

BEZPEČNOSTNÉ ASPEKTY ADITÍVNYCH TECHNOLOGIÍ

Eva BURANSKÁ - Miroslav RUSKO - Ivan BURANSKÝ

SAFETY ASPECTS OF ADITIVE TECHNOLOGIES



Sustainability - Environment - Safety '2018

ABSTRAKT

Vznik pokročilých výrobných technológií, spojený s požiadavkami spotrebiteľov na výrobky a služby prispôsobené zákazníkovi, spôsobuje zmeny v rozsahu a distribúcii výroby. V tomto článku sa venuje pozornosť úlohe jednej z takýchto moderných technológií výrobných procesov: aditívnej výroby. 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. Tento článok zhrňa informácie o princípe aditívnej technológie a diskutuje o jej dôsledkoch na bezpečnosť a životné prostredie.

Kľúčové slová : aditívne technológie, vplyv, bezpečnosť, životné prostredie

ABSTRACT

The emergence of advanced manufacturing technologies, coupled with consumer demands for more customised products and services, are causing shifts in the scale and distribution of manufacturing. In this paper, consideration is given to the role of one such advanced manufacturing process technology: additive manufacturing. 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: additive technologies, impact, safety, environment

Úvod

Aditívna výroba (AM – Additive Manufacturing) je proces výroby 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 kontrastné s výrobnými metódami založenými na subtrakčných 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, Baumanns, *et al.*, 2017), (Wohlers, 2017).

Aditívne metódy výroby súčiastok sú vznikajúcou technológiou, ktorá je dostatočne zrelá na to, aby získala významnú pozornosť vo výrobnom sektore, ale je dostatočne nová na to, aby boli presne definované jej environmentálne a bezpečnostné vplyvy. Vzhľadom na to, že výroba zodpovedá približne za jednu tretinu celosvetových emisií skleníkových plynov (Pachauri, R. K., Meyer, 2014) a mnohé ďalšie environmentálne vplyvy, je dôležité zmerať vplyv výroby a pochopiť ich pôvod. Kvantifikácia toho, ktoré aspekty výrobného procesu spôsobujú najväčšie vplyvy na životné prostredie, umožňuje výrobcovi aby uprednostňovali postupy zamerané na udržateľnosť a merateľnosť. Takáto prioritizácia by mala zlepšiť efektívnosť a návratnosť investícií do environmentálnych iniciatív (Faludi *et al.*, 2017).

Aditívne technológie výroby (AM) navrhujú novú paradigmu pre inžiniersky dizajn a výrobu, ktorá má hlboké ekonomické, environmentálne a bezpečnostné dôsledky. Sloboda dizajnu ponúkaná touto kategóriou výrobných procesov a jej schopnosť lokálne vytlačiť takmer každý určený objekt bude mať dôležité dôsledky v celej spoločnosti. Zatiaľ čo aplikácie AM postupujú od rýchleho prototypu až po výrobu konečných produktov, environmentálne rozmery a s tým súvisiace vplyvy týchto vyvíjajúcich sa výrobných procesov sa ešte musia rozsiahlo preskúmať.

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, Baemers, *et al.*, 2017).

Metódy 3D tlače a história aditívnej výroby

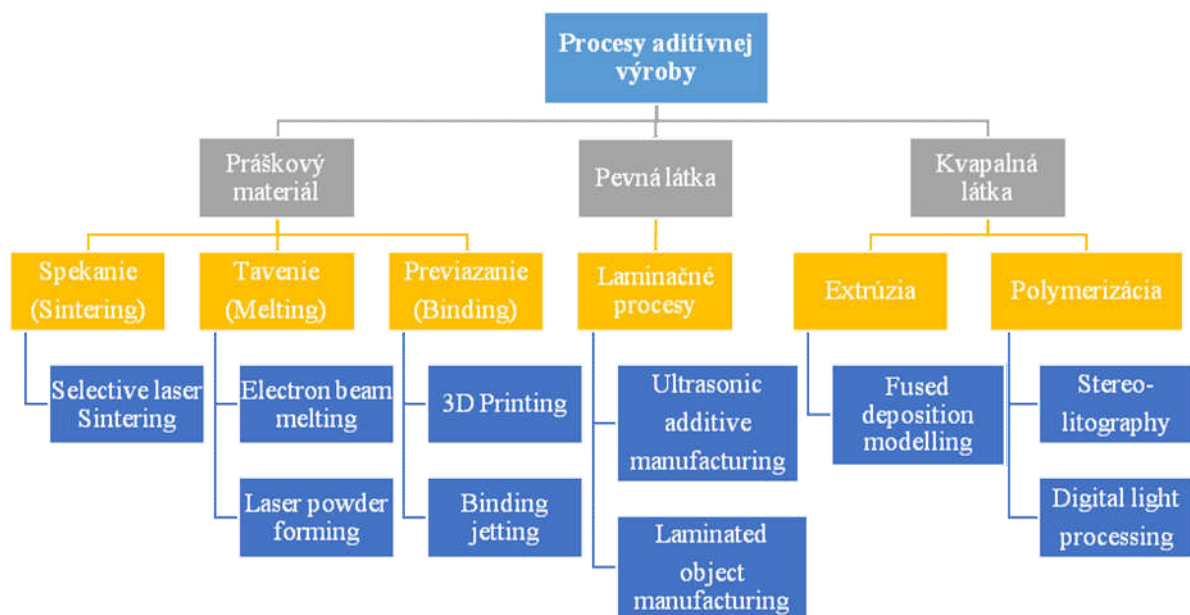
V literatúre sa používajú termíny aditívna výroba, rýchle prototypovanie, vrstvená výroba, výroba vo forme voľných foriem, 3D fabbing a 3D tlač sú viac či menej synonymom. Zatiaľ čo väčšina inžinierov uprednostňuje výrazy ako "aditívna výroba" alebo "3D tlač" čo je oveľa bežnejšie najmä v populárnych médiách. V tomto článku sú používané termíny "aditívna výroba – additivemanufacturing" (AM) a 3D tlač na opis rovnakého všeobecného výrobného princípu (Ligon *et al.*, 2017)

Termín „aditívna výroba“ (additivemanufacturing - AM) zahŕňa širokú škálu výrobných technológií, ktoré sa používajú v širokej škále priemyselných odvetví: od spotrebnej elektroniky po letectvo a z mnohých príkladov medicínskych aplikácií, ako sú napríklad zubné implantáty a sluchové pomôcky (Kellens, Baemers, *et al.*, 2017)(Wohlers, 2017).

Prvýkrát bol takýto typ výroby predstavený v 80. rokoch minulého storočia, aby slúžil vysoko špecializovaným potrebám modelovania a k výrobe rýchlych prototypov (RP). Tak sa 3D tlač stala univerzálnou technologickou platformou pre CAD (computer-aided design – počítačom podporovaný návrh) a rýchlu výrobu. AM umožňuje výrobu zákazkových dielov z kovov, keramiky a polymérov bez potreby foriem alebo obrábania typických pre konvenčnú formatívnu a subtraktívnu výrobu (Ligon *et al.*, 2017).

Vývoj AM technológií v spojení s "internetom" získal potenciál urobiť prevrat v počítačom riadenej výrobe. Zatiaľ čo bežná výroba sa riadi spracovateľskými obmedzeniami súvisiacimi s priemyselnou hromadnou výrobou, AM je vo svojej podstate agilná, čo umožňuje rýchlejšie prispôsobiť dizajn a výrobu súčiastok požiadavkám jednotlivcov a špecifických aplikácií..

AM procesy sa dajú rozdeliť do troch rôznych kategórií v závislosti od stavu materiálu použitého na vytvorenie artefaktu počas procesu tlače, ako je prášok, látka na kvapalnej alebo pevnej báze (Kruth, Leu and Nakagawa, 1998), (Chen *et al.*, 2015).



Obr. 1 Rozdelenie aditívnej výroby (Kruth, Leu and Nakagawa, 1998), (Chen *et al.*, 2015)

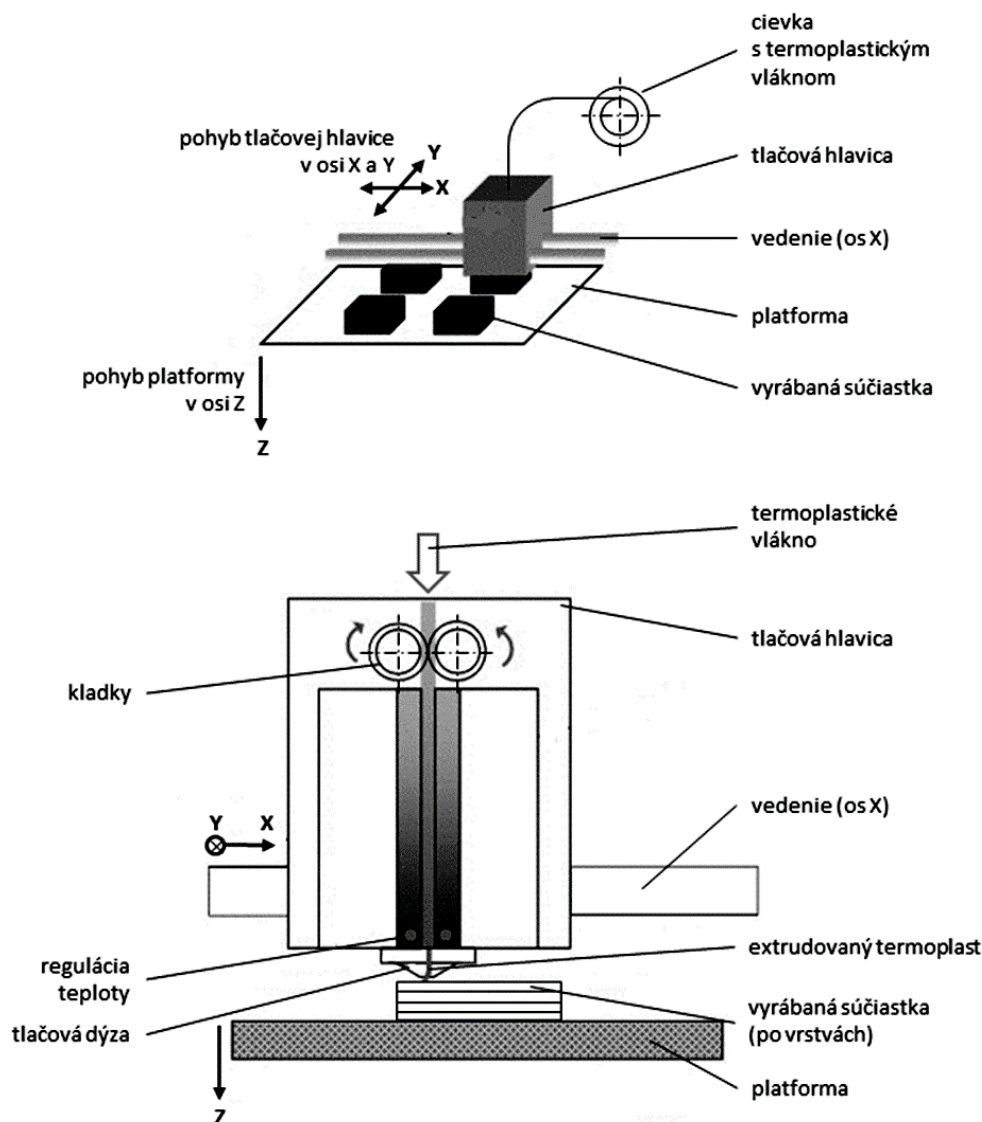
Fused Deposition Modeling (FDM)

Fused Deposition Modeling (FDM) – je jednou z najrozšírenejších metód profesionálnej 3D tlače, ktorá zároveň stála pri zrode celého hnutia lacných 3D tlačiarň, ktoré využívajú ich odvođeniny (napríklad FFF používaná v projekte RepRap) rozšírené po expirácii pôvodného patentu na FDM v roku 2009.

FDM je technológia aditívnej výroby, ktorú na konci osemdesiatych rokov dvadsiateho storočia vyvinul a v roku 1989 patentoval S. Scott Crump, neskorší zakladateľ spoločnosti Stratasys, ktorá má tento pojem zaistený ochrannou známkou.

Princíp FDM spočíva v tavení plastu alebo kovu vo forme vlákna vnútri extrúzneho hlavy, ktorá taveninu vytlačí na podložku a svojím pohybom v dvoch osiach postupne nanáša veľmi tenkú vrstvu materiálu v rovine horizontálneho prierezu budúceho výrobku. Po nanosení celej vrstvy sa podložka zníži o hrúbku vrstvy vo vertikálnej osi a postupné nanášanie pokračuje nanovo až do vytvorenia celej súčiastky (Obr. 2).

Najčastejšie používanými materiálmi pre FDM sú termoplasty ABS a PLA. V profesionálnych aplikáciách sú využívané ďalšie materiály ako polykarbonáty alebo špeciálne termoplasty typu Ultem.



Obr. 2 Schéma aditívnej metódy Fused Deposition Modeling (Zein *et al.*, 2002).

Keďže zariadenia pre AM bolo zvyčajne veľmi drahé a zriedkavé, tieto technológie sa sotva používali na neprofesionálne účely. Vzhľadom na vznik lacných a ľahko použiteľných tzv. 3D tlačiarň sa táto situácia dramaticky zmenila. V roku 2011 Bowyer a spol. (2013) založil projekt RepRap pre nízkonákladové 3D tlačiarne, po ktorých nasledovali podobné iniciatívy aj iných výrobcov. Schopnosť vyrábať vysoko flexibilným spôsobom takmer akúkoľvek geometrickú formu v jednom kroku ponúka možnosť uplatniť AM v domácnostiach (Chen *et al.*, 2015). Dnes sú 3D tlačiarne komerčne dostupné za menej ako 500 USD, čo umožňuje vytváranie 3D objektov nielen na profesionálnych pracoviskách, ale aj doma (Ligon *et al.*, 2017).

Bezpečnostné aspekty aditívnej výroby

Výskum zameraný na environmentálne a bezpečnostné vplyvy AM sa všeobecne zameriava na hodnotenie životného cyklu (LCA) v jednotlivých etapách. Na problematiku posudzovania životného cyklu je zameraná TN EN ISO 14044: 2007, ktorá pokrýva štúdie posudzovania životného cyklu (štúdie LCA) a štúdie inventarizačnej analýzy životného cyklu (štúdie LCI). Na oblasť posudzovania

životného cyklu sú zamerané aj normy STN P ISO/TS 14048: 2004 a TNI ISO/TR 14049: 2001 (Rusko and Korauš, 2004).

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).

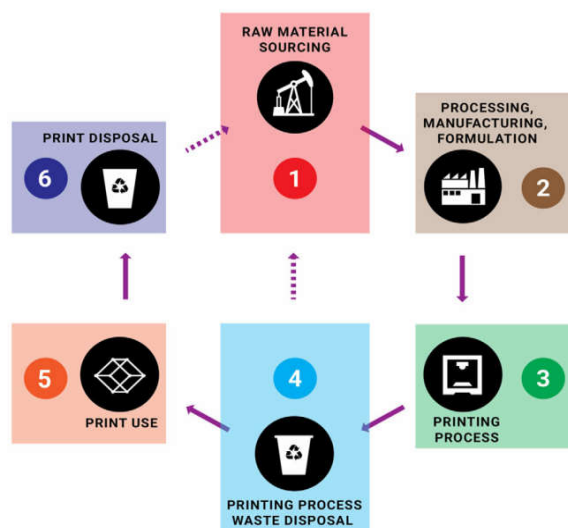
Štúdia LCA pozostáva zo štyroch fáz:

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

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).

Autori (Bours *et al.*, 2017b) uvádzajú dôležité úvahy a odkazujú na súčasné metodiky hodnotenia AM na základe vplyvu rôznych typov materiálov používaných pri výrobe súčiastok týmito technológiami. Zameriavajú porovnávacie hodnotenie najmä na etapy 3 až 6 (obr. 3), pretože ide o štádiá, v ktorých sú koncoví užívatelia, prevádzkovatelia 3D tlačiarň a ekologická sféra najviac vystavení riziku vystavenia potenciálnym chemickým nebezpečenstvám a kde sa používajú metodiky hodnotenia nové a menej rozvinuté.



Obr. 3 Šesť fáz životného cyklu aditívnej výroby (AM) (Bours *et al.*, 2017a)

Bours a kolektív porovnávajú dva materiály z bežne používaných technológií AM: systém založený na extrúzii nazývaný výroba pomocou taveného vlákna (FFF- FusedFillamentFanrication) a proces fotopolymerezácie digitálnou projekciou svetla (DLP - DigitalLightProcessing). Výsledky a význam hodnotenia počas vybraných fáz LCA týchto metód AM sú uvedené nižšie.

Etapa 3 : Proces tlačenia – vyhodnocované sú bezpečnostné riziká spojené s danou technológiou tlačenia (napr. zdroje nebezpečenstva, hlavné cesty expozície) ako aj spotreba energie.

Etapa 4: Odstraňovanie odpadu z procesu 3D tlačenia – jedná sa o odpad vznikajúci pri procese tlačenia, ktorý prevažne tvoria podporné štruktúry a jeho zaradenie do úrovni vzhľadom na množstvo a druh odpadu resp. možnosti jeho ďalšieho spracovania.

Etapa 5: Používanie produktu 3D tlače - zdá sa, že nebezpečenstvo tejto etapy životného cyklu AM je najmenej pochopené; riziko závisí od toho, ako sa výsledné 3D výtlačky používajú a v akom nastavení (domácnosti, priemyselné atď.) a určujú sa rovnako úrovne na základe testov cytotoxicity, podráždenia, senzibilizácie a pod.

Etapa 6: Likvidácia produktu 3D tlače - hoci materiálová konfigurácia počas a po procese tlače môže byť celkom odlišná, kritériá použité na hodnotenie bezpečnosti a trvalej udržateľnosti sú veľmi podobné, teda vzhľadom na spôsob a možnosti likvidácie produktu z konkrétneho materiálu sa určí úroveň dopadu danej etapy LCA na životné prostredie.

V každej zo spomínaných etáp LCA sa stanovuje úroveň dopadu na environment na základe existujúcich metodík vid' autori Brous et al. 2017 (v rozsahu úrovni 0 až 2, pričom materiál úrovne 2 je ten, ktorý úplne zmierňuje väčšinu obáv, čím sa stáva materiálom vhodným pre spotrebiteľov, úroveň 1 predstavuje určité obavy pre prevádzkovateľa technológie AM a môžu byť potrebné niektoré technické kontroly alebo osobné ochranné prostriedky a nakoniec, materiál úrovne 0 je taký, ktorý sa nedá použiť s technológiou AM bez významných technických kontrol).

Konečné celkové skóre potom odráža dopad produktu na životné prostredie počas vybraných fáz LCA výrobu.

V nasledujúcej Tab. 1 sú uvedené príklady klasifikácie materiálov používaných pri AM do jednotlivých úrovni vo fázach životného cyklu začínajúc procesom tlače a končiac likvidáciou produktov tlače.

Tab. 1 Súhrnný opis prahových úrovni pre vybrané etapy životného cyklu AM (Bours et al., 2017a)

Etapa LCAč.	Opis etapy LCA	ÚROVEŇ 2	ÚROVEŇ 1	ÚROVEŇ 0
3	Proces tlače	Materiál vhodný pre spotrebiteľov; môžu byť použité v prostredí s nevyškolenými používateľmi.	Len profesionálne použitie; proces tlače prináša niektoré riziká, ktoré vyžadujú školenie alebo kontrolu nebezpečenstva	Vysoko rizikové živice; AM materiály / procesy vyžadujú dodatočné bezpečnostné kontroly.
4	Odstraňovanie odpadu z procesu tlače	Žiadny odpad alebo vzniknutý odpad možno opätovne použiť alebo ľahko biodegradovať (biologicky rozložiť)	Nejaký odpad; v mnohých krajinách možné skládkovať.	Odpad, s ktorým sa musí nakladať a musí sa likvidovať ako nebezpečný odpad
5	Používanie produktov 3D tlače	Žiadny odpad alebo vzniknutý odpad možno opätovne použiť alebo ľahko biodegradovať. Bezpečné pri dlhodobom kontakte (perorálne a dermálne) (dlhšie ako 24 hodín)	Bezpečné pri prerušovanom kontakte s pokožkou (viac ako 1 h a menej ako 24 h)	Nebezpečný pre dočasný kontakt s pokožkou (<1 h)
6	Likvidácia produktu 3D tlače	Ľahko biologicky odbúrateľný alebo recyklovateľný	V mnohých krajinách možné skládkovať.	Materiál je nebezpečný odpad; degraduje do toxických chemikálií; absorbuje nebezpečné chemikálie

Proces tlače (etapa 3)

- materiály sa posudzujú z hľadiska ich fyzického nebezpečenstva, rizika kontaktu a životného prostredia, potenciálu vystavenia emisiám z prostredia UFP, potenciálu vystavenia účinkom znečistenia ovzdušia a ich postprocesného skóre. Prahové hodnoty skóre pre každé kritérium závisia od použitej technológie AM a materiály sú dané celkovým skóre medzi úrovňou 0 až úroveň 2. Tieto prahové hodnoty skóre sú definované v tabuľkách S11 a S12 v podporných informáciách na webe. Materiál úrovne 2 je ten, ktorý úplne zmierňuje väčšinu týchto obáv, čím sa stáva materiálom vhodným pre spotrebiteľov. Úroveň 1 predstavuje určité obavy pre prevádzkovateľa technológie AM a môžu byť potrebné niektoré technické kontroly alebo osobné ochranné prostriedky. Nakoniec, materiál úrovne 0 je taký, ktorý sa nedá použiť s technológiou AM bez významných technických kontrol. S ďalšími príkladmi hodnotených materiálov sa tieto prahové hodnoty môžu presnejšie odrážať skutočný rozsah materiálovej toxicity počas štádia procesu tlače (Bours *et al.*, 2017a)

*Tab. 2 Bežné AM a ich expozície a nebezpečenstvá (Bours *et al.*, 2017a)*

AM technológia	Zdroje	Hlavné cesty expozície	Zdroje vystavenia nebezpečenstvu
Extrúzia	Vyhrievaná dýza	inhalácia	Ultrafialové častice, VoC emisie, výbuch/vzplanutie
Práškové spájanie v lôžku	CO ₂ , laser	inhalácia	Ultrafialové častice, výbuch, alebo oheň
Fotopolymerizácia	UV laser alebo projektor	koža	Toxicita zlúčenín, rozpúšťadiel používaných na pranie nezreagovaného materiálu

Poznámka: CO₂ = oxid uhličitý; UV = ultrafialové žiarenie; VoC = prchavá organická zložka

Používanie produktov 3D tlače (etapa 5)

- zatiaľ čo sa AM využívajú najmä pri výrobe prototypov, čoraz viac sa využíva na výrobu obchodovateľných výrobkov. Zároveň sa zdá, že nebezpečenstvo tejto etapy životného cyklu AM je najmenej pochopené; riziko závisí od toho, ako sa výsledné 3D výtlačky používajú a v akom nastavení (domácnosti, priemyselné atď.). V štádiu "Použitie produktov 3D tlače" sa autori (Bours *et al.*, 2017a) rozhodli, že najvhodnejšie kategórie, ktoré sa majú zväziť na základe bežného používania materiálov AM, by sa zaoberali aplikáciami, ako sú nositeľné výrobky, hračky, výrobky pre domácnosť a priemyselné súčiastky.

Zneškodňovanie odpadu z procesu tlače a likvidácia produktov tlače (etapy 4 a 6) (Bours *et al.*, 2017a)

- hlavné obavy súvisiace s likvidáciou výstupov AM (súčiastky, odpadové suroviny a ďalšie procesné vedľajšie produkty) sa nespájajú iba s tým, že tieto produkty môžu byť okamžitým zdrojom nebezpečenstva, ale spôsobujú dlhodobý vplyv na životné prostredie. Napriek tomu, že nebezpečný odpad musí byť spracovaný podľa miestnych environmentálnych predpisov, tieto postupy sú často nákladné, energeticky náročné a úplne neodstraňujú riziko kontaminácie životného prostredia (napr. únik do podzemných vôd, znečistenie ovzdušia) (Wilson a Schwarzman 2009). AM umožňujú aby bol prístup k produktom týchto technológií aj v rozvojových krajinách, kde nie sú tak široko dostupné možnosti likvidácie nebezpečného odpadu, najmä keď sa odpad vytvára v menších množstvách na rozptýlených miestach (Mmerek et al., 2016). Hoci materiálová konfigurácia počas a po procese tlače môže byť celkom odlišná, kritériá použité na hodnotenie bezpečnosti a trvalej udržateľnosti sú veľmi podobné.

Záver

Ukazuje sa, že najvyššiu prioritu pre zvýšenie udržateľnosti aditívnych technológií je zefektívnenie 3D tlačiarň z hľadiska spotreby elektrickej energie. Avšak, keďže tlačiarne sú čoraz účinnejšie, práve výber materiálov pre výrobu súčiastok sa stáva oveľa významnejší vzhľadom k celkovému ekologickému vplyvu a ľudskému zdraviu, čím sa analýza a porovnanie vplyvov súvisiacich s konkrétnymi materiálmi stáva dôležitejšia.

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 známe a mal by byť predmetom ďalšieho výskumu (Kellens, Baumer, *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 zber a odzdušnenie prachu, ako aj používanie ochranných rukavíc a ochranných okuliarov a masiek (Kellens, Baumer, *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.
- Bours, J. *et al.* (2017a) 'Addressing Hazardous Implications of Additive Manufacturing: Complementing Life Cycle Assessment with a Framework for Evaluating Direct Human Health and Environmental Impacts', *Journal of Industrial Ecology*, 21, pp. S25–S36. doi: 10.1111/jiec.12587.
- Bours, J. *et al.* (2017b) 'Supporting information', *Journal of Industrial Ecology*, 21, pp. S25–S36. doi: 10.1111/jiec.12587.
- Chen, D. *et al.* (2015) 'Direct digital manufacturing: definition, evolution, and sustainability implications', *Journal of Cleaner Production*. Elsevier, 107, pp. 615–625. doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2015.05.009.
- Faludi, J. *et al.* (2017) 'Environmental Impacts of Selective Laser Melting: Do Printer, Powder, Or Power Dominate?', *Journal of Industrial Ecology*, 21, pp. S144–S156. doi: 10.1111/jiec.12528.
- Kellens, K., Baumer, 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.
- Kruth, J.-P., Leu, M. C. and Nakagawa, T. (1998) 'Progress in Additive Manufacturing and Rapid Prototyping', *CIRP Annals*. Elsevier, 47(2), pp. 525–540. doi: 10.1016/S0007-8506(07)63240-5.
- Ligon, S. C. *et al.* (2017) 'Polymers for 3D Printing and Customized Additive Manufacturing', *Chemical Reviews*, 117(15), pp. 10212–10290. doi: 10.1021/acs.chemrev.7b00074.
- Pachauri, R. K., Meyer, L. A. (2014) *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva, Switzerland: IPCC. doi: 10.1017/CBO9781107415324.
- Rusko, M. and Korauš, A. (2004) 'Ecolabelling, LCA, Ecodesign and Green Marketing', *Životné prostredie*, 38, pp. 178–181.



- 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).
- Zein, I. *et al.* (2002) 'Fused Deposition Modeling of Novel Scaffold Architectures for Tissue Engineering Applications', *Biomaterials*, 23, pp. 1169–1185. doi: 10.1016/S0142-9612(01)00232-0.

ADRESY AUTOROV

Ing. Eva BURANSKÁ, PhD.

doc. RNDr. Miroslav RUSKO, PhD.

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

e-mail: eva.buranska@stuba.sk

miroslav.rusko@stuba.sk

Ing. Ivan BURANSKÝ, PhD.

Ústav výrobných technológií MTF STU, Pavilón T, J.Bottu 2781/25, 91724 Trnava, Slovenská republika

e-mail: ivan.buransky@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.