

Jozef ŽIVČÁK a kol.

BIOMECHANIKA ČLOVEKA I.



Dr. h. c. mult. prof. Ing. Jozef ŽIVČÁK, PhD., MPH

prof. Ing. Radovan HUDÁK, PhD.

doc. Ing. Teodor TÓTH, PhD.

Ing. Viktória RAJČÚKOVÁ, PhD.

Ing. Monika MICHALÍKOVÁ, PhD.

doc. Ing. Jaroslav MAJERNÍK, PhD.

doc. Ing. Peter FRANKOVSKÝ, PhD.

Ing. Marek SCHNITZER, PhD.

čím
rity
isku
te,
UT
42
ov
9

aj
e
h
/
4
5

BIOMECHANIKA ČLOVEKA I.

KOŠICE 2021

BIOMECHANIKA ČLOVEKA I.

Názov produktov a firiem použité vo vysokoškolskej učebnici môžu byť ochrannými známkami, alebo registrovanými ochrannými známkami príslušných vlastníkov.

Vysokoškolská učebnica bola vypracovaná v rámci riešenia grantových projektov KEGA 040TUKE-4/2019 „Využitie digitalizačných metód pre podporu edukačného procesu v oblasti protetiky a ortotiky“, APVV-19-0290 „Výskum a vývoj protetických lôžok dolných končatín vyrábaných aditívnymi technológiami“, ITMS2014+: 313011V358 „Centrum medicínskeho bioaditívneho výskumu a výroby (CEMBAM)“, ITMS2014+: 313011V455 „Otvorená vedecká komunita pre moderný interdisciplinárny výskum v medicíne (OPENMED)“ a 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.

Lektorovali:

prof. MUDr. Jozef Rosina, Ph.D., MBA, ČVUT FBI, Praha

prof. Ing. Marek Penhaker Ph.D. VŠB TU, Ostrava

Prof. Ph.D., D. Sc., Eng. Andrzej Seweryn, TU, Gdansk

- © Dr. h. c. mult. prof. Ing. Jozef ŽIVČÁK, PhD., MPH,
prof. Ing. Radovan HUDÁK, PhD.
doc. Ing. Teodor TÓTH, PhD.
Ing. Viktória RAJŤÚKOVÁ, PhD.
Ing. Monika MICHALÍKOVÁ, PhD.
doc. Ing. Jaroslav MAJERNÍK, PhD.
doc. Ing. Peter FRANKOVSKÝ, PhD.
Ing. Marek SCHNITZER, PhD.

Vydavateľstvo: Technická univerzita, Košice

ISBN 978-80-553-4032-6

prof. Ing. Radovan HUDÁK, PhD.



V súčasnosti je profesorom, riaditeľom Ústavu špeciálnych inžinierskych procesológií a vedúcim Katedry biomedicínskeho inžinierstva a merania SJF TU v Košiciach. Jeho výskumné aktivity zahŕňujú využívanie aditívnych technológií v medicíne, biomechaniku človeka a medicínsku termografiu. Zúčastnil sa viacerých medzinárodných stáží a pobytov, na Univerzite v Gente, Belgicko (2002), UIC Chicago (2006), na Technickej univerzite v Białystoku, Poľsko (2006), ČVUT v Prahe (2006). Je členom dvoch ASTM komisií, komisie E20 Meranie teploty a komisie F42 Technológie aditívnej výroby a členom redakčnej rady časopisu ProIn. Je jedným zo zakladateľov konferencie YBERC. Je autorom viac ako 350 publikácií, vrátane 8 vedeckých monografií, 9 učebníc a 30 karentovaných publikácií.

doc. Ing. Teodor TÓTH, PhD.



Docent v odbore Meranie na Katedre biomedicínskeho inžinierstva a merania, Strojníckej fakulty Technickej univerzity v Košiciach (2015) a garant študijného programu Biomedicínske inžinierstvo v odbore Elektrotechnika. V roku 2009 obhájil dizertačnú prácu na tému „Návrh zariadenia na meranie intra-abdominálneho tlaku“ v programe Biomedicínske inžinierstvo. V rámci riešenia výskumných úloh sa podieľa na publikačnej činnosti, je spoluautorom 4 monografií, 5 vysokoškolských učebníc, 18 publikácií v databáze CC a spolupracoval na viac ako 150 pôvodných prácach v domácich a zahraničných časopisoch a zborníkoch.

Ing. Viktória RAJŤÚKOVÁ, PhD.



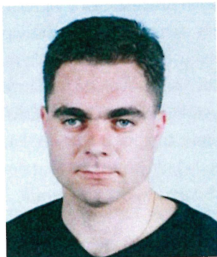
Je absolventkou programu Protetika a ortotika v rámci bakalárskeho štúdia (2009) a programu Biomedicínske inžinierstvo v rámci inžinierskeho štúdia (2011) na Strojníckej fakulte Technickej univerzity v Košiciach. Po obhájení dizertačnej práce na tému „Biomechanické riešenie lokomócie človeka po amputácii dolných končatín“ (2014) pracovala v rámci postdoktorandského štúdia ako odborný vedecký pracovník na projekte „Medicínsky univerzitný vedecký park v Košiciach (MediPark)“. V súčasnosti pracuje ako asistent na Katedre biomedicínskeho inžinierstva a merania Strojníckej fakulty Technickej univerzity v Košiciach. V rámci riešenia výskumných úloh je spoluautorkou viacerých pôvodných článkov v domácich a zahraničných časopisoch a zborníkoch.

Ing. Monika MICHALÍKOVÁ, PhD.



Je absolventkou programu Biomedicínske inžinierstvo na Strojníckej fakulte Technickej univerzity v Košiciach (2003). V súčasnosti pracuje ako odborná asistentka na Katedre biomedicínskeho inžinierstva a merania. Po obhájení dizertačnej práce na tému „Riešenia tribologických vlastností totálnych náhrad bedrového kĺbu“ (2009) pracovala ako vedecko-výskumný pracovník. Počas štúdia na Strojníckej fakulte Technickej univerzity bola zapojená do riešenia výskumných úloh a grantových projektov. V rámci riešenia výskumných úloh je spoluautorkou troch vedeckých monografií, ôsmich vysokoškolských učebníc a spolupracovala na viac ako 90 pôvodných článkoch v domácich a zahraničných časopisoch a zborníkoch. Aktívne sa zúčastňuje na zahraničných aj domácich konferenciách, školeniach a získala viaceré certifikáty z oblasti protetiky, ortotiky a kalceotiky.

doc. Ing. Jaroslav MAJERNÍK, PhD.



Je absolventom Fakulty elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach v odbore Elektronika a telekomunikačná technika. Kandidátsku dizertačnú prácu obhájil na tému "Rozvoj metód videoanalýzy pohybu človeka pre klinickú prax" v odbore Bionika a Biomechanika na Strojníckej fakulte Technickej univerzity v Košiciach. V súčasnosti pracuje ako docent v odbore Biomedicínske inžinierstvo a prednosta Ústavu lekárskej informatiky Lekárskej fakulty Univerzity Pavla Jozefa Šafárika v Košiciach. Jeho profesionálne zameranie je orientované na problematiku biomedicínskeho inžinierstva, informatiku v medicínskej praxi a rozvoj elektronických foriem vzdelávania. V týchto oblastiach sa ako hlavný alebo zodpovedný riešiteľ podieľal na implementácii viac ako 40 domácich a medzinárodných grantových úloh. Je autorom a spoluautorom viac ako 220 pôvodných vedeckých a odborných prác, vrátane 11 monografií a vysokoškolských učebníc.

doc. Ing. Peter FRANKOVSKÝ, PhD.



Je absolventom programu Aplikovaná mechanika na Strojníckej fakulte Technickej univerzity v Košiciach (2006). V súčasnosti je docentom na Katedre aplikovanej mechaniky a strojného inžinierstva. Absolvoval študijné a pracovné pobyty na ČVUT v Prahe, Rzeszów University of Technology a University of Zielona Góra. V rámci vedecko-výskumnej činnosti sa venuje optickým metódam v experimentálnej mechanike. Je šéfredaktorom časopisu Acta Mechatronica a členom redakčnej rady časopisov Strojárstvo, Acta Simulatio a Acta Technologia. Je spoluautorom 4 vedeckých monografií, 4 vysokoškolských učebníc, 7 karentovaných publikácií a vyše 150 pôvodných vedeckých prác uverejnených v domácich a zahraničných časopisoch, resp. konferenčných zborníkoch. Je spoluriešiteľom viacerých grantových projektov, výskumných úloh a úloh riešených pre prax.

Ing. Marek SCHNITZER, PhD.



Je absolventom programu Protetika a ortotika v rámci bakalárskeho štúdia (2012) a programu Biomedicínske inžinierstvo v rámci inžinierskeho štúdia (2014) na Strojníckej fakulte Technickej univerzity v Košiciach. Po obhájení dizertačnej práce v programe Biomedicínske inžinierstvo (2014) pracoval v rámci postdoktorandského štúdia ako výskumný pracovník na KBIAm. V súčasnosti pracuje ako asistent na Katedre biomedicínskeho inžinierstva a merania Strojníckej fakulty Technickej univerzity v Košiciach a je zástupcom vedúceho katedry pre vedu a výskum. V rámci riešenia výskumných úloh je spoluautorom vedeckej monografie, šiestich publikácií v karentovaných časopisoch a spolupracoval na viac ako 50 pôvodných článkoch v domácich a zahraničných časopisoch a zborníkoch.

Bion
biológiu s
princípov r
ľudského
štruktúrálr

Širo
umožňuje
statiky na
membrán
až po mec
riešenie ťa

Vyš:
Biomecha
biomedicí
ktoré sú t
oblastiach

Bio
fyziológiu
dynamiky
pružnosti
biomecha
zariadení.

PREDHOVOR

Biomechanika človeka je jedným z vedných odborov, ktoré spájajú medicínu a biológiu s technickými vedami, v tomto prípade s mechanikou. Ide teda o aplikácie princípov mechaniky (statiky, kinematiky a dynamiky) pri riešení problémov týkajúcich sa ľudského organizmu. Tie aplikácie zahŕňajú najmä stabilitu a pohyb na rôznych štruktúrnych úrovniach biologického systému.

Široký rozptyl biomechaniky, vyplývajúci z komplikovanosti živého organizmu umožňuje mechanicky analyzovať relatívne veľké množstvo problémov, od kinematiky a statiky na bunkovej úrovni, resp. molekulovej úrovni (biomechanika bunky, bunkových membrán a pod.), cez úroveň stavebných častí tkanív, tkanivovú úroveň, orgánovú úroveň až po mechaniku ľudského organizmu ako celku (analýzy chôdze, posturálnych funkcií, riešenie ťažiska, tela a pod.).

Vyššie spomínaná kombinácia vedných odborov umožňuje využiť obsah učebnice Biomechanika človeka I pre širšiu škálu čitateľov - od študentov inžinierskych odborov, biomedicínskych inžinierov, medikov a takisto študentov prírodných vied. Informácie, ktoré sú tu obsiahnuté však môžu byť využité pre účely výskumu a vývoja vo všetkých oblastiach, kde sa realizujú aplikácie biomechaniky ľudského organizmu.

Biomechanika človeka I obsahuje teoretických základ zahŕňajúci anatómiu a fyziológiu pohybového aparátu človeka, základy všeobecnej statiky, kinematiky a dynamiky s následnou aplikáciou na pohybový kostrovo-svalový systém, základy teórie pružnosti a pevnosti, reologických vlastností tkanív pohybového aparátu a prehľad biomechanických skúšok vybraných tkanív s charakteristikou metodiky a testovacích zariadení.

OBSAH

1	ÚVOD DO BIOMECHANIKY	13
1.1	HISTÓRIA BIOMECHANIKY	13
1.2	DEFINÍCIA A ROZDELENIE BIOMECHANIKY	21
1.3	SÚSTAVA JEDNOTIEK	28
1.4	SÚRADNICOVÝ SYSTÉM	29
1.4.1	KARTEZIÁNSKA SÚSTAVA SÚRADNÍČ	30
1.4.2	POLÁRNA SÚSTAVA SÚRADNÍČ	31
1.4.3	VALCOVÁ (CYLINDRICKÁ) SÚSTAVA SÚRADNÍČ	33
1.4.4	SFÉRIKÁ SÚSTAVA SÚRADNÍČ	35
1.5	ZÁKLADY VEKTOROVÉHO POČTU	37
1.5.1	SKALÁRNE A VEKTOROVÉ FYZIKÁLNE VELIČINY	37
1.5.2	OPERÁCIA S VEKTORMI	38
1.6	ĽUDSKÉ TELO V PRIESTORE	43
2	STATIKA POHYBOVÉHO APARÁTU ČLOVEKA	48
2.1	ZÁKLADNÉ POJMY STATIKY	49
2.2	ZÁKLADNÉ AXIÓMY STATIKY	52
2.2.1	AXIÓMA O ROVNOVÁHE DVOCH SÍL	52
2.2.2	AXIÓMA ZACHOVANIA SILOVÉHO ÚČINKU	52
2.2.3	AXIÓMA O SKLADANÍ DVOCH RÔZNOBEŽNÝCH SÍL	53
2.2.4	AXIÓMA AKCIE A REAKCIE	54
2.3	ROZKLAD SÍL NA ZLOŽKY	55
2.4	ÚČINOK SILY K BODU A OSI	57
2.5	SILOVÁ DVOJICA	59
2.6	POHYBLIVOSŤ HMOTNÝCH OBJEKTOV	61
2.6.1	STUPNE VOĽNOSTI POHYBU HMOTNÝCH OBJEKTOV, TVAROVÁ A STATICKÁ URČITOSŤ	61
2.6.2	VÄZBY HMOTNÉHO BODU V ROVINE A V PRIESTORE	62
2.6.3	VÄZBY TELESA V ROVINE A V PRIESTORE	66
2.7	SILOVÉ SÚSTAVY	74
2.7.1	PRIAMKOVÁ SILOVÁ SÚSTAVA	74
2.7.2	CENTRÁLNA ROVINNÁ SILOVÁ SÚSTAVA	75

2.7.3	VŠEOBECNÁ
2.7.4	ROVNOSTOJNÝ
2.7.5	CENTRÁLNA
2.7.6	VŠEOBECNÁ
2.8	PASÍVNE (STATICKÉ)
2.8.1	ŠMYKOVÉ
2.8.2	ČAPOVÉ
2.8.3	TRENIE
2.9	ZÁKLADNÉ
2.9.1	MERANIE
2.9.2	ŤAŽISKOVÉ
2.9.3	MOMENTY

3 KINEMATIKA

3.1	KINEMATIKA
3.1.1	KINEMATIKA
3.1.2	POHYB
3.1.3	KINEMATIKA
3.1.4	KINEMATIKA
3.1.5	BIOMECHANIKA
3.2	DYNAMIKA
3.2.1	HISTORIA
3.2.2	ÚLOHA
3.2.3	ROZDELENIE
3.2.4	ZÁKLADNÉ
3.2.5	ZÁKLADNÉ
3.2.6	ZÁKLADNÉ
3.3	MECHANIKA
3.3.1	MECHANIKA
3.3.2	ENERGIA
3.4	SVALOVÁ
3.4.1	PÁKA P
3.4.2	PÁKA D
3.4.3	PÁKA T
3.4.4	SVALOVÁ

2.7.3	VŠEOBECNÁ ROVINNÁ SILOVÁ SÚSTAVA	77
2.7.4	ROVNOBEŽNÁ ROVINNÁ SILOVÁ SÚSTAVA	79
2.7.5	CENTRÁLNA PRIESTOROVÁ SILOVÁ SÚSTAVA	80
2.7.6	VŠEOBECNÁ PRIESTOROVÁ SILOVÁ SÚSTAVA	82
2.8	PASÍVNE ODPORY	85
2.8.1	ŠMYKOVÉ TRENIE	85
2.8.2	ČAPOVÉ TRENIE	88
2.8.3	TRENIE VLÁKNA NA VALCOVEJ PLOCHE	90
2.9	ZÁKLADNÉ PARAMETRE ĽUDSKÉHO TELA	91
2.9.1	MERANIE HMOTNOSTI SEGMENTOV ĽUDSKÉHO TELA	92
2.9.2	ŤAŽISKO ĽUDSKÉHO TELA A JEHO SEGMENTOV	93
2.9.3	MOMENTY ZOTRVAČNOSTI ĽUDSKÉHO TELA A JEHO SEGMENTOV	99
3	KINEMATIKA A DYNAMIKA POHYBOVÉHO APARÁTU ČLOVEKA	101
3.1	KINEMATIKA	101
3.1.1	KINEMATIKA BODU	102
3.1.2	POHYB BODU V KARTÉZSKYCH SÚRADNICIACH	106
3.1.3	KINEMATIKA TELESA	108
3.1.4	KINEMATIKA MECHANIZMOV	125
3.1.5	BIOKINETICKÉ REŤAZCE	129
3.2	DYNAMIKA	134
3.2.1	HISTORICKÝ VÝVOJ DYNAMIKY	134
3.2.2	ÚLOHA DYNAMIKY	135
3.2.3	ROZDELENIE DYNAMIKY	135
3.2.4	ZÁKLADNÉ POJMY DYNAMIKY	136
3.2.5	ZÁKLADNÉ AXIÓMY DYNAMIKY	137
3.2.6	ZÁKLADNÉ VETY DYNAMIKY HMOTNÉHO BODU	140
3.3	MECHANICKÁ PRÁCA A ENERGIA	145
3.3.1	MECHANICKÁ PRÁCA	145
3.3.2	ENERGIA	147
3.4	SVALOVÁ MECHANIKA	153
3.4.1	PÁKA PRVÉHO STUPŇA	156
3.4.2	PÁKA DRUHÉHO STUPŇA	157
3.4.3	PÁKA TRETIEHO STUPŇA	158
3.4.4	SVALOVÁ ÚNAVA	159

4 BIOMECHANICKÉ VLASTNOSTI BIOLOGICKÝCH MATERIÁLOV 161

4.1	VISKOELASTICITA	164
4.2	REOLÓGIA	165
4.2.1	REOLOGICKÉ MODELÝ	166
4.2.2	KLASICKÉ MODELÝ SO SÚSTREDNÝMI PARAMETRAMI	170
4.3	BIOKOMPATIBILITA	172
4.4	BIOMECHANICKÉ VLASTNOSTI BIOLOGICKÝCH TEKUTÍN	176
4.5	BIOMECHANICKÉ VLASTNOSTI BIOLOGICKÝCH MATERIÁLOV	181

5 BIOMECHANIKA POHYBOVÉHO APARÁTU ČLOVEKA 183

5.1	BIOMECHANIKA TKANÍV A KOŽE	184
5.1.1	ZLOŽENIE A ŠTRUKTÚRA TKANIVA	184
5.1.2	BIOMECHANICKÉ VLASTNOSTI KOŽE	196
5.2	BIOMECHANIKA KOSTI	199
5.2.1	ZLOŽENIE A ŠTRUKTÚRA KOSTI	199
5.2.2	DELENIE KOSTÍ	204
5.2.3	BIOMECHANICKÉ VLASTNOSTI KOSTI	206
5.2.4	ÚRAZOVÁ BIOMECHANIKA KOSTÍ	208
5.2.5	VPLYV VEKU NA KVALITU KOSTNÉHO TKANIVA	215
5.3	BIOMECHANIKA KÍBOVEJ CHRUPAVKY	217
5.3.1	ZLOŽENIE A ŠTRUKTÚRA CHRUPAVKY	217
5.3.2	MECHANICKÉ VLASTNOSTI CHRUPAVKY	219
5.3.3	MECHANICKÉ VLASTNOSTI MEDZISTAVCOVEJ PLATNIČKY	223
5.4	BIOMECHANIKA ŠLIACH A VÄZOV	225
5.4.1	ZLOŽENIE A ŠTRUKTÚRA ŠLIACH A VÄZOV	225
5.4.2	BIOMECHANICKÉ VLASTNOSTI ŠLIACH A VÄZOV	226
5.4.3	FAKTORY OVPLYVŇUJÚCE BIOMECHANICKÉ VLASTNOSTI ŠLIACH A VÄZOV	230
5.5	BIOMECHANIKA PERIFÉRYCH NERVOV	232
5.5.1	ZLOŽENIE A ŠTRUKTÚRA NERVOV A MIECHY	232
5.5.2	BIOMECHANIKA NERVOV A MIECHY	233
5.6	BIOMECHANIKA KOSTROVÉHO SVALU	236
5.6.1	ZLOŽENIE A ŠTRUKTÚRA KOSTROVÉHO SVALU	236
5.6.2	DELENIE KOSTROVÉHO SVALU	239
5.6.3	BIOMECHANICKÉ VLASTNOSTI KOSTROVÉHO SVALU	245

5.7 BIOMECH

5.7.1	KÍBOV
5.7.2	BIOME
5.7.3	BIOME
5.7.4	BIOME
5.7.5	BIOME
5.7.6	BIOME
5.7.7	BIOME
5.7.8	BIOME
5.7.9	BIOME

6 BIOMECH

6.1 BIOMECH

6.1.1	FAKTOR
6.1.2	TYPY TES
6.1.3	ZARIADE
6.2	BIOMECHA
6.3	BIOMECHA
6.4	BIOMECHA
6.5	BIOMECHA
6.6	BIOMECHA
6.7	ŠPECIÁLNE

7 BIOMECHA

7.1	VÝZNAM PC
7.2	POHYBOVÝ
7.3	PROTOTYP
7.3.1	POSTURÁL
7.3.2	LOKOMOČ
7.4	PROCES VZN
7.5	RIADENIE LO
7.6	CYKLUS POH
7.6.1	PERIODICIT
7.6.2	PERIÓDY C

161	5.7 BIOMECHANIKA KLBOV	258
	5.7.1 KLBOVÉ SPOJENIE	258
164	5.7.2 BIOMECHANIKA KOLENNÉHO KLBU	265
165	5.7.3 BIOMECHANIKA BEDROVÉHO KLBU	269
166	5.7.4 BIOMECHANIKA ČLENKOVÉHO KLBU A CHODIDLA	271
170	5.7.5 BIOMECHANIKA CHRBTICE	274
172	5.7.6 BIOMECHANIKA HRUDNÍKA	280
176	5.7.7 BIOMECHANIKA RAMENNÉHO KLBU	282
181	5.7.8 BIOMECHANIKA LAKŤOVÉHO KLBU	285
	5.7.9 BIOMECHANIKA ZÁPÄSTIA A RUKY	287
183	6 BIOMECHANICKÉ SKÜŠKY ĽUDSKÝCH TKANÍV	290
184	6.1 BIOMECHANICKÉ SKÜŠKY KOSTÍ	294
184	6.1.1 FAKTORY VPLÝVAJÚCE NA BIOMECHANICKÉ VLASTNOSTI KOSTI	296
196	6.1.2 TYPY TESTOVANIA MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ KOSTÍ IN VITRO	297
199	6.1.3 ZARIADENIA A NÄSTROJE PRE BIOMECHANICKÉ SKÜŠKY KOSTÍ	298
199	6.2 BIOMECHANICKÉ SKÜŠKY MÄKKÝCH TKANÍV	303
204	6.3 BIOMECHANICKÉ SKÜŠKY ŠLIACH A VÄZOV	304
206	6.4 BIOMECHANICKÉ SKÜŠKY KLBOVEJ CHRUPAVKY	307
208	6.5 BIOMECHANICKÉ SKÜŠKY SVALOV	309
215	6.6 BIOMECHANICKÉ SKÜŠKY KOŽE	311
217	6.7 ŠPECIÁLNE BIOMECHANICKÉ SKÜŠKY	313
217		
219		
223	7 BIOMECHANIKA CHÖDZE A POSTURÁLNYCH FUNKCIÍ ČLOVEKA	314
225	7.1 VÝZNAM POHYBOVÝCH SCHOPNOSTÍ	315
225	7.2 POHYBOVÝ SYSTÉM	318
226	7.3 PROTOTYPOVÉ ČINNOSTI	320
230	7.3.1 POSTURÁLNE ČINNOSTI	320
232	7.3.2 LOKOMOČNÉ ČINNOSTI	323
232	7.4 PROCES VZNIKU BIPEDÁLNEJ LOKOMÓCIE	327
233	7.5 RIADENIE LOKOMOČNÉHO POHYBU	329
236	7.6 CYKLUS POHYBU DOLNÝCH KONČATÍN	333
236	7.6.1 PERIODICITA CHÖDZE	333
239	7.6.2 PERIÖDY CYKLU CHÖDZE	333
245		

BIOMECHANIKA ČLOVEKA I.

7.6.3	FÁZY CYKLU CHÔDZE	337
7.6.4	UDALOSTI CYKLU CHÔDZE	340
7.6.5	KROK A CYKLUS CHÔDZE	341
7.7	POHYB SEGMENTOV DOLNEJ KONČATINY	343
7.8	FUNKČNÁ DIAGNOSTIKA HYBNOSTI DOLNÝCH KONČATÍN	348
7.8.1	FUNKČNÝ ROZSAH POHYBU KÍBOV	348
7.8.2	DIFERENCIÁLNA DIAGNOSTIKA	350
7.9	ANALÝZA CHÔDZE	353
7.9.1	ÚROVNE HODNOTENIA LOKOMÓCIE ČLOVEKA	353
7.9.2	PRIAMA A INVERZNÁ DYNAMIKA	356
7.9.3	KVALITATÍVNA ANALÝZA CHÔDZE	360
7.9.4	ĎALŠIE VÝŠETRENIA	370
7.10	VÝZNAM A UPLATNENIE POHYBOVEJ ANALÝZY	372
7.10.1	VYUŽITIE V KLINICKEJ PRAXI	372
7.9.5	ĎALŠIE SMEROVANIE POHYBOVEJ ANALÝZY	376

8 BIOMECHANIKA INTERAKCIE TKANIVO-IMPLANTÁT **378**

8.1	VYUŽITIE ADITÍVNYCH TECHNOLOGIÍ A MATERIÁLOV V PERSONALIZOVANEJ IMPLANTOLÓGIÍ A TKANIVOVOM INŽINIERSTVE	379
8.1.1	MEDICÍNSKA ADITÍVNA VÝROBA	383
8.2	METODOLÓGIA NÁVRHU, VÝROBY A TESTOVANIA PERSONALIZOVANÝCH NÁHRAD	386
8.2.1	REALIZÁCIA KRANIÁLNEHO PERSONALIZOVANÉHO IMPLANTÁTU	389
8.2.2	REALIZÁCIA MAXILOFACIÁLNEHO PERSONALIZOVANÉHO IMPLANTÁTU	391
8.2.3	REALIZÁCIA PERSONALIZOVANÉHO IMPLANTÁTU SÁNKY	396
8.2.4	REALIZÁCIA IMPLANTÁTU HRUDNEJ KOSTI	397
8.2.5	REALIZÁCIA PERSONALIZOVANÉHO IMPLANTÁTU PRE NÁHRADU MEDZISTAVCOVEJ PLATNIČKY	399
8.3	DIZAJN, TOPOLOGICKÁ OPTIMALIZÁCIA A NUMERICKÁ SIMULÁCIA CERVIKÁLNYCH KLIETOK	402
8.3.1	KONŠTRUKČNÉ RIEŠENIE NOMINÁLNEHO DIZAJNU PRE SÉRIOVÚ ADITÍVNU VÝROBU S POUŽITÍM RÔZNYCH DRUHOV TECHNOLOGIÍ A MATERIÁLOV	402
8.3.2	ZÁKLADNÝ ALGORITMUS NUMERICKEJ SIMULÁCIE	402
8.3.3	TOPOLOGICKÁ OPTIMALIZÁCIA	403
8.3.4	NUMERICKÉ TESTOVANIE OPTIMALIZOVANÉHO DIZAJNU MEDZISTAVCOVEJ KLIETKY	405
8.3.5	EXPERIMENTÁLNE TESTOVANIE OPTIMALIZOVANÝCH MEDZISTAVCOVÝCH KLIETOK	406
8.3.6	SIMULÁCIA ZAŤAŽENIA NA NOMINÁLNY DIZAJN REPREZENTUJÚCI PORUŠENIE STAVCA	406
8.3.7	VÝSLEDNÉ KONŠTRUKČNÉ RIEŠENIE TOPOLOGICKY OPTIMALIZOVANÉHO DIZAJNU	408

8.3.8	VÝSLEDKY NOMINÁLNYM DIZAJNOM
8.3.9	POROVNANIE VÝSLEDKOV SKÚŠKY S NUMERICKÝMI VÝSLEDKAMI
8.4	VÝSKUM A VÝVOJ

PRÍLOHY

ZÁKLADNÉ JEDNOTKY
ODVODENÉ A NÁSLEDNÉ JEDNOTKY
VEDĽAJŠIE JEDNOTKY
ANGLICKÁ A AMERICKÁ

ZOZNAM OBRÁZOK

ZOZNAM TABULIČIEK

LITERATÚRA

ZÁVER

8.3.8	VÝSLEDKY NUMERICKÉHO TESTOVANIA OPTIMALIZOVANÉHO DIZAJNU (NST) V POROVNANÍ S NOMINÁLNYM DIZAJNOM	410
8.3.9	POROVNANIE ŠTATISTICKY VYHODNOTENÝCH EXPERIMENTÁLNE ZÍSKANÝCH ÚDAJOV Z TLAKOVEJ SKÚŠKY S NUMERICKOU SIMULÁCIOU	411
8.4	VÝSKUM A VÝVOJ INTELIGENTNÝCH BIONICKÝCH IMPLANTÁTOV	413
	PRÍLOHY	415
	ZÁKLADNÉ JEDNOTKY SI	415
	ODVODENÉ A NÁSOBNÉ JEDNOTKY	416
	VEDĽAJŠIE JEDNOTKY A JEDNOTKY POUŽÍVANÉ V MEDICÍNE	418
	ANGLICKÁ A AMERICKÁ SÚSTAVA JEDNOTIEK	419
	ZOZNAM OBRÁZKOV	423
	ZOZNAM TABULIEK	432
	LITERATÚRA	433
	ZÁVER	456

Dr. h. c. mult. prof. Ing. Jozef ŽIVČÁK, PhD., MPH
prof. Ing. Radovan HUDÁK, PhD.
doc. Ing. Teodor TÓTH, PhD.
Ing. Viktória RAJČÚKOVÁ, PhD.
Ing. Monika MICHALÍKOVÁ, PhD.
doc. Ing. Jaroslav MAJERNÍK, PhD.
doc. Ing. Peter FRANKOVSKÝ, PhD.
Ing. Marek SCHNITZER, PhD.

BIOMECHANIKA ČLOVEKA I.

Edícia vedeckej a odbornej literatúry
Strojnícka fakulta TU v Košiciach
Letná 9, 042 00 Košice

Vydal: Technická univerzita, Košice
Tlač: Technická univerzita, Košice
Náklad: 100 ks
Počet strán: 460
Vydané v roku 2021
Vydanie III. Doplnené vydanie

ISBN 978-80-553-4032-6



Dr. h. c. mult. prof. Ing. Jozef ŽIVČÁK, PhD., MPH

Profesor v odbore 5.2.47 Biomedicínske inžinierstvo na Strojníckej fakulte Technickej univerzity v Košiciach, garant odboru Biomedicínske inžinierstvo a dekan Strojníckej fakulty. Od roku 1982 až doteraz pôsobí na Strojníckej fakulte Technickej univerzity v Košiciach. Zúčastnil sa viac ako 20 zahraničných študijných a vedeckých pobytov.

Je členom medzinárodného komitetu IMEKO-TC 18 a predsedom „Measurement of Human Functions“ na Slovensku. Je členom viacerých vedeckých rád a vedeckých komitetov doma a v zahraničí. Jeho publikačné aktivity presahujú 500 pôvodných

vedeckých prác, vyškolil viac ako 20 uchádzačov vo vedeckej výchove PhD. štúdia.

Je nositeľom viacerých národných a medzinárodných ocenení za prínos vo vedeckej a edukačnej činnosti v oblasti Biomedicínskeho inžinierstva, ako sú:

- Dr. h. c. v odbore Biomechanika, 2009, Užhorod, Ukrajina
- prof. h. c. v odbore Biomechanika, 2013, Budapešť, Maďarsko
- Dr. h. c. v odbore Biomechanika, 2020, Bialystok, Poľsko
- V roku 2013 bol ocenený Veľkou medailou Samuela Mikovíniho – Vedec roka
- Nositeľ národnej ceny za kvalitu pre rok 2015 v oblasti publikácií
- V roku 2017 získal ocenenie za celoživotné zásluhy v oblasti vedy a techniky – Vedec roka 2017
- V roku 2018 sa stal laureátom Ceny predsedu PSK v oblasti vedy a výskumu.

ISBN 978-80-553-4032-6



9788055340326