

TRVALO UDRŽATEĽNÁ VÝROBA : HODNOTENIE VPLYVOV ADITÍVNEJ VÝROBY

Eva BURANSKÁ

SUSTAINABLE MANUFACTURING: EVALUATION OF IMPACTS IN ADDITIVE MANUFACTURING



ABSTRAKT

Otázky čistejšej výroby a udržateľnosti majú zásadný význam v oblasti aditívnej výroby najmä vzhľadom k faktu, že pri týchto procesoch dochádza k veľkej spotrebe energie a materiálov. Predkladaný článok sa zaoberá problematikou environmentálnych a bezpečnostných vplyvov aditívnej výroby, ktoré sa stávajú dôležitým problémom našej spoločnosti. Ak sa predpisy týkajúce sa životného prostredia (normalizácia ISO 14 044) stanú významnými v spoločnosti, bude potrebné vedieť vyhodnotiť environmentálny dopad týchto technológií pre ich akceptovanie v priemysle. Dôsledky prijatia tejto novej technológie výroby na trvalú udržateľnosť v priemysle nie sú dobre pochopené a táto prieskumná štúdia čerpá z verejne dostupných údajov s cieľom poskytnúť prehľad o vplyvoch aditívnej výroby na bezpečnosť a životné prostredie.

KLÚČOVÉ SLOVÁ: udržateľnosť, výroba, aditívne technológie, bezpečnosť, životné prostredie

ABSTRACT

Cleaner production and sustainability are of crucial importance in the field of manufacturing processes where great amounts of energy and materials are being consumed. In this paper, consideration is given to the role of one such advanced manufacturing process technology: additive manufacturing. Insofar as environmental and safety considerations become an important issue in our society, as well as legislation regarding environment become prominent (Normalization ISO 14 044), the environmental impact of those processes have to be evaluated in order to make easier its acceptance in the industrial world. The consequences of adopting this novel production technology on industrial sustainability are not well understood and this exploratory study draws on publically available data to provide insights into the impacts of additive manufacturing on safety and environment. This paper summarises information on the additive technologies principle and discusses the implications of its impact on safety and environment.

KEY WORDS: sustainable, manufacturing, additive technologies, safety, environment

Úvod

Rapid prototyping alebo 3D tlač či Aditívna výroba (AM – Additive Manufacturing) ide stále o proces výroby komponentov z trojrozmerného (3D) modelu spojením vrstiev materiálov vrstvy po vrstve (ASTM International, 2013) zo suroviny vo forme prášku, kvapaliny, papiera alebo vlákna bez tvarových nástrojov, nástrojov alebo matric. Zvyčajne to je opakom pre výrobné metódy, ktoré sú založené na subtraktívnych alebo deformačných metódach, ako sú bežné obrábacie alebo tvárniace procesy. Termín zahŕňa širokú škálu výrobných technológií, ktoré sa používajú v širokej škále priemyselných odvetví: od spotrebnej elektroniky po letectvo a existuje mnoho príkladov

medicínskych aplikácií, ako sú napríklad zubné implantáty a sluchové pomôcky (Kellens, Baumers, *et al.*, 2017), (Wohlers, 2017).

Pojem udržateľnosť zastáva v priemyselnom svete, rovnako ako v spoločnosti, čoraz dôležitejšie miesto. Preto sa počas výrobného procesu zohľadňujú aj environmentálne aspekty (Bourhis *et al.*, 2013).

Vzhľadom na široké využitie technológií aditívnej výroby v priemysle a akademickej obci, ale dokonca aj v domácnostiach, objavujú sa otázky týkajúce sa potenciálnych vplyvov týchto technológií na zdravie a bezpečnosť operátorov ako aj životné prostredie.

K dispozícii sú len obmedzené kvantitatívne údaje, kde sú porovnávané súčiastky vyrábané AM s bežne vyrábanými výrobkami z hľadiska spotreby energie a materiálu, nákladov na dopravu, znečistenia a odpadu, z hľadiska zdravia a bezpečnosti, ako aj ďalších environmentálnych vplyvov počas celej ich životnosti. Dôležité nevyriešené výskumné otázky týkajúce sa LCI ostávajú najmä pri prvotnej fáze vstupných surovín, ako aj dôsledky dodávateľského reťazca a otázky týkajúce sa zdravia a bezpečnosti AM (Kellens, Baumers, *et al.*, 2017).

Autori (Short *et al.*, 2015) vo svojej publikácii uvádzajú, že po preskúmaní manuálov a k tomu súvisiacej dokumentácie sa zistilo, že tieto dokumenty nedostatočne pokrývali usmernenia týkajúce sa zdravia a bezpečnosti používateľov zariadení aditívnej výroby. Pred vypracovaním komplexných usmernení o bezpečnosti a ochrane zdravia pre akékoľvek laboratórium so zariadeniami pre aditívnu výrobu navrhujú vykonať dôkladnú štúdiu, ktorá bude obsahovať tri kritické prvky:

- Preskúmania súčasných predpisov o bezpečnosti a ochrane zdravia pri práci (OSHA), odporúčaní a nebezpečenstiev spojených s aditívnou výrobou v Národnej asociácii požiarnej ochrany (NFPA).
- Posúdenie rizík aditívnej výroby.
- Preskúmanie potenciálnych chemických a environmentálnych rizík skúmaním návodov na obsluhu, kariet bezpečnostných údajov a toxikologickej literatúry.

Metódy vyhodnocovania environmentálneho dopadu

Výskum zaoberajúci sa vplyvmi na životné prostredie sa zameriava na hodnotenie životného cyklu (LCA) (Bourhis *et al.*, 2013). Požiadavky na vykonávanie LCA určené pre riešiteľov LCA konkretizuje norma ISO 14044. LCA určuje environmentálne aspekty a možné environmentálne vplyvy (napr. využívanie zdrojov a environmentálne dôsledky znečisťovania) počas celého životného cyklu produktu od získavania surovín, cez výrobu, používanie, nakladanie po skončení životnosti, recyklovanie až po konečné zneškodňovanie (t. j. od kolísky po hrob).

Štúdia LCA pozostáva zo štyroch fáz:

- z fázy definovania cieľa a predmetu;
- z fázy inventarizačnej analýzy;
- z fázy posudzovania vplyvov
- a z fázy interpretácie.



Obr.1 Fázy posudzovania životného cyklu LCA

Aby bola analýza životného cyklu čo najrealistickejšia, musí byť čo najpodrobnejšia a zachytávať každú etapu životného cyklu. Následne je potrebné vziať do úvahy všetky etapy životného cyklu výrobku ako celok. LCA zahŕňa etapy od ťažby surovín až po koniec životného cyklu vrátane výrobných etáp. V skutočnosti je niekoľko metód schopných zhodnotiť vplyv existujúcich výrobných procesov na životné prostredie, pričom prioritnou je stanovenie spotreby energie. Z existujúcich analýz vyplýva, že dôležité je presne zhodnotiť vplyv AM na životné prostredie najmä počas výrobného procesu (Bourhis *et al.*, 2013).

Väčšina dostupných štúdií sa síce zameriava najmä na analýzu spotreby energie, ale ako výstupy sú uvádzané špecifické energetické hodnoty pre procesy AM o 1 až 2 rády vyššie v porovnaní s konvenčnými obrábacími a vstrekovacími procesmi (Kellens, Mertens, *et al.*, 2017). Z hľadiska posudzovania LCA je veľmi dôležitá etapa tlačenia komponentov ako aj etapa likvidácie odpadu po tlači. Pri kvantifikácii dopadov na životné prostredie sa využívajú informácie týkajúce sa charakteristiky a vlastností použitých materiálov, ako aj analýza bezpečnostných rizík pri práci s daným zariadením a materiálom, ktorý sa po tlači stáva odpadom resp. vedľajším produktom výroby (často s nebezpečnými vlastnosťami).

Bezpečnosť aditívnej výroby

OHSA v súčasnosti nezverejnila konkrétne materiály týkajúce sa aditívnej výroby. Podporuje uplatňovanie nariadenia s názvom Occupational Exposure to Hazardous Chemicals in Laboratories inak známe ako laboratórne normy. Pretože prostredie, v ktorom sa nachádzajú aditívne technológie sa podobá chemickým laboratóriám najmä kvôli prítomnosti potenciálne horľavých a toxických chemikálií používaných každodenne s čím sa spájajú problémy s chemickým odpadom. Z tohto dôvodu sa odporúča pridať laboratóriá aditívnej výroby do pozornosti a pôsobnosti OHSA alebo podobne kontrolovaného prostredia (Short *et al.*, 2015).

Medzi tri hlavné potenciálne riziká spojené s aditívnou výrobou patrí:

- Kontakt s chemikáliami.
- Použitie horľavých a výbušných materiálov.
- Iritácia očí.

Riziká chemickej toxicity

Cesty chemickej expozície látok vznikajúcich pri aditívnej výrobe sú tri: dermálna, inhalačná a orálna. Chemikálie, ktoré sú karcinogény, toxické alebo vysoko toxické látky; reprodukčné toxíny, dráždivé látky, žieravé látky, senzibilizátory, hepatotoxíny, nefrotoxíny, neurotoxíny, látky, ktoré pôsobia na krvotvorné systémy; a látky, ktoré poškadzujú pľúca, pokožku, oči alebo sliznice, musia byť identifikované pretože opakované vystavenie chemickým látkam pravdepodobne povedie k citlivosti v závislosti od chemickej látky a reakcii imunitného systému jednotlivca – uvádzali autori (Davis and Golden, 1967). Dobrým východiskovým bodom pre štúdium rizík spojených s materiálmi používanými pri aditívnej výrobe je preskúmanie príslušných dokumentov ako sú karty bezpečnostných údajov a toxikologické prieskumy.

Horľavosť a výbušnosť

Horľavý izopropanol alebo denaturovaný alkohol sa používa pri stereolitografii (SLA) na odstránenie nevytvrdeného povlaku hotového komponentu pred uskutočnením fázy vytvrdzovania v ultrafialovej (UV) peci. Toto riziko je vylúčené použitím nehorľavého monometyléteru tripropylenglykolu. Ďalšia horľavá kvapalina, etylenglykol, sa používa ako spojivo oceľového prášku pri spôsobe tlače SLS (Selective Laser Sintering). A čo je dôležitejšie, väčšina surovín používaných v systémoch aditívnej výroby je horľavá. Pri metóde SLS (laserové spekanie prášku) vytvárajú malé prachové častice vysoko horľavú atmosféru, čo má za následok potenciálne riziko výbuchu týchto prachových častíc. Z tohto dôvodu musia zariadenia pre SLS vyplňať pracovný

priestor inertným plynom (najčastejšie dusíkom), pretože prítomnosť kyslíka by určite viedla k vzniku výbušnej atmosféry.

Medzi opatrenia proti nebezpečenstvu vzniku požiaru a výbuchu patria:

- odstránenie všetkých iniciačných zdrojov;
- udržiavanie čistoty pracovných priestorov pred hromadením chemikálií alebo prachu pomocou metód, ktoré zabráni vytváraniu oblakov prachu;
- použitie nástrojov odolných voči horeniu;
- primerané ventilačné a protipožiarne systémy.

Riziko UV a laserového žiarenia

UV žiarenie sa používa v systémoch aditívnej výroby založených na tekutinách, vrátane metód atramentovej a fotopolymizačnej metódy na vytvrdzovanie epoxidových živíc počas a po fáze zostavovania. Vystavenie sa UV žiareniu poškodzuje oči. Postupne UV žiarenie absorbované rohovkou a šošovkami produkuje voľné radikály, ktoré môžu napadnúť štruktúrne molekuly oka a spôsobiť kataraktu, zakalenie šošovky, čo vedie k strate farebného videnia a prípadne slepote. Ochranné okuliare proti UV žiareniu by mali byť k dispozícii napríklad v prípade zariadení na následné spracovanie UV žiarením pri SLA metóde. Ako ochranné prvky sa používajú aj UV filtre a zámky v strojoch. Systémy SLA používajú UV lúče triedy II a III môžu spôsobiť okamžitú slepotu. Bežným problémom je lúčový rozptyl v samotnom zariadení.

Analýza rizík aditívnej výroby

Uskutočnilo sa niekoľko štúdií, ktoré sa venovali analýze rizík aditívnej výroby. Závery jeden z nich uskutočnenej na Robert Morris University (RMU) v Pittsburgu, kde analyzovali riziká na konkrétnych zariadeniach pre technológiu FDM (Fused Deposition Modeling – extrúzia plastových vlákien), SLA (Stereolithography – fotopolymizácia živíc) a SLS (Selective Laser Sintering – spekanie práškov laserom) sú nasledovné.

1. **Všeobecné pripomienky ku všetkým trom typom aditívnej výroby** (Short *et al.*, 2015):
 - Existuje riziko, že živice používané pri SLA, ako aj čistiace rozpúšťadlá môžu uvoľňovať škodlivé výpary, ktoré môžu nepriaznivo ovplyvniť kvalitu vzduchu v interiéri a predstavovať zdravotné riziko pre obyvateľov budovy, v ktorej sú umiestnené 3D tlačiarne tohto typu. Vhodné je zabezpečiť izoláciu zariadení v samostatnej dobre vetranej miestnosti, aby sa minimalizoval kontakt osôb s kontaminovaným vzduchom.
 - Pre zabránenie kontaktu osôb s nebezpečným materiálom je vždy potrebné používať vhodné osobné ochranné pomôcky vrátane laboratórnych plášťov, rukavíc a bezpečnostných okuliarov.
 - Mechanické systémy zariadení aditívnej výroby sú chránené bezpečnostnými zámkami.
 - Prítomné elektrické nebezpečenstvá súvisia s nárokmi zariadení na zabezpečenie energie pre ich fungovanie, aj keď sú vhodne zabezpečené.
 - Všetok vzniknutý tuhý, tekutý alebo plyný odpad musí byť zlikvidovaný v súlade s miestnymi predpismi.
2. **Riziká spojené s aditívnou výrobou FDM** (ako surovina sú najčastejšie používané tuhé vlákna z polymérnych látok ako ABS alebo PLA, tavené extrúznou dýzou)
 - Vo vnútri stroja sa zistilo extrémne nebezpečenstvo súvisiace s vysokou teplotou vyhrievacej dýzy. Prevádzkovatelia musia byť opatrní pri odstraňovaní hotových modelov aby nedošlo k popáleniu.
 - Prítomné je i nebezpečenstvo pádu a nárazu zariadenia, zariadenia musia byť na pracovisku dobre podporené a vyvážené.
 - Ručné odstránenie podporných materiálov z hotových komponentov môže viesť k porezaniu alebo odratiu kože v dôsledku ostrých hrán.

- Ultrazvukový čistič / ohrievač sa používa s chemickým urýchľovačom-hydroxidom sodným na štiepenie podporného materiálu vo vodnom roztoku. Takéto dodatočné spracovanie komponentov aditívnej výroby môže spôsobiť chemické popáleniny. Výpary generované v ultrazvukovom čističi sú kontaminované leptavým hydroxidom sodným a môžu poškodiť pľúca. Samotný ohrievač môže viesť k popáleninám, pokiaľ sa na odoberanie komponentov nepoužívajú tepelne odolné rukavice / náradie.
- Zariadenie FDM aditívnej výroby nemá tlačidlo núdzového vypnutia; Softvér Catalyst EX sa však dá použiť na zrušenie tlačových úloh v reálnom čase.
- 3. **Riziká systému SLA Viper** (ako surovina sa používa najčastejšie tekutá fotopolymerizačná živica vytvrdzovaná UV žiarením, pričom v tomto konkrétnom zariadení je vytvrdzovaná laserom)
 - Nebezpečenstvo žiarenia laserom je kontrolované bezpečnostným zámkom. Keď sa dvere zariadenia otvárajú, uzáver pre laser sa zatvára. Na dverách je tiež výstražný znak pre prítomnosť lasera triedy III.
 - Sú prítomné chemické výpary z používaných materiálov, ktoré sú nevhodné pre osoby pri dlhodobej expozícii.
 - Na konzole stroja je tlačidlo núdzového zastavenia.
 - Nádoby so živicami sú opatrené uzávermi, ktoré zabráňujú rozliatiu alebo postriekaniu.
 - Dodatočné spracovanie komponentov zahŕňa manuálne čistenie nevytvrdenej živice izopropanolom alebo ultrazvukovým čističom a následné vytvrdenie komponentu UV lampou. Skladovanie horľavých látok má byť zabezpečené v nehorľavej skrini, odporúča sa úplné vysušenie modelov a likvidácia odpadového materiálu do sorbentového odpadového bubna. Z dôvodu nebezpečenstva požiaru by sa v ultrazvukovom čističi nemali používať žiadne horľavé látky.
 - Akékoľvek zvyšky živice na pokožke je potrebné rýchlo odstrániť pomocou studenej vody, pretože je možné vytvrdiť ju aj UV energiou prichádzajúcou z prírodného osvetlenia miestnosti alebo teplom teplej alebo horúcej vody. Na blokovanie tejto UV energie sa môžu použiť UV filtre.
- 4. **Riziká technológie SLS systému ProMetal RXD (R1)** (ako surovina je používaný kovový prášok spekaný laserom)
 - V zariadení bolo analyzované riziko popálenia v dôsledku tepla generovaného elektronikou. Komponenty s nebezpečenstvom prehriatia sú označené značkou.
 - Medzi otázky priemyselnej hygieny patrí prítomnosť kovových práškov (modelový materiál a infiltrát) a tekutín [spojivo - etylénglykol (tripropylénglykolmetyléter), čistiacej tekutiny, ako aj odpadovej tekutiny]. Chemické nebezpečenstvá vyplývajú z dôvodu prítomnosti týchto chemikálií.
 - Post procesné operácie súvisiace s dodatočnou úpravou komponentov aditívnej výroby zahŕňajú tepelné odstránenie spojiva a spekanie. Na spekanie nehrdzavejúcej ocele je potrebné teplo a dostatok inertných plynov. Prítomnosť argónu a vodíka je problém z hľadiska bezpečnosti, pokiaľ nie je možné dosiahnuť dostatočnú ventiláciu. Pri zariadeniach s väčšou kapacitou sa zvyšujú bezpečnostné riziká v dôsledku manipulácie s väčším objemu týchto plynov.
 - Likvidácia čistiacej kvapaliny môže spôsobiť problémy v životnom prostredí, najmä v súvislosti s veľkokapacitnými zariadeniami ako je ProMetal R2.

Budúcnosť aditívnych technológií

Inovácie v blízkej budúcnosti budú mať zásadný vplyv aj na 3D tlač a pracovné prostredie. Nie je novinkou, že tieto technológie už nie sú využívané iba na výrobu prototypov najmä v strojárskom odvetví.

Flexibilná výroba a sloboda pri tvorbe ponúkajú veľké príležitosti napríklad v potravinárskom priemysle. V súčasnosti sa s aditívnou výrobou spája používanie prevažne tekutých potravín, ako je napríklad čokoláda. V blízkej budúcnosti bude 3D tlač použitá pre surové potraviny, ktoré budú neskôr

ďalej upravované napr. zahrievaním, alebo budú spracované prírodnými procesmi, ako je fermentácia alebo klíčenie. To bude predstavovať nové výzvy v oblasti hygieny, bezpečnosti a všeobecných pracovných podmienok (čistý vzduch, ergonómia atď.)(Junte, 2017).

Nano-tlač

Kombináciou 3D tlače s nanotechnológiou bude možné tvarovať objekty na nano- alebo molekulárnej úrovni. Teoreticky to znamená, že prostredníctvom výroby aditív bude možné vyrobiť akúkoľvek formu predmetu akéhokoľvek druhu materiálu, v akomkoľvek tvare alebo objeme. Táto technika je však stále teoretická; Nie je možné urobiť predpovede o vplyve nanotlače na pracovné prostredie.

Bio tlač

3D tlač organických a / alebo živých tkanív sa označuje ako biotlač. Bioprinter vyprodukuje bunky z hlavy s biotlačou, ktorá sa pohybuje vľavo a vpravo, dozadu a dopredu a hore a dole, aby bunky umiestnila presne tam, kde je to potrebné. V priebehu času to umožňuje, aby sa organický objekt hromadil v mnohých veľmi tenkých vrstvách. Okrem produkujúcich buniek môžu biotlačidlá tiež tlačiť rozpustný gél, aby podporovali a chránili bunky počas alebo po tlači. Uskutočnilo sa veľa úspešných experimentov s tlačou „živých“ materiálov obsahujúcich huby alebo riasy. Rovnako ako v prípade inteligentných materiálov predstavuje táto technika riziko pre zdravie a hygienu. Okrem toho naskoľuje etické otázky.

4D tlač a inteligentné materiály

Inteligentné materiály majú jednu alebo viac vlastností, ktoré sa dajú významne regulovať vonkajším podnetom, ako sú teplota, sila, svetlo, vlhkosť, pH a elektrické alebo magnetické polia. Ak sa vyrába s 3D tlačiarňou, tieto inteligentné materiály môžu vytvárať objekty, ktoré reagujú na prostredie zmenou tvaru, hmatateľnosti alebo tvrdosti. Tento proces sa označuje ako tlač 4D, pretože objekty sa v priebehu času znova menia. Tieto zmeny môžu byť výsledkom citlivosti na svetlo, tlak alebo teplotu. Niektoré z týchto materiálov môžu mať „pamäť“; To znamená, že keď sa okolnosti zmenia, zmenia sa späť na pôvodný tvar. Mnohé z týchto materiálov sú vysoko experimentálne a riziká, ktoré predstavujú pre zdravie a hygienu, sú neisté. Objavujú sa výzvy na reguláciu.

Záver

Na základe uvedenej analýzy environmentálnych a bezpečnostných rizík aditívnej výroby ako aj ďalšieho možného vývoja týchto technológií je potrebné si uvedomiť možné dôsledky spomínaných rizík a zabezpečiť všetky opatrenia na ich elimináciu.

Aj súčasťou dokumentu Európskej agentúry pre bezpečnosť a ochranu zdravia pri práci venujúcom sa aditívnej výrobe sa na záver uvádza, že každodenný vplyv zariadení určených pre aditívnu výrobu predstavuje isté riziká pre fyzickú bezpečnosť. Rovnako sa objavujú riziká pre zdravie obsluhy v súvislosti s tvorbou emisií rôznych plynov, vystaveniu rôznym typom materiálov ako aj manipulácii s týmto materiálom a kontakt so statickou elektrinou. Tento dopad na obsluhu môže byť značný. Dôrazne sa odporúča aby sa na tieto zmeny v pracovnom prostredí v súvislosti s aditívnou výrobou reagovalo na európskej úrovni a následne na vnútroštátnej úrovni, pretože 3D tlač je globálnou ekonomikou.

Na základe vykonaných štúdií je možné prijať nasledujúce závery:

- Posudzovanie životného cyklu výrobku je dôležité pre každú organizáciu, aby vykonala interné zlepšenia založené na špecifických potrebách, ale zovšeobecnenie tohto procesu pre veľmi odlišné technológie AM je zložitá úloha.
- Toxikologické a environmentálne riziká, ako aj otázky bezpečnosti AM nie sú v súčasnosti úplne známe a mal by byť predmetom ďalšieho výskumu (Kellens, Baumers, *et al.*, 2017).



- Potenciálne zdravotné problémy sa môžu vyskytnúť pri závažnom podráždení očí a pokožky, ako aj pri alergických kožných reakciách a pri vdýchnutí. Z tohto dôvodu sa odporúča správne vetranie miestností, ako aj používanie ochranných rukavíc a ochranných okuliarov a masiek (Kellens, Baumers, *et al.*, 2017).
- Procesy výroby vstupných surovín AM nie sú dostatočne zdokumentované, pokiaľ ide o ich environmentálne vlastnosti, čo predstavuje veľmi dôležitú tému pre budúci výskum (Kellens, Mertens, *et al.*, 2017).

ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

- ASTM International (2013) 'F2792-12a - Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies', *Rapid Manufacturing Association*, pp. 10–12. doi: 10.1520/F2792-12A.2.
- Bourhis, F. Le *et al.* (2013) 'Sustainable manufacturing: evaluation and modeling of environmental impacts in additive manufacturing', *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 69(9–12), pp. 1927–1939. doi: 10.1007/s00170-013-5151-2.
- Junte, J. (2017) *3D Printing and Additive Manufacturing – the Implications for OSH*. Available at: http://www.osha.mdds.gov.si/resources/files/5_3D_Printing_Implications_for_OSH_0.pdf.
- Kellens, K., Baumers, M., *et al.* (2017) 'Environmental Dimensions of Additive Manufacturing: Mapping Application Domains and Their Environmental Implications', *Journal of Industrial Ecology*, 21, pp. S49–S68. doi: 10.1111/jiec.12629.
- Kellens, K., Mertens, R., *et al.* (2017) 'Environmental Impact of Additive Manufacturing Processes: Does AM Contribute to a More Sustainable Way of Part Manufacturing?', *Procedia CIRP*. Elsevier, 61, pp. 582–587. doi: 10.1016/J.PROCIR.2016.11.153.
- Short, D. B. *et al.* (2015) 'Environmental, health, and safety issues in rapid prototyping', *Rapid Prototyping Journal*, 21(1), pp. 105–110. doi: 10.1108/RPJ-11-2012-0111.
- Wohlers (2017) *Wohlers report 2017: 3D printing and additive manufacturing state of the industry: annual worldwide progress report*. 22nd edn. FORT COLLINS, COLORADO, USA: Wohlers Associates, Inc. Available at: <https://wohlersassociates.com/2017report.htm> (Accessed: 23 February 2018).

ADRESA AUTORA

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.