

ADITÍVNA TECHNOLOGIA V AVIÁRNEJ MEDICÍNE – REVIEW

Ing. Gabriela Dancáková

Katedra biomedicínskeho inžinierstva a merania
Technická univerzita v Košiciach, Letná 9, 042 00
Košice
e-mail: gabriela.dancakova.2@tuke.sk

Ing. Viktória Rajtúková, PhD.

Katedra biomedicínskeho inžinierstva a merania
Technická univerzita v Košiciach, Letná 9, 042 00
Košice
e-mail: viktor.rajtukova@tuke.sk

doc. RNDr. Marianna Trebuňová, PhD.

Katedra biomedicínskeho inžinierstva a merania
Technická univerzita v Košiciach, Letná 9, 042 00
Košice
e-mail: marianna.trebunova@tuke.sk

Ing. Samuel Lancoš

Katedra biomedicínskeho inžinierstva a merania
Technická univerzita v Košiciach, Letná 9, 042 00
Košice
e-mail: samuel.lancos@tuke.sk

prof. Ing. Radovan Hudák, PhD.

Katedra biomedicínskeho inžinierstva a merania
Technická univerzita v Košiciach, Letná 9, 042 00
Košice
e-mail: radovan.hudak@tuke.sk

Abstract

Aditívna technológia sa okrem humánnej medicíny začína využívať aj v oblasti veterinárnych aplikácií. Vo väčšine prípadov, kedy bola aditívna technológia využitá sa jednalo najmä o domáce spoločenské zvieratá ako sú psy a mačky. Aditívna technológia v týchto prípadoch našla uplatnenie nie len pre výrobu individuálnych protetických pomôcok, ale aj individuálnych implantátov končatín či lebky. V ojedinelých prípadoch sa aditívna technológia využila aj pri zvieratách ako sú kone a korytnačky. Táto prehľadová štúdia popisuje využitie aditívnej technológie v oblasti aviárnej medicíny. Zameriava sa hlavne na typ použitého materiálu k nahradzovanému tkanivu.

Key words: protetická náhrada; implantát; aditívna technológia, 3D tlač, veterinárny; aviárny

ÚVOD

Aviárny veterinár a aviárna medicína je odbor, ktorý je zameraný na liečbu vtákov **Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.**[1]. Poranenia voľne žijúcich zvierat, medzi ktoré sa radia aj

vtáky, sú pomerne časté. Jedná sa o rôzne spôsoby, akými dochádza k ich zraneniam. Môže sa jednať o poranenia strelné, kde je zvýšený počet najmä u denných dravcov. Tento druh poranenia má za následok zlomeniny končatín, prípadne zlomené alebo chýbajúce perie. Okrem vyššie spomínaného môže byť dôsledok týchto zranení závažnejší a to vážne narušenie štruktúry krídla, prípadne lietacích svalov. Medzi ďalšie triedy poranení, pri ktorých vznikajú poranenia u vtákov sú kolízie s dopravnými prostriedkami, poranenia rezného charakteru a iné typy kolízií a nárazov či napadnutia inými zvieratami. U vtákov, ktorých aktivita je zvýšená najmä v nočných hodinách je zvýšený výskyt kontaktu a stretu s ostatnými drôtni [2][3][4].

Stĺpmi elektrického vedenia sú rovnako život ohrozujúce pre zdravie vtákov. K poraneniám dochádza pri kontakte tela vtáka s dvoma drôtni elektrického vedenia. K poraneniu môže dôjsť aj v prípade kontaktu s vodičom a neizolovaným uzemneným stĺpom. Príčiny, ktoré ovplyvňujú kolízie a interakcie s elektrickým vedením sú napríklad odpočinok na vedení elektrického prúdu po lete, stanovisko pre lov, alebo ich prípadné využitie ako bidlo. Elektrické vedenie vtáctva často využíva aj pre vzlet a pristávanie [5]. Vzhľadom na veľkosť tela niektorých druhov vtáctva, je zvýšené riziko kontaktu s dvoma bodmi elektrického vedenia a s inými predmetmi počas letu. Medzi takto ohrozené dravce patria orly, jastraby a veľké sovy [6].

Aditívna technológia okrem uplatnenia v rôznych odvetviach priemyslu a humánnej medicíny sa v ojedinelých prípadoch zamerala aj na využitie v oblasti aviárnej medicíny. Existuje niekoľko prípadov úspešného využitia aditívnej technológie pre reparáciu chýbajúcich končatín resp. iných život ohrozujúcich častí tela vtáctva. Vo väčšine sa jednalo najmä o nahradzovanie chýbajúcich častí zobákov, ktoré mali priamy súvis s prežitím daného jedinca, nakoľko sa jedná o život ohrozujúci faktor v úlohe prijímania potravy [7].

Táto publikácia sa zaoberá prípadmi, kde využitie aditívnej technológie a 3D tlače po rôznych typoch úrazov či napadnutí, skvalitnilo, ale aj zachránilo život takto ohrozeným vtákom.

3D NÁHRADY PRE TKANIVÁ ZOBÁKA

Poranenia zobáka alebo jeho časti priamo ohrozujú zviera. Ak chýba časť, alebo dokonca celý zobák, prijímanie potravy je pre zviera znemožnené. Prežitie bez chýbajúcej časti je častokrát minimálne bez asistovanej pomoci od človeka.

Prípadoch, kde sa zaznamenal takýto druh poranenia u vtákov, sa vyskytuje čoraz častejšie. Vo väčšine prípadov sa jednalo o voľne žijúce druhy, no našli sa aj také, kde zranenie vzniklo u chovateľa [8]. Najviac zastúpenými druhmi zvierat, ktorým využitie aditívnej technológie pomohlo prinavrátiť späť schopnosť kŕmenia bez pomoci človeka, boli druhy zvierat ako husy, tukany, orly a papagáje.

Jednotlivé prípady sa z hľadiska aditívnej technológie od seba líšili hlavne po stránke použitého materiálu. Použitie, respektíve výber vhodného materiálu ako náhrady pre tkanivá zobáka mal priamy súvis s druhom zvierateľa. Hlavným faktorom pre výber vhodného materiálu bol spôsob a druh prijímanej potravy. Ďalšie kritérium zohľadňovalo silu, ktorú daný druh vtáka môže svojím zobákom vyvinúť. V jednom prípade sa zohľadňoval aj celkový vek, ktorého sa druh dožíval [8][9].

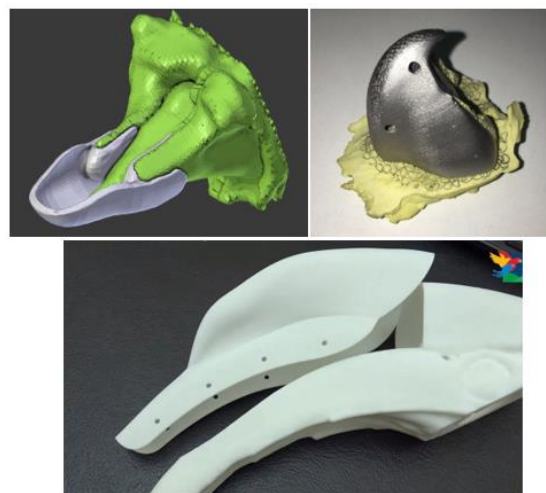
Použité materiály pre nahradzovanie tkanív zobáka je tak možné rozdeliť do dvoch skupín a to kovové a nekovové. Z kovových materiálov sa využíva hlavne titán, ktorý svojimi mechanickými vlastnosťami dokonale kopíroval potreby papagája, a je potrebné ním vyvinúť značnú silu [8]. Rovnako sa titán použil aj v prípade žeriava, nakoľko sa tieto zvieratá dožívajú 50 – 60 rokov [9]. Vo zvyšných prípadoch sa jednalo o využitie rôznych nekovových materiálov. Tie z hľadiska mechanických vlastností nemuseli spĺňať prísne kritéria. Využili sa tak materiály ako biologicky odbúrateľný polymér vyrobený z kukurice a cukrovej trstiny [10], akrylonitril butadién styren (ABS) [11] **Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.**, kyselina polymliečna (PLA), ktorá v prípade u tukanov obsahovala na svojom povrchu dentálnu živicu pre ich sociálne prispôsobenie [12], Duraform PA, ktorý je podobný polypropylénu, využíva sa v astronautike a je taktiež biokompatibilný [13][14] a iné.

V špeciálnych prípadoch sa okrem 3D náhrady pre tkanivá zobáka aditívna technológia využila aj na plánovanie operačného zákroku, kde spolu s protetickou náhradou zobáka sa namodeloval aj chirurgický navádzač, ktorý uľahčoval priebeh chirurgického zákroku a rovnako zvyšoval aj presnosť umiestnenia náhrady v žiadanej polohe [15].

Na základe vyššie spomenutých kritérií sa zhrnuli jednotlivé údaje k daným prípadom. Na ich podklade sa vytvorili dve prehľadové tabuľky. Prvá z nich popisuje materiály, ktoré boli využité ako náhrada tkanív zobáka u jednotlivých druhov zvierat (Tab. 1).

tab.1 Súhrnná tabuľka materiálov použitých ako náhrada tkanív

Druh zvierateľa	Použitý materiál
Hus	biologicky odbúrateľného polyméru vyrobeného z kukurice a cukrovej trstiny [10]
	ABS [11]
Tukan	Špeciálny polymér vyrobený z továrne na výrobu ricínového oleja [16]
	Duraform PA (nylon) [13]
Pelikán	Nedostupné [17]
Žeriav	Titán [18][19]
Zoborožec	Fotopolymérna živica [20]
	EOS PA 2200, polyamid 12 [21]
Kakadu	3D tlačaná živica [22]
Pinguin	high-tech ekologický plast (s nylonovými a silikónovými „back-ups“) [23][24]
Papagáj	Titán [8]
Orol	polymér na báze nylonu s titánovým držiakom [25]



Obr. 1 Príklady využitia 3D tlače v aviárnej medicíne [8][15][26]

3D NÁHRADY DOLNÝCH a HORNÝCH KONČATÍN

Ako je v úvode popísané, k zraneniam vtáctva dochádza za rôznych okolností a rôznymi mechanizmami ich vzniku. Nejedná sa tak len o poranenia zobáka, ale aj iných častí tela vtáctva. Nasledujúca kapitola sa bude venovať poraneniám horných a dolných končatín, kde sa aditívnej technológii nahradili chýbajúce časti končatín.

Vo väčšine prípadov sa jednalo najmä o väčšie druhy zvierat, ktorých pohyblivosť na základe veľkosti ich tela, bola bez chýbajúcej dolnej končatiny značne obmedzená. Jedným z týchto zvierat bol aj hadožrút nohatý (Secretarybird), ktorému spoločnosť e-Nable pre

výrobu detských protéz vyrobila celkovo dva prototypy protéz, nakoľko prvý prototyp bol príliš ťažký [7][27]. Ďalšia protéza pre hadožrúta nohatého z Prétorie sa 3D tlačou vyrobila z umelých uhlíkových vlákien [28]. Inými príkladmi pre protetické náhrady dolných končatín pre vtáctvo je malý modrý tučniak (*Eudyptula minor*) [7][29][30], na ranči udomácnený páv (*Pavo cristatus*), ktorému 3D končatinu vytlačil „náhodný pozorovateľ“ [31][32], ale aj páva, kde vytvorená protetická náhrada bola súčasťou vedeckej štúdie. Navrhnutých bolo hneď niekoľko typov prototypov, kde sa navzájom porovnávala ich celková hmotnosť rovnako aj celkový čas tlače či cena [32]. Celkovo tri prototypy protéz dolnej končatiny sa navrhli aj pre mláďa bociana, ktoré si poškodilo nohu o hniezdo. Vzhľadom na zlepšenie a celkové pohodlie mláďaťa sa momentálne navrhuje aj štvrtý prototyp [34][35].

tab.2 Súhrnná tabuľka materiálov použitých ako náhrada tkanív

Nahradzované tkanivo	Druh zvierat'a	Použitý materiál
Dolná končatina	Hadožrút nohatý	Neuvedený [7][27]
		Umelé uhlíkové vlákna [28]
	Malý modrý tučniak	Tvrdý plastový materiál (bližšie neurčený) [29][30]
	Páv	Neuvedený [31]
		ABS [32]
	Bocian	Prototyp I. – III: PETG + Vystlané penou Prototyp IV. - finálna verzia: ASA + silikónová podložka [34][35]
Horná končatina (Kridlo)	Sokol pestrý (<i>American castrel</i>)	Neuvedený [36][37]
	Sokol	Neuvedený [38]



Obr. 2 Príklady využitia 3D tlače v aviárnej medicíne [7][39][40]

ZÁVER

Prehľadová publikácia poukazuje na možnosti využitia aditívnej technológie v oblasti aviárnej medicíny. Či sa už jedná o život ohrozujúce ohrozenie pri poraneniach zobáka alebo zlepšenie kvality života protetickými pomôckami pre oblasť končatín. Vo väčšine dostupných zdrojov sa však jednalo iba nevedecké články v bežných denníkoch respektíve týždenníkoch. Tie bohužiaľ nie vždy obsahovali potrebné informácie, ako napríklad materiál, z ktorého sa daná náhrada vyrobila. Vedeckých publikácií bolo v tejto oblasti uverejnených len minimum, ale na rozdiel od vyššie spomenutých obsahovali potrebné údaje. Prehľadová štúdia poskytuje materiál, ako pomôcku pri riešení problematiky použitých materiálov pre budúce prípady v oblasti a aviárnej medicíny v spolupráci s aditívnou technológiou.

Literatúra

- [1] TULLY, Thomas N., Jr.; Dorrestein, Gerry M.; Jones, Alan K., eds. (2009). Handbook of avian medicine (2nd ed.). Edinburgh: Saunders Elsevier. ISBN 978-0-7020-2874-8.
- [2] FARROW, C. S. Veterinary Diagnostic Imaging: Birds, Exotic Pets and Wildlife. Missouri: Mosby Elsevier, 2009. P. 433. ISBN: 978-0-323-0257-0
- [3] 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.

- [4] SCOTT, D. E. Raptor medicine, surgery and rehabilitation. Croydon: CABI, 2016. p. 326. ISBN-13: 978-1-78064-746-3.
- [5] BEVANGER, K. Bird interaction with structures: collision and electrocution. Causes and mitigating measures. *International Journal of Avian Science*. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.1994.tb01116.x>, 1994, vol. 136, no. 4, pp. 412-425
- [6] 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
- [7] NEME, Laurel. Life and new limbs: Creative thinking, 3D printers save injured wildlife. Mongabay: News & inspiration from nature's frontline [online]. 2021, 5. April [cit. 2021-8-10].
- [8] DORIS. Parrot Gigi Receives 3D Printed Titanium Beak. 3printer.com: The idependent AM magazine [online]. 2016, 23. February <https://www.3printr.com/parrot-gigi-receives-3d-printed-titanium-beak-2735795/>
- [9] WATKIN, Hanna. Bird in Guangzhou Zoo Receives 3D Printed Beak. All3Dprint [online]. 2016, 21. July <https://all3dp.com/3d-printed-beak/>
- [10] ARNOLD, Carrie. Injured Animals Get Second Chance With 3-D Printed Limbs. *National Geographic* [online]. 2016 <https://news.nationalgeographic.com/2016/08/prosthetics-animals-rescued-3d-dogs-cats/>
- [11] HERNANDEZ, Daisy. This Bird's Got a Brand New Bill. *Popular Mechanics* [online]. 2016, 23. March: <https://www.popularmechanics.com/science/animals/a31901940/goose-bill-prosthetic>
- [12] DANCÁKOVÁ Gabriela. Individual animal implants/prosthetics. Message to: MIAMOTO Paulo. 11.05.2021
- [13] 3D Scanning, Geomagic Freeform and 3D Printed Prosthetic Beak Gives New Life to Costa Rican Toucan. 3D Systems [online]: <https://www.3dsystems.com/learning-center/case-studies/prosthetic-beak-gives-new-life-costa-rican-toucan>
- [14] DuraForm PA (SLS). 3D Systems [online] <https://www.3dsystems.com/materials/duraform-pa>
- [15] Hornbill gets 3D-printed prosthetic casque after cancer. BBC: News, Asia [online]. 2018, 3. October <https://www.bbc.com/news/world-asia-45729674>
- [16] BANDEIRA, Luiza. Mutilated toucan gets 3D-printed beak prosthesis. BBC Brasil [online]. 2015, 25. August <https://www.bbc.com/news/world-latin-america-34039680>
- [17] Beautiful White Pelican Receives New Beak Thanks to 3D Printing Technology. 3Dprint.com [online]. 2015, 18. August <https://3dprint.com/89942/beautiful-white-pelican-recvies-new-beak-thanks-to-3d-printing-technology/>
- [18] WATKIN, Hanna. Bird in Guangzhou Zoo Receives 3D Printed Beak. All3Dp [online]. 2016, 21. July <https://all3dp.com/3d-printed-beak/>
- [19] MENDOZA, Hannah Rose. Red-Crowned Crane Receives 3D Printed Beak. 3Dprint.com [online]. 2016, 20. July <https://3dprint.com/143034/crane-receives-3d-printed-beak/>
- [20] WATKIN, Hanna. Karl the Hornbill Receives a New 3D Printed Beak Prosthetic. 3dfablab.wordpress.com [online]. 2017, 6. September: <https://3dfablab.wordpress.com/2017/09/06/karl-the-hornbill-receives-a-new-3d-printed-beak-prosthetic/>
- [21] XIE S, Cai B, Rasidi E, Yen C-C, Hsu C-d, Chow WT, et al. (2019) The use of a 3D-printed prosthesis in a Great Hornbill (*Buceros bicornis*) with squamous cell carcinoma of the casque. *PLoS ONE* 14(8): e0220922. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220922>
- [22] O'NEAL, Bridget. China's Nanjing Zoo: Beautiful Cockatoo's Beak Begins to Fall Off After Bullying, Saved with 3D Printed Prosthetic. 3Dprint.com [online]. 2016, 25. April <https://3dprint.com/131276/nanjing-cockatoo-beak/>
- [23] 3D printing to the rescue: injured penguin getting new 3D printed beak. Wwww.3ders.org: 3D printer and 3D printing news [online]. 2014, 21. March <http://www.3ders.org/articles/20140321-3d-printing-to-the-rescue-injured-penguin-getting-new-3d-printed-beak.html>
- [24] SOKOL, Zach. 3D Printed Prosthetic Beak Saves Polish Penguin. Vice [online]. 2014, 22. March <https://www.vice.com/en/article/4xqddj/3d-printing-saves-polish-penguin>
- [25] Socrates. Bald Eagle Gets 3D Printed Beak Prosthesis. Singularity: Create the future [online]. 2012, 13. September <https://www.singularityweblog.com/bald-eagle-gets-3d-printed-beak-prosthesis/>
- [26] ARMSTRONG, Katie. HOW VICTORIA THE GOOSE GOT HER GROOVE BACK. 3Dprintingindustry: Create the future [online]. 2016, 3. August <https://3dprintingindustry.com/news/victoria-goose-got-groove-back-91223/>
- [27] BOUCHARD, Anthony. Secretary Bird Gets 3D-Printed Prosthetic Leg. Labroots [online]. 2017, 25. April <https://www.labroots.com/trending/plants-and-animals/5855/secretary-bird-3d-printed-prosthetic-leg>
- [28] DUVENAGE, Engela. Legs gets an extra (3D printed) leg. Labroots [online]. 2019, 28. August: <https://scibraai.co.za/legs-gets-an-extra-3d-printed-leg/>

- [29] KOSLOW, Tyler. Bagpipes the Penguin Gets Fitted for 3D Printed Prosthetic Limb. SciBraai [online]. 2016, 5. June <https://3dprint.com/137180/penguin-3d-printed-prosthetic/>
- [30] Bagpipes the penguin stands tall with new 3D printed prosthetic foot. 3Ders: 3D printer and 3D printing news [online]. 2016, 1. June: <http://www.3ders.org/articles/20160601-bagpipes-the-penguin-stands-tall-with-new-3d-printed-prosthetic-foot.html>
- [31] Tess. Reddit user 3D prints prosthetic foot for one-legged Wyoming peacock. 3Ders: 3D printer and 3D printing news [online]. 2018, 23. March: <http://www.3ders.org/articles/20180323-reddit-user-3d-prints-prosthetic-foot-for-one-legged-wyoming-peacock.html>
- [32] WETZEL, Rich. Peacock Receives 3D Printed Prosthetic Foot From Generous Reddit User. 3D print [online]. 2018, 28. March: <https://3dprint.com/207999/peacock-receives-prosthetic-foot/>
- [33] Ranganathan, R., Mohan, S. K. P., Pugalendhi, A., & Arumugam, S. (2018). Design and development of a prosthetic leg for an amputated peacock using additive manufacturing. *International Journal of Rapid Manufacturing*, 7(4), 356. doi:10.1504/ijrapidm.2018.095806
- [34] LOŠKOVÁ, Natálie a Jakub DULÍNEK. Mládě čapa z Chebu přišlo o nohu, díky protéze z 3D tiskárny se učí znovu chodit. *Novinky.cz* [online]. Františkovy Lázně, 2021 [cit. 2021-9-16]. Dostupné z: <https://www.novinky.cz/veda-skoly/clanek/mlade-capu-z-chebu-prislo-o-nohu-diky-proteze-z-3d-tiskarny-se-uci-znovu-chodit-40370678>
- [35] DANCÁKOVÁ Gabriela. Message to: MICHL Matyáš. 7. september. 2021
- [36] OMARZU T. Freya the falcon fit for prosthesis provided by Chattanooga-based company (with video) [Internet]. Chattanooga times free press; 2014 Nov: <https://www.timesfreepress.com/news/local/story/2014/nov/07/freya-the-falcon-fit-for-prosthesis/272828/>
- [37] KLAUSNER, Alexandra. Bird amputee gets PROSTHETIC WING to help it balance and protect it's fragile stump. *DailyMail* [online]. 2014, 7. November: <https://www.dailymail.co.uk/news/article-2824849/Bird-amputee-gets-PROSTHETIC-WING-help-balance-s-fragile-stump.html>
- [38] PACE M. Joe, Chattanooga's one-winged hawk, receiving prosthetic device [Internet]. Chattanooga times free press; 2019 May: <https://www.timesfreepress.com/news/local/story/2019/may/28/joe-chattanooga-one-winged-hawk-receiving-pr/495466/>
- [39] OWEN, Jen. 3D Printing Is For The ...BIRDS! *Enablingthefuture.org*: A global

network of passionate volunteers using 3 [online]. 2017, 24. August [cit. 2021-8-10]. Dostupné z: <https://enablingthefuture.org/2017/08/24/3d-printing-is-for-the-birds/>

[40] SUANDERS, Sarah. E-NABLE is Going to the Birds: 3D Printed Prosthetic Leg for a Secretary Bird in Germany. 3Dprint: The voice of 3D printing / Additive manufacturing [online]. 2017, 10. April [cit. 2021-8-10]. Dostupné z: <https://3dprint.com/170693/e-nable-3d-printed-bird-leg/>

Táto práca bola vypracovaná za podpory projektu KEGA 040TUCE-4/2019, KEGA 041TUCE-4/2019 a KEGA 023TUCE-4/2020. Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt „Centrum medicínskeho bioaditívneho výskumu a výroby (CEMBAM), kód ITMS2014+: 313011V358, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja a vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Otvorená vedecká komunita pre moderný interdisciplinárny výskum v medicíne (OPENMED), kód ITMS2014+: 313011V455, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.