



MATERIÁLY PRE ADITÍVNU VÝROBU A ICH BEZPEČNOSŤ

Eva BURANSKÁ

MATERIALS FOR ADDITIVE MANUFACTURING AND THEIR SAFETY



ABSTRAKT

Bezpečnostné riziká spájané s aditívnou výrobou súvisia s chemickou toxicitou resp. s chemickou expozíciou látkami vznikajúcimi pri aditívnej výrobe, s nebezpečenstvom tvorby horľavej atmosféry v dôsledku spekania prachových častíc laserom napr. pri technológii SLS Selective laser sintering (laserovom spekaní prášku), čo má za následok potenciálne riziko výbuchu týchto prachových častíc alebo nebezpečenstvom vzniku požiaru súvisiacim s vysokou teplotou vyhrievacej dýzy pri FDM Fuseddeposition modeling (kde sa najčastejšie používa filament vo forme tuhého vlákna z polymérnych látok napr. ABS alebo PLA tavený v extrúzne dýze) prípadne s rizikom UV a laserového žiarenia používaného v systémoch aditívnej výroby založených na tekutinách napr. SLA Stereolitografia. Je potrebné si uvedomiť možné dôsledky spomínaných rizík a zabezpečiť všetky opatrenia na ich elimináciu.

Predkladaný článok sa venuje charakteristike najmä polymérnych materiálov pre 3D tlač ako aj ich charakteristike z pohľadu požiarnej bezpečnosti. Výskyt požiaru v uzavretom prostredí obklopenom polymérnymi zložkami môže mať totiž katastrofálne následky, preto je nevyhnutné venovať pozornosť polymérom spomaľujúcim horenie v aplikáciách ako sú napríklad interiery automobilov. Spomalenie horenia sa často dosahuje buď chemickým alebo fyzikálnym spracovaním materiálu retardérmí horenia alebo odolnými materiálmi. Avšak pri aditívnej výrobe, pri ktorej sú materiály nanášané bod po bode, môžu tieto prísady negatívne ovplyvniť mechaniku spevnenia a celkové zloženie materiálu ako aj vlastnosti vyrobených komponentov.

KLÚČOVÉ SLOVÁ : aditívna výroba, bezpečnosť, materiály, retardéry horenia

ABSTRACT

The safety risks associated with additive manufacturing are related to chemical toxicity or with chemical exposure to substances arising from additive manufacturing. With the danger of the formation of a flammable atmosphere due to the sintering of dust particles by a laser, e.g., with SLS Selective laser sintering technology, which leads to the risk of explosion of these dust particles. With the risk of fire at high heating nozzle temperatures in FDM Fused deposition modelling (where a filament made of polymeric substances such as ABS or PLA melted in an extrusion nozzle is most often used). Or with the risk of UV and laser radiation used in additive manufacturing systems based on fluid. e.g. SLA Stereolithography. It is necessary to be aware of the possible consequences of the mentioned risks and to take all measures to eliminate them.

In the present article review of AM materials and their fire safety was carried out, seeking to recognize and identify the relevant aspects in relation to the following area: valuation of materials



and fire retardants used by AM. The occurrence of fire in a confined environment surrounded by polymeric components can lead to disastrous consequences. This makes it essential to consider flame-retardant polymers in critical applications, such as automobile interior designs. Flame retardancy is often achieved either by chemical or physical treatment of a material with flame retardant or resistant materials. However, with the additive processing methods, where materials are consolidated point-by-point, many of these additives and the overall material.

KEY WORDS: *additive manufacturing, safety, materials, fire retardants*

Úvod

Trojdimenzionálna (3D) tlač alebo tiež aditívna výroba (aditivemanufacturing - AM) je proces zhotovenia reálneho modelu, pomocou dát získaných z 3D modelu. Technológia aditívnej výroby je známa už niekoľko desaťročí, pričom posledné obdobie prinieslo rozvoj komerčného využitia týchto technológií. Aditívna výroba postupne preniká do rôznych odvetví priemyslu, vedy a aj do domácností.

Riziká spájané s aditívnou výrobou súvisia s chemickou toxicitou resp. s chemickou expozíciou látkami vznikajúcimi pri aditívnej výrobe, s nebezpečenstvom tvorby horľavej atmosféry v dôsledku spekania prachových častíc laserom napr. pri technológii SLS Selective laser sintering (laserovom spekaní prášku), čo má za následok potenciálne riziko výbuchu týchto prachových častíc alebo nebezpečenstvom vzniku požiaru súvisiacim s vysokou teplotou vyhrievacej dýzy pri FDM Fuseddeposition modeling (kde sa najčastejšie používa filament vo forme tuhého vlákna z polymérnych látok napr. ABS alebo PLA tavený v extrúžnej dýze) prípadne s rizikom UV a laserového žiarenia používaného v systémoch aditívnej výroby založených na tekutinách, vrátane metód atramentovej a fotopolymerizačnej metódy na vytvrdzovanie epoxidových živíc počas a po fáze zostavovania napr. stereolitografia (SLA).

Je potrebné si uvedomiť možné dôsledky spomínaných rizík a zabezpečiť všetky opatrenia na ich elimináciu. Predkladaný článok sa venuje charakteristike najmä polymérnych materiálov pre 3D tlač ako aj ich charakteristiku z pohľadu požiarnej bezpečnosti.

Spaľovanie polymérnych materiálov je zložitý a komplexný proces zahŕňajúci súčasne kombináciu prenosu / difúzie tepla a hmoty, dynamiku tekutín a degradačnú chémiu. Všeobecne sa definujú štyri hlavné kroky spaľovania polyméru: zapaľovanie, pyrolýza, spaľovanie a spätná väzba. Za prítomnosti zdroja dostatočného tepla (na vyvolanie štiepenia väzieb) sa polyméry rozložia alebo „pyrolyzujú“ (Dasari et al. 2013), (Lewin and Weil 2001).

Kombinácia kyslíka a iných palív z rozkladajúcich sa materiálov sa spaľovanie šíri ďalej. Hlavná exotermická reakcia dáva väčšinu energie spätnej väzbe a pokračuje v plameni.

Horľavosť polymérov rozhoduje o prahovej hodnote vznietenia, ktorá závisí od chemického zloženia materiálu. Aby sa akýkoľvek polymér po zapálení úplne spálil, je potrebný autonómny spaľovací cyklus. To si vyžaduje generovanie dostatočného tepla z plameňa a rýchlosť rozkladu vyššiu alebo rovnú rýchlosti generovania tepla potrebného na udržanie horľavých prchavých látok. Ochranu proti ohňu je možné dosiahnuť pomocou 1) zníženia tepla vyvíjaného zo spaľovania, 2) úpravy procesu pyrolýzy tak, aby sa znížila rýchlosť spaľovacích reakcií, 3) izolácie horľavých prchavých látok z kyslíka a 4) zníženia spätnej väzby tepla na materiály (Lv et al. 2020), (Price, Anthony, and Carty 2001), (Dasari et al. 2013), (Drizo and Pegna 2006), (Zaikov and Lomakin 1998).

Vo väčšine scenárov rizika vzniku požiaru sú prítomné práve polymérne materiály citlivé na oheň, ktoré sa môžu ľahko zapáliť pri kontakte s predmetmi s vysokou teplotou. Spomalenie horenia



sa často dosahuje buď chemickým alebo fyzikálnym spracovaním materiálu retardérmi horenia alebo odolnými materiálmi. Retardér / spomaľovač horenia (RH) je materiál, ktorý ak je vystavený plameňu, je schopný spomaliť rast a šírenie plameňa alebo môže jednoducho zabrániť vznieteniu. Avšak pri metódach aditívneho spracovania, pri ktorých sú materiály nanášané bod po bode, môže veľa z týchto prísad a celkové zloženie materiálu negatívne ovplyvniť mechaniku spevnenia, ako aj vlastnosti vyrobených zložiek (Lv et al. 2020).

Materiály používané pri aditívnej výrobe a možnosti eliminácie rizika požiaru

Materiály používané pri technológiách aditívnej výroby všeobecne zahŕňajú polyméry (Ligon et al. 2017), kovy (Prevorovsky, Krofta, and Kober 2017), kompozity (Parandoush and Lin 2017), keramiku (Travitzky et al. 2014), cement a betón, potraviny, íly a orgánové tkanivo.

V štúdií vykonanej autormi (Colorado, Velásquez, and Monteiro 2020) sú uvádzané informácie vzťahujúce sa na materiály využívané v aditívnej výrobe s ohľadom na tieto oblasti: (1) využiteľnosť materiálov po ich použití v AM; (2) recyklovateľnosť materiálov, ktoré sa v súčasnosti používajú v AM; a (3) environmentálne aspekty vo vzťahu k AM.

Dôraz však kladieme najmä na polymérne látky a možnosti zníženia rizika požiaru v dôsledku aplikácie retardérov horenia. Možnosti komerčných polymérnych materiálov spomaľujúcich horenie, ktoré sa používajú pri aditívnej výrobe a splňajú väčšinu požiadaviek na požiaru bezpečnosť, sú zhrnuté v tabuľke 1. (Lv et al. 2020).

Tabuľka 1 Zoznam retardérov horenia pre aditívnu výrobu (Lv et al. 2020).

Názov retardérov horenia (RH)	Označenie materiálu	Prísady RH	Proces aditívnej výroby	Zariadenie	Konečná pevnosť v ťahu v osiach XY
PA 2210 FR	PA 12	Fosfor	SLS	P 385, P 380i, P 380, P 360, P 350/2, P 700	45 ± 3 MPa
PA 2241 FR	PA 12	Halogén	SLS	EOSINT P 395/760/390/730	49–44 MPa
PA 606-FR	PA 12	neznámy	SLS	Nešpecifikovaný	48 MPa
FR-106	PA 12	neznámy	SLS	Nešpecifikovaný	46 MPa
DuraFormProX FR1200	PA 12	neznámy	SLS	ProX SLS 500	45 MPa
DuraForm FR1200	PA 12	neznámy	SLS	sPro 60 HD-HS	41 MPa
DuraForm FR100	Nešpecifikovaný	Bez halogénov	SLS	3D Systems	32 MPa
PEEK HP3	PEEK	N/A	SLS	EOSINT P800	95 MPa
ULTEM 9085	PEI	N/A	FDM/SLS	Fortus 400 mc/450 mc/900 mc	71 MPa
ULTEM 1010	PEI	N/A	FDM	Fortus 450 mc/900 mc	64 MPa
PPSF	PPSF/PPSU	N/A	FDM	Fortus 400 mc/900 mc	55 MPa

PLA (kyselina mliečna) - je biologicky odbúrateľný polymér, ktorý sa vyznačuje dobrou biologickou odbúrateľnosťou, vynikajúcou mechanickou pevnosťou a dobrou spracovateľnosťou, a preto je alternatívou k komoditným polymérom na báze ropy, ktoré sa používajú nielen pri FDM aditívnej výrobe. PLA sa vyznačuje vysokou horľavosťou a vyžaduje si vývoj spomaľovačov horenia. Horľavosť PLA sa znížila fyzickým zmiešaním taveniny s bezhalogénovými retardérmi horenia, vrátane organických retardérov horenia obsahujúcich fosfor, hypofosforečnanu hlinitého, hydroxidu horečnatého a halloysitu (N. Wu et al. 2019), (Jin et al. 2017), (Chen et al. 2017).

Autori (N. Wu et al. 2019) vytvorili polymér (fenylfosforylfenyléndiamín) (PPDA) kondenzáciou medzi fenylfosforyldichloridom (PPDCI) a p-fenyléndiamínom pričom charakterizovali



jeho chemickú štruktúru. Vďaka vysokému obsahu fosforu a synergickému N-prvku spomaľujúcemu horenie má PPDA potenciál byť skutočne polymérom retardujúcim horenie alebo sa môže použiť pri modifikáciách iných polymérov spomaľujúcich horenie.

Nylon (PA 2210 FR, DuraForm FR 1200) - v SLS aditívnej výrobe sa často používajú nylony pre ich nízke náklady a dobrú pevnosť materiálu. Tento materiál je však horľavý a nemôže sa používať v prostredí s prísnyimi predpismi o požiarnej bezpečnosti. Aktuálnym riešením je pridať do nylonových práškov zlúčeniny na báze halogénu a fosforu, aby sa upravila ich horľavosť. Úlohou je však zachovanie fyzikálnych vlastností, ako aj spracovateľnosti aditívnou technológiou (Lv et al. 2020).

PEAK (polyaryléterketóny) - je skupina termoplastov, zahŕňa PEEK (polyéteréterketón), PEK (polyéterketón), PEKK a PEKEKK (polyéterketón-éterketónketón). Všetky tieto materiály majú vynikajúcu chemickú a tepelnú odolnosť a dobrú pevnosť. Z testov vykonaných na určenie horľavosti a podmienok horenia PEEK-ov vyplýva, že sú inherentne odolné voči horeniu a pri nútenom horení produkujú na rozdiel od iných polymérov veľmi málo toxických plynov (Lv et al. 2020).

Niekoľko štúdií preukázalo použiteľnosť PEEK / PAEK polymérov v technológii selektívneho laserového spekania. Experimentálne boli určené vzájomné závislosti medzi parametrami procesu tlačenia súčiastok z týchto materiálov a ich mechanickými vlastnosťami. Výsledky ukazujú, že existuje stabilné teplotné okno medzi bodom tavenia a bodom tepelnej degradácie materiálov. PEEK / PAEK sa môžu použiť aj na spracovanie technológiou FDM, avšak vzorky vyrobené pomocou SLS vykazovali lepšiu rozmerovú presnosť kvôli inherentným nevýhodám technológie FDM (Lv et al. 2020).

ULTEm - je amorfná polyéterimidová termoplastická zmes, ktorá bola syntetizovaná na vstrekovanie. V poslednej dobe sa tieto materiály používajú na spracovanie technológiou FDM. Hlavnou zložkou týchto materiálov je polyéterimid (PEI) so zmesou polykarbonátových kopolymérov. Polyméry ULTEm sú odolné voči chemikáliám a teplu, spomaľujú horenie a emitujú nižšie množstvo dymu, vďaka čomu väčšinou spĺňajú požiadavky požiarnej bezpečnosti. Živice ULTEm sa široko používajú v leteckých aplikáciách kvôli svojim vlastnostiam, ktoré sú v súlade s leteckými predpismi. Celé aditívne využívanie materiálov ULTEm je založené na technike FDM. Technika laserového spekania sa ukázala ako zložitá pre spracovanie ULTEm materiálov, ale je potrebné podrobiť tieto materiály ďalšiemu výskumu (Lv et al. 2020).

Autori (H. Wu et al. 2018) skúmajú vývoj nového vysokoteplotného polymérneho kompozitného materiálu úpravou polyéterimidu (PEI) ULTEm™ 1010 pridaním funkčných prísad a jeho spracovaním na vlákna pre aditívnu výrobu FDM. Výskum ukazuje, že pridanie sklenených bublín, nanovrstvy a retardéra horenia sú úspešné pri výrobe materiálu s nízkou horľavosťou.

Štúdia (Zaldivar et al. 2018) venovaná výskumu charakteristiky absorpcie vlhkosti vlákna ULTEm® 9085 a tomu ako absorpčná koncentrácia ovplyvňuje kvalitu komponentov vyrábaných extrúziou. Hodnotí absorpčné charakteristiky materiálu pri laboratórnych podmienkach. Výsledky naznačujú, že materiál dosahuje neprijateľnú úroveň vlhkosti do jednej hodiny po vystavení izbovej teplote. Tento výskum zdôrazňuje potrebu uvedomenia si citlivosti vysoko kvalitných komponentov vyrobených aditívnou výrobou z materiálu ULTEm® 9085 na vlhkosť prostredia.

Výsledky a diskusia

Na základe štúdií uvádzaných v predkladanom článku sú plasty jedným z najčastejšie posudzovaných materiálov z dôvodu ich vysokého uplatnenia v aditívnej výrobe. Sú tiež v centre



intenzívneho výskumu kvôli ich negatívnym účinkom na životné prostredie a bezpečnosť. Naproti tomu sú kovy, ktoré sú považované za najvhodnejšie pre optimálne obehové hospodárstvo vďaka svojej vysokej recyklovateľnosti.

Vo väčšine scenárov vzniku rizika požiaru sú prítomné polymérne materiály citlivé na oheň, ktoré sa môžu ľahko zapáliť pri kontakte s predmetmi s vysokou teplotou. Najbežnejším spôsobom, ako zabrániť horeniu polymérov, je použitie retardérov horenia. Avšak pri technológiách aditívnej výroby, pri ktorých sú materiály nanášané bod po bode, môže veľa z týchto prísad a celkové zloženie materiálu negatívne ovplyvniť mechaniku spevnenia, ako aj vlastnosti vyrobených komponentov.

Keďže najpoužívanejšími materiálmi v aditívnej výrobe sú už spomínané polyméry, možno konštatovať, že retardéry horenia, ktoré sa aplikujú najmä do nylonu sú na báze halogénu a fosforu, zatiaľ čo ďalším možnostiam aplikácie retardérov horenia sa venuje takmer zanedbateľná pozornosť (Lv et al. 2020). Potenciálne možnosti dusíkových retardérov horenia a nanoplňiv ešte neboli dostatočne preskúmané. Osobitnú pozornosť je potrebné venovať retardérom horenia na báze hydroxidu dusíka a hydroxidu kovu, berúc do úvahy ich nízke hladiny toxicity. Výrobe ďalších tepelne stabilných polymérov vhodných pre aditívnu výrobu sa zatiaľ nevenuje dostatočná pozornosť.

Záver

Dôsledky aditívnej výroby na udržateľnosť priemyslu nie sú dobre pochopené a tento článok vychádza z verejne dostupných údajov, aby poskytol informácie o dopadoch aditívnej výroby na bezpečnosť týchto technológií z pohľadu materiálov využívaných pri tomto type výroby. Nemali by sme zabúdať na účinky rýchleho rozvoja aditívnej výroby na životné prostredie a bezpečnosť. Kritické preskúmanie potenciálnych problémov aditívnej výroby je prospešné pre ďalší pokrok v ich rozvoji.

V článku je vykonaný prehľad materiálov aditívnej výroby a ich požiarnej bezpečnosti s cieľom rozpoznať a identifikovať príslušné aspekty vo vzťahu k charakteristike materiálov a retardérov horenia používaných v aditívnej výrobe. Existuje mnoho možností a druhov polymérov pre protipožiarne aplikácie, ale iba málo z nich je skutočne skúmaných aj v oblasti aditívnej výroby. Široké použitie polymérnych materiálov si vyžaduje splnenie regulačných noriem požiarnej bezpečnosti čo sa dá riešiť aplikáciou konvenčných retardérov horenia na báze halogénu a zlúčenín fosforu. Väčšina literatúry o týchto materiáloch je navyše kvalitatívna a často poukazuje na protichodné návrhy, pokiaľ ide o skúšky krátkodobej a dlhodobej expozície ohňu. Z tohto dôvodu existuje opätovná potreba základného porozumenia reakcie týchto materiálov na oheň a doplnenia experimentálnych výsledkov o teoretické modelovanie a simuláciu.

Podakovanie [zaradenie príspevku]

Tento článok podporila Agentúra na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-16-0223.

ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

Chen, Chen, Xiaoyu Gu, Xiaodong Jin, Jun Sun, and Sheng Zhang. 2017. "The Effect of Chitosan on the Flammability and Thermal Stability of Polylactic Acid/Ammonium Polyphosphate



- Biocomposites.” *Carbohydrate Polymers* 157: 1586–93. - [on-line] Available on - URL: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.11.035>.
- Colorado, Henry A., Elkin I. Gutiérrez Velásquez, and Sergio Neves Monteiro. 2020. “Sustainability of Additive Manufacturing: The Circular Economy of Materials and Environmental Perspectives.” *Journal of Materials Research and Technology* 9 (4): 8221–34. - [on-line] Available on - URL: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.04.062>.
- Dasari, Aravind, Zhong Zhen Yu, Gui Peng Cai, and Yiu Wing Mai. 2013. “Recent Developments in the Fire Retardancy of Polymeric Materials.” *Progress in Polymer Science* 38 (9): 1357–87. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2013.06.006>.
- Drizo, Aleksandra, and Joseph Pegna. 2006. “Environmental Impacts of Rapid Prototyping: An Overview of Research to Date.” *Rapid Prototyping Journal* 12 (2): 64–71. - [on-line] Available on - URL: <https://doi.org/10.1108/13552540610652393>.
- Jin, Xiaodong, Xiaoyu Gu, Chen Chen, Wufei Tang, Hongfei Li, Xiaodong Liu, Serge Bourbigot, Zongwen Zhang, Jun Sun, and Sheng Zhang. 2017. “The Fire Performance of Poly(lactic Acid) Containing a Novel Intumescent Flame Retardant and Intercalated Layered Double Hydroxides.” *Journal of Materials Science* 52 (20): 12235–50. - [on-line] Available on - URL: <https://doi.org/10.1007/s10853-017-1354-5>.
- Lewin, C.M., and E.D. Weil. 2001. “Mechanisms and Models of Action in Flame Retardancy of Polymers.” In *Fire Retardant Materials*, 31–57.
- Ligon, Samuel Clark, Robert Liska, Jürgen Stampfl, Matthias Gurr, and Rolf Mülhaupt. 2017. “Polymers for 3D Printing and Customized Additive Manufacturing.” *Chemical Reviews* 117 (15): 10212–90. - [on-line] Available on - URL: <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.7b00074>.
- Lv, Yi Fan, Wayne Thomas, Rodger Chalk, and Sarat Singamneni. 2020. “Flame Retardant Polymeric Materials for Additive Manufacturing.” *Materials Today: Proceedings*. - [on-line] Available on - URL: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.081>.
- Parandoush, Pedram, and Dong Lin. 2017. “A Review on Additive Manufacturing of Polymer-Fiber Composites.” *Composite Structures* 182: 36–53. - [on-line] Available on - URL: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2017.08.088>.
- Prevorovsky, Zdenek, Josef Krofta, and Jan Kober. 2017. “NDT IN ADDITIVE MANUFACTURING OF METALS.” *IX NDT in PROGRESS*, 75–84. - [on-line] Available on - URL: <http://www.ndt.net/?id=21869>.
- Price, D., G. Anthony, and P. Carty. 2001. “Introduction: Polymer Combustion, Condensed Phase Pyrolysis and Smoke Formation.” In *Fire Retardant Materials*, edited by A.r. Horrocks and D. Price, 1–30. Cambridge England: Woodhead publishing.
- Travitzky, Nahum, Alexander Bonet, Benjamin Dermeik, Tobias Fey, Ina Filbert-Demut, Lorenz Schlier, Tobias Schlordt, and Peter Greil. 2014. “Additive Manufacturing of Ceramic-Based Materials.” *Advanced Engineering Materials* 16 (6): 729–54. - [on-line] Available on - URL: <https://doi.org/10.1002/adem.201400097>.
- Wu, Hao, Michael Sulkis, James Driver, Amado Saade-Castillo, Adam Thompson, and Joseph H. Koo. 2018. “Multi-Functional ULTEM™1010 Composite Filaments for Additive Manufacturing Using Fused Filament Fabrication (FFF).” *Additive Manufacturing* 24 (September): 298–306. - [on-line] Available on - URL: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.10.014>.
- Wu, Ningjing, Guoliang Fu, Yue Yang, Mingfeng Xia, Han Yun, and Qingguo Wang. 2019. “Fire Safety Enhancement of a Highly Efficient Flame Retardant Poly(Phenylphosphoryl Phenylenediamine) in Biodegradable Poly(Lactic Acid).” *Journal of Hazardous Materials* 363 (June 2018): 1–9. - [on-line] Available on - URL: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.08.090>.
- Zaikov, Guennadi E., and Sergei M. Lomakin. 1998. “Polymer Flame Retardancy: A New Approach.” *Journal of Applied Polymer Science* 68 (5): 715–25. - [on-line] Available on - URL: [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1097-4628\(19980502\)68:5<715::aid-app4>3.0.co;2-r](https://doi.org/10.1002/(sici)1097-4628(19980502)68:5<715::aid-app4>3.0.co;2-r).



Zaldivar, R. J., T. D. Mclouth, G. L. Ferrelli, D. N. Patel, A. R. Hopkins, and D. Witkin. 2018. "Effect of Initial Filament Moisture Content on the Microstructure and Mechanical Performance of ULTEM ® 9085 3D Printed Parts." *Additive Manufacturing* 24 (July): 457–66. - [on-line] Available on - URL: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.10.022>.

ADRESA AUTORKY

Ing. Eva BURANSKÁ, PhD.

Ústav integrovanej bezpečnosti MTF STU, Pavilón TL, Botanická 49, 917 24 Trnava, Slovenská republika

e-mail: eva.buranska@stuba.sk

RECENZIA TEXTOV V ZBORNÍKU

Recenzované dvomi recenzentmi, členmi vedeckej rady konferencie. Za textovú a jazykovú úpravu príspevku zodpovedajú autori.

REVIEW TEXT IN THE CONFERENCE PROCEEDINGS

Contributions published in proceedings were reviewed by two members of scientific committee of the conference. For text editing and linguistic contribution corresponding authors.