

3D tisk a jeho vliv na pracovní prostředí

doc. Ing. et Ing. Karel Klouda, CSc., Ph.D., MBA^{1,2}

Mgr. Kateřina Bátorlová^{1,2}

Ing. Marek Nechvátal²

¹VŠB - TU Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství
Lumírova 630/13, 700 30 Ostrava - Výškovice

²Výzkumný ústav bezpečnosti práce, v. v. i.

Jeruzalémská 1283/9, 110 00 Praha 1

batrlova@vubp-praha.cz

Klíčová slova

3D tiskárny, nanočástice, termoplast.

Úvod

Zcela obecně se rozlišují dva základní způsoby vytvoření výrobku. Starší a v současné době dominantní metodou je tzv. substraktivní výroba, která spočívá v odebrání materiálu z polotovaru (např. počítačem řízené obrábění a podobné techniky). Druhou metodou je výroba aditivní, kdy je materiál postupně přidáván a postupně se dotvoří hotový výrobek. Pro aditivní výrobu, kdy je materiál přidáván nanášením v tenkých vrstvách, se vžil zjednodušené označení 3D tisk.

Nespornou výhodou aditivní výroby, oproti konvenční metodě obrábění, je možnost tvorby složitých tvarů. Tento způsob výroby nachází uplatnění v řadě průmyslových odvětví. Několik studií ale poukázalo, že během procesu 3D tisku z termoplastu se do ovzduší mohou emitovat těkavé organické sloučeniny a ultrajemné částice. Na základě provedených a publikovaných měření [1-5] bylo zjištěno, že složení emisí z 3D tisku ovlivňuje celá řada faktorů, jako jsou chemické složení filamentu, jejich barva, provozní teplota tisku, uplatňuje se také vliv použité trysky.

Tato skutečnost byla jedním z důvodů, proč jsme se rozhodli provést měření koncentrace nanočástic v prostorech, kde se provádí 3D tisk. Druhým důvodem se následně stal fakt, že v důsledku pandemie onemocnění COVID-19 se začal 3D tisk ve velkém využívat k výrobě osobních ochranných prostředků, např. ochranných štítů. Měření byla provedena na pracovištích několika zaměstnavatelů, kde je využíván 3D tisk. Jednalo se o měření v prostorech:

1. velkovýroby 3D tiskáren na bázi pokládání termoplastu (Farma Prusa Research a.s),
2. kde jsou laboratorně vyráběny požadované součástky (VÚBP, v. v. i.),
3. kde probíhala aplikace různých typů 3D tisku,
4. kde probíhala výroba komponent pro ochranné štíty a 3D tisk metodami SLS a SLM.

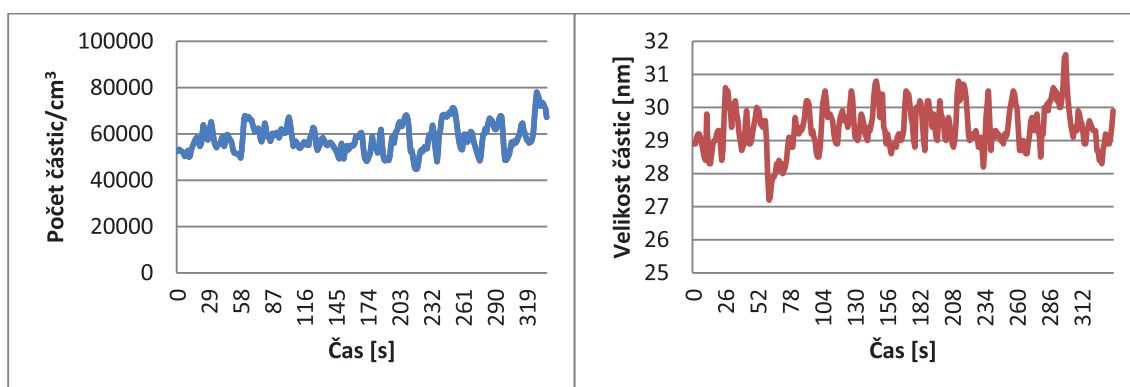
1 Velkovýroba 3D tiskáren na bázi pokládání termoplastu

Měření ve velkovýrobě 3D tiskáren probíhalo na pracovištích jednoho z největších výrobců tohoto typu tiskáren, ve společnosti Prusa Research a.s. Výroba zde probíhá na základě nejdostupnější metody 3D tisku, a to tisku z termoplastů pomocí technologie FFF/FDM (Fused Filament Fabrication/Fused Deposition Modeling). Tento způsob tisku je založen na postupném (po vrstvách) pokládání roztaveného termoplastu tryskou až po vytvoření finálního trojrozměrného tvaru. Měření bylo provedeno na dvou odlišných pracovištích společnosti, na pracovišti zvaném „Farma“.

Pracoviště Farma je místnost (Obr. 1), ve které jsou ve stojanech ve třech úrovních nad sebou umístěny řady tiskáren. Prostor, ve kterém se nacházejí tiskárny, je od okolí částečně oddělen fólií. Celá místnost Farmy má ve stropní části umístěnu ventilaci (odtah). V průběhu měření bylo na Farmě v chodu 480 tiskáren, které tiskly díly pro kompletaci 3D tiskáren z filamentů (vláken) chemického složení polyethyltereftalát-glykol (PET-G; obchodní označení Prusament PETG Prusa Orange). Vlastní měření probíhalo za chůze mezi stojany, přičemž měřicí technika byla umístěna ve výšce 1m nad povrchem podlahy. Získané výsledky jsou prezentovány jako změna počtu částic v objemové jednotce atmosféry v čase a změna velikosti částic v čase (Graf 1). V průběhu prováděného měření se koncentrace nanočástic pohybovala v rozmezí 50 000-70 000 #·cm⁻³, přičemž střední průměr částic byl 29-30,5 nm.



Obr. 1 Výroba dílů určených pro kompletaci 3D tiskáren pomocí 3D tisku ve společnosti Prusa Research, a.s.



Graf 1 Koncentrace a střední průměr nanočástic změřená v prostoru pracoviště Farma během 3D tisku z termoplastů při současném chodu 480 tiskáren

2 Výroba součástek pro měřicí aparaturu v prostorách VÚBP, v. v. i.

Za účelem výroby součástek pro stavbu testovací linky na odolnost pracovní obuvi zakoupil VÚBP, v. v. i. jeden z nejrozšířenějších a běžně dostupných typů 3D tiskárny Original Prusa i3 MK3S pro tisk pomocí technologie FFF. Tiskárna byla umístěna do pracovního laboratoře s celkovým objemem vzduchu 70,4 m³. Pilotní měření bylo v pracovním provedeno před instalací tiskárny. Následně proběhlo v průběhu jejího více než hodinového provozu, kdy byl k tisku využit materiál PVA, barva šedá. Měřicí technika byla po instalaci tiskárny stabilně umístěna ve vzdálenosti 0,8 m od tiskárny.

Ze získaných výsledků je zřejmé, že za provozu tiskárny došlo v měřicím místě k nepatrnému nárůstu koncentrace nanočástic, a to o 1 000 #·cm⁻³ (na rozdíl od předchozích měření probíhalo toto po delší časový interval ≈60 min.). Současně došlo ke snížení středního průměru nanočástic o 10 nm.

3 Měření při aplikaci různých technik 3D tisku

Měření nanočástic probíhalo ve společnosti, která se, mimo jiné, zabývá zakázkovým 3D tiskem s využitím nejrozšířenějších technik, a to tiskem z různých termoplastů, pryskyřic, odolných kompozitů a tiskem z 3D tiskáren založených na technologii spékání práškové vrstvy.

Zde byly proměřované moderní tiskárny s uzavřenými systémy větrání. V těchto prostorech byla koncentrace nanočástic k obsluze přístrojů stabilní, a to v jednotkách tisíc (4 000-6 000 #·cm⁻³), toto zjištění platí i středního průměru částic (35-40 nm).

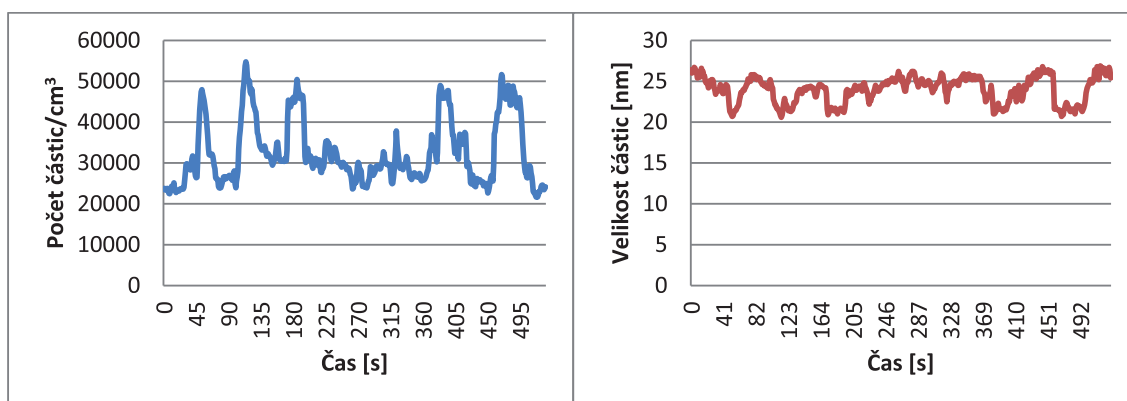
4 Výroba komponent pro ochranné štíty - charitativní akce VŠB-TUO

Pandemie onemocnění COVID-19 aktivovala úsilí jak v akademické sféře, tak u společnosti Prusa Research a.s., a to možností využití 3D tisku k výrobě ochranných prostředků (ČVUT - polomasky, VŠB-TUO - komponenty pro ochranné štíty).

VŠB-TUO ve spolupráci s Magistrátem města Ostravy soustředila dostupné 3D tiskárny na bázi technologie FDM - tavení termoplastů, a to na pracoviště univerzity Protolab (podnikatelský inkubátor VŠB-TUO). Stažené 3D tiskárny byly rozmístěny na stolech v zasedací místnosti, viz Obr. 2, a to v počtu cca 60 kusů. V době našeho měření bylo v provozu 21 3D tiskáren, které obsluhovali dva zaměstnanci. Měření probíhalo za chůze mezi stoly, na kterých byly umístěny 3D tiskárny. Totožný scénář měření jako ve společnosti Prusa Research a.s. Rovněž získané výsledky jsou prezentovány jako změna koncentrace počtu částic v objemové jednotce atmosféry v čase (Graf 2). Pulzní charakter hodnot na grafech je důsledkem zvoleného způsobu měření, kdy při procházení mezi stoly se nacházel měřicí přístroj v různých vzdálenostech od zdrojů částic. V průběhu měření se koncentrace nanočástic pohybovala v rozmezí 22 000-55 000 #·cm⁻³, přičemž střední průměr částic byl 21-27 nm. I při tomto měření byla zaznamenána odezva (ne přímá úměra) změny středního průměru částic na koncentraci částic v prostoru, viz Graf 2.



Obr. 2 Výroba komponent pro ochranné štíty na pracovišti VŠB-TUO



Graf 2 Koncentrace a střední průměr nanočástic vzniklých při výrobě komponent k ochranným štítům

Závěr

Probíhá-li 3D tisk z termoplastů současně na více tiskárnách, dosahuje koncentrace nanočástic v pracovním prostředí hodnot i nad úroveň, která je v metodice Ministerstva práce a sociálních věcí uvedena jako riziková a tedy vyžadující aplikaci ochranných prostředků.

Financováno z projektu Institucionální podpory MPSV - VUS4_02_VÚBP Hodnocení nebezpečnosti nanočástic na pracovištích a možnosti prevence institucionální podpora, doba řešení 2018-2020.

Použitá literatura

- [1] GU, J.; WENSING, M.; UHDE, E.; SALTHAMMER, T. (2019).: Characterization of particulate and gaseous pollutants emitted during operation of a desktop 3D printer. *Environment International*. Int. 123:476-485.
- [2] WOJTYŁA, S.; KLAMA, P.; BARAN, T. (2017).: Is 3D printing safe? Analysis of the thermal treatment of thermoplastics: ABS, PLA, PET, and nylon. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 14(6), D80-D85. doi:10.1080/15459624.2017.1285489.
- [3] AZIMI, P.; ZHAO, D.; POUZET, C.; CRAIN, N.E.; STEPHENS, B. (2016).: Emissions of Ultrafine Particles and Volatile Organic Compounds from Commercially Available Desktop Three-Dimensional Printers with Multiple Filaments. *Environmental Science & Technology*, 50(3), 1260-1268. doi:10.1021/acs.est.5b04983.
- [4] FLOYD, E.L.; WANG, J.; REGENS, J.L. (2017).: Fume emissions from a low-cost 3-D printer with various filaments. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 14(7), 523-533. doi:10.1080/15459624.2017.1302587.
- [5] SEEGER, S.; BRÖDNER, D.; JACOBI, T.; RASCH, F.; ROTHHARDT, M.; WILKE, O. (2017).: Emissions of fine and ultrafine particles and volatile organic compounds from different filament materials operated on a low-cost 3D printer. *Indoor Air*. 2017, (27), pp. 398-408.