



## Záverečná karta projektu

Názov projektu Evidenčné číslo projektu **APVV-17-0278**

**Výskum aditívnej výroby biodegradovateľných magnéziových zliatín a ich aplikácie v implantológii a regeneratívnej medicíne**

Zodpovedný riešiteľ **doc. Ing. Radovan Hudák, PhD.**

Príjemca **Technická univerzita v Košiciach - Strojnícka fakulta**

### Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

Katedra biomedicínskeho inžinierstva a merania, Strojnícka fakulta, Technická univerzita v Košiciach, Slovensko

### Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení

Klinika Charité, Nemecko,  
HANA AMT, Južná Kórea  
Amazemet, Poľská republika,  
Aconity, Nemecko,  
CEITEC, Česká republika  
DENTAS, Slovinsko

### Udelené patenty/podané patentové prihlášky, vynálezy alebo úžitkové vzory, ktoré sú výsledkami projektu

V kategórii patentových prihlášok v SR bola zverejnená prihláška:

9. Personalizovaná zdravotnícka pomôcka a spôsob jej prípravy / Martin Juhás ...

[et al.] Spôsob prístupu:

<https://wbr.indprop.gov.sk/WebRegistre/UzitkovyVzor/Detail/17-2020...>

[JUHÁS, Martin - ŽIVČÁK, Jozef - HUDÁK, Radovan - SCHNITZER, Marek - ŠTEFANOVIČ, Branko]

V kategórii úžitkových vzorov v SR bol zapísaný úžitkový vzor:

10. Personalizovaná zdravotnícka pomôcka a spôsob jej prípravy / Martin Juhás ...

[et al.] Spôsob prístupu:

<https://wbr.indprop.gov.sk/WebRegistre/UzitkovyVzor/Detail/17-2020...>

[JUHÁS, Martin - ŽIVČÁK, Jozef - HUDÁK, Radovan - SCHNITZER, Marek - ŠTEFANOVIČ, Branko]

### Najvýznamnejšie publikácie (knihy, články, prednášky, správy a pod.) zhrňujúce výsledky projektu – uveďte aj publikácie prijaté do tlače

1. The Effect of Position of Materials on a Build Platform on the Hardness, Roughness, and Corrosion Resistance of Ti6Al4V Produced by DMLS Technology / Anna Guzanová ... [et al.] - 2019. In: Metals. - Basel (Švajčiarsko) : Multidisciplinary Digital Publishing Institute Roč. 9, č. 10 (2019), s. 1-24 [online]. - ISSN 2075-4701 [GUZANOVÁ, Anna - DRAGANOVSKÁ, Dagmar - IŽARIKOVÁ, Gabriela - ŽIVČÁK, Jozef - HUDÁK, Radovan - BREZINOVÁ, Janette - MORO, Róbert]

2. As-fabricated surface morphologies of Ti-6Al-4V samples fabricated by different laser

- processing parameters in selective laser melting / Snehashis Pal ... [et al.] - 2020.In: Additive Manufacturing. - Amsterdam (Holandsko) : Elsevier Science Roč. 33 (2020), s. 1-14 [online, print]. - ISSN 2214-8604 Spôsob prístupu: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221486041932336X>. [PAL, Snehashis - LOJEN, Gorazd - HUDÁK, Radovan - RAJŤUKOVÁ, Viktória - BRAJLIH, Tomaz - KOKOL, Vanja - DRSTVENŠEK, Igor]
3. Evolution of the metallurgical properties of Ti-6Al-4V, produced with different laser processing parameters, at constant energy density in selective laser melting / Snehashis Pal ... [et al.] - 2020.In: Results in Physics : The new online only, open access journal in Physics. Roč. 17 (2020), s. 1-9 [online]. - ISSN 2211-3797 (online)
4. The effects of locations on the build tray on the quality of specimens in powder bed additive manufacturing / Snehashis Pal ... [et al.] In: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. - Berlin (Nemecko) : Springer International Publishing AG Formulár RS1, strana 8/11 Roč. 112, č. 3-4 (2021), s. 1159-1170 [print, online]. - ISSN 0268-3768 [PAL, Snehashis (10%) - GUBELJAK, Nenad (5%) - BONCINA, Tonica (5%) - HUDÁK, Radovan (20%) - TÓTH, Teodor (20%) - ŽIVČÁK, Jozef (20%) - LOJEN, Gorazd (5%) - LEBEN, Niko (5%) - DRSTVENŠEK, Igor (10%)
5. Additive manufacturing of porous ti6al4v alloy: Geometry analysis and mechanical properties testing / Radoslav Hudák .... [et al.] In: Applied Sciences. - Bazilej (Švajčiarsko) : Multidisciplinary Digital Publishing Institute Roč. 11, č. 6 (2021), s. 1-18 [online]. - ISSN 2076-3417 (online) [HUDÁK, Radovan (20%) - SCHNITZER, Marek (10%) - ORSÁGOVÁ KRÁLOVÁ, Zuzana (10%) - GOREJOVÁ, Radka (10%) - MITRÍK, Lukáš (4%) - RAJŤUKOVÁ, Viktória (10%) - TÓTH, Teodor (4%) - KOVAČEVIĆ, Mila (4%) - RIZNIČ, Marcel (4%) - ORIŇAKOVÁ, Renáta (4%) - ŽIVČÁK, Jozef (20%)]
6. Effect of the fabricating locations and orientations according to the powder coating direction in Selective Laser Melting on mechanical properties / Snehashis Pal ... [et al.] In: Results in Physics : The new online only, open access journal in Physics. - Amsterdam (Holandsko) : Elsevier č. 26 (2021), s. [1-10] [online]. - ISSN 2211-3797 (online) [PAL, Snehashis (20%) - RAMADANI, Riad (10%) - GUBELJAK, Nenad (10%) - BONCINA, Tonica (10%) - HUDÁK, Radovan (20%) - DRSTVENŠEK, Igor (20%) - BRAJLIH, Tomaz (10%)]
7. Biomechanical Testing of Two-Unit Bridges and a Comparison of Replacement Retention Depending on a Cementation Medium, Replacement Position, and Gap Size - Findrik Balogová, A., Rajťuková, V., Chromý, L., Somoš, A., Ižaríková, G. and Hudák, R., 2022. Journal of Functional Biomaterials, 13(4), p.286
8. Analysis of PLA/PHB biopolymer material with admixture of hydroxyapatite and tricalcium phosphate for clinical use - Kohan, M., Lancoš, S., Schnitzer, M., Živčák, J. and Hudák, R., 2022.. Polymers, 14(24), p.5357.

### **Uplatnenie výsledkov projektu**

Výsledky projektu sú uplatniteľné v rámci komercializácie upraveného zariadenia a vyvinutého softvéru na aditívnu výrobu rôznych komerčných aj vyvinutých Mg zliatín. Aditívne vyrobené implantačné štruktúry sú základom pre ďalší výskum a aplikáciu osteosyntetického materiálu z Mg zliatín v klinickej oblasti v podobe stabilizačných tyčí a skrutiek pre rôzne druhy fraktúr bez potreby reoperácie ako je tomu pri použití permanentných kovových materiálov. Medzinárodné prepojenia na komerčné spoločnosti a klinické pracoviská, ktoré vznikli v rámci riešenia projektu (Charité, DE, UNLP, SK, HANA AMT, Amazemet, PL, Aconity, DE, CEITEC, CZ, Biomedical Engineering, s.r.o., SK sú bázou pre ďalšie pokračovanie riešenia danej problematiky a získania nadväzných projektov z národných, či medzinárodných schém. O klinickej a priemyselnej aplikovateľnosti výsledkov projektu hovorí aj bohatá publikačná činnosť v renomovaných časopisoch, udelený úžitkový vzor a zverejnený patent. Prijímateľská organizácia má aj po ukončení projektu jasne zadefinované kroky ďalšieho riešenia výskumných úloh v danej problematike, ktoré budú ďalej rozvíjať nadobudnuté medzinárodné vzťahy a ďalej uplatňovať dôležité výskumné výstupy v klinickej a aplikačnej praxi

### **Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v slovenskom jazyku (max. 20 riadkov)**

V rámci riešenia projektu sa podarilo z vlastných zdrojov hardvérovo upraviť komerčné zariadenie DENTAS LMP 100 na aditívnu výrobu Mg zliatín v rámci intenzívnej spolupráce medzi prijímateľom a komerčným výrobcou zariadenia. Bol vyvinutý softvér pre ovládanie vnútornej atmosféry v komore, ktorý zabezpečuje optimálne podmienky pre aditívnu výrobu Mg zliatín. V rámci projektu boli v spolupráci s partnermi projektu v práškovej a inej forme pripravené viaceré druhy Mg zliatín kombináciou s biogénnymi prvkami a kovmi vzácnych zemín. Bola vytvorená komplexná metodika na aditívnu výrobu Mg zliatiny We 43 na upravenom zariadení, ktorá bola na základe procesných parametrov upravená. Výsledkom bola tlač 60 implantačných štruktúr s rôznymi rozmermi a trabekulárnou štruktúrou pórov pre zabezpečenie osteointegrácie pri interakcii implantátov s kostným tkanivom. Vyrobené implantačné štruktúry boli podrobené v spolupráci s partnermi fyzikálnym, biomechanickým a biologickým testom vzhľadom k funkčným vlastnostiam a biokompatibilite pre ďalšie použitie v klinickej oblasti. Projekt v poslednej fáze riešil takisto etické aspekty aplikácie resorbovateľných implantátov vyrobených aditívnou výrobou v klinickej oblasti. Projekt priniesol 52 publikácií z toho 8 karentovaných, zapísaný úžitkový vzor, zverejnenú patentovú prihlášku a viacero diseminačných výstupov v podobe verbálnej prezentácie výsledkov projektu na konferenciách, veľtrhoch a vedecko-výskumných sympóziách.

### **Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v anglickom jazyku (max. 20 riadkov)**

As part of the project, it was possible to achieve a hardware solution to modify the DENTAS LMP 100 device for the additive manufacturing of Mg alloys within the framework of intensive cooperation between the receiver and the manufacturer of the device. Software was developed to control the internal atmosphere in the chamber, which ensures optimal conditions for the additive production of Mg alloys. As part of the project, several types of Mg alloys with a combination of biogenic elements and rare earth metals were prepared in powder and other form in cooperation with the project partners. A complex methodology was created for the additive production of We 43 Mg alloys on modified equipment, which was optimised on the basis of process parameters. Sixty implant structures with different dimensions and trabecular pore structure were printed to ensure osseointegration during the interaction of implants with bone tissue. The manufactured implant structures were subjected win cooperation with project parnters to physical, biomechanical and biological tests with regard to functional properties and biocompatibility for further use in the clinical field. In the last phase, the project also addressed the ethical aspects of the application of resorbable implants produced by additive manufacturing in the clinical area. The project resulted in 52 publications, 8 of which were current content, a registered utility model, a published patent application and several dissemination outputs in the form of verbal project results at conferences, large markets and scientific research symposia.