo zliatiny Mg-Ca do femorálnych diafýz kráľíka nebola pozorovaná cytotoxicita avšak zvýšená aktivita osteocytov a osteoblastov bola preukázaná okolo implantátov, čo naznačuje dobrú biokompatibilitu a bioaktivitu [31].

Zliatiny na báze železa

Výskum v tejto oblasti je zameraný na parametre degradácie Fe a jeho zliatin v ľudskom organizme. Z dôvodu pomalej degradácie železa a jeho zliatin (rýchlosť degradácie čistého Fe v osteogénnom prostredí je $0,16\text{ mm/rok-1}$) a tiež ich feromagnetickú povahu sú implantáty na tejto báze pre trvalé aplikácie považované za problematické. Z tohto dôvodu sú do týchto zliatin obvykle pridávané legujúce prvky ako Mn, C, Si a Pd za účelom zvýšenia rýchlosti ich degradácie a zníženia ich magnetickej schopnosti. Okrem toho pozornosť je tiež venovaná zvyšovaniu povrchovej bioaktivity týchto materiálov, u ktorých bola zistená neschopnosť stimulovať tvorbu kosti podobne, ako v prípade bioinertných antikorózných ocelí [32].

1.5 Materiály na báze mimobunkovej hmoty (ECM)

Ďalším biodegradovateľným materiálom s potenciálom v oblasti regeneračnej medicíny je natívna mimobunková hmota (ECM). Každý typ tkaniva má špecializovanú štruktúru a zloženie mimobunkovej hmoty, ktoré modulujú bunkové reakcie a prispievajú prežitiu buniek v danom tkanive. Mimobunková hmota sa skladá z dvoch hlavných zložiek – kolagénu a preteoglykánov, ktoré sú vylučované bunkami a usporiadané sú špecificky podľa druhu tkaniva [33]. Taktiež obsahuje rastové faktory a cytokíny, ktoré vysielajú signály regulujúce bunkovú proliferáciu a migráciu, zároveň modulujú diferenciáciu a fenotypovú expresiu buniek [33]. Vďaka svojim vlastnostiam je použitie tkanivovo špecifickej bunkovej hmoty v oblasti regenerácie tkanív na vzostupe.

Kostná mimobunková hmota sa skladá z organickej a anorganickej časti. Organická časť, zväčša zložená z

kolagénu typu I, poskytuje tkanivu pružnosť. Anorganická časť pozostávajúca hlavne z fosforečnanu vápenatého je zdrojom pevnosti kosti [34]. Okrem toho existujú štyri typy buniek v kostnom tkanive, ktoré prispievajú k osteogenéze: (a) nediferencované osteoprogenitorové bunky, (b) osteoblasty ukládajúce hmotu, (c) zrelé osteocyty, ktoré už neukladajú hmotu a (d) osteoklasty resorbujúce kostné tkanivo.

Pred použitím mimobunkovej hmoty v regeneračnej terapii, odobraté tkanivo musí prejsť procesom decelularizácie. Decelularizácia je proces úpravy tkaniva, pri ktorom sa odstránia bunkové časti a vo výsledku sa získa nebunková mimobunková hmota, ktorá sa môže použiť na liečebné aplikácie. Voľba danej decelularizačnej metódy závisí od druhu tkaniva. Hlavnou výhodou decelularizovanej mimobunkovej hmoty (dECM) je to, že zachováva zložky prirodzeného bunkového prostredia [33]. Pri správnej decelularizácii sú komplexné biomolekulárne a fyzikálne podnety v mimobunkovej hmote zachované a môžu podporovať bunkový rast.

2 POROVNANIE VYBRANÝCH BIODEGRADOVATEĽNÝCH MATERIÁLOV

S cieľom zhrnutia a porovnania vlastností vybraných biodegradovateľných materiálov, ktoré sú analyzované v tejto štúdii je v nasledujúcej tabuľke 1. poskytnutý prehľad ich výhod a nevýhod.

Tabuľka 1. VÝHODY A NEVÝHODY VYBRANÝCH BIODEGRADOVATEĽNÝCH MATERIÁLOV

Biomateriál	Výhody	Nevýhody
Kovy	Výborné mechanické vlastnosti; biokompatibilné	korózia
Horčík	dobrá pórovitosť; mechanické vlastnosti podobné kosti	riziko toxicity spôsobené kovovými iónmi
Prírodné polyméry	špecifické rýchlosti degradácie; biokompatibilita	mechanické vlastnosti – nízka pevnosť
Kolagén	výborná biokompatibilita	obtížna dezinfekcia a manipulácia
Chitosan	polysacharid s pozitívnym nábojom; odolnosť voči baktériám; biokompatibilita	žiadne
Alginát	polysacharid s negatívnym nábojom	
Kyselina	minoglykán so	

hyalurónová	záporným nábojom; biokompatibilita	
Syntetické polyméry	prispôsobenie mechanických a fyzikálnych vlastností	možná nežiaduca tkanivová reakcia spôsobená degradáciou
kyselina polymliečna (PLA), kyselina polyglykolová (PGA), kopolymér kyseliny mliečnej a glykolovej (PLGA)	rozpustnosť vo vode; kryštalickosť nastaviteľná zmenou stupňa hydroxylácie	nehydrofóbnosť; nedostatok bunkovej adhézie
Polykaprolaktón (PCL)	výborná kryštalickosť; mechanické vlastnosti	nízka miera degradácie
Polypropylén fumarát (PPF)	prispôsobenie mechanických vlastností a degradácie	žiadne
Bioaktívna keramika	kompozičná podobnosť s anorganickou kostnou fázou; bioaktivita	žiadne
Hydroxyapatit (HA)	biokompatibilný; netoxický; osteokonduktívny	
Beta – trikalcium fosforečnan (β – TCP)	biokompatibilita; poskytnutie vápnika a fosforu novému tkanivu	rýchlosť degradácie a rýchlosť kostnej tvorby je nekonzistentná
Bioaktívne sklá	prispôsobenie rýchlosti degradácie	krehkosť

ZÁVER

Tento článok mal za cieľ priblížiť a rozdeliť biodegradovateľné materiály skúmané pre použitie v oblasti náhrad tvrdých tkanív. Regeneračná medicína využíva možnosti biodegradovateľných materiálov, aby takéto náhrady podporili zhojenie poškodeného tkaniva a postupne boli odbúrané a nahradené novým tkanivom. Úspešná aplikácia takýchto materiálov vyžaduje možnosť prispôsobenia ich mechanických vlastností a takú rýchlosť degradácie, ktorá je kompatibilná s rýchlosťou utvárania nového tkaniva. Je zrejmé, že faktory, ktoré sú prospešné pre bunkový rast a proliferáciu, napríklad vysoká pórovitosť, sú v rozpore s dobrými mechanickými vlastnosťami. Jednotlivé druhy popisovaných biodegradovateľných materiálov majú rôzne prednosti i nevýhody. Tieto vlastnosti boli predstavené v prehľadnej tabuľke. Na hľadanie ideálneho materiálu pre náhrady tvrdých tkanív budú potrebné ďalšie výskumy zamerané na interakciu materiálu a živých buniek.

Pod'akovanie

Tento príspevok vznikol za podpory projektu: Zvyšovanie synergie metód výučby biofyziky s využitím laboratórnych zariadení a diagnostických prístrojov zameraných na meranie fyzikálnych a technických veličín KEGA 023TUKE-4/2020, Výskum a vývoj kompozitných a biodegradovateľných materiálov pomocou inteligentných aditívnych technológií a ich testovanie v zmysle medzinárodných noriem pre personalizovanú medicínu a tkanivové inžinierstvo STIMULY PRE VÝSKUM A VÝVOJ 1233/2018, Centrum pre pokročilé terapie chronických zápalových ochorení pohybového aparátu (CPT ZOPA) ITMS2014+: 313011W410, Výskum aditívnej výroby biodegradovateľných magnéziových zliatin a ich aplikácie v implantológii a regeneratívnej medicíne APVV-17-0278, Vývoj nových biodegradovateľných kovových zliatin určených pre medicínske a protetické aplikácie APVV-17-0008.

Použitá literatúra

- [1] BRINKER, M. R., O'CONNOR, D. P.: The incidence of fractures and dislocations referred for orthopaedic services in a capitulated population. *JBJS*, 86(2), 290-297.
- [2] LAURENCIN, C., KHAN, Y., EL-AMIN, S. F.: Bone graft substitutes. Expert review of medical devices, 3(1), 49-57.
- [3] LI, C., a kol.: Design of biodegradable, implantable devices towards clinical translation. *Nature Reviews Materials*, 5(1), 61-81.
- [4] THEOCHARIS, A.D., SKANDALIS, S.S., GIALELI, C., KARAMANOS, N.K.: Extracellular matrix structure. *Advanced Drug Delivery Reviews*. 97: 4-27.
- [5] BROWN, A., ZAKY, S., RAY, H., SFEIR, C.: Porous magnesium/PLGA composite scaffolds for enhanced bone regeneration following tooth extraction. *Acta Biomater.* 11:543-553, 2015.
- [6] NASEER, I., a kol.: Recent concepts in biodegradable polymers for tissue engineering paradigms: A critical review. *International Materials Reviews* 64.2 (2019): 91-126.
- [7] GUO, B., MA, P. X.: Synthetic biodegradable functional polymers for tissue engineering: a brief review. *Science China Chemistry*. 2014; 57(4):490-500.
- [8] VACANTI, J. P., LANGER, R.: Tissue engineering: the design and fabrication of living replacement devices for surgical reconstruction and transplantation. *The Lancet*. 1999;354: S32-S34.
- [9] MARTIN, C., WINET, H., BAO, J. Y.: Acidity near eroding polylactide-polyglycolide in vitro and in vivo in rabbit tibial bone chambers. *Biomaterials* 1996, 17, 2373-2380.
- [10] OKAMOTO, M., JOHN, B.: Synthetic biopolymer nanocomposites for tissue engineering scaffolds. *Prog. Polym. Sci.* 2013, 38, 1487-1503.
- [11] ASLANKOOHI, N., a kol.: Bone repair and regenerative biomaterials: Towards recapitulating the microenvironment. *Polymers* 11.9 (2019): 1437.
- [12] HENCH, L. L., BEST, S. M.: Ceramics, Glasses, and Glass-Ceramics: Basic Principles. In *Biomaterials Science*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2013; pp. 128-151.
- [13] BIGI, A., a kol.: The response of bone to nanocrystalline hydroxyapatite coated Ti13Nb11Zr alloy in an animal model. *Biomaterials* 2008, 29, 1730-1736.
- [14] SPANOS, N., MISIRLIS, D. Y., KANELLOPOULOU, D. G., KOUTSOUKOS, P. G.: Seeded growth of hydroxyapatite in simulated body fluid. *J. Mater. Sci.* 2006, 41, 1805-1812.
- [15] WILKE, A., a kol.: Biocompatibility analysis of different biomaterials in human bone marrow cell cultures. *J. Biomed. Mater. Res.* 1998, 40, 301-306.
- [16] SUN, L., a kol.: Gene expressions of Collagen type I, ALP and BMP-4 in osteo-inductive BCP implants show similar pattern to that of natural healing bones. *Mater. Sci. Eng. C* 2009, 6, 1829-1834
- [17] GEESINK, R. G. T.: Osteoconductive Coatings for Total Joint Arthroplasty. *Clin. Orthop. Relat. Res.* (1976-2007) 2002, 395, 53-65.
- [18] JONES, J. R.: Review of bioactive glass: From Hench to hybrids. *Acta Biomater.* 2013, 9, 4457-4486.
- [19] HENCH, L. L., SPLINTER, R. J., ALLEN, W. C., GREENLEE, T. K.: Bonding mechanisms at the interface of ceramic prosthetic materials. *J. Biomed. Mater. Res.* 1971, 5, 117-141.
- [20] HUANG, W., DAY, D. E., KITTIRATANAPIBOON, K., RAHAMAN, M. N.: Kinetics and mechanisms of the conversion of silicate (45S5), borate, and borosilicate glasses to hydroxyapatite in dilute phosphate solutions. *J. Mater. Sci. Mater. Med.* 2006, 17, 583-596.
- [21] DZIADEK, M., a kol.: New generation poly(ϵ -caprolactone)/gel-derived bioactive glass composites for bone tissue engineering: Part I. Mat. properties. *Mater. Sci. Eng. C* 2015, 56, 9-21.
- [22] LI, H., CHANG, J.: pH-compensation effect of bioactive inorganic fillers on the degradation

- of PLGA. *Compos. Sci. Technol.* 2005, 65, 2226–2232.
- [23] NASERI, S., BOCCACCINI, A. R., NAZHAT, S. N.: Bioactive Glass Particulate-incorporated Polymer Composites. In *Bioactive Glasses: Fundamentals, Technology and Applications*; Royal Society of Chemistry: Cambridge, UK, 2016; pp. 236–256.
- [24] KANGO, S., a kol.: Surface modification of inorganic nanoparticles for development of organic–inorganic nanocomposites—A review. *Prog. Polym. Sci.* 2013, 38, 1232–1261.
- [25] WEBSTER, T. J., a kol.: Specific proteins mediate enhanced osteoblast adhesion on nanophase ceramics. *J. Biomed. Mater. Res.* 2000, 51, 475–483.
- [26] HONG, Z., a kol.: Preparation of bioactive glass ceramic nanoparticles by combination of sol–gel and coprecipitation method. *J. Non-Cryst. Solids* 2009, 355, 368–372.
- [27] MORDIKE, B., EBERT, T.: Magnesium: Properties—applications—potential. *M. Sci. Eng.* 2001, 37–45.
- [28] TOWLE, D., FRIEND, C.: Comparison of compressive and tensile properties of magnesium-based metal matrix composites. *M. Sci. Technol.* 1993, 9, 35–41.
- [29] WAN, Y., a kol.: Preparation and characterization of a new biomedical magnesium–calcium alloy. *Mater. Des.* 2008, 29, 2034–2037.
- [30] GU, X., a kol.: In vitro corrosion and biocompatibility of binary magnesium alloys. *Biomaterials* 2009, 30, 484–498.
- [31] LI, Z., GU, X., LOU, S., ZHENG, Y.: The development of binary Mg–Ca alloys for use as biodegradable materials within bone. *Biomaterials* 2008, 29, 1329–1344.
- [32] GOREJOVÁ, R., a kol.: Recent advancements in Fe-based biodegradable materials for bone repair. *Journal of Mat. Science* 54.3 (2019): 1913–1947.
- [33] KIM, Y. S., a kol.: Applications of decellularized extracellular matrix in bone and cartilage tissue engineering." *Bioengineering & Translational Medicine* 4.1 (2019): 83–95.
- [34] MADHURAKKAT, P., a kol.: Materials from mussel-inspired chemistry for cell and tissue engineering applications. *Biomacromolecules*. 2015;16(9):2541–2555.

Korešpondenčná adresa:

Ing. Marcel Modrák
Technická Univerzita v Košiciach
Strojnícka fakulta
Katedra biomedicínskeho inžinierstva a merania
Letná 9/B, Košice 042 00
Tel.: +421944208885
Email: marcelmodrak@gmail.com

MONITORING OF MORPHOLOGICAL SURFACE CHANGES ACCORDING TO CURRENT TRENDS

Róbert MORO, Dagmar DRAGANOVSKÁ

Technical university of Košice, Faculty of mechanical engineering, Department of technology, materials and computer aided production, Slovak Republic, robert.moro@tuke.sk, dagmar.draganovska@tuke.sk

Abstract:

The contribution is focused on monitoring the morphological changes of the surface, which arise during the creation of new surfaces after the application of engineering technologies. Surfaces after mechanical pretreatment with blasting means were analyzed for changes in the microgeometry of the sample surfaces. The effect of the applied blasting means of different material and shape on the surface of the metal material was evaluated. The microgeometry of roughness parameters was measured using two different methods - contact and non-contact method. Evaluation and measurement of roughness parameters were performed in accordance with the standard STN EN ISO 4287.

Key words:

Microgeometry, blasting, surface, blasting means, roughness

INTRODUCTION

Monitoring the surface of samples after processing is currently one of the most monitored factors in determining the quality values of the products in mechanical engineering. In terms of quality, durability and reliability of the final product, we rank the surface among one of the most important parameters for determining the mentioned aspects.

Of course, degradation processes, such as corrosion, wear, take place in the surface layers, and these factors affect the condition of the surface and thus the service life, functionality of the components. Today, it is necessary to optimize processes that are closely related to the quantitative and qualitative evaluation of the surface of individual components. One of the possibilities for obtaining optimal surface properties is thorough, correct preparation and implementation of pre-treatment as well as final surface treatment. Of the large number of methods of surface pretreatment, blasting technology has a wide application, which can achieve high-quality surface cleaning and at the same time obtain its suitable microgeometry for the subsequent application of coatings in order to optimally adhere.

In order to ensure these requirements, it is necessary to pay attention to the correct choice of blasting mean and parameters of blasting technology such as blasting process pressure, angle

of impact of the blasting agent, optimal blasting time and the like. After choosing the right technological parameters, we can achieve the creation of new surfaces that will provide sufficient resistance to corrosive loads. [1,3,5]

1 METHODIC OF EXPERIMENTAL WORKS

The base material was ordinary structural steel of the usual quality S235 JRG 2 (11 375). To evaluate and capture the differences of individual surfaces, which were blasted with different types of blasting means, the measurement of roughness parameters was chosen by contact and non-contact method.

In the experimental part of the measurement, the normalized roughness parameters were recorded and evaluated.

Experimental measurements of surface roughness were carried out in accordance with ISO 4287, which defines individual parameters - deviations from the midline of the profile in the horizontal and vertical directions.

As the roughness rating is currently insufficient with only one parameter, the roughness has been evaluated with the following parameters:

- the middle arithmetic deflection of elaborated profile on the basic length (R_a),

- the biggest height of profile on the basic length (Rz),
- the mean width of profile elements (RSm).

The blasting means used were:

- Steel grit (SG) - 0.71 mm
- Corundum (C) - 0.9 mm
- Steel shot (SS) - 0.9 mm

The contact and non-contact method was chosen for the implementation of 2D surface roughness measurement. The touch method was performed with a Surftest SJ - 201 instrument from the manufacturer Mitutoyo, Japan. The selected instrument parameters for measuring blasted surfaces were as follows:

Basic length $l (\lambda_c) = 2,5\text{mm}$,
 Number of basic lengths $N = 5$,
 Measured profile = R (Midline system)
 Filter = Gauss
 Evaluated length $l_n = 12.5\text{mm}$.

The non-contact method of roughness measurement was performed with an Olympus confocal microscope marked LEXT OLS 3000. The Olympus LEXT OLS 3000 confocal laser microscope has high accuracy in measuring and displaying measured values.

The principle is to generate beams of laser beams having a wavelength of 408 nm in order to optimize the highest possible image quality. The parameters of the Olympus LEXT OLS 3000 microscope are as follows:

Laser lighting: $\lambda = 408 \pm 5\text{nm}$,
 Total magnification: 120 - 14 400x,
 Field of view: $2\,560 \times 2\,560\ \mu\text{m} - 21 \times 21\ \mu\text{m}$
 Resolution: $0.12\ \mu\text{m}$.

The basic scheme of the microscope can be seen in Figure 1.

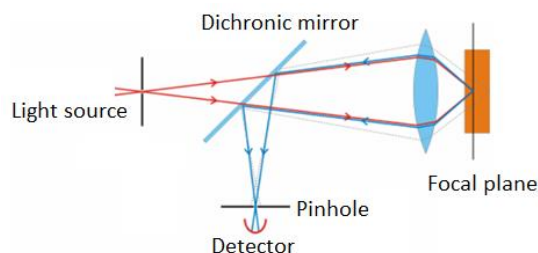


Figure 1. Schematic of the confocal microscope Olympus LEXT OLS 3000

The realization of 3D surface textures was performed by the contact method using a touch profilometer with the production designation Surftest SJ - 201, Mitutoyo, Japan by using Matlab software. [2]

2 MEASUREMENT RESULTS AND DISCUSSION

Different types of blasting means were used in the experiment, by which the individual samples were subjected to blasting technology. These surfaces were measured by contact and non-contact roughness parameters. We rank the parameter R_a among the most commonly evaluated and therefore it was used as a basis for comparing surfaces.

In terms of a more consistent extension of the microgeometry of surfaces, in addition to the parameter R_a , the parameter R_z was also evaluated. The R_{Sm} parameter was evaluated to determine the fragmentation.

Area - 2D evaluation of surface roughness

a) Contact roughness method and its results:

The measured values of the parameters by the contact method are in table I.

Table I.
Measured parameter values by contact method

Measured quantities	Type and size used of blasting means		
	SG 0,71	C 0,9	SS 0,9
$R_a [\mu\text{m}]$	10,91	11,43	11,22
$R_z [\mu\text{m}]$	68,71	70,29	60,79
$R_{Sm} [\mu\text{m}]$	355,05	339,45	642,7

Profilograms of surfaces with Aboot - Fireston curves of material fraction were also made, figure 2. – figure 4.

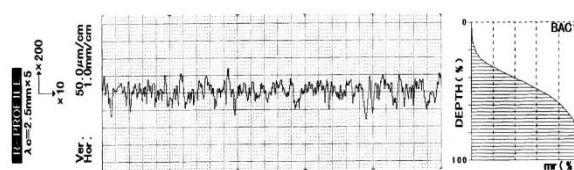


Figure 2. Profilogram of blasted surface with steel grit

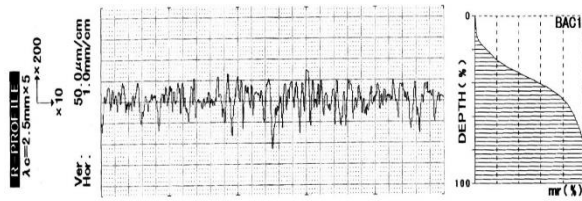


Figure 3. Profilogram of blasted surface with corundum

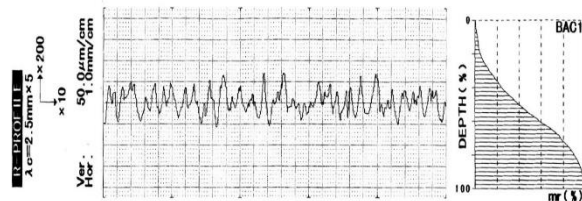


Figure 4. Profilogram of blasted surface with steel shot

From the performed measurements we can state the difference in the articulation of the surfaces, which was caused by the use of different shapes of blasting means (sharp-edged or round character).

The most articulated surface of the evaluated blasting means was achieved during blasting with a sharp-edged blasting means (corundum), where the parameter RSm showed the lowest value of all examined surfaces.

Conversely, the lowest value recorded was found for the round blasting material (granulate). Of course, the differences are also visible from the course of the curves of the material proportion of the profiles, where a difference was found at the upper level of the cut - approximately 40%. The smallest material content was demonstrated for the round blasting means. [5,4]

The highest value of the material content is shown by surfaces that have been blasted with steel grit.

b) Non-contact roughness method and its results:

Measured values of parameters by non-contact method are in table II.

Table II.

Measured parameter values by non – contact method

Measured quantities	Type and size used of blasting means		
	SG 0,71	C 0,9	SS 0,9
Ra [μm]	11,46	13,65	6,6
Rz [μm]	78,13	99,97	50,71
RSm [μm]	67,48	99,92	118,26

Spatial - 3D evaluation of surface roughness

After the implementation of 2D evaluation, the surfaces were evaluated in terms of 3D by both contact and non-contact methods.

The results for contact method are shown in Fig. 5. – Fig. 7. The results for non – contact method are shown in Fig. 8. – Fig. 10.

a) 3D appearance of surfaces in the contact method:

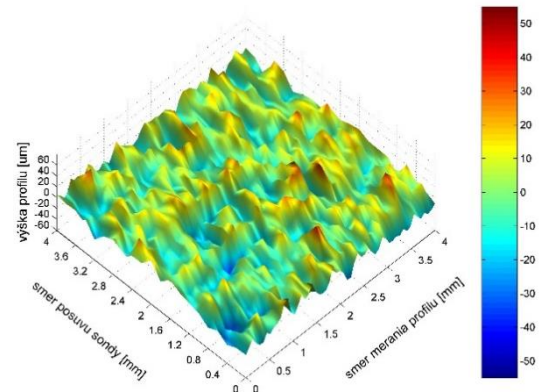


Figure 5. 3D view on blasted surface with steel shot

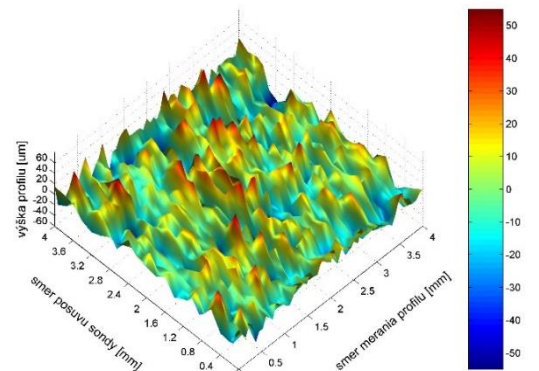


Figure 6. 3D view on blasted surface with steel grit

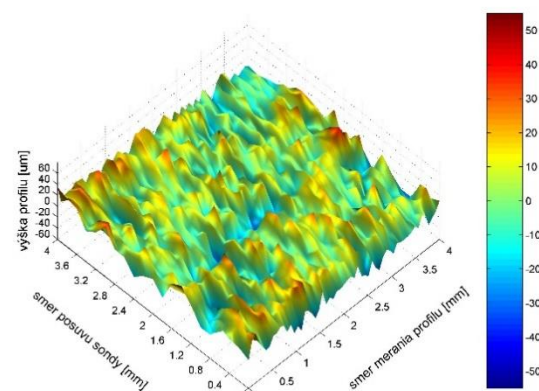


Figure 7. 3D view on blasted surface with corundum

This methodology succeeded in capturing the differences of the given surfaces and also determined the values of individual 2D and 3D roughness parameters.

A floor plan was also created, which shows the distribution of individual protrusions and depressions of surfaces. The method is applicable if the workplace has only a 2D roughness meter. [4,3]

The disadvantage of the method is its time consuming compared to contactless evaluation.

b) 3D appearance of surfaces in the non - contact method:

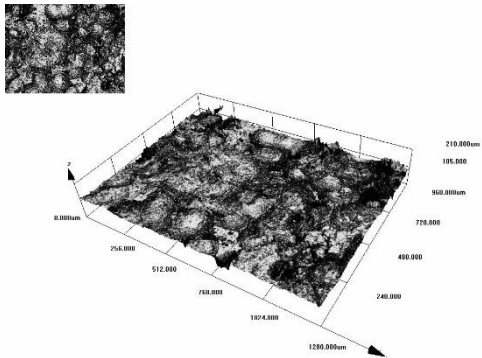


Figure 8. 3D view on blasted surface with steel shot

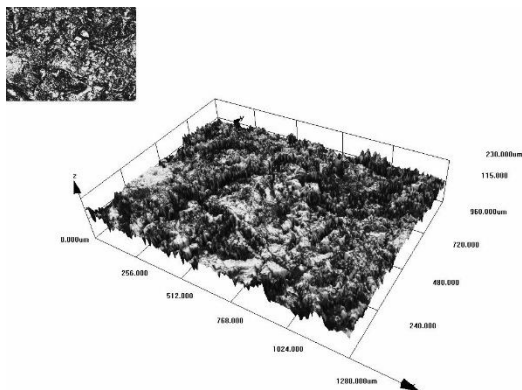


Figure 9. 3D view on blasted surface with steel grit

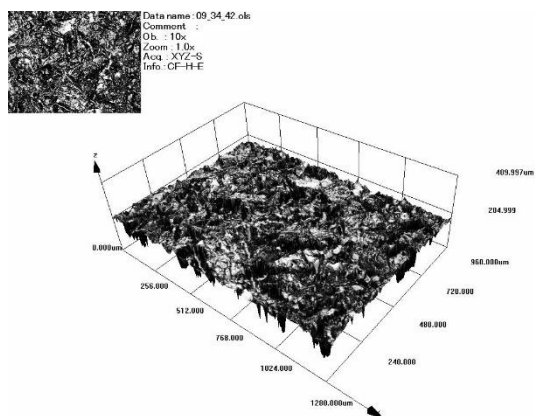


Figure 10. 3D view on blasted surface with corundum

The performed measurements show that this method is sensitive enough to display blasted surfaces.

Compared to the contact method, the contactless method is less time consuming, but the device itself is more expensive compared to the conventional roughness meter. [2,3]

Direct view of the structure of the blasted surfaces was recorded at Fig. 11. – Fig. 13.

Direct view on the surfaces blasted by various blasting means:

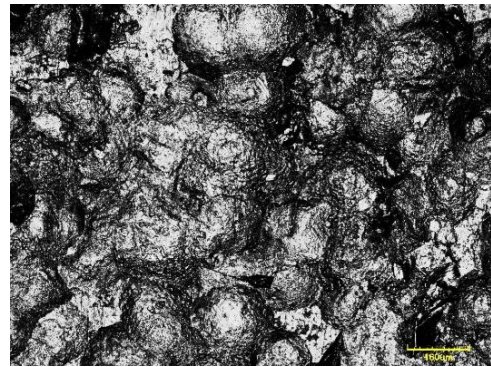


Figure 11. View on blasted surface with steel shot

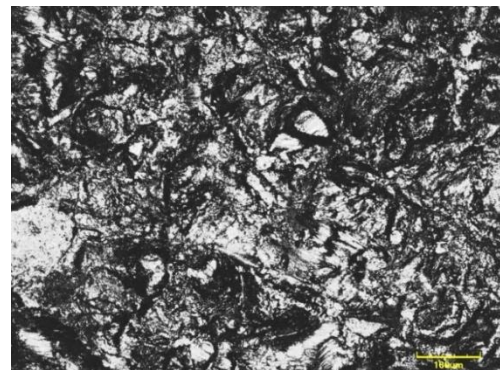


Figure 12. View on blasted surface with steel grit

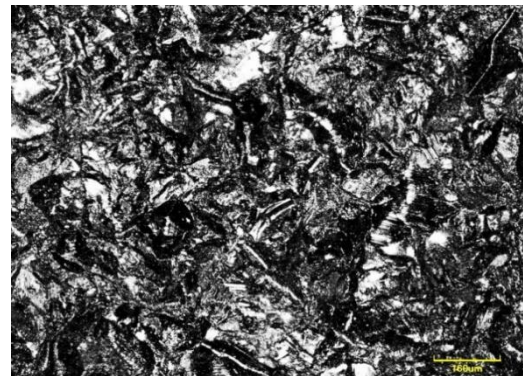


Figure 13. View on blasted surface with corundum

CONCLUSION

Based on the analysis of the results when comparing and examining 2D parameters of microgeometry of blasted surfaces, we can state that the final evaluation of individual surfaces in the midline system only by the parameter Ra - mean arithmetic deviation is not sufficient today and therefore the measurement was supported by other evaluated parameters that evaluate non-oriented surface using a combination of groups of parameters: Ra, Rz, RSm.

Of course, to evaluate the interaction of the surface with the surrounding environment, it was necessary to perform an evaluation with 3D parameters, which ensured a thorough analysis of the evaluated surfaces. When applying blasting technology, it is necessary to adequately consider the choice of the right blasting means, which will provide us with the necessary cleanliness and at the same time optimal surface microgeometry.

The differences in the results of measuring the roughness values by the contact and non-contact method are given by different principles of sensing systems, different measurement accuracy as well as the interaction of instruments and surfaces. Both methods are sensitive enough to image blasted surfaces. In the contact method, it is necessary to take into account the effect of rounding of the probe probe tip on very fine surfaces, 3D measurement in this way is relatively time consuming.

The non-contact measuring method is suitable for use in cases where it is not possible to use the contact method due to damage to the surface by the tip (finely machined surfaces) and for surfaces with complex shapes. With this method, it is also important to set the image contrast correctly to identify points, for 3D evaluation, this method of measurement is more accurate and less time-consuming.

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by the Ministry of Education, Science, Research and Sport of the Slovak Republic (VEGA No. 1/0154/19).

References

- [1] DRAGANOVSKÁ, D. - JANKURA, D.: Evaluation of activity and micro-geometry on blasting metal surfaces. In: *Povrchová úprava*. Vol. 8, no. listopad (2012), p. 1- 4. ISSN 1801-707X.
- [2] BREZINOVÁ, J. - GUZANOVÁ, A. - DRAGANOVSKÁ, D.: *Predúpravy povrchov v teórii a praxi*. TU Košice 2012, 240 s., ISBN 978-80-553-1246-0
- [3] WHITEHOUSE, D.J.: Surface metrology – review article. *Measurement Science and Technology*, vol.8, 1997, p.955-972.
- [4] MORO, R. – DRAGANOVSKÁ, D.: Properties of the biocompatible Ti₆Al₄V material
- [5] BREZINOVÁ, J. - DRAGANOVSKÁ, D. - KONCZ, J.: Methods for setting the durability of progressive blasting mediums. In: *Konštrukčné materiály 2013: vedecká konferencia s medz. účasťou*, ŽU, Žilina, 2013, s. 1 - 4.

Correspondence address:

Name Surname: Ing. Róbert Moro
University: Technical university of Košice
Faculty: Faculty of mechanical engineering
Department: Department of technology, materials and computer aided production
Address of Department: Mäsiarska 74, 040 01 Košice
Tel.: +421 948 347 847
Email: robert.moro@tuke.sk

SPRACOVANIE DÁT Z INVERZNEJ KINEMATIKY V PROSTREDÍ MATLAB PRE ROBOTICKÉ RAMENO ZLOŽENÉ Z URM MODULOV

Štefan Ondočko, Jozef Svetlík, Tomáš Stejskal, Michal Šašala,
Lukáš Hrivniak

Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Katedra výrobné techniky, Košice
stefan.ondocko@tuke.sk, tomas.stejskal@tuke.sk, jozef.svetlik@tuke.sk, lukas.hrivniak@tuke.sk, michal.sasala@tuke.sk

Abstract:

The article describes solution of the inverse kinematics a robotics arm model, which will be composed of special modules (URM). It is an open kinematic chain with six degrees of freedom and unrestricted rotation. Inverse kinematics calculations were performed in a Matlab environment.

Key words:

matlab, inverse kinematics, Jacobian, manufacturing technology, robotics

ÚVOD

Článok sa zaoberá inverznou úlohou kinematiky polohy pre otvorený kinematický reťazec. Konkrétne v tomto prípade ide o stacionárne robotické rameno zložené z tzv. URM modulov, ktoré je podrobne popísané v [1, 2]. Ale spôsob riešenia je použiteľný aj pre iné zostavy. Hlavné atribúty, URM modulu je neobmedzená rotácia modulu okolo vlastnej osi, disponovanie vlastným zdrojom energie a modulárnosť. Vďaka modulárnosti je možné z jednotlivých modulov zostavovať rôzne druhy konfigurácií. Vytvárať stroje s rôznymi pohybovými možnosťami, alebo viacerými stupňami voľnosti pohybu. V prípade inverznej kinematiky polohy hľadáme pre daný otvorený kinematický reťazec, také kĺbové premenné, aby vyhovovali požadovanej polohe a orientácii súradnicového systému koncového efektora. Samozrejme to všetko za predpokladu znalosti rozmerov mechanizmu. Inverzná úloha je oproti priamej, kde polohový vektor je funkciou kĺbových premenných oveľa zložitejšia, pretože je vo väčšine prípadov nutné riešiť sústavy silne nelineárnych algebraických rovníc. Túto problematiku medzi prvými formulovali Paden B. [3] a Kahan W. [4]. Vo väčšine prípadov tieto sústavy nie sú riešiteľné analyticky. Používajú sa preto rôzne druhy iteračných numerických metód najčastejšie s využitím Jakobiánu napríklad [6-8]. Pri výpočte inverznej funkcie narážame často na neriešiteľnosť úlohy aj z dôvodov ako je obmedzený konfiguračný priestor. To všetko je dané samotnou konfiguráciou a fyzikálnymi vlastnosťami

mechanizmu. Napríklad v situácii, kedy sa nachádzame mimo daný konfiguračný (pracovný) priestor, tak samozrejme riešenie neexistuje. Taktiež môže existovať viacero riešení, keďže definovanú polohu koncového efektora je možné dosiahnuť viacerými spôsobmi, ktoré rastú najmä so stupňami voľnosti daného mechanizmu. Vtedy hovoríme o takzvaných redundantných manipulátoroch. Vtedy vektor kĺbových premenných, má počet prvkov väčší ako je samotný stupeň voľnosti v danom priestore, prípadne rovne. Potom existuje nekonečne mnoho konfigurácií, ktorými je možné dosiahnuť definovanú polohu a orientáciu.

1 INVERZNÁ ÚLOHA KINEMATIKY

V tomto článku riešime priamo inverznú funkciu $\varphi=f^{-1}(p)$ a kĺbové premenné $\varphi=[\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n]^T$ sú získané z numerického výpočtu sústavy rovníc $p=f(\varphi)$ popisujúcich priamu kinematiku polohy [5]. Budú tu použité dva spôsoby a to výpočtová metóda pomocou inverzie jakobiánu, keďže mechanizmus má práve šesť stupňov voľnosti a jakobiánová matica je štvorcová. A tiež spôsob, kedy sa pokúsime využiť funkciu, ktorá je určená na výpočet sústav nelineárnych rovníc v prostredí Matlab. Viac aj o iných metódach napríklad zdroje [6], [9, 10]. Keďže sa v budúcnosti uvažuje aj nad inými konfiguráciami URM modulov, prípadne bude požiadavka na viac stupňov voľnosti a vytvorenie redundantného manipulátora, bude nutné použiť aj iné metódy. Koordináty vektora kĺbových premenných sa teda získajú z numerického výpočtu,

ktorý prebieha vopred daným algoritmom. Z výpočtu budeme mať potrebné kĺbové premenné, ktoré potrebujeme implementovať do modelu vytvoreného v prostredí Matlab. Model opíše efektorom trajektóriu na základe vypočítaných kĺbových premenných. Tieto dáta následne porovnáme z originálnou trajektóriou zloženou z jednotlivých bodov. Poloha efektora daného manipulátora je v kartézskych súradniciach popísaná polohovým vektorom $\mathbf{p}_e = [\mathbf{p}_{xe}, \mathbf{p}_{ye}, \mathbf{p}_{ze}]^T$ za predpokladu znalosti rozmerov mechanizmu. A výsledná orientácia efektora daná Eulerovými uhlami [11] napríklad podľa varianty $\mathbf{R}_z(\gamma)\mathbf{R}_y(\beta)\mathbf{R}_x(\alpha)$. Bude určená na základe konečnej rotácie ramena a vyjadrená pomocou výslednej rotačnej matice $\mathbf{R}_{ZYX}$.

V prípade inverznej kinematiky polohy hľadáme pre daný otvorený kinematický reťazec kĺbové premenné, vektora polohy kartézskych súradníc a orientácie (Eulerove uhly $[\alpha_e, \beta_e, \gamma_e]$) súradnicového systému $\mathbf{S}_e\{\mathbf{O}_e, \mathbf{x}_e, \mathbf{y}_e, \mathbf{z}_e\}$ koncového efektora ramena.

1.1 Riešenie sústavy nelineárnych rovníc pre kinematiku polohy pomocou inverzie jakobiánu.

Obecne pre priamu kinematiku polohy môžeme pre polohový vektor efektora napísať vzťah

$$\mathbf{p}_e = f(\boldsymbol{\varphi}) \quad (1)$$

Z tohto sú pre karteziánsky priestor evidentné tri rovnice (2), (3), (4)

$$p_{ex} = f_x(\boldsymbol{\varphi}) \quad (2)$$

$$p_{ey} = f_y(\boldsymbol{\varphi}) \quad (3)$$

$$p_{ez} = f_z(\boldsymbol{\varphi}) \quad (4)$$

Ďalšie tri (6), (7), (9) rovnice získame z konečnej rotácie jednotlivých transformácií efektora, ktorá bude všeobecne daná rotačnou maticou v tvare

$$\mathbf{R}_e = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \quad (5)$$

Z nej napríklad podľa varianty ZYX dostávame ďalšie tri rovnice v tvare

$$\tan(\alpha_e) = \frac{a_{32}}{a_{33}} \quad (6)$$

$$\sin(\beta_e) = -a_{31} \quad (7)$$

alebo tiež

$$\tan(\beta_e) = \frac{-a_{31}}{\sqrt{a_{32}^2 + a_{33}^2}} \quad (8)$$

$$\tan(\gamma_e) = \frac{a_{21}}{a_{11}} \quad (9)$$

Rovnice (6), (7), (9) môžeme prepísať do všeobecného tvaru

$$\alpha_e = f_\alpha(\boldsymbol{\varphi}) \quad (10)$$

$$\beta_e = f_\beta(\boldsymbol{\varphi}) \quad (11)$$

$$\gamma_e = f_\gamma(\boldsymbol{\varphi}) \quad (12)$$

Keďže vektor kĺbových premenných $\boldsymbol{\varphi} = [\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_6]^T$ bude funkciou času $\varphi(t)$, potom pre deriváciu zloženej funkcie $f(\boldsymbol{\varphi})$ vo vzťahoch (2), (3), (4), (6), (7), (9) môžeme napísať

$$\frac{d}{dt} p_{ex} = \frac{df_x}{d\varphi_1} \frac{d\varphi_1}{dt} + \frac{df_x}{d\varphi_2} \frac{d\varphi_2}{dt} + \dots + \frac{df_x}{d\varphi_6} \frac{d\varphi_6}{dt} \quad (13)$$

$$\frac{d}{dt} p_{ey} = \frac{df_y}{d\varphi_1} \frac{d\varphi_1}{dt} + \frac{df_y}{d\varphi_2} \frac{d\varphi_2}{dt} + \dots + \frac{df_y}{d\varphi_6} \frac{d\varphi_6}{dt} \quad (14)$$

$$\frac{d}{dt} p_{ez} = \frac{df_z}{d\varphi_1} \frac{d\varphi_1}{dt} + \frac{df_z}{d\varphi_2} \frac{d\varphi_2}{dt} + \dots + \frac{df_z}{d\varphi_6} \frac{d\varphi_6}{dt} \quad (15)$$

$$\frac{d}{dt} \alpha_e = \frac{df_\alpha}{d\varphi_1} \frac{d\varphi_1}{dt} + \frac{df_\alpha}{d\varphi_2} \frac{d\varphi_2}{dt} + \dots + \frac{df_\alpha}{d\varphi_6} \frac{d\varphi_6}{dt} \quad (16)$$

$$\frac{d}{dt} \beta_e = \frac{df_\beta}{d\varphi_1} \frac{d\varphi_1}{dt} + \frac{df_\beta}{d\varphi_2} \frac{d\varphi_2}{dt} + \dots + \frac{df_\beta}{d\varphi_6} \frac{d\varphi_6}{dt} \quad (17)$$

$$\frac{d}{dt} \gamma_e = \frac{df_\gamma}{d\varphi_1} \frac{d\varphi_1}{dt} + \frac{df_\gamma}{d\varphi_2} \frac{d\varphi_2}{dt} + \dots + \frac{df_\gamma}{d\varphi_6} \frac{d\varphi_6}{dt} \quad (18)$$

Následne tento vzťah môžeme zapísať vo vektorovom tvare

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} p_{ex} \\ p_{ey} \\ p_{ez} \\ \alpha_e \\ \beta_e \\ \gamma_e \end{bmatrix} = \mathbf{J} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ \varphi_3 \\ \varphi_4 \\ \varphi_5 \\ \varphi_6 \end{bmatrix} \quad (19)$$

Kde pre Jacobiho maticu $\mathbf{J}$ bude platiť

$$J = \begin{bmatrix} \frac{df_x}{d\varphi_1} & \frac{df_x}{d\varphi_2} & \frac{df_x}{d\varphi_3} & \frac{df_x}{d\varphi_4} & \frac{df_x}{d\varphi_5} & \frac{df_x}{d\varphi_6} \\ \frac{df_y}{d\varphi_1} & \frac{df_y}{d\varphi_2} & \frac{df_y}{d\varphi_3} & \frac{df_y}{d\varphi_4} & \frac{df_y}{d\varphi_5} & \frac{df_y}{d\varphi_6} \\ \frac{df_z}{d\varphi_1} & \frac{df_z}{d\varphi_2} & \frac{df_z}{d\varphi_3} & \frac{df_z}{d\varphi_4} & \frac{df_z}{d\varphi_5} & \frac{df_z}{d\varphi_6} \\ \frac{df_\alpha}{d\varphi_1} & \frac{df_\alpha}{d\varphi_2} & \frac{df_\alpha}{d\varphi_3} & \frac{df_\alpha}{d\varphi_4} & \frac{df_\alpha}{d\varphi_5} & \frac{df_\alpha}{d\varphi_6} \\ \frac{df_\beta}{d\varphi_1} & \frac{df_\beta}{d\varphi_2} & \frac{df_\beta}{d\varphi_3} & \frac{df_\beta}{d\varphi_4} & \frac{df_\beta}{d\varphi_5} & \frac{df_\beta}{d\varphi_6} \\ \frac{df_\gamma}{d\varphi_1} & \frac{df_\gamma}{d\varphi_2} & \frac{df_\gamma}{d\varphi_3} & \frac{df_\gamma}{d\varphi_4} & \frac{df_\gamma}{d\varphi_5} & \frac{df_\gamma}{d\varphi_6} \end{bmatrix} \quad (20)$$

Ak totálny diferenciál premenných prevedieme na diferenciáciu, tak pre vzťah (19) môžeme napísať

$$\begin{bmatrix} \Delta p_{ex} \\ \Delta p_{ey} \\ \Delta p_{ez} \\ \Delta \alpha_e \\ \Delta \beta_e \\ \Delta \gamma_e \end{bmatrix} = J \begin{bmatrix} \Delta \varphi_1 \\ \Delta \varphi_2 \\ \Delta \varphi_3 \\ \Delta \varphi_4 \\ \Delta \varphi_5 \\ \Delta \varphi_6 \end{bmatrix} \quad (21)$$

Potom pre inverznú úlohu, realizovanú iteračným procesom, vzťah (21) prepíšeme do tvaru

$$\begin{bmatrix} \varphi_{1k+1} - \varphi_{1k} \\ \varphi_{2k+1} - \varphi_{2k} \\ \varphi_{3k+1} - \varphi_{3k} \\ \varphi_{4k+1} - \varphi_{4k} \\ \varphi_{5k+1} - \varphi_{5k} \\ \varphi_{6k+1} - \varphi_{6k} \end{bmatrix} = J^{-1} \begin{bmatrix} p_{ex} - p_{exk} \\ p_{ey} - p_{eyk} \\ p_{ez} - p_{ezk} \\ \alpha_e - \alpha_{ek} \\ \beta_e - \beta_{ek} \\ \gamma_e - \gamma_{ek} \end{bmatrix} \quad (22)$$

kde k je index k -tého iteračného kroku.

1.2 Riešenie sústavy nelineárnych rovníc pre kinematiku polohy pomocou Matlab funkcie fsolve.

Máme danú sústavu nelineárnych rovníc vo vzťahoch (2), (3), (4), (6), (7), (9). Tieto ako je uvedené v [12] sa v skripte s názvom „NAZOVfunkcie“ spolu so samotnou funkciou

$$\text{function } F = \text{NAZOVfunkcie}(\varphi) \quad (23)$$

zapišu v tvare

$$F_1 = -p_{ex} + f_x(\varphi) \quad (24)$$

$$F_2 = -p_{ey} + f_y(\varphi) \quad (25)$$

$$F_3 = -p_{ez} + f_z(\varphi) \quad (26)$$

$$F_4 = -\tan(\alpha_e) + \frac{a_{32}}{a_{33}} \quad (27)$$

$$F_5 = -\sin(\beta_e) - a_{31} \quad (28)$$

$$F_6 = -\tan(\gamma_e) + \frac{a_{21}}{a_{11}} \quad (29)$$

Následne v programe voláme funkciu v tvare

$$\varphi = \text{fsolve}(@\text{NAZOVfunkcie}, \varphi_0, \text{options}) \quad (30)$$

Kde φ_0 sú stávajúce natočenia v kĺboch a „options“ je možnosť dodatočného nastavenia parametrov, či výber metódy.

2 VÝSLEDKY

Hodnoty vektora kĺbových premenných $\varphi = [\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_6]^T$ získaných z inverzného výpočtu spôsobom inverzie jakobiánu a pomocou funkcie fsolve. Aj jedným aj druhým spôsobom sa po výpočte dáta kĺbových premenných φ dosadili do rovníc (2), (3), (4), (6), (7), (9). A mechanizmus, tak efektorom opísal zodpovedajúcu trajektóriu. Tá je tvorená sústavou pevných bodov $A_s\{x_{As}, y_{As}, z_{As}\}$, v karteziánskom priestore Figure 1. Jej reálnu podobu vidno na obrázku Figure 5, 9. Aby sme skontrolovali presnosť výpočtu, bol vektorový rozdiel $\Delta = [\Delta_x, \Delta_y, \Delta_z]^T$ medzi pozíciou polohového vektora efektora $p_e = [p_{ex}, p_{ey}, p_{ez}]^T$ a polohou bodov A_s , ktoré tvoria trajektóriu, zobrazený v nasledujúcom grafe Figure 4 pre

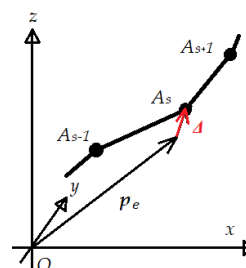


Figure 1. Vektorový rozdiel Δ medzi vypočítanou pozíciou polohového vektora efektora p_e a polohou bodov A_s

výsledky z metódy pomocou inverzie jakobiánu a Figure 8 z metódy pomocou Matlab funkcie fsolve. Bolo tak urobené pre každú zložku vektora. Pre zložky vektora Δ , jeho normu $\|\Delta\|$ platí

$$\Delta_x = x_{As} - p_{7x}(\varphi) \quad (31)$$

$$\Delta_y = y_{As} - p_{7y}(\varphi) \quad (32)$$

$$\Delta_z = z_{As} - p_{7z}(\varphi) \quad (33)$$

$$\|\Delta\| = \sqrt{\Delta_x^2 + \Delta_y^2 + \Delta_z^2} \quad (34)$$

Budeme mať tak možnosť porovnať výsledky z jedného aj druhého spôsobu výpočtu

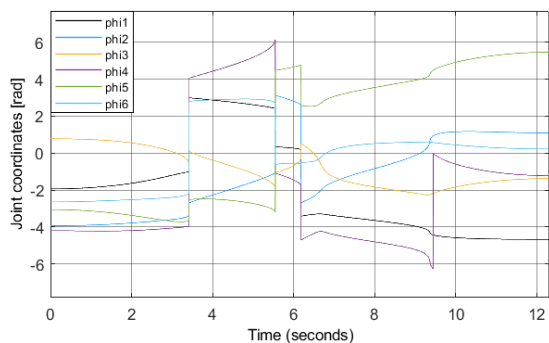


Figure 2. Hodnota vektora kľových premenných v závislosti na čase $\varphi = [\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4, \varphi_5, \varphi_6]^T$ vypočítaná metódou inverzie jakobiánu

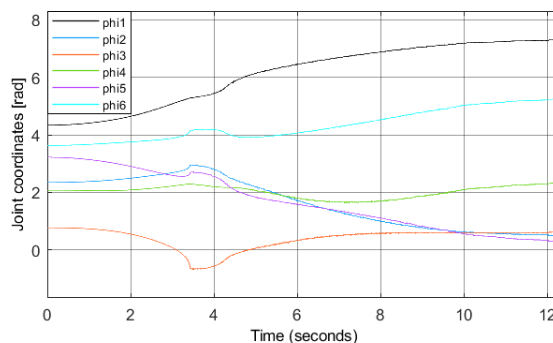


Figure 6. Hodnota vektora kľových premenných v závislosti na čase $\varphi = [\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4, \varphi_5, \varphi_6]^T$ vypočítaná pomocou Matlab funkcie fsolve

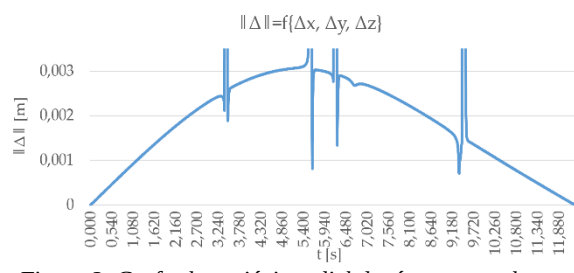


Figure 3. Graf zobrazujúci rozdiel daný normou vektora $\|\Delta\|$ medzi skutočnou trajektóriou (zloženou z bodov $A_s\{x_{As}, y_{As}, z_{As}\}$) a vypočítanou (zo zložiek polohového vektora efektora p_{ex}, p_{ey}, p_{ez}) pomocou metódy inverzie jakobiánu

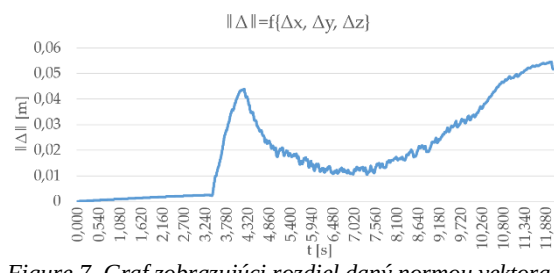


Figure 7. Graf zobrazujúci rozdiel daný normou vektora $\|\Delta\|$ medzi skutočnou trajektóriou (zloženou z bodov $A_s\{x_{As}, y_{As}, z_{As}\}$) a vypočítanou (zo zložiek polohového vektora efektora p_{ex}, p_{ey}, p_{ez}) pomocou Matlab funkcie fsolve

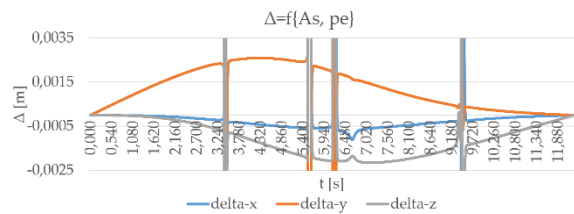


Figure 4. Graf zobrazujúci rozdiel $\Delta_x, \Delta_y, \Delta_z$ medzi skutočnou trajektóriou (zloženou z bodov $A_s\{x_{As}, y_{As}, z_{As}\}$) a vypočítanou (zo zložiek polohového vektora efektora p_{ex}, p_{ey}, p_{ez}) pomocou metódy inverzie jakobiánu

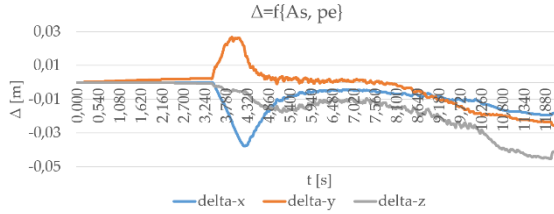


Figure 8. Graf zobrazujúci rozdiel $\Delta_x, \Delta_y, \Delta_z$ medzi skutočnou trajektóriou (zloženou z bodov $A_s\{x_{As}, y_{As}, z_{As}\}$) a vypočítanou (zo zložiek polohového vektora efektora p_{ex}, p_{ey}, p_{ez}) pomocou Matlab funkcie fsolve

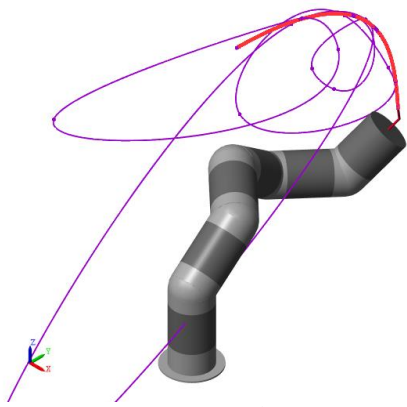


Figure 5. Vplyv inverzného výpočtu metódou inverzie jakobiánu na trajektóriu polohového vektora efektora p_e

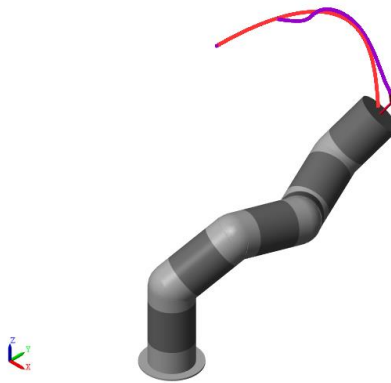


Figure 9. Vplyv inverzného výpočtu pomocou Matlab funkcie fsolve na trajektóriu polohového vektora efektora p_e

ZÁVER

Článok si nekládol za cieľ podávať presný návod na riešenie inverznej úlohy kinematiky polohy pre otvorený kinematický reťazec so šiestimi stupňami voľnosti, ktoré majú byť realizované tzv. URM modulmi. Sú tu spomenuté dva prístupy výpočtu kĺbových premenných, ktoré sú v tomto prípade uhly natočenia modulov.

Jeden spôsob využíva iteračnú metódu pomocou inverzie jakobiánu, kedy je pre každú iteráciu počítaný aj samotný jakobián. Výsledky vektora kĺbových premenných sa pre ďalší bod na trajektórii stávajú zároveň počiatočnými podmienkami a výpočtový proces sa tak zrýchli. Deje sa tak do stavu, kedy pre ďalšie možné riešenie je nutné zmeniť počiatočné natočenie v kĺboch, čo má neblahý vplyv na kontinuitu trajektórie.

Druhý spôsob vzišiel z možnosti využiť funkciu nazývanú „fsolve“, ktorá je určená na výpočet sústav nelineárnych rovníc a je súčasťou Matlabu. V podstate, tak rieši zložitú situáciu s tvorbou programu a zostavenia jakobiánu. Funkcia je optimalizovaná a prvý singulárny stav, ktorý je badať na obrázkoch Figure 2, 3, 4, 6, 7, 8 po cca. 3,4 sekunde sa snaží riešiť aproximáciou jakobiánovej matice, čím dochádza k chybe. Je to logické, keďže funkcia je nútená poslednou počiatočnou podmienkou vektorom kĺbových premenných z predošlých trajektoriálnych bodov. Tento stav je možné zmeniť novou počiatočnou podmienkou, no už za cenu straty kontinuity kĺbových premenných. Kontinuitu tu treba chápať vo význame, že funkcia medzi dvoma iteračnými krokmi nenadobúda rádo vo prudkej zmeny. V teoretickom ponímaní u spojitých funkcií, že je diferencovateľná. Numerické metódy výpočtu sa dostali do popredia s nástupom počítačov a vďaka potenciálu softwarových nástrojov je možné numericky riešiť aj zložité nelineárne funkcie.

PodĎakovanie

Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-18-0413 Modulárna architektúra štruktúrálnej výroby v rámci projektu KEGA 025TUKE-4/2019 Integrované výučbové laboratórium virtuálneho prototypovania a experimentálneho overovania presnosti obrábacích strojov

Referencie

- [1] Svetlík, J.; Štofa, M.; Pituk, M.; Prototype development of a unique serial kinematic structure of modular configuration. MM Science Journal 2016 (2016): 994-998.
- [2] Štofa, M.; Experimentálny vývoj rotačných modulov pre stavbu sériových kinematických štruktúr vo výrobnej technike, Dizertačná práca, Košice: TU, 2019.
- [3] Paden, B.; Kinematics and Control Robot Manipulators. PhD thesis, Department of Electrical Engineering and Computer Sciences, University of California, Berkeley, 1986.
- [4] Kahan, W.; Lectures on computational aspects of geometry. Department of Electrical Engineering and Computer Sciences. University of California, Berkeley. Unpublished (1983).
- [5] Ondočko, Š.; Stejskal, T.; Svetlík, J.; Hrivniak, L.; Šašala, L.; Žilinský A.; Position forward kinematics of 6-DOF robotic arm. Acta Mechanica Slovaca ISSN 1335-2393 - (No published yet)
- [6] Buss, Samuel R. Introduction to inverse kinematics with jacobian transpose, pseudoinverse and damped least squares methods. IEEE Journal of Robotics and Automation 17.1-19 (2004): 16.
- [7] Meredith, M.; Maddock, S.; Real-time inverse kinematics: The return of the Jacobian. Technical Report No. CS-04-06, Department of Computer Science, University of Sheffield, 2004.
- [8] Virgala, I.; Gmitterko, A.; Surovec, R.; Vacková, M.; Prada, E.; & Kenderová, M. (2012). Manipulator end-effector position control. Procedia Engineering, 48, 684-692.
- [9] Nilsson, Rickard. Inverse kinematics. Master's Thesis, Luleå University of Technology, Luleå, Sweden, (2009).
- [10] Wampler, Charles W. Manipulator inverse kinematic solutions based on vector formulations and damped least-squares methods. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics 16.1 (1986): 93-101.
- [11] Murray, Richard M., et al. A mathematical introduction to robotic manipulation. CRC press, 1994.
- [12] https://ch.mathworks.com/help/optim/ug/fsolve.html?searchHighlight=fsolve&s_tid=srchtitle

Adresa

Štefan Ondočko, Ing.
Technická univerzita Košice
Strojnícka fakulta
Katedra výrobnej techniky
Letná 9, 042 00 Košice, Tel.: +421 55 602 3238
Email: stefan.ondocko@tuke.sk

DETERMINATION OF MATERIAL PROPERTIES OF ALUMINIUM ALLOY USING 3D DIGITAL IMAGE CORRELATION

¹Peter PALIČKA, ¹Adam KAĽAVSKÝ, ¹Róbert HUŇADY

¹ Peter PAVELKA, ² Teodor Tóth

¹ Technical University of Kosice, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Applied Mechanics and Mechanical Engineering, Kosice

² Technical University of Kosice, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Biomedical Engineering and Measurement, Kosice

peter.palicka@tuke.sk, adam.kalavsky@tuke.sk, robert.hunady@tuke.sk, peter.pavelka@tuke.sk, teodor.toth@tuke.sk

Abstract:

The paper deals with the determination of material properties using digital image correlation (DIC). A tensile test was performed on aluminium alloy specimens, and 3D digital image correlation was used to measure and evaluate the deformation and map the strain field. Evaluation of strains as well as determination of material properties were carried out analytically. The material properties were derived from data obtained by experimental measurements using known relationships. The achieved results as well as the measurement and evaluation methods are described in the paper.

Key words:

DIC, tensile test, aluminium alloy, material properties.

INTRODUCTION

The digital image correlation (DIC) method is an optical method to measure strain and displacements, using the digital image registration technique. DIC provides the possibility to observe various phenomena during the deformation of an object of any shape, while it is applicable to the testing of a wide range of materials. Correlation systems are able to monitor a wide range of surface points, which allows to visualize the measured values over the entire monitored area [3].

The principle of the method lies in the sensing of a stochastic black and white spot pattern created on the surface of the examined object. The observed area is divided by a virtual grid into smaller sub-areas called facets so that each of them contains a characteristic part of the pattern with sufficient contrast. Based on the correlation of the corresponding facets before and after deformation, the displacement and strain of the individual points are determined. When an object is viewed from two different directions, the position of each point on the surface is focused on a certain pixel in the image plane of the corresponding camera. If the positions of the two cameras are relative to each other, the magnifications of the lenses and all calibration parameters are known, the system

calculates the absolute three-dimensional coordinates of each surface point and creates its virtual spatial contour. Digitized images captured in individual measurement steps, where points on the surface move due to load, are compared in the correlation process with the selected reference step. The result of these comparisons are strain and displacement fields of surface points at individual time points [3].

There are many studies and papers on the use of DIC in tensile tests and for determining the material parameters of various materials. For example, Cerbu et al. [1] used DIC in order to determine the Poisson's ratio in the case of aluminium alloy and composite materials under tensile tests. DIC has also found use in the study of Rund et al. [2] where authors dealt with the determination of dynamic mechanical properties of steel sheets by using the miniature testing method.

1 EXPERIMENTAL PROCEDURE

1.1 Tensile test

Tensile tests were performed according to the standard ISO 6892-1. Specimens of aluminium alloy AL5754-H12 are shown in Fig. 1.

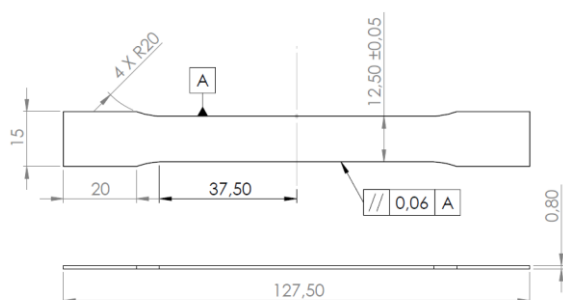


Figure 1. Aluminium specimen for tensile test

For the purposes of this paper, only loading force data were required from the tensile test. Force values were divided by the cross-sectional area of the specimen to obtain a normal stress value as follows

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (1)$$

where σ is the tensile stress, F is the loading force, and A_0 is the cross-sectional area of the specimen.

Fig. 2 shows the dependence of the loading force on the displacement of a jaw obtained from the tensile test.

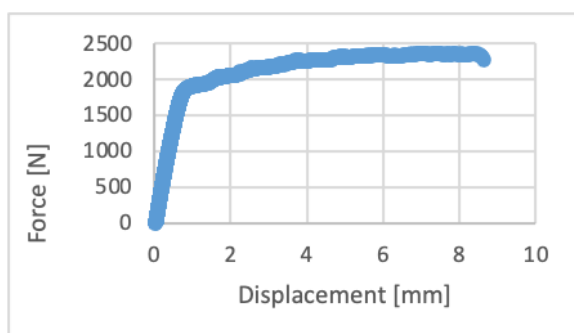


Figure 2. Dependence of force on displacement

1.2 Digital image correlation

An elastic film with a random spot pattern was adhered to the specimens. The used pattern was dull in nature, because different reflections can cause data loss when correlating images [4].

Fig. 3 shows the experimental workplace consisting of a tensile machine and DIC measurement system. The specimen was clamped in the jaws and loaded with tensile force. Two cameras were set up in front of the specimen to measure the spatial displacements using 3D digital image correlation.



Figure 3. Workplace for measurements

Data measured from DIC were evaluated in Istra 4D software. Two starting points at both ends of the correlation region were used for correlation as it shown at Figure 4a. A correlation region was created on the narrowed part of the specimen. During the image correlation process the software determines and evaluates the position of the reference points on all images.



Figure 4. (a) Correlation area with two starting points, (b) Virtual line gauges.

After successful correlation, the strain was evaluated. The strain in axis direction was calculated using the two-line method. In the unloaded state of the specimen, two line virtual gauges were defined in Istra 4D software, which were 50 mm apart as it is shown in Fig. 4b. In this method, the distance of the lines at every step is averaged and the absolute displacement of the first line is subtracted from the second line to obtain the relative displacement, i.e. the elongation Δl in the axis direction. This value is then divided by the initial distance of the lines l_0 and the result is the strain value, i.e.

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (2)$$

This two-line method was compared with the evaluation method using a single virtual line gauge. This gauge was defined in the axis direction as it is shown at Fig. 4b. Istra 4D allows to calculate the strain components over this gauge in all time steps. Both methods were compared and there was a very good agreement. Theoretically the two-line method should be a little more accurate as it averages the relative distance between the two lines. Including more points reduces the inaccuracy and noise.

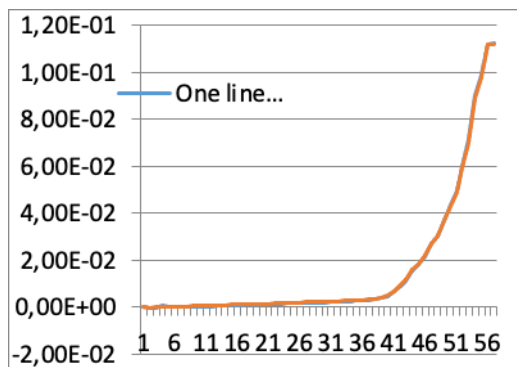


Figure 5. Comparison of two evaluation methods

Since DIC can map strain and displacement fields and Istra 4D can draw them, a comparison of results was made. This comparison is shown in Fig. 5, which shows that the DIC result is very good. The field of displacement in the direction of stress (y-direction) is drawn in Istra 4D. The view in Fig. 6 is upside down due to the cameras being turned upside down, so the specimen ruptured at its top. The moment the specimen ruptured, the displacement was too great, and as a result of the correlation, a certain number of facets were removed, that detect a crack.

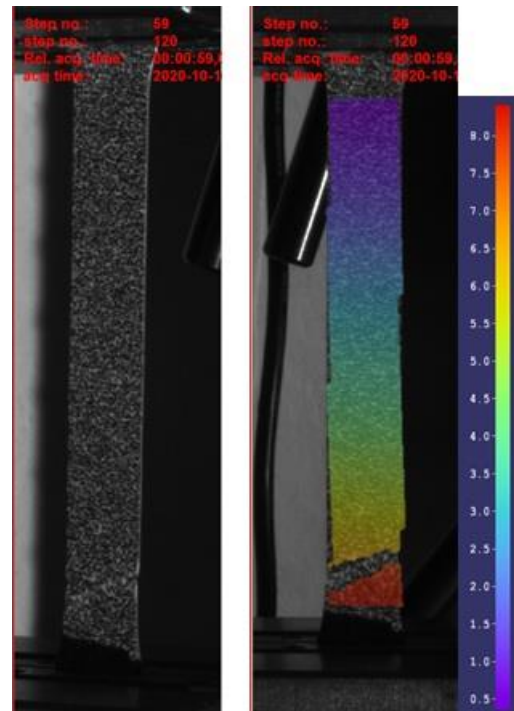


Figure 6. Displacement field measured by DIC

2 RESULTS AND DISCUSSION

The elastic region is described by Young's modulus, modulus of elasticity in tension, which for aluminium AL5754-H12 is 68 GPa. Young's modulus is the slope of the linear part of the stress-strain curve and is determined using the Hooke's law

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (3)$$

where E is Young's modulus, σ is a normal stress, ε is a normal strain.

The dependence of the tensile stress on the tensile strain was plotted as it is shown in Fig. 7.

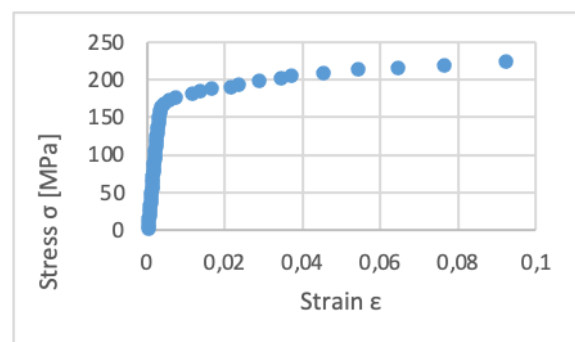


Figure 7. Stress-strain curve

Only the linear part of the curve was evaluated, i.e. elastic area. From the measured data, it was found that the specimens pass through the yield strength at a stress value of 160 MPa. The agreed yield strength $R_{p0.2}$ of aluminium alloy is set at 170 MPa. Value of $R_{p0.2}$ was determined by offsetting the linear curve from the stress-strain curve and translating it over value of 0.002 strains. Fig. 8 shows the determination of the agreed yield strength, which in this case was 172.8 MPa.

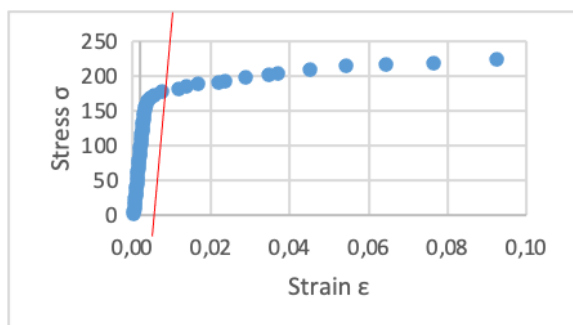


Figure 8. Determination of agreed yield strength $R_{p0.2}$

Since the weak nonlinearities were observed at the beginning and the end of the elastic part of stress-strain curve, only its part from 20 MPa up to 150 MPa was considered in the calculation of the Young's modulus. Its value was obtained using the linear regression method (see Fig. 9).

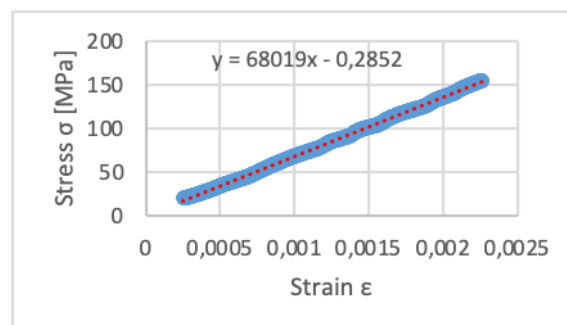


Figure 9. Linear regression of the evaluated area

Fig. 10 shows the strain fields of specimen during the deformation in x and y directions.

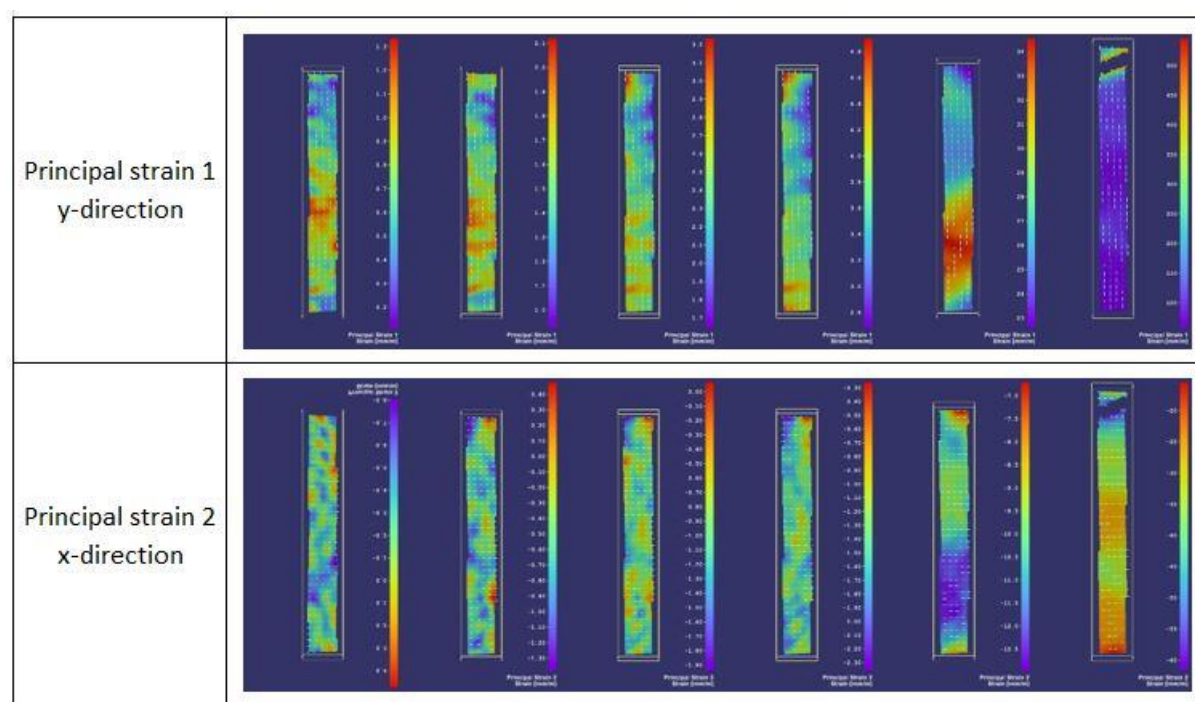


Figure 10. Strain fields of specimen during the tensile test

From these strain fields, the values needed to determine the Poisson ratio were obtained. The Poisson's ratio μ determines the ratio of relative transverse shortening to its relative elongation, i.e.

$$\mu = \frac{-\varepsilon_x}{\varepsilon_y} \quad (4)$$

where ε_x and ε_y represent strain in transverse and axial direction, respectively. Their values were obtained from Istra 4D using a virtual rectangle strain gauge (see Fig. 11).

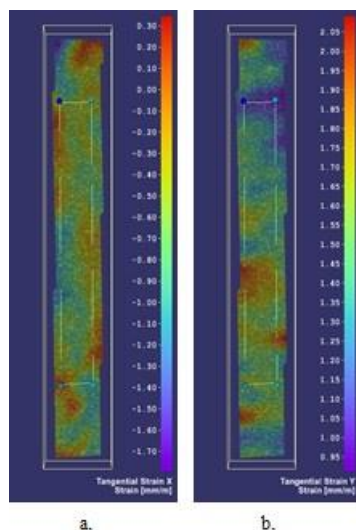


Figure 11. (a) Transverse strain ε_x , (b) Axial strain ε_y .

The values from the gauge were averaged over the surface and subsequently substitute into Eq. (4) to obtain the value of Poisson's ratio which is plotted in the Fig. 12.

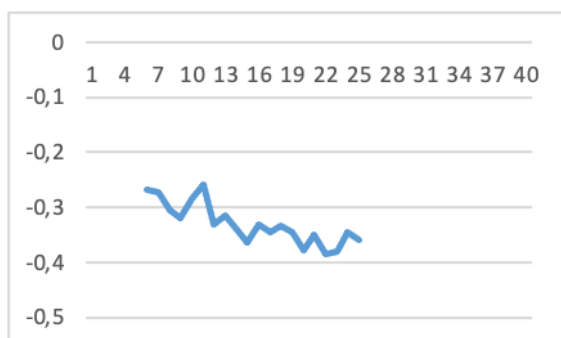


Figure 12. Poisson's ratio in linear area

Fig. 5 shows that the linear area is approximately up to the 40. step. A smaller area was evaluated to remove inaccuracy, nonlinearities and noise. Fig. 12 represents the values of the Poisson's ratio in the linear area. The mean value over these area is 0.33064. These value represents Poisson's ratio of the analysed aluminium alloy.

CONCLUSION

The aim of this work was to determine the material properties of aluminium alloy using DIC. The results were evaluated analytically using well known methods of mechanics. Deformations measured by digital image correlation were evaluated by the two-line method. The comparison

of the strain outputs provided by Istra 4D with values obtained by the analytical approach using the two-line method shows very good agreement. It can be stated that both method can be used in determining the mechanical properties of materials. Analysed aluminium alloy has a Young's modulus of elasticity set at 68 GPa in the material sheet, which was confirmed and proved in this work. Its value stated experimentally was 68 019 MPa. Also the agreed yield strength was experimentally determined with value 172.8 MPa and Poisson's ratio with value 0.33064. In experimental measurements, strain gauges can be used as alternative to DIC method.

Acknowledgment

This work was supported by the Scientific Grant Agency of the Slovak Republic under grant VEGA 1/0355/18.

References

- [1] CERBU, C. et al.: The use of digital image correlation in determining the mechanical properties of materials, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering vol. 399 (2018), 1, 012007.
- [2] RUND, M. et al.: Investigation of specimen-size influence on tensile results at different strain rates, Procedia Engineering 114 (2015) 410 – 415.
- [3] TREBUŇA, F., HUŇADY, R., FRANKOVSKÝ, P.: Metóda digitálnej obrazovej korelácie, Strojárstvo, 2011, Online: <https://www.engineering.sk/clanky2/stroje-a-technologie/434-metoda-digitalnej-obrazovej-korelacie>.
- [4] TREBUŇA, F. et al.: Optické metódy v mechanike, TUKE, Košice, 2017, ISBN 978-80-553-3168-3.

Correspondence address:

Ing. Peter Palička
 Technical University of Košice
 Faculty of Mechanical Engineering
 Department of Applied Mechanics and Mechanical Engineering
 Letná 9, 042 00 Košice, Slovensko
 Tel.: +421 917 278 913
 Email: peter.palicka@tuke.sk

ANALÝZA A NÁVRH VSTREKOVACEJ SÚSTAVY PRE MOTOR EXPERIMENTÁLNEHO ULTRAĽAHKÉHO VOZIDLA

Maroš Palko, Miroslav Palko, Ján Kráľ

Technical University in Košice, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Manufacturing Machinery and robotics,
Slovakia

maros.palko@tuke.sk, miroslav.palko@tuke.sk, jan.kral.2@tuke.sk

Abstrakt:

Tento príspevok sa zaoberá analýzou a návrhom vstrekovacej sústavy pre motor ultraľahkého experimentálneho vozidla, s ktorým sa tím Strojníckej fakulty Technickej univerzity v Košiciach už 25 rokov zúčastňuje na medzinárodných pretekoch Shell-eco marathon.

Kľúčové slová: vstrekovací ventil, riadenie vstrekovacieho ventilu, motor, spaľovanie, spaľovacia zmes

ÚVOD

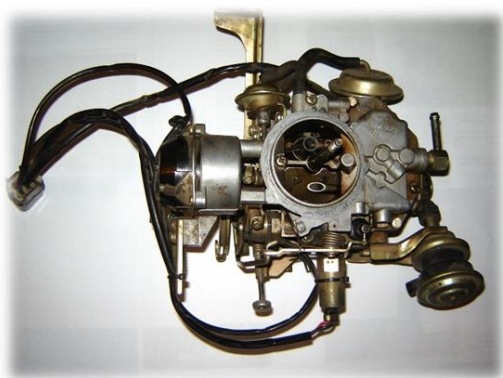
Súčasný trendy v automobilovom priemysle vedú k zvyšovaniu výkonu a znižovaniu tvorby škodlivín obsiahnutých vo výfukových plynch a zároveň k znižovaniu spotreby pohonných hmôt. S tým súvisí aj obrovský vývoj v oblasti riadenia spaľovacích motorov pomocou elektronických riadiacich systémov v posledných rokoch. Odstránením mechanických častí riadenia zapalovania ako rozdeľovač s podtlakovou a odstredivou reguláciou dochádza k spresneniu riadenia zapalovania a nahradením podtlakom riadených karburátorov vstrekovaním v kombinácii s lambda sondou a trojcestným katalyzátorom dosahujú výrobcovia v súčasnosti uspokojenie nárokov zákazníka ale najmä stále sprísňujúcich sa emisných noriem. Od riadiacej jednotky sa vyžaduje vysoká flexibilita a rýchlosť zasahovať do riadených procesov. Musí spĺňať protichodné požiadavky ako regulácia emisií výfukových plynov, redukcia spotreby paliva a zabezpečenie požadovaného krútiaceho momentu a to pri minimálnych nákladoch na snímače a akčné členy. Z toho dôvodu je nutné poznať činnosť spaľovacieho motora a možnosti jeho riadenia. Dokonalé poznanie všetkých procesov spaľovacieho motora slúži ako základ pre návrh a výrobu vlastného spaľovacieho motora s využitím optimalizovanej vstrekovacej

sústavy pre použitie na medzinárodných pretekoch Shell-eco marathon. [1]

1 HISTÓRIA RIADENIA TVORBY SPAĽOVACEJ ZMESI

Na začiatku vývoja motorov sa na prípravu zmesi používali zariadenia, v ktorých sa vzduch zmiešal s odpareným palivom. Vzduch nasávaný motorom prúdi nad hladinou benzínu a nasycuje sa jeho výparmi. Na zlepšenie odparovania sa karburátor vyhrieva výfukovými plynmi. Náhlou zmenou smeru prúdenia zmesi sa vylučujú neodparené kvapôčky paliva a odtekajú späť do nádržky. S rastúcimi výkonmi motorov už tento karburátor nestačil dodávať požadované množstvo zmesi. Nahradil sa preto rozstrekovacím karburátorom, predchodcom našich dnešných karburátorov. Vzduch nasávaný motorom prúdi do nasávacieho hrdla. V zmiešavacej komore, ktorá sa skladá z nábežnej hrany, valcovej časti a rozširujúcej sa časti difúzora, sa do vzduchu primieša palivo z rozprašovača. zmesi prichádzajúcej do motora sa reguluje škrtiacou klapkou, čím sa reguluje aj krútiaci moment motora. Cez ihlový ventil tečie palivo do plavákovej komory. Plavák udržuje hladinu paliva v takej výške, aby pri nepracujúcom motore benzín nevytekal z hlavnej dýzy. Hlavná dýza ovplyvňuje zloženie zmesi. Aby sa palivo dobre rozprášilo, musí sa dosiahnuť veľká rýchlosť

vzduchu, ktorá vznikla zúžením prierezu nábežnou hranou difúzora. Súčasne vzniká podtlak, pôsobením ktorého palivo vystrekuje z rozprašovača. [2] Kvôli stúpajúcim požiadavkám kladeným na spotrebu a pružnosť spaľovacích motorov používaných v osobných automobiloch museli byť karburátory vybavené niekoľkými funkčnými okruhmi, systémami ktoré zabezpečovali kompletne riadenie zmesi dodávanej do spaľovacieho priestoru motora. Patria sem systémy: štartovanie studeného motora, voľnobeh, hlavný, obohacovací, akceleračná pumpička. Každému prevádzkovanému režimu motora zodpovedá určitý podtlak pod škrtiacou klapkou karburátora, ktorý je závislý od nasávaného množstva vzduchu a od veľkosti prietokového prierezu, otvoreného škrtiacou klapkou karburátora. Tento podtlak je základným činiteľom pre celú činnosť karburátora.



Obr. 1 Karburátor [3]

2 BENZÍNOVÉ MOTORY S NEPRIAMYM VSTREKOVANÍM

Zatiaľ čo kedysi existovali vstrekovacie zariadenia, ktoré pracovali mechanicky a vykonávali elektronicky riadené funkcie dodatočne, ako bol napr. systém, ktorý vstrekoval kontinuálne (nepreušovane, trvalo), sú dnešné vstrekovacie zariadenia riadené výhradne elektronicky a vstreknú palivo (prerušovane). [4] U prerušovaného nepriameho vstrekovania sa rozlišujú nasledujúce tri typy zariadení vstrekovacích ventilov: simultánne vstrekovanie, polo sekvenčné (resp. skupinové vstrekovanie), sekvenčné vstrekovanie.

Simultánne vstrekovanie

Ide o najjednoduchší typ vstrekovania. Riadiaca jednotka motora má len jeden koncový stupeň (výkonový) a dáva všetkým vstrekovacím ventilom súčasne behom dvoch otáčok kľukového hriadeľa dvakrát impulz k vstreknutiu polovice požadovaného množstva paliva, bez ohľadu na dobu otvorenia sacích ventilov a poradie zapalovania motora. Tak u valcov, u ktorých je sací ventil zavretý, dochádza ku vzniku nerovnomernej zmesi, u iných zase ku vstrekovaniu behom taktu sania. Nevýhodou tohto typu ovládania je nerovnomernosť dĺžky doby tvorby zmesi v jednotlivých valcoch motora a tým aj vyššie podiely škodlivín vo výfukových plynoch.

Polosekvenčné (skupinové) vstrekovanie

V tomto prípade sa vstrekovacie ventily podľa poradie zapalovania spínajú do dvoch skupín (I. a II.), ktoré sa striedavo uvádzajú do činnosti dvoma koncovými stupňami riadiacej jednotky motora a vstreknú raz v každom pracovnom cykle (po dvoch otáčkach kľukového hriadeľa). Okamih vstreku je naprogramovaný tak, aby sa palivo vstrekovalo vždy predčasne pred zavretie sacie ventily (nerovnomerná zmes). Skupinu ventilov I. tvoria napr. vstrekovacie ventily valcov 1 a 3 a skupinu ventilov II. tvoria vstrekovacie ventily valcov 2 a 4. Výhodou tohto typu zariadenia vstrekovacích ventilov je, že sa palivo vstrekuje zásadne pred zavretie sacie ventily. Tým síce vzniká nerovnomerná zmes, ale o to viac času zostáva na odparenie vstreknutého množstva paliva. [5] Je tu však aj nevýhoda. Doba predčasného vstreku je rôzne dlhá, a preto sa do plynného stavu dostáva rôzne množstvo paliva. Tvorba zmesi ako aj jej spaľovanie sú už podstatne lepšie, než u simultánneho vstrekovania. Platí to aj o podiele škodlivín vo výfukových plynoch.

Sekvenčné vstrekovanie

Pri tomto riadení sa vstrekovacie ventily otvárajú podľa poradie zapalovania. Každý vstrekovací ventil má v riadiacej jednotke motora svoj vlastný koncový (výkonový) stupeň. Do činnosti je uvedený vždy len jeden a to vždy po dvoch otáčkach kľukového hriadeľa. Okamih vstreku je

možné naprogramovať ľubovoľne a nastavuje sa na konci taktu výfuku, krátko pred otvorením sacieho ventilu motora. Veľkou výhodou tohto typu riadenia je, že vo všetkých valcoch je vstrek vykonaný v rovnaký okamih (vzhľadom k uhlu otočenia kľukového hriadeľa a polohy piestu vo valci), čo dáva lepšie predpoklady na to, aby sa dosiahlo optimálne spaľovanie s nízkym obsahom škodlivín vo výfukových plynch. Ide o typ riadenia vstrekovacích ventilov, ktorý sa používa pri všetkých modernejších elektronicky riadených vstrekovacích zariadeniach. K najväčším výrobcom riadiacich systémov patria Bosch, Siemens, Delphi, Motronic. Najčastejšie používaný je práve systém Bosch Motronic. [6]

Vstrekovací systém Bosch Motronic

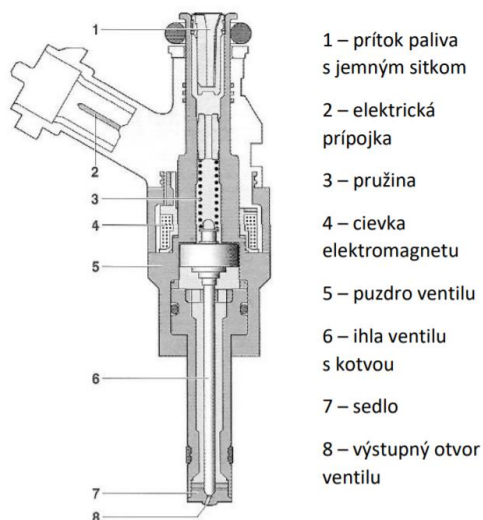
Systém nepriameho vstrekovania benzínu Bosch Motronic spojuje v jednej riadiacej jednotke všetku elektroniku riadenia motora. Tvorí ho elektronicky riadené vstrekovacie zariadenie so sekvenčným vstrekom do sacieho potrubia a systém merania hmotnosti vzduchu na báze ohrievaného filmu (heissfilmmesser – HFM) alebo systém merania tlaku vztlakovým snímačom v sacom potrubí. Ďalšou súčasťou je elektronicky riadený systém zapalovania so statickým rozdeľovačom vysokého napätia s jednou alebo dvoma zapalovacími cievkami na valec. Meracie snímače na zážihovom motore potom do riadiacej jednotky dodávajú všetky potrebné údaje pre dokonalé riadenie tvorby zmesi a jej zážihu. Sú to napríklad nasledujúce vstupné dáta: zapalovanie vypnuté / zapnuté, napätie akumulátora, teplota motora, teplota nasávaného vzduchu, hmotnosť nasávaného vzduchu, uhol škrtiacej klapky, otáčky motora, poloha vačkového hriadeľa, signál z lambda – sondy, klepanie motora. Tieto vstupné informácie (analogové alebo digitálne) sa pomocou vstupných obvodov riadiacej jednotky prenášajú do mikroprocesoru. Ten tieto prevádzkové údaje spracováva, vyhodnocuje z nich okamžitý pracovný stav motora a v závislosti na ňom vypočítava signály pre akčné členy. V koncových (výkonových) stupňoch riadiacej jednotky sa tieto signály zosilňujú a následne tak riadia rôzne ovládacie prvky chodu motora.

Vstrekovanie paliva systémom Bosch Motronic

Vstrekovacie ventily, riadené riadiacou jednotkou Motronic, vstrekujú sekvenčne (podľa poradia zapalovania) presne odmerané množstvo paliva v správnom okamihu sacími kanálkami a tanierikmi sacích ventilov motora (vrstvenie zmesi). [7] Každému valcu je priradený jeden vstrekovací ventil, preto sa tento vstrekovací systém nazýva taktiež viacbodovým vstrekovacím zariadením (MULTI – POINT). Vstrekovacie ventily sú namontované pomocou tepelne izolujúcich drážok, čím sa zabráňuje tvorbe bublín pár paliva vo ventile. Vstrekovacie ventily sa ovládajú elektromagneticky. Otvorené ostávajú rôzne dlho, podľa doby pretekajú prúdu, určeného riadiacou jednotkou.

Elektromagnetický vstrekovací ventil

Štandardné prevedenie vstrekovacieho ventilu s reguláciou otvorením prstencovej štrbiny (obr.2) sa skladá z telesa ventilu a ihly ventilu s magnetickou kotvou. V telese ventilu je umiestnené elektromagnetické vinutie, ktoré zároveň tvorí vedenie ihly. Palivo sa potom pod tlakom v systéme vstrekuje presne nastavenou prstencovou štrbinou do sacieho kanálu. U motorov s dvoma sacími ventilmi na valec, sa používajú vstrekovacie ventily s dvoma otvormi. Pri tejto konštrukcii sa môže palivo rozdeľovať optimálne do oboch sacích ventilov.



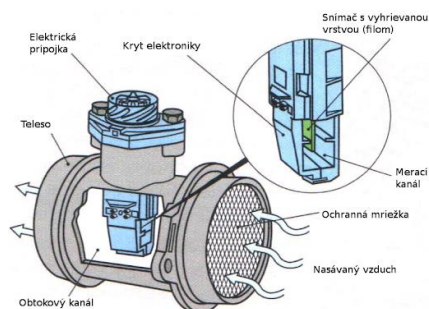
Obr. 2 Benzínový elektromagnetický vstrekovač [8]

Elektronické riadenie vstrekovacieho systému

Rôznymi dátovými snímačmi sa sleduje okamžitý prevádzkový stav motora a tieto údaje sa vo forme elektronických signálov privádzajú na riadiacu jednotku systému Motronic. Tieto snímače spolu s riadiacou jednotkou tvoria riadiaci systém vstrekovacieho zariadenia. Základnými veličinami pre výpočet odpovedajúcej doby vstrekovania (množstvo vstrekovaného paliva) a uhlu zapálenia (predstih), snímanie zaťaženia motora a otáčky motora. Po stanovení okamžitého zaťaženia motora, respektíve plnenia valcov sa pri systéme Motronic môžu využívať rôzne snímače zaťaženia napríklad: meranie množstva vzduchu, snímač tlaku v sacom potrubí, snímač natočenia škrtiacej klapky ako potenciometer škrtiacej klapky. [9] Snímač škrtiacej klapky slúži ako pomocný snímač zaťaženia a používa sa ako podpora oboch vyššie uvedených snímačov zaťaženia. V prípade poruchy na hlavnom snímači dodáva náhradný signál, aby mohlo zariadenie vstrekovania fungovať bez poruchy.

Meranie množstva vzduchu

Merač množstva vzduchu sa vždy zaraďuje medzi vzduchový filter a hrdlo telesa škrtiacej klapky. Množstvo pretekajúceho vzduchu sa zisťuje tak, že teplotne závislý odpor (vyhrievaný drôtik alebo film) snímača je ochladzovaný pretekajúcim vzduchom. Mení sa elektrický odpor snímača a tejto zmene zodpovedá prúdový, resp. napäťový signál, ktorý vyhodnocuje riadiaca jednotka.

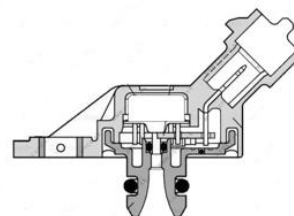


Obr. 3 Snímač množstva vzduchu [10]

Snímač tlaku v sacom potrubí

Snímač tlaku v sacom potrubí je pneumatically spojený so sacím potrubím motora, v ktorom meria absolútny tlak – to znamená, že sníma rôzne veľké

hodnoty tlaku vzduchu, ktorý sa mení v závislosti na činnosti škrtiacej klapky. Môže byť umiestnený v riadiacej jednotke Motronic, alebo v blízkosti sacieho potrubia. Skladá sa z prehnutej tlstej membrány, pod ktorou je priestor definovaný vnútorným tlakom, pôsobiaci proti membráne.



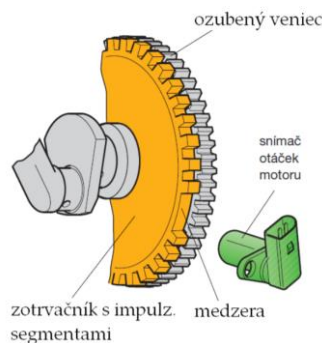
Obr. 4 Snímač tlaku v sacom potrubí [11]

Snímač polohy škrtiacej klapky

Svojou konštrukciou, teda potenciometrom, slúži ako pomocný zdroj informácií o zaťažení motora. Vlastný snímač je upevnený na telese hrdla škrtiacej klapky a je ovládaný pomocou hriadeľa škrtiacej klapky.

Indukčný snímač otáčok motora

Je umiestnený v blízkosti zotrvačníka. Snímač otáčok bezdotykovo sleduje otáčky motora a ako snímač referenčnej značky informuje o polohe kľukového hriadeľa (obr.5). Tieto informácie sú potrebné na to, aby riadiaca jednotka Motronic mohla vypočítať presný okamih zapálenia zmesi a určiť vstrekované množstvo paliva. Väčšinou sa k tomu používa snímacie koleso so 60-timi zubami, na ktorom sú vynechané dva zuby. Veľká medzera medzi zubami celkom presne určuje polohu kľukového hriadeľa pred hornou úvratou prvého valca. [12]



Obr. 5 Indukčný snímač otáčok a polohy referenčnej značky [13]

Snímač teploty vzduchu

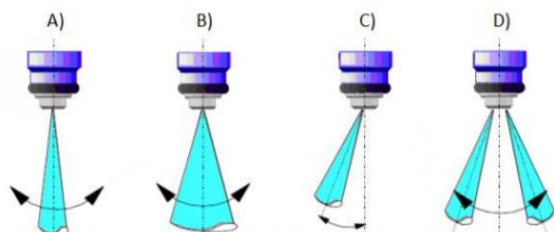
Meraním teploty vzduchu v sacom potrubí motora sa berie do úvahy aj príslušná hustota vzduchu a ovplyvňuje tak plnenie valcov. Pri väčšej teplote vzduchu sa znižuje a pri ochladzovaní sa naopak zvyšuje stupeň plnenia valcov. Riadiaca jednotka na to reaguje a príslušne uspošobuje vstrekané množstvo paliva. Pri výpadku tohto signálu počíta riadiaca jednotka s pevne prednastavenou hodnotou.

Zloženie zmesi

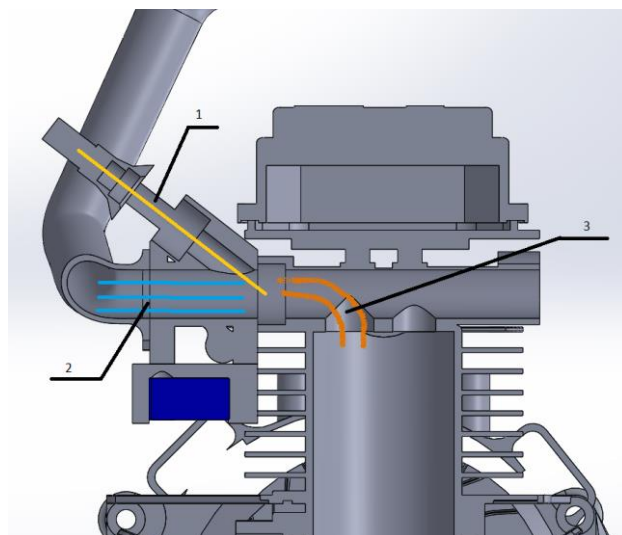
Pomer medzi skutočne nasatým a teoretickým potrebným vzduchom ku spáleniu vstrekaného množstva paliva – lambda (λ) sa meria pomocou lambda sondy. Hodnota $\lambda=1$ odpovedá zmiešavaciemu pomeru paliva so vzduchom 1:14,7. Každá odchýlka tohto ideálneho pomeru je prenášaná na riadiacu jednotku, pomocou ktorej je korigované vstrekané množstvo paliva. Pri tomto pomere zmesi optimálne funguje aj katalyzátor.

3 NÁVRH VSTREKOVACEJ SÚSTAVY PRE MOTOR ULTRAĽHKÉHO EXPERIMENTÁLNEHO VOZIDLA

Pri návrhu vstrekovacej sústavy je nutné brať ohľad najmä na tvar sacieho potrubia a uhol rozprašovania paliva pre vybraný typ vstrekovacej trysky (Obr. 6). Na obr.7 je znázornený návrh vstrekovacej sústavy motora pre ultraľhké experimentálne vozidlo. Vzduch je do motora nasávaný cez sacie potrubie (2), do prúdu vzduchu je rozprašované palivo (1), ktoré tesne pred sacím ventilom vytvára homogénnu zapaľovaciu zmes (3), ktorá je cez sací ventil nasávaná do spaľovacieho priestoru motora.



Obr. 6 A- úzky kužeľ, B- široký kužeľ, C- odklonený kužeľ, D- dvojitý kužeľ [14]



Obr. 7 Návrh vstrekovacej jednotky

4 ZÁVER

Príspevok popisuje jednotlivé kroky pri navrhovaní vstrekovacej sústavy pre ultraľhké experimentálne vozidlo. Tím Strojníckej fakulty Technickej Univerzity v Košiciach sa už 25 rokov zúčastňuje na medzinárodných pretekoch Shell-eco marathon, kde sa prezentuje vlastným ultraľhkým experimentálnym vozidlom a v roku 2019 stanovil na pretekoch v Anglicku nový slovenský rekord a to hodnotou 825 km / 1 liter paliva. Ciele, ktoré boli pred začiatkom navrhovania stanovené, sa úspešne premietli a boli základom pre tento úspech.

Podakovanie:

Príspevok vznikol s podporou projektu 045TUK-4/2019.

5 REFERENCIE

- [1] Kolektív autorov: Řízení zážehového motoru. Základy a komponenty. Praha: Robert Bosch GmbH, 2002. ISBN 80-903132-3-X, Vol. 1. Clarendon Press Oxford, 2000.
- [2] YOKOTA, K.: A High BMEP Diesel Engine with Variable Geometry Turbocharger. Turbocharging and Turbochargers. Proce-edings of the I. Mach E. 1999. London G.B.

- [3] ZINNER, K.: Aufladung von Verbrennungsmotoren 2. Auflage. Springer – Verlag Berlin, 2001
- [4] HOEPKE, E: Rue von dem Sturm: Druckwellenlader Comprex wird neue Masatäbe setzen. Jetzt in Seriennähe. Sonderdruck aus Garage + Transport, Heft 30/2002. BBC Druckschrift, 2002
- [5] Techstories Turbo [online]. 2010 [cit. 2020-05-11]. De Roots-compressor. Dostupné z WWW: <http://www.205gti.com/techturboNL.htm>.
- [6] Zážihový motor - Wikipédia [online]. 2010 [cit. 2020-05-10]. Zážihový motor. Dostupné z WWW: http://sk.wikipedia.org/wiki/Z%C3%A1%C5%BElhov%C3%BD_motor.
- [7] Súbor: T cycle otto.png - Wikipédia [online]. 2006 [cit. 2020-05-09]. Súbor:T cycle otto.png. Dostupné z WWW: http://sk.wikipedia.org/wiki/S%C3%B4bor:T_cycle_otto.png.
- [8] NAVRÁTIL, J.: Elektrotechnika [online]. [cit. 2020-05-10]. Dostupné z WWW: <http://intranet.ssintekarvina.cz/download/navratil/Elektrotechnika/05/>
- [9] Technische Unterrichtung Bosch: Zündung, Robert Bosch GmbH, 1994.
- [10] BAMBULA, O.: Učebnice pro autoškoly. 1. vyd., Naše vojsko, Praha, 1978.
- [11] Programmable Digital Ignition CDI/TCI. SportDevices. [online]. 2000-2009 [citované 18.5.2020] Dostupné z WWW: <http://www.sportdevices.com/ignition/ignition.htm>
- [12] Sino-Japan Joint Venture LangFang Kokusan Electric Co., Ltd. [online]. 1997 [citované 20.5.2020]. Dostupné z WWW: <http://www.lfkokusan.com/english/indexa.asp>.
- [13] CSAMBÁL, J.: Realizácia skúšobnej stolice spaľovacích motorov s voľne programovateľným riadiacim systémom pre testovanie moderných metód riadenia, Písomná práca k dizertačnej skúške, ÚAMAI, SJF STU Bratislava, 2009
- [14] SKLADAN, M.: Riadiace systémy zážihového spaľovacieho motora, bakalárska práca, Ústav dopravnej techniky a konštruovania, SJF STU Bratislava, 2009

Korešpondenčná adresa:

Ing. Maroš Palko
Technical University in Košice
Faculty of Mechanical Engineering
Department of Manufacturing Machinery
Letná 9, 042 00 Košice
Tel.: +421 911 330 341
Email: maros.palko@tuke.sk

NÁVRH A KONŠTRUKCIA UTRAĽAHKEJ KAROSÉRIE PRE VOZIDLO SHELL ECO MARATHON 2019

Miroslav Palko, Maroš Palko, Ján Král

Technical University in Košice, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Manufacturing Machinery, Slovakia
miroslav.palko@tuke.sk, maros.palko@tuke.sk, jan.kral.2@tuke.sk

Abstrakt:

Výrobcovia motorových vozidiel sa v snahe získať si popredné miesto na trhu, snažia o predstavenie vozidiel, ktoré sú nadčasové nielen z pohľadu použitých materiálov ale aj technológií ich výroby. Tieto snahy sú podporované rôznymi celosvetovými projektmi, ktoré dávajú príležitosť aj mladým ľuďom predstaviť svoje plány s jediným cieľom, zaujať a získať dopyt. Jednou z takýchto aktivít je aj medzinárodná súťaž Shell Eco Marathon, ktorá aktívne podporuje mladých ľudí zapájať sa do vývoja a výroby experimentálnych áut využívajúcich nové materiály a alternatívne pohony. Slovenská republika v zastúpení Strojníckej fakulty TUKE sa tejto súťaže zúčastňuje od roku 1994, kedy bol prvýkrát predstavený model automobilu s označením B&S 1. Od tohto obdobia prešiel vývoj ale aj výroba automobilu vyhotoveného pre túto súťaž niekoľkými zmenami, pričom posledná z nich, týkajúca sa samotného dizajnu karosérie je popísaná v tomto článku.

Kľúčové slová:

Shell Eco Marathon, automobil s nízkou spotrebou, ultraľahké karoséria, aerodynamický odpor

ÚVOD

Meniace sa požiadavky trhu, tlak na minimalizáciu nákladov na výrobu, konkurencia, ale aj legislatívne obmedzenia majú dopad na množstvo oblastí nevynímajúc sféru automobilového priemyslu. Slovenská republika patrí s počtom vyrobených automobilov na tisíc obyvateľov do popredných miest celosvetového rebríčka, pričom automobilový priemysel v tejto krajine prispieva do hrubého domáceho produktu vyše 15 percentami a pracuje v ňom cca 130 000 ľudí. Bez ohľadu na štatistiky, sa výrobcovia áut snažia udržať v rebríčkoch tým, že požiadavky zákazníkov pretransformujú nad ich očakávanie, či už je to dizajnom, spotrebou, použitím nových materiálov alebo aj cenou. Inovácie sa v automobilovom priemysle orientujú aj na tak podstatný prvok, akým je ergonómia a prispôbenie sa vnútorného interiéru požiadavkám a potrebám vodičov. Niektoré z týchto kritérií sú výsledkom legislatívy a nariadení z oblasti bezpečnosti, iné spadajú po požiadaviek samotných zákazníkov [5]. Dochádza taktiež k zmenám materiálov, z ktorých sa automobil vyrába. V dnešnej dobe, viac ako polovica celkového objemu výroby moderného automobilu pozostáva z liatiny a ocele (55%), asi 11% - plastov, cca 9 % -

zliatiny hliníka, 7% tvoria guma a sklo, 3% neželezné zliatiny (horčík, titán, meď) a 1 % iné materiály (laky, farby, elektrické drôty, obkladové materiály a pod.) [3,7]. Materiály používané v automobilovom sektore musia naplniť niekoľko kritérií ešte predtým, než dôjde k schváleniu ich použitia [10].

Jedným z dôležitým procesov pri používaní a samotnej výrobe komponentov pre automobilový priemysel je využitie digitalizácie, predovšetkým 3D skenerov, ktoré si v automobilovom prostredí našli svoje širokospektrálne uplatnenie. Digitalizácia sa v tejto sfére stala neodmysliteľnou súčasťou vývojového a montážneho procesu. Jej zavádzanie a prevádzka výrazne znižuje časy potrebné na skonštruovanie alebo kontrolu súčiastok [4]. Tento spôsob digitalizácie sa tiež môže označiť ako vývojová digitalizácia, keďže sa realizuje v procese návrhu, respektíve vývoja vozidla alebo jeho komponentov [9]. Pomocou 3D skenovania sa dokážu nasnímať malé komponenty ale aj rozsiahle časti. Samotný výber 3D skenera a technológie skenovania v značnej miere závisia od toho, čo je predmetom skenovania. Z širokej ponuky týchto zariadení sú niektoré ideálne na skenovanie bližších objektov, teda skenery s krátkym dosahom a naopak iné, na skenovanie vzdialenejších bodov, kedy je vhodnejšie použiť skenery so stredným

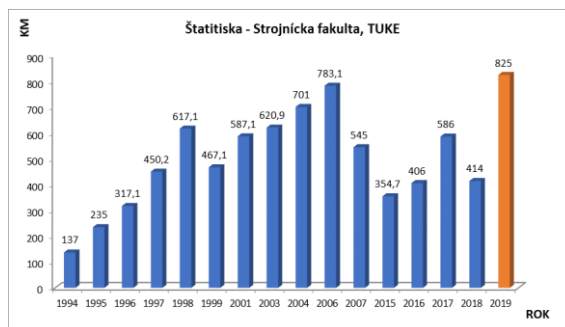
alebo dlhým dosahom [14]. Výber skenera nie je jediným kľúčovým parametrom, dôležitým prvkom je aj použitá metóda a účel skenovania.

V praxi existuje niekoľko rôznych 3D skenovacích metód určených na získavanie rozmerov, farebných kompozícií a geometrických parametrov priestorových objektov za účelom vytvorenia 3D modelu alebo na uloženie informácií o skenovanom objekte v digitálnej podobe. V podstate neexistuje metóda 3D skenovania, ktorá by bola „najlepšia“, vždy je nutné výber 3D skenera a metodiku skenovania prispôbiť danému skenovanému objektu tak, aby poskytla jedinečné riešenie problému v rôznych prípadoch [17,18].

1 CHARAKTERISTIKY SÚŤAŽE SHELL ECO MARATHON

3D skenovanie, použité v rámci tohto projektu bolo vykonané na základe dopytu vytvoriť karosériu pre automobil, ktorý je svojou veľkosťou a využitím netradičným, resp. experimentálnym a bol by prezentovaný na medzinárodnej súťaži Shell Eco Marathon. Táto súťaž má za úlohu podporiť vynaliezavosť a konštrukčnú zručnosť mladých ľudí, zavádzať nové technológie a materiály v oblasti konštrukcie vozidiel a motorov a v neposlednom rade zvýšiť ich záujem o techniku. História tejto medzinárodnej aktivity siaha do roku 1959, keď si skupina mladých výskumníkov pôsobiach v spoločnosti Shell v štáte Illinois vymyslela medzi sebou súťaž, kto z nich dokáže prejsť na aute väčšiu vzdialenosť s 1 galónom paliva (MPG). Napriek tomu, že neprešli viac ako 50 míľ na galón, bol to začiatok prestížnej súťaže, ktorá sa realizuje pod záštitou spoločnosti Shell dodnes a môžu sa jej zúčastniť študenti stredných ale aj vysokých škôl z celého sveta s cieľom prezentovať svoje inovatívne návrhy. Pre všetky automobily sa ako palivo používa benzín, nafta, plyn alebo alternatívne palivá H₂, solárne systémy a pod. Súťažné vozidlá sú prevažne trojkolky rôznej konštrukcie a tvaru. Preteky sa konajú na zvyčajne štandardnom okruhu s celkovou dĺžkou 3636 m, pričom súťažná prejdená vzdialenosť je 25, 452 km, ktorú je nutné prekonať v časovom limite 50 minút a 34 sekúnd. Po prejdení uvedenej vzdialenosti sa doplní palivo do kalibrovannej nádoby – nádržky a určí sa spotreba milimetroch, resp. sa prepočítava prejdená vzdialenosť na 1 litera paliva, alebo spotreba na 100 km. V priebehu pretekov je možné absolvovať 4 pokusy, z ktorých do hodnotenia započíta najlepší výsledok. Od roku 1994 sa tejto súťaže zúčastňuje aj tím Strojníckej fakulty TUKE, pričom najlepší výkon zaznamenal v roku 2019 s

celkovým výsledkom 825 prejdených kilometrov na liter paliva (Obr. 1) [13].

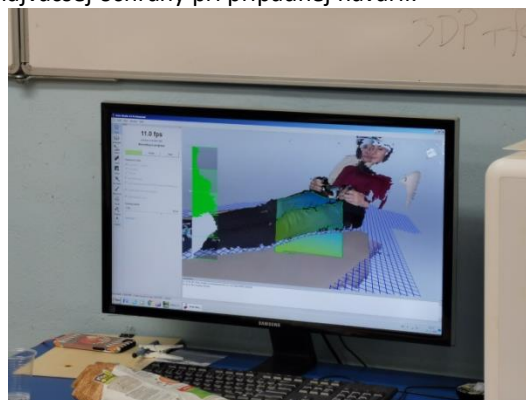


Obr. 1 Štatistika tímu Strojníckej fakulty TUKE

V roku 2019 sa pri návrhu a výrobe automobilu bral ohľad predovšetkým na dizajn, úsporu priestoru, aerodynamickosť tvaru karosérie a v neposlednom rade dostačujúcu tuhosť karosérie ako celku. Vonkajší aerodynamický tvar karosérie mal byť konštruovaný tak, aby poskytoval čo najlepšie prúdenie vzduchu a súčasne dával vodičovi dostatočný priestor na to, aby bol zabezpečený bezpečný výhľad vonku a aby vyhovoval všetkým potrebným komponentom.

2 VÝVOJ A VÝROBA KAROSÉRIE VOZIDLA STROJNÍCKEJ FAKULTY TUKE V SÚŤAŽI SHELL ECO MARATHON V ROKU 2019

Pre optimalizáciu vnútorného priestoru karosérie sa zvolil inovatívny postup návrhu. Vodička, ktorá mala pilotovať nový prototyp na pretekoch v roku 2019, bola kompletne naskenovaná. Pre ňu samotnú sa navrhli tri optimálne polohy z hľadiska jazdného komfortu, prirodzenej možnosti jednoduchého pilotovania prototypu a najmä z pohľadu zabezpečenia čo najväčšej ochrany pri prípadnej havárii.



Obr. 2 Skenovanie pilotky

Pre simuláciu reálnych jazdeckých podmienok sa pilotka skenovala na polohovateľnom ležadle, na hlave mala bezpečnostnú prilbu, ktorá sa používa aj pri súťaži a v rukách držala prototyp volantu, ktorý sa tiež vyrobil podľa jej požiadaviek (Obr. 2).

Skenovanie pilotky sa vykonávala za pomoci ručného 3D skenera Artec Eva. pomocou ktorého je možné vytvoriť pomerne rýchlo v závislosti od zložitosti povrchu 3D model stredných rozmerov (Obr. 3). Skener má širokú škálu využitia technickej oblasti v automobilovom priemysle, stavebníctve ale aj v medicínskom inžinierstve a jeho základné parametre sú uvedené v Tab. 1.



Obr. 3 Využitie skenera Artec Eva

TABUĽKA 1 ZÁKLADNÉ PARAMETRE SKENERA ARTEC EVA [8,15]

Rozlíšenie:	0,5 mm
Presnosť:	0,1 mm
Presnosť na vzdialenosť:	0,03% na 1000 mm
Rozlíšenie textúry:	1,3 Mpx
Zdroj svetla:	blesk
Pracovná vzdialenosť:	400 - 1000 mm
Zorné pole (bližšie):	214 x 148 mm
Zorné pole (vzdialenejšie):	536 x 371 mm
Maximálna snímková frekvencia:	až 16 fps
Doba expozície:	0,0002 s
Rýchlosť skenovania:	2 mil. bodov/s
Výstupní formáty:	AOP, ASC, CSV, OBJ, PLY, STL, WRL
Rozmery:	262 x 158 x 63 mm (VxŠxH)
Minimálne požiadavky:	Intel® Core i5™, NVIDIA GeForce 400 alebo vyššia (s pamäťou 1 GB alebo vyššou): 12Gb RAM, 300 MB

	voľného miesta na pevnom
Podpora systému OS:	Windows 7, 8 or 10, 64bit
Hmotnosť:	1,2 kg
Cena:	13,700€

3 METODIKA PRÍPRAVY PROSTREDIA A OKOLIA PRE 3D SKENOVANIE

Pojmy prostredie a okolie rozlične charakterizujú dve definície. Prostredie je definované ako priestor celej miestnosti a okolie ako bezprostredná blízkosť snímanej osoby. V rámci metodiky prípravy prostredia a okolia pri procese skenovania sa sleduje prípravná a diagnostická miestnosť, regulácia teploty a vlhkosť okolia, teplota v miestnosti a jej samotné vybavenie. Miestnosť, v ktorej je skenovaná osoba, by mala spĺňať základnú požiadavku, a to zabezpečenie stálej teploty prostredia prostredníctvom klimatizácie. Rozsah teploty by sa mal udržiavať od 18°C do 25°C. Pri nižšej teplote by sa mohla snímaná osoba triasť a pri vyššej potiť čo by značne ovplyvnilo skenovanie.

Ďalšou požiadavkou je zatmenie miestnosti a to z dôvodu, aby sa pri skenovaní vyhlo slnečným lúčom, ktoré sú nežiaduce pri samotnom procese. Dostatočné umelé osvetlenie značne vplyva na kvalitu získaného 3D modelu. Odporúčané umelé osvetlenie je v rozmedzí 30 až 50 luxov. Na samotný zosnímaný model môže vplyvať aj hluk v miestnosti. Táto hodnota by mala dosahovať maximálne 50 dB, aby sa subjekt mohol sústrediť. Pre prácu so skenerom Artec Eva je potrebné zabezpečiť minimálnu vzdialenosť približne 1 meter medzi skenerom a snímanou osobou. Na základe tejto požiadavky by navrhovaná miestnosť mala mať rozmery aspoň 2x2m alebo viac.

Metodika prípravy skenera

Samotná príprava skenera je veľmi jednoduchá, nakoľko skener nie je nutné kalibrovať. Na začiatku treba je nutné skontrolovať, či skener nie je poškodený. Potom je nutné zapojiť napájací kábel v príslušenstve s batériou do skenera ako do zásuvky. Následne sa prístroj zapojí pomocou USB portu do počítača. Pri tomto type skenera nie je možnosť vybrať si optimálnu optiku pri skenovaní, ani zameniť šošovku. Skener je pripravený k používaniu, ak po zapnutí skenera na zadnej strane svieti zelené LED svetlo.

Po samotnom procese digitalizácie je potrebné manipulovať so skenerom, preto statív nie je potrebný [1,11].

Metodika prípravy subjektu

Pred každým skenovaním je potrebné subjekt oboznámiť o priebehu skenovania a taktiež o všetkých podmienkach, za ktorých bude snímanie prebiehať. Je dôležité pripomenúť, že sa jedná o bezpečné a pomerne rýchle skenovanie využitím technológie štruktúrovaného bieleho svetla.

Metodika snímania

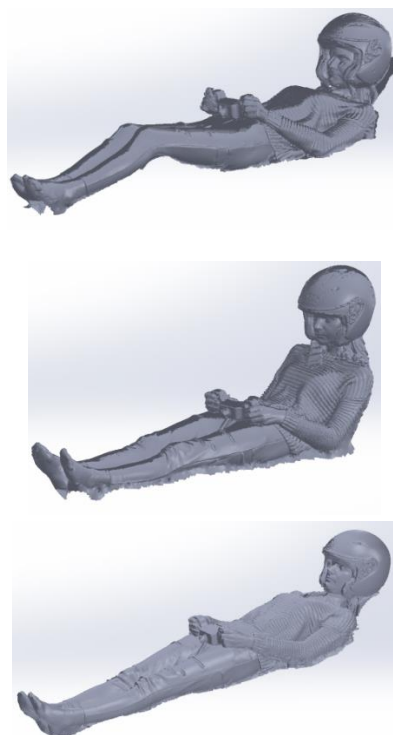
Po zvládnutí jednotlivých krokov prípravy okolia, skenera a subjektu je možné pristúpiť k metodike snímania. Podľa zadáných požiadaviek je potrebné napoložovať subjekt do žiaducej polohy. Po stabilizovaní sa začína proces skenovania. Diaľkový merač znázorňuje pracovnú plochu, ktorá sa nachádza v rozsahu od 400 do 1000 mm, pričom odporúčaná vzdialenosť skenera od skenovaného objektu je cca 600 až 700 mm [6]. Tým, že software Artec Studio vytvára súbory s príponou SPROJ, čo sú projektové súbory pre daný softvér, je potrebné príslušné modely ukladať vo formáte STL, aby ich bolo možné otvoriť na inom zariadení, kde nie je dostupný softvér od Artec. Formát súboru STL, čo je skratka z technológie 3D tlače nazývaná stereolitografia, bol vytvorený firmou 3D Systems. Tento súbor opisuje trojrozmernú povrchovú geometriu modelu a najčastejšie sa používa pre export dát do 3D tlačiarň z CAD softvéru alebo iných programových 3D modelárov [2]. Export skenov trvá pár minút a závisí predovšetkým na zložitosti objektu. Väčšinou ide o veľké súbory, pretože ľudské telo je tvarovo zložené a striedajú sa tam rôzne štruktúry [12].

Prostredníctvom skenera ARTEC Eva a podľa postupnosti vyššie uvedených požiadaviek sa naskenovala pilotka, ktorá viedla vozidlo tímu Strojníckej fakulty na súťaži Shell Eco Marathon. Na základe získaných údajov bol vytvorený návrh pre výrobu karosérie, ktorý je popísaný nižšie.

Návrh karosérie pre Shell-Eco Marathon 2019

Po naskenovaní pilotky a spracovaní získaných údajov sa prešlo k modelovaniu niekoľkých variant karosérie. Zo získaných dát zo skenovania boli najprv vytvorené tri modely

pilotky v troch rôznych polohách, na základe ktorých sa začali navrhovať a modelovať tri varianty karosérie pre rok 2019 (Obr. 4).

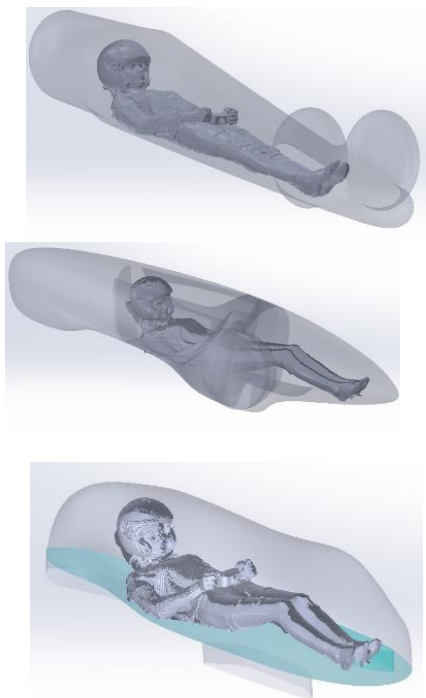


Obr. 4 Naskenované 3 polohy pilotky

Ako bolo vyššie spomenuté, skeny pilotky sa využili najmä na návrh vnútorného priestoru karosérie na mieru pilotky, aby mala zabezpečenú presnú polohu s možnosťou ľahko pilotovať prototyp a aby bol zabezpečený dostačujúci výhľad na trať. Zo získaných dát, bola poloha č.3 vyhodnotená ako najmenej vhodná pre návrh novej karosérie, pretože pri tomto štýle sedenia by musela byť nová karoséria príliš vysoká, čo by malo nežiaduce dopady na ťažisko a celkový balans prototypu. Pre nasledujúce analýzy sa preto začali spracovávať iba alternatívy 1 a 2.

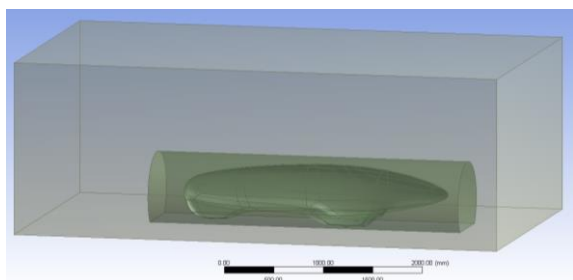
Ďalším a jedným z najdôležitejších faktorov pri navrhovaní karosérie bol jej aerodynamický tvar. Vhodný aerodynamický tvar karosérie minimalizuje odpor vzduchu pri jazde, čím sa výrazne zvýšia požadované vlastnosti karosérie pre preteky Shell Eco Marathon. Okrem optimálneho aerodynamického tvaru karosérie sa kládol dôraz aj pre vytvorenie dostačujúceho priestoru pre predné a zadné koleso, ako aj pre celú pohonnú jednotku. Pre predné kolesá, ktoré sa natáčajú, musel byť vytvorený priestor pre ich natáčanie tak,

aby bola splnená podmienky zatačajúceho rádiusu určeným predpismi súťaže. Na základe vybraných polôh pilotky a zoskupením ďalších vyššie spomínaných požiadaviek na karosériu, boli vytvorené tri modely karosérie, na ktorých boli vykonané aerodynamické skúšky obtekania vzduchom (Obr. 5).



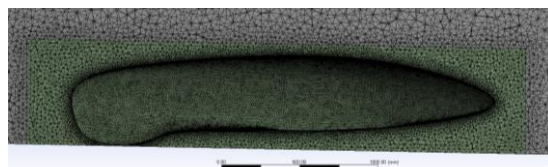
Obr. 5 Naskenované polohy pilotky vložené do modelov karosérie

V okolí modelu bola vytvorená doména reprezentujúca prúdiaci vzduch s rozmermi 3x1,7x5 m (Š x V x D). Pre možnosť zhustenia siete, a tým aj zrýchlenie výpočtu, bola doména rozdelená na dve časti. Vonkajšia s hrubou a vnútorná s jemnou neštruktúrovanou sieťou. Vzhľadom k tomu, že bolo riešené prúdenie v okolí automobilu, samotný model auta nebol predmetom výpočtu (Obr. 6).



Obr. 6 3D model pre numerické riešenie prúdenia

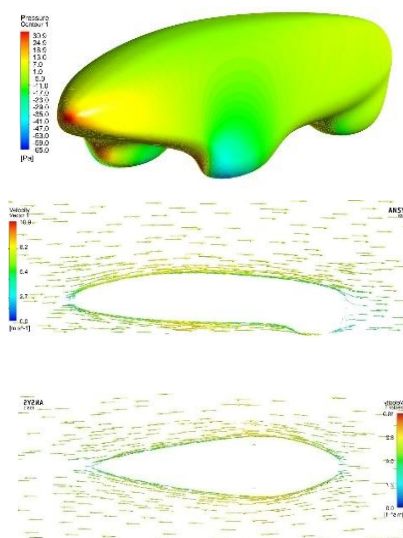
Model bol následne rozdelený na konečný počet objemových elementov typu tetraheron. Vonkajšia doména bola vytvorená so strednou veľkosťou elementov 60 mm, vnútorná s veľkosťou 30 mm a v mieste dotyku vzduchu a automobilu bola zhustená sieť na 10 mm. Pre správnu simuláciu medznej vrstvy bolo vytvorené na dotykovej ploche zhustenie siete s veľkosťou prvého elementu 1,5 mm a počtom vrstiev 6. Celkovo vykazovali siete modelov v priemere 2,6 milióna elementov (Obr. 7).



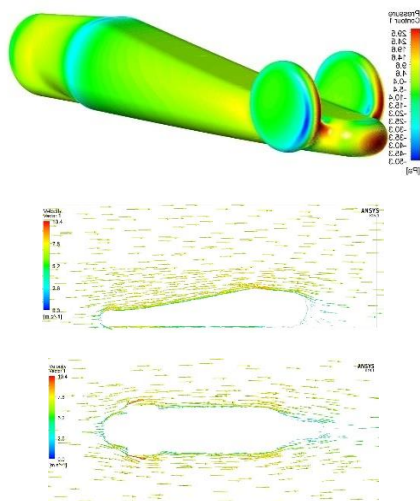
Obr. 7 Pohľad na pozdĺžny rez sieťou

Pri riešení bolo uvažované s prúdiacim vzduchom s rýchlosťou 25 a 40 km/h a teplotou 25 °C. Model riešil izotermické prúdenie viskózne tekutiny s modelom turbulencie k-ε. Medzi okrajové podmienky patrili vstup vzduchu do modelu s definovanou rýchlosťou, výstup vzduchu pri nulovom relatívnom statickom tlaku a vonkajšie steny domény so zadefinovaným nulovým šmykovým napätím (podlaha bola riešená ako hladká stena s výpočtom šmykového napätia). Iteračný výpočet bol nastavený s 300 iteráciami s cieľom dosiahnutia reziduí pod 10^{-5} .

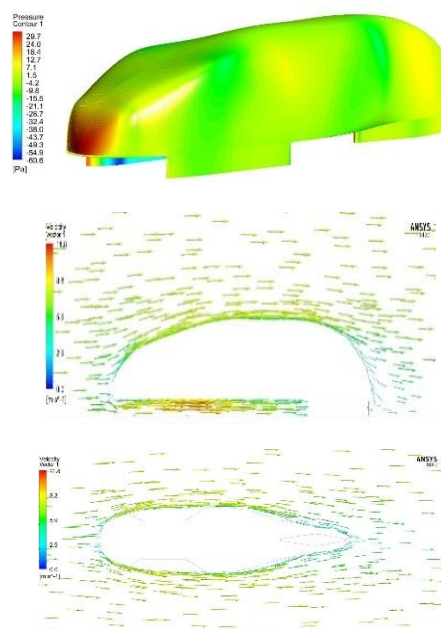
Cieľom numerického výpočtu bolo stanovenie odporových koeficientov jednotlivých modelov karosérií (Obr. 8, Obr. 9, Obr. 10). Parameter bol stanovený pre dve rýchlosti s jeho následným priemerovaním.



Obr. 8 Simulácia odporu vzduchu pre karosériu č. 1



Obr. 9 Simulácia odporu vzduchu pre karosériu č. 2



Obr. 10 Simulácia odporu vzduchu pre karosériu č. 3

Pre testovanie sa využili 3 naskenované karosérie s vybranými polohami 1 a 2. Odpor vzduchu sa simulovali pri rýchlosti 25 a 40 km/h (Tab. 2).

TABUĽKA 2 VÝSLEDKY Z NUMERICKÝCH VÝPOČTOV

Model	v (km/h)	F (N)	S _{max} (m ²)	C _x	C _{x_str}
K_v01.stp	25	1.729	0.309	0.196	0.192
	40	4.251	0.309	0.188	
K_v02.stp	25	2.209	0.262	0.295	0.291
	40	5.509	0.262	0.287	
Kar_v03.stp	25	2.672	0.267	0.35	0.346
	40	6.673	0.267	0.342	

Na základe výpočtov mala karoséria č. 1 s modifikovanou polohou č.1 najnižšie odpory vzduchu pri oboch simulovaných rýchlostiach. Na základe tohto údaje bola preto pre výrobu dizajnu finálneho vozidla vybraná táto karoséria ako optimum.

4 ZÁVER

Automobilová výroba je oblasť, kde majú inovácie veľký podiel na zmenách nielen vo výrobe ale už v prvotnom návrhu a vývoji. Cieľom týchto zmien nie je iba zvýšenie výkonnosti, minimalizácia nákladov na materiály, či zníženie emisií ale v konečnom dôsledku aj zlepšenie dizajnu a ergonomie. Spoločnosť Shell dáva prostredníctvom medzinárodnej súťaže Shell-Eco Marathon možnosť predstaviť nové návrhy, ktoré nie sú ešte súčasťou sériovej výroby vozidiel ale v budúcnosti sa môžu stať základom inovatívnych postupov a procesov v automobilovej výrobe. V tomto prípade, zmena typu karosérie a jej dizajn prispeli k zvýšeniu komfortu pilotky, čo malo za následok zlepšenie jej komfortu vo vnútri karosérie a umožnilo vyššiu koncentráciu na samotnú jazdu v rámci pretekov.

Podakovanie:

Príspevok vznikol s podporou projektu 045TUK-4/2019.

REFERENCIE

- [1] ANWAR, H.: Calibrating projector flexibly for a real-time active 3D scanings system. Optik, 158, 1088–1094, 2018
<https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2018.01.005>
- [2] ČELKO, J., KOVÁČ, M., KOTEK, P.: Analysis of the Pavement Surface Texture by 3D Scanner. Transportation Research Procedia, 14, 2994–3003.
<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.434>, 2016
- [3] DAS, S.: The cost of automotive polymer composites: a review and assessment of doe's lightweight materials composites, research – ORNL, TM-2000, pp. 283., 2000
- [4] DÚBRAVČÍK, M: Digitalizácia ako prostriedok reverzného inžinierstva, Transfer inovácií, 8/2005 [accessed. 2009-12-10 Available at:

<https://www.sjf.tuke.sk/transferinovacii/pages/archiv/transfer/8-2005/pdf/49-51.pdf>

[5] GHASSEMIEH, E., Materials in Automotive Application, State of the Art and Prospects, InTech, New Trends and Developments in Automotive Industry, DOI: 10.5772/13286,

[6] HERBORT, S., GERKEN, B., SCHUGK, D., WOHLER, C.: 3D range scan enhancement using image-based methods. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 84, 69–84, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2013.07.004>

[7] HOVORUN T. P., BERLADIR K. V., PERERVA V. I., RUDENKO S. G, MARTYNOV A.I.: Modern materials for automotive industry, JES 2017, 4(2). Available at: <https://doi.org/10.21272/jes.2017>, [accessed Jul 06 2020].

[8] JURA, M.: Metodika používania skenera v protetike a ortotike. [bakalárska práca]. Košice: Technická univerzita v Košiciach. 2018. 43.s.

[9] KUS. A.: Implementation of 3D Optical Scanning Technology for Automotive Applications., In: PubMed, Sensors 9(3):1967-79, DOI: 10.3390/s90301967, 2009, Available at: https://www.researchgate.net/publication/224933916_Implementation_of_3D_Optical_Scanning_Technology_for_Automotive_Applications [accessed Jul 06 2020]

[10] MALETIČ, M., MALETIČ, D., DAHLGAARD, J. DAHLGAARD-PARK, S., GOMISCEK, B.: Effect of sustainability-oriented innovation practices on the overall organizational performance: An empirical examination. Total Quality Management & Business Excellence. DOI: 10.1080/14783363.2015.1064767., 2015

[11] PANDA, A., ORENDÁČ, P.: Nové materiály pre automobilový priemysel, In: Transfer inovácií. č. 33, ISSN 1337-7094. Available at:

<http://www.sjf.tuke.sk/transferinovacii/pages/archiv/transfer/33-2016/pdf/012-015.pdf>, 2016

[12] RUSINKIEWICZ, S., HALL-HOLT, O., LEVOY, M.: Real-time 3D model acquisition. ACM Transactions on Graphics, 21, 438–446. <https://doi.org/10.1145/566654.566600>, 2002

[13] SLOBODA, A., BUGÁR, T., SLOBODA, O., KONEČNÝ, B.: 25 rokov experimentálnych vozidiel, Strojnícka fakulta, 2019, ISBN 9788055333281

[14] TREDINNICK, R., SMITH, S., PONTO, K.: Cost benefit analysis of 3D scanning technology for crime scene investigation. In: Forensic Science International: Reports. s. 1-12. ISSN 2665-9107, 2019

[15] www.artec.com, Available at: <https://www.artec3d.com/portable-3d-scanners/artec-eva>, [accessed Jul 06 2020].

[16] www.shell.com, Available at: <https://www.shell.com/make-the-future/shell-ecomarathon.html>, [accessed Jul 06 2020].

[17] Stella: How do 3D scanners work? [on-line]. [accessed 2019-10-24]. Available at: <https://matterandform.net/blog/how-do-3d-scanners-work>

[18] Types of 3D Scanners and 3D Scanning Technologies. [on-line]. Breckenridge: EMS-USA. [accessed: 2019-10-24]. Available at: <https://www.ems-usa.com/tech-papers/3D%20Scanning%20Technologies%20.pdf>

Korešpondečná adresa:

Ing. Miroslav Palko
Technical University in Košice
Faculty of Mechanical Engineering
Department of Manufacturing Machinery
Letná 9, 042 00 Košice
Tel.: +421 911 330 342
Email: miroslav.palko@tuke.sk

MEASUREMENT OF THE TRANSMISSION LOSS USING AN IMPEDANCE TUBE

Kristián PÁSTOR, Miroslav BADIDA

Technical University of Košice, Faculty of Mechanical Engineering, The Department of Process and Environmental Engineering, Slovak Republic
kristian.pastor@tuke.sk, miroslav.badida@tuke.sk

Abstract:

In the present age, the acoustic properties of materials play an increasingly important role in the design and solution of passive control of unwanted noise in several industries. For this research, were selected materials, which were evaluated in terms of the analysed acoustic properties at different thicknesses as separate single-layer, but also as a two-layer and three-layer sandwich of materials. The analysis was performed based on measurements for which an impedance tube was used, and the analysed acoustic property was the transmission loss TL (dB). Measurements were performed in the frequency range from 100 Hz to 6300 Hz.

Keywords:

Sound, transmission loss, impedance tube, measurement.

INTRODUCTION

The acoustic properties of materials play an increasingly important role today. This is due to the significant growth of the automotive industry and the need to increase quality due to market competitiveness and also due to growing traffic noise. This is why a number of new acoustic materials with sound-insulating properties are being discovered and developed all the time. These materials are used for passive sound regulation in the interior design of automobiles, factories, workshops, residential buildings, noise barriers, etc. to prevent unwanted noise. Determining their acoustic properties is therefore extremely important. [1][2]

Various synthetic materials have excellent acoustic properties, but their price and harmful effects on the environment must be taken into account. Bhingare N.H. describes the properties of natural fibers and waste (recycled) material. Natural materials are an effective alternative to synthetic ones due to their low cost and lower environmental impact. Waste material present in the environment, such as rubber crumbs from tires, waste wood, etc., can be used with acoustic applications. This is emphasized in current research of natural fibrous materials, such as jute, kenaf, kapok, and coconut fibres, fibres from palm and sugar cane, corn husk fibre and their acoustic performance is being researched. It was concluded that the properties of

these natural materials can be effectively used for acoustic applications.[3]

The possibilities of using recycled natural or synthetic polymers from waste rubber in the production of acoustic materials for its good acoustic properties was studied by Xinwu X. [4]

Peng, C.,[5] presents the use of an impedance tube with two microphones to measure impedance at low frequencies. He argues that accurate and reliable prediction of noise in the vehicle interior would be an important step to improve the design of body panels and trim for the development of a quieter vehicle. It was found that the location of the microphones is crucial for the accuracy of the measurement.

DESCRIPTION OF THE MEASUREMENT METHOD AND SAMPLE PREPARATION

Transmission loss is a value expressed in decibels (dB) based on the ratio of the sound waves falling on the front of the sound-absorbing material to the sound waves transmitted back. The transmission loss represents the damping properties of the material, which means that the higher the transmission loss value, the more attenuated the sound and the better the damping properties of the material. The method of measuring transmission loss in an impedance tube involves decomposing a broadband stationary signal

into a falling and a reflected component at the front of the test sample and further into a transmitted and reflected component at the rear of the test sample. The tube is divided into a source tube (the part of the tube before the test sample) and a receiving tube (the part of the tube behind the test sample). The signal is generated by a sound source located at one end of the source tube. The sound propagates like a plane wave and is measured by two microphones. When the sound reaches the level of the test sample, one part is reflected and passed through the microphones again. The second part passes through the tested sample and according to its properties the sound is more or less muted. [7]

The impedance tube was originally invented to detect the speed of sound in gases. It was later used to demonstrate standing sound waves. The impedance tube should be straight along its entire length with a constant cross-section and rigid, smooth, non-porous walls without any holes or notches except for the microphone positions. The walls of the tube should be heavy and thick so that they are not vibrated by an audible signal and so that they do not show any vibrational resonances in the operating frequency range of the tube [1]

The impedance tube has an advantage over other measurement methods due to its compactness, low cost, and fast result. Compared to the reverberation chamber, the impedance tube requires significantly smaller samples of the tested material. A sound-generating speaker is located on one side of the impedance tube and a removable sample holder with a fixed end is located at the other end. Microphones are placed between the speaker and the sample. Depending on the number of microphones used in the measurement, there are two, three or four microphone methods. [6][7]

An impedance tube in a four-microphone configuration was used to measure the transmission loss factor of the investigated materials. The sound was generated by a speaker with a diameter of 4 inches (101.6 mm) and a power of 20 watts located at the end of the tube. The operating frequency of the speaker is from 20 Hz to 8000 Hz.

Other components of the measuring technology are the MC3242 4-channel analyzer for data collection, the PA50 measuring power amplifier from BSWA TECH, and a computer equipped with VA-Lab4 software for an information evaluation and tube control.

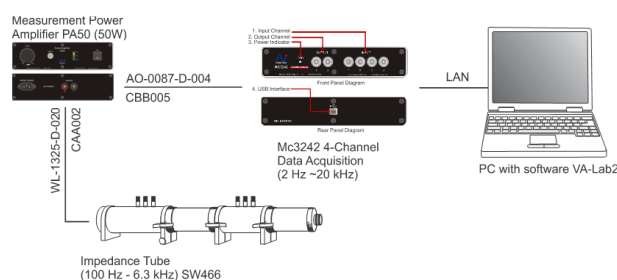
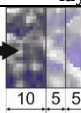
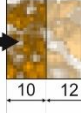
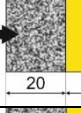
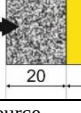


Figure 1. Wiring diagram of measuring technique for measuring transmission loss

Table I. shows a sample of samples of materials used for the experiment. All samples had the same diameter, 30 mm or 60 mm, which corresponds to the inner diameter of the tube $d = 0.030$; 0.060 m. The thickness of the samples varied ($t = 2 \sim 60$ mm). The method of arranging the layers in the samples is indicated in the table.

TABLE I. DISPLAY OF EXAMINED SAMPLES

Material of sample	Thickness (mm)	Diameter (mm)	Arrangement of layers
Propylat	10 15 20	30 / 60	
Triflex	10 22 28		
Recycled rubber Nobasil	40		
Recycled rubber Nobasil Ecomolitan	60		

Note  direction of sound waves from a source

PROCESSING, COMPARISON AND EVALUATION OF MEASUREMENT RESULTS

The results of the measurements show that the investigated materials reach their best values at high sound frequencies, namely 5000 - 6300 Hz.

The results also show that the thickness of the material plays an important role in the transmission loss. This is because most materials achieved the best transmission loss values at higher sample thicknesses.

This can be seen in the graphs in Figure 2 where it can be seen how the TL value also increases with increasing sample thickness.

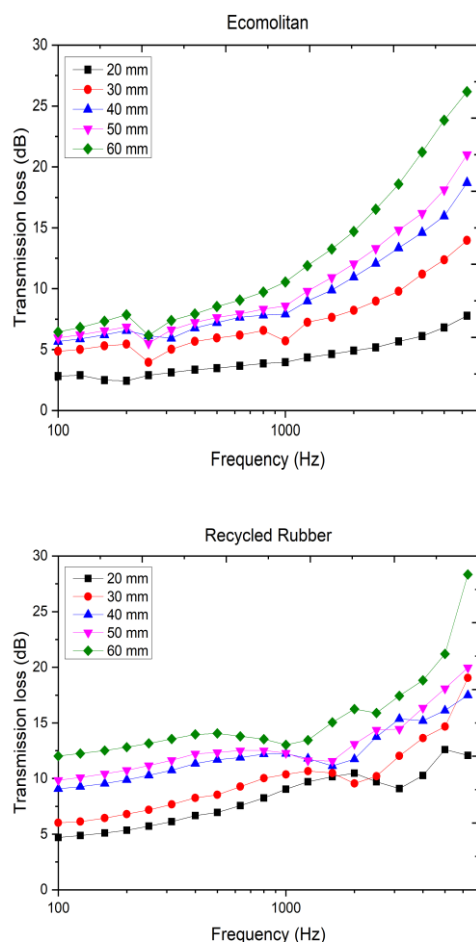


Figure 2. Demonstration of transmission loss values for single-layer materials

The graphs in Figure 3 shows the transmission loss values for two-layer sandwich materials in a total sample thickness of 40 mm composed of Ecomolitan, Recycled Rubber, and Nobasil. Different variants of the arrangement of these materials in layers with respect to the direction of sound propagation were measured.

In the graphs in Figure 3 can be seen that the arrangement of the materials in the layers plays essentially no significant role in the transmission attenuation. It can be seen that regardless of the arrangement of the materials in the layers, the course of the graph and the values of the transmission loss remain essentially the same.

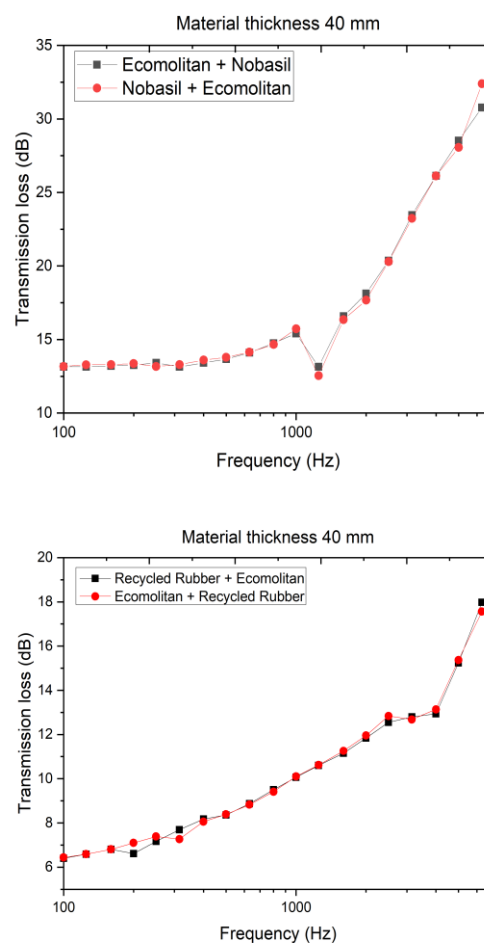


Figure 3. Example of comparison of values of transmission loss for two-layer materials

The same applies to three-layer sandwich materials as to two-layer sandwich materials, so that the arrangement of the materials in the sandwich has no major effect on the values of the transmission loss. This can be seen in the graph in Figure 4.

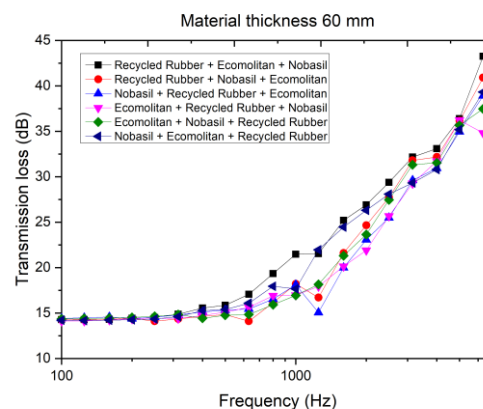


Figure 4. Example of comparison of values of transmission loss for three-layer materials

Three-layer sandwich materials generally show better TL properties than two-layer materials. This, however, according to previous results, can be attributed more to the increasing thickness of the material than to its composition and the fact that it has three layers. Thus, in general, we can state that in terms of transmission loss, the formation of sandwich materials does not have major advantages and that the main factor, in this case, is the increasing thickness of the material.

CONCLUSION

According to the measured results, it can be stated that the thickness of the material had a significant effect on transmission loss values. The tables and graphs showed an increase in the value of the transmission loss, which was directly proportional to the increasing thickness of the material.

In the case of sandwich materials, it was shown that the different arrangement of the materials in the layers with respect to the direction of sound propagation had no significant effect on the values of the transmission loss.

Three-layer sandwich materials showed higher values of transmission loss. However, based on previous results, we can assume that this was due to the greater thickness of these materials.

It is important to note that the results of the performed experiment apply to selected single-layer and sandwich materials that were used for the experiment and to the conditions of the specific research. Therefore, it cannot be ruled out that the measurement results will differ when selecting other materials.

Acknowledgment

This paper was created within the project KEGA no. 045TUKE-4/2018. This work was supported by the Agency for the Support of Research and Development based on Contract no. APVV-15-0327.

References

- [1] J. Niresh, S. Neelakrishnan, S. Subharani, T. Kannaian, and R. Prabhakaran, "Review of acoustic characteristics of materials using impedance tube," *ARPJ. Eng. Appl. Sci.*, vol. 10, no. 8, 2015.
- [2] B. Arunkumar and S. Jeyanthi, "Design and analysis of impedance tube for sound absorption measurement," *ARPJ. Eng. Appl. Sci.*, vol. 12, no. 5, 2017.
- [3] N. H. Bhingare, S. Prakash, and V. S. Jatti, "A review on natural and waste material composite as acoustic material," *Polym. Test.*, 2019, doi: 10.1016/j.polymertesting.2019.106142.
- [4] X. Xu, H. Wang, Y. Sun, J. Han, and R. Huang, "Sound absorbing properties of perforated composite panels of recycled rubber, fiberboard sawdust, and high density polyethylene," *J. Clean. Prod.*, vol. 187, 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.03.174.
- [5] C. Peng, D. Morrey, and P. Sanders, "The measurement of low frequency impedance using an impedance tube," *J. Low Freq. Noise Vib.*, vol. 17, no. 1, 1998, doi: 10.1177/026309239801700101.
- [6] A methodology for assessing the quality of working environment: example of research proposal / Miriama Piňosová, Miriam Andrejová – 2017. In: *Acta Mechanica Slovaca*. Roč. 21, č. 4 (2017), s.52-59 – ISSN 1335-2393
- [7] Badida, M. – Lumnitzer, E. – Bartko, L.: *Možnosti znižovania dopravného hluku*. Elfa, s.r.o, Košice, 2011. ISBN 978-80-8086-181-0

Correspondence address:

Kristián Pástor, Ing.
Technical University of Košice
Faculty of Mechanical Engineering
The Department of Process and Environmental Engineering
Park Komenského 5
042 00 Košice
Slovenská Republika
Tel.: +421 902 866 194
Email: kristian.pastor@tuke.sk

KOMPLEXNÉ VZDELÁVANIE V OBLASTI BOZP AKO OPAKUJÚCI SA GENERAČNÝ CYKLUS

COMPREHENSIVE EDUCATION IN OHS AREA AS A REPEATED GENERATIONAL CYCLE

Dominika PECHOVÁ, Hana PAČAIOVÁ

Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Katedra bezpečnosti a kvality produkcie, Slovenská republika
hyzova.dominika@gmail.com, hana.pacaiova@tuke.sk

Abstrakt:

Vzdelávanie v oblasti BOZP je slovné spojenie týkajúce sa procesu realizácie rôznych typov školení, tematických prednášok, poučení s cieľom obnoviť si získané vedomosti alebo osvojiť si nové informácie. Častokrát predmetom tohto školenia sú najmä legislatívne predpisy, poskytované účastníkom školenia v podobe ich rozsiahleho „čítania – citovania“, bez príkladov možnej a efektívnej aplikácie v reálnych podmienkach na pracovisku. Komplexný cyklus vzdelávania sa zameriava na konkrétnu úroveň týkajúcu sa životného cyklu vzdelávania človeka, jej obsah a nástroje, ale aj na vzájomný vzťah medzi danými úrovňami tak, aby bolo postupne získavané a dlhodobo udržiavané vysoké povedomie v oblasti BOZP. Toto povedomie podporuje správne návyky vo všetkých činnostiach spoločnosti, a tým je zaistená dlhodobá udržateľnosť kultúry BOZP a jej rozvoj.

Abstract:

Health and safety education is a phrase related to the process of implementation of various types of training, thematic lectures, lessons to renew the acquired knowledge or acquire new information. The main objective of this education is often mainly legislative regulations provided to participants during the training in a form of an extensive „reading-quoting“ without any examples of possible and effective application in real-life conditions at the workplace. The comprehensive educational cycle is focused on a specific level related to a lifetime education, its content, and tools as well as the relationship between given levels to make health and safety education more accessible to acquire and to maintain its long-term awareness. This awareness supports good habits in all activities of the society and thus the long-term sustainability of the OSH culture and its development is ensured.

Kľúčové slová:

Bezpečnosť, vzdelávanie, efektívnosť, životný cyklus

Key words:

Safety, education, efficiency, life cycle

ÚVOD

V úvodných slovách anotácie tohto článku je spomenutá častá forma oboznamovania v oblasti BOZP, ktorá značí mnohé nedostatky systému riadenia BOZP v našej krajine. Ďalším extrémom, ktorý je v praxi bežný je školenie formálneho charakteru, teda „neškolenie“. Hlavným cieľom je len formálne splnenie zákonných požiadaviek, prostredníctvom podpisu zamestnancov. Oboznamovanie o tom v akom prostredí bude zamestnanec pracovať a aké riziká sú s jeho prácou

spojené sa nekoná a celý proces je skrátený na pár minút.

V konečnom dôsledku sú obe spomínané formy vzdelávania neefektívne a z hľadiska pripravenosti zamestnancov na ochranu vlastných (aj cudzích) životov a zdravia ohrozujúce (resp. rizikové).

Našťastie sa praxi vyskytuje aj opačný prístup k problematike (často v spoločnostiach, kde je zahraničný manažment). Pod záštitou podniku tohto typu zamestnanci pravidelne absolvujú školenia relevantné k ich činnostiam, zaujímavo podané, vo forme vecného a názorného poučenia, ktoré je

aplikovateľné pri výkone konkrétneho povolania alebo činností (založené na tzv. *angl.* good practice). Vzdelávanie v oblasti BOZP má teda rôzne podoby. Podoby, ktoré sú od seba navzájom veľmi odlišné. Celý systém vzdelávania v úseku BOZP tak nadobúda nejednotnú štruktúru.

Vzdelávanie o BOZP sa však nevzťahuje len na prácu, pracovné prostredie a zamestnancov. Základ osvojenia si pravidiel a návykov bezpečného správania sa začína vzdelávaním detí rôznych vekových kategórií. Po prvýkrát sa deti dostávajú do konfrontácie s cieľným vzdelávaním v oblasti BOZP už v materskej škole. Tieto aktivity ich však sprevádzajú počas celej povinnej školskej dochádzky. Práve deti si zaslúžia špeciálnu pozornosť ako aj individuálny prístup, pretože sú budúcnosťou celej spoločnosti. Spôsobom primeraným ich kognitívnemu vývinu si vedia osvojiť návyky a postoje, ktoré sa stanú v ich životoch bežné a automatické.

Deti predstavujú *najzraniteľnejšiu skupinu*, ktorá si vyžaduje zvýšenú ochranu. Ukazovateľom ich zraniteľnosti je štatistika ich úrazovosti, ktorá je v súčasnosti značne vysoká [1, 2].

1 ÚRAZOVOSŤ DETÍ

Z viacerých medzinárodných zdrojov je zrejmé, že životy detí sú najviac ohrozené práve v dôsledku neúmyselných úrazov. Podľa Svetovej zdravotníckej organizácie zomrie na svete 950 000 detí každý rok v dôsledku úrazov a násilia na deťoch (na porovnanie ročne umrie 2,78 mil. pracovníkov pri vykonávaní pracovných činností). Z týchto všetkých prípadov až 90 % predstavujú práve neúmyselné úrazy [3].

Viac ako 100 detí každú hodinu, každý deň v každom roku zomrie v dôsledku neúmyselných úrazov úplne zbytočne.

Čísla uvádzané vyššie sú alarmujúce, a práve z tohto dôvodu sú celosvetovo vykonávané rôzne aktivity zamerané na zníženie detskej úrazovosti a zároveň zvýšenie bezpečnosti detí a mládeže. Jednou z týchto aktivít je medzinárodný projekt TACTICS (*angl.* Tools to Address Childhood Trauma, Injury and Children Safety). Do projektu sa zapojilo 34 krajín a v rokoch 2011 – 2014 aj Slovensko pod záštitou Úradu verejného zdravotníctva SR [4].

Výsledkom projektu je informačná karta o bezpečnosti detí a mládeže vo veku 0 až 19 rokov. Táto karta bola vypracovaná v roku 2012 ako nástroj na meranie pokroku a stanovenie cieľov na zníženie počtu neúmyselných úrazov detí a mladistvých s následkami úmrtia či invalidity v Európe. Z celkových

hodnotení bezpečnosti detí jasne vyplýva, že je nevyhnutné uskutočniť omnoho viac krokov týkajúcich sa predkladania, zavádzania a presadzovania stratégií na podporu bezpečnosti detí a mladistvých vo všetkých oblastiach. Je potrebné podporovať a dotovať úspešné opatrenia prevencie úrazov, a to prístupom spájajúcim vzdelávanie, stavebné postupy a presadzovanie noriem a predpisov. Táto informačná karta preto poukazuje na tie oblasti v súčasnej stratégii Slovenskej republiky, kde je priestor na uskutočnenie zmien [4].

V celkovom hodnotení bezpečnosti detí a mladistvých ako i v povedomí o bezpečnosti detí a mládeže na Slovensku sa ukázali **mnohé nedostatky**. Z tohto dôvodu získala Slovenská republika **priemerné hodnotenie**.

Nízke povedomie priamo súvisí s kultúrou BOZP na Slovensku a stavom systému vzdelávania v oblasti bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci. V našej spoločnosti je práve táto oblasť často stigmatizovaná. Nálepka, ktorú vzdelávanie v problematike BOZP, poučenia a školenia dostávajú má však skorej negatívny podtón. Prečo je to tak? Príčin a dôvodov aktuálneho stavu kultúry BOZP na Slovensku je určite viac.

2 NÁVRH METODIKY VZDELÁVANIA – ŽIVOTNÝ CYKLUS KOMPLEXNÉHO VZDELÁVANIA V OBLASTI BOZP

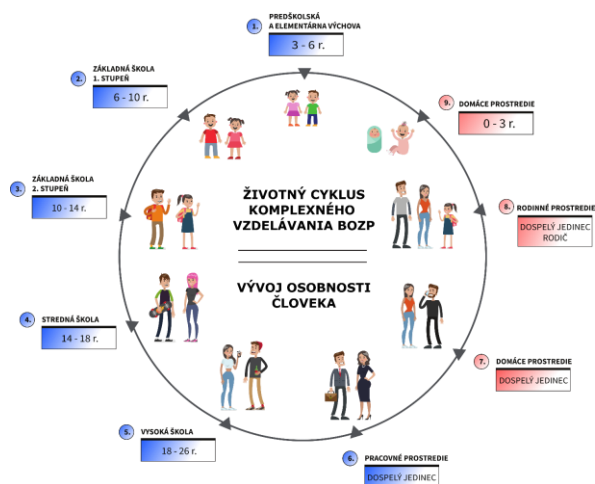
Ak by sme mali pátrať po pôvode negatívnych postojov našej spoločnosti ku kultúre a výučbe BOZP, dostali by sme sa už k začiatkom vývoja osobnosti človeka. Preto je nutné si uvedomiť, vplyv a súvis jednotlivých úrovní vzdelávania človeka so vzdelávaním v oblasti BOZP, ktorý je možné popísať tzv. **životným cyklom komplexného vzdelávania**. Tento cyklus predstavuje vlastne nekonečný kruh, ktorý je priamo prepojený s vývojom osobnosti každého z nás. Cestou optimalizácie, inovácie a zjednotenia systému vzdelávania vo sfére BOZP by mohlo byť práve prepojenie týchto dvoch oblastí.

Ako však súvisí vývoj osobnosti, ktorý je skôr záležitosťou psychológie a vzťah k BOZP, ktoré patrí skôr do technickej terminológie? Na obr. 1 je znázornená synchronizácia (vzájomný súvis), ktorá by mohla byť veľmi prospešná pri tvorbe nových výučbových materiálov, metodík a nástrojov v okruhu vzdelávania BOZP.

Takáto **ucelená edukatívna koncepcia** by mohla mať priamy dopad na posilnenie celkovej kultúry BOZP a zvýšenie povedomia v našej spoločnosti. S tým priamo súvisiace uvedomovanie si kolektívnej zodpovednosti, nevyhnutnosti prevencie a dôležitosti **osobného príkladu pre svoje okolie**.

V konečnom dôsledku by táto zmena mohla zabezpečiť zníženie úrazovosti v domácom i pracovnom prostredí, chorôb z povolania s čím priamo súvisí ekonomická prosperita podnikov a celej spoločnosti.

Ak je kruh na obr. 1 nekonečný, kde je teda začiatok? Kedy začína prvá fáza životného cyklu komplexného vzdelávania v oblasti BOZP? Samozrejme, tak ako pri všetkom záleží od uhľa pohľadu. V našom prípade ide o prípravu vzdelávacích materiálov a metodík. Preto je veľmi dôležitá prvá fáza vývoja, na ktorú má priamy vplyv vzdelávacia inštitúcia (napr. Národný inšpektorát práce, Európska agentúra pre bezpečnosť a ochranu zdravia pri práci, Úrad verejného zdravotníctva, Štátny pedagogický ústav atď.). Na obr. 1 sú modrou farbou vyznačené stupne životného cyklu, ktoré sú priamo dotknuté vzdelávacou inštitúciou. Naopak červenou farbou sú zvýraznené fázy, na ktoré vzdelávacia inštitúcia už nemá priamy dosah.



Obrázok 1. Životný cyklus komplexného vzdelávania v oblasti BOZP a vývoj osobnosti človeka

2.1 Predškolská a elementárna výchova

Úplne prvou cieľovou skupinou sú deti v materských školách. Novovzniknuté materiály (ktoré budú postupne koncipované v rámci realizovaného výskumu na pracovisku KBaKP) pre deti vo veku 3 – 6 rokov, by mali spĺňať požiadavky primerané ich kognitívnemu vývinu. Samozrejme, potrebné sú skúsenosti a vedomosti z odboru **elementárnej a predškolskej pedagogiky**.

Je potrebné, aby sa deti hrovou formou dozvedeli relevantné informácie a taktiež prečo sú pre nich dôležité. Kľúčový je osobný príklad, ktorý si deti podvedome osvojujú.

2.2 Primárne vzdelávanie – 1. stupeň základnej školy

Prvý stupeň základnej školy navštevujú deti vo veku 6 – 10 rokov. V tomto veku deti začínajú myslieť abstraktne, rozvíjajú si zručnosti odôvodňovania a okrem učenia pozorovaním sa posúvajú k učeniu pomocou jazyka a logiky. Predstavenie bezpečnosti a ochrany zdravia v tomto veku je kľúčové pre vytvorenie základov bezpečných a zdravých návykov [5].

Ak sa zameriame na tých najmenších z tejto vekovej skupiny musíme si uvedomiť, že deti ktoré prídu v septembri do školy boli pred pár mesiacmi škôlkari. Preto systém výučby na prvom stupni musí mať stupňujúci charakter so ohľadom na plynulý prechod z predškolského do školského zariadenia.

V súčasnosti je poučenie na začiatku školského roka realizované formou čítania zásad zo školského poriadku a to bez ohľadu na vek žiakov. Presne tie isté frázy a vety, zásady bezpečného správania, príkazy a zákazy putujú k dieťaťu vo veku 8 rokov či 13 rokov. V jednej chvíli sú žiaci poučení o tom ako sa správať v triede, na chodbe, na ihrisku, počas vyučovacej hodiny, počas prestávky atď. Informácie sú podané bez názornej ukážky, bez obrázku, bez príkladu z praxe, bez osobného príkladu, bez vysvetlenia dôvodu.

Súčasný stav vzdelávania v oblasti BOZP žiakov na základných školách **je už roky nezmenený**. Vzdelávanie na školách podlieha modernizácii, inováciám s využitím interaktívnych nástrojov, preto je nevyhnutné zaradiť do procesu modernizácie aj vzdelávanie s tematikou BOZP. Takýto proces je žiaduci z viacerých dôvodov. Neustály technologický pokrok si vyžaduje zmenu technológie alebo vznik nových technológií a tým vznikajú pre deti **nové riziká**, ktoré v starých poučeniach nenájdeme. Ďalším dôvodom je zvýšenie efektivity, použiteľnosti, zapamätateľnosti a posilnenie povedomia o kultúre BOZP ako takej.

2.3 Nižšie sekundárne vzdelávanie – 2. stupeň základnej školy

Do skupiny nižšieho sekundárneho vzdelávania spadajú deti vo veku 10 – 14 rokov. Tak ako je základná škola rozdelená na dva stupne, tak aj z hľadiska prístupu k tvorbe metodík je vhodné rozdeliť žiakov základnej školy na dve skupiny. Na prelome prvého a druhého stupňa základnej školy prichádza k významnému posunu vo vývoji ľudskej osobnosti. V tomto vývojovom období je u detí charakteristické uvedomovanie si vlastnej osobnosti a formovanie si určitých postojov (puberta). Z tohto dôvodu je interdisciplinárny prístup pri tvorbe metodík priam nevyhnutný.

Tak ako v predchádzajúcich prípadoch je súčasný stav vzdelávania žiakov v oblasti BOZP zastaralý. Východisková stratégia pri tvorbe metódik je stále podobná, avšak obsahovo rozsiahlejšia a členitejšia z dôvodu pribúdajúcich odborných poučení (chemické laboratórium, dielňa atď.).

2.4 Vyššie sekundárne vzdelávanie – Stredné školy

Na Slovensku navštevujú stredné školy mladí ľudia vo veku 14 – 18 rokov. Je to vývinové obdobie, ktoré je posledným štádiom na ceste k dospelosti. Obdobie nazývané aj adolescencia nadväzuje na pubertu a po ňom nasleduje už dospelosť. Pri tvorbe výučbových materiálov je možné už postupne zdôrazňovať vážnosť problematiky, uvádzať konkrétne príklady z praxe a života. Na stredných školách so zameraním hovoriť o bezpečnosti v súvislosti s konkrétnym budúcim povoláním.

2.5 Nižšie a vyššie terciálne vzdelávanie – Vysoké školy

Vzdelávanie v oblasti BOZP študentov na vysokých školách je veľmi rozmanité. Dôvodom je široké spektrum zameraní vysokých škôl a určitá autonómia jednotlivých univerzít. Na niektorých univerzitách patrí kvalitné poučenie študentov a zvyšovanie povedomia v úseku kultúry BOZP medzi priority. Takýto prístup je blízky predovšetkým technickým univerzitám.

Špeciálnu skupinu v tomto smere tvoria pedagogické univerzity. Príprave pedagógov sa v súčasnosti nevenuje dostatok pozornosti. Je všeobecne známe, že pedagógovia potrebujú odbornú prípravu na to, ako majú vzdelávať študentov o problematike riadenia rizík [6].

Vzdelávanie pedagógov v oblasti BOZP by malo byť orientované nielen na ich budúcich žiakov ale aj na nich samotných. Je nevyhnutné ponúknuť im informácie a vedomosti z oblasti BOZP pripravené pre ich potreby, v závislosti ich pôsobenia a zároveň ich naučiť ako majú vzdelávať študentov v tejto špecifickej technickej sfére. Upriamiť pozornosť na možné riziká, nebezpečenstvá a ohrozenia študentov v rôznych podmienkach prostredia (pracovného prostredia).

2.6 Pracovné prostredie

Problematika postojov zamestnancov a aktuálneho stavu kultúry BOZP je len zrkadlom nedostatkov v predchádzajúcich fázach životného cyklu komplexného vzdelávania v oblasti bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci. Celý systém sa rozpadá už v začiatkoch. Tieto nedostatky sa

neustále prehlbujú a negatívne postoje spoločnosti posilňujú.

Samozrejme i v pracovnom prostredí majú aktivity smerujúce k zlepšeniu kultúry bezpečnosti pri práci veľký význam. Riešenie môže byť operatívne, prostredníctvom uceleného konceptu pre konkrétne priemyselné odvetvia. Ak by sa vytvorila všeobecná osnova poučenia pre určitú skupinu podnikov, mohli by si zamestnávateľia upraviť odporúčanú formu pre potreby konkrétnej prevádzky. Je možné zhromaždiť určité odporúčania, vytvoriť prezentácie, obrázky a plagáty založené na dátach z výskumov a reálnych skúsenostiach. Toto všetko môže mať pozitívny dopad na celkové vnímanie BOZP v pracovnom prostredí. Avšak je pravdepodobné, že viditeľné zlepšenie v procese nastane ak spolu s operatívnym prístupom začne fungovať aj prístup systémový. Tým je myslené vyššie spomínané komplexné vzdelávanie s dôrazom na systematickú prácu od jeho prvotnej etapy.

2.7 Individuálny prístup – spoločná východisková stratégia

Každá fáza životného cyklu komplexného vzdelávania vyžaduje individuálny prístup, ktorý sa však opiera o spoločnú východiskovú stratégiu. Základným kameňom tohto princípu by mohol byť výrok čínskeho filozofa Konfucia.

*„Čo počujem, to zabudnem. Čo vidím, to si pamätám.
Čo si vyskúšam, tomu rozumiem.“*

Konfucius

Prospešné je aktívne zapojenie detí, študentov a zamestnancov do procesu edukácie vo všetkých fázach vývoja ľudskej osobnosti, od najmenších detí až po novo prijatých či skúsených zamestnancov.

Zapojenie žiakov do aktivít týkajúcich sa zdravia a bezpečnosti ako súčasť ich vzdelávania o rizikách je najefektívnejšie, ak ich žiaci vykonávajú v školskom prostredí. Identifikácia rizika a nápravné opatrenia majú tak priamy úžitok pre celú školskú komunitu [7].

Novovzniknuté metodiky musia byť všeobecne primerané kognitívnemu vývinu osobnosti (dieťaťa, študenta, zamestnanca). Vhodnými materiálmi pre deti sú tematicky súvisiace rozprávky, príbehy, básničky, pracovné listy, omaľovánky, kvízy, videá, animácie, divadielko, skupinové hry a aktivity a pod. Pre zamestnancov by mohli byť atraktívne postery, brožúry, animácie, videá a prezentácie.

Počas celého procesu je nevyhnutný interdisciplinárny prístup, a teda spolupráca odborníkov z viacerých vedných disciplín.

PSYCHOLÓGIA + TECHNIKA + PEDAGOGIKA

Osobný príklad je z hľadiska osvojovania si správnych návykov kľúčový u detí, ale taktiež v pracovnom prostredí je dôkazom dobrej praxe a funkčnosti systému.

Spoločným poslaním všetkých metodík by malo byť vzdelávanie v oblasti **ekológie a udržateľnosti**, pre nevyhnutnosť a dôležitosť tejto témy v každodennom živote, ale i v súvislosti ochrany prírody a tým ochrany vlastného zdravia.

ZÁVER

Fázy (úrovne) navrhovaného životného cyklu komplexného vzdelávania BOZP spomínané doteraz, sú práve tie na ktoré má priamy vplyv vzdelávacia inštitúcia. A preto ak sa vytvorí komplexný, udržateľný a funkčný koncept vzdelávania, je možné vidieť pozitívne zmeny aj v tých častiach evolúcie, ktoré sú v tomto dotknuté iba nepriamo.

Ak sa začne už v prvej fáze dieťa primeraným spôsobom učiť k uvedomovaniu si kauzality, potom si tento prístup osvojí a automaticky si ho nesie do všetkých oblastí života. Od škôlky do školy, kde sa toto povedomie posilňuje a prehĺbuje, na strednú alebo vysokú školu. Takto pripravený človek môže ísť do pracovného prostredia, kedy už vie aké sú následky jeho konania pre seba samého a svoje okolie. Z práce prichádza domov, kde vie vyhodnotiť možné riziko a vytvára bezpečný domov svojim deťom v úlohe rodiča. Osvojenými celoživotnými prístupmi a predovšetkým osobným príkladom tak vzdeláva dieťa od narodenia do troch rokov bezprostredne a v konečnom dôsledku i celoživotne. Rodič je prvý a najvýznamnejší učiteľ v živote dieťaťa. A v tejto chvíli sa kruh uzatvára. Dostali sme sa späťne (v rámci životného cyklu vzdelávania) k tým najmenším deťom, ktoré sme na začiatku pri priamom kontakte so vzdelávacou inštitúciou museli vynechať. Nakoniec sme však mohli nepriamo prispieť k tomu, aby domov bol pre deti miestom bezpečnejším ako kedykoľvek predtým.

Vytvorenie popisu životného cyklu komplexného vzdelávania BOZP je len prvotným krokom, vytvorenia rámca pre vzdelávanie v oblasti BOZP v našej spoločnosti. Bude vyžadovať spoluprácu renomovaných odborníkov podporenú inštitúciami, nielen poverených dohliadaním nad pravidlami – ich dodržiavaním v rámci platnej legislatívy ale aj spoluprácu s inštitúciami vzdelávania a zamestnávateľmi.

Cesta to nebude jednoduchá, ale je to cesta ktorá môže zmeniť náš postoj k vlastnému životu zdraviu, životu a zdraviu svojich kolegov a celej spoločnosti. V dnešnej dobe, kedy nie vždy je

jednoduché identifikovať najmä vonkajšie hrozby pôsobiace na celú spoločnosť ovplyvňujúce ekonomiku a rozvoj spoločnosti, je nevyhnutné si osvojiť základné postoje a princípy správania s vedomím vnímaním potenciálnych rizík, vedieť ich identifikovať a hlavne odhadnúť ich možné dopady ako aj možnosť svojim správaním ich minimalizovať.

Acknowledgment

Príspevok bol vypracovaný v rámci projektu KEGA 019TUKE-4/2020 Aplikácie orientované vzdelávanie v oblasti implementácie požiadaviek normy ISO 9001:2015

Referencie

- [1] Cinová, J., Šuličová, A., Vyrostek, D.: Problematika detskej úrazovosti. Fakulta zdravotníctva PU v Prešove 2FNsP J.A. Raimana, Prešov. Dostupné na internete: <https://www.unipo.sk/public/media/12634/Cinova%20J.,%20%20C5%A0uli%C4%8Dov%20A.,%20%20Vyrostek%20D.,-Problematika%20detskej%20%20%C3%BArazovosti.pdf>
- [2] Wazana, A.: Are There Injury-Prone Children? A Critical Review of the Literature. The Canadian Journal of Psychiatry, 1997, doi:10.1177/070674379704200606.
- [3] Sethi, D. et al.: European report on child injury prevention. Copenhagen: WHO Regional office for Europe, 2008.
- [4] MacKay, M. A., Vincenten, J.: Informačná karta o bezpečnosti detí 2012 - Slovensko. Birmingham: Európska aliancia pre bezpečnosť detí, Eurosafe, 2012.
- [5] Napo film pre učiteľov. www.napofilm.net. Dostupné na internete: [dátum: 20.12. 2020.]
- <http://www.napofilm.net/sk/napo-for-teachers>.
- [6] European Agency for Safety and Health at Work: OSH in the school curriculum — Member State activities Summary of a report. Dostupné na internete: <https://osha.europa.eu/en/publications/factsheet-82-osh-school-curriculum-member-state-activities-summary/view>
- [7] Antoine, M. et al.: Occupational safety and health and education: a whole school approach: European Agency for Safety and Health at Work, 2013.

Korešpondenčná adresa:

Ing. Dominika Pechová - doktorandka
Technická univerzita v Košiciach
Strojnícka fakulta
Katedra bezpečnosti a kvality produkcie
Letná 9, 042 00 Košice, Slovenská republika
Tel.: +421 911 278 542
Email: hyzova.dominika@gmail.com

THE EFFECT OF COATING ON THE DURABILITY AND LIFE CYCLE OF CUTTING TOOLS

Vladimír Rohal', Emil Spišák

Technical University of Košice, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Technology and Material Engineering,
Slovak republic

vladimir.rohal@tuke.sk, emil.spisak@tuke.sk

Abstract:

Shearing is a common process in the manufacturing industry. To maintain good product quality, it is important to use quality cutting tools. The coating of cutting tools has a major impact on the mechanical and tribological properties, as well as on the final quality of the product. Due to the better performance of cutting tools, various coatings began to be applied to the tools, including single-layer, multilayer coatings, nanocomposites and superlattices. Hierarchically structured coatings are the newest discovery in the research field of tool coatings.

Key words:

Shearing, coating, PVD, durability and lifetime of cutting tools.

INTRODUCTION

As the demand for high-tolerance products grows rapidly, the manufacturing industry is constantly striving to reduce its cutting costs and increase the quality of machined parts. The driving force behind the development of tool cutting materials has been the growing need to increase productivity, machine more complex materials and increase quality in large volumes in the manufacturing industry [1]. Since the creation of the first cutting tool material suitable for cutting metals, carbon steel, which was developed a century ago [2], several cutting tools have been constantly evolving.

The quality of the cutting process is evaluated in terms of the product result and the service life of the cutting tool itself. Cutting tools are made of different types of materials. The performance of the cutting tool can be improved by applying a coating to the surface of the cutting tool. Different types of coating structures and materials can be combined to produce high-performance cutting tools. The coating not only serves to extend the life of the cutting tool, but also serves as protection against wear, especially against abrasions and adhesions, when using the cutting tool. The strength of the coating depends on the material used for the coating, but studies have shown that the multilayer

structure will further increase the hardness of the coating and increase its wear resistance.

Increasing the productivity of production processes is secured via the acceleration of development of advanced cutting tools with a view to achieve excellent tribological properties and wear resistance [3].

The first material used for tool coating was titanium carbide (TiC), which was deposited by CVD and was only a few microns thick. This coating has been found to significantly improve the abrasive and chemical resistance of the inserts. These results paved the way for significant research into the surface treatment of tools. However, during early experiments with these tool coatings, certain limitations arose. The requirements for CVD at high temperatures lead to the diffusion of the chemical elements of the carbide substrate through the coating. This phenomenon leads to embrittlement of the edge of the coating. To overcome this obstacle, substrates were selected that were less sensitive to such diffusion losses. Recently, coatings of TiAlN / TiCN / ceramics, diamonds, etc. have been evaluated. Studies have shown that the strength of the coating depends on the material used, but a layered coating of the adhesive layer, the intermediate layer and the wear-resistant outer layer will lead to a further improvement in the

hardness of the coating and an increase resistance to wear.

The majority of cutting tools in use today employ chemical vapour deposition (CVD) or physical vapour deposition (PVD) hard coatings. The high hardness, wear resistance and chemical stability of these coatings offer proven benefits in terms of tool life and machining performance [4-5].

1 MATERIAL

Cutouts were cut out of the sheet metal strip in two rows, serving as a finished part, namely a fuse for circuit breakers. The material of the blank is 11 373 - unalloyed structural steel with good weldability. The mechanical and chemical properties are given in the following tables.

Table 1. Mechanical properties of 11373 steel

Material	Yield strength σ_y [MPa]	Tensile strength σ_u [MPa]	Young's modulus E [GPa]	Ductility A ₈₀ [%]
11373	235	360-470	206	20

Table 2. Chemical composition of 11373 steel

Chemical elements	C [%]	P [%]	S [%]	N [%]
Value	max 0,17	0,045	max 0,045	max 0,007

The technical drawing of the component is shown in Figure 1.

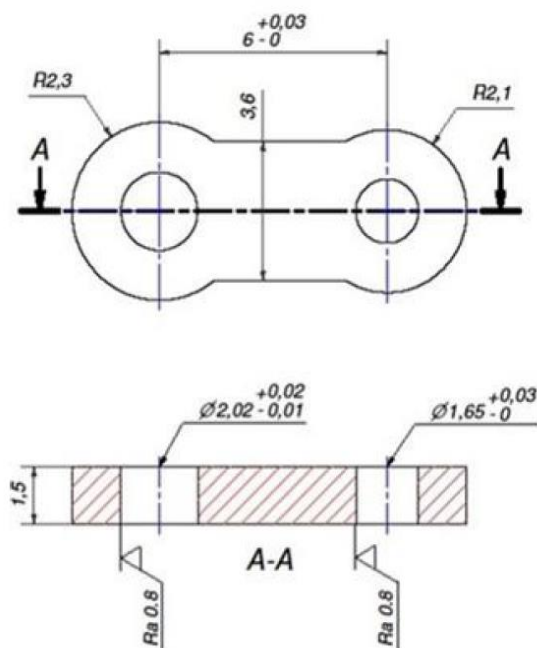


Figure 1. Technical drawing of produced component

2 METHODOLOGY OF EXPERIMENT

The experiment was performed on an eccentric press LEN 40 C of the brand Šmeral Trnava. The machine was set at 77 strokes per minute. The blanks were cut from a strip of sheet 360x15 mm.

Cutting tools were used for cutting the blanks, on which the TiCN - titanium carbonitride coating was applied to all punches by the PVD method. In Figure 2, the functional parts of the punches are coated with TiCN coatings.

TiCN coating is one of the specially designed coatings that have a complex multilayer structure. This type of coating is produced by arc technology. It is one of the coatings that significantly increase tool life. The special coating composition significantly reduces wear [6].

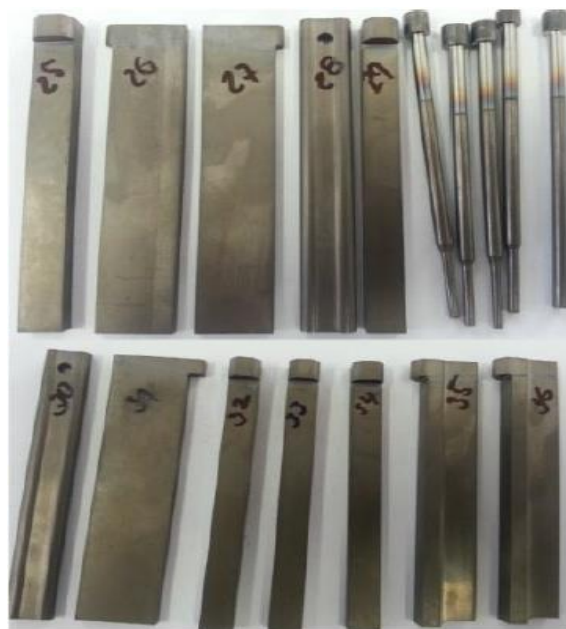


Figure 2. The functional parts of the cutting tool

In the following Figure 3 we can see a cross section through the sample on which the TiCN coating was applied and the surface of the coating.

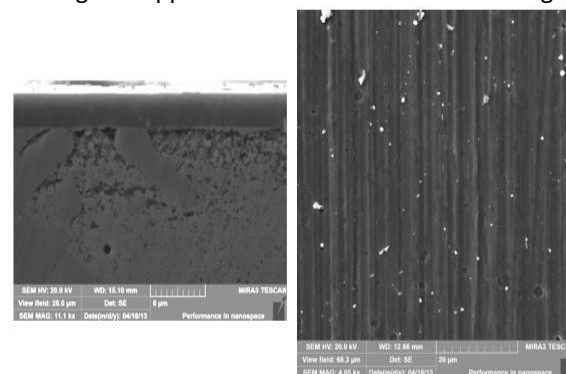


Figure 3. Cross section of the coated sample and the actual surface of the coating

These coatings are characterized by high abrasion resistance, low coefficient of friction, and are suitable for milling of steels with a medium carbon content of lower and medium strength and milling of gray cast iron. The color of the coating is brown-red, and the hardness of the coating is 3500 HV.

Samples of cutouts were taken immediately from the first pieces and then after 1,000, 2,000, 3,000, 4,000, 5,000 and 7,000 strokes, respectively.

3 WEAR OF CUTTING TOOLS

The wear effect of the cutting tools was evaluated using a microscope, which measured the dimensions of the cut holes on the cut blanks. The microscope was used due to the small size of the part. The dimensions of the holes on the blanks were measured from the side of the punch as well as from the side of the die.

Figure 4 shows the dimensions of the holes for the blank, which was sampled immediately from the first pieces.

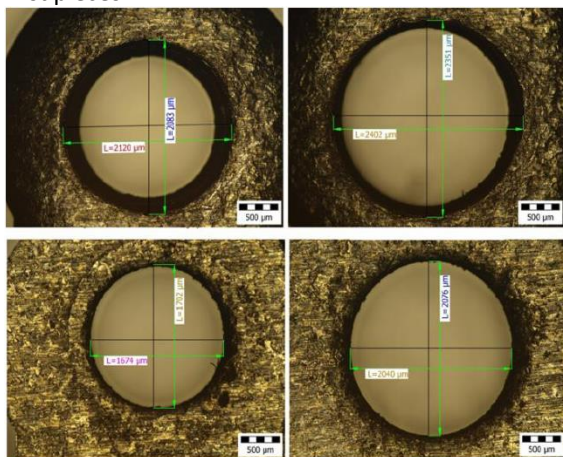


Figure 4. Dimensions of the holes (punch, die) on samples taken from the first pieces

The dimensions of the holes in the samples were measured from two sides, from the side of the die and the punch, because it appeared that the holes would be conical in shape. A small hole is cut out in the left picture, where the dimensions are not the same. The dimensions of the holes were also measured in two directions, perpendicular to each other, which confirmed their ovality. The dimension on the x-axis is approximately 0.04 mm larger than the dimension on the y-axis. The shadow visible in the picture is caused by the conicity of the hole. The size of the hole cut from the punch side is already visually larger than the size of the same hole from the die side. In the picture on the right, a larger hole is cut out on the cut-out, on which the dimensions also differ. The shadow caused by the conicity is not

so obvious, but the burrs caused by cutting are visible.

Figure 5 shows a blank, which was removed after 1,000 strokes of the machine.

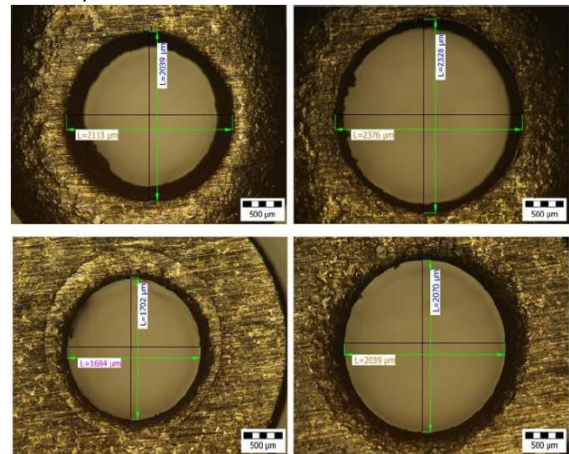


Figure 5. Dimensions of holes on samples (punch, die) after 1000 strokes

The hole sizes show almost no differences compared to the first pieces. Even in this case, the holes are not cut straight out, and the punch did not pass through the sheet metal vertically. In the photo at the bottom left, where there is a smaller hole on the side of the die, it is possible to observe the pressing of the die, due to its wear. At a larger hole, burrs are again visible, also caused by cutting tool wear.

Figure 6 shows a blank, which was removed after 2,000 strokes of the machine.

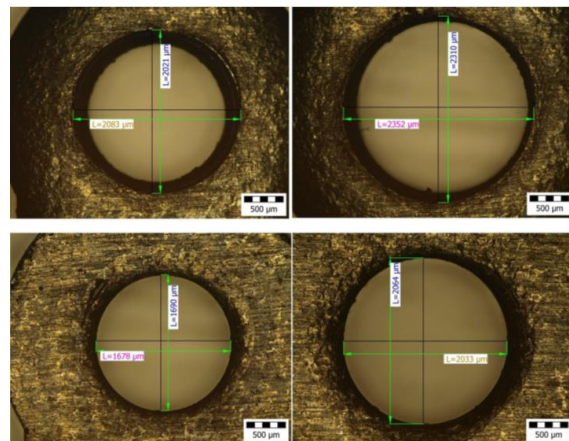


Figure 6. Dimensions of holes on samples (punch, die) after 2000 strokes

When looking at the smaller hole from the side of the punch, a certain intermediate ring is visible. The punch penetrated the material as if in two phases and not at once. In the case of a larger hole, it is possible to observe the drawing of material into the cutting area, which manifests itself as a rounding of the circumference of the hole.

Figure 7 shows a blank, which was removed after 3,000 strokes of the machine.

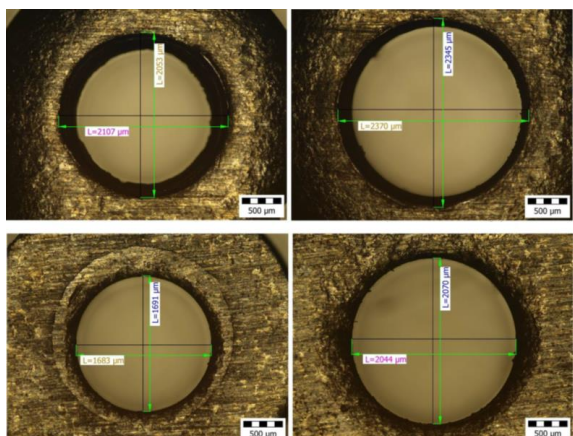


Figure 7. Dimensions of holes on samples (punch, die) after 3000 strokes

In the case of a cut-out after 3,000 strokes of the machine, a considerable rounding of the perimeter of the holes is again apparent. An increased number of burrs can be seen in this sample. When viewed from the punch side, a smaller hole also shows a deteriorated cutting surface in the form of peeling material. From the point of view of the die, there is again a significant indent.

Figure 8 shows a blank, which was removed after 4,000 strokes of the machine.

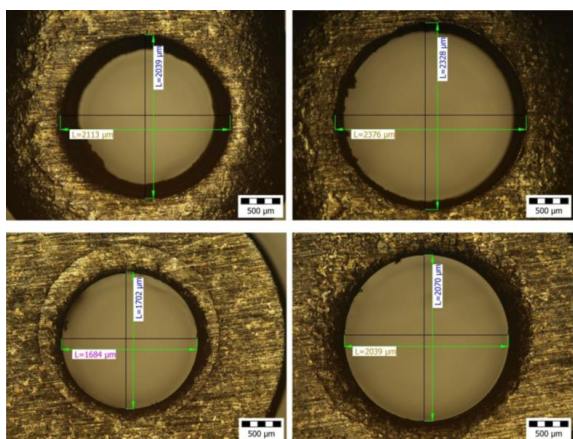


Figure 8. Dimensions of holes on samples (punch, die) after 4000 strokes

In figure 8 it is again possible to see a considerable indent of the cut-out at a smaller hole from the underside of the cut-out. The taper and roundness of the edges of the holes are again observed from the punch side.

Figure 9 shows a blank, which was removed after 5,000 strokes of the machine.

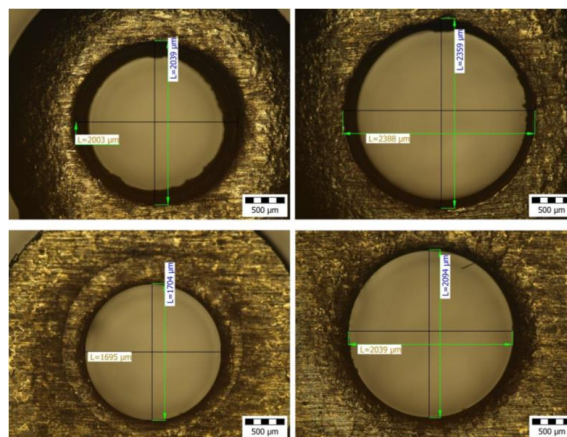


Figure 9. Dimensions of holes on samples (punch, die) after 5000 strokes

Figure 9 on the right shows a reduced incidence of burrs. The smaller hole is unchanged. The cutting surface, when viewed from the punch's side, shows again a certain irregularity. Seen from the side of the die, the die is re-pressed into the material around the circumference of the smaller hole.

Figure 10 shows a blank, which was removed after 7,000 strokes of the machine.

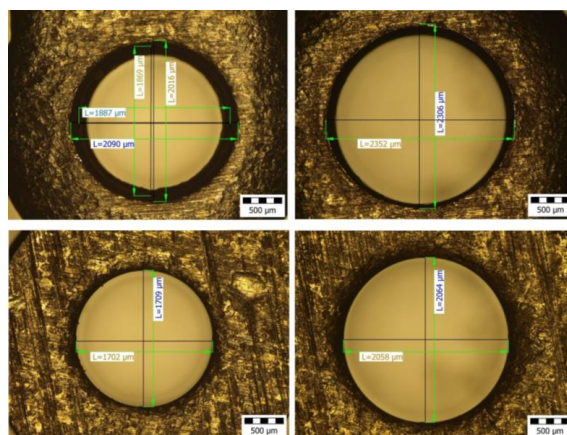


Figure 10. Dimensions of holes on samples (punch, die) after 7000 strokes

The smaller hole on the punch side is measured twice due to the conicity. One dimension represents the outer edge of the hole and the other dimension represents the inner dimension. The edges of the holes are retracted into the cutting area.

The cutting process was stopped due to the formation of many burrs, which prevented the smooth course of cutting. After stopping the machine, the cutting tool was disassembled. Significant wear was found on a die.

4 EVALUATION OF THE OBTAINED RESULTS

Graphs were prepared to visualize the obtained dimension values. The dependence of the dimensions of the holes on the number of strokes can be seen in the following figures (Fig. 11 and Fig. 12).

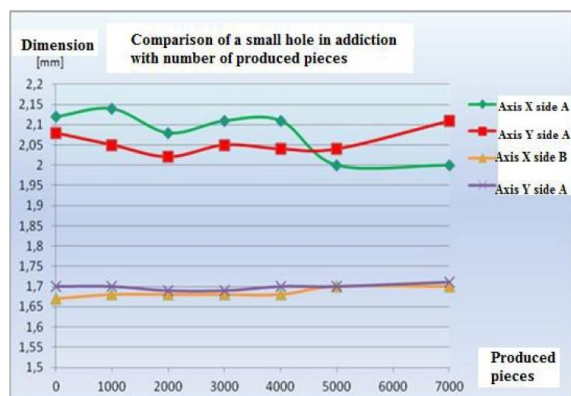


Figure 11. Comparison of a small hole in addition with number of produced pieces

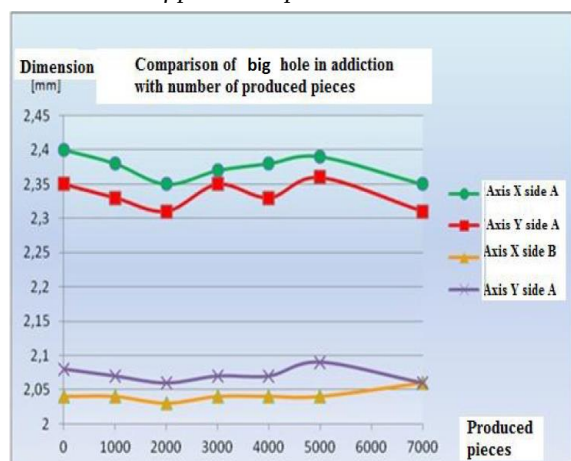


Figure 12. Comparison of big hole in addition with number of produced pieces

We can see from the graphs that there is no fundamental change in the dimensions of the holes depending on the wear of the coated punches.

The changes that have been observed are due to other factors that have influenced the cutting process, such as incorrect tool clamping and poor punches guidance. The largest share in the differences arising from the measurement of the dimensions of the holes and the poor quality of the cut is due to the wear of a die, which was obvious already in the first pieces. Thus, the wear of TiCN-coated punches has not been proven.

CONCLUSION

The cut-out was chosen based on the current problems with cutting two holes, where an exact dimensional tolerance and a good quality (smooth) cutting surface throughout the whole production process is required. To increase the tool life, the coating of the punches with TiCN coating was chosen.

The punch was made of a material designed by Böhler. Heat treatment and coating of punches was done in specialized operations of Böhler in Slovakia and the Czech Republic. The experimental tool was designed and manufactured in the company SEZ Krompachy. To determine the wear of the punches, the method of measuring diameters of the functional holes of the part at the first pieces, after 1000, 2000, 3000, 4000, 5000 and 7000 strokes was chosen. The results were measured using an Olympus microscope.

The following conclusions are based on the measured results. Even the holes on the first produced pieces of blanks showed a deviation of roundness and certain conicity, which is the result of manufacturing inaccuracies of the tool. The other measured results of the diameters of the large and small holes of the cut parts, which are shown in the graphs, do not show any changes with the number of strokes.

The cutting process was interrupted due to errors in the feeding of the sheet metal strip, especially by burrs on the strip from the side of a die, which already after 7000 strokes showed wear of the die edges and die had to be reground. In order to verify the service life of the coated functional parts of the cutting tool, it would be necessary to make a die of this cutting tool from the same material and the same heat treatment as the punches were made.

Acknowledgment

This paper was written with the financial support of the granting agency APVV within the project solution APVV-17-0381, within the project solution ITMS 313011T594 and of the granting agency VEGA within the project solution VEGA 1/0384/20.

References

- [1] Wallbank, J., Development in tool materials, Proceedings of the Second International

- Conference on Behaviour of Materials in Machining, York, UK, November 14-15, 1991.
- [2] Smith, G. T., Advanced Machining: The Handbook of Cutting Technology, IFS Publications, 1989.
- [3] Bouzakis, K. D., Michailidis, N., Vidakis, N., Eftathiou, K., Kompogiannis, S., Erkens, G., Interpretation of PVD Coated Inserts Wear Phenomena in Turning, Annals of the CIRP 49 (2000) 65-68.
- [4] Lux, B., Columbier, C., Atena, H., Stenberg, K., Preparation of Alumina Coatings by Chemical Vapor Deposition, Thin Solid Films 138 (1986) 49-64.
- [5] Prengel, H. G., Pfouts, W. R., Santhanam, A. T., State of the art in hard coatings for carbide cutting tools, Surface & Coatings Technology 102 (1998) 183-190.
- [6] Jankura D., Draganovská D., MORFOLOGICKÉ CHARAKTERISTIKY TENKÝCH POVLAKOV APLIKOVANÝCH NA NÁSTROJOVÝCH OCELIACH, Transfer inovácií 27/2013 68 – 71.

Correspondence address:

Ing. Vladimír Rohaľ
Technical University of Košice
Faculty of Mechanical Engineering
Institute of Technology and Material Engineering
Mäsiarska 74, Košice, Slovakia
Tel.: +421556023519
Email: vladimir.rohal@tuke.sk

USE OF LASER TECHNOLOGIES IN SHEET METAL WELDING FOR THE AUTOMOTIVE INDUSTRY

Henrich Sailer, Janette Brezinová,

Technical university in Kosice, Faculty of mechanical engineering, Department of Technology, Materials and Computer Aided Manufacturing, Slovakia, henrich.sailer@tuke.sk, janette.brezinova@tuke.sk

Abstract:

Implementation of lightweight low-ductility materials such as ultra-high strength steels, has become urgently needed for automotive manufacturers to improve the competitiveness of their products. Automotive industry is focusing on lightweight and high strength materials. The aim of the research was to evaluate the influence of the parameters of steel laser welding on the qualitative indicators of butt welds. A tensile test and yield strength test were performed on selected samples, where the strength of welded joints was determined.

Key words:

Laser; Welding; Dual phase Steel, Heat treatment, Transformation-induced plasticity steel,

INTRODUCTION

Laser welding technology is used in various sectors. Thermal cycle at Laser welding is usually faster than they involve conventional arc technologies lead to small weld widths and heat affected zones. The use of laser technology began in 20th century. In many studies, their first results were not satisfactory. The first generation of CO₂ lasers has succeeded basic material in jobs only to be heated, however, do not melt. In 1971 it was for the first time the "keyhole" (KD) effect achieved. Nowadays, there are laser technologies widely used in combination with modern computer technology. Mainly in areas mechanical engineering, energy, electrical engineering, medicine and the army. In mechanical engineering, they record laser technologies in conjunction with robotization enabling 5 dimensional movement the greatest development mainly in the automotive industry, they are most often used for engraving, heat treatment of materials (hardening), cutting and especially welding. Nowadays car manufacturers such as Audi, Mercedes, BMW, Volvo, Volkswagen, and Skoda use laser technology for reasons of increase: productivity, product quality and competitiveness [1]. Weight reduction of automobiles is one of the effective measures for decreasing gas consumption and minimizing environmental pollution on the premise that safety provisions are guaranteed. It was estimated that 10% of weight reduction

generally may bring about 5% less of gas consumption [2]. Therefore, these years light metal materials such as Al alloys and Mg alloys have been increasingly used in automobile industry. But the high cost of manufacturing all light metal car body has greatly limited the usage expansion. During the past years, ultra-high strength steels (UHSS) such as transformation induced plasticity (TRIP) steels and dual phase (DP) steels were increasingly applied in automobile industry due to their good combination of high strength and formability. The excellent mechanical properties of TRIP steel mainly contribute to the ferrite matrix, for ductility, bainite, for strength, and retained austenite, for uniform elongation produced by martensite transformation from austenite when subjected to external tensile stress [3-6]. Paper presents the results of research into two grades of steel that are currently used in the production of body parts of middle class passenger cars.

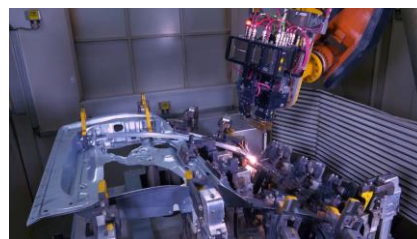


Figure 1. Remote laser welding of doors in series production of a major car manufacturer

1 MATERIALS AND METHODS

Within the experiment, selected types of steels that are used in the production of bodies and their components in the automotive industry were evaluated. Samples made of double-sided galvanized sheet steel HSLA 0.81 mm thick were marked as A. Samples marked B were made of double-sided hot-dip galvanized steel sheet DP 600 with a thickness of 0.8 mm. The chemical composition of the steels used and their mechanical properties are presented in Tables 1. and Table 2.

Table 1. Chemical composition of welded steel sheets (wt.%)

A HSLA	C	Mn	Si	P	S	Al	Cu	Cr
	0.005	0.409	0.128	0.037	<0.002	0.034	0.015	0.031
	Mo	Ni	V	Ti	Nb	Co	W	Fe
	0.008	0.006	0.006	0.033	0.035	0.021	0.038	Res.
B DP600	C	Mn	Si	P	S	Al	Cu	Cr
	0.111	1.963	0.279	0.026	<0.002	0.031	0.019	0.206
	Mo	Ni	V	Ti	Nb	Co	W	Fe
	<0.002	<0.002	0.012	<0.002	0.020	0.017	0.005	Res.

Table 2. Mechanical properties of the evaluated sheets specified by the manufacturer

Steel	Yield strength [MPa]	Limit of strength [MPa]	Elongatio n A ₅ [%]
A - HSLA	240 - 330	340 - 450	32
B - DP600	300 - 470	580 - 670	26

Welding

Laser welding was performed using a CO₂ laser AF8P with a max. with an output of 8 kW and a wavelength of 10.6 μm . Before welding, the edges of the sheets were adjusted after cutting on a CNC milling machine. The samples were welded along the entire width of the sheets (800 mm) in the PA position in accordance with STN EN ISO 6947 without a gap between the sheets [7].

Welding parameters used:

- power - $P = 1700 \text{ W}$,
- laser mode - TEM 10 - Gauss,
- shielding gas Ar 4.8, flow rate 20 l/min,
- welding speed 2.0 m/min,
- beam focusing - on the surface of the sheet $f = 0 \text{ mm}$,
- wavelength $\lambda = 10,6 \mu\text{m}$.

Used methods for evaluating the quality of welded joints

The quality of laser welded joints was assessed using:

- visual inspection of welds in accordance with ISO 17637,
- tensile tests of a welded joint in the transverse direction according to EN ISO 4136,
- evaluation of microhardness of welded joints on transverse metallographic cuts according to Vickers in accordance with EN ISO 9015-2 at applied load of 981.0 Nm^{-1} . The microhardness values were evaluated in the base material, the heat-affected zone and in the weld metal.
- macroscopic and microscopic analysis using an Olympus BXM light microscope was performed on metallographic sections according to EN ISO 17639. NITAL etchant (2% HNO_3 solution) was used for visualization of macro and microstructures [7].

2 RESULTS

Analysis of the quality of welded joints by visual inspection did not show the presence of external surface defects such as pores, cracks or. overflowed root, but the difference in thicknesses between the base material and the joint was recorded, which is documented on the macrostructures. Based on the results of destructive tests for individual evaluation methods, which are presented in the summary Table 3, it can be stated that the maximum load-bearing values were shown by samples B, where the following average values YS (Yield strength) is 372 MPa and UTS (Ultimate tensile strength) is 620 MPa were measured, which is consistent with the values declared by the manufacturer. The lowest values of bearing capacity of welded joints were measured in samples A, where the average value YS is 319 MPa and the value UTS is 422 MPa were measured. During the uniaxial tensile test of samples with transverse laser welding, all evaluated samples were destroyed in the base material.

Table 3. Average values of tensile properties of experimental steel

Sample	Yield strength [MPa]	Ultimate tensile strength [MPa]	Destruction
A HSLA	319	422	Basic material
B DP600	372	620	Basic material

Macroscopic analysis of metallographic sections confirmed the results of visual inspection of welded joints. The surface of the weld metal made by the laser had a distinctive drawing with a well-readable welding direction. The structural analysis was performed by light microscopy on cross sections. The macrostructure of the welded joint of sample A after etching is documented in Figure 2. In the etched state, the width of the weld metal and the width of the heat-affected zones, are well legible. The microstructure of the base material is fine-grained with an average grain size of G7 EN ISO 643, consisting of polyhedral ferrite and perlite in a volume of max. 10%.

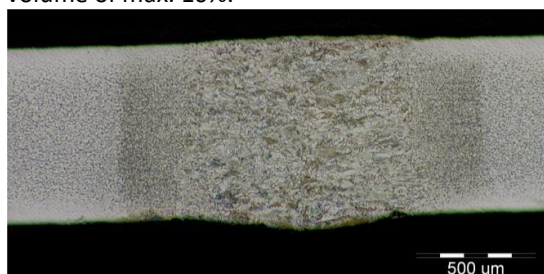


Figure 2. Macrostructure of sample A welded joint (HSLA)

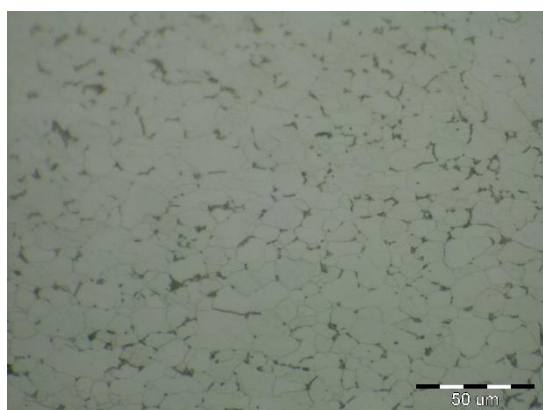


Figure 3. Basic material microstructure - ferritic-pearlitic

The macrostructure of the welded joint made by the laser of sample B is documented in Figure 3. Only a slight cant at the weld is recorded on the macrostructure. The structure of the base material

of DP 600 steel (Figure 5.) is formed by a ferritic matrix in which martensite is dispersed in a volume of approx. 15%. The average grain size of the ferritic matrix was G7 EN ISO 643.

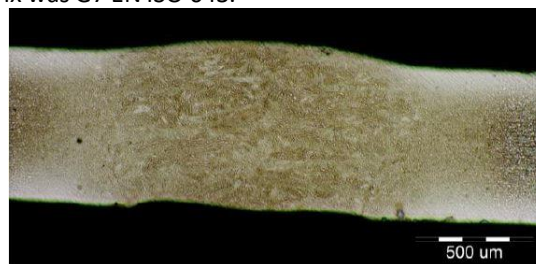


Figure 4. Macrostructure of the welded joint of sample B

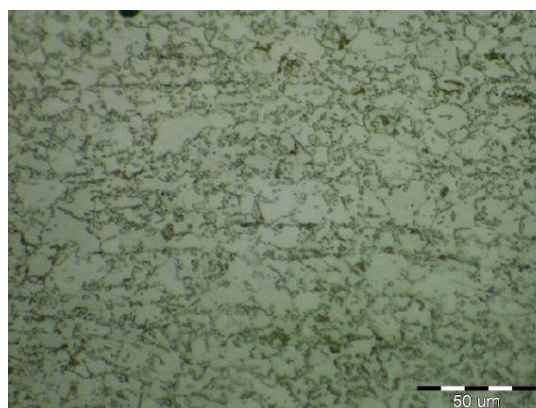


Figure 5. Two-phase microstructure of DP 600 base material

CONCLUSION

In addition to the experiments, welded joints made by laser welding on two grades of steel sheets were evaluated. HSLA and DP600 steel sheets were of high quality due to their chemical composition and two-component structures. However, the issue of weldability of body sheets, especially ones with high strength, needs to be given increased attention. Multiphase weld metal structures have significant specifics during metallurgical solidification processes. Incorrect welding parameters lead to frequent errors and economic losses. This means the welding process has a detrimental influence on the steels' formability behavior. Studies show [8-10] the fusion zone has a lower decrease (45.1%) than that of the Si-alloyed steel (62.9%) at the quasi-static strain rate. The decrease is also similar for the dynamic tensile tests, although strain rate-induced increases in strength lead to higher strength-ductility balances. Al-alloyed steel fusion zone shows a multiphase microstructure, containing skeletal ferrite,

The application of laser welding as well as laser soldering in car production has an increasing tendency. Developments in the construction of laser

welders, reducing the economic complexity of this welding process and high quality welded joints are the main advantages for applications in automotive production. On the other hand, these progressive, high-speed welding methods require thorough parameter optimization, especially for difficult-to-weld materials. It is necessary to apply precise preparations that guarantee the correct position of narrow welds, which is a common problem in practice. Laser welding is a suitable way of welding body sheets of various material combinations such as: DP and TRIP, BH (Bake Hardening) and DP, IF (Interstitial Free) and TRIP, etc. These mutual combinations of steel grades are increasingly used in the production of body parts in order to increase the passive safety of the crew and reduce the weight of cars.

Acknowledgment

This contribution is the result of the project implementation: „The utilization of innovative technology for repair functional surfaces of mold casting dies for castings in automotive industry“ (APVV-16-0359) supported by the Slovak Research and Development Agency; Scientific Grant Agency „Application of progressive technologies in restoration of functional surfaces of products“ (1/0497/20) and Cultural and educational Grant Agency „Modernization of teaching in the field of technologies for joining construction materials“ (001STU-4/2019).

References

- [1] Viňáš, J. Quality evaluation of laser welded sheets for cars body. In Mat/tech – Automotive industry, Košice, Slovakia, 25 November 2005; pp. 119–124.
- [2] Yin, H.X., et al. Influence of original microstructure on the transformation behavior and mechanical properties of ultra-high-strength TRIP-aided steel. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials* **2015**, 22, 262–272, doi: 10.1007/s12613-015-1070-6.
- [3] Wang, W.Q.; Dong, S. Ch.; Jiang, F.; Cao, M. Effects of Ar and He on Microstructures and Properties of Laser Welded 800MPa TRIP Steel. In International Conference on Materials Applications and Engineering (ICMAE) Location: Qingdao, PEOPLES R CHINA, 25-27 August 2017; pp. 1–6, doi: 10.1051/mateconf/201814203004.
- [4] Viňáš, J.; Ábel, M. Analysis of Laser Welds on Automotive Steel Sheets. *Materials Science Forum* **2015**, 818, 239–242, doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MF.818.239>.
- [5] Viňáš, J.; Brezinová, J.; Brezina, J.; Investigation of joining zinc-coated steel sheets by laser welding for automotive industry. In *Fundamental and applied problems of modern technologies*. Eds. Ternopil: Ivan Puluj National Technical University, Ukraine, 2018; pp.33–34, ISBN 978-966-305-093-5.
- [6] Grajcar, A.; Róžaňski, M.; Stano, S.; Kowalski, A.; Microstructure Characterization of Laser-Welded Nb-Microalloyed Silicon-Aluminum TRIP Steel. *Journal Of Materials Engineering And Performance* **2014**, 23, No. 9, 3400–3406, doi: 10.1007/s11665-014-1118-1.
- [7] Spišák, E.; Kaščák, L'; Viňáš, J. Research into properties of joints of combined materials made by resistance spot welding. *Chemicke listy* **2011**, 105, 488–490.
- [8] Sahul, M.; Turňa, M.; Šugárová, J.; Sahul, M. Influence of laser welding aluminium alloy on mechanical properties of welded joints. *Manufacturing technology* **2013**, 13, No. 4, 526–530.
- [9] Vontorová, J.; Mohyla, P.; Ševčíková, X. Influence of CMT and MIG Soldering on Zinc Layer Thickness. In *METAL 2012 - Conference Proceedings, 21st International Conference on Metallurgy and Materials* Brno, Czech Republic, 23-25 May 2012, pp. 1106–1112, ISBN 978-808729431-4.
- [10] Xia, M.; Tian, Z.; Zhao, L.; Zhou, Y. N. Metallurgical and Mechanical Properties of Fusion Zones of TRIP Steels in Laser Welding. *ISIJ International* 2008, 48, No. 4, 483–488

Correspondence address:

Ing. Henrich Sailer
 Technical university of Kosice
 Faculty of mechanical engineering
 Department of Technology, Materials and
 Computer Aided Manufacturing
 Mäsiarska 74 Kosice 04001
 Tel.: +421 055/602 3502
 Email: henrich.sailer@tuke.sk

DYNAMIC ANALYSIS OF THE SENSOR MOUNTING BRACKET IN RAILWAY APPLICATIONS

Barbara SCHÜRGER, Sára JANIGOVÁ, Peter FRANKOVSKÝ

Technical University of Košice, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Structural Design and Mechanism,
Department of Applied Mechanics and Mechanical Engineering, Letná 9, 042 00 Košice, Slovak Republic
barbara.schurger@tuke.sk, sara.janigova@tuke.sk

Abstract:

The aim of this paper is a dynamic analysis of the mounting bracket with sensor applied on railway stock. All the necessary tests to perform this analysis are in accordance with the standard EN 61373: 2010 or the standard STN EN 61373: 2011. In the next part, a simulation of the tests required for the dynamic analysis of the modeled assembly is performed. For each analysis, von Mises stress is evaluated and then compared to the yield strength of used material. Finally, this work provides a proposal for new design solutions for the mounting bracket based on the results. The finite element method analysis is performed in ANSYS Workbench.

Key words:

Mounting bracket, Dynamic analysis, FEM, Railway application

INTRODUCTION

The rising standard of living increasing demands on the creation of optimal product design regarding the amount of time, money and material used. With the help of computer software, we can combine knowledge from several scientific disciplines, and thus create methods of solution and analysis in order to create the most optimal design solution. Such solutions are particularly important in the areas of dynamic stress, to which the components on rolling stock are exposed as a result of their operation on railways. The force effect of dynamic loading varies in both magnitude and direction, and the nature of these changes affects how reliably the component will operate until the end of its expected life.

The aim of this paper was a dynamic analysis of the bracket for mounting the OsiSense XS inductive proximity sensor from Telemecanique Sensors. This line of sensors provides functional and easy-to-install sensors that help to create much safer operation of the rolling stock.

1 RAILWAY APPLICATION

The sensors (Fig. 1) with their mounting brackets applied to rolling stock are subjected to a deterministic harmonic load during operation as the railway wagon moves on smooth rails.

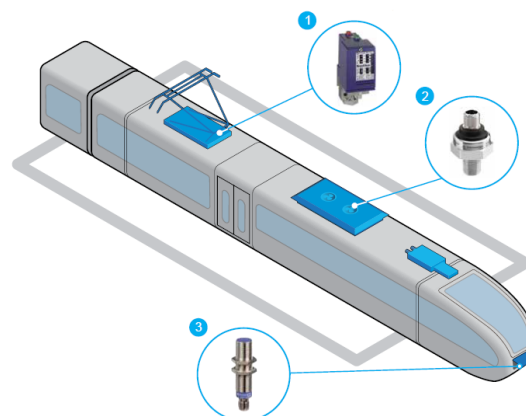


Figure 1. Types of sensor, used in railway applications

For this reason, these parts must be subjected to the tests defined in standard EN 61373: 2011. This International Standard specifies requirements for the testing of components for use on railway vehicles that are subsequently exposed to vibration and shock due to the operating environment of the railway. To ensure that the quality of the element is acceptable, it must withstand tests of a reasonably long time that simulate conditions throughout its expected life.

The test simulations were performed according to the procedures defined in the standard [2], specifically for two categories that were required in advance for console analysis:

- **Category 1, Class B:** equipment mounted on the body of the rolling stock,
- **Category 2:** equipment mounted on the bogie of a rolling stock.

Furthermore, it was necessary to define the individual excitation directions, namely:

- **Transverse direction:** in the X axis direction,
- **Longitudinal direction:** in the Y axis direction,
- **Vertical direction:** in the Z axis direction.

The aim of the research was to perform numerical simulations of random vibration tests and shock tests of a mounting bracket made of 3 different materials.

The basic model of the bracket is made of structural steel, while 2 other materials were designed during optimization, namely aluminum alloy 6061 (more expensive, but lighter than steel) and plastic Acrylonitrile-butadiene-styrene (more economical and lighter than steel). Material properties of used materials are defined in Tab. I.

TABLE I.
ENGINEERING DATA: MATERIAL PROPERTIES.

	<i>Structural Steel 13 240</i>	<i>Aluminum Alloy 6061</i>	<i>Plastic ABS</i>
Density (kg.m ⁻³)	7850	2770	1050
Young's Modulus (MPa)	2,1.10 ⁵	0,71.10 ⁵	0,024.10 ⁵
Poisson's Ratio (-)	0,3	0,33	0,4078
Tensile Yield Strength (MPa)	250	164,8	36,13
Tensile Ultimate Strength (MPa)	460	246,1	38,73

2 PROBLEM DEFINITION

The aim of the work was to perform numerical simulations of random vibration tests and impact tests, which are defined by the standard EN 61373: 2011 for equipment mounted on rail vehicles. In order to assess the quality of a component, it is necessary for the component to withstand, for a

reasonable period, tests simulating the operation of the vehicle over its expected service life [3].

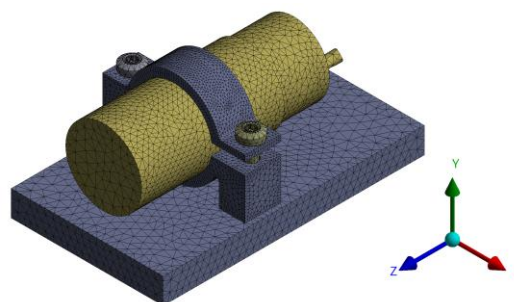


Figure 2. Analyzed assembly

In the ANSYS Workbench program, a model of the mounting bracket with a sensor OsiSense XS, fixing bolts M5x40 and a frame was built. Then the model was discretized by quadratic hexagonal finite elements (Fig. 2). Dimensions of the sensor and mounting bracket were given by the manufacturer.

3 STATIC ANALYSIS

After creating the finite element mesh, a static analysis was performed on the original structural steel. In the first step of the static analysis the fixed support and the bolt prestress was defined by calculating axial forces based on the formula [4]:

$$F = \frac{M}{k \cdot d} = \frac{2,68}{0,2 \cdot 5 \cdot 10^{-3}} = 2680 \text{ N.} \quad (1)$$

where M is maximum torque required to tighten the screw, k is torque coefficient and d is nominal diameter of the bolt thread.

In the next step, we analyzed the maximum deformations and stresses. The largest deformations occur at the outer face of the bolts, where they reach a value of 0.0034 mm (Fig. 3). The stress concentration occurs at the outer face of the bolts where they reach a value 157,9 MPa (Fig. 4).

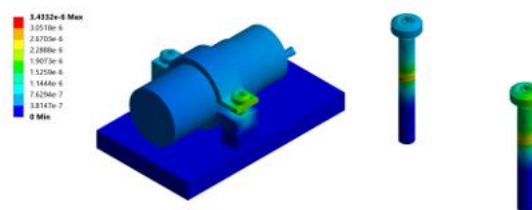


Figure 3. Field of displacements points of assembly

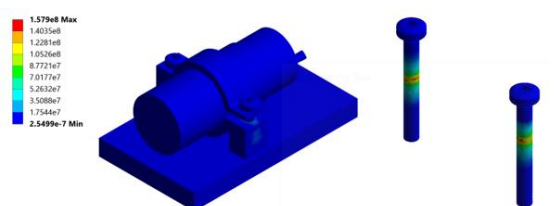


Figure 4. Von Mises stresses of assembly

Static analysis provided required data for further modal analysis [4].

4 MODAL ANALYSIS

This analysis is one of the most widely used types of dynamic analysis. According to the author [5], we can characterize it as a part of dynamics, which defines modal parameters and dynamic behavior of structures. If we assume the linear behavior of the material, then the basic equation of motion of the dynamic analysis will be in the form of a system of linear differential equations of the second order in the matrix form:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{F\}. \quad (2)$$

In the case of modal analysis, we neglect both external load and viscous damping, so we can write equation (2) in the form [14]:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [K]\{u\} = 0. \quad (3)$$

The results of the modal analysis in the form of mode shapes with the corresponding eigenfrequency for the original structural steel model are in Tab. II.

TABLE II.
RESULTS OF MODAL ANALYSIS.

	ω (Hz)	Mode shape		ω (Hz)	Mode shape
1.	1701		2.	3905	
3.	4520,7		4.	4820,4	
5.	6367		6.	7606,5	

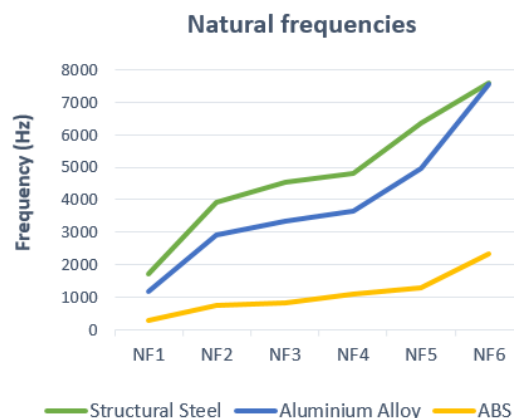


Figure 5. Eigenfrequencies of the assembly

Comparison of the eigenfrequencies results for all three applied materials are shown in Fig. 5.

The performed modal analysis determined the first six mode shapes with corresponding natural frequencies. These first six modes are enough to perform further analyzes as it provides input information for both the random vibration testing and the shock testing [5].

5 RANDOM VIBRATION TESTING

To simulate the tests, linear dynamic analysis was performed in a predefined frequency range [2].

This range was used to obtain vibration responses caused by random vibration excitation. This excitation was defined by accelerated power spectral density (ASD) curves with the prescribed frequency range and root mean square spectrum values given in the standard [2].

All values used in excitation process with the corresponding course of the graph are shown in the Fig. 6

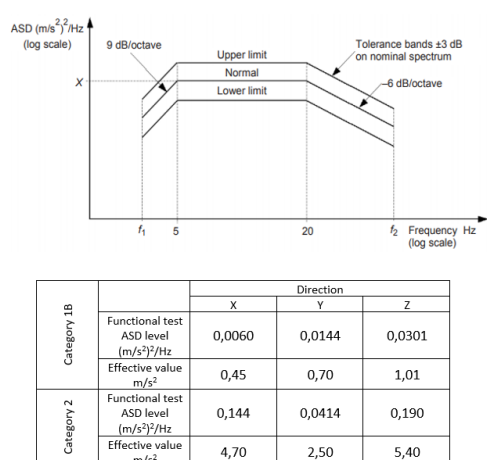


Figure 6. Parameters of random vibration testing [2]

5.1 Results

The result of the random vibration tests for Category 1B (Tab. III) and Category 2 (Tab. IV) are the RMS von Mises fields with the specific values given in the tables.

The results are given for the X direction, the Y direction and the Z direction. The highest effective excitation value occurred in the vertical Z direction. This value is then also used for the transverse direction X and the longitudinal direction Y as an increased excitation level [2].

The comparison of the results of the maximum equivalent stress values for all three materials and for each direction are shown in Fig. 7 for Category 1B and in Fig. 8 for Category 2, evaluating the state where the value of maximum reduced stresses is greater than the yield strength of the material used. Such a condition is considered unsatisfactory because undesired deformations are expected.

TABLE III.
RANDOM VIBRATION TESTING: RESULTS FOR CATEGORY 1B.

Direction	Structural Steel 13 240	Aluminum Alloy 6061	Plastic ABS
X_norm. (MPa)	0.0053682	0.0052499	0.034317
X_incr. (MPa)	0.009758	0.0061394	0.051746
Y_norm. (MPa)	0.0095404	0.0095111	0.025356
Y_incr. (MPa)	0.015117	0.013135	0.080164
Z_norm. (MPa)	0.021856	0.018751	0.1159

TABLE IV.
RANDOM VIBRATION TESTING: RESULTS FOR CATEGORY 2.

Direction	Structural Steel 13 240	Aluminum Alloy 6061	Plastic ABS
X_norm. (MPa)	0.055436	0.054317	0.35735
X_incr. (MPa)	0.10098	0.063717	0.58978
Y_norm. (MPa)	0.034331	0.034	0.090949
Y_incr. (MPa)	0.053884	0.046807	0.31477
Z_norm. (MPa)	0.11617	0.073302	0.67856

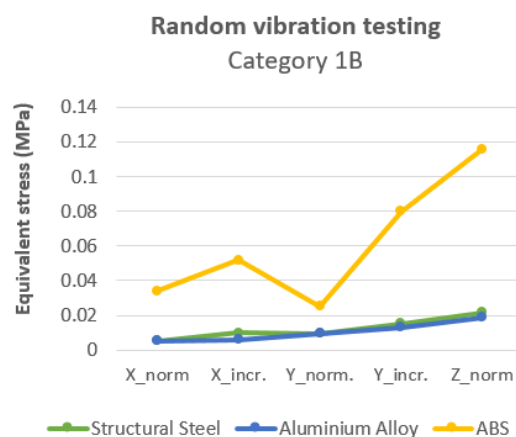


Figure 7. Random vibration testing: Comparison of the results for Category 1B

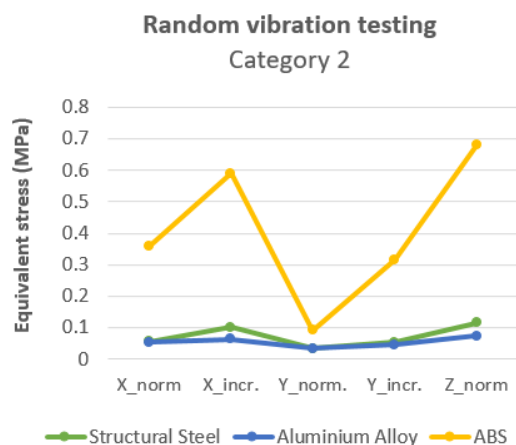


Figure 8. Random vibration testing: Comparison of the results for Category 2

It is clear from the results that the yield strength was not exceeded in any direction of stress for individual materials, so we can say that the item under test conformed with the performance tests after the vibration testing identified in standard [2].

6 SHOCK TESTING

To simulate the tests, linear dynamic calculations were performed in a predefined time domain, which were used to obtain vibration responses during shock excitation. This excitation was defined by acceleration time courses using three positive and three negative pulses and the time required for the responses to subside. It was also necessary to define the amplitude and width of the pulses (Fig. 9).

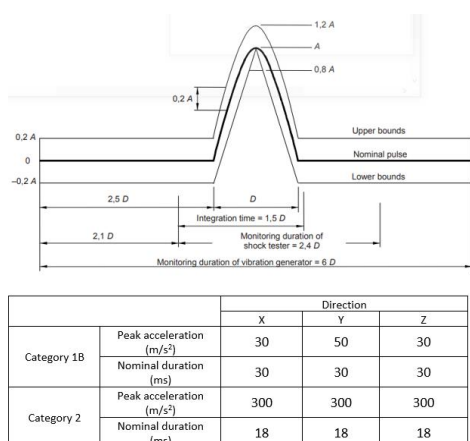


Figure 9. Parameters of shock testing [2]

6.1 Results

The result of the shock tests for Category 1B (Tab. V) and Category 2 (Tab. VI). are the RMS von Mises fields with the specific values given in the tables.

TABLE V.
SHOCK TESTING: RESULTS FOR CATEGORY 1B.

Direction	Structural Steel 13 240	Alluminium Alloy 6061	Plastic ABS
X_norm. (MPa)	0.00050671	0.00067674	0.020885
X_incr. (MPa)	0.00084452	0.0011279	0.034808
Y_norm. (MPa)	0.0011277	0.0014311	0.086949
Z_norm. (MPa)	0.0036982	0.003909	0.19823
Z_incr. (MPa)	0.0061636	0.006515	0.33038

TABLE VI.
SHOCK TESTING: RESULTS FOR CATEGORY 2.

Direction	Structural Steel 13 240	Alluminium Alloy 6061	Plastic ABS
X_norm. (MPa)	0.0064913	0.00883	0.68591
Y_norm. (MPa)	0.010594	0.019368	0.4245
Z_norm. (MPa)	0.060216	0.10024	2.6137

The results are given for the X direction, the Y direction and the Z direction, with the highest excitation effective value occurring in category 1B in the longitudinal direction Y. This value is then also used for the transverse direction X and the vertical direction Z as an increased excitation level. For category 2, the effective excitation values are the same in all directions [2].

The results of the maximum reduced stress values for all three materials and for each direction are shown in Fig. 10 for Category 1B and in Fig. 11 for Category 2, evaluating the state where the value of maximum equivalent stresses is greater than the yield strength of the material used. Such a condition is considered unsatisfactory because undesired plastic deformations are expected.

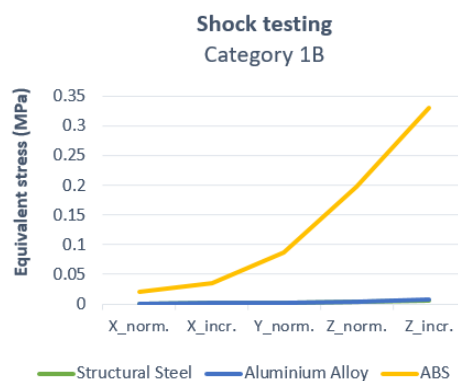


Figure 10. Shock testing: Comparison of the results for Category 1B

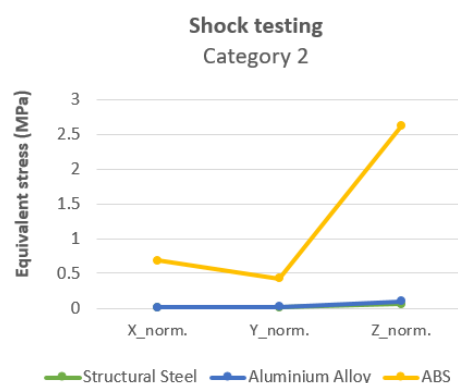


Figure 11. Shock testing: Comparison of the results for Category 2

It is clear from the results that the yield strength was not exceeded in any direction of stress for individual materials, so we can say that the item under test conformed with the performance tests after the vibration testing identified in standard [2].

RESULTS AND CONCLUSION

The topic of this article was the dynamic analysis of the sensor OsiSense XS mounting bracket in accordance with the standard EN 61373: 2010.

The aim of the analysis was to assess the suitability of the bracket design. In developing this issue, theoretical knowledge about the finite element method and the subsequent use of the optimization process to improve the final design of the solution were used.

By evaluating the results of the maximum reduced stresses obtained in the random vibration tests as well as in the shock tests, it is obvious that neither material has reached its yield strength. Therefore, all three material designs meet the standard. However, in terms of weight and economic aspect, the best design is the mounting bracket model made of ABS Plastic, which, despite its low specific weight, is an extremely durable material and therefore met all testing parameters.

Acknowledgment

This research was funded by Ministry of Education of Slovakia Foundation, grant project VEGA no. 1/0290/18.

References

- [1] BATHE, K.-J. Finite Element Procedures in Engineering Analysis. New Jersey: Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, 1982.
- [2] BS EN 61373:2010. Railway applications — Rolling stock equipment — Shock and vibration tests. The British Standards Institute, 2010.
- [3] DAHALE, P. and PAWAR, P. Assessment of boundary conditions for FEA of mounting bracket using co-relation with experimental results. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2222147853183052>. 2018. ISSN 2214-7853.
- [4] KIRTHANA, S. and NIZAMUDIN, N. Finite element method analysis and topology optimization of engine mounting bracket. 2018. ISSN 2214-7853. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785318314093>
- [5] KRISHNA, G., TARAK, D. and BURMAN, R. Numerical and experimental comparative study of Aluminum and hybrid mounting interfaces of launch vehicle avionics for weight reduction. India: Advanced Systems Laboratory, Kanchan Bagh, Hyderabad, 2019.
- [6] LIU, G.R. and QUEK, S.S. Finite Element Method: A Practical Course. Butterworth-Heinemann, 2003. ISBN 978-0-7506-5866-9.
- [7] LIANG, J. A user-defined element for dynamic analysis of saturated porous media in ABAQUS. Computers and Geotechnics. 2020 (Volume 128) Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0266352X20302561>
- [8] SERHAT, G. and BEDIZ, B. Dynamic analysis of doubly curved composite panels using lamination parameters and spectral-Chebyshev method. Mechanical Structures. 2020 (Volume 126) Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045794920300973>
- [9] RAHNAVARD, R. and NAPOLITANO, R. Static and dynamic stability analysis of a steel-rubber isolator with rubber cores. Computers & Structures [online]. 2020 (Volume 26), 441-455. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352012420302034>
- [10] HU, Y. and WANG, X. Dynamic analysis of offshore steel wind turbine towers subjected to wind, wave and current loading during construction. Ocean Engineering. 2020 (Volume 216), Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0029801820310258>

Correspondence address:

Ing. Barbara Schürger
 Technical University in Košice
 Faculty of Mechanical Engineering
 Department of Applied Mechanics and Mechanical Engineering
 Letná 9, 042 00 Košice, Slovakia
 Tel.: +421910116236
 Email: barbara.schurger@tuke.sk

DESIGN OF CHIMNEY/IN-PIPE ROBOT

Peter Ján Sinčák, Michal Kelemen, Ivan Virgala, Filip Filakovský

Technical University of Košice, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechatronics, Slovak Republic
peter.jan.sincak@tuke.sk, michal.kelemen@tuke.sk, ivan.virgala@tuke.sk, filip.filakovsky@tuke.sk

Abstract:

The goal of this paper is to bring an automation element into this the chimney sweeping process and make the job easier for the chimney sweeper. In this paper an essentially in-pipe robot is presented, that is using brushes to move and at the same time clean the chimney or pipeline. An approach of using the pneumatic actuator for the locomotion was presented along with the mechanical design. In the last part of this paper, the data from the simulation model was compared to the real robot's data that were similar to the simulation, which confirms the simulation.

Key words:

In-pipe robot, simulation, brushes, pneumatic actuator

INTRODUCTION

The increasing trend of automation and introduction of robotic systems into various professions is on its way across all fields. One of the professions that have not changed, since its very beginning, is the chimney cleaning profession. The process of chimney sweeping is essentially the same since the 18th century. Nowadays, the main problem of the chimney cleaning process is the safety of the chimney cleaner and that it is a physically demanding process. This knowledge led to the idea of designing the system for locomotion inside of the chimney as well as cleaning the chimney and therefore improving the whole process. To start off, the problem was generalized into an in-pipe robotic system, due to the similarities of the environments that the robot is going to move in.

1. RELATED WORKS

The problem of robots that can move inside of a chimney is very similar to the problem of the in-pipe robots. Throughout the years, there have been many different approaches to the design of these kinds of robots.

One of the notable one's is the robot AIRO-II, which was presented in [5]. Its unique design consists of four units that are connected by spring joints and five sets of wheels, of which two are hemispherical and not actuated and three are so-called Omni-directional wheels. Because of the spring joints, the

whole robot is in the zigzag shape, which pushes the wheels against the walls of the pipeline and allows the robot to move horizontally and vertically. AIRO was designed to be used in the dust, gas, and water-filled environment. The robot is also equipped with various sensors and cameras that are used for the inspection of the pipeline.

Another novel approach was introduced in the paper [7]. In this paper, the authors proposed a micro-robotic system actuated by the electromagnetic actuator. The system consists of the main body, head, and fins or legs. The novel approach of this system relies on its unique tubular linear permanent magnet actuator. In this actuator, the permanent magnets are in the centre, moving in one axis back and forth according to the applied voltage that is being supplied into the coil that is static and is around the permanent magnets. The coil is not moving and is positioned on the stator. The principle of the movement is based on the contraction of the bellows seal, that is contracting as the actuator is moving and therefore moving the robot in the desired direction.

In the paper [1] a device without external moving parts was introduced. The proposed robot is based on a capsule robot with the actuator placed inside of a capsule. The actuator is based on a controlled motion of a mass inside the capsule and their collision.

A similar type of robot was also analyzed in the paper [2]. In this paper authors focused on the small bristled robot where they analyzed its movement. The actuation of this robot was based on the

vibration and its frequency. The authors created a model, where they analyzed the frequencies of these vibrations that actuated the robot and where able to determine at which frequencies the robot switches the direction of the movement.

The bristle type of robot is also analyzed in the [3]. In this paper, a miniature bristle robot is introduced. The actuation of this robot is based on the inertial stepping principle. The actuator consists of a permanent magnet, electromagnet and a spring. The locomotion is divided into three phases. The permanent magnet is repelled from the electromagnet and compresses the bottom spring, after this phase, the permanent magnet is pushed back, collides with the drive body, and creates the energy necessary for the movement that is greater than the frictional force between the bristles and walls of the pipeline, thus the movement of the robot is happening.

In-pipe inspection robot was also presented in paper [8]. Here the authors presented the robot for visual and Non-destructive testing of the pipeline networks, based on the pneumatic actuator. The robot structure consists of a pneumatic actuator, elastic elements to hold the robot in the pipeline and damper. Since the pneumatic actuator is being actuated with the compressed air it is causing the vibration of the robot as it is being stopped by the damper. These vibrations are causing the robot's movement in the pipeline.

Another approach of an in-pipe robot that is using compressed air was introduced in the [6][6]. As described in [6], there are several general types of in-pipe robots. In [6], the introduced robot is sourcing from both inchworm and wall press type of robot. The robot consists of two clamping devices, one on top and one on the bottom and a pneumatic cylinder in between them. When the clamping devices are being actuated, they are being pushed against the walls of the pipeline and hold the robot in place. The pneumatic valve using the inchworm principle arranges the translation movement of the robot inside of the pipeline.

These above-mentioned papers led to the idea of this paper. In this paper, the focus is on the essentially in-pipe robot, whose main objective is to clean the chimney. Since the cross-section of the chimney is circular, the problems that in-pipe robots are facing are fairly similar. Due to the soot in the chimney, the idea of wheels or tracks was quickly abandoned. Seeing successful prototypes using fins or bristles in [3] and [7], led to the idea of using chimney brushes instead. The brushes allow the robot to move and clean at the same time. By simply changing the size of the brushes, the robot can possibly adapt to a variety of the chimney diameters

and be modular. More in-depth analysis of the robot is presented in the following section.

2. PRINCIPLE OF THE MOVEMENT

The main principle of the locomotion of this robot relies on the inertial stepping principle. The main characteristics of this principle are based on the mass that is connected to a mechanical capacitor that pulls/pushes the mass. The mass subsequently collides with another mass or element that is connected to the body of the device. This collision, that is, in the desired direction of the device's movement, is the key moment in the locomotion of the device. At this moment, the required energy for the movement is translated into the device and the translation movement of the whole device is happening.

For the proposed robot, there were several configurations of the actuator proposed that can be seen in Fig. 1. In this figure, two possible configurations of the actuator were tested, to get the highest efficiency.

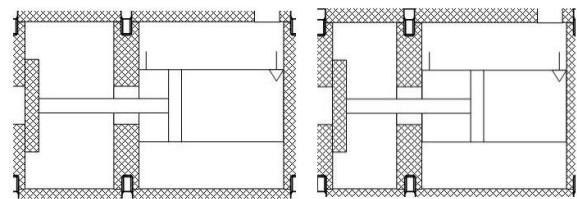


Figure 1 Possible configurations of the actuator

Both of the figures are using the same pneumatic actuator that is hitting the surface in front of it. The main difference is the distance between the surface in front of it and the mass that is mounted on the pneumatic actuator. In Fig. 1 on the left side, the pneumatic piston is in the full extension and the aforementioned surfaces are touching. In this configuration, there was not enough energy created and piston seemed to be constantly in the full extension instead of travelling back as it should. This led to the idea of decreasing the travelling distance of the pneumatic piston. By decreasing the distance, the energy created at the contact with the opposing surface was increased. This configuration is also seen in Fig. 1 on the right side.

2.1 Mechanical design

In the previous section, the main principle of the robot's movement was introduced. In perspective to the previous section, in this section, the overall design of the proposed robot will be introduced. The

basic structure of the robot consists of the actuator unit and the robot's body with brushes. The overall scheme of the robot can be seen in Fig. 2.

As seen in Fig. 2, at the top of the robot is a cap that could be made of plastic or aluminium, for the purpose of weight reduction, whose main job is to keep the robot straight during the movement. Since the service entrance of the chimney is often under the area where other appliances might be connected to the main chimney, the robot could derail and get stuck. Hence, the cap's job is to slide the brushes or the robot back to the mainline and at the same time not to introduce any excess weight to the robot's body. The cap is printed on a 3D printer, which is nowadays very easy and accessible manufacturing process, or it could be made of an aluminium alloy, which could be more durable but more expensive to produce.

Immediately under the cap is a chimney brush,

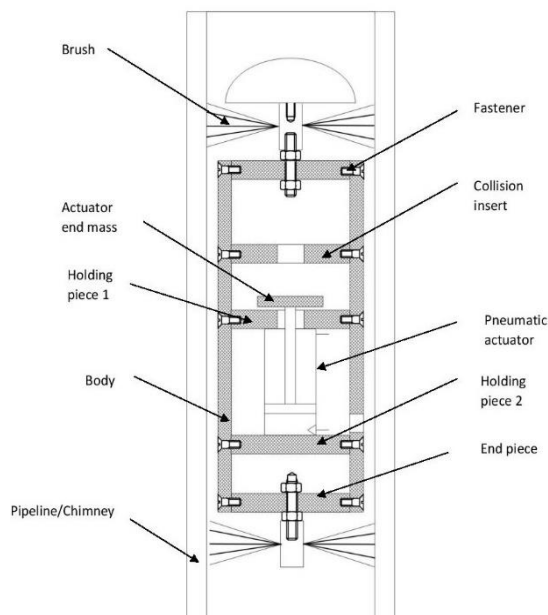


Figure 2 Overall scheme of the robot

which is a regular chimney brush with a nut that is welded to the centre part of the brush so that the brush could be attached to the robot. It is then screwed to an end piece, which is connected to the body of the robot with fasteners. The purpose of this plug is to hold the brush and encapsulate the actuator so that it is shielded from any debris that is released from the walls of the chimney during the movement of the robot.

Below that is a collision insert. The main purpose of this collision insert is in the actuation of the robot. This collision insert is colliding with the actuator end mass and during this process, the energy necessary for the movement is created. It is connected to the robot's body with the fasteners to ensure stability. The actuator end mass is screwed on

the end of the pneumatic actuator shaft that is moving according to the supplied pressure. As mentioned before it is colliding with the collision insert and actuating the robot.

Another part that can be seen in Fig. 2 is holding piece 1 and 2. These pieces are holding the pneumatic actuator in place so that it does not move during its actuation. Both of these pieces are again connected to the robot's body with the fasteners.

The whole movement of this robot relies on the pneumatic actuator, which is inside of the robot's body. It is held in place with two holding pieces, printed on a 3D printer. The pneumatic actuator used in this robot is an SMC CD85E10. This pneumatic actuator is a single-acting actuator, where the supplied air pushes out the piston and it is being pushed back by the spring inside of this actuator. At the end of the moving piston of this actuator, there is a 3D printed part that is being repetitively pushed against the collision inset, which is connected to the main body of the robot, hence the movement of the robot is conducted.

The body of the robot is printed on a 3D printer using the same ST-PLA as on the other parts. The body is 50 (mm) in diameter, with 3 (mm) thick walls and 45 % infill of the material. The holes for connecting all the inner parts were drilled afterwards and were not done during 3D printing. The only other hole that was also drilled is the service hole for connecting the pneumatic line with the pneumatic actuator.

3. MATHEMATICAL MODEL, SIMULATION AND TESTING

3.1 Mathematical model

In the previous sections, the principle of the movement was introduced along with the design of the proposed robot. To confirm the proposed principle movement, a mathematical model is developed in this section, which will be further used for computer simulations of the robot's movement.

To develop a mathematical model a simplified scheme of the problem was created.

In Fig. 3, two masses can be seen. Mass m_2

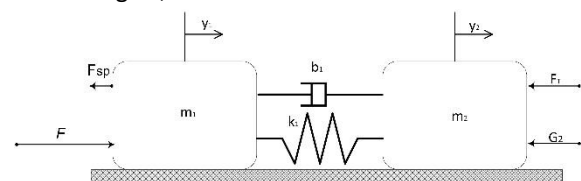


Figure 3 Simplified scheme of the problem

represents the mass of the whole robot, whereas the mass m_1 represents the actuator end mass that is

moving on the end of the pneumatic actuator and is colliding with the collision insert piece. From the figure, it can be seen that the problem has two degrees of freedom, one for each mass. The two masses are connected with the spring k_1 and damper b_1 . However, in real life these masses are not connected, in the mathematical model, the spring and damper represent the contact during the collision of these two masses.

In Fig. 3, six forces are acting in this problem. The force F is the force caused by the pneumatic actuator, this force can be properly calculated and depends on the supplied air pressure into the pneumatic actuator. Another force acting on the mass m_1 is the force F_{sp} . This force is caused by the internal spring of the pneumatic actuator, that is pulling back the pneumatic piston after the supplied air is cut off. On the right side of the figure, two forces can be seen. One of them is force F_T . This force is caused by the friction of brushes against the walls of the pipeline or a chimney. This force is acting in the opposite way of the intended movement of the robot. Underneath is the force G_2 , this force is a gravitational force acting on the whole robot.

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} F_{sp} \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 & 0 \\ 0 & k_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_1 - y_2 \\ y_2 - y_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_1 & 0 \\ 0 & b_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{y}_1 - \dot{y}_2 \\ \dot{y}_2 - \dot{y}_1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 \\ F_T \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 \\ G_2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

In Equation (1) all of the above-mentioned forces can be seen. This equation is based on the second Newton's law of motion, where the force is described by the multiplication of the mass and the acceleration. Equation (1) is in the matrix form and it describes the movement of mass m_1 and m_2 . In addition to the previously mentioned forces, there are also forces that are caused by the spring and the damper. The force caused by the spring is described by the constant k_1 multiplied by the change in the coordinate ($y_2 - y_1$). The force caused by the damper is described by the constant b_1 multiplied by the change in the velocity ($\dot{y}_2 - \dot{y}_1$).

3.2 Simulation and testing

In this part, the focus is on the implementation of mathematical equations mentioned in the previous section into the computer simulation and comparing the simulation with the real robot. For the simulation, Matlab and SIMULINK are used. The purpose of Matlab code, in this case, is to define the values of coefficients that are known or were

determined by experiments like, e.g. weights, spring constant, spring stiffness coefficient k_1 , damping coefficient b_1 . These coefficients will not be changed during the simulation. However, their influence on the forces acting in simulations is significant and therefore, they might be adjusted if it is needed and actually possible in the real robot's construction.

Since in our case the spring and damper do not represent actual components, but the contact of two masses, it was opted to calculate these two constants by using the approach presented in [4]. By following this approach, the stiffness of the contact is calculated using the following equation.

$$k = 4\pi^2 f^2 m \quad (2)$$

The calculated stiffness constant has to be checked with the simulation and if necessary adjusted. Note that, the higher the stiffness of the contact the slower the calculations in the simulations are. This means that the goal here is to choose the proper constant as low as possible, however keep the plausibility of the simulation. The damping coefficient b_1 is also selected by using similar approach. This constant is selected based on the following equation. In this equation, the recommended value of β lies between 0.1 and 0.4, where value 1 represents critical damping.

$$b = 2\beta\sqrt{km}. \quad (3)$$

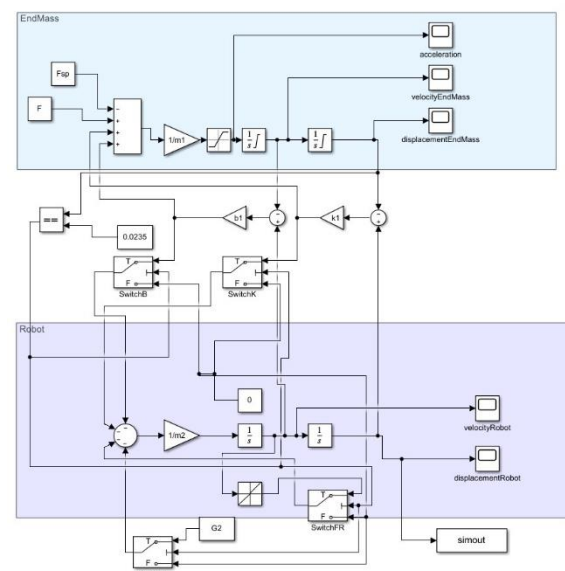


Figure 4 Computer simulation

All the constants, which were used in this model, were stored in the workspace of the Matlab where Simulink can access them and use according

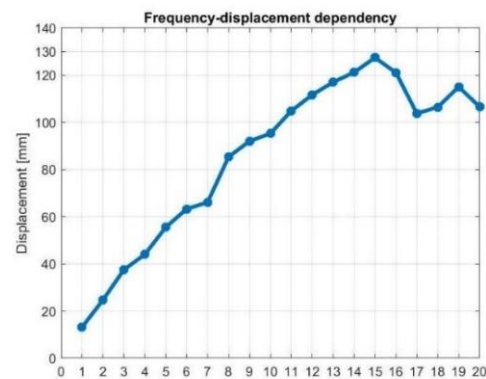
to the needs of the simulation. As mentioned before the simulation was done in the Simulink by simulating the equations mentioned in the previous section.

As can be seen in Fig. 4, in this simulation two equations needed to be simulated. One is the equation that refers to the actuator end mass m_1 and the other one is the equation that refers to the mass of the whole robot m_2 . Out of previously mentioned equations, the acceleration was expressed, which is represented by the two times time derivative of the coordinate y_1 and y_2 . By using this knowledge, the output of these equations had to be integrated twice, to get the velocity and coordinate of the moving masses m_1 and m_2 .

The bottom part in Fig. 4 represents the equation for the movement of the whole robot, this part is switched on as soon as the actuator end mass hits the collision insert and the energy for the movement is created.

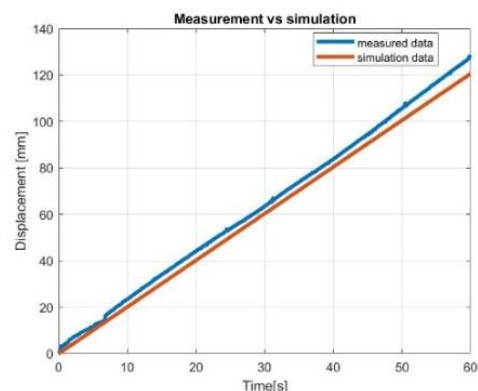
The top part in Fig. 4, represents the equation for the movement of the actuator end mass. In this equation, a couple of limitations had to be set so that the model would accurately represent the movement of the actuator. Starting from left the first limitation was the maximal acceleration that the end mass could achieve, which can be easily calculated. After that, the signal is integrated and the velocity is expressed. This also has to be limited by the maximal velocity that the pneumatic actuator can achieve. By integrating the velocity, the coordinate of the moving mass is expressed. This is also limited in the real world, where the end mass is travelling until it hits the collision insert. When this distance is achieved the other equation is switched on and the

plausibility of the simulation, real-world testing had to be done and compared to the simulation. The testing was done in a clear Plexiglas pipeline and for the measurement, Megatron MBH K300 R7,5K linear sensor was used as can be seen in Fig. 5. to measure the position of the sliding unit that was connected to the robot inside of the pipeline. Before the testing, a calibration curve was determined so that the measured values could be interpreted comprehensible manner. In Graph 1, the measured data can be seen. The measurement was done for the spectrum of frequencies from 1 to 20 (Hz). This frequency represents how many times per second was let the air into the pneumatic valve. From this



Graph 1 Frequency-displacement

Graph, it could be seen that the achieved distance was increasing with the frequency and it achieved the maximum at the 15 (Hz), where the measurements were measured for 60 seconds. In the following Graph 2, the comparison of measured data and data created in the simulation can be seen. Based on this, it is visible that the actual robot was able to achieve greater distance at the given time at the same frequency. Despite the slight differences, this graph is showing that the computer model is accurate enough and that it is a plausible interpretation of the robot's movement inside of the pipeline.



Graph 2 Measured vs simulated data at 15 (Hz)



Figure 5 Testing setup

robot starts its movement. To determine the

CONCLUSION

The focus of this paper was to create an innovative solution for the chimney cleaning process that has not changed for the last hundred years. The problem of the movement and cleaning of the chimney was simplified to the in-pipe robot problem. The in-pipe robots are facing similar problems in regards to their environment that they are moving in. Due to a variety of dirt and ash that is present in the chimney, it was decided not to use conventional tracks or wheels for the movement, but instead to use regular brushes. This way, the chimney is being cleaned at the same time as the robot is moving. This led to the design that was presented in the previous sections, where most of the parts were 3D printed due to the weight reduction and ease of manufacturing. In the following part, a mathematical model was created, that was used in the computer simulations for getting a model of the robot's movement. To compare the simulation, real-world testing was done. Here in Graph 1, it can be seen how with the frequency the maximal distance that the robot has travelled is changing. The testing was done with different frequencies and each testing lasted 60 seconds. There it can be seen that the maximal travelled distance was achieved using 15 (Hz) frequency. This means that the highest effectiveness of the proposed actuator was measured at 15 (Hz). In Graph 2 a comparison of measured values and simulation can be seen. However, the lines are not entirely the same, the simulated values are very close to the real measured values, which proves the plausibility of the model. The model could be more improved by altering the contact coefficients k and b which influence this simulation the most. In this paper, it was proven that the proposed design of the robot is able to move inside of a pipeline and therefore it has the potential to be used for cleaning the chimney. For that, other sensors and cameras could be added to inspect the chimney and create a recording.

Acknowledgment

This research was funded by Slovak Grant Agency VEGA 1/0389/18 "Research on kinematically redundant mechanisms".

References

- [1] A.P. Ivanov, Analysis of an impact-driven capsule robot, *International Journal of Non-linear Mechanics*, Vol. 119, 2020, 103257, ISSN0020-7462, <https://doi.org/10.1016/j.ijnonlinmec.2019.103257>
- [2] Cicconofri, G., DeSimone, A., "Motility of a Model Bristle-Bot: a Theoretical Analysis." *International Journal of Non-linear Mechanics* 76 (2015): 233-239, <https://doi.org/10.1016/j.ijnonlinmec.2014.12.010>
- [3] DsaYum, Y. J., Hwang, H. S., Kelemen, M., Maxim, V., & Frankovský, P. (2014). In-pipe micromachine locomotion via the inertial stepping principle. *Journal of Mechanical Science and Technology*. <https://doi.org/10.1007/s12206-014-0734-x>
- [4] GREPL, Robert. Modelování mechatronických systémů v Matlab SimMechanics. Praha: BEN, 2007. ISBN 978-80-7300-226-8.
- [5] Kakogawa, A., & Ma, S. (2016). Design of a multilink-articulated wheeled inspection robot for winding pipelines: AIRO-II. *IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems*. <https://doi.org/10.1109/IROS.2016.7759332>
- [6] Kim, Y. J., Yoon, K. H., & Park, Y. W. (2009). Development of the inpipe robot for various sizes. *IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, AIM*. <https://doi.org/10.1109/AIM.2009.5229808>
- [7] Lu, H., Zhu, J., Lin, Z., & Guo, Y. (2009). An inchworm mobile robot using electromagnetic linear actuator. *Mechatronics*. <https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2008.07.009>
- [8] Ragulskis, K., Bogdevičius, M., & Mištinis, V. (2008). Behavior of dynamic processes in self-exciting vibration of an inpipe robot. *ISARC 2008 - Proceedings from the 25th International Symposium on Automation and Robotics in Construction*. <https://doi.org/10.3846/isarc.20080626.209>

Correspondence address:

Ing. Peter Ján Sinčák
 Technical University of Košice
 Faculty of mechanical engineering
 Department of mechatronics
 Park Komenského 8, Košice
 Tel.: +421 55 602 2584
 Email: peter.jan.sincak@tuke.

TVORBA GEOMETRICKÉHO MODELU OZUBENIA PRE PREVODY EXPERIMENTÁLNEHO VOZIDLA POMOCOU CAD APLIKÁCIÍ

Samuel SIVÁK, Matúš LAVČÁK, Silvia MALÁKOVÁ, Michal PUŠKÁR

Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Katedra konštrukčného a dopravného inžinierstva, Slovenská republika
samuel.sivak@tuke.sk, matus.lavcak@tuke.sk, silvia.malakova@tuke.sk, michal.puskar@tuke.sk

Abstract:

CAD programs are widely used in engineering environment, which caused their rapid development. This development means that these programs can be used in wider applications such as in the design of the gear wheels. The Gear wheels are complex parts of a mechanical systems, which are also used in an experimental vehicles. Many design processes require modification or tweaking of already existing CAD model. Such requirement can be quite easy and fast process with help of the right modeling method.

Key words:

gearing, design, CAD, modeling, modification.

ÚVOD

Ozubené koleso je rotujúci prvok stroja, ktorý je schopný prenášať výkon a krútiaci moment. Čelné ozubené koleso je najjednoduchším typom ozubeného kolesa, ktorý má zuby vyčnievajúce radiálne. Účinnosť prevodových stupňov je vo všeobecnosti takmer 98% [1]. V poslednej dobe návrhári uprednostňujú komerčné CAD nástroje pri navrhovaní a modelovaní ozubených kolies. Modelovanie ozubeného kolesa pomocou CAD programov pomáha nielen pri kreslení zložitých kriviek zubov, ale tiež uľahčuje výrobu ozubeného kolesa, pretože model CAD je potrebným vstupom pre programovanie súčasných CNC strojov [2].

Moderné vysoko výkonné prevodovky vyžadujú ozubené kolesá so špeciálne navrhnutou geometriou zubov, ktorá zaručí splnenie konštrukčných požiadaviek takýchto kolies. Okrem iných faktorov medzi hlavné požiadavky patria hlavne dostatočná pevnosť bočných ložísk a päty zubov a v neposlednom rade aj minimalizácia emisií hluku počas chodu. Na to aby bolo možné upraviť pevnosť zuba, je potrebné zmeniť uhol záberu, alebo ak to podmienky dovoľujú tak zväčšiť profil zuba. Pri snahe o znižovanie emisií hluku je zväčša výhodné ak je veľký záberový pomer medzi spolu-zaberajúcimi ozubenými kolesami. Zväčšenie záberových pomerov je možné dosiahnuť zväčšením výšky zubov alebo zvýšením záberového uhla [3].

Modelovanie kriviek a plôch pre grafickú interpretáciu za pomoci počítačom podporovaných metód geometrického dizajnu, je rozšírené v

mnohých priemyselných odvetviach a to hlavne pre funkčné analýzy, kontrolu výrobných podmienok a pre možné zvýšenie estetiky. V predbežnom návrhu sa geometrické modelovanie zvyčajne vykonáva interaktívnym spôsobom. To znamená že návrhári alebo konštruktéri začínajú náčrtom a ten následne upravujú až do pokiaľ nie sú splnené estetické a funkčné požiadavky. Spravidla sa modelovacie techniky a postupy ako napríklad polynommické a "spline" funkcie používajú na modelovanie objemových 3D telies, kde sú polohy viacerých bodov na krivkách alebo plochách presne známe [4].

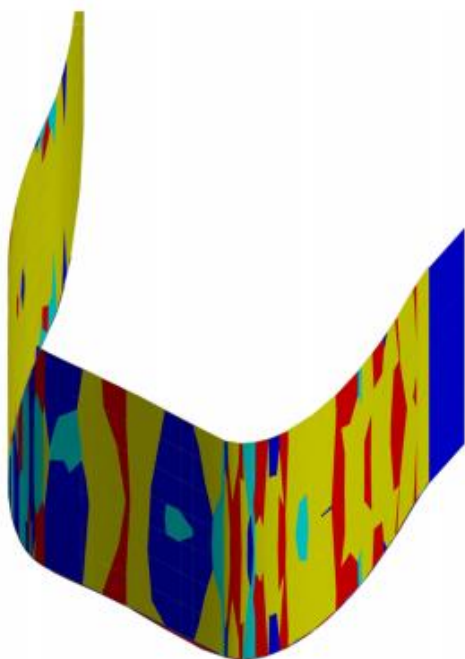
1 METÓDA ODOBRANÍM

Jednou z metód modelovania v CAD programoch, ktorá používa booleovské operácie ako napr. vyrezanie na odstránenie materiálu je „metóda odobraním“. V tomto prípade sa odstráni z obrobku objem a tvar nástroja v závislosti na vzájomnom pohybe, prebiehajúcim po malých krokoch, ktorým sa simuluje skutočná výroba ozubeného kolesa. Táto metóda využíva postupy, ktoré sa používajú v reálnej výrobe a preto pri jej použití vznikajú modely, ktoré môžu byť aj neanalytického typu. Zároveň vzhľadom na relatívne pozície ozubeného kolesa a nástroja, sú pri modelovaní možné akékoľvek typy posunov profilu.

Nevýhodou tejto metódy je že potrebuje veľa času na vytvorenie modelu, a to aj pre jednoduché profily. Generovanie ozubených kolies takouto

metódou môže na obyčajných počítačoch trvať hodiny a v niektorých extrémnych prípadoch aj dni. Avšak ak nie je potrebná vysoká presnosť generovaných CAD modelov, tak je možné znížiť čas generovania na minúty. CAD modely ozubených kolies so zníženou presnosťou môžu byť kľudne použité vo vizuálnych simuláciách, pre sledovanie pohybu, ale na presné skúmanie kontaktov, tvorbu siete konečných prvkov a následnú simuláciu zaťaženia sú tieto modely takmer nepoužiteľné.

Červené časti boli získané pri 2° krokoch otáčania, žlté časti pri 1° , modré pri $0,5^\circ$ a azúrové (najvyššia presnosť, avšak ich nevidno, lebo sa nachádzajú pod zvyšnými troma) boli získané pri $0,2^\circ$ krokoch otáčania. Z toho vyplýva že pri znižovaní stupňov otáčania pre každý krok sa zvyšuje presnosť tvaru evolventy ozubení a tým pádom aj plochy ktoré vytvorí. Pričom generovanie ozubeného kolesa trvalo pre 2° kroky 21 sekúnd a pre $0,2^\circ$ kroky 2900 sekúnd. [5].

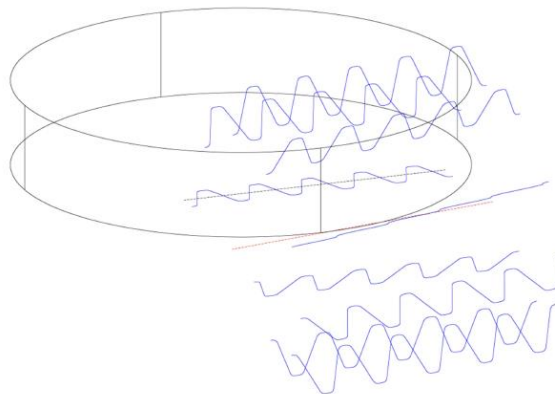


Obrázok 1. Profil zuba metódou odobraním [5]

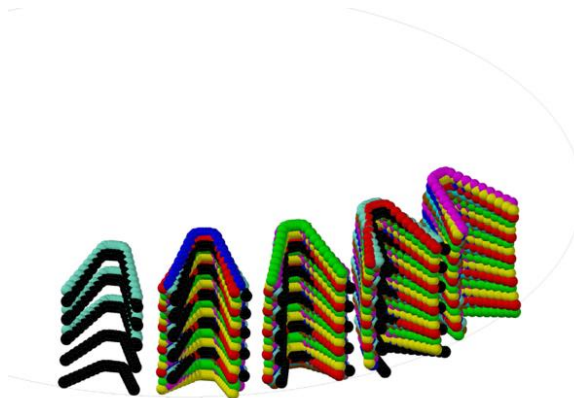
2 ZLOŽENÁ METÓDA

Ďalšou metódou modelovania ozubených kolies je zložená metóda modelovania (mixed modeling method), a tá začína diskretizovaním rezných profilov nástroja, rozdeľovaním profilov do priamok a oblúkov vo vzdialenostiach špecifikovaných užívateľom. Následne sú dané profily nahradené 3D entitami, s vrcholmi ktoré obsahujú rozdeľovacie body. Pri modelovaní sa hýbe len nástroj a modelované ozubené koleso je fixované. Metóda spočíva v tom že nástroj vytvorí

podľa svojej geometrie body na ktorých sa následne vytvoria plochy profilov ozubení. V ďalšom kroku sú z telesa odstránené objemy vytvorené plochami medzi zubami a tým vzniká presný a rýchlo generovaný tvar ozubení a ozubeného kolesa.



Obrázok 2. Schéma nástroja a ozubeného kolesa [5]



Obrázok 3. Body tvoriace zubové medzery [5]

3 PARAMETRICKÁ METÓDA

Táto metóda je použiteľná ako pre čelné ozubenie tak aj pre kužeľové ozubenie a zároveň aj pre rovné a šikmé zuby. Princípom tejto metódy je v prvom rade výpočet hodnôt ozubeného kolesa a ozubení a následne na to sa vytvorí evolventná krivka a prechodová krivka v CAD programe pomocou funkcie parametrická krivka. Ozubenie sa vytvorí tak ako pri ostatných metódach formou odobrania profilu, ktorý tvorí zubovú medzeru. Následným skopírovaním tohto profilu po obvode ozubeného kolesa v rovnakých rozstupoch vznikne celkové ozubenie.

Rozstupová kružnica tvorí základ pre vytvorenie ozubení. Je to myslená kružnica, ktorá slúži na výpočet modulu ozubení a rozstupu medzi dvoma bodmi susedných zubov. Zároveň rozstupové kružnice pastorka a ozubeného kolesa vytvárajú pomyselné valce, ktorými sa v kinematike

nahrádzajú príslušné ozubené kolesá a vďaka tomu je zachovaná podmienka stáleho prevodového pomeru

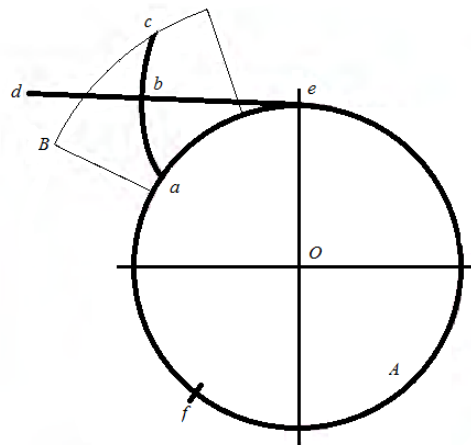
Základná kružnica je myslenou kružnicou z ktorej sa pri parametrickej metóde odvádzajú rovnice pre evolventu ako aj pre prechodovú krivku.

Uhol α je záberový uhol definovaný ako uhol nachádzajúci sa medzi záberovou priamkou, ktorá je kolmá na rozstupovú os, a spoločnou dotyčnicou rozstupových kružníc. Pre nekorigované čelné ozubenie je tento uhol normalizovaný a to $\alpha = 20^\circ$. [5].

V CAD programoch ktoré disponujú nástrojom na tvorenie rovníc je možné zadať vstupné parametre a následne napísať všeobecné rovnice s premennými. Tieto rovnice vypočíta program a do modelu sa vkladajú už len označenia rovníc. Takýto nástroj umožňuje užívateľovi ľubovoľne a rýchlo upravovať daný model len zmenou vstupných parametrov. V prípade ak CAD program takýmto nástrojom nie je vybavený je potrebné do modelu vkladať vypočítané hodnoty.

Pri modelovaní sa začína s hlavovou kružnicou a tá je následne vytiahnutá do priestoru v danej hrúbke ozubeného kolesa. Je vhodné aby bolo teleso vyťahované do priestoru symetricky, čím sa umožní ľahšia manipulácia s modelom v procese skladania zostavy, pohybovej štúdie alebo metódy konečných prvkov. Týmto krokom sa získa prvotné 3D teleso, ktoré bude ďalej formované do požadovaného tvaru. Ďalším krokom je vytvorenie evolventy zuba. V tomto prípade sa šikuje na jednej z rovných plôch 3D telesa a vychádza sa zo základnej kružnice. Avšak v tejto šikici budú v ďalších krokoch potrebné aj rozstupová kružnica a pätná kružnica.

Parametrická krivka môže byť teoreticky vytvorená ako je na obrázku 4. Čiastočný výsek B je pripojený k valcu A, okolo ktorého je obtočená myslená šnúra def. Tá je v bode f pevne pripevnená. Bod b na myslenej šnúre znázorňuje bod, ktorý leží na evolvente a obtáčaním alebo odtáčaním myslenej šnúry má jeho dráha tvar evolventy. Krivka evolventy je v tomto prípade daná bodmi ac. Polomer zaoblenia evolventy sa priebežne mení podľa množstva odtočenia tento myslenej šnúry a to tak že v bode a je bod b totožný s bodom a a polomer zaoblenia je nulový. V bode c je polomer zaoblenia maximálny avšak bod c je od stredu valca A vzdialený v hodnote polomeru hlavovej kružnice, a tým pádom je ďalšie vyšetřovanie evolventy pre tvorbu zuba zbytočné. Z tohto obrázku vyplýva že bod b stále rotuje okolo bodu e a tým pádom priamka de je kolmá na evolventu v každom bode b a zároveň stále dotyčnicou valca A.

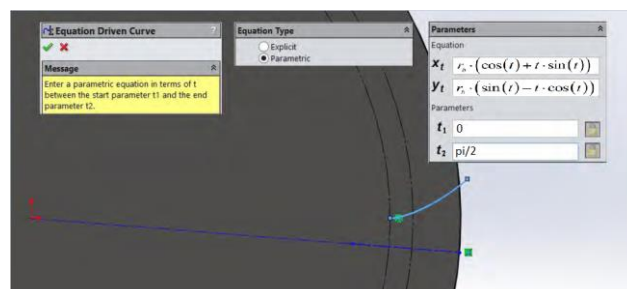


Obrázok 4. Schéma tvorby evolventy.

Zvolením funkcie krivka daná rovnicou a následným upresnením danej rovnice na parametrickú a nie explicitnú, sa namodeluje evolventa a to nasledujúcimi rovnicami:

$$x = r_b \cdot (\cos(t) + t \cdot \sin(t)) \quad (1)$$

$$y = r_b \cdot (\sin(t) - t \cdot \cos(t)) \quad (2)$$

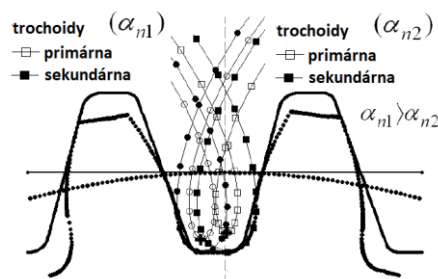


Obrázok 5. Parametrické modelovanie evolventy [6].

Pre parametre t_1 a t_2 je vhodné zvoliť 0 a $\pi/2$.

Profil evolventného ozubeného kolesa je tvorený nie len evolventou ale aj prechodovou krivkou, avšak tá už nie je potrebná pre správny záber ozubených kolies. Geometria tejto krivky má značný vplyv na ohybové napätie zuba. Vzniká ako následok výrobného procesu, kde priamková časť nástroja končí tvorbu evolventy a zaoblená časť pri otáčaní kolesa začne vytvárať prechodovú krivku a to v smere od pätnéj kružnice. Primárna trochoida je totožná s dráhou relatívneho pohybu stredu nástroja obrázok 6. Prechodová krivka sa vytvorí zo sekundárnej trochoidy, čo je rovnaká krivka ako primárna trochoida, avšak je od nej vzdialená v konštantnom rozstupe, ktorý je polomer zaoblenia nástroja, čiže je to ekvidistanta. Z tohto vyplýva že geometria a typ nástroja udáva tvar prechodovej krivky. Pri prevádzkovom použití je v mieste prechodovej krivky koncentrované

maximálne napätie, čiže tvar a rozmery tejto krivky ovplyvňujú ohybovú pevnosť zuba.



Obrázok 6. Schéma prechodových kriviek [7].

Súradnice bodov primárnej trochoidy sú vyjadrené ako:

$$x_T = -r \cdot \sin \varphi + (r\varphi + x_{T0}) \cdot \cos \varphi + y_{T0} \cdot \sin \varphi \quad (3)$$

$$y_T = r(1 - \cos \varphi) - (r\varphi + x_{T0}) \cdot \sin \varphi + y_{T0} \cdot \cos \varphi \quad (4)$$

Následne sa sekundárna trochoida vyjadrí ako:

$$x_F = x_T + \rho(\sin(\gamma - \varphi)) \quad (5)$$

$$y_F = y_T + \rho(\cos(\gamma - \varphi)) \quad (6)$$

Kde: $\gamma = \arctg(y_{T0} / r\varphi + x_{T0})$ (7)

Ďalším krokom je odstránenie prebytočných kriviek funkciou Trim a to tých, ktoré netvoria bočný profil zuba.

Medzi posledné kroky patrí odzrkadlenie krivky bočného profilu zuba cez polovicu zubovej medzery, čím vznikne profil zubovej medzery. Ten sa následne použije vo funkcii Cut alebo Lofted Cut (podľa modelovaného ozubeného kolesa). Vzniknutá zubová medzera sa namnoží po celom obvode v danom počte zubov [8].

ZÁVER

CAD programy sa po objavení na trhu stali neodmysliteľným nástrojom konštruktérov. Vďaka ich výhodám boli veľmi rýchlo rozšírené a vývojármi vyvíjané do takej miery, že v dnešnej dobe sú použiteľné v každom aspekte inžinierskej praxe. Medzi jeden z týchto aspektov patrí aj dizajn a konštrukcia ozubených kolies.

Pri návrhu ozubených kolies je potrebné byť schopný vytvoriť 3D model, pre lepšiu vizualizáciu a neskôr aj na kontrolu či už pomocou metódy konečných prvkov alebo aj iných, čo najrýchlejšie a dostatočne presne. Nepísaným pravidlom býva že

čím je presnejší model, tým dlhšie trvá jeho vytvorenie alebo generácia. Avšak s pokračujúcim vývojom CAD programov a stále výkonnejšou výpočtovou technikou sa tento rozdiel vytráca.

CAD programy dokážu poskytnúť konštruktérovi ako už spomenutú vizualizáciu a možnosť kontroly daného kolesa, tak aj možnosť upraviť už existujúce ozubené koleso. V neposlednom rade je CAD model potrebný pre programovanie niektorých výrobných strojov.

Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-19-0328.

Príspevok vznikol s podporou projektov: VEGA 1/0318/21 „Výskum a vývoj inovácií pre efektívnejšie využitie obnoviteľných zdrojov energie a znižovanie uhlíkovej stopy vozidiel.“ a KEGA 006TUKE-4/2020 „Implementácia poznatkov z výskumu zameraného na redukcii emisií motorových vozidiel do edukačného procesu“

Literatúra

- [1] HAMROCK, B.J., STEVEN, R.S.: Fundamentals of machine elements (second ed.), McGraw-Hill, Chicago (2005).
- [2] JAYAKIRAN REDDY, E., SRIDHAR, C.N.V., PANDURANGADU, V.: Research and development of knowledge based intelligent design system for bearings library construction using SolidWorks API Adv. Intelligent Syst. Comput., 2 (2016), pp. 311-319.
- [3] GROTE, K.H., ANTONSSON, E.K., 2009, Springer Handbook of Mechanical Engineering, Springer.
- [4] FARIN, G. (1996) Curves and Surfaces for Computer Aided Geometric Design. Academic Press, 4th ed.
- [5] TOLVALY-ROSCA, F. – FORGÓ, Z. – MÁTÉ, M. (2014) Evaluation of a Mixed CAD Gear Modeling From Time and Precision Point of View. 8th International Conference Interdisciplinarity in Engineering, 2014, 9-10 October.
- [6] BRIANZA, G. GONZÁLEZ, G. R. (2017): Parametric Geometric Modeling of a Spur Gear Using SolidWorks, Gear Solution, p.31-36.
- [7] XU, S., HOUSER, D. Characteristics of trochoids and their application to determining gear teeth fillet shapes. In: Mechanism and machine theory. Pergamon. 14
- [8] JAYAKIRAN REDDY, E., PANDU RANGADU, V.: "Development of knowledge based parametric CAD modeling system for spur gear: An approach," Alexandria Eng. J., 2018, p. 254-268.

TOPOLOGICKÁ OPTIMALIZÁCIA KONŠTRUKCIE ROTAČNÉHO MODULU S POUŽITÍM METÓD ADITÍVNEJ VÝROBY

Michal ŠAŠALA, Lukáš HRIVNIAK, Štefan ONDOČKO, Jozef SVETLÍK

Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Katedra výrobné techniky a robotiky, Slovenská republika
michal.sasala@tuke.sk, lukas.hrivniak@tuke.sk, stefan.ondocko@tuke.sk, jozef.svetlik@tuke.sk

Abstrakt:

Príspevok sa venuje vývoju časti rotačného modulu, pri ktorom bola použitá topologická optimalizácia za účelom čo najlepšie využitia materiálu. Bol navrhnutý a vylepšený dizajn jadra súčasného rotačného modulu tak, aby sa dosiahla vzhľadom na množstvo použitého materiálu najvyššia tuhosť komponentu. Rozdiely medzi starým a novým návrhom boli porovnané pomocou simulácií.

Key words:

URM, rotačný modul, topologická optimalizácia, modularita.

ÚVOD

Topologická optimalizácia je špeciálna forma tvarovej optimalizácie, kde pri špecifickom zaťažení nám software vyhledá a zvýrazní nepotrebný materiál. Umožňuje nám nájsť najvhodnejší geometrický tvar telesa pri zachovaní dopredu zadaných vlastností. Hlavné dôvody použitia topologickej optimalizácie sú maximalizácia statickej tuhosti pri obmedzenom objeme a minimalizácia daného objemu súčiastky. Táto vlastnosť je obzvlášť dôležitá, ak plánujeme použiť aditívnu výrobu, kde potrebujeme použiť čo najmenej materiálu pri zachovaní čo najväčšej tuhosti, poprípade pevnosti.

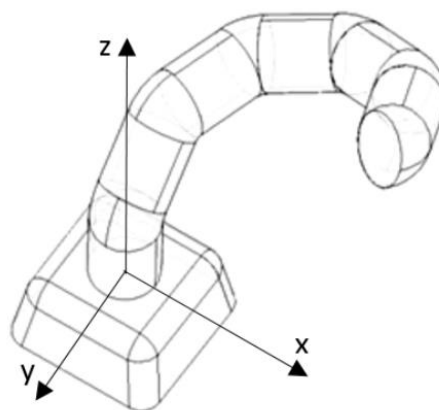
Pomocou techník aditívnej výroby taktiež vieme ľahko vyrobiť súčiastky s komplikovaným tvarom. Spojením týchto technológií aditívnej výroby a topologickej optimalizácie vieme upraviť doterajšie návrhy súčiastok a ďalej pokračovať v zdokonaľovaní rôznych komponentov, vrátane jednotlivých súčastí rotačného modulu [1][2][3].

Pre výpočet topologickej optimalizácie ako aj pre simuláciu a návrh súčasti rotačného modulu sme používali Solidworks Education Edition 2019 SP5.0 spolu s rozšírením Simulation.

1. UNIVERZÁLNY ROTAČNÝ MODUL

Univerzálny rotačný modul (URM) je zariadenie vhodné na operácie, kde sa vyžaduje pomalá kontinuálna rotácia. URM umožňuje zostavovať kinematické reťazce s takým počtom stupňov voľnosti, aký je pre danú úlohu potrebný. Stupeň

voľnosti pohybu je závislý od počtu pohybových modulov, ktoré sú medzi sebou prepojené v kinematickom reťazci. Konštrukcia URM je navrhnutá tak, aby žiadna jej časť nebránila neobmedzenej rotácie rotačného modulu. Preto celá mechanika je uložená vo vnútornom jadre. Jedná sa už o druhú generáciu tohto modulu. V súčasnosti pracujeme s tromi veľkostnými radami, ktoré sú pomocou adaptérov vzájomne kompatibilné. Najmenšia veľkostná rada má priemer 88 mm, stredná má priemer 108 mm a najväčšia má priemer 128 mm. [4]



Obr. 1 Ukážka kinematickej štruktúry URM

Súčasná generácia URM má niekoľko nedostatkov, ktoré jej bránia byť v stave funkčného prototypu. Jeden z takýchto nedostatkov je nepresnosť výroby jadra, v ktorom sú uložené batérie, riadenie rotačného modulu a pohonná

jednotka. Toto jadro pozostáva zo 4 komponentov, ktoré sa musia zvariť, čím vznikla v súčasnej zostave nepresnosť, ktorá bráni časti modulu vo voľnej rotácii. Dôvodom je veľká radiálna sila na hriadeľ prevodovky, čo má za následok zablokovanie pohonu. Preto je potrebný nový návrh, ktorý eliminuje tento problém, a zároveň bude adekvátnou náhradou starého komponentu.

2. ZÁKLADY OPTIMALIZÁCIE

Pre čo najpresnejšie výsledky najprv potrebujeme zistiť limitujúce požiadavky v aktuálnej zostave. Veľkosť samotného jadra nám zvnútra udáva veľkosť batérií, pohonu a ovládacej jednotky. Zvonku sme ohraničený ďalšími komponentami. Taktiež ako vstupný parameter sú sily, ktoré budú na súčiastku pôsobiť. Vstupné parametre maximálnych momentov boli zobrať od dodávateľa pohonov. Tieto hodnoty sme následne zaokrúhlili smerom nahor. Momenty použité pri testovaní sú uvedené v Tabuľke 1.

TABUĽKA I
VSTUPNÉ PARAMETRE PRE ZAŤAŽENIE
STREDOVÉHO JADRA SERVOMOTORM

Veľkostné rady	M_{max}	M_{test}
Malý	1,1 Nm	2 Nm
Stredný	4,5 Nm	5 Nm
Veľký	32 Nm	40 Nm

M_{max} – najväčší dovolený krútiaci moment podľa výrobcu
 M_{test} – krútiaci moment použitý pri simulácii.

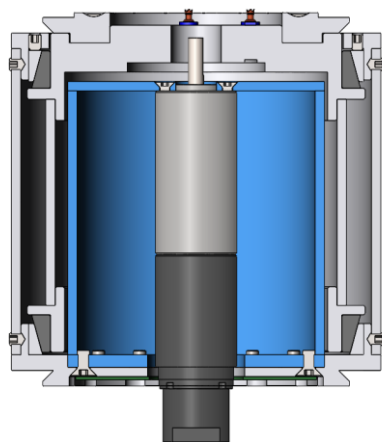


Figure 1. Rez stredným modulom, morou farbou optimalizovaný komponent

Ďalší parameter na sledovanie je deformácia na súčiastke spôsobená momentom. Rotačný modul musí zvládnuť presné polohovanie do konkrétneho uhla. Za náš cieľ sme si zvolili povolené vychýlenie $\pm 0,2^\circ$.

3. OPTIMALIZÁCIA MODELU

Pomocou vloženia viacerých solid bodies, do jedného partu v SW, sme boli schopný vytvoriť model, ktorý napodobní pôvodné jadro súčiastky. Keďže ale robíme typologickú optimalizáciu, musíme najprv všade pridať dostatok materiálu, aby program vedel vyhodnotiť, kde je materiál nadbytočný. V prípade kombinácie topologickej optimalizácie s generatívnym dizajnom by tento krok nebol potrebný, nakoľko generatívny dizajn si sám vytvára potrebný materiál [5][6].

Podmienka topologickej optimalizácie bola zadaná ako najmenšie vychýlenie, cieľ bolo redukovať hmotnosť súčiastky o 30%. Výsledky zo simulácie stredného modulu podľa týchto parametrov sú na obr. 3.

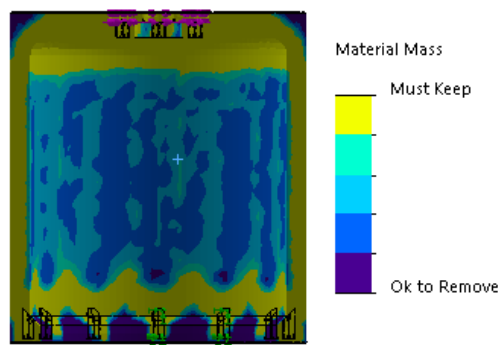


Figure 2. Výsledok topologickej optimalizácie jadra rotačného modulu

Tento výsledok nám zvýraznil najdôležitejšie časti hrubého návrhu. V ďalšom kroku sme manuálne odobrali materiál na miestach, ktoré v simulácii vyšli s najmenším namáhaním. Niektoré časti sme však nechali, najmä v okolí závitov. Poznatok z výsledku nám však ukázal aj miesta, kde treba dodať materiál alebo zaoblenie, alebo ktoré treba ponechať. Takto upravenú súčiastku sme podrobili jednoduchšej simulácii pre výpočet odchýlky.

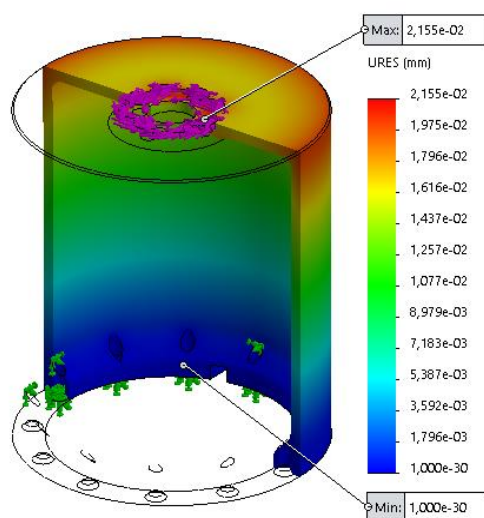


Figure 3. Výsledky maximálnej odchýlky v simulácii pre stredný rotačný modul

Pre presnosť chodu musíme túto odchýlku prepočítať do uhlového rozmeru podľa vzorca 1. To nám dá lepší odhad o tuhosti jadra. Alfa je najväčšia odchýlka v stupňoch, o je najväčšie lineárne posunutie pri záťaži, r je vzdialenosť od osi súčiastky, kde bola odchýlka meraná.

$$\pm \alpha = 2 \sin^{-1} \left(\frac{o}{2r} \right) \quad (1)$$

Zo zistených hodnôt vyplýva, že najväčšia deformácia bude približne 0,021 mm. Po prepočte teda vieme, že deformácia za súčasných podmienok prinesie do systému odchýlku $\pm 0,028^\circ$. Túto odchýlku vieme ešte znížiť zmenou materiálu na PLA, pretože PLA aj pri nižšej pevnosti je tuhší materiál ako ABS.

TABLE I.
POROVNANIE VLASTNOSTÍ STARÝCH A NOVÝCH
VLASTNOSTÍ NAVRHOVANÝCH SÚČIASTOK

Veľkostné rady	m_{old}	m_{new}	α_{old}	α_{new}
Malý	172 g	67 g	0,0031°	0,0829°
Stredný	227 g	92 g	0,0099°	0,0281°
Veľký	283 g	133 g	0,0293°	0,1611°

m_{old} – hmotnosť starého návrhu v gramoch

m_{new} – hmotnosť nového návrhu v gramoch

α_{old} – predpokladaná odchýlka systému v stupňoch

α_{new} – predpokladaná odchýlka systému v stupňoch

Taktiež sme zredukovali hmotnosť z 227 gramov na 92 gramov. Samotná tuhosť celého systému sa

znižila, čo má za následok väčšiu odchýlku ako bola pôvodne. Zaťaženie sa však rovnomerne rozkladá na celú konštrukciu. To eliminuje riziko koncentrácie napätí, a tým aj prípadnému zlyhaniu súčiastky

Rovnako sme podrobili optimalizácii aj jadrá z ďalších veľkostných rád. Celková úspora hmotnosti a zmena nepresnosti pre každý veľkostný rad je uvedený v tabuľke 2. Pre overenie sme aj vymenili pôsobisko síl s ukotvením súčiastky, avšak výsledky boli rovnaké.

4. VÝROBA A MONTÁŽ

Pre výrobu sme použili metódy aditívnej výroby na tlačiarňach Ultimaker 2+ a Ultimaker 3S. Materiál sme použili ABS. Do budúcnosti ale zvažujeme použitie PLA alebo Onyx, nakoľko tieto materiály vykazujú väčšiu tuhosť ako ABS [7]. Pre výrobu sme upravili nastavenia tak, aby vlákna v stenách boli kladené sústredne. Tento postup výroby sa ukázal ako najrýchlejší, nakoľko sme eliminovali veľa vedľajších pohybov tlačovej hlavy. Taktiež sme mierne upravili priemery, aby hotový výtlačok korešpondoval s pôvodným návrhom [8]. Do výtlačku sme následne dorobili závit. Po namontovaní sa tento diel ukázal ako veľmi dobrá náhrada nakoľko sme eliminovali doterajšie problémy s vkladáním elektroniky.



Figure 4. Porovnanie starého a nového jadra veľkého rotačného modulu

ZÁVER

Cieľom tejto práce bolo navrhnúť a vylepšiť dizajn jadra súčasného rotačného modulu s použitím topologickej optimalizácie tak, aby sa dosiahla vzhľadom na množstvo použitého materiálu najvyššia tuhosť komponentu vyrobená aditívnou výrobou. Výsledné modely sme podrobili simulácii, z ktorej sme následne vyrátali, akú nepresnosť chodu môžu spôsobiť na našom zariadení a zároveň sme to porovnali s pôvodnými komponentmi.

Zmenou materiálu sme dosiahli výraznú úsporu hmotnosti, avšak nám narástla aj nepresnosť chodu

rotačného modulu. To však nepovažujeme aktuálne za problém, nakoľko poznatky z aktuálnej generácie vieme použiť pri návrhu novej.

Touto zmenou sme taktiež vyriešili doterajšie problémy s montážou a chodom rotačného modulu.

POĎAKOVANIE

Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-18-0413.

Referencie

- [1] KECIK, S.: Topologická optimalizace pohyblivé, pevné a základný desky elektromechanického vstříkolisu. Brno 2019
- [2] LV, X, et al. Lightweight Design of Six-dof Tandem Manipulator Based on Additive Manufacturing Technology. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2019. p. 032145
- [3] SRINIVAS, G.L. - JAVED, A.: Multi-body dynamic optimization for upper arm of industrial manipulator. In: AIP Conference Proceedings. AIP Publishing LLC, 2020. p. 020022 DOI: 10.1063/5.0027965
- [4] HRIVNIAK, L. et al.: Vývoj Rotačného modulu s neobmedzeným stupňom rotácie. Novus Scientica, Volume XVII, January 2020, 73-76
- [5] POLLÁK, M. - TÖRÖKOVÁ, M. - KOČIŠKO, M.: Utilization of Generative Design Tools in Designing Components Necessary for 3D Printing Done by a Robot. TEM Journal, 2020, 9.3: 868. DOI: 10.18421/TEM93-05
- [6] POLLÁK, M. et al.: Topological Optimization of a Supporting Part of a 3D Printed Pad. Manufacturing Technology, October 2020, ISSN 1213–2489
- [7] SASALA, M. - HRIVNIAK, L. - SVETLÍK, J.: Material Selection for Prototype Design and Production. In: Materials Science Forum. Trans Tech Publications Ltd, 2020. p. 304-311
- [8] SASALA, M. et. al.: Výskum úpravy kruhových rozmerov v CAD programoch používaných pre tlač na 3D tlačiarňi. In: Novus Scientia. Vol. XVII, January 2020

Korešpondenčná adresa

Ing. Michal Šašala
Technická Univerzita v Košiciach
Strojnícka Fakulta
Katedra výrobnéj techniky a robotiky
Letná 9, 042 00, Košice
Tel.: +421 602 2299
Email: michal.sasala@tuke.sk

OVERENIE METODIKY NÁVRHU A ADITÍVNEJ VÝROBY ORTÉZ RUKY A PREDLAKTIA

Branko ŠTEFANOVIČ, Monika MICHALÍKOVÁ, Lucia BEDNARČÍKOVÁ, Viktória RAJTÚKOVÁ,
Teodor TÓTH, Jozef ŽIVČÁK

Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Katedra biomedicínskeho inžinierstva a merania, Slovensko
branko.stefanovic@tuke.sk, monika.michalikova@tuke.sk, lucia.bednarcikova@tuke.sk, viktorija.rajtukova@tuke.sk,
teodor.toth@tuke.sk, jozef.zivcak@tuke.sk

Abstrakt:

Cieľom štúdie bolo navrhnúť, vyrobiť a overiť ortézy pomocou inovatívnych metód. Počas procesu vývoja sa používa 3D skenovanie, aditívna výroba a CAD softvéri. Cieľovou skupinou štúdie boli subjekty s nedostatočnou úchopovou funkciou ruky a predlaktia. Pozitíva sa získavajú pomocou ručného 3D skenera Artec Eva. Počas procesu sa používa špecifická metodika 3D skenovania. Ortézy sú navrhnuté vo voľne stiahnuteľnom CAD softvéri Meshmixer a vyrobené aditívnou technológiou FDM (Fused Deposition Modeling) z bio-kompatibilného polyméru. Všetky modely sú kontrolované a overované v analytickom softvéri VGStudio MAX. Uvedenú metodiku je možné použiť nielen na tento konkrétny účel, ale aj na všeobecnú výrobu ortéz.

Keľúčové slová:

ortéza, aditívna výroba, 3D tlač, 3D skenovanie, CAD/CAM

ÚVOD

Mohammed a kol. [1] uviedli, že metóda 3D skenovania pozitívov a návrh CAD dláh je rýchlejšia, neinvazívna a poskytuje vyššiu presnosť reprodukcie. Na druhej strane tiež hlásia, že 3D tlačená dlaha vyžaduje dlhší čas na výrobu, ktorý je stále prijateľný, ale menej ako je žiaduci, pokiaľ ide o ďalšiu návštevu pacienta. Nevýhodou dlhšieho času výroby sa zaoberajú aj Buonamici a kol. [2], navrhujú však prijatie moderných metód kvôli výhodám, čo sa týka hmotnosti, pohodlia, priedušnosti a možnosti umývania imobilizovaného segmentu. Barrios-Muriel a kol. [3], Fitzpatrick a kol. [4] a Chen a kol. [5] tiež podporujú túto teóriu. Li a kol. [6] navrhli metódu návrhu dlahy, ktorá skraca trvanie fázy modelovania a výroby pomocou viacerých 3D tlačiarň na výrobu jednotlivých častí ortézy. Pri porovnaní výrobných nákladov na ortézy palca vyrobené inovatívnymi metódami alebo konvenčne sa v analýze, ktorú vykonali Fernandez-Vincente a kol. [7], udáva, že cena v je v porovnaní s tradičným spôsobom výroby znížená o polovicu. Pri výrobe väčších ortotických zariadení Redaelli a kol. [8] uviedli, že výroba korzetov pomocou 3D tlačie môže poskytnúť alternatívu k súčasným metódam výroby. Celková doba výroby od počiatočného skenovania po dodanie pacientovi trvala približne celý pracovný deň, podobne ako to vyžaduje proces

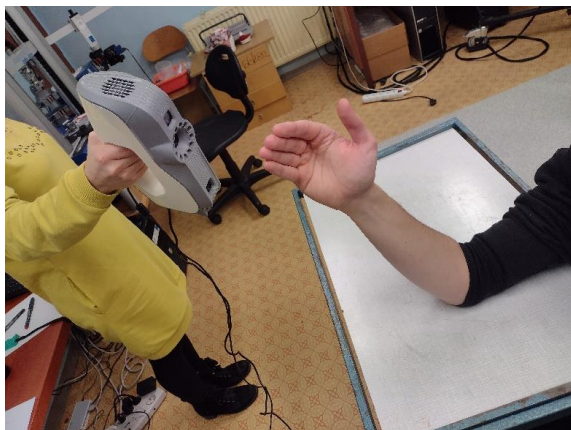
tvarovania za tepla. Celkový počet normohodín sa však znižuje z dôvodu minimálneho dohľadu pri 3D tlači. Cena takeého korzetu je preto konkurenčná v porovnaní s výrobnými nákladmi na tepelne tvarovaný korzet a ten sa zvyčajne pohybuje od 250 do 500 eur. Tiež Hale a kol. [9] zistili, že od skenovania po dodanie individuálnej krčnej ortézy, ktorej výroba tradičným spôsobom trvá približne 6 týždňov, bolo približne 72 hodín a výrobné náklady oboch metód sú porovnateľné.

Tieto fakty potvrdzujú praktické uplatnenie moderných metód vo výrobe ortéz. Cieľom tejto štúdie je uplatniť tieto inovatívne metódy pri výrobe individuálnych ortéz ruky a predlaktia, navrhnúť metodiku modelovania a overiť finálne produkty.

1 METODIKA

Na vytvorenie pozitívu segmentu hornej končatiny subjektu bola použitá technológia 3D skenovania, konkrétne ručný skener Artec Eva (Artec 3D, Luxemburg, Luxembursko). Pomocou neho môžeme vygenerovať 3D model segmentu tela pacienta, pre ktorý bude navrhnutá ortéza. Jednou z výhod ručného 3D skenera je, že zariadenie je kompaktné, ľahké, prenosné a na obsluhu vyžaduje iba 1 osobu a laptop. Ruka a predlaktie subjektov boli skenované, pričom celá horná končatina bola v abdukcii s rotáciou 30° v

ramennom kĺbe a flexiou 100° v lakťovom kĺbe, palcom v opozícii k prstom a zápästím v extenzii 10° až 20° , pričom lakeť bol položený na stole pre lepšiu oporu (Obrázok 1). Všetky subjekty mali dostatočnú silu na to, aby udržali segment v polohe po dobu, po ktorú bola oblasť záujmu skenovaná. Frekvencia skenovania bola nastavená na 8 snímok za sekundu a počas získavania pozitívov sa nevyskytli žiadne chyby. Pre tento experiment bolo skenované a spracované rameno a predlaktie 10 dospelých subjektov.

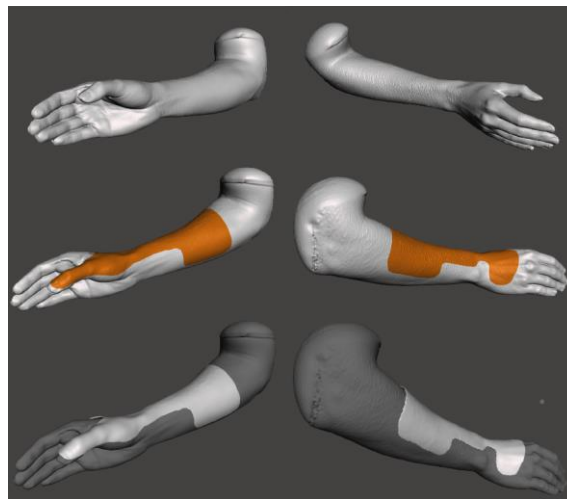


Obrázok 1 Skenovanie ruky a predlaktia.

1.1 Návrh ortéz

Na vytvorenie digitálneho modelu ortézy bol použitý softvér Autodesk Meshmixer (Autodesk, Inc., San Rafael, CA, USA). Je to voľne dostupný modelovací softvér, v ktorom je možné vytvárať a upravovať 3D objekty. Tvar ortézy bol načrtnutý priamo na 3D modeli segmentu hornej končatiny subjektu, ktorý sme získali 3D skenovaním. Pri vytváraní kontúry ortotickej pomôcky sme museli brať do úvahy pokrytie oblasti segmentu dostatočné na to, aby zaistila zápästie, palec a celkové pripevnenie pomôcky k predlaktiu. Náčrt povrchu ortézy bol potom skopírovaný a umiestnený na 3D pozitív, čím sa medzi pomôckou a modelom skenu segmentu vytvorila medzera 0,5 mm. Vytvorenie takejto medzery je dôležité, aby po aplikácii reálnej ortézy na daný segment nedochádzalo k povrchovému tlaku, čo by malo za následok negatívne účinky na hornú končatinu. Veľkosť medzery vieme upraviť podľa toho, či sa na ortézu použije bio-kompatibilná podšívka, ktorá eliminuje podráždenie pokožky. Po vytvorení kópie povrchu ortézy a vytvorenia medzery sa nastavila hrúbka materiálu. Pri návrhu ortézy sa zvolila hrúbka 2 mm. Hrúbka a výber materiálu sú dôležité z hľadiska pevnosti a pružnosti, aby nedošlo k poškodeniu počas používania a opakovaného aplikovania na daný segment. V poslednom kroku sa povrch a

hrany modelu vyhladili a skontroloval sa dizajn finálneho modelu. Desať jednotlivých ortéz bolo navrhnutých a vyrobených pomocou technológie aditívnej výroby FDM.



Obrázok 2 Proces návrhu ortézy.

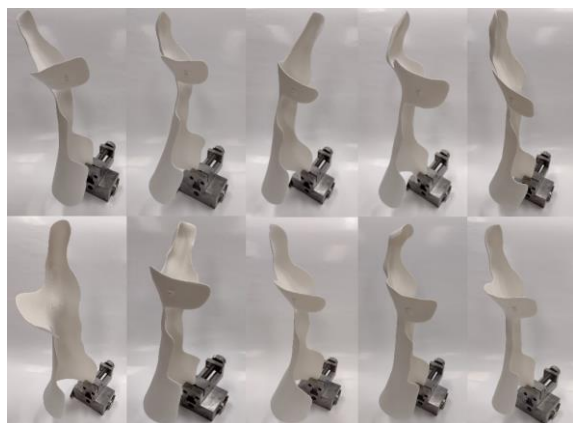
1.2 Aditívna výroba ortéz

Všetky modely boli vyrobené na profesionálnej 3D tlačiarňi Fortus 450mc (Stratasys Ltd., Rehovot, Izrael) s použitím bio-kompatibilného polyméru ABS-M30i s tryskou T16 a podporného materiálu SR-30 s tryskou T12SR30. Pretože táto tlačiarňa má prednastavené parametre tlače pre jednotlivé materiály, nastavenia neboli upravené (Tabuľka 1). Všetky modely boli vytlačené jeden po druhom a umiestnené na odnímateľnej tlačovej doske, ktorá je prilepená k pracovnej platforme tlačiarne s dorzálnou stranou orientovanou nadol (**Error! Reference source not found.**).

TABUĽKA 1 NASTAVENIE TLAČE.

Výška vrstvy	0,010mm
Výplň	100%
Štýl výplne	Solid
Povrch	Normal
Štýl podpory	Box

Po výrobnom procese bola tlačová doska odstránená z tlačiarne, všetky ortézy boli ručne extrahované a podporné konštrukcie boli dôkladne odstránené. Konečné ortézy neboli dodatočne chemicky spracované alebo pieskované (**Error! Reference source not found.**).



Obrázok 3 Finálne ortézy.

1.3 3D skenovanie ortéz

Všetky ortézy boli 3D skenované s cieľom porovnania s ich nominálnymi 3D modelmi. Na tento proces bol použitý skener Artec Eva. Jednotlivé ortézy boli upevnené vo svorke svojim proximálnym koncom a umiestnené vertikálne, aby sa zachytil vonkajší a vnútorný povrch modelov. Frekvencia skenovania bola nastavená na 8 snímok za sekundu a počas získavania pozitívov sa nevyskytli žiadne chyby. Skenovací proces 1 ortézy trval približne 10 minút, pričom samotné skenovanie trvalo približne 5 minút a následné spracovanie získaných údajov tiež 5 minút. Pri spracovaní získaných údajov v programe Artec Studio13 (Artec 3D, Luxemburg, Luxembursko) sa pri opravovaní dier v naskenovanom modeli neustále generovali artefakty obklopujúce 3D model skenu. Aby sa odstránili tieto chyby, bolo vyplňovanie dier v softvéri deaktivované a spracovanie bolo dokončené v softvéri Meshmixer, kde boli modely skenov prevedené do objemových modelov.

Okraje jednotlivých modelov neboli vyhladené, aby sa zachoval vygenerovaný tvar. Po dokončení boli všetky objemové modely porovnané s nominálnymi modelmi v softvéri VGStudio MAX (Volume Graphics, Heidelberg, Nemecko).

1.4 Porovnanie aktuálnych 3D modelov ku nominálnym

Pri porovnaní aktuálnych a nominálnych modelov musíme najskôr určiť, ktoré modely porovnávame. Prvým krokom bolo zistiť, či existuje rozdiel medzi modelmi generovanými zo softvéru 3D skenera a objemovými modelmi 3D skenov. Jeden z týchto 2 modelov bol potom vybraný ako aktuálny model. Tieto modely ortéz boli potom porovnané s ich nominálnymi modelmi, ktoré sú pôvodnými modelmi ortéz navrhnutými v programe

Autodesk Meshmixer. Počas porovnávania bola overená aj hrúbka ortéz.

2 VÝSLEDKY

Časová náročnosť jednotlivých krokov tohto procesu bola zapisovačom pre výpočet priemernej dĺžky výroby ortézy modernými technológiami. Priemerná doba trvania skenovania ruky a predlaktia je 2 minúty a 20 sekúnd a doba následného spracovania údajov je 5 minút a 20 sekúnd. Pri skenovaní danej oblasti sa nevyskytli žiadne komplikácie a chyby. Všetky zhromaždené údaje majú uspokojivú kvalitu povrchu potrebného pre návrh ortotickej pomôcky. Počas fázy návrhu ortézy neboli potrebné žiadne ďalšie úpravy 3D modelov skenov. Vďaka tejto skutočnosti proces návrhu jednotlivých ortéz trval približne 3 minúty. Pri umiestňovaní jednotlivých modelov ortéz na platformu virtuálnej platformy 3D tlačiarne softvér automaticky počítal objem použitého modelového materiálu, podporného materiálu a celkový čas výroby. Priemerný objem modelového materiálu použitého na výrobu ortézy je 65,94 cm³, 57,40 cm³ podporného materiálu a priemerný čas výroby je 5 hodín a 18 minút (Tabuľka 2).

TABUĽKA 2 PARAMETRE 3D TLAČENÝCH ORTÉZ.

Ortéza	Model (cm ³)	Podpora (cm ³)	Čas (hh:mm)
Ort.1	60,91	65,33	05:22
Ort.2	55,23	50,43	04:58
Ort.3	63,25	34,60	04:30
Ort.4	72,87	70,33	06:31
Ort.5	70,85	63,29	05:37
Ort.6	77,58	71,48	05:56
Ort.7	58,56	59,67	05:05
Ort.8	69,47	49,41	05:03
Ort.9	75,67	61,74	05:51
Ort.10	55,04	47,68	04:25
Priemerná hodnota	65,94	57,40	05:18

2.1 Výsledky verifikácie

Výsledky porovnania modelov vygenerovaných zo softvéru 3D skenera a objemových modelov 3D skenov ukazujú, že modely sú identické s odchýlkou v rozmedzí $\pm 0,050$ mm, pričom rozdiely sú iba na okrajoch modelov. Pre aktuálne a nominálne porovnanie boli vybrané objemové modely.

V TABUĽKA 3 sú zhrnuté priemerné odchýlky objemových 3D modelov od aktuálnych skenovaných modelov. Na vyhodnotenie rozdielov medzi týmito modelmi boli určené maximálne odchýlky pre 75%, 90% a 95% pokrytie povrchu. Tieto údaje naznačujú, že napr. 95% všetkých hodnôt predstavuje maximálnu odchýlku. Podľa hodnôt odchýlok Ortézy 4 majú všetky porovnania

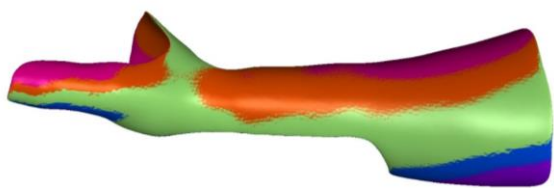
odchýlku menšiu ako 0,01 mm pri 75% pokrytí, takže v porovnaní s aktuálnym modelom existujú iba minimálne zmeny. Pri 90% je táto hodnota menšia ako 0,03 mm a pri 95% menšia ako 0,08 mm. V týchto prípadoch ovplyvňujú výsledky hlavne odchýlky spôsobené uzatvorením hrán objemového modelu a možnými chybami.

TABUĽKA 3 PRIEMERNÉ ODCHÝLKY OBJEMOVÝCH 3D MODELOV OD AKTUÁLNYCH SKENOVANÝCH MODELOV.

Model ortézy	Priemerná odchýlka [mm]	75% odchýlka [mm]	90% odchýlka [mm]	95% odchýlka [mm]
Ort.1	-0,0110	0,0058	0,0131	0,0319
Ort.2	-0,0120	0,0059	0,0129	0,0290
Ort.3	-0,0110	0,0063	0,0124	0,0345
Ort.4	-0,0057	0,0078	0,0286	0,0793
Ort.5	-0,0110	0,0068	0,0132	0,0300
Ort.6	-0,0075	0,0059	0,0128	0,0290
Ort.7	-0,0098	0,0057	0,0120	0,0317
Ort.8	-0,0097	0,0076	0,0194	0,0527
Ort.9	-0,0095	0,0063	0,0153	0,0362
Ort.10	-0,0096	0,0052	0,0103	0,0284
Priemerná hodnota	-0,0097	0,0063	0,015	0,0383

Pri navrhovaní ortéz bola hrúbka steny nastavená na 2 mm. Aktuálna hrúbka bola meraná v „module hrúbky steny“ softvéru VGStudio MAX. Výsledkom analýzy je, že aktuálne hodnoty sa pohybujú od 2,006 mm do 2,097 mm a štandardná odchýlka je menšia ako 0,24 mm.

Pri porovnaní modelu skenu so nominálnym modelom ortézy je potrebné pred analýzou vykonať ich vzájomné vyrovnanie, pretože skenovaná ortéza má iný súradnicový systém ako nominálny model vytvorený v softvéri Meshmixer. Vďaka tvaru ortézy (absencia rovín a jednoduchých tvarov, ako sú valce atď.) je ich vzájomné vyrovnanie možné pomocou metód Best-fit a RPS (referenčný pozičný systém). Pri použití metódy RPS je prvým krokom Best-fit vyrovnanie objektov a druhým je následný prenos bodov do aktuálneho modelu (sken ortézy), po ktorom sa vykoná samotné vyrovnanie. Obrázok 4 zobrazuje odchýlky medzi týmito dvoma spôsobmi zarovnania. Z výsledkov možno usúdiť, že odchýlky sú od nuly takmer symetrické, čiže obe zarovnania sú navzájom otočené.



Obrázok 4 Odchýlka medzi Best-fit a RPS zarovnaním.

Výrazné rozdiely v modeloch (tvar ortézy) neumožňujú rovnaké rozdelenie distribučných bodov na všetky ortézy. Aby sa eliminoval efekt umiestnenia bodu pre vyrovnanie RPS, model skenu ortézy a aktuálny model sa navzájom zosúladiť pomocou metódy Best-fit.

Na vyhodnotenie rozdielov medzi objemovým modelom a nominálnym modelom ortézy sa určila priemerná hodnota odchýlky a maximálne odchýlky pre 90% a 95% pokrytie povrchu. Priemerná hodnota odchýlky sa blíži k nule a teda rozdelenie odchýlok má charakter normálneho (gaussového) rozdelenia. Priemerná hodnota pre 95% pokrytie je 0,419 mm a 95% pokrytie 0,576 mm (Tabuľka 4).

TABUĽKA 4 PRIEMERNÁ ODCHÝLKA NOMINÁLNYCH MODELOV OD OBJEMOVÝCH 3D MODELOV.

Ortéza	Priemerná odchýlka [mm]	90% odchýlka [mm]	95% odchýlka [mm]
Ort.1	0,006	0,69	0,86
Ort.2	0,013	0,24	0,33
Ort.3	0,037	0,26	0,38
Ort.4	0,026	0,30	0,46
Ort.5	0,011	0,73	0,90
Ort.6	-0,001	0,46	0,57
Ort.7	0,022	0,15	0,22
Ort.8	-0,014	0,81	1,25
Ort.9	0,041	0,32	0,43
Ort.10	0,033	0,23	0,36
Priemerná hodnota	0,017	0,419	0,576

Kvôli kontrole kvality výroby sa hodnotila aj hrúbka steny ortézy po celom jej povrchu. Výsledky v Tabuľka 5 ukazujú, že priemerná hrúbka steny je 1,956 mm a štandardná priemerná odchýlka je 0,206 mm. V porovnaní s nominálnym objemovým modelom je priemerná hrúbka steny aktuálnej vyrobenej ortézy menšia o 0,0931 mm a hodnota štandardnej odchýlky je väčšia o 0,0203 mm, čo sú zanedbateľné rozdiely.

TABUĽKA 5 PRIEMERNÉ HRÚBKY STIEN ORTÉZ.

Ortéza	Priemer [mm]	Štandardná odchýlka [mm]
Ort.1	1.95	0.20
Ort.2	1.95	0.13
Ort.3	1.94	0.27
Ort.4	1.94	0.27
Ort.5	1.97	0.19
Ort.6	1.97	0.18
Ort.7	1.97	0.18
Ort.8	1.93	0.28
Ort.9	1.97	0.17
Ort.10	1.97	0.19
Priemerná hodnota	1.956	0.206

3 DISKUSIA

Pri vývoji individuálnych ortéz pomocou moderných technológií je potrebné postupovať podľa krokov navrhovaných v tejto štúdii. Prvým dôležitým krokom je získanie pozitívu. 3D skenovanie sa ukázalo ako veľmi praktické, rýchle, čisté, presné a pohodlné riešenie pre subjekt i skenujúci personál. Práca s ručným 3D skenerom je veľmi intuitívna a jednoduchá. Na skenovanie je potrebná iba 1 osoba a laptop alebo počítač. Pretože je skener prenosný, nie je potrebné, aby sa subjekt nachádzal na špeciálnom pracovisku. Táto skutočnosť je veľmi dôležitá, ak je subjekt nepohyblivý alebo má pohybové ťažkosti a je to veľká výhoda v porovnaní s tradičnou metódou. Odoberanie pozitívu s následným spracovaním získaných údajov trvalo priemerne menej ako 10 minút.

Polohovanie segmentov tela pred skenovaním je dôležité. Aby sa zachytil požadovaný tvar, je potrebné stabilizovať konkrétny segment. Závisí to od toho, v akom je subjekt fyzickom zdravý. Ak majú subjekty pohybové obmedzenia alebo slabú silu, je dôležité im poskytnúť určitú formu podpory alebo stabilizovať naskenovaný segment tela pomocou asistenta. Asistent môže pomôcť stabilizovať subjekt, musí však podporovať oblasti, ktoré nie sú dôležité pre návrh ortézy. Pri skenovaní subjektov bez obmedzenia pohybu je stále užitočné poskytnúť im určitý druh podpory, napríklad v tejto štúdii mali subjekty lakťový kĺb položený na stole, zatiaľ čo ruky a predlaktie boli skenované.

3D skener Artec Eva, ktorý bol použitý v tejto štúdii, je drahý, profesionálny skener používaný hlavne na skenovanie väčších objektov a štruktúr v strojárskom, dizajnerskom, architektonickom, automobilovom a podobnom priemysle. Je však použiteľný aj v protetike a ortotike. V jednej z našich štúdií [10] sme dospeli k záveru, že špičkový 3D skener nie je potrebný a že lacné skenery sú schopné zachytiť dôležité segmenty tela s dostatočnou presnosťou na návrh ortézy.

Zachytenie segmentu v správnom tvare je povinné pri návrhu ortotickeho zariadenia. Ak má naskenovaný model chyby, deformácie alebo iné artefakty, nemôže sa použiť ako pozitív. Originálny model musí byť čistý a presný, aby ho nebolo potrebné nijako upravovať. Ak by sa 3D model skenu upravil, mohlo by to spôsobiť rozdiel medzi povrchom ortézy a povrchom tela, čo by viedlo k nesprávne navrhutej pomôcke.

Jedným z cieľov bolo použitie voľne stiahnuteľného softvéru na 3D modelovanie. Autodesk Meshmixer bol vybraný, pretože má funkcie vhodné pre návrh protéz a ortéz. V

niekoľkých jednoduchých krokoch je možné navrhnuť jednoduché ortézy vhodné pre aditívnu výrobu. Proces návrhu ortézy ruky a predlaktia v tomto softvéri trval menej ako 4 minúty. Rozhranie je prehľadné a používateľ nepotrebuje žiadne špeciálne školenie. Pri navrhovaní zdravotníckych pomôcok je však potrebné, aby softvér obsluhoval kvalifikovaný technik. Hlavnou nevýhodou softvéru je, že nemá lekárske osvedčenie, takže modely by sa mali používať iba na vzdelávacie a výskumné účely.

Výber správneho materiálu pre výrobu je dôležitý z hľadiska výroby a aplikácie. Pretože ortézy sú určené na fixáciu a stabilizáciu ruky a predlaktia a kontakt s pokožkou je nevyhnutný, musí byť použitý pevný a bio-kompatibilný materiál. Tlačiareň Fortus 450mc používa kazety s materiálmi vhodnými iba pre tento typ tlačiarne, takže rozsah materiálov je výrobcom obmedzený. Z týchto dôvodov bol ako najvhodnejší materiál zvolený ABS-M30i. Na výrobu ortézy je možné použiť aj iné materiály ako PETG alebo PLA [8], ale pretože táto 3D tlačiareň tieto materiály nepodporuje, neboli pre túto štúdiu vybrané.

Všetky modely boli umiestnené chrbtovou stranou smerom ku pracovnej platforme tlačiarne. Zmyslom toho bolo zabrániť generovaniu podpory na vnútornej stene modelov, aby sa minimalizoval objem podporného materiálu a znížila sa náročnosť finálneho opracovania. Podporné konštrukcie na vnútornej stene by tiež mohli počas výrobného procesu zdeformovať povrch. Z výsledkov nominálneho a aktuálneho porovnania niektorých modelov je zrejme, že časti modelov, ktoré sa klenú nad vnútornou stenou, sa počas tlače deformovali. Z tohto dôvodu sa odporúča umiestniť podporné konštrukcie aj na vnútornú stenu modelov, aby nedošlo k deformácii.

Výroba jednej samostatnej ortézy trvala menej ako 5 a pol hodiny. Keď k tomu pripočítame priemerný čas získavania pozitívu a návrhu ortézy, celý proces trval necelých 6 hodín. Toto je približný čas výroby individuálnej ortézy pomocou moderných technológií pre jedného pacienta. Táto doba sa môže líšiť v závislosti od technológií použitých v jednotlivých krokoch alebo od počtu vyrábaných modelov.

Z výsledkov analýzy vidíme, že rozdiel medzi vyrobenou ortézou a 3D modelom je z pohľadu ortotickej aplikácie zanedbateľný. To znamená, že navrhovaná metodika, ktorá obsahuje dizajn a aditívnu výrobu ortéz, je adekvátnou metódou. Po dodatočnom opracovaní a použití popruhov či podšívky sú tieto ortézy plne funkčné a pripravené na použitie.

Pretože výrobnou technológiou použitou v tejto štúdii je špičková profesionálna 3D tlačiareň, je

možné, aby nemocnice alebo protetické dielne vyrábali svoje ortézy externe. Cena 1 ortézy je s ohľadom na materiál a použitú technológiu približne 80 eur. Ak si tieto inštitúcie môžu zaobstaráť vlastný lacný 3D skener a možno aj softvér na 3D modelovanie, výrobný proces je rýchlejší, jednoduchší a praktickejší, čo znamená, že rastie aj množstvo vyrobených individuálnych ortotických zariadení. Toto je priaznivý stav nielen pre tieto inštitúcie, ale hlavne pre samotných pacientov.

ZÁVER

Navrhnutá bola metodika výroby ortéz s využitím moderných technológií. Celý proces spočíva v získaní pozitívu pomocou 3D skenera, návrhu ortézy v 3D modelovacom softvéri a výrobe pomocou technológie aditívnej výroby. Táto metodika bola analyzovaná a overená reverzným inžinierstvom v adekvátnom softvéri s údajmi získanými z profesionálneho 3D skenovacieho zariadenia. Na záver možno konštatovať, že navrhovaná metodika je vhodná na použitie v ortotickej praxi.

POĎAKOVANIE:

Tento článok bol vypracovaný na základe podpory získanej z projektov APVV-19-0290, KEGA 041TUKE-4/2019, KEGA 023TUKE-4/2020 a Stimuly pre výskum a vývoj 12/2018 - 12/2021.

Zoznam použitej literatúry

- [1] MOHAMMED, M.I. - PEARSE, F. Design and additive manufacturing of a patient specific polymer thumb splint concept. In: Solid Freeform Fabrication 2018: Proceedings of the 29th Annual International Solid Freeform Fabrication Symposium – An Additive Manufacturing Conference. November 2018.
- [2] BUONAMICI, F. et al.: A practical methodology for computer-aided design of custom 3D printable casts for wrist fractures. The Visual Computer, 36:375-390. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00371-018-01624-z>.
- [3] BARIOS-MURIEL, J.B. et al.: Advances in orthotic and prosthetic manufacturing: a technology review. Materials, 2020, 13:295. DOI: [10.3390/ma13020295](https://doi.org/10.3390/ma13020295).
- [4] FITZPATRICK, A. et al.: Design optimization of a thermoplastic splint. In: Solid Freeform Fabrication 2017: Proceedings of the 28th Annual International Solid Freeform Fabrication Symposium – An Additive Manufacturing Conference. 2017.
- [5] CHEN, Y.J. et al.: Application of 3D-printed and patient-specific cast for the treatment of distal radius fractures: initial experience. 3D printing in medicine, 2017, 3:11:1-9. DOI: [10.1186/s41205-017-0019-y](https://doi.org/10.1186/s41205-017-0019-y).
- [6] LI J. - TANAKA H.: Rapid customization system for 3D-printed splint using programmable modeling technique – a practical approach. 3D printing in medicine, 2018, 4:5:1-21. DOI: [10.1186/s41205-018-0027-6](https://doi.org/10.1186/s41205-018-0027-6).
- [7] FERNANDEZ-VINCENT, M. – CHUST, A.E. – CONEJERO, A.: Low cost fabrication approach for thumb orthoses. Rapid prototyping journal, October 2017, 23:6:1020-1031. DOI: doi.org/10.1108/RPJ-12-2015-0187.
- [8] REDAELLI, D.F. et al.: 3D printing orthopedic scoliosis braces: a test comparing FDM with thermoforming. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2020:111:1707–1720. DOI: [10.1007/s00170-020-06181-1](https://doi.org/10.1007/s00170-020-06181-1).
- [9] HALE, L. - LINLEY, E. - KALASKAR, D.M.: A digital workflow for design and fabrication of bespoke orthoses using 3D scanning and 3D printing, a patient-based case study. Scientific reports, 2020, 10:7028. DOI: [10.1038/s41598-020-63937-1](https://doi.org/10.1038/s41598-020-63937-1).
- [10] STEFANOVIC, B. et al.: Arm and Forearm Scanning Methodology for the Development of an Orthotic Device for Tetraplegic Patients. In: Proceedings of 3DBODY.TECH 2020 - 11th International Conference and Expo on 3D Body Scanning and Processing Technologies. 17-18 November 2020. Online/Virtual.

Korešpondenčná adresa:

Ing. Branko Štefanovič
Technická univerzita v Košiciach
Strojnícka fakulta
Katedra biomedicínskeho inžinierstva a merania
Letná 9, 042 00, Košice
Tel.: +421 55 602 2657
Email: branko.stefanovic@tuke.sk

MOŽNOSTI VYUŽITIA ODPADNÉHO TEPLA Z PLAZMOVÉHO REAKTORA PRE OHREV TEPLEJ VODY

Lukáš TÓTH, Tomáš BRESTOVIČ, Marián LÁZÁR

Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Katedra energetickej techniky, Slovensko
lukas.toth@tuke.sk, tomas.brestovic@tuke.sk, marian.lazar@tuke.sk

Abstrakt:

Článok pojednáva o možnostiach využitia odpadného tepla, ktoré vzniká pri tepelnom spracovaní nerecyklovateľného komunálneho odpadu s využitím plazmového reaktora. Tepelný výkon, ktorý sa uvoľňuje vo forme odpadného tepla pri činnosti reaktora, postačuje k výrobe teplej vody, prípadne, pri väčších reaktoroch aj k výrobe pary resp. prehriatej pary vhodnej pre pohon generátorov. Článok sa zaoberá využitím tepla z kompaktného plazmového reaktora, popisuje možnosť umiestnenia ohrievača vody, v ktorom má prebiehať ohrev teplej vody. Hlavným problémom umiestnenia výmenníka tepla je potreba riešenia teplôt, tak aby nedochádzalo k ohrevu vody až nad bod varu, čím by dochádzalo k zvyšovaniu tlaku v systéme a následnému poškodeniu celého zariadenia.

Kľúčové slová:

Plazmový reaktor, syngas, výmenník tepla, teplo.

ÚVOD

Vzhľadom na súčasný stav spracovania odpadov a snahy vlád a Európskej únie o znižovanie zaťaženia prírody nerecyklovateľnými odpadmi, vzniká potreba riešiť spracovanie takéhoto druhu odpadu. Okrem bežného skládkovania a spaľovania, dochádza k rozvoju aj nových technológií ako je napr. plazmové spracovanie nerecyklovateľných a nebezpečných odpadov za vzniku syntézneho plynu a sklenej trosky. Takéto zariadenia však produkujú nezanedbateľné množstvo odpadného tepla, ktoré je v mnohých prípadoch neúčelne odvádzané do prostredia. Takéto zaobchádzanie s ľubovoľným druhom energie sa v súčasnosti javí ako neprijateľné, a preto je potrebné riešiť problematiku využívania aj takýchto druhov energie. Jednu z možností využitia odpadného tepla predstavuje jeho použitie pre ohrev teplej úžitkovej vody, prípadne jej skupenskú premenu na paru a následne prehriatu paru pre pohon parných generátorov.

1 PRINCÍP ČINNOSTI REAKTORA

Základom technológie plazmového splyňovania odpadov je vytvorenie plazmového oblúkového výboja z prúdu inertného plynu (argón, dusík a pod.), alebo z plynu obohateného kyslíkom. Plazmotvorný plyn ja za pomoci elektrického poľa o

vysokej intenzite pretransformovaný do stavu plazmy. Vysoké teploty na okrajoch plazmového oblúkového výboja zabezpečujú stabilný tepelný tok potrebný k termickému rozkladu odpadu. Vplyvom vysokej disociačnej energie sa organická zložka odpadu rozloží na jednoduché plynné molekuly. Anorganické zložky odpadu, vo forme tekutej trosky a zliatiny kovov, sú sústredené v spodnej časti reaktora a periodicky vypúšťané cez odpichové otvory.

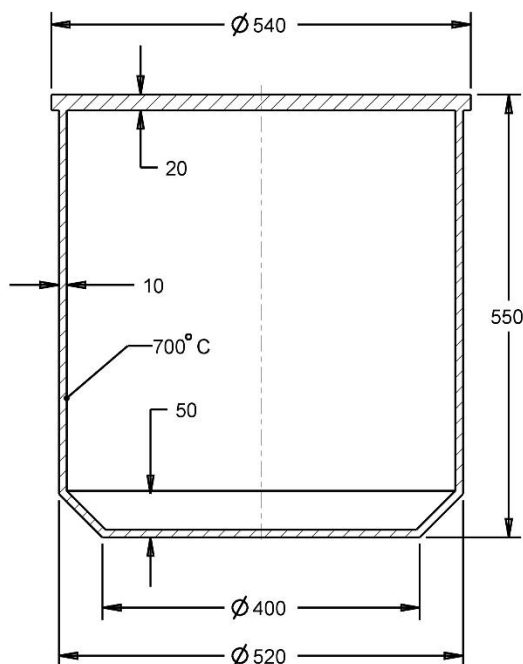
Vstupnou surovinou pre plazmové splynovanie je odpad. Môže sa jednať o bioodpad, komunálny odpad, kaly z čistiarní odpadných vôd, nebezpečný odpad z nemocníc a zdravotníckych zariadení, prípadne niektoré druhy odpadov z výroby.

Na elektródy je privádzaný prúd a plazmový oblúk vzniká medzi nimi, prípadne medzi elektródou a dnom reaktora, do ktorého sa vpúšťa plazmotvorný plyn. Najbežnejšie používaným plazmotvorným plynom je vďaka jeho dostupnosti dusík, ktorý sa v prítomnosti elektrického poľa vysokej intenzity transformuje na plazmu.

Výstupnou surovinou je okrem sklenej trosky a zliatin, aj syntézny plyn. V závislosti od percentuálneho zastúpenia horľavých zložiek, medzi ktoré patrí hlavne vodík a oxid uhoľnatý, po fázach chladenia a čistenia, je možné využívať vyrobený syntézny plyn na energetické účely napríklad spaľovaním v kogeneračných jednotkách [1].

2 NÁVRH SIMULÁCIE

Pre simuláciu bol zvolený zjednodušený model plazmového reaktora, znázornený na obr. 1. Pre riešenie je využitý princíp stacionárneho vedenia tepla zloženou valcovou stenou pri okrajovej podmienke 1. druhu. V tomto prípade je známa teplota povrchu zariadenia.



Obr. 1. Plazmový reaktor - základné rozmery

Na vonkajší obal bola umiestnená izolácia zo sklenej vaty o hrúbke 6 cm. Následne boli vykonané numerický výpočet a simulácia v programe Ansys CFX.

$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot (t_{s1} - t_{s3})}{\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{D_2}{D_1} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{D_3}{D_2}} \quad (\text{W}) \quad (1)$$

Okrajové podmienky boli definované nasledovne: teplota na vnútornej stene reaktora bola 700 °C a teplota na vonkajšej strane izolácie 25 °C.

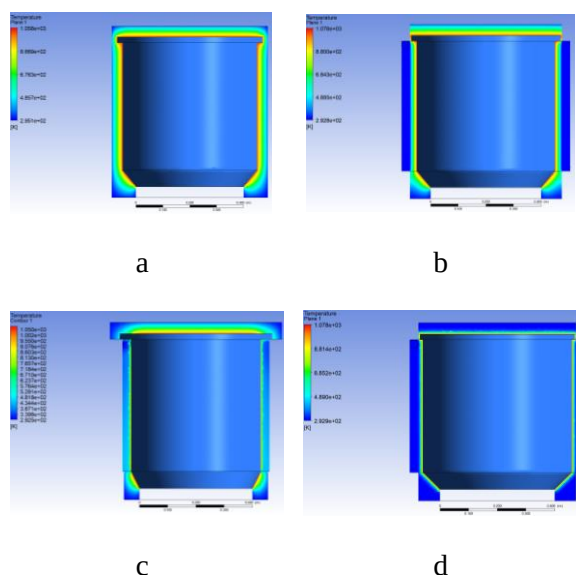
Numerickým výpočtom sa dospelo k výsledku tepelného toku 449,306 W, pričom pomocou simulácie v programe Ansys CFX k hodnote 450,45 W. Porovnaním týchto hodnôt sa zistila odchýlka numerického a simulačného výpočtu vedenia tepla na úrovni 0,25 %, čo predstavuje dostatočnú presnosť pre pokračovanie výpočtov pomocou simulačného programu Ansys CFX.

Následne boli vykonané simulácie, pri ktorých bol na reaktor umiestnený výmenník tepla pre

ohrev vody. Bolo zvolených niekoľko variant, pričom boli menené hrúbky izolácie medzi reaktorom a výmenníkom. Úpravou hrúbky izolácie sa menila teplota vody na výstupe z reaktora. Pre možnosť porovnania výsledkov sa pri jednotlivých simuláciách nemenil prietok vody cez reaktor. Teplota vody na vstupe do výmenníka bola 20 °C a prietok 0,1 m·s⁻¹. Priemer vstupného potrubia bol 0,03 m.

3 ROZBOR VÝSLEDKOV

Z výsledkov simulácie vyplýva nutnosť využitia vrstvy tepelnej izolácie medzi telesom reaktora a výmenníkom tepla, kde dochádza k ohrevu teplej vody. Na obr. 2a je zobrazený tepelný tok cez izolačnú vrstvu bez prítomnosti výmenníka tepla pre ohrev teplej vody. Na obr. 2b je zobrazený stav, kde je na povrchu izolácie inštalovaný výmenník tepla pre ohrev teplej vody. V tomto usporiadaní je hrúbka izolačnej vrstvy natoľko veľká, že izolácia predstavuje významnú prekážku pri prestupe tepla, k ohrevu vody dochádza z počiatočnej teploty 20 °C iba na teplotu 30 °C. Zmenou hrúbky izolačnej vrstvy sa mení aj tepelný tok, ktorý prechádza skrz izolačnú vrstvu do výmenníka tepla. V prípade neprítomnosti izolačnej vrstvy dochádza k prehrievaniu vody, pričom teplota sa môže dostať cez hranicu bodu varu, čím by dochádzalo ku skupenskej premeny vody a tým zvyšovaniu tlaku a poškodeniu aparatury.



Obr. 2. Rozloženie teplotných polí v izolácii a výmenníku tepla

Na obr. 2c dochádza k ohrevu vody na teplotu 179 °C. Vzhľadom na nastavenie simulácie sa neuvažuje o skupenskej premene vody. V tomto prípade je možné realizovať zníženie teploty a zvýšenie rýchlosti prúdenia kvapaliny na vstupe. Zvyšovanie rýchlosti prúdenia však bude mať za následok aj vyššie tlakové straty, čo bude zvyšovať nároky na čerpadlá.

Na obr. 2d je zobrazený stav, kde je hrúbka izolácie na úrovni 2 cm, k ohrevu vody dochádza z počiatočnej teploty 20 °C na teplotu 55 °C. Takýto rozdiel teplôt je už možné použiť pre ohrev teplej vody. Pre zvýšenie teploty vody na výstupe je možné meniť hrúbku prípadne typ izolácie, čím sa dosiahne vhodné nastavenie teploty vody na výstupe z výmenníka pre jej následné technologické prípadne užívateľské použitie.

ZÁVER

Z výsledkov simulácie vyplýva, že so správne navrhnutou izoláciou a prietokom vody je možné využiť odpadné teplo produkované plazmovým reaktorom pre ohrev teplej vody. Realizáciou umiestnenia výmenníka tepla na reálnom stolnom plazmovom reaktore bude následne vykonané porovnanie výsledkov simulácie so stavom počas reálnej prevádzky reaktora. Po získaní dát budú vytvorené rovnice pre výpočet hrúbky izolácie a požadovanej výstupnej teploty z výmenníka pre možnosť jednoduchého výpočtu potrebných

parametrov v prípade návrhu výmenníka tepla pre ohrev teplej vody.

POĎAKOVANIE

Tento príspevok vznikol za finančnej pomoci grantovej agentúry VEGA v rámci projektu VEGA 1/0108/19 a 1/0626/20 a grantovej agentúra KEGA v rámci projektu KEGA 005TUKÉ-4/2019.

POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] ČARNOGURSKÁ, M., LÁZÁR, M. Plazmové spracovanie odpadov. Košice: Vydavateľstvo Strojnícka fakulta, TUKE Košice, 2013. ISBN 978-80-553-1514-0
- [2] KLEČNEROVÁ, A., IMRIŠ, I. Zdroje a premeny energie. Prešov: ManaCon, 2007. ISBN 80-89040-29-2
- [3] MINCHENER, A. J. Coal gasification for advanced power generation. Fuel. 2005., 2222-2235.

Correspondence address:

Ing. Lukáš Tóth
Technická univerzita v Košiciach
Strojnícka fakulta
Katedra energetickej techniky
Vysokoškolská 4, 042 00 Košice
Tel.: +421 904 545 845
Email: lukas.toth@tuke.sk

RIADENIE SPRÁVY DÁT CEZ PLM A DP

Jozef TROJAN, Peter TREBUŇA, Marek MIZERÁK, Štefan KRÁL

Technical University of Košice, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Management, Industrial and Digital Engineering

jozef.trojan@tuke.sk, peter.trebuna@tuke.sk, marek.mizerak@tuke.sk, stefan.kral@tuke.sk

Abstrakt:

Tento článok popisuje dôvody, prečo je potrebné sa zaoberať riadením správy dát. Ďalej odpovedá na otázky kto potrebuje túto správu a hlavne prečo ju potrebuje. S každou výrobou a správou technologických celkov je potrebný spojený vznik sprievodných informácií, ktoré tieto produkty alebo zariadenia sprevádza od prvých návrhov až po recykláciu. Jedná sa o výrobné dáta a produktové informácie, ktoré sú v tomto článku špecifikované. Následne sú popísané nástroje pre správu dát o produkte PDM, ako aj ich kľúčové funkcie a rovnako stratégie správy životného cyklu produktu PLM s hlavnými cieľmi a prínosmi.

Kľúčové slová:

Výrobné dáta, produktové informácie, PLM, PDM

Úvod

Dôvodov prečo je potrebné zaoberať sa otázkou riadenia správy dát je viacero. V prvom rade je potrebné zodpovedať na otázku kto potrebuje túto správu.

Sú to spoločnosti, ktoré sú nútené vplyvom konkurenčného tlaku neustále zlepšovať svoje obchodné výsledky, zvyšovať efektivitu a produktivitu práce. Tieto spoločnosti sa musia neustále prispôbovať meniacim sa podmienkam a nárokom na trhu, kde sa vyskytujú so svojím profilom výrobkov. Navyše musia často spĺňať stále prísnejšie štátne nariadenia, rôzne regulačné predpisy a smernice. Typickými predstaviteľmi spoločností využívajúcimi tieto riešenia sú spoločnosti z rôznych priemyselných, ale aj civilných odvetví. Spomínané riešenia sa javia ako kľúčové pre automobilový a letecký priemysel, strojárstvo, elektrotechnický priemysel. Tieto priemyselné odvetvia sú napokon tiež motorom a iniciátorom vývoja týchto systémov.

Následne je potrebné zodpovedať si na otázku prečo je to potrebné. Všetky tieto vyššie uvedené aspekty si žiadajú plné využívanie informácií o produktoch a výrobných procesoch podniku, napriek tomu sú často v mnohých spoločnostiach informácie o produktoch a výrobných procesoch rozptýlené v niekoľkých systémoch, v rôznych databázach, alebo uložené len na pracovných staniciach či osobných počítačoch jednotlivých zamestnancov.

Pre tvorbu podnikových znalostí danej spoločnosti sa používajú rôzne nástroje a softvérové aplikácie. Nemenej dôležitá je skutočnosť, že existuje minimálne, či dokonca žiadne prepojenie týchto informačných systémov, a to aj v oblastiach spojených s vývojom produktu, v rámci ktorých sú

informácie v rôznych odboroch spracovávané rôznymi aplikáciami v rôznych formátoch. Výsledkom je rad oddelených informačných zdrojov. Tento fakt prispieva k znižovaniu produktivity práce a predlžovaniu doby uvádzania produktov na trh, teda faktorov, ktoré sú pre strategické ciele podniku kľúčové. Koordinovať a synchronizovať informácie o produktoch a výrobných procesoch podniku so všetkými súvisiacimi systémami, zostavami, súčiastkami a komponentami je veľmi náročné. Stáva sa pravidlom, že počet pracovníkov, ktorí potrebujú prístup k správnym, zrozumiteľným a aktuálnym informáciám v čo najskoršej fáze životného cyklu produktu, narastá.

Jednotný zdroj informácií o požiadavkách, návrhoch, dokumentácii, 3D modeloch a 2D výkresoch produktov ako ich súčiastok by teda umožňoval vykonávať jednotné a kompetentné rozhodnutia nielen samotných konštruktérov, ale aj investorov a ostatných účastníkov životného cyklu produktu. Preto teda existencia a využitie PDM a PLM riešení hrá čím ďalej tým vyššiu úlohu pre existenciu každej spoločnosti.

1 Výrobné dáta a produktové informácie

S každou výrobou a správou technologických celkov je potrebný spojený vznik sprievodných informácií, ktoré tieto produkty alebo zariadenia sprevádza od prvých návrhov až po recykláciu. Podľa charakteru a typu výroby môžu tieto informácie byť nielen v papierovej forme, ale aj v elektronickej podobe. Tým, ako sa historicky rozvíjali komunikačné technológie a presakovali do výrobnéj a nevýrobnéj sféry, sa postupne utvárala aj potreba uchovávať spracované papierové aj

elektronickú dokumentáciu - informácie obchodného, výrobného alebo finančného charakteru. Z tohto pohľadu rozlišujeme základné dva typy dát, informácií.

Výrobné dáta

Pod pojmom "produkty" si môžeme predstaviť produkty, ako sú automobily, počítače, chladničky, mobilné telefóny, hračky či lietadla. Mnoho produktov dnes tiež obsahuje softvér, firmvér, elektronické súčiastky, ktorých údaje musia byť riadené. PLM riešenie je možné použiť aj pre organizácie, ktoré musia spravovať rôzne distribučné siete, napr. Energia, telekomunikácie, voda, plyn, káblovú televíziu, alebo spoločnosti ako elektrárne, vrtné súpravy, budovy, letiská, prístavy, železničné systémy či logistické sklady a ďalšie inžinierske projekty.

Výrobné dáta teda môžeme chápať ako všetku dokumentáciu a informácie potrebné na vyrobenie produktu a zároveň jeho správu. Medzi tieto dáta patrí vývojová, výrobná a technologická dokumentácia a samozrejme ďalšie dokumenty súvisiace s uvedením výrobkov do výroby, na trh, s ohľadom na ich servis a podobne.

S použitím 3D konštrukčných systémov, ďalej nástrojov pre digitálnu validáciu výrobkov, simulácie sa bavíme o stovkách až tisícoch gigabajtov výrobných dát, ktoré musia byť spravované a pravidelne zálohované. Samozrejme je to dané veľkosťou spoločnosti, portfóliom a komplexnosťou výrobkov.

Produktové informácie

Jedná sa o informácie plne špecifikujúce produkt. Sú to informácie, ktoré detailne charakterizujú produkt, jeho parametre, cenu atď. Môžu to byť rôzne technické a dátové listy, produktové katalógy a iné. Táto ostatná dokumentácia, ktorá je súčasťou definície výrobku je takmer zanedbateľná, čo sa objemu dát týka, avšak hrá nemenej dôležitú úlohu v správe dát životného cyklu výrobku.

2 Product Data Management (PDM)

Jedná sa o sadu nástrojov pre správu dát o produkte, ktoré poskytujú samostatné alebo integrované prostriedky pre archiváciu, výmenu a analýzu digitálneho obsahu. Prepájajú medzi sebou dátové výstupy z jednotlivých aplikácií a umožňujú verifikáciu ich variantov, ľahké upravovanie existujúcich dokumentov a dát v kontexte životného cyklu. Súčasťou PDM systémov sú nástroje pre

podporu schvaľovacieho a posudzovacieho konania. Dáta sú v PDM systémoch analyzované a klasifikované najčastejšie pomocou užívateľsky definovaných atribútov na úrovni návrhu alebo použitých technológií. Tieto systémy uľahčujú a zefektívňujú prácu s rozpismi, kusovníkmi a ďalšími technickými dokumentmi. PDM nástroje podporujú často celý rad dátových formátov a sú priamo určené pre podporu tímových projektov CSCW (Computer Supported Cooperative Work).

Kľúčové funkcie systémov PDM

- Bezpečná správa dát

- riešia potreby a vedomostnú úroveň koncových užívateľov. Systém PDM by mal byť schopný poňať a spravovať všetky informácie týkajúce sa konštrukcie, vývoja a výroby. Užívatelia v každej fáze životného cyklu produktu musia byť schopní ľahko vyhľadávať a spracovávať dáta, ktoré sú pre ich prácu kľúčové a nevyhnutne potrebné. PDM systém musí zároveň rešpektovať vstupné oprávnenia a úrovne autorizácie, ktoré chránia duševné vlastníctvo a systémovú bezpečnostnú politiku podniku.

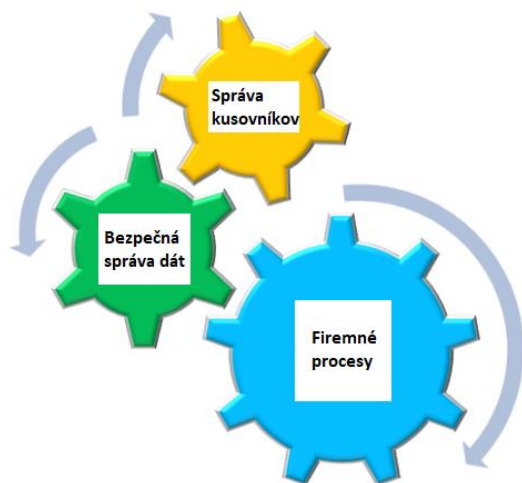
- Systém riadenia výrobných procesov

- umožňuje riadenie toku prác a procesov, ktoré sú nevyhnutne potrebné pre spoluprácu ako interných tímov, tak externých partnerov v rámci celého životného cyklu produktu. Systém PDM by mal zabezpečiť konzistentnú správu všetkých procesov pomocou pravidiel a osvedčených postupov. Automatizácia procesov potom umožňuje definovať a štandardizovať riadené pracovné procesy, ktoré môžu byť využívané v mnohých aplikáciách a produktových platformách.

- Systém riadenia konfigurácie (kusovníky)

- umožňuje vďaka systému PDM spravovať informácie o produktoch z akéhokoľvek zdroja a súčasne ich poskytovať na použitie, ak sú potrebné. Systém PDM by nemal len riadiť informácie naprieč celým životným cyklom produktu, ale súčasne všetky jeho fázy prepájať. Systém by tiež mal umožňovať vizualizáciu a grafické zdieľanie informácií bez potrebnosti zakúpiť a školiť sa na špecializovaný softvér. S nemenšou dôležitosťou by

systém PDM mal poskytovať transparentný prehľad kusovníkov, čo zahŕňa možnosť vzhliadnuť kusovník pred aj po vykonaní zmien, a to aj z rôznych pohľadov, ktorý by bol zrozumiteľný aj ne-technickým pracovníkom.



Obr. 1 Funkcie systémov PDM

3 Product Lifecycle Management (PLM)

Jedná sa o najkomplexnejšie stratégie správy životného cyklu produktu v produkčnej sfére, a to od konceptu nového produktu až do konca životnosti prístroja alebo zariadenia. Vo svojej podstate rozširuje pôvodné riešenie PDM (Product Data Management) o nové oblasti, ktoré vychádzajú z posilnenia orientácie produkcie na zákaznícke potreby. PLM riešenie v sebe združuje ako systémy, postupy a nástroje na riešenie problematiky priamo zviazané s realizáciou nového, prípadne inovovaného produktu, tak systémy, nástroje a postupy zabezpečenia správy vlastného digitálneho obsahu. Integrálnou súčasťou PLM je priama podpora ekonomických, účtovných, administratívnych a marketingových činností. PLM riešenia sú výrazne flexibilné voči zákazníckym potrebám, ktoré proces ako celok významne ovplyvňujú. PLM riešenie nie je len technológia, ale je to zároveň prístup, pri ktorom sú firemné procesy veľmi dôležité alebo ešte dôležitejšie ako samotné spravované dáta. Kým informácie obsahujú všetky médiá (elektronické i tlačené), PLM je v prvom rade o správe digitálnej reprezentácie týchto informácií.

Hlavné ciele PLM riešení

- Zvýšenie produktivity práce.
- Zrýchlenie vnútropodnikových procesov a ich optimalizácia.
- Skrátenie procesu vývoja produktu, zvýšenie konkurencieschopnosti.
- Skrátenie doby potrebnej pre zákazky a projekty a tým zvýšenie počtu realizovaných zákaziek, zníženie chybovosti a nákladov vo vývoji.

Hlavné prínosy PLM riešenia

Rozlišujeme tieto hlavné prínosy PLM riešení:

- jednotný zdroj informácií,
- plná kontrola nad firemnými procesmi,
- bezpečný a zabezpečený zdroj Know-how spoločnosti.

Jednotný zdroj informácií

Jedným z hlavných cieľov PLM riešení je zjednotenie zdrojov informácií a dokumentácie súvisiacej s produktmi do jediného zdroja a tento zdroj spravovať v rámci jednotného prostredia. Výsledkom je potom zamedzenie duplicitných zdrojov informácií, dostupnosť správnych informácií v správnom čase v danej etape životného cyklu produktu pre všetkých užívateľov.

Plná kontrola nad firemnými procesmi

Jedným z hlavných dôvodov, prečo sa spoločnosti rozhodujú pre PLM riešenia je ten, že nie sú schopné súčasnými prostriedkami postihnúť a podchytiť všetky špecifické procesy, ktoré sprevádza celý životný cyklus produktov tak, aby v jeho priebehu nedochádzalo k obchádzaniu nadefinovaných štandardov spoločnosti, a teda nie sú schopné garantovať ich opakovaný jednoznačný a zhodný priebeh.

PLM riešenia poskytuje nástroje pre správu firemných procesov, najlepších postupov v rámci spoločnosti, a to tým spôsobom, aby nadefinované firemné štandardy mali vždy zhodný priebeh s možným auditovaním schvaľovacích procedúr pre prípadné riešenie krízových situácií, reklamácií a pod.

Bezpečný a zabezpečený zdroj Know-how spoločnosti

PLM riešenie je ideálnym nástrojom pre zdieľanie firemného Know-how, teda zdieľanie firemných znalostí, skúseností v rámci jednotného

prostredia. Vďaka tomuto prístupu už nie sú spoločnosti toľko závislé na znalosti a skúsenosti jednotlivca a pri prípadnej fluktuácii špičkových pracovníkov si už so sebou neodnášajú všetku nadobudnutú znalosť. Tá je naopak vďaka PLM riešeniam naďalej uchovávaná pre ostatných užívateľov a prípadne novo prichádzajúcich zamestnancov.

Na druhú stranu sa PLM riešenie úspešne bráni prípadnej krádeži dát vďaka svojim bezpečnostným mechanizmom, ako je šifrovanie ukladaných dát, nedostupnosť fyzických dát na dátovom úložisku bežným užívateľom mimo prostredia PLM a pod.

Riešenia PLM spravidla poskytujú vlastné nástroje pre zálohovanie všetkých dát, alebo priamo podporujú existujúce zálohovacie riešenie.



Obr. 2 PLM Platforma

Záver

V súčasnosti si stále viac spoločností, ktoré už nejakú správu dát majú, uvedomujú, že zďaleka nevyužívajú celý potenciál existujúcich riešení, a hľadajú zdroje pre realizáciu plnohodnotného riešenie, napríklad aj s pomocou dotácií v rámci inovačných programov, atď. Väčšina spoločností trpí dlhým inovatívnym cyklom, pomalou reakciou na realizáciu ponúk, čo má samozrejme zásadný význam pre ekonomiku spoločnosti. Postupne začínajú chápať, že bez zmeny stratégie, konsolidácie nástrojov, zjednotenia zdrojov dát do jednotného prostredia nemajú inú možnosť ako tieto dva zásadné ciele realizovať, a tým zvýšiť konkurencieschopnosť.

Podakovanie

Tento článok bol vytvorený realizáciou grantového projektu APVV-17-0258 „Aplikácia prvkov digitálneho inžinierstva v inovácii a optimalizácii výrobných tokov“, APVV-19-0418 „Inteligentné riešenia pre zvýšenie inovačnej schopnosti podnikov v procese ich transformácie na inteligentné podniky“, VEGA 1/0438/20 „Interakcia digitálnych technológií na podporu softvérovej a hardvérovej komunikácie pokročilej platformy výrobného systému“ a KEGA 001TUKE-4/2020 „Modernizácia vzdelávania v priemyselnom inžinierstve s cieľom rozvíjať existujúce zručnosti v odbornom vzdelávaní v špecializovanom laboratóriu.“

Literatúra

- [1] Plinta, D. – Krajčovič, M. 2016. Production System Designing with the Use of Digital Factory and Augmented Reality Technologies. In *Advances in Intelligent Systems and Computing*. Vol. 350 (2016), p. 187-196. ISSN 2194-5357.
- [2] Dulina, L. – Edl, M. – Fusko, M. – Rakyta, M. – Sulirova, I. 2018. Digitization in the Technical Service Management System. In: *MM Science Journal*. No. 1 (2018). p. 2260 – 2266. ISSN 1803-1269.
- [3] Straka M., Kacmary, P., Rosova A., Yakimovich B., Korshunov A. 2016. Model of unique material flow in context with layout of manufacturing facilities, *Manufacturing Technology*, Vol. 16, No. 4, pp. 814-820.
- [4] Fusko, M. – Rakyta, M. – Krajcovic, M. – Dulina, L. – Gaso, M. – Grznar, P. 2018. Basics of Designing Maintenance Processes in Industry 4.0. In: *MM Science Journal*. No. March (2018), p. 2252-2259. ISSN 1803-1269.
- [5] <http://www.nertex.sk/mailling/20061006/>.

Correspondence address

Ing. Jozef Trojan
 Technical university of Košice
 Faculty of mechanical engineering
 Institute of Management, Industrial and Digital Engineering
 Park Komenského 9, 042 00, Košice
 Tel.: +421 55 602 3232
jozef.trojan@tuke.sk

OPTIMALIZAČNÉ KRITÉRIA PRE PROCES PLÁNOVANIA PROGRAMU

¹ Miloš UJLAKY, ² Teodor TÓTH, ³ Anton FRIČ

¹ Slovenská legálna metrológia, n. o.

² Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Katedra biomedicínskeho inžinierstva a merania

³ Slovenská technická univerzita v Bratislave, Strojnícka fakulta, Ústav automatizácie, meraní a aplikovanej informatiky
ujlaky@slm.sk, teodor.toth@tuke.sk, anton.fric@stuba.sk

Abstract

The process of participation as well as the organization of interlaboratory comparisons has its own framework rules. Comparability, adequate ILC measuring instrument, adequate reference are essential for successful ILC program organization, to a pre-declared level and to ensure the credibility of the results of the comparison. Basics of a successful program are based on detailed program planning. Case studies presented in the article, demonstrating the situation, easy impacts on the deterioration of the results, the search for the deterioration of evaluation programs. Correct understanding of the consequences critical points and the setting of appropriate optimization criteria is the basis for the successful organization of the ILC program.

Key words: (max. 5)

Interlaboratory comparison, ILC provider, ILC scheme, criteria for participation, assigned uncertainty, laboratory, calibration and measurement capability

ÚVOD

V snahe preukázať spôsobilosť vykonávať deklarované činnosti, by sa kalibračné laboratória, mali pravidelne zúčastňovať medzilaboratórnych porovnávacích meraní (ďalej len MLPM). Ide o významný krok v procese kalibračného laboratória, pretože výsledky účasti, majú zvyčajne dopad na dôležité rozhodnutia vo výrobe, v technologických procesoch, príp. na rozhodovanie regulačných orgánov. Základným predpokladom pre úspešnosť laboratória je účasť vo vhodnom a zároveň kvalifikovane spracovanom programe MLPM.

Zabezpečiť si účasť vo vhodnom programe je pomerne náročná úloha. Ponuka kvalifikovaných programov MLPM sa každým rokom zvyšuje, ale narastá aj počet laboratórií, ako aj kvalitatívne rozdiely medzi nimi. Príkladom sú požiadavky laboratórií, ktoré už v niektorých prípadoch disponujú výrazne lepšou technickou infraštruktúrou, ako doteraz bežne využívané referenčné laboratória z radov NMI. Opačným príkladom sú novovznikajúce alebo rozširujúce sa laboratória vykonávajúce činnosti na základnej kvalitatívnej úrovni, ale pri enormnej snahe ponúkať komplexnosť kalibračných služieb. Tento trend prináša nové požiadavky na kvalitnejšie programy, vznikajúce rozdiely v kvalite rozdeľujú účastníkov

a programy, a to všetko sa odzrkadľuje na nákladoch na organizáciu programov MLPM. Neznalosť základných pravidiel účasti v MLPM, či tlak regulačných orgánov spôsobuje, že laboratória sa prihlasujú do programov, ktoré nie sú kvalitatívne vhodné pre niektoré laboratória. Tlak na kvalitu programov MLPM, prináša nové problémy organizátora s výberom účastníkov, meradla, vhodnou stabilitou a výberom referencie. Pri organizácii kvalifikovaných programov MLPM a kritérií na účasť je nevyhnutné vychádzať z požiadaviek technických noriem.

1 POŽIADAVKY TECHNICKÝCH NORIEM

Technická norma EN ISO/IEC 17043: 2010 General requirements for proficiency testing [1] je referenčným dokumentom, konzistentným základom pre organizátorov skúšok spôsobilosti. Cieľom tohto dokumentu je podporiť dôveryhodnosť v činnosť organizátorov PT. Norma stanovuje všeobecné požiadavky na spôsobilosť organizátorov, na prípravu a vykonávanie programov PT.

Úvod, písm. a), g) **Error! Reference source not found.**

Medzi typické ciele PT patrí, o. i.:

a) vyhodnotenie výkonnosti laboratórií pri špecifických skúškach alebo meraní a priebežné sledovanie ich výkonnosti,

g) validácia deklarovaného odhadu neistôt,

Uvedený článok normy podporuje skutočnosť, že program PT má by navrhnutý tak, aby umožnil účastníkom programu PT, nielen potvrdiť porovnateľnosť ale aj validovať svoje deklarované CMC. Z uvedenej kapitoly, ako aj z nasledujúcich článkov, ako 4.4 Navrhovanie programov skúšok spôsobilosti a 4.4.1 Plánovanie nepriamo vyplýva, že program PT musí mať vopred plánovanú, známu kvalitatívnu úroveň, na základe, ktorej sa laboratórium rozhodne, či je konkrétny program PT vhodný na účel validácie deklarovanej CMC. Aby organizátor mohol deklarovať dodržanie kvalitatívnej úrovne musí pri plánovaní plniť požiadavky nasledujúcich článkov:

Článok normy 4.4.4.3 [1]

Organizátor MLPM musí pred začiatkom programu MLPM zdokumentovať, plán, ktorý bude zahrňovať ciele, a základný návrh programu včítane:

d) kritérií, ktoré budú požadované pre účasť v programe MLPM.

Článok normy 4.4.4.3 [1]

Pri navrhovaní štatistickej analýzy musí organizátor PT dôkladne zvážiť:

a) presnosť, podobne ako aj **neistotu merania požadovanú alebo očakávanú** pre každú meranú veličinu alebo charakteristiku PT.

Článok normy 4.4.2.3 [1]

Položky skúšok spôsobilosti **by mali v maximálnej miere odpovedať**, pokiaľ ide o maticu, merané veličiny a koncentráciu, **typu položiek** alebo materiálu, **ktoré sa vyskytujú pri rutinnom skúšaní alebo kalibrácií**.

2 PROGRAM MLPM

Programom MLPM sa rozumie porovnávacie meranie, zamerané na špecifickú veličinu v jednom či viacerých cykloch.

Zameranie programu vychádza z:

- požiadaviek laboratórií,
- technických možností zabezpečenia nadväznosti v danej oblasti,
- organizačných schopností organizátora.

Požiadavky laboratórií sú zvyčajne zamerané na účel porovnania, druh meradla, rozsah merania, kvalitu organizovaného programu. Pri zohľadnení uvedených požiadaviek organizátor pripravuje schému programu, ktorá je charakterizovaná ako návrh, plánovanie zámeru programu. Táto etapa

zohráva jednu z najdôležitejších úloh v procese organizácie, s najvýznamnejším vplyvom na úspešnosť programu MLPM.

3 NÁVRH SCHÉMY PROGRAMU MLPM

Schéma programu sa teda rozumie identifikácia a plánovanie procesov, ktoré majú priamy vplyv na kvalitu programu, s prihliadnutím na dostupné technické, odborné a organizačné možnosti. **Error! Reference source not found.** Úlohou organizátora je preskúmať možnosti organizácie programu podľa uvedených požiadaviek a stanoviť kritéria na účasť v programe MLPM. Jedno zo základných kritérií je v podobe neistoty merania, ktorá reprezentuje kvalitatívnu úroveň budúceho programu MLPM. Kvalita programu sa zvyčajne odvíja od očakávaného, potenciálneho účastníka s najlepšou CMC. V inom prípade, to je požiadavka vyplývajúca z legislatívnych predpisov, kde môže byť stanovená maximálna prípustná neistota merania, kde v §33, ods. 1, písm. o, zákon č. 157/2018 Z. z. o metrológii a doplnení niektorých zákonov [2] je uvedená:

Úrad autorizuje žiadateľa o autorizáciu, ktorý používa pri overovaní určeného meradla metódu merania, pri ktorej sa dosahuje rozšírená neistota merania nie väčšia, ako jedna tretina najväčšej dovolenej chyby určeného meradla pri overení, ak osobitné predpisy neustanovujú inak.

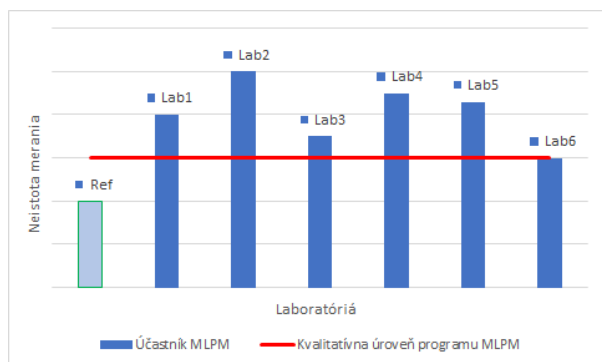
Takto stanovenú hodnotu môžeme nazvať aj ako charakteristickú úroveň programu MLPM. Od uvedenej úrovne sa odvíjajú kritéria pre:

- výber účastníka,
- výber meradla,
- referenčné laboratórium,
- technické a organizačné podmienky merania.

4 KVALITATÍVNA ÚROVEŇ PROGRAMU MLPM

Kvalitatívna úroveň predstavuje jedno z najdôležitejších kritérií pre účasť v programe MLPM. Ako bolo vyššie uvedené, kvalitatívna úroveň je reprezentovaná neistotou merania UMLPM. Obr. je príkladom úspešného, ideálneho programu MLPM, z ktorého je zjavné, že výsledky účastníckych laboratórií splnili kritérium na účasť v programe MLPM (neistota merania nebola nižšia, ako

stanovená charakteristická úroveň). Organizátor zabezpečil, z pohľadu prezentovanej neistoty merania, adekvátne referenčné laboratórium, nebola identifikovaná významná nestabilita, a teda výsledky je možné vzťahovať ku referenčnej hodnote s príslušnou neistou merania. Z obrázku je tiež zjavné, že charakteristická úroveň a referenčné neistota sú dve rôzne hodnoty (Uref nie je vopred známa).

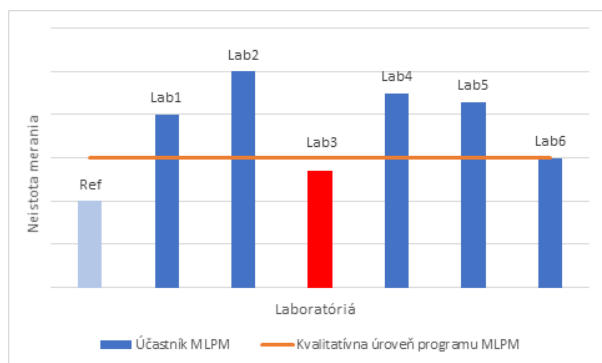


Obr. 1 Kvalitatívna úroveň programu MLPM

5 PRÍPADOVÉ ŠTÚDIE, KTORÉ MÔŽU OVPLYVNIŤ ÚSPEŠNOSŤ PROGRAMU MLPM

Na nasledujúcich obrázkoch sú znázornené situácie, ktoré môžu alebo ovplyvnili úspešnosť programu MLPM.

Prípadová štúdia č. 1



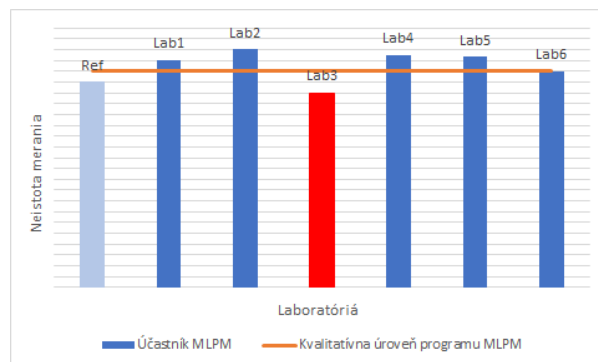
Obr. 2 Kvalitatívna úroveň programu MLPM v prípadovej štúdii č.1

Error! Reference source not found. znázorňuje situáciu po ukončení MLPM, kedy účastník Lab3, na rozdiel od ostatných účastníkov, uviedol neistotu nižšiu, ako bola vopred stanovená kvalitatívna úroveň daného programu.

Dôsledkom je, že účastník si, ignorovaním stanovenej kvalitatívnej úrovne, znižuje pravdepodobnosť svojej úspešnosti v programe

MLPM. Pri významnejšom odchylení sa od referenčnej hodnoty a pri štandardne používanej normalizovanej odchýlke na vyhodnotenie výsledkov (veľkosť uvedenej neistoty ovplyvňuje úspešnosť v programe MLPM) sa riziko neúspešnosti zvyšuje.

Prípadová štúdia č. 2

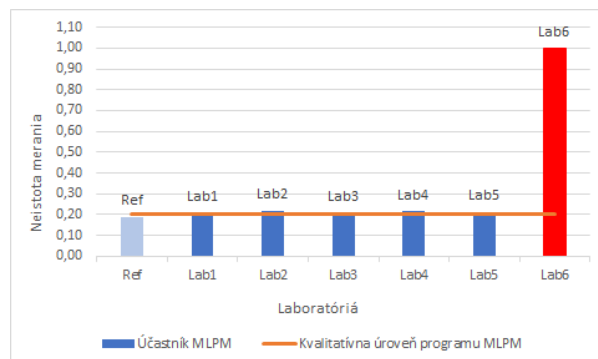


Obr. 3 Kvalitatívna úroveň programu MLPM v prípadovej štúdii č.2

Error! Reference source not found. znázorňuje situáciu po ukončení MLPM, kedy účastník Lab3, na rozdiel od ostatných účastníkov, uviedol neistotu nižšiu, ako bola vopred stanovená kvalitatívna úroveň daného programu a tiež ako neistota merania referenčného laboratória.

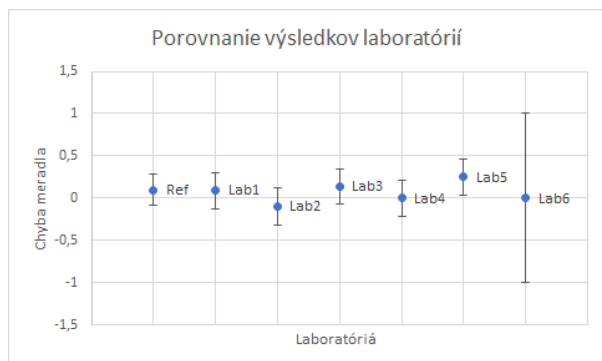
Dôsledkom je, že účastník MLPM si sám znemožnil validovať uvádzanú neistotu ignorovaním stanovenej kvalitatívnej úrovne programu MLPM. Význam účasti akreditovaného laboratória alebo laboratória v príprave sa v tomto programe sa z pohľadu účastníka stratil. Z iného pohľadu, je tu aj riziko neúspešného výsledku v MLPM, ako bolo uvedené v predchádzajúcom prípade.

Prípadová štúdia č. 3



Obr. 4 Kvalitatívna úroveň programu MLPM v prípadovej štúdii č.3

Obr. 4 znázorňuje situáciu po ukončení MLPM, kedy účastník Lab6 uviedol neprimerane vysokú neistotu (5-násobne). V uvedenom prípade vznikla situácia, že nebola zabezpečená porovnateľnosť účastníkov a použitý predmet MLPM sa zrejme vymyká z rutinne vykonávanej činnosti.

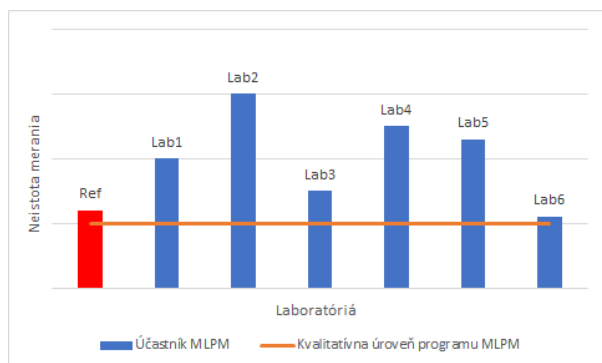


Obr. 5 Porovnanie chýb merania z jednotlivých laboratórií

Dôsledkom, je že účastník MLPM si účasťou (kvalitatívne neprimeraný program) zvyšuje pravdepodobnosť úspešnosti, vychádzajúc z predpokladu, že kvalitné meradlo bude mať minimálnu chybu. Ináč povedané, stačí mu bez merania stanoviť, že meradlo malo nulovú chybu.

Prípadová štúdia č. 4

Error! Reference source not found. znázorňuje situáciu po ukončení MLPM, kedy referenčné laboratórium uviedlo vyššiu neistotu ako stanovená kvalitatívna úroveň MLPM a tiež ako Laboratórium Lab6.

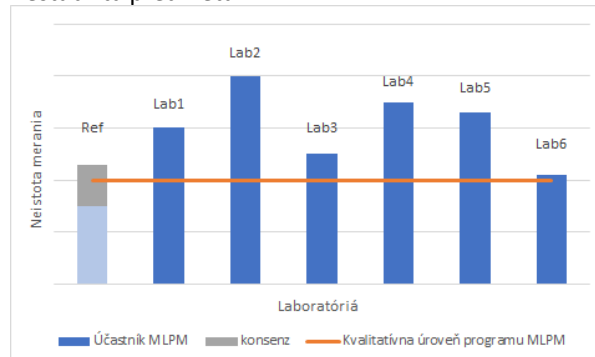


Obr. 6 Kvalitatívna úroveň programu MLPM v prípadovej štúdii č.4

Dôsledkom je, že program MLPM účastníkovi Lab6 neumožnil validovať svoju uvedenú neistotu merania. Pre tohto účastníka, účasť v programe, z pohľadu jedného zo základných cieľov MLPM, stratila význam.

Prípadová štúdia č. 5

Error! Reference source not found. znázorňuje situáciu po ukončení MLPM, kedy nebolo možné výsledky vzťahovať k výsledkom referenčného laboratória, pretože bola identifikovaná významná nestabilita predmetu MLPM.



Obr. 6 Kvalitatívna úroveň programu MLPM v prípadovej štúdii č.5

Dôsledkom je, že výsledky účastníkov musia byť vzťahované k vzťažnej neistote, ktorá zahŕňa aj vplyv nestability meradla. Navýšenie má následne dopad na skutočnosť, že program MLPM účastníkovi Lab6 neumožnil validovať svoju uvedenú neistotu merania. Pre tohto účastníka, účasť v programe, z pohľadu jedného zo základných cieľov MLPM, stratila význam.

7 VYHODNOTENIE A OPTIMALIZAČNÉ KRITÉRIÁ

S cieľom eliminovania vzniku uvedených nežiadúcich situácií, je nevyhnutnou úlohou organizátora prijať niektoré obojstranne nepopulárne opatrenia, ako nepripustenie účastníka do programu MLPM, ktorý nespĺňa vopred stanovené kritéria. Táto skutočnosť je ale v rozpore so snahou organizátora zapojiť do programu čo najväčší počet účastníkov, aby zabezpečil lepšiu výpovednú hodnotu porovnania a zároveň znížil účastnícke poplatky v programe MLPM. Optimalizačný prístup v tomto prípade musí vychádzať z dôkladnej analýzy požiadaviek potenciálnych účastníkov, s cieľom navrhnúť kvalitatívnu úroveň programu tak, aby pokryl požiadavky všetkých potenciálnych účastníkov. Optimalizačné kritérium:

$$U_{lab(cmc)} \geq U_{MLPM} \quad (1)$$

Ak však nie je možné pokryť všetky požiadavky, hlavne požiadavky kvalitnejších laboratórií, organizátor musí usmerniť laboratórium, že laboratórium si znižuje pravdepodobnosť svojej úspešnosti v programe MLPM.

V prípadoch, keď ide o účastníka s neprimerane horšou kvalitou, je nevyhnutné nepripustenie laboratória k účasti v programe MLPM. Alternatívou je justovanie meradla, čo však neprichádza do úvahy v každom prípade, vzhľadom na možnosti, ako aj rozsah justáže meradla.

Optimalizačné kritérium:

$$U_{\text{lab(cmc)}} \leq 3U_{\text{MLPM}} \quad (2)$$

Ak laboratórium zapojené do MLPM, uvedie výsledok merania s vyššiu neistotu, v porovnaní s tou ako sa prihlásilo do programu, musí laboratórium zdôvodniť navýšenie, preukázaním bilancie jednotlivých zložiek neistôt, ktorú musí analyzovať technický expert organizátora. Na základe výsledkov analýzy rozhodne či došlo k neočakávaným zmenám počas programu alebo ide o problém laboratória.

V iných situáciách, závislosti od dôvodov uvedenia vyššej neistoty merania referenčným laboratóriom, sa musí organizátor zamerať sa na výber kvalitnejšieho meradla, kvalitatívne lepšieho laboratória, resp. prispôsobiť kvalitatívnu úroveň programu technickým možnostiam plánovaného programu. Pri výbere kvalitných meradiel hrozí výber meradla, nad rámec rutinne kalibrovaných predmetov MLPM a to nie je prípustné.

Optimalizačné kritérium:

$$U_{\text{ref}} < U_{\text{MLPM}} \quad (3)$$

ZÁVER

Zabezpečiť vhodnú úroveň programu, vhodný predmet MLPM, dostatok porovnateľných účastníkov, adekvátnu vzťažnú hodnotu predstavuje časovo aj odborne náročný proces. Príprava programu predstavuje jednu z najdôležitejších etáp procesu MLPM. Aby uvedené prípadové štúdie ostali len v rovine teórie, je nevyhnutné venovať maximálne možný priestor príprave programu MLPM, nastaviť optimálne kritériá pre účasť v MLPM.

LITERATÚRA

- [1] STN EN ISO/IEC 17043: 2010 Posudzovanie zhody – Všeobecné požiadavky na skúšky spôsobilosti.
- [2] Zákon č. 157/2018 Z. z. o metrológii a o zmene a doplnení niektorých zákonov.
- [3] STN EN ISO/IEC 17025: 2018 Všeobecné požiadavky na kompetentnosť skúšobných a kalibračných laboratórií
- [4] ISO 13528: 2016 Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparison.

Correspondence address:

Ing. Miloš Ujlaky
Slovenská legálna metrológia
Odbor metrológie
Zemplínska 46, 040 01 Košice
Tel.: +421 55 720 2812
Email: ujlaky@slm.sk

PRELIMINARY DESIGN AND ANALYSIS OF A PROTOTYPE 3D PRINTED LINEAR PNEUMATIC ACTUATOR

Martin VARGA, Filip FILAKOVSKÝ, Ivan VIRGALA, Michal KELEMEN

Technical University of Košice, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechatronics, Slovakia
martin.varga.2@tuke.sk, filip.filakovsky@tuke.sk, ivan.virgala@tuke.sk, michal.kelemen@tuke.sk

Abstract:

Currently, most research on using additive manufacturing to construct a pneumatic actuator focuses mainly on bellows-type actuators. Parts for firm pneumatic actuators manufactured by FDM 3D printing exhibit properties that have detrimental effects on the optimal working of such actuators. In this paper, the design of three iterations of FDM 3D printed pneumatic actuators are presented. The problems arising from not using any postprocessing on either of the parts and using only 3d printed parts for the construction are also discussed. In the final chapter, the design hurdles for the design and manufacturing of such an actuator are presented.

Keywords:

3D printing, pneumatics, actuator

INTRODUCTION

Material additive manufacturing technologies commonly referred to as 3D printing technologies have been a part of manufacturing since 1980. 3D printing technologies allow to manufacture of prototypes faster and often much cheaper than using traditional manufacturing methods. Apart from that, 3D printed parts can have geometry difficult or even impossible to achieve using other methods.

On the other hand, 3D printed parts, in general, suffer from the coarse surface finish, anisotropy in physical properties, and depending on the technology applied, lower-dimensional accuracy.

This is one reason why parts requiring smooth surface finish and dimensional accuracy are still being predominantly manufactured using standard manufacturing techniques.

One such field on which little literature can be found is 3d printing classical pneumatic and hydraulic linear actuators. Usually, research focuses more on developing and using bellows-type actuators. An example of this can be found in [1] where a soft bellows-type actuator attached to rigid links and variable stiffness joints simulates a grasping finger. True firm linear pneumatic cylinder type actuators manufactured using FDM 3D printing can be found in [2] and [3] where linear actuators made using FDM 3D printing are

presented. Here, some parts, namely, the piston rod, friction rings, and gaskets are not made by FDM 3D printing because the authors concluded that properties not achievable by FDM 3D printing are needed. The actuator was applied to construct a pneumatic linear servo actuator and a jumping robot. In [4] a design for a completely printed single part multi-material piston and seal assembly for a full plastic linear hydraulic microactuator for use in medical robots is presented. In all of these examples, components that needed to have special properties, e.g. smooth surface finish, high strength, etc., were either not made using 3D printing, or were post-processed.

The question asked in this article is whether it is possible to manufacture a pneumatic cylinder using only FDM 3D printing without postprocessing any of its parts and what are the challenges that need to be overcome before such an actuator can be used in an application.

1 Manufacturing process

The manufacturing technology for the pneumatic cylinders was chosen to be FDM 3D printing. As mentioned above, this is the most affordable and widespread 3D printing technology, which still allows for the manufacturing of detailed and strong parts.

This technology functions by first discretising (slicing) the 3d model of the object into separate horizontal layers which are manufactured by the 3D printer on top of each other (Fig. 1 and 2). Each layer is in turn made from extruded plastic filament drawn across a layer and fused together to form the layer. Every layer has a spot where the start of the print path meets the end of the print path. This spot is called the seam and corresponds to a spot of decreased surface finish.

As one can see from the figures above, the final part will have different tribological and strength properties along the layer lines compared to the direction normal to the layer lines. The strength of PLA parts along the layer lines according to [5] is around 50 MPa. Strength normal to the layer lines can be much lower, the difference is heavily influenced by the settings of the manufacturing process.

One other issue is that the parts manufactured using FDM 3D printing are not necessarily airtight as pores are created within the volume of the material during manufacturing (see Fig 3).

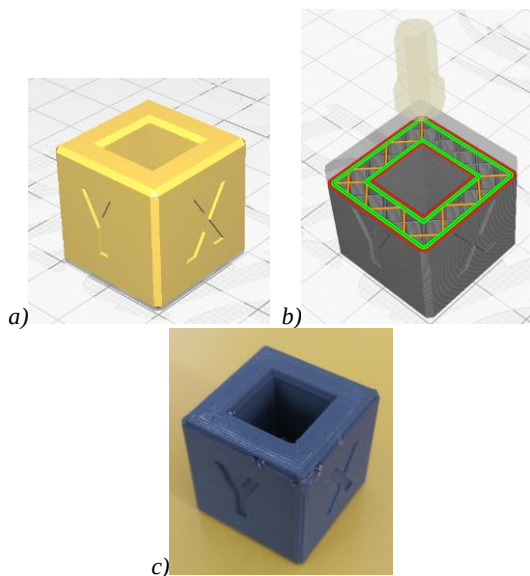


Fig. 1 Production cycle of a FDM 3D printed part
a) 3D model b) sliced model with toolpaths c) finished part

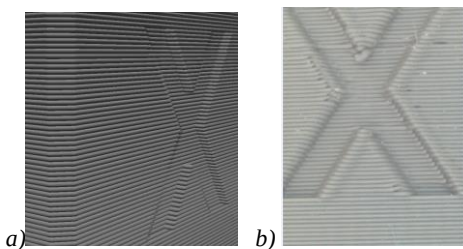


Fig. 2 Closeup on the structure of a 3D printed part
a) theoretical a.k.a. within slicing software b) real

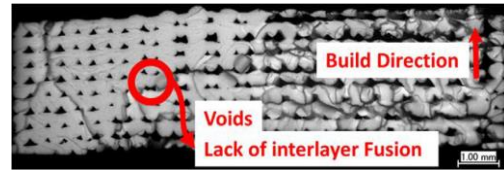


Fig. 3 Microfractographs of 3D printed samples using FDM. Different raster orientation plays an important role in the mechanical behavior of parts **Error! Reference source not found.**

2 Basic construction of industrial-grade pneumatic actuator

Linear pneumatic actuators are widely used, mainly in manufacturing plants. These actuators provide a good ratio of power to weight whilst being much cheaper and easier to integrate than other types of linear actuators [7].

The basic construction of a linear pneumatic actuator can be seen in Fig. 4.

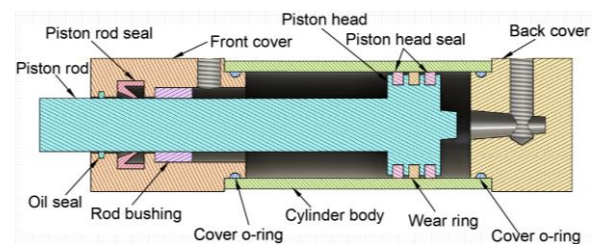


Fig. 4 Schematic sketch of a basic pneumatic linear actuator

The inner working of such an actuator is simple. Adding pressurised liquid or gas to one side of the piston head produces a pushing force acting on the piston head.

There are two sets of components in this assembly. There are the structural components: Back and front cover, cylinder body and rod bushing forming the cylinder body assembly and piston rod, the piston head and wear ring forming the piston rod assembly. These provide structural integrity and eliminate unwanted degrees of freedom for movable parts of the actuator.

The other set of components are the sealing components: piston rod seal, piston head seals, oil seal, and the two cover o-rings. These components provide sealing from the pressure medium leaking from one side of the piston head to the other and from inside of the actuator out, which would reduce the efficiency of the actuator.

One very important detail to point out is that, although the wear ring and rod bushing facilitate low friction movement for the rod assembly relative to the cylinder body assembly, these two assemblies, in an ideal case, should, through the movement of the piston assembly, not touch. The

piston rod assembly and actuator body assembly are connected through the piston rod seal and piston head seal. This fact can be easily seen on the commercial pneumatic linear actuator SMC CD85E10-50S-B (see Fig.5) where there is noticeable play in a radial direction between the piston rod assembly and cylinder body assembly.



Fig. 5 Linear pneumatic actuator SMC CD85E10-50S-B

3 Design and manufacturing of linear pneumatic actuator prototypes

Three iterations of the pneumatic linear actuator were designed and manufactured. The basic design of the prototypes is based on the design of the SMC CD85E10-50S-B.

The design of the prototype was subjected to the following prerequisites:

1. The whole actuator including the seals is going to be 3D printed except the inlet fittings.
2. The maximum pressure for testing the designs must, for safety reasons, not exceed 3bar.
3. The default layer height for the structural printed parts is chosen to be 0.2 mm for faster printing.
4. No surface of the actuator is going to be subjected to postprocessing and no lubrication is going to be used.

The main parameters used for 3D printing can be found in Tab. 1:

TAB. 1 BASIC PRINT SETTINGS USED FOR MANUFACTURING OF LINEAR PNEUMATIC ACTUATORS

Parameter	value
Nozzle diameter	0.4mm
Layer height	0.2mm
Number of top/bottom layers	5
Perimeters	7
Extruder print temperature	205 °C
Print speed	60 mm/s
Cooling	100%

The machine used to manufacture the testing cylinder was chosen to be a stock Creality Ender 3. This is a very popular and cheap machine able to produce parts with satisfactory surface finish and

physical properties without the need to modify the machine.

The material for manufacturing of structural components was chosen to be 3DFactory luminous red PLA and for the seals FIBER3D TPU black. These materials were in stock and are generally easily available.

Taking the basic design of an industrial-grade design as a template, three consecutive iterative prototypes of linear actuators were made. Because 3D printing offers more freedom in the design of a part, the basic design of an industrial-grade design was adapted to utilize the advantages and conform to the limitations of FDM 3D printing.

The cross-sections of all three prototypes can be seen in figures 6 to 8.

As can be seen in Fig. 6 the overall construction is simpler than the example cylinder. The back cover is fused with the actuator body, the front cover is a screw-on cap whose front part functions as the rod bushing. There is no wear ring and the rod seal, and the front o-ring seal is also fused into a single-sealing cap. The piston head seals have a cup shape and are pressed against each other by a tightening nut.

This first iteration was functional allowing the piston to extend if pressurised to 2 bars. Unfortunately, this version suffered from high amounts of pressure air leaking through both the piston rings and front sealing cap. This issue was exasperated by the missing wear ring and loose tolerances allowing the rod to move radially opening a path around the seals.

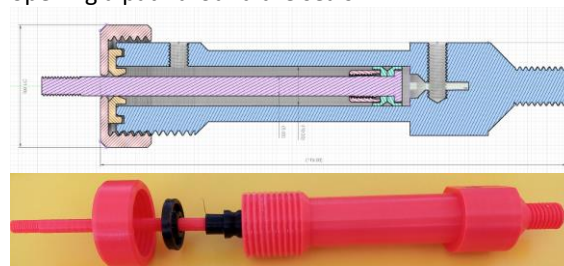


Fig. 6 First iteration of a 3D printed linear actuator and finished parts of the first iteration of a 3D printed linear actuator

The second iteration shown in Fig. 7, has a redesigned front cap acting again as the rod bushing and the rod has a widened back section taking on the role of the wear ring. Also, the front cap seal and front rod seal are two separate parts now. The diameter of the front rod seals was increased to decrease pressure air blow through. The body and piston were shortened, to decrease the material and time needed for manufacturing.

The back tread of the actuator body got damaged during testing resulting in the threaded

section breaking in half. This resulted in pressure air escaping through the porous material of the cylinder. Also, the increase in the diameter of the seals slightly decreased pressure air escape. Unfortunately, due to the increased contact force between the seals and the rough actuator body of the bore the piston was not able to move at 3 bar of inlet pressure.

The final prototype is shown in figure 8. In this design, the cylinder body was again simplified, and tolerances were adjusted. Also, a different design of the piston seal was implemented, this time using a lamellar shape. The new seal design decreased the friction forces between the seal and bore, but the air leakage was audibly higher, nonetheless, the movement was achieved. Replacing the new piston seals with the seals from the first version showed the best results.

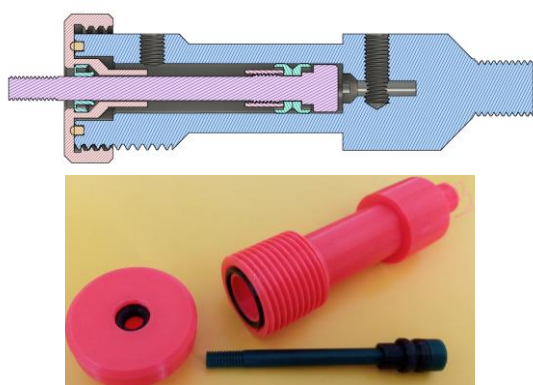


Fig. 7 Second iteration of a 3D printed linear actuator and finished parts of the second iteration of a 3D printed linear actuator

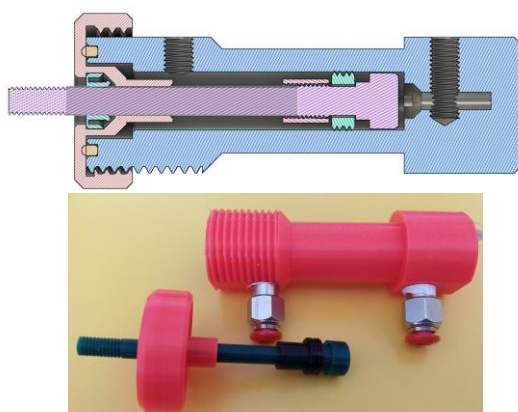


Fig. 8 Third iteration of a 3D printed linear actuator and finished parts of the Third iteration of a 3D printed linear actuator

In Tab. 2 one can see the extension force exerted by all three prototypes at a pressure of 3bar. Because the printing parameters were for all three prototypes the same, the variation of extension force is mainly due to seal design and

random factors arising through the manufacturing process. The thick half-cup seal's diameter was too large leading to substantial binding through the tests and not producing reliable results.

The static friction forces and friction were measured for the first cylinder and every seal (see Tab. 3).

TAB. 2 EXTENSION FORCE AT 3BAR

cylinder prototype no.	seal	extension force [N]	theoretical/measured force [%]
1	halfcup	13	55,1
1	thick halfcup	n/a	n/a
1	lamelar	8,8	37,3
2	halfcup	11	46,6
2	thick halfcup	n/a	n/a
2	lamelar	9,6	40,7
3	halfcup	12	50,8
3	thick halfcup	n/a	n/a
3	lamelar	9,8	41,5

TAB. 3 EXTENSION FORCE AT 3 BAR

Friction Ra	static force (brake off force) [N]		
	Halfcup seal	Lamelar seal	Thick halfcup seal
1,136	10,2	1,22	40,2

4 Encountered design hurdles

As can be seen from the prototypes, there are significant hurdles to overcome in designing and manufacturing of a practical linear pneumatic actuator on a cheap desktop 3D printer. The main problems that need to be addressed are:

1. Surface friction control- surface roughness and material significantly influence the friction force between the surface cylinder body assembly and piston assembly.
2. Seam quality control- the presence of a protruding seam negatively influences actuator performance (see Fig. 9 and Tab 4).
3. Tolerance control- improper dimensions of components affect seal blow through and friction forces.
4. Seal design- 3D printing allows for novel seal design with unique properties.
5. Material integrity control- both structural integrity at higher pressure and minimisation of pressure air escaping through the pores of the material of the cylinder need to be assured.

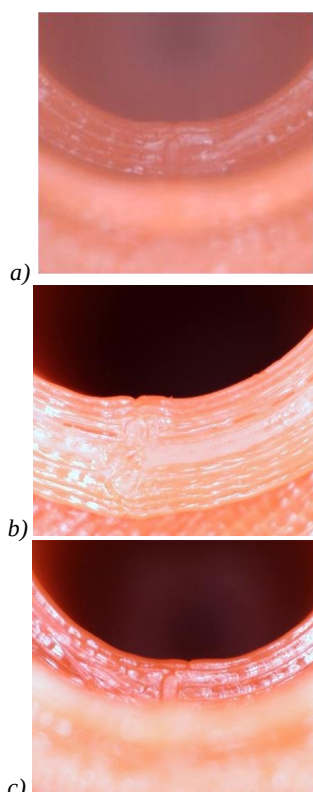


Fig. 9 Inner bore seam 50x magnification a) 1st prototype, b) 2nd prototype, c) 3rd prototype

TAB. 4 SEAM HEIGHT

Prototype No.	Seam height [μm]
1	126
2	176
3	144

CONCLUSION

In this paper, the design of three prototypes of not post-processed full plastic linear pneumatic actuators manufactured by FDM 3D printing and the topics that need to be addressed before these actuators can perform with satisfactory performance are presented. This paper is supposed to be a starting point for further research, pointing towards further work that needs to be done and giving basic information. Further topics for research can be, for example, on the ways to decrease the friction within the actuator, on reducing the negative effects of the seam on the performance of the actuator, on new seal designs, performance tests. This work will hopefully lead to the development of a new class of reliable actuators with properties only achievable using 3D printing manufacturing technologies.

Acknowledgments

The authors would like to thank the Slovak Grant Agency - project KEGA 030TUK-4/2020 and project VEGA 1/0389/18.

References

- [1] YANG, Y. - YONGHUA, Ch. - YINGTIAN, L. - CHEN, M. - WEI, Y.: Bioinspired Robotic Fingers Based on Pneumatic Actuator and 3D Printing of Smart Material Kong, China. Soft Robotics Vol. 4, No. 2
- [2] NALL, Ch. L. - BHOUNSULE, P. A.: A Miniature 3D Printed On-Off Linear Pneumatic Actuator and Its Demonstration into a Cartoon Character of a Hopping Lamp Actuators 2019, 8, 72; doi:10.3390/act8040072
- [3] KRAUSE, J. - BHOUNSULE, P. A.: A 3D Printed Linear Pneumatic Actuator for Position, Force and Impedance Control Actuators 2018, 7, 24; doi:10.3390/act7020024
- [4] SIEGFARTH, M. - PUSCH T. P. - PFEIL, A. - RENAUD, P. - STALLKAMP, J.: Multi-material 3D printed hydraulic actuator for medical robots Rapid Prototyping Journal Emerald Publishing Limited [ISSN 1355-2546][DOI10.1108/RPJ-07-2019-0205]
- [5] ONCESCU, I. C.: PLA 3D printed Tensile Test ResearchGate, https://www.researchgate.net/publication/342317458_PLA_3D_Printed_Tensile_Test [access 05.8.2020].
- [6] MIRZENDEHDEL, A. M. - RANKOUHI, B. - KRISHNAN, S.: Strength-Based Topology Optimization for Anisotropic Parts, 2214-8604/© 2017 Elsevier B.V.
- [7] VIRGALA, I., KELEMEN, M., PRADA, E., LIPTÁK, T., Positioning of Pneumatic Actuator Using Open-Loop System, In: Applied Mechanics and Materials, Vol. 816, pp. 160 – 164, ISSN 1662-7482

Correspondence address:

Ing. Martin Varga
Technical university of Košice
Faculty of Mechanical Engineering
Department of Mechatronics
Letná 9, 04200 Košice, Slovakia
Tel.: +421556024367
Email: martin.varga.2@tuke.sk

ANALÝZA MOŽNOSTÍ SEGMENTÁCIE STAVCOV Z DICOM DÁT

Patrik VARGA, Marek SCHNITZER, Radovan HUDÁK,
Teodor TÓTH, Jozef ŽIVČÁK

Technická Univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Katedra Biomedicínskeho inžinierstva a merania, Slovensko
patrik.varga@tuke.sk, marek.schnitzer@tuke.sk, radovan.hudak@tuke.sk, teodor.toth@tuke.sk, jozef.zivcak@tuke.sk

Abstrakt:

V medicínskej praxi sa čoraz častejšie používajú na plánovanie operácií a výučbu modely častí tela vyrobené aditívnymi technológiami. Aditívna výroba je vhodným nástrojom na fyzickú reprezentáciu anatomických štruktúr získaných z CT a MRI skenov. Na trhu je množstvo freeware a platených softvérov určených na prácu s DICOM, preto je dôležité porovnanie presnosti výstupov týchto softvérov. Príspevok sa zaoberá separáciou tretieho krčného stavca pri rôznych parametroch Tresholdu v softvéroch VGStudio MAX, Mimics a inVesalius. Z porovnaní vyplýva, že vzhľadom k modelu z VGStudio MAX je pre 95% pokrytia povrchu odchýlka 0,935mm a pri porovnávaní medicínsky orientovaných softvérov (Mimics, inVesalius) je odchýlka 0,356mm.

Kľúčové slová:

reverzné inžinierstvo, segmentácia kostného tkaniva, predoperačné plánovanie

ÚVOD

Štúdium anatómie je dôležitou súčasťou lekárskeho vzdelávania [1]. V minulosti sa vizualizácia anatómie pacienta obmedzovala na použitie rádiografov [2]. 3D tlačéné modely umožňujú interaktívne štúdium morfológických znakov anatomických objektov **Error! Reference source not found.**[6], ktoré sú prospešné pre predoperačnú prípravu, simuláciu operácií a tiež školenie štážistov [7]-[10]. Simulačné chirurgické školenie s anatomickými modelmi skracaie čas na operačnom sále, riziká chirurgických zákrokov a náklady na zdravotnú starostlivosť **Error! Reference source not found.**[9]. Medzi výhody použitia 3D tlačéných modelov vo výskume patria: použitie špecifických CT / MRI údajov pacienta, presná morfológia, vyhýbanie sa etickým problémom pri používaní kadaverózných vzoriek, prekonávanie obmedzeného počtu kadaverózných vzoriek **Error! Reference source not found.** 3D modely ponúkajú tiež potenciálne nové médium na zlepšenie komunikácie a porozumenia medzi lekármi a pacientmi [12]. Anatomické modely sa používajú v rôznych oblastiach medicíny vrátane ortopedie, maxilofaciálnej chirurgie, kardiológie a

súdného lekárstva [12]**Error! Reference source not found.**

1 SPRACOVANIE CT DÁT A ANALÝZA VÝSLEDKOV

Miestom záujmu tejto štúdie je krčná chrbtica, nakoľko je často postihovaná traumatickými udalosťami, kde je obzvlášť dôležité predoperačné plánovanie. Ako vstupné údaje boli použité CT dáta z cervikálnej oblasti chrbtice vo formáte DICOM s rozlíšením 0,287x0,287x0,625mm a snímaným objemom 147x147x194,375mm. Údaje boli spracované v softvéry Mimics (Materialise, Belgium) určenom na spracovanie údajov z medicínskych tomografov a MRI zariadení, a v softvéry VGStudio MAX (Volume Graphics, Germany) určenom pre spracovanie údajov z priemyselných počítačových tomografov a vo voľne dostupnom softvéry pre spracovanie medicínskych dát inVesalius (Center for Information Technology Renato Archer (CTI), Brazil). Cieľom je zistenie vplyvu použitého softvéru na výsledný model, ako aj analýza rozdielov medzi jednotlivými

softvérmí čo sa týka náročnosti pri segmentácii a úprave 3D modelu vybraného stavca.

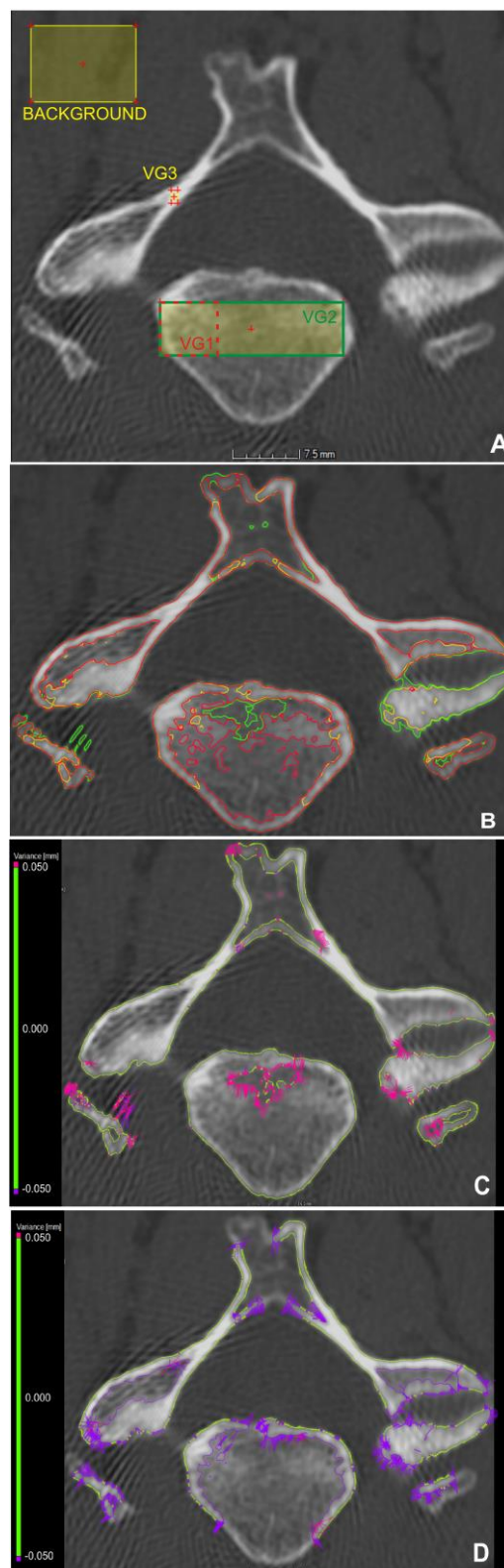
2 METODIKA SPRACOVANIA ÚDAJOV VO VGStudio MAX

Metodiku základného spracovania údajov za účelom získania povrchu vybraného stavca je možné rozdeliť do troch bodov:

1. vytvorenie „region of interest“ pre vybraný stavec,
2. stanovenie povrchu kostných štruktúr,
3. extrakcia vybraného stavca.

Import údajov do softvéru VGStudio MAX prebieha vo forme DICOM dát s kontrolou parametrov importu (rozlíšenie, skladanie snímok). Z dôvodu jednoduchšieho spracovania údajov bol vytvorený a extrahovaný *region of interest* (ROI) obsahujúci tretí krčný stavec a časti priľahlých stavcov. Vzhľadom na to, že sa nejedná o medicínsky orientovaný softvér a multi-materiálovú povahu vzorky (časť ľudského tela), nie je možné stanoviť povrch vzorky na základe histogramu. Pri importe DICOM dát nie sú hodnoty udávané v stupňoch šedej (grayscale) <0, 65535> ale v hounsfield units (HU). Stanovenie povrchu (thresholding) je potrebné pre generovanie regiónu pre extrakciu vybraného stavca. Nastavenie parametrov pre povrch má výrazný vplyv na výsledný povrch objektu a jeho presnosť. Z tohto dôvodu bolo prikrčené k stanoveniu parametrov manuálne.

V rámci extrahovanej oblasti záujmu (extracted ROI) bol stanovený povrch s použitím manuálneho nastavenia pozadia a materiálu a použitím možnosti *Advanced so Search distance 2mm* pre *Starting contour healing option, Remove particles and all voids*. V rámci vytvorenia povrchu boli testované tri nastavenia parametrov *Backgroud* a *Material*. Na obr. 1A sú vyznačené regióny pre určenie povrchu (VG1 purple, VG2 green, VG3 yellow) a na obr. 1B sú farebnými čiarami znázornené ohraničenia pre určenie povrchu pre jednotlivé nastavenia.



Obrázok 1. Oblasti pre určenie povrchu (A), získané povrchy (B), VG2 a VG1 porovnanie (C), VG3 a VG2 porovnanie (D)

Pri nastavení VG1 je materiál zameraný na kortikálnu časť a hustejšiu oblasť spongiózy, pri nastavení VG2 je výber nastavený na kortikálnu aj

spongióznú časť kosti a pri VG3 iba kortikálnu kosť (Obr. 1A). Povrch je vytváraný pri všetkých nastaveniach približne na rovnakom mieste. Hodnoty pre stanovenie povrchu sú uvedené v Tab. 1.

TAB. 1. HODNOTY PRE STANOVENIE POVRCHU

Stanovenie povrchu	VG1	VG2	VG3
Pozadie	32	18	29
Materiál	743	545	1746
Isosurface	388	282	887

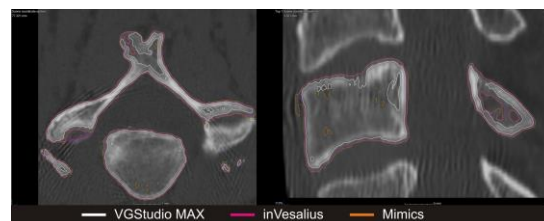
Na základe ohraničenia kostných štruktúr (Obr. 1B) je možné konštatovať, že nastavenie VG1 sa oproti nastaveniu VG2 líši hlavne v množstve detailov vnútorných štruktúr stavca a v nižšej miere šumu. Vonkajšie obrysy vykazujú minimálne odchýlky. Nastavenie VG3 oproti predchádzajúcim nastaveniam ohraňuje jednoznačné kostné štruktúry, ale v prípade ak má štruktúra menšiu hrúbku alebo nižšiu hustotu tak ju softvér neidentifikuje ako kosť. Ohraňované vonkajšie kostné štruktúry vykazujú oproti nastaveniam VG1 minimálne odchýlky. Na Obr. 1C sú znázornené odchýlky medzi nastaveniami VG2 (aktual) a VG1 (nominal) a Obr. 1D odchýlky medzi VG3 (aktual) a VG2 (nominal), pričom *aktual* je porovnávaný povrch. Zelené ohraňovanie predstavuje odchýlky menšie ako $\pm 0,05\text{mm}$, fialové väčšie ako $+0,05\text{mm}$ a bordové väčšie ako $-0,05\text{mm}$. Porovnávanie sa uskutočnilo v softvéri VGStudio MAX, modul New aktual/nominal porovnanie s maximálnou vyhladávacou vzdialenosťou $0,2\text{mm}$.

Na základe stanoveného povrchu bol nástrojom ROI z povrchu vytvorený región z povrchu kostí. Tento bol následne nástrojom Draw upravovaný, kde boli odstránené nepotrebné časti susedných stavcov, upravené chyby na požadovanom stavci (odobratie resp. pridanie povrchu) a odstránené vnútorné štruktúry nakoľko nie sú potrebné pre tlač. Vytvorený región bol využitý ako *Starting contour* pre určenie finálneho povrchu zvoleného stavca, pričom nastavenia pre *Starting contour healing* a *Search distance* ostali zachované. Výsledný stavec bol exportovaný do formátu STL súboru s nastavením *Super precise* s toleranciou $0,072\text{mm without simplification}$). Vytvorenie modelu trvalo približne 30 minút.

1.1 METODIKA SPRACOVANIA ÚDAJOV V MIMICS

Postup v softvéri Mimics pozostával z importu DICOM dát, kde na začiatok bolo potrebné nastaviť rozsah hodnôt Thresholdu pre kosti z CT dát v koronálnom reze. Tá má hodnotu 226 až 3071 HU, pričom sa daná oblasť, pre zjednodušenie

segmentácie ohraňovala s nami zvoleným krčným stavcom, vyznačila zelenou farbou. Pre spresnenie segmentácie krčných stavcov sa použil nástroj *Region Growing* a odstránili sa nepotrebné časti stavcov. Po opätovnom použití nástroja *Region Growing* sa označil nami zvolený stavec fialovou farbou. Po označení sa vytvoril hotový 3D model stavca z ktorého bol následne vyexportovaný STL súbor pre porovnanie povrchu. Model pri týchto parametroch bol označený ako M1. Rovnaký postup sa použil pre vytvorenie modelu M2 na základe údajov z VGStudio MAX pre nastavenie VG1 $\langle 394;3071 \rangle$. Cieľom bolo stanoviť vplyv hodnoty thresholdu na výsledný model. Porovnanie vykonané v softvéri VGStudio MAX kde nastavenie M1 bolo použité ako *nominal*, M2 ako *aktual*.



Obr. 2. Vyrovnávanie výstupov zo softvéru VGStudio MAX (biela čiara), Mimics (oranžová čiara) a InVesalius

1.2 METODIKA SPRACOVANIA ÚDAJOV V inVesalius

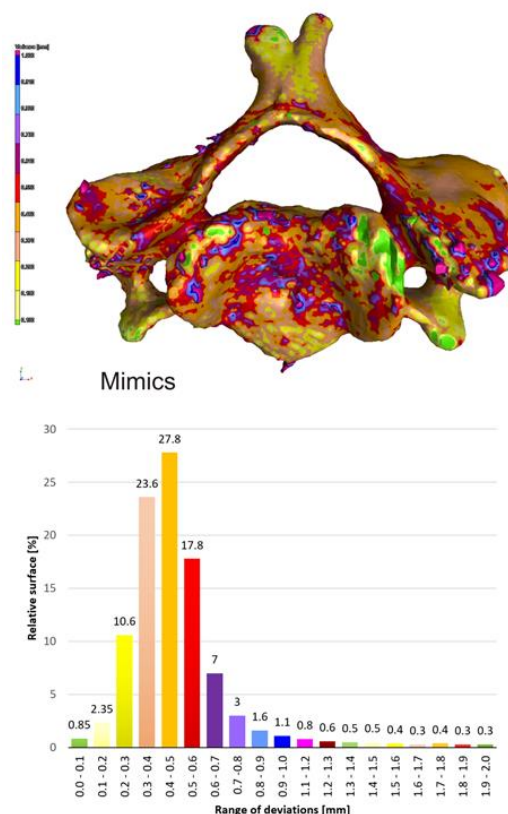
Na začiatku bolo nutné importovať DICOM dáta a vybrať sadu snímok. Následne sa urobil thresholding na materiál "kosť" s hodnotou $\langle 226;3071 \rangle$ HU označený V1 a na základe údajov z VGStudio MAX $\langle 394;3071 \rangle$ HU označený V2.

Model stavca bol vytváraný dvomi spôsobmi, pričom tie neovplyvňujú povrch vybraného stavca. Pri modeli V1 bolo postupné odstraňovanie nepotrebných segmentov v softvéri inVesalius. Nasledujúcim krokom bolo vytvorenie povrchu za pomoci funkcie "Create surface" a jeho export pomocou funkcie "Export 3D surface". Pri druhom spôsobe na modeli V2 bol vytvorený povrch z celého CT skenu a následne sa exportoval do stl súboru. Nepotrebné časti modelu boli odstránené v softvéri Meshmixer. Cieľom dvoch rozdielnych prístupov bolo zistiť dobu potrebnú na spracovanie CT snímku. Pri prvom spôsobe bola dĺžka vytvárania modelu 45 minút a pri druhom bola doba exportu dát 5 minút, s prácou v softvéri Meshmixer približne 20 minút. Pre zistenie rozdielov medzi nastavením V1 a nastavením V2 bolo vykonané ich vzájomné porovnanie v softvéri VGStudio MAX, kde nastavenie V1 bolo použité ako *nominal*, V2 ako *aktual*.

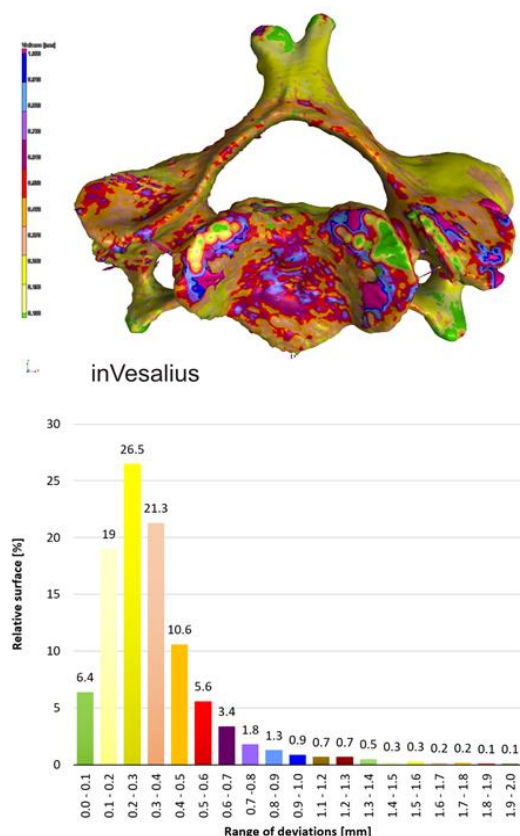
1.3 POROVANIE VÝSTUPOV Z VGStudioMAX, MIMICS, inVesalius

Prvým krokom pri porovnávaní objektov je ich vzájomné vyrovnanie (alignment) na základe *coordinate system* alebo inej metódy (3-2-1, RPS, Bestfit,...). Vzhľadom na to, že sa poloha stavcov pri ich spracovaní nemenila, tak v softvéroch VGStudio MAX a Mimics nebolo potrebné vytvárať súradnicový systém ani ich dorovnávať vzájomne voči sebe. Softvér InVesalius vytvára pri exporte vlastný súradnicový systém, z toho dôvodu bolo nutné vykonať fitovanie k nominálnemu modelu. Vzhľadom na rozdiely medzi modelmi bolo fitovanie vykonané metódou *Best-fit*, pričom bol povolený iba *model translation*.

Na Obr. 2 vľavo je znázornené vzájomné vyrovnanie výstupu zo softvéru VGStudio MAX (biela čiara), Mimics (oranžová čiara) a InVesalius (fialová čiara) v zvolenom reze, pričom je viditeľný zreteľný ofset medzi povrchmi. Výsledné STL modely stavcov boli porovnávané v module New aktual/nominal comparison softvéru VGStudio MAX. Vzhľadom na to, že sa vonkajšie povrchy modelov v rámci jednotlivých softvérov výrazne nelíšili, z VGStudia bol vybraný ako referenčný model pri nastaveniach VG1, zo softvéru Mimics (M2) a z inVesalius (V2). Ako nominálny objekt bol nastavený výstup z VGStudio MAX a ako *aktual* výstup zo softvéru Mimics resp. inVesalius. Z dôvodu presnejšieho vyhodnotenia odchýlok medzi modelmi, boli pred samotným porovnaním z nominálneho modelu odstránené v čo najväčšej miere vnútorné štruktúry. Analýza takto prebiehala iba na povrchu stavca. Maximálna vyhľadávacia vzdialenosť bola nastavená na 2mm. Mapa odchýlok je znázornená na 3D modeli - Obr. 3 hore. Pre vizualizáciu výsledku bol vytvorený histogram, kde na osi X sú intervaly s krokom 0,1mm reprezentujúce odchýlku a na osi Y percentuálny povrch pre daný interval. Histogram odchýlok pre model zo softvéru Mimics má tvar gausovej krivky - Obr. 3 dole, pričom najväčší percentuálny povrch je pre odchýlky v intervale 0,4-0,5mm. Pre model zo softvéru inVesalius má rovnaký trend, ale sú tam viditeľne menšie odchýlky - Obr. 4 hore. Najväčší percentuálny povrch má interval odchýlok 0,2-0,3mm.



Obr. 3. Porovnanie modelov aktual/nominal VGStudioMAX a MIMICS



Obr. 4. Porovnanie modelov aktual/nominal VGStudioMAX a InVesalius

ZÁVER

Cieľom práce bolo testovanie softvérových aplikácií a 3D skenerov za účelom výroby a digitalizácie medicínskych modelov. V prípade softvéru VGStudio MAX a Mimics je nutné zohľadniť, na čo bude softvér používaný, okrem tvorby povrchov. Nevýhodou oboch softvérov je ich dostupnosť. Jedná sa o zložité, profesionálne softvéry, čiže ich cena na trhu je pomerne vysoká. Práca v softvéroch si taktiež vyžaduje určité znalosti a zručnosť, takže odporúča sa mať aj školenie ku týmto softvérom. Z toho vyplýva, že ak má softvér slúžiť iba na tvorbu povrchov z DICOM dát bez medicínskeho certifikátu, odporúča sa použiť softvér inVesalius. Ak je cieľom generovať povrchy a následne aplikovať rôzne meracie procesy, odporúča sa VGStudio MAX. A ak má softvér slúžiť na vytváranie povrchov a generovanie rôznych biologických štruktúr, odporúča sa softvér Mimics. Z porovnávania softvérových balíkov vyplýva, že vzhľadom k modelu z VGStudio MAX je pre 95%-nom pokrytí povrchu odchýlka 0,935mm a pri porovnávaní medicínsky orientovaných softvérov (Mimics, inVesalius) je to 0,356mm.

POĎAKOVANIE:

Tento článok bol vypracovaný na základe podpory získanej z projektov: STIMULY PRE VÝSKUM A VÝVOJ Výskum a vývoj kompozitných a biodegradovateľných materiálov pomocou inteligentných aditívnych technológií a ich testovanie v zmysle medzinárodných noriem pre personalizovanú medicínu a tkanivové inžinierstvo 1233/2018, Centrum medicínskeho bioaditívneho výskumu a výroby (CEMBAM) ITMS2014+: 313011W358, Otvorená vedecká komunita pre moderný interdisciplinárny výskum v medicíne (OPENMED) ITMS2014+: 313011V455, Výskum, vývoj a testovanie bioreaktora pre kultiváciu tkanív a orgánov po bioaditívnej výrobe VEGA 1/0179/19

Použitá literatúra

- [1] WU, AI-MIN et al. "The accuracy of a method for printing three-dimensional spinal models." PloS one vol. 10,4 e0124291. 27 Apr. 2015, doi:10.1371/journal.pone.0124291.
- [2] RENGIER, F et al. "3D printing based on imaging data: review of medical applications." International journal of computer assisted radiology and surgery vol. 5,4 (2010): 335-41. doi:10.1007/s11548-010-0476-x.
- [3] HALEEM, A., & JAVAID, M. (2018). Role of CT and MRI in the design and development of orthopaedic model using additive manufacturing. Journal of clinical orthopaedics and trauma, 9(3), 213–217. DOI:10.1016/j.jcot.2018.07.002
- [4] SKRZAT, JANUSZ et al. "3D printed replica of the human temporal bone intended for teaching gross anatomy." Folia medica Cracoviensia vol. 59,3 (2019): 23-30. doi:10.24425/fmc.2019.131133
- [5] GRANT, TAMARA M et al. "Development and validation of statistical shape models of the primary functional bone segments of the foot." PeerJ vol. 8 e8397. 4 Feb. 2020, doi:10.7717/peerj.8397.
- [6] CLIFTON, WILLIAM et al. "The SpineBox: A Freely Available, Open-access, 3D-printed Simulator Design for Lumbar Pedicle Screw Placement." Cureus vol. 12,4 e7738. 20 Apr. 2020, doi:10.7759/cureus.7738.
- [7] BERNHARD, JEAN-CHRISTOPHE et al. "Personalized 3D printed model of kidney and tumor anatomy: a useful tool for patient education." World journal of urology vol. 34,3 (2016): 337-45. doi:10.1007/s00345-015-1632-2.
- [8] HEDELIN, HENRIK et al. "Using a 3D Printed Model as a Preoperative Tool for Pelvic Triple Osteotomy in Children: Proof of Concept and Evaluation of Geometric Accuracy." Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons. Global research & reviews vol. 3,3 e074. 19 Mar. 2019, doi:10.5435/JAAOSGlobal-D-18-00074.
- [9] GEORGE, ELIZABETH et al. "Measuring and Establishing the Accuracy and Reproducibility of 3D Printed Medical Models." Radiographics : a review publication of the Radiological Society of North America, Inc vol. 37,5 (2017): 1424-1450. doi:10.1148/rg.2017160165.
- [10] HASAN, OBADA et al. "Application of 3D printing in orthopaedic surgery. A new affordable horizon for cost-conscious care." JPMA. The Journal of the Pakistan Medical Association vol. 69(Suppl 1),1 (2019): S46-S50..
- [11] BÜCKING, THORE M et al. "From medical imaging data to 3D printed anatomical models." PloS one vol. 12,5 e0178540. 31 May. 2017, doi:10.1371/journal.pone.0178540
- [12] WU, AI-MIN et al. "3D-printing techniques in spine surgery: the future prospects and current challenges." Expert review of medical

- devices vol. 15,6 (2018): 399-401.
doi:10.1080/17434440.2018.1483234
- [13] BIGLINO, GIOVANNI et al. "3D-manufactured patient-specific models of congenital heart defects for communication in clinical practice: feasibility and acceptability." BMJ open vol. 5,4 e007165. 30 Apr. 2015, DOI:10.1136/bmjopen-2014-007165.
- [14] LEE, HAKMIN et al. "Personalized 3D kidney model produced by rapid prototyping method and its usefulness in clinical applications." International braz j urol : official journal of the Brazilian Society of Urology vol. 44,5 (2018): 952-957. DOI:10.1590/S1677-5538.IBJU.2018.0162.
- Korešpondenčná adresa:**
Ing. Patrik Varga
Technická Univerzita v Košiciach
Strojnícka fakulta
Katedra Biomedicínskeho inžinierstva a merania
Letná 9, 042 00 Košice
Tel.: +42156022378
Email: patrik.varga@tuke.sk

SYNERGIA LEAN A SIX SIGMA V ŠTÍHLEJ ORGANIZAČNEJ ŠTRUKTÚRE

Tomáš VILINSKÝ, Štefan MARKULIK

Technická Univerzita v Košiciach, Strojnícka Fakulta, Katedra bezpečnosti a kvality produkcie, Slovensko
tomas_vilinsky@centrum.sk, stefan.markulik@tuke.sk

Abstrakt:

Každá organizácia sa snaží zlepšovať svoje procesy, či už základnými prístupmi alebo komplexnejšími filozofiami, akými sú Lean a Six Sigma. Hoc je zlepšovanie v organizáciách viac alebo menej prekorenené, každý má za cieľ zvýšiť svoju konkurencieschopnosť na trhu a vyhovieť jej požiadavkám s primeranými nákladmi a včasnou reakciou. V minulosti sa Lean prezentoval znižovaním nákladov najmä vo výrobných procesoch, ale postupne dostáva širší záber v podniku a zužuje aj organizačnú štruktúru. Zužovanie organizačnej štruktúry prináša so sebou nové výzvy pre zvládnutie Lean a Six Sigma. V tomto článku sú načrtnuté potenciálne riziká vyhorenia Lean Six sigmy v organizácii, ktorá kladie dôraz na zužovanie "head count-u".

Kľúčové slová:

Štíhla organizačná štruktúra, Lean Six Sigma, LSS, Líder, Analýza rizík.

ÚVOD

Organizácia, ktorá mala dedikovaného šampióna, lídra pre Lean a Six Sigma (ďalej len LSS) sa po niekoľkých rokoch a projektoch rozhodne, že takéhoto lídra už nie je treba, pretože si verí, že LSS je v organizácii hlboko prekorenená a jej kultúrou žije každý. Pre zlepšovanie procesov je však nutné vyhradiť tím, ktorý popri svojej operatívnej má zvládať aj zlepšovacie procesy, podarí sa to ak sa znižuje počet zamestnancov v organizačnej štruktúre? Podarí sa to bez lídra LSS?

Hypoteticky uvažujme, že napríklad taká Matematická fakulta, ktorá úspešne vychováva svojich študentov po desaťročia sa rozhodne, že bude pokračovať bez garantov keďže garanti už nie sú potrební, poznania v oblasti Matematickej je dostatok a kníh pre vzdelávanie je v správnom počte pre vzdelávanie. Teoreticky by sme tento stav resp. model mohli opísať ako organizácia, ktorá sa zaväzuje niečomu avšak funguje len vakej zotrvačnosti a verí len a len vo svoje aktuálne skúsenosti nadobudnuté vrámci svojej organizácie. Takéto organizácie prechádzajú pravou skúškou záväzku rozvoja svojej organizácie keď manažment rozhodne ktorí zamestnanci prevezmú zodpovednosť lídra/garanta popri svojej operatívnej. Používanie zamestnanca namiesto nominácie najväčšieho talentu na LSS sa stáva takto realitou a úspešnosť projektu sa dostáva takto do poňatia „veď to pôjde“ a profesionalita je taktiež otázná.

Napriek tomu je možné takýto projekt dokončiť do úspešného konca, ale vyžaduje si úsilie a veľmi presne definovanú fázu udržiavania výsledkov projektu. Cieľom tohto článku je poukázať na zistenie efektivity LSS projektov s lídrom LSS a bez neho, ale zároveň poukazuje na teoretické východiská ako zvládnuť LSS bez lídra.

LÍDER / GARANT LEAN A SIX SIGMA

Úlohou lídra je prevziať zodpovednosť za rozvoj kultúry a poznania v oblasti LSS. Je kľúčovou osobou, ktorá prináša poznatky z ďalších úspešných projektov. Zároveň v organizácii je osobou, ktorá riadi uzatvorenie zlepšovacieho cyklu projektu, tak aby výsledky projektu boli trvácne a najmä viedli k optimalizácií. Nominuje také projekty, ktoré sú v súlade so stratégiou podniku. Tvorí kultúru podniku a pracuje na vedomostnom rozvoji podniku.

V organizácii má čierny pás z LSS odborne nazvaný Lean Six Sigma Black Belt. Líder s takýmito vedomosťami a skúsenosťami dokáže zvládnuť komplexné projekty a je mentorom pre ostatné projekty resp. zamestnancov.

ŠTÍHLE ORGANIZAČNÉ ŠTRUKTÚRY

Ako bolo načrtnuté v úvode, moderné organizácie si veria, že kultúra LSS je zakorenená naprieč celou organizáciou a Líder už ďalej nie je potrebný. Líder LSS nie je jediný, ktorý prešiel fázou zoštíhľovania, ale sú to aj ďalšie asistentské či podporné funkcie. Podniky sa takto snažia mnohé zrušené funkcie outsourcovať. Aj LSS je možné realizovať aj outsourcingom no je to mnohokrát viac nákladové ako mať full-time zamestnanca, ktorý sa tomu venuje.

Nové projekty sa takto dostávajú do rúk manažérov a tí musia svoj projekt vykonať s dostupnými internými zdrojmi, ktoré nemajú ďalšiu talentovú či vedomostnú výbavu zameranú na LSS.

O LSS sa hovorí ako o tímovom prístupe so zdravým sedliackym rozumom.

Uvažujme, že projekty by sa dali zvládnuť bez komplexných techník. Máme stav v podniku bez LSS lídra, no ľudí, ktorí zažili veľmi úspešné projekty. U tímov v organizácii stále prevláda entuziazmus zo školení, ktoré sa pretransformovali do úspešných projektov. Manažment sa zameria na túto iniciatívu a zabezpečil participáciu zamestnancov. Úspech sa zdieľal. Nastala však realita udržiavania úspechu, ktorý sa zdal byť náročným bez lídra LSS, ktorý udržuje tím krok vpred s vedomosťami, víziami, štruktúrou a nastavením udržateľnosti výsledkov. Výsledky, ktoré majú byť samozrejme „optimálne“. Každý má menej času a záujmu pracovať na úspechu, kultúra klesá a vynaložené minimum nestačí na optimálne a ani na ďalšie projekty.

LSS projekty je možné vykonávať bez hlbších vedomostí ako sme si spomenuli, ale hrozí Sub-Optimalizácia a mnohonásobné vracanie sa k fáze Definície projektu.

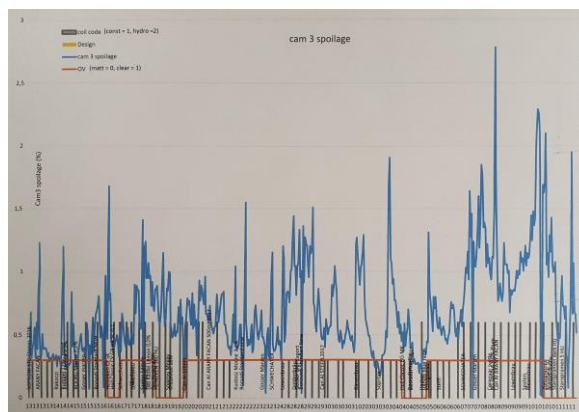
Podnik sa s týmto faktom vysporiadal tak, že vkladá dôveru do svojich Inžinierov, ktorí poznajú svoj proces a veria v Optimalizáciu. Hrozí tu však profesionálna slepota, kde Inžinier pre daný proces pozná iba svoj proces a nevidí veľký obraz projektu a nepozná ako zvládnuť definíciu všetkých vstupov a výstupov pretože vytvorené grafy v exceli vyzerajú dosť profesionálne na to aby sa verilo v správne smerovanie k optimalizácii.

SUB-OPTIMALIZÁCIA

Sub-Optimalizácia sa stáva javom kedy nesprávnou definíciou projektu nezískame maximum z projektu. Skúsený Inžinier v domnení, že úzky zoznam faktorov sú nosným pilierom projektu a najviac ovplyvňujú výsledky. Pre ich zobrazenie sa využijú často jednoduché grafy v exceli, ktoré sú pre inžiniera možno pochopiteľné,

ale ťažko čitateľné. Regresné analýzy pre analýzu vzťahov nie sú veľmi pochopené. Verí sa v dobre osvedčené koláčové a stĺpcové grafy.

Príklad takéhoto grafu je na obr.1



Obrázok 1.

Na grafe je 5 faktorov, ktoré nám majú napovedať ako ovplyvňujú sledovanú veličinu nepodarkovosť. Iba vizuálnym spôsobom je definované, že úsilie je nutné venovať všetkým faktorom naraz bez akýchkoľvek priorít. Je tu evidentná profesionálna slepota.

Je zrejmé, že chýbajú priority, ale jednoznačne tu chýba definícia projektu. Definícia toho čo je dôležité analyzovať a dosiahnuť. V takýchto prípadoch je veľké riziko Sub-Optimalizácie a navyše aj Overquality (Kvalita prevyšujúca optimálne náklady). Tento reálny príklad zo života podniku poukazuje na deficit štruktúrovaného prístupu lídra LSS.

ANALÝZA RIZÍK PROJEKTOV

Podniky, ktoré sa rozhodli ísť cestou bez lídra LSS zanedbávajú analýzu rizík. Samotné ISO normy prišli s aktualizáciou, ktoré sú venované analýze rizík. Práve analýza rizík je kľúčová pre úspešné plnenie cieľov podniku. Tento univerzálny nástroj ako analýza rizík je kľúčovou aj pre selektovanie projektov LSS a správnu definíciu projektu. Výsledkom takýchto analýz by mali byť opatrenia ako zvládnuť projekt resp. do akých projektov sa púšťať. Je však nutné si uvedomiť jeden dôležitý faktor, že takáto analýza rizík pre projekty je stále zhotovená ľuďmi, ktorý nemôžu mať také skúsenosti s projektmi a také vedomosti ako talentovaný Líder LSS. Naďalej však platí, že analýza rizík by mohla byť riešením pre identifikáciu príležitostí a rizík projektu v štíhlych organizáciách. Každá organizácia si musí určiť aké kritériá bude hodnotiť v rámci analýzy rizík. Analýze rizík pre

projekty prekračuje medze tejto publikácie. Môžeme si aspoň uviesť aspoň hŕstku rizík, ktoré priamo hrozia ak sa organizácia rozhodla zúžiť organizačnú štruktúru.

Ďalej je 5 najväčších rizík, ktoré môžu prevládať v organizácii bez lídra LSS

- **Nedostatok konzistentného školenia:** Je to prvé riziko, ktoré môže viesť k sub-optimalizácii procesu definovaného v projekte. Niektorí môžu mať dostatok vedomostí pre daný projekt v určitej fáze, no problémová môže byť ďalšia výzva cez nový projekt. Líder LSS takéto potreby odhalí a pred projektom zabezpečí.

- **Nedostatok organizácie:** Výsledkom nekonzistentného školenia je nedostatok celkovej organizácie. Líder LSS pozná vedomostnú výbavu tímov. Na druhej strane mnohokrát organizácie tvoria plán školení, ktoré majú pomôcť pre zvládnutie projektov, ale optimálny skill matrix a štruktúrovaná organizácia môže byť zanedbaná.

- **Strata prehľadnosti**

Toto riziko je veľmi podobné predchádzajúcim rizikám avšak s miernym rozdielom. Bez LSS lídra chýba prehľad. Mnohé školiace podniky ponúkajú školenia, ktoré sú prestížne a certifikačné, no mnohokrát je postačujúci ten správny tréning, ktorý sa zameriava na špecifickú oblasť. Nákupca školenia, teda organizácia, nevie plne odhaliť čo školenie obsahuje a aké sú požiadavky na takéto školenia, čo sa stáva aj nebezpečným faktorom.

- **Rast nelegitímnych školení**

V nadväznosti na stratu prehľadnosti v LSS vedie k rastu nelegitímnych školení a certifikačných programov. Bez lídra LSS participanti nemusia dosiahnuť štandard vedomostí v čase. Toto môže viesť ku globálnejšiemu riziku kedy zamestnanci s množstvom školení majú zmes školení, ktoré

nemusia byť na seba nadväzné. Nemôžeme vyškoliť študenta tretieho stupňa vysokoškolského štúdia bez prechádzajúcich stupňov.

- **Rast zlej reputácie**

Posledným rizikom je reputácia organizácie. Organizácia bez ľudí so správnymi školeniami a sub-optimalizáciami dáva do rizika svoje postavenie na trhu a svoje dobré meno. Nemusí to znamenať finálny koniec organizácie hneď, ale len ťažkopádne dožívanie v zotrvačnosti.

Reťazová reakcia je javom, ktorý vidíme všade a jej dopad na konci reťazca môže byť ničujúci. Lean Six Sigma nie je výnimkou. Preto je nutné správne analyzovať všetky riziká správnymi metódami pred tým ako sa orientujeme na bezprostredné šetrenie na akejkoľvek úrovni v organizácii.

Čo je treba robiť teda s rizikami?

Identifikovať a mitigovať. Každý projekt bude mať riziko. Niektoré sú zrejmé hneď, no niektoré až neskôr a dokonca niektoré sa nedajú hneď identifikovať. Prečo je to teda potrebné? Aby sme znížili riziko dopadu spomínanej reťazovej reakcie na LSS.

Acknowledgments

Príspevok bol vypracovaný v rámci riešenia projektu KEGA 019TUKE-4/2020 Aplikácie orientované vzdelávanie v oblasti implementácie požiadaviek normy ISO 9001:2015“ a v rámci projektu APVV-19-0367 „Rámec Integrovaného prístupu riadenia procesnej bezpečnosti pre Inteligentný podnik“.

Correspondence address:

Tomáš Vilinský
Technická Univerzita v Košiciach
Strojnícka Fakulta
Katedra bezpečnosti a kvality produkcie
Slovensko
Tel.: +421 917 216 158
Email: tomas_vilinsky@centrum.sk

CAM SYSTEM TO SUPPORT THE SIMULATION OF CORE PRODUCTION FOR THE INJECTION MOLD

Samuel VILKOVSKÝ, Janka MAJERNÍKOVÁ, Ján VARGA,

Technical University of Košice, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Technologies, Materials and Computer
Aided Engineering Production, Slovakia

Samuel.vilkovsky@tuke.sk, janka.majernikova@tuke.sk, jan.varga@tuke.sk

Abstract

This paper deals with the use of CAM systems in the simulation of the production of injection mold parts. The aim of this work is to apply them in the production of a specific part of the injection mold. Using the CAM system, the technological process to produce the side core was designed and the suitability of index machining in the SolidCAM environment was verified.

Keywords: CAM systems, machining, simulation, SolidCAM

INTRODUCTION

The object of milling technology is the machining of parts and objects by tool cutting edges. The selection of appropriate cutting tools, tool or abrasive materials, design and construction of jigs are related to the use of machine tools and the application of new innovative machining technologies. Their application is primarily aimed at shortening the production lead time. The first step is the planning and design of technological processes, because the machining technology is the final stage of product development, but also the entry of the manufactured object into the assembly technology. [1]

The term machining strategy represents a CAM system predefined toolpath, optimized for machining different surfaces so that the workpiece is produced as efficiently as possible. The generated toolpath is usually composed of three types of movements. The first is a working movement in which material is removed in the form of chips. The second type consists of movements by which the tool gets into or out of engagement. The third type is the movement, most often realized by rapid traverse, to move the tool quickly. [1]

A distinction needs to be made between roughing and finishing strategies. Emphasis is placed on roughening material as much as possible and reducing machining time, but at the same time

the requirement is to create a consistent surface for subsequent finishing operations. [1]

However, the selection of a suitable strategy in the CAM system represents only one step in the production design. Other important decisions of the technologist - NC programmer concern e.g., choosing a tool diameter or determining the distance between adjacent toolpaths. Too large cutter diameter does not allow access to the pocket areas on the workpiece, a small tool diameter makes it necessary to increase the number of transitions over the machined surface. If the spacing between the paths is large, the result is an increased surface roughness, while decreasing the spacing increases the machining time. [1]

This work deals with the design of a technological process to produce the side core of an injection mold using index machining using the simulation program SolidCAM. The aim of the work is to machine the side core with suitable machining strategies regarding production time and then apply the design directly to the production.

1 MATERIAL AND PART DESIGN

The side core of the injection mold used in the production was made of the steel 1.2343/X37CrMoV5-1 according to DIN EN ISO 4957 standards. Chemical composition of material is

shown in Table 1 and Table 2 shows mechanical properties of the material.

Table 1 Chemical composition of the material

DIN ISO 4957	C [%]	Mn [%]	Si [%]	Cr [%]	V [%]	Mo [%]
1.2343/ X37CrMo V5-1	0.28 - 0.35	0.10 - 0.40	0.80 - 1.20	2.70 - 3.20	0.40 - 0.70	1.10 - 1.50

Table 2 Mechanical properties of the material

Properties	Metric
Hardness, HRC (air cooled from 1010°C, 45 mins)	56
Modulus of elasticity	207 GPa
Charpy impact (V-notch, air cooled from 1010, 650°C temper temperature)	13.6 J
Machinability (1% carbon steel)	75 – 80 %

The CAD model of the manufactured side core, shown in Figure 1, was modelled in the SolidWorks environment. It is part of a plastic injection mold designed to produce a front-end cover of the car. The function of the side core is to ensure the production of the shaped surface shown in Figure 2.

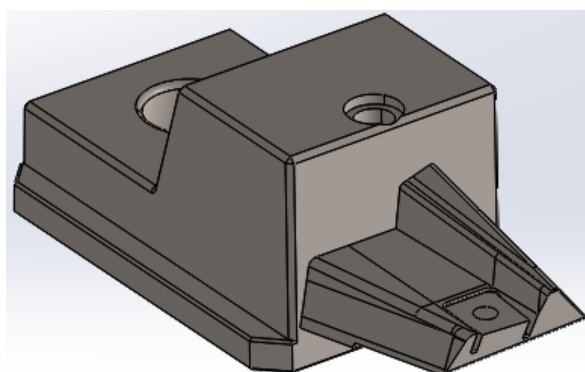


Figure 1 CAD model of the side core



Figure 2 Shaped surface of the front end

2 STOCK, TOOLS AND MACHINING STRATEGY

As a stock we used a block with dimensions 236x116x115mm. Additions in the Z axis are larger (40mm, instead of 5mm) due to component clamping. End mills and ball milling cutters were used to machine the part. We set the cutting conditions (Table 3) regarding the material and its properties. Holes and chamfers are made with the appropriate drills and centre drills (Table 4).

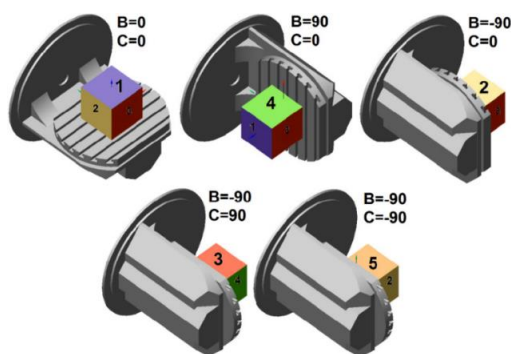
Table 3 Cutting conditions of the mills

Mill designation	Type of mill	Dim. mm	Vc m/min	Fz mm/tooth	ap mm
M1	Face	63	120-220	0.08-0.25	1.25
M2	End	36	90-120	0.08-0.15	1.25
M3	End	18	130-180	0.05-0.07	0.7
M4	End	14	130-180	0.04-0.11	0.7
M5	End	12	90-120	0.1-0.5	0.2-0.5
M6	End	10	130-180	0.07-0.09	finish
M7	End	8	90-120	0.1-0.5	0.2-0.5
M8	Ball nose	8	130-180	0.03-0.1	finish
M9	Ball nose	6	130-180	0.03-0.1	finish
M10	Ball nose	4	130-180	0.03-0.07	finish

Table 4 Drills and cutting conditions

Drill designation	Typ of drill	Dim. mm	V m/min	Feed
D1	Drill	8	60	0.16
D2	Drill	6,5	60	0.11
D3	Drill	6	60	0.11
D4	Spot drill	6	60	0.11
D5	Center drill	10	60	0.11

As a strategy for machining a combination of triaxial milling with index machining was used. It involves tilting the part to the desired angle to machine the desired area. Figure 3 shows an example of tilting the workpiece to a suitable position without the need to re-clamp the part. The part does not have to be clamped into a new position, instead, only the table moves to the required position. Using a rotary table saves production time. The SolidCAM provides a very simple solution for indexial multi-sided machining programming, without the need of transforming geometry to separate layers. Instead, SolidCAM provides an option to set the zero-point position by just picking a face of the part, and then programmer will choose correct tool strategy for the desired part.

**Figure 3 Principle of rotary table**

3 PRODUCTION PROCESS

The production process of machining the side core was divided into two parts, according to the clamping of the product. Two clamps were considered in the side core milling simulation, with

several zero points selected for each clamp. The part intended for simulation in the SolidCAM system had complex shaped surfaces, which resulted in the use of several strategies that are mostly applicable in the mold making industry, known as HSR (High Speed Roughing), HSS (High Speed Surface), or HSM (High Speed Machining). Tables 5, 6 show the used strategies, the tools as well as the individual operations of machining the side core of the injection mold. The simulation was based on the fact, that in the case of production, the DMG MORI ecoMILL 50 milling machine would be used.

Table 5 Production process for the first clamping

Milling operation	Num.of Ope.	Strategy	Tools
Face mill	5	Face	M1
Roughing	1	HSR	M2
Finishing planar faces	3	Pocket	M2, M3
Pocket milling	6	HSR, HSM, contour, drilling	M3, M5, D4, D2
Semi finishing of active part	2	HSR, HSM	M5
Finishing of active part	10	Pocket, HSM, contour	M4, M5, M7, M8, M10,
Fillets milling	4	HSS	M9
Hole milling	3	HSR, HSM, HSS	M4, M8
Milling, drilling the hole	4	Pocket, drilling	M6, D1
Chamfer milling	12	Contour	M8, D5

Table 6 Production process for the second clamping

Milling operation	Num.of Ope.	Strategy	Tools
Face mill	1	Face	M1
Finishing active part	3	HSR, HSM	M1, M5
Finishing circumference and chamfers	4	Contour	M8, D5
Drilling	2	Drilling	D4, D3

4 MACHINING SIMULATION

The suitability of the technological process, tools and parameters was verified using the numerical simulation. The aim of the verification is

to check possible tool collisions, suitability of used tools, technological parameters of machining and the quality of the machined surface. Figures 4, 5 show the generated toolpaths and residual material after milling.

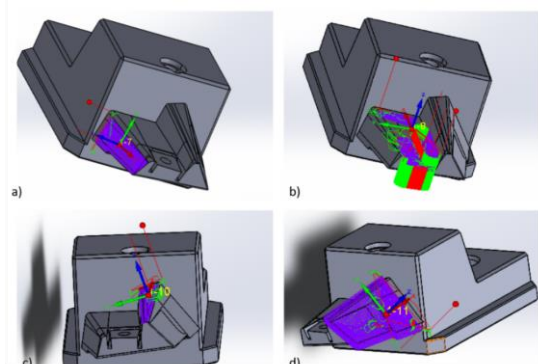


Figure 4 Generated toolpaths for machining the active part of the side core

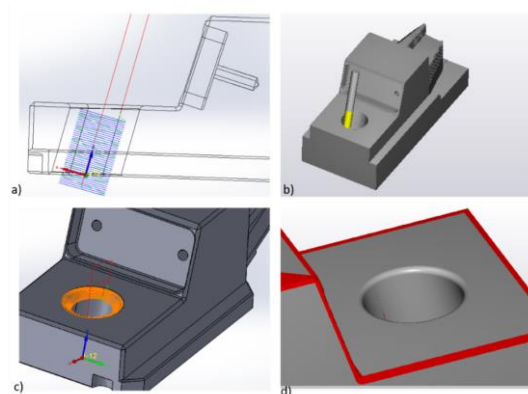


Figure 5 Toolpaths and residual material for hole milling

5 CONCLUSION

The aim of this paper was to evaluate different machining strategies and their impact on the production time. The achieved time of simulation of the side core production is 7:35.36. Final time was achieved with the correct selection of machining strategies. Though, the production time also includes time of the tool change between operations. As well as the time required to tilt the rotary table and a certain time to set up production

during the production of the part needs to be considered. After machining operations, the part was sent for further processing by EDM wire cutter. operations. As well as the time required to tilt the rotary table and a certain time to set up production during the production of the part needs to be considered. After machining operations, the part was sent for further processing by EDM wire cutter.

Acknowledgment

This paper was written with the financial support of the grant agency VEGA within the project VEGA 1/0384/20.

References

- [1] SPIŠÁK, E. et al.: Teória konvenčných technológií. Košice: TU v Košiciach, 2009. 69 p. ISBN 978-80-553-0201-0
- [2] VARGA, J. – ŠVIHURA, P. – IŽOL P.: CNC frézovanie pri výrobe predmetov na základe umeleckých predlôh – 1. ČASŤ In: Transfer inovácií. Košice. 2019. ISSN 1337-7094
- [3] E.J. WEI, E.J. - LIN, M.C. Study on general analytical method for CNC machining the free-form surfaces. Journal of Materials Processing Technology, Vol. 168, no. 3, pp. 408–413, Oct. 2005
- [4] YAO, Z. - GUPTA, S. K.: Cutter path generation for 2.5D milling by combining multiple different cutter path patterns. International Journal of Production Research, vol. 42, no. 11, pp. 2141–2161, 2004.
- [5] ŠVIHURA, P.: Návrh a overenie výroby propagačného predmetu využitím CAD/CAM systémov. Diplomová práca. Košice : TU, 2013.

Correspondence address:

Ing. Samuel Vilkovský
 Technical University of Košice
 Faculty of Mechanical engineering
 Department of Technologies, Materials and Computer Aided Engineering Production
 Mäsiarska 74, Košice, 040 01
 Tel.: +421 907 308 724
 Email: samuel.vilkovsky@tuke.sk

HODNOTENIE ZVUKOIZOLAČNÝCH VLASTNOSTÍ KONŠTRUKČNÝCH PRVKOV PRI NÍZKYCH FREKVENCIÁCH

Anna YEHOŘOVA, Ervin LUMNITZER

¹ Technická Univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Katedra procesného a environmentálneho inžinierstva, Slovensko

Abstrakt:

Vo viacerých technických normách sú odporúčané postupy a prostriedky pre meranie akustických vlastností deliacich konštrukcií, prax však poukazuje na to, že výsledky meraní môžu byť závislé aj na podmienkach merania. Pri meraní akustických vlastností stavebných konštrukcií sa ako zdroj hluku používa budiaci reťazec, v ktorom generátor generuje vybraný typ šumu. Najčastejšie sa používa biely alebo ružový šum. Tieto postupy ponechávajú voľbu druhu šumu, skúmaný frekvenčný interval a interval budenia na meračovi. Skúmaniu sme podrobili druh šumu, frekvenčné pásmo zvuku, prechádzajúceho cez deliacu konštrukciu a interval budenia difúzneho poľa v miestnostiach (ďalej len interval budenia). Počas výskumu sme vykonali opakované, štatisticky významné množstvo meraní, ktoré sme najprv vyhodnotili klasickými metódami používanými v akustickej praxi. Získané výsledky sme podrobili dôslednej matematickej analýze. Pri všetkých činnostiach bola mimoriadna pozornosť venovaná nízkym frekvenciám, keďže práve tieto sú z hľadiska posudzovania stavebnoakustických vlastností v súčasnosti problematické. Pri nízkych frekvenciách je náročné vykonávanie stavebnoakustických opatrení a subjektívny vplyv na človeka je často významnejší ako vplyv pri vysokých frekvenciách.

Kľúčové slova:

akustické vlastnosti, frekvenčné spektrum, biely a ružový šum, interval budenia, plánovanie experimentov, regresné modely.

ÚVOD

Problematika vysokých hladín hluku, ktorému sú obyvatelia vystavení v obytných priestoroch je všeobecne známa. Vo viacerých stavebných objektoch nie sú splnené podmienky z hľadiska prestupu hluku z vonkajšieho prostredia do chráneného vnútorného prostredia ako aj prestupu hluku medzi dvoma susediacimi miestnosťami. Faktor bývania je veľmi dôležitý pre kvalitu života človeka a hlavne preto, vo väčšine krajín pre kolaudáciu obytných priestorov sú požadované stavebno-akustické merania.

Touto problematikou sa vo svojich výskumoch zaoberajú viacerí autori. Podľa Hongisto [1] vzduchová nepriezvučnosť je najdôležitejšou fyzikálnou veličinou určujúcou akustickú kvalitu budov. Reinhard et al. [2] uvádzajú, že vzduchová nepriezvučnosť je povinná na zabezpečenie zdravého životného prostredia v budovách.

Vzduchovú nepriezvučnosť charakterizuje stupeň vzduchovej nepriezvučnosti v tretinovo-

oktávovom kmitočtovom pásme od 100 Hz do 3150 Hz.

Stupeň vzduchovej nepriezvučnosti tzv. strata prenosu zvuku, je akustická veličina stanovená v laboratórnych podmienkach. Skúmaním stavebnej vzduchovej nepriezvučnosti sendvičových panelov v dozvukových komorách v difúznom zvukovom poli sa zaoberajú autori Erofeev a Monich [3]. Piana [4] určuje stupeň stavebnej vzduchovej nepriezvučnosti prefabrikovaných panelov veľkých rozmerov pomocou bodovej mobility merania.

Napriek množstvu výskumov vykonaných v skúmanej problematike autori nedospeli k jednoznačnému výsledkom. Z tohto dôvodu sa výskumom, ktorý sme vykonali snažíme rozšíriť oblasť poznania v tejto špecifickej oblasti.

1 MATERIÁL A METÓDY

Vzduchová nepriezvučnosť je schopnosť konštrukcie prenášať zvuk v oslabenej miere. Sa rozdeľuje na:

- laboratornú vzduchovú nepriezvučnosť R (dB), ktorá sa získava meraním v akustických komorách,
- stavebná vzduchová nepriezvučnosť R' (dB), ktorá sa získava meraním priamo na stavbe.

Vo svojom výskume sme sa venovali meraniu stupňa stavebnej vzduchovej nepriezvučnosti.

Pri meraní stupňa stavebnej vzduchovej nepriezvučnosti sa používa budenie difúzneho poľa šumom. Parametre tohto šumu volí merač priamo pri meraní. Vychádza zo skúsenosti, odporúčaní, platných technických noriem alebo tieto parametre volí na základe vlastného uváženia. Do dnes neexistuje žiadna metodika, alebo vedecky podložené odporúčania, ako tieto parametre zvoliť tak, aby nemali neželateľný vplyv na výsledok procesu merania. Autori vychádzajú zo svojich skúsenosti a vykonali výskum, ktorým sa snažia dokázať, ktoré parametre budenia môžu ovplyvniť dôveryhodnosť výsledkov.

1.1 Realizácia experimentu

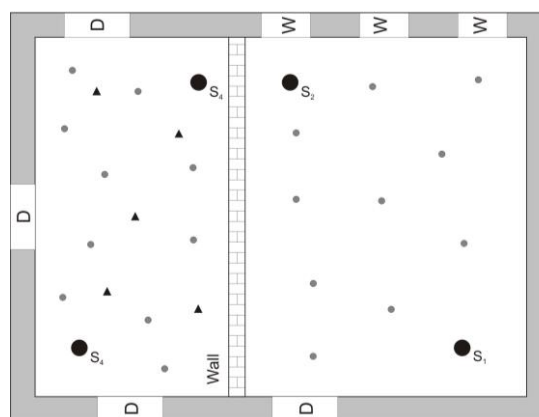
Experimentálny výskum bol vykonaný tak, aby jeho sa jeho výstupy vyznačovali čo najväčšou mierou dôveryhodnosti. Boli minimalizované všetky identifikované neistoty a vplyvy nesúvisiace s definovaným výstupom. Podmienky experimentu boli nasledovné:

- Hluk pozadia neovplyvňoval merania, čo bolo opakovane kontrolované pri všetkých meraniach. Výber umiestnenia stavebnej konštrukcie bol realizovaný s ohľadom na túto požiadavku.
- Stavebná konštrukcia bola bez porúch homogenity (žiadne stavebné otvory, rozvody médií, použitie rôznych stavebných materiálov). Jej konštrukcia bola z jedného typu materiálu (tehla hrúbka 300 mm, omietka 15mm) a vybudovaná s dôrazom na rovnomerné vlastnosti po celej ploche konštrukcie. Posudzovaná priečka bola konštrukčne spojená z bočnými stenami bez možnosti bočného prenosu zvuku medzi miestnosťami.
- Pre všetky nastavené kombinácie meraní (faktory B a C) bolo vykonaných 10 sad meraní, čo je statický významný počet.
- Rozmiestnenie meracích miest bolo pri všetkých meraniach rovnaké v prijímacej aj vysielacej miestnosti.

Na obr. 1 je znázornené jedno z meracích miest. Boli zvolené 3 polohy zdroja šumu, minimálne 10 meracích miest v každej miestnosti, zabezpečená limitná vzdialenosť meracieho miesta od steny minimálne 1,2 m a veľkosť miestnosti bola zvolená tak, aby minimálne 1 rozmer bol väčší ako vlnová dĺžka posudzovaného zvuku (viac ako 50 m²). Rozmery miestnosti zodpovedajú podmienkam normy ISO 16283-1. Pre merania času dozvuku bolo v prijímacej miestnosti zvolených 5 meracích miest. Pri meraniach boli využité overené meracie reťazce (measuring chains) triedy presnosti 1, ktoré sú používané v akreditovanom skúšobnom laboratóriu a sú pod kontinuálnou metrologickou kontrolou a naviazané na medzinárodný metrologický etalón. Aby nedochádzalo k skresleniu zvukového poľa v prijímacej a vysielacej miestnosti, bol pri meraniach prítomný vždy len merací technik.



Obrázok. 1 Meracie miesto a meracie zariadenia



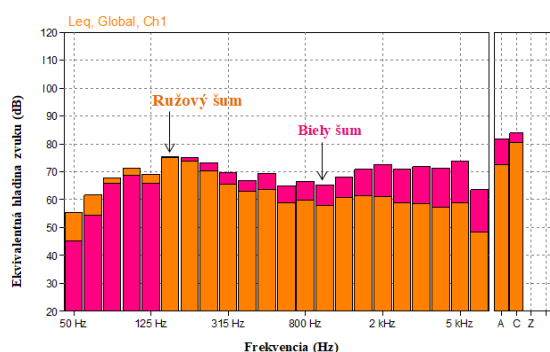
Obrázok. 2 Pôdorys skúšobných miestností

Na vybudenie homogénneho zvukového poľa bol použitý biely a ružový šum. Biely šum je zvuk, ktorý je definovaný ako nekorelovaný náhodný proces s rovnomernou výkonovou spektrálnou

hustotou na všetkých frekvenciách. V homogénnom prostredí má signál rovnaký výkon v akomkoľvek lineárnom zoskupení, pri akejkoľvek frekvencii a má daný vlnový rozsah.

Ružový šum je signál, ktorého frekvenčná hustota je priamo úmerná prevrátenej hodnote frekvencie. Pri zdvojnásobení frekvencie klesne energia o 3 dB. Energia je rovnaká v rovnako širokých pásmach v logaritmických súradniciach, napríklad vo všetkých oktávach.

Na obr. 3 je znázornené porovnanie reálneho frekvenčného spektra bieleho a ružového šumu. Z uvedeného obrázku sú evidentné rozdiely medzi teoretickým a reálnym frekvenčným spektrom oboch typov šumu. Tieto sú spôsobené charakterom zdroja hluku, linearitou zdroja a vlastnosťami miestnosti (difúzia poľa).



Obrázok 3 Porovnanie bieleho a ružového šumu

Pre realizáciu experimentu boli zvolené tri faktory: frekvencia (faktor A), interval budenia (faktor B) a typ budiaceho šumu (faktor C). Faktory boli posudzované rovnako pri všetkých vykonaných experimentoch.

1.2 Vyhodnotenie experimentu

Základné veličiny, ktoré hodnotia stavebnú vzduchovú nepriezvučnosť R' [dB] sú uvedené v norme STN EN ISO 16283-1. Stupeň stavebnej vzduchovej nepriezvučnosti vypočítame podľa vzťahu

$$R' = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{A} \quad (1)$$

Kde:

L_1 - priemerná hladina akustického tlaku vo vysielacej miestnosti [dB],

L_2 - priemerná hladina akustického tlaku v prijímacej miestnosti [dB],

S - plocha deliacej konštrukcie [m^2],

A - celková efektívna pohltivosť v prijímacej miestnosti.

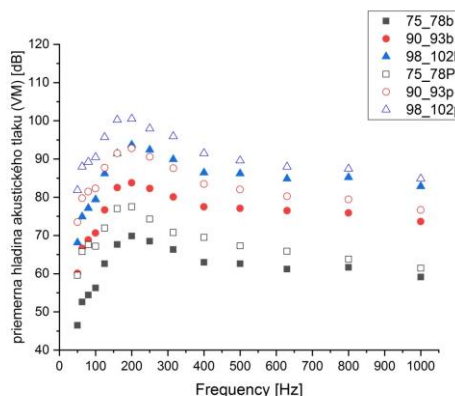
Pri vyhodnotení experimentu bola použitá Metóda DOE. Táto metóda predstavuje postupnosť dopredu naplánovaných pokusov, pri ktorom sa cieľavedomou zmenou vstupných faktorov sledujú odpovedajúce zmeny výstupnej premennej (tzv. ozvy). Metóda umožňuje identifikovať faktory vstupujúce do procesu, resp. ich interakcie, ktoré majú významný, rozhodujúci vplyv na sledovanú výstupnú premennú.

2 VÝSLEDKY

Experimentálne skúšky a následné spracovanie výsledkov boli uskutočnené s cieľom:

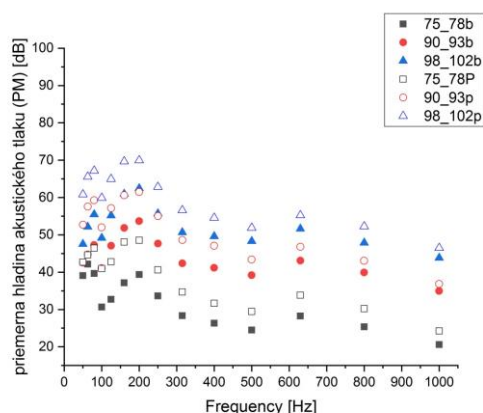
- pomocou metódy plánovania experimentov určiť vplyv faktorov na stupeň stavebnej vzduchovej nepriezvučnosti konštrukčnej priečky,
- analyzovať závislosť veľkosti stupňa stavebnej vzduchovej nepriezvučnosti od vstupných parametrov (frekvencia a budiaci interval) pre obidva typy šumu v sledovaných frekvenčných intervaloch,
- analyzovať závislosť veľkosti stupňa stavebnej vzduchovej nepriezvučnosti od vstupných parametrov (frekvencia, budiaci interval, typ šumu) v sledovaných frekvenčných pásmach.

Priemerná hladina akustického tlaku je reprezentatívnou hodnotou, ktorá definuje budenie vo vysielacej miestnosti ako aj akustickú situáciu v prijímacej miestnosti. Grafické znázornenia priemernej hladiny akustického tlaku pre vybrané intervaly budenia vo vysielacej a prijímacej miestnosti sú na Obr.4 a Obr.5.



Obrázok 4 Priemerná hladina akustického tlaku – vysielacia miestnosť

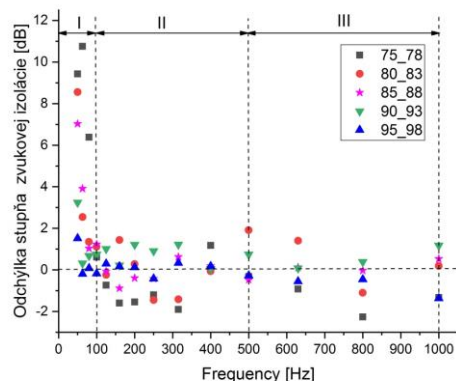
Grafické znázornenie stupňa stavebnej vzduchovej nepriezvučnosti pre ružový a biely šum je v troch vybraných intervaloch budenia na Obr.6.



Obrázok 5 Priemerná hladina akustického tlaku – prijímacia miestnosť

Na obr. 6 sú graficky znázornené rozdiely stupňa stavebnej vzduchovej nepriezvučnosti pri použití ružového a bieleho šumu pri budení v jednotlivých frekvenciách a intervaloch budenia.

Najvýraznejšie rozdiely v stupni stavebnej vzduchovej nepriezvučnosti medzi bielym a ružovým šumom vzniká v oblasti od 50 do 100 Hz.



Obrázok 6 Rozdiely stupňa stavebnej vzduchovej nepriezvučnosti medzi ružovým a bielym šumom

Záverečné zhrnutie vplyvu parametrov na stupeň stavebnej vzduchovej nepriezvučnosti v jednotlivých frekvenčných intervaloch je znázornené v Tab.1.

Tabuľka 1 Záverečné zhrnutie vplyvu parametrov na stupeň stavebnej vzduchovej nepriezvučnosti

Parametre	Frekvenčný interval		
	Interval I (od 50 do 100 Hz)	Interval II (od 125 do 500 Hz)	Interval III (od 630 do 1000 Hz)
Frekvencia	Zmena hodnoty frekvencie významne vplýva na stupeň stavebnej vzduchovej nepriezvučnosti	Zmena hodnoty frekvencie významne vplýva na stupeň stavebnej vzduchovej nepriezvučnosti	Zmena hodnoty frekvencie vplýva na stupeň stavebnej vzduchovej nepriezvučnosti
Interval budenia	Zmena intervalu budenia významne vplýva na stupeň stavebnej vzduchovej nepriezvučnosti	Zmena intervalu budenia nevplýva na stupeň stavebnej vzduchovej nepriezvučnosti	Zmena intervalu budenia nevplýva na stupeň stavebnej vzduchovej nepriezvučnosti
Typ šumu	Zmena typu šumu vplýva na stupeň stavebnej vzduchovej nepriezvučnosti	Zmena typu šumu nevplýva na stupeň stavebnej vzduchovej nepriezvučnosti	Zmena typu šumu nevplýva na stupeň stavebnej vzduchovej nepriezvučnosti

ZÁVER

Pre prax je dôležité uvedomiť si, že v prípade nutnosti posudzovania akustických vlastností stavebných konštrukcií pre frekvencie pod 100 Hz je

dôležité zväžiť posúdenie s použitím oboch druhov šumu. Pre posúdenie alebo predikciu vždy použiť nižšiu hodnotu indexu stavebnej nepriezvučnosti.

Zo záverov posúdenia autori dospeli k cieľom ďalšieho výskumu, ktorý spočíva nahradení v

súčasnosti používaných šumov pri generovaní zvukového poľa za reálny zvuk, vyskytujúci sa v posudzovaných priestoroch (hlasný zvuk televízneho prijímača, hudba rôznych žánrov, hlasný hovor). Zvyšovanie akustickej kvality vnútorného prostredia, v ktorom trávime väčšinu svojho života je dnes úlohou, ktorá nadobúda stále väčší význam. Ukazuje

PodĎakovanie

Tento príspevok vznikol v rámci projektu KEGA 032 TUKE-4/2018.

Zoznam použitej literatúry

- [1] HONGISTO, V. Airborne sound insulation of wall structures – measurement and prediction methods. Helsinki University of Technology, **2000**, web: <https://core.ac.uk/download/pdf/80701311.pdf>
- [2] REINHARD, O.; Jian, K. Airborne sound insulation in terms of a loudness model. *Appl. Acoust.* **2014**, *85*, 34–35.
- [3] EROFEEV, V.I. Sound insulation properties of sandwich panels. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* **2020**, *Volime 896*.
- [4] DLHÝ, D.; TOMAŠOVIČ, P. Sound insulation determination of door. *Adv. Build. Constr. Mater. II* **2014**, *1057*, 215–222.
- [5] LUMNITZER, E; ANDREJIOVA, M; BODNAROVA, A.G. Verification of the impact of the used type of excitation noise in determining the acoustic properties of separating constructions. *Measurement* **2016**, *Volume 78*, pp.: 83-89.
- [6] LUMNITZER, E; YEHOVA, A; BENČOVÁ, B.: Okamžité vplyvy hluku na organizmus človeka / Ervin Lumnitzer, Anna Yehorova, Beata Hricová - 2018. In: Fyzikálne faktory prostredia. Roč. 8., č. mimoriadne (2018), s. 30-34.
- [7] LUMNITZER, E. et al.: Metodológia komplexného hodnotenia zdravotných rizík v priemysle I. Zręcin : MUSKA sp. z o.o. - 2015. - 240 p.. - ISBN 978-83-938890-0-6

Korešpondenčná adresa:

Ing. Anna Yehorova
Technická univerzita,
Strojnícka fakulta, Katedra procesného a
environmentálneho inžinierstva
E-mail: anna.yehorova@tuke.sk

Novus Scientia 2021

**Zborník príspevkov z XVIII. Medzinárodnej vedeckej konferencie
doktorandov strojnícckych fakúlt technických univerzít a vysokých
škôl**

Názov: Novus Scientia 2021
Editor: © prof. Ing. Ján Slotá, PhD.
© Ing. Viktória Krajňáková, PhD.
Vydavateľ: Technická univerzita v Košiciach,
Strojnícka fakulta, Letná 9, 042 00 Košice
Rok: 2021
Vydanie: prvé
Náklad: 70 ks
Rozsah: 306 s
Miesto konania: Strojnícka fakulta, Technická univerzita v
Košiciach
Dátum konania: 28.01.2021

ISBN 978-80-553-3798-2