



Záverečná karta projektu

Názov projektu

Evidenčné číslo projektu

APVV-18-0527

Vývoj a optimalizácia technológie aditívnej výroby a konštrukcie zariadenia pre výrobu súčiastok s optimalizovanou pevnosťou a výrobnými nákladmi

Zodpovedný riešiteľ **doc. Ing. Juraj Beniak, PhD.**

Príjemca **Slovenská technická univerzita v Bratislave - Strojnícka fakulta**

Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

Strojnícka fakulta, Slovenská Technická Univerzita v Bratislave

Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení

Projektové úlohy boli konzultované aj s nasledovnými zahraničnými pracoviskami:

- VŠB – Technická univerzita Ostrava, Česká republika
- Polytechnická Univerzita (BarcelonaTech), Španielsko

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

Patentové prihlášky:

1. ŠOOŠ, Ľubomír - ŠOOŠ, Marek - FERENCZ, Vojtech - BENIAK, Juraj. Jednorazový nápojový plastový obal zabezpečujúci jednoduchú trvalú minimalizáciu objemu : zverejnená patentová prihláška 112-2018 dňa 4.5. 2020. Banská Bystrica Úrad priemyselného vlastníctva SR 2020. 8 s.
2. ŠOOŠ, Ľubomír - BÁBICS, Jozef - ŠOOŠ, Marek - MAREK, Tomáš - KRÍŽAN, Peter - MATÚŠ, Miloš. Nápojová plechovka zabezpečujúca po použití jej obsahu jednoduchú minimalizáciu objemu : zverejnená patentová prihláška 111-2018 dňa 4.5. 2020. Banská Bystrica Úrad priemyselného vlastníctva SR 2020. 4 s.
3. BENIAK, Juraj. Antibakteriálny kompozitný plast : zverejnená patentová prihláška č. 50022-2020, dátum podania prihlášky 28.4.2020, dátum zverejnenia prihlášky 10.11.2021. Banská Bystrica Úrad priemyselného vlastníctva Slovenskej republiky 2021. 4 s.
4. ŠOOŠ, Ľubomír - ONDRUŠKA, Juraj - BÁBICS, Jozef - ONDEROVÁ, Iveta - BUČKO, Ľuboš - BUDICKÝ, Tomáš. Kombinovaný elektropneumatický pohon vretena :. Banská Bystrica Úrad priemyselného vlastníctva SR 2021. 9 s.
5. ŠOOŠ, Ľubomír - POKUSOVÁ, Marcela - BLECHA, Petr - MATÚŠ, Miloš - ONDRUŠKA, Juraj - ČAČKO, Viliam - BÁBICS, Jozef. Spôsob vysokoúčinnnej dekompozície vrstvených odpadových skiel a stavebnicová linka : patentový spis č. 288900, oznámenie o udelení patentu 13.10.2021, č. prihlášky 107-2019, dátum podania prihlášky 8.10.2019. Banská Bystrica Úrad priemyselného vlastníctva Slovenskej republiky 2021. 14 s.
6. Polohovací zvärací prípravok pre obojstranné kruhové zvary na plochom zvarení , Podané: 30.12.2022, číslo prihlášky: 137-2022, Pôvodcovia: Strigáč Stanislav, Matúš Miloš
7. Zvärací prípravok k zváraniu základnej časti rámu železničného vozňa , Podané: 29.12.2022, číslo prihlášky : 135-2022 , Pôvodcovia: Protasov Roman, Ondruška Juraj, Bábics Jozef, Beniak Juraj, Šooš Ľubomír, Bošanský Miroslav, Magdolen Ľuboš

8. Modulárny prípravok segmentového typu na zváranie rámov , Podané: 12.08.2022, číslo prihlášky : 89-2022, Pôvodcovia: Protasov Roman, Ondruška Juraj, Bábics Jozef, Beniák Juraj, Šooš Ľubomír, Bošanský Miroslav, Magdolen Ľuboš

Užitkové vzory v SR:

1. ŠOOŠ, Ľubomír - POKUSOVÁ, Marcela - BLECHA, Petr - MATÚŠ, Miloš - ONDRUŠKA, Juraj - ČAČKO, Viliam - BÁBICS, Jozef. Spôsob efektívneho zhodnocovania odpadových lepených skiel a modulová konštrukcia zariadenia : úžitkový vzor č. 8786. Banská Bystrica Úrad priemyselného vlastníctva SR 2020. 5 s.

2. PAŠTÉKA, Michael - KRÁLIK, Marián. Nástroj na meranie súosovosti clinchovacích razníkov a razníc : úžitkový vzor č. 8878. Banská Bystrica Úrad priemyselného vlastníctva SR 2020. 5 s.

3. BENIAK, Juraj. Kompozitný plast s antibakteriálnym účinkom : úžitkový vzor č. 9059, číslo prihlášky 50042-2020, dátum podania prihlášky 4.5.2020, dátum oznámenia o zápise 24.2.2021. Banská Bystrica Úrad priemyselného vlastníctva Slovenskej republiky 2021. 4 s.

4. BENIAK, Juraj. Respirátor z antibakteriálneho materiálu s aktívnym filtrom : úžitkový vzor č. 9065, číslo prihlášky 50045-2020, dátum podania prihlášky 14.5.2020, dátum oznámenia o zápise 10.3.2021. Banská Bystrica Úrad priemyselného vlastníctva Slovenskej republiky 2021. 7 s.

5. ONDRUŠKA, Juraj - ŠOOŠ, Ľubomír - BÁBICS, Jozef - BOŠANSKÝ, Miroslav - PROTASOV, Roman. Lineárne flexibilný tvarový kĺb a ťahovo-tlačná tyč : úžitkový vzor č. 9219, dátum zápisu a sprístupnenia verejnosti 11.6.2021, číslo prihlášky 202-2020, dátum podania prihlášky 16.11.2020. Banská Bystrica Úrad priemyselného vlastníctva Slovenskej republiky 2021. 9 s.

6. Zvárací prípravok k pozdĺžnemu rámu železničného vozňa, Podané: 12.08.2022 , číslo prihlášky: 107-2022, Pôvodcovia: Protasov Roman, Ondruška Juraj, Bábics Jozef, Beniák Juraj, Šooš Ľubomír, Bošanský Miroslav, Magdolen Ľuboš

7. Zvárací prípravok k presnému zváraniu rámu dvojkoľesia železničného vozňa, Podané: 29.12.2022, číslo prihlášky : 178-2022, Pôvodcovia: Protasov Roman, Ondruška Juraj, Bábics Jozef, Beniák Juraj, Šooš Ľubomír, Bošanský Miroslav, Magdolen Ľuboš

8. Automatizovaný polohovací prípravok pre obojstranné zváranie , Podané: 30.12.2022, číslo prihlášky: 180-2022, Pôvodcovia: Strigáč Stanislav, Matúš Miloš

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

Karentované články:

VENCL, Aleksandar – ŠLJIVIĆ, Veljeko – POKUSOVÁ, Marcela – KANDEVA, Mara – SUN, HongGuang – ZADOROZHNYA, Elena – BOCIĆ, Ilija. Production, microstructure and tribological properties of Zn-Al/Ti metal-metal composites reinforced with alumina nanoparticles. In International Journal of Metalcasting, Vol. 15, No 1, ISSN 1939-5981

BENIAK, Juraj - ŠOOŠ, Ľubomír - KRIŽAN, Peter - MATÚŠ, Miloš. Implementation of AHP methodology for the evaluation and selection process of a reverse engineering scanning system. In Applied Sciences [elektronický zdroj]. Vol. 11, iss. 24 (2021), s. 12050. ISSN 2076-3417 (2020: 2.679 - IF, Q2 - JCR Best Q, 0.435 - SJR, Q2 - SJR Best Q). V databáze: CC: 000735729000001 ; WOS: 000735729000001 ; SCOPUS: 2-s2.0-85121385818

BENIAK, Juraj - ŠOOŠ, Ľubomír - KRIŽAN, Peter - MATÚŠ, Miloš - RUPRICH, Vít. Resistance and strength of conductive PLA processed by FDM additive manufacturing. In Polymers. Vol. 14, iss. 4 (2022), 13 s., art. no 678. ISSN 2073-4360 (2021: 4.967 - IF, Q1 - JCR Best Q, 0.726 - SJR, Q1 - SJR Best Q). V databáze: CC: 000763149500001 ; WOS: 000763149500001 ; SCOPUS: 2-s2.0-85124689548.

Učebnice:

BENIAK, Juraj. 3D tlač v praxi. 1. vyd. Bratislava. Nakladateľstvo R.S.B. (2020). 148 s., ISBN 978-80-973865-0-4

Monografie:

BENIAK, Juraj. Optimalizácia parametrov pre FDM aditívnu výrobu, 1. vyd. Bratislava EVART 2021. 118 s. 2021, Vedecká monografia. ISBN 978-80-973531-2-4

KROL OLEG - OBROVAC KARLO - UDILJAK, Toma - OBROVAC JADRANKA VUKOVIC - KLAIC MIHO - SVETLÍK, Jozef - STEJSKAL, Tomáš - DEMEC, Peter - ŠOOŠ, Ľubomír - HOLUB, Michal - MAREK, Jiří - MAREK, Tomáš - BLECHA, Petr - TŮMA, Jiří - MAHDAL MIROSLAV - ŠIMEK, Jiří - ŠKUTA, Jaromír - WAGNEROVÁ RENATA - ŽIARAN, Stanislav.

Uplatnenie výsledkov projektu

Všetky vopred definované ciele projektu sú aj reálne uplatniteľné v praxi a už v súčasnej dobe sa na akademickej pôde využívajú.

1. Návrh softvérovej aplikácie pre optimalizáciu výroby súčiastok s ohľadom na pevnostné charakteristiky a výrobné náklady – softvér je plne uplatniteľný v praxi pre optimálne nastavenie podmienok 3D tlače, tak aby boli dosiahnuté ideálne vlastnosti vyrobeného dielu. Pre vývoj softvéru bolo vykonaných veľké množstvo experimentov, aby bolo možné určiť vplyv rôznych faktorov, ktoré je možné meniť, na finálne vlastnosti výsledného produktu s ohľadom napríklad na pevnosť, kvalitu povrchu, presnosť rozmerov a podobne. Softvér je overený aj spätne, tak že diely ktoré boli zámerné nastavené podľa existujúcej znalostnej databázy, ktorá bola vytvorená v rámci projektu, boli podrobené testovaniu a skontrolované následne, či dosiahli požadované vlastnosti. Pre podmienky ktoré boli zohľadnené pri riešení tejto úlohy, je softvér relevantný a plne použiteľný aj v praxi.

2. Návrh prepojenia Aditívnej výroby technológiou tavného nanášania s robotickou kinematickou štruktúrou – v súčasnej dobe je vyvinutý extrúder aplikovaný na ramene priemyselného robota, tak aby bolo možné realizovať 3D tlač. Pomocou existujúcich softvérových nástrojov vieme generovať výrobný program pre priemyselného robota, aby vykonával potrebné pohyby pre nanášanie extrudovaných vlákien tak, aby bol vo výsledku vyrobený zadaný diel. Prepojenie týchto častí je plne funkčné a otestované. Technológia môže byť úspešne aplikovaná v potrebnom meradle v praxi.

3. Konštrukčný návrh novej kinematiky tlače a multifunkčnej tlačovej hlavy – navrhnutá multifunkčná tlačová hlava pre technológiu FDM je spracovaná do podoby funkčného prototypu a je otestovaná. Je teda schopná reálneho použitia pre navrhnuté aplikácie. Je určená pre tlač v rôznych uhloch, tak aby bolo možné nanášať vrstvy materiálu nielen vo vodorovnej rovine. Hlava je určená pre aplikovanie na klasických štruktúrach 3D tlačiarňí, pre urýchlenie procesu výroby dielov ale i pre odstránenie potreby podporných štruktúr pri výrobe previsnutých plôch a objemov. I v tejto fáze je multifunkčná tlačová hlava vhodná pre komerčné nasadenie s možnosťou úprav pre konkrétnu konštrukciu 3D tlačiarne.

4. Materiálový výskum technológie 3D tlače súčiastok zameraný na možnosti použitia kompozitných materiálov s cieľom ekonomicko-technologickej optimalizácie výroby a implementácie odpadových materiálov – v rámci riešenia projektu bolo pripravených viacero receptúr pre kompozitné materiály. V závislosti od druhu použitého aditíva ich môžeme rozdeliť na materiály s obsahom drevných častíc, častíc z rastlinného odpadu ako je slama alebo seno, karbónových častíc vo forme prášku ale i reťazcov nanočastíc. Boli tiež vyhotovené špeciálne materiály s obsahom striebra, ktoré sú vhodné pre antibakteriálne účely. Pre všetky tieto aditíva boli pripravené viaceré receptúry s rôznym obsahom pomeru základnej matrice (polyméru) a aditíva. Vyrobené vzorky boli podrobené testovaniu pre určenie optimálneho zloženia napríklad s ohľadom na pevnosť alebo iné funkčné alebo materiálové vlastnosti materiálu.

Uvedené štyri ciele sú plne uplatniteľné v praxi a pracujeme na tom aby boli čím skôr nasadené aj v reálnej a priemyselnej praxi. Už v čase riešenia projektu sme s priemyselným partnerom pracovali na uvedených cieľoch tak, aby boli optimálne nastavené pre reálne použitie aj mimo laboratórií realizujúceho pracoviska.

Pre samotného riešiteľa je uplatnenie výsledkov projektu nasledovné:

- implementácia vedeckých experimentálnych postupov do vzdelávania,
- zahrnutie získaných poznatkov do prislúchajúcich predmetov v študijných programoch Environmentálna výrobná technika a Výrobné systémy a manažérstvo kvality (napr. Reverzné Inžinierstvo a rapid prototyping, Výrobné stroje a zariadenia, Automatizačné prostriedky, Experimentálne metódy, Údržba výrobných systémov, Priemyselné roboty a manipulátory) – boli pripravené vysokoškolské učebnice a výsledky implementované do procesu vzdelávania.
- využitie získaných poznatkov pri riešení hospodárskych zmlúv s priemyselnou sférou pre 3D tlač modelov s optimalizovanou pevnosťou a výrobnými nákladmi
- podanie patentových prihlášok a úžitkových vzorov,
- pravidelné publikovanie priebežných výsledkov projektu riešiteľmi na domácich a zahraničných konferenciách, kongresoch a pod.,

- publikovanie výsledkov v monografiách, skriptách, učebniciach a pod.

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

V rámci riešenia projektu boli dosiahnuté všetky štyri naplánované ciele:

1. Návrh softvérovej aplikácie pre optimalizáciu výroby súčiastok s ohľadom na pevnostné charakteristiky a výrobné náklady
2. Návrh prepojenia Aditívnej výroby technológiou tavného nanášania s robotickou kinematickou štruktúrou
3. Konštrukčný návrh novej kinematiky tlače a multifunkčnej tlačovej hlavy –
4. Materiálový výskum technológie 3D tlače súčiastok zameraný na možnosti použitia kompozitných materiálov s cieľom ekonomicko-technologickej optimalizácie výroby a implementácie odpadových materiálov

Mimo týchto cieľov boli dosiahnuté i nasledovné výsledky:

Boli pripravené a upravené študijné materiály pre oblasť aditívnej výroby, materiálov a konštrukcie zariadení.

Boli pripravené viaceré patenty a užitkové vzory, ktoré bude možné ďalej komercionalizovať.

Boli publikované významné vedecké články ktoré majú významné ohlasy z akademického prostredia ale i z prostredia priemyselnej praxe a prinášajú ďalšie možnosti spolupráce pri príprave nových projektov ale i vývoji materiálov a zariadení pre priemyselnú prax.

Navrhnuté technické prvky a optimalizácie konštrukcií prispeli k zvýšeniu konkurencieschopnosti Strojníckej fakulty STU v Bratislave nielen na národnej ale i medzinárodnej úrovni.

Samotné riešenie projektu prispelo k rozšíreniu znalostí, skúseností a zručností celého riešiteľského kolektívu. Zapojením študentov a doktorandov do riešenia projektu sme zabezpečili prenos znalostí a udržateľnosť systému vzdelávania.

Spolupracou a konzultovaním procesu riešenia projektu s priemyselnou praxou sme zaručili vysokú úroveň výsledkov priamo využiteľných v praxi ako i prenos znalostí a inovácií priamo do praxe.

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

As part of the project solution, all four planned goals were achieved:

1. Software application design for optimizing component manufacturing with respect to strength characteristics and cost of production.
2. Design of connection Additive Manufacturing by Fused Deposition Modeling Technology with Robotic Kinematic Structure.
3. Design of new printing kinematics and multifunctional printing head.
4. Material research of 3D printing of components focused on the use of composite materials in order to economically and technologically optimize the production and implementation of waste materials.

Apart from these objectives, the following results were achieved:

Study materials for the field of additive manufacturing, materials and equipment construction were prepared and edited.

There were several patents and utility models that could be further commercialized.

Important scientific articles have been published, which have significant responses from the academic environment as well as from the environment of industrial practice and bring additional opportunities for cooperation in the preparation of new projects as well as the development of materials and equipment for industrial practice.

The proposed technical elements and the optimization of constructions contributed to the increase of the competitiveness of the Faculty of Mechanical Engineering, Slovak University of Technology in Bratislava not only at the national but also at the international level.

The own solution of the project contributed to the expansion of knowledge, experience and skills of the entire team. By involving students and doctoral students in the solution of the project, we ensured the transfer of knowledge and the sustainability of the education system.

By cooperating and consulting the solution of the project process with industrial practice, we have guaranteed a high level of results that can be directly used in practice, as well as the

transfer of knowledge and innovations directly into practice.