

Monitorování výskytu nanočástic v prostředí a prvotní závěry měření

 30.09.2019

MONITORING OF NANOPARTICLES presence AND THE FIRST CONCLUSIONS of MEASUREMENT

Karel Klouda^{1,2}, Kateřina Bátorlová², Petra Roupčová^{1,2}, Marek Nechvátal²

¹Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, FBI, Lumírova 13, 700 30 Ostrava

²Výzkumný ústav bezpečnosti práce, v. v. i., Jeruzalémská 1283/9, 110 00 Praha 1 batrlova@vubp-praha.cz

pracoviště

nanočástice

měření

zaměstnanci

expozice

Abstrakt

Příspěvek shrnuje výsledky základní analýzy výskytu nanočástic v pracovním a životním prostředí. Měření byla provedena jak v technologických provozech (strojní závody, výroba stavebních hmot, automobilové opravy a doprava, pivovar, zpracování pískovce apod.), tak v pracovním prostředí, do kterého vstupují při běžných aktivitách i jiné osoby než zaměstnanci (kadeřnictví, dentální hygiena). Na základě měření byly identifikovány hlavní zdroje nanočástic, jejich šíření v prostředí a také vliv dalších zdrojů. Měření byla realizována v rámci výzkumného úkolu Výzkumného ústavu bezpečnosti práce, v. v. i., č. VUS4_02_VÚBP Hodnocení nebezpečnosti nanočástic na pracovištích a možnosti prevence (institucionální podpora MPSV, doba řešení 2018–2020). Jejich cílem je upozornit na riziko vzniku nanočástic v prostředí a navrhnout vhodná opatření k ochraně zaměstnanců.

Klíčová slova: pracoviště, nanočástice, měření, zaměstnanci, expozice

Abstract

The paper summarizes the results of the basic analysis of the occurrence of nanoparticles in the working and living environment. Measurements were performed both in technological operations (machinery plants, building materials production, automobile repair shops and transport, brewery, sandstone processing, etc.) and in a working environment where other people than employees can enter (hairdressers, dental hygiene). Based on the measurements, the main sources of nanoparticles, their spread in the environment and the influence of other sources were identified. Measurements were carried out within the project of Occupational Safety Research Institute, no. VUS4_02_VÚBP Evaluation of risk of nanoparticles at workplaces and a potential for prevention (institutional support of the Czech Ministry of work and social affairs, duration of project 2018

-2020). Their aim is to draw attention to the risk of nanoparticles in the environment and to propose appropriate measures to protect employees.

Keywords: workplace, nanoparticles, measurement, employees, exposure

Přijat k publikování / Received for publication 26. 8. 2019

Úvod

Nanočástice jsou běžnou součástí životního prostředí a jejich vznik je nezávislý na lidské činnosti (eroze, zplodiny lesních požárů, rozklad látek, mořská voda, sopečné plyny apod.) [1]. Lidská činnost se však může významně podílet na množství vznikajících nanočástic. Nanočástice jsou nejen cíleně vyráběny jako produkty nových technologií, ale zároveň vznikají jako vedlejší produkt v průmyslu (ocelárny, železárny, těžba surovin, keramický průmysl apod.) a dopravě [2].

Cíleně vyráběné nanočástice tzv. „inženýrské nanočástice“ jsou hlavně materiály na bázi uhlíku (fullereny, grafit oxid, grafen, SWCNT, MWCNT), materiály na bázi nano kovů a jejich oxidů (TiO_2 , ZnO , Al_2O_3), dendrimery, kompozitní nanomateriály, kvantové tečky apod. U těchto cíleně vyráběných nanočástic je snaha snížit jejich negativní dopad na uživatele i zaměstnance. Tato snaha je většinou založena na obecných principech posuzování rizika (Control Banding v různých modifikacích). Nově je také aplikováno a rozvíjeno preventivní opatření formou Safe by Design. Celý princip je založen na třech základních pilířích:

Safe by Products (hledání a volba nanoformy s co nejnížší mírou rizika);

Safe Use Products (hodnocení rizika expozice za účelem definovat taková opatření, která sníží riziko a zajistí bezpečné užívání produktů);

Safe Industrial Production (analýza, vyhodnocení, návrh a implementace bezpečnostních opatření, kde dochází ke vzniku nanomateriálů a nanočástic) [3].

Řada nevládních ekologických organizací prosazuje vytvoření účinného systému vládní a veřejné kontroly nanotechnologií [4].

Pokud si položíme otázku, jaké potenciální zdroje rizika nanomateriály představují, zjistíme, že je lze rozdělit na:

- nebezpečí pro zdraví (toxicita);
- nebezpečí pro životní prostředí (ekotoxikita);
- fyzikálně-chemické nebezpečí, tj. způsobení požárů, exploze, neřízené a nežádoucí reakce;
- bezpečnostní rizika – v budoucnosti nelze vyloučit i neetické využití nanotechnologií a nanomateriálů třetí osobou (kriminální či teroristický čin, válečný konflikt).

První dva potencionální zdroje nebezpečí spolu velmi úzce souvisí, protože právě výskyt nanočástic ve složkách životního prostředí umožní jejich kontakt s živými organismy.

Obecně platí, že na toxicitu částic má vliv řada parametrů, včetně typu částic, jejich velikosti, tvaru, koncentrace a distribuce v prostředí, rozpustnosti ve vodě, chemické reaktivity, frekvence a doby expozice, interakce s dalšími chemikáliemi v prostředí, pulmonální ventilace a individuálního imunologického stavu jedince [5].

Přítomnost nanočástic v živém organismu navozuje řadu interakcí mezi jejich povrchem a biologickými systémy. Tyto interakce mohou vést ke vzniku proteinových koron, obalování částic, z absorpci do buňky a biokatalytickým procesům, které mohou mít kladné či záporné výsledky z pohledu toxicity. Dochází k prolínání organického světa se

syntetickým světem vyrobených nanomateriálů. Vznikají nano-bio rozhraní spojená s dynamickými fyzikálně-chemickými interakcemi, kinetickými a termodynamickými výměnami mezi povrchy nanomateriálů a povrchy biologických komponent (bílkoviny, membrány, lipidy, DNA, biologické tekutiny apod.). Z rešeršní práce zaměřené na interakci na rozhraní nano-bio vyplývá [6], že máme doposud jen málo informací o tom, co se s nanočásticemi děje uvnitř buňky. Nanočástice mohou způsobit široké spektrum vnitrobuněčných reakcí v závislosti na svých fyzikálně-chemických vlastnostech, vnitrobuněčných koncentracích, době trvání kontaktu apod. (viz Tabulka 1).

CHARAKTERISTIKY NANOMATERIÁLŮ	MOŽNÉ BIOLOGICKÉ ÚČINKY
Malá velikost (menší než 100 nm)	Prostup tkáněmi a buněčnými membránami Poškození buňky Narušení fagocytózy, zhroucení obranných mechanismů Migrace do jiných orgánů Transport dalších látek znečišťujících životní prostředí
Velká hodnota poměru povrch/hmotnost	Zvýšená reaktivita Zvýšená toxicita
Povrchové vlastnosti	Generování ROS (volné kyslíkové radikály) Oxidační stres Záněty Produkce cytokinů Úbytek glutathionu Mitochondriální vyčerpání Poškození buněk Poškození bílkovin a DNA
Nerozpustnost nebo nízká rozpustnost ve vodě	Bioakumulace uvnitř živých systémů jako jsou lidské buňky, tkáň a plíce Potenciální dlouhodobé účinky
Agregace	Narušení buněčných procesů Poškození buněk

Tabulka 1: Charakteristiky nanomateriálů a jejich možné biologické účinky [7]

V provozech, kde nanočástice vznikají (zejména prašné provozy), jsou zaměstnanci ohroženi především jejich inhalací. Vdechovaný vzduch obsahující částice (makro, mikro i nano) je filtrován v jednotlivých po sobě následujících částech dýchacího ústrojí, kterými jsou oblast nasofaryngeální, tracheobronchiální a pulmonální. Pulmonální oblast představuje hlavní vstupní bránu, jejímž prostřednictvím vstupují inhalované nanočástice do extrapulmonálních orgánů a tkání, kde následně dochází k jejich toxickému působení. Absorpce nanočástic je závislá na jejich fyzikálně-chemických vlastnostech (chemické složení, velikost, tvar apod.). [8].

Reakce na vdechnuté materiály sahají od reakcí bezprostředních, okamžitých, až po dlouhodobé, chronické negativní účinky, od úrovně působení na jednu tkáň až po systémová onemocnění [9]. Epidemiologické studie prováděné ve velkém měřítku ukázaly, že expozice částicím znečišťujícím vzduch a ultrajemným částicím významně přispívá ke zvýšení výskytu onemocnění dýchacího a kardiovaskulárního systému a ovlivňuje úmrtnost.

Analýza chování a osud nanočástic v životním prostředí je dále komplikován řadou faktorů a vlivů, které nejsou dosud zcela objasněny. Každý druh nanočástice vedle svého rozměru (ten ji vlastně zařazuje do kategorie „nano“) lze popsat a charakterizovat:

- ✦ chemickým složením;
- ✦ funkčními skupinami na povrchu (hydrofilita, lipofilita);
- ✦ tvarem;
- ✦ distribučním rozložením částic;
- ✦ hustotou;
- ✦ krystalickou strukturou;
- ✦ zeta potenciálem;
- ✦ schopností agregace, aglomerace, sedimentace [10].

Toto jsou jejich vlastnosti, se kterými vstupují do vnějšího prostředí. V ovzduší hraje roli tzv. abiotický faktor vlivu, pod který lze zahrnout teplotu, vlhkost, intenzitu slunečního záření, smog tvořený polutanty anorganického a organického původu apod. U vodného prostředí musíme vzít v úvahu fyzikálně-chemickou charakteristiku vodné fáze: spodní voda, povrchová voda, říční a mořská voda, teplota, pH, iontová síla, koncentrace divalentních iontů, koncentrace přírodní organické hmoty a složení sedimentu [10].

Co ovlivňuje osud nanočástic *ve vodném prostředí*:

- ✦ hydrofilita povrchu;
- ✦ hydrolýza (oxidace-redukce);
- ✦ adsorpce;
- ✦ agregace;
- ✦ heteroagregace;
- ✦ přítomnost vodních organismů (bakterie, řasy, prvoci, plankton, larvy, ryby apod.);
- ✦ rychlost sedimentace;
- ✦ složení sedimentu a jeho reaktivity (adsorpce, redukce fytoextrakty a biologickým materiálem, přítomnost části půdní organické hmoty, přítomnost polutantů-polycyklických aromatických uhlovodíků, heteroagregace apod.).

I u půdního prostředí musíme vzít v úvahu jeho fyzikálně-chemickou charakteristiku. Aby půda byla půdou, musí obsahovat tuhou, kapalnou a plynnou fázi. Tuhá fáze (složka) obsahuje minerální podíl (primární a sekundární minerály) různého zrna (dělení podle obsahu frakce 0,01 mm) a organický podíl – půdní organická hmota. Základem této hmoty jsou huminové látky, což jsou směsi polydisperzních sloučenin s vysokou molekulovou hmotností s aromatickou a alifatickou částí s funkčními skupinami -COOH, -OH, fenolické -OH, -NH₂, N-heterocykly apod. Základní dělení huminových látek je podle rozpustnosti v závislosti na pH. Fulvinové kyseliny jsou rozpustné ve vodě, huminové kyseliny v zásaditém prostředí a huminy jsou zcela nerozpustné ve vodě. Půdní voda, též nazývaná půdním roztokem, může obsahovat fulvinové kyseliny, fytoextrakty s látkami polyfenolové struktury, glycidy, ionty apod. Díky půdnímu roztoku bude ovlivnění nanočástic obdobné jako v případě vodného prostředí.

Co tedy ovlivní osud nanočástic *v půdním prostředí*:

- ✦ hydrofilita a lipofilita povrchu;
- ✦ hydrolýza;
- ✦ redukce (green redukce látkami z fytoextraktů);
- ✦ heteroagregace (jílové půdy);
- ✦ přítomnost půdních mikroorganismů a živočichů (bakterie, larvy, žížaly apod.);

- ▣ adsorpce (pí-vazebné interakce, vodíkové vazby, elektrostatická interakce, acidobazická interakce) [10].

Jak již bylo uvedeno výše, existuje celá řada výzkumných studií, které dávají do souvislosti zvýšené koncentrace ultrajemných částic v ovzduší s vyšším výskytem respiračních a kardiovaskulárních onemocnění. Proto je důležité nepodceňovat přítomnost nanočástic na pracovišti a trvale věnovat pozornost všem nanočásticím, ať jsou vyráběny cíleně, nebo vznikají jako vedlejší produkt antropogenní činností. Na jednotlivých pracovištích je proto nutno nejen identifikovat jejich zdroje, ale zároveň najít a následně také realizovat vhodná opatření vedoucí ke snížení expozice zaměstnanců a často i dalších osob. Tato opatření mohou být jak technologického nebo organizačního charakteru, tak se může jednat o využití vhodných osobních ochranných pracovních prostředků. K naplnění těchto cílů je potřeba získat dostatečné množství dat z různých typů pracovního prostředí – z rozličných provozů (např. strojních, potravinářských či zemědělských), ale také z dalších lidských činností (např. kouření, střelba, údržba trávníků apod.).

Proto byl přijat výzkumný úkol Výzkumného ústavu bezpečnosti práce, v. v. i., č. VUS4_02_VÚBP Hodnocení nebezpečnosti nanočástic na pracovištích a možnosti prevence (institucionální podpora MPSV, doba řešení 2018-2020), jehož cílem je vytipovat a měřením potvrdit hlavní zdroje produkce nanomateriálů při antropogenní průmyslové výrobě či při činnostech spojených s lidskou aktivitou. Následně identifikovat způsob jejich distribuce v technologickém prostoru a najít faktory v tomto prostoru, které mají vliv na změnu koncentrace či vlastností nanočástic a jejich distribuční rozdělení. Po zpracování výsledků a po konzultaci s provozovatelem jsou navrhována technologická, provozní opatření ke snížení kontaktu s nanočásticemi, a tím ke snížení důsledku jejich toxicity.

K tomu je možné využít ustanovení z „Certifikované metodiky pro poskytování osobních ochranných prostředků v prostředí s rizikem výskytu nanočástic“ VÚBP v. v. i. 2016. Kde na základě měření koncentrace nanočástic a jejich typu se stanoví stupeň nebezpečnosti a na základě stanovení doby expozice a zatřídění do skupiny nebezpečnosti se vyhodnotí rizika, která jsou spojena s působením nanočástic a výsledek ovlivní přidělení osobních ochranných pracovních prostředků [11].

Příklady vybraných provozů, ve kterých byla v poslední době provedena měření a vyhodnocení získaných výsledků:

- ▣ strojírenský provoz;
- ▣ zpracování natěženého kamene (pískovec, žula);
- ▣ výroba stavebních hmot;
- ▣ elektro závod – výroba elektrických zařízení;
- ▣ potravinářská výroba;
- ▣ opravy vozidel;
- ▣ pivovarnictví;
- ▣ průmyslové zpracování slámy;
- ▣ potravinářský mlýn;
- ▣ práškové lakování;
- ▣ těžba dřeva;
- ▣ zemědělská výroba;
- ▣ drobné pozemní stavby;
- ▣ lidské aktivity (kouření, dentální hygiena, sportovní střelba)
- ▣ vonné svíčky;
- ▣ kadeřnictví, úprava nehtů.

Použitá měřicí technika

Pro účely našeho základního měření jsme použili přístroj Testo DiSCmini. Přístroj umožňuje snadné a rychlé měření

počtu a velikosti nanočástic v objemové jednotce. Měření počtu může probíhat pouze pro částice velikosti 10–750 nm, zároveň je zjišťována střední velikost částic.

Výsledky měření a prvotní závěry

Nejnižší koncentrace nanočástic v pracovním prostředí byly zjištěny v modernizované poloautomatizované pekárně, v klimatizovaných kabinách nového traktoru a v novém kombajnu.

Nízká a stabilní koncentrace nanočástic byla naměřena v kravíně s dojniciemi ($30\,000 \text{ \#}\cdot\text{cm}^{-3}$, průměr 35–40 nm). Zvýšená koncentrace byla oproti tomu naměřena v koňských stájích, speciálně při hřebelcování koní.

Ve strojním závodě při zpracování ocelových komponent pro drtičky dřev byla největším zdrojem nanočástic svařovna. Z činností CNC (Computer Numerical Control) strojů na řezání a pálení materiálů (laser, vodní paprsek, plamen, pásová a kotoučová pila) byla největší koncentrace naměřena při řezání laserem [12].

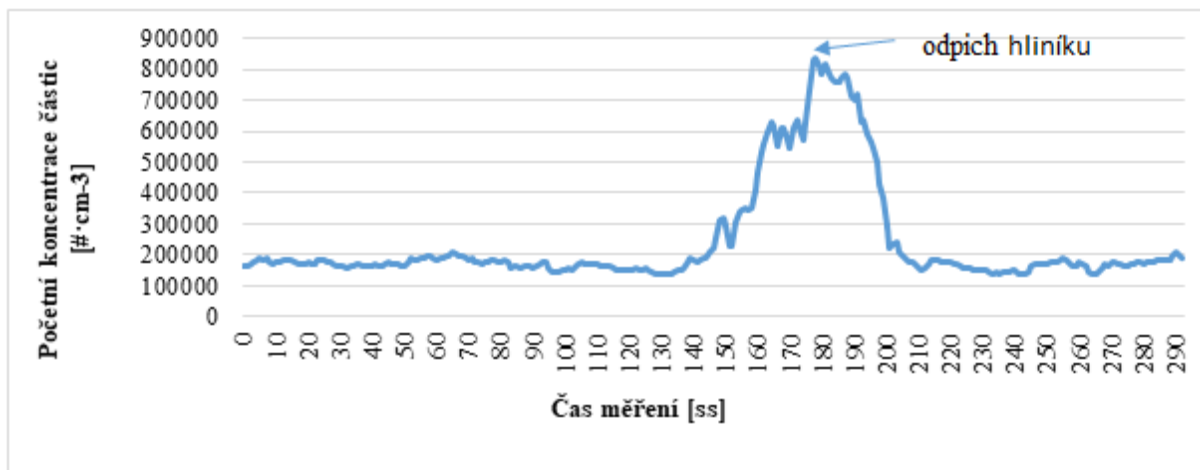
Velmi nízká koncentrace nanočástic byla naměřena u mlýnu s moderní uzavřenou technologií. Průměrná hodnota mlynářského prostředí se pohybovala v rozmezí $2\,500\text{--}5\,000 \text{ \#}\cdot\text{cm}^{-3}$. Nejvyšší expozice nanočásticemi byla naměřena při procesu pytlování mouky v části míchárna, kde početní koncentrace byla $5\,000\text{--}30\,000 \text{ \#}\cdot\text{cm}^{-3}$.

Zvýšené koncentrace byly prokázány v závodě přípravy maltovaných směsí při činnostech pytlování a dávkování do uzavřené technologické linky.

Vysoké koncentrace nanočástic cca $1\,000\,000 \text{ \#}\cdot\text{cm}^{-3}$ byly naměřeny ve výrobní hale, kde probíhá tavba a slévání hliníku. Byly zjištěny nanočástice o malém průměru (25–35 nm), ku nichž je větší pravděpodobnost průniku do buňky. Koncentrace nanočástic až $500\,000 \text{ \#}\cdot\text{cm}^{-3}$ byla naměřena v hale, kde probíhá pájení měděných svazků u elektromotoru. V obou případech se předpokládá zvýšená toxicita nanočástic daná chemickým složením – hliník a jeho oxid a oxyhydroxidy, měď a jejich oxidy.



Obrázek 1: Tavba hliníku a jeho odlévání



Graf 1 - Početní koncentrace částic při tavbě hliníku

Graf 2 - Střední velikost částic při tavbě hliníku

V provozu na zpracování kamene byl měřením prokázán vliv skrápění vodou na koncentraci a rozměr nanočástic uvolňovaných do pracovního prostoru při řezání kamene různými technologiemi (pásová pila, dělička, katr) oproti suchému zpracování (frézování). Při skrápění vodou byly naměřeny koncentrace 83 000–142 000 $\text{\#}\cdot\text{cm}^{-3}$ u pískovce, u zpracování žuly 15 000–25 000 $\text{\#}\cdot\text{cm}^{-3}$ [13].

Dále byly porovnány koncentrace částic na frekventované křižovatce U Bulhara v Praze v zimě (-1°C) a v létě ($30\text{--}36^{\circ}\text{C}$) při stejném stupni dopravy (stupeň 3–4). Průměrná početní koncentrace částic byla při měření v létě cca čtvrtinová oproti měření v zimě, velikost částic byla při obou měřeních srovnatelná 40–50 nm. V zimním období proběhlo i měření na křižovatce v Ostravě za stejné dopravní situace jako byla při měření v Praze, ale při měření byly zjištěny dvojnásobné hodnoty oproti Praze [14].

Vyvážené hodnoty koncentrace nanočástic 70 000–80 000 $\text{\#}\cdot\text{cm}^{-3}$ a velikosti 45–55 nm byly naměřeny v montážních halách servisu značky Subaru. Naměřené hodnoty byly srovnatelné s hodnotami ze zimního měření na frekventované křižovatce v Praze.

Při sklizni a balíkování sena je obsluha mimo uzavřenou kabinu stroje exponována nanočásticím v menší míře než pracovník při sklizni ječmene, který se nachází v blízkosti kombajnu (400 000–800 000 $\text{\#}\cdot\text{cm}^{-3}$).

Měření proběhlo i ve velkochovu krocenů a krůt. Kroceni jsou chováni v bezokenném objektu opatřeném ventilátory. Na vstup realizátorů měření do haly kroceni reagovali poklidně. Základní koncentrace nanočástic byla vyšší než v hale s krůtami a dosahovala řádově $60\,000 \text{ \#}\cdot\text{cm}^{-3}$. Počet nanočástic během přítomnosti realizátorů v hale vzrostla na $120\,000\text{--}140\,000 \text{ \#}\cdot\text{cm}^{-3}$. Hodnota částic v hale se následně ustálila a před odchodem byla hodnota na původních $60\,000 \text{ \#}\cdot\text{cm}^{-3}$. Střední velikost částic dosahovala trvale stejné hodnoty 25 nm.



Vliv provozu dieselového vysokozdvížného vozíku na koncentraci nanočástic jsme zpozorovali při měření ve venkovním prostoru společnosti pro zpracování lipnické žuly. Měření probíhalo vedle natěžené žuly a dvou běžících pil na řezání žulových kvádrů. Během měření byla stabilní koncentrace nanočástic pod $20\,000 \text{ \#}\cdot\text{cm}^{-3}$ (Graf 3), která byla narušena příjezdem vysokozdvížného vozíku (dále jen VZV) s žulovým materiálem. Vyváženost střední velikosti nanočástic byla též narušena příjezdem materiálu (Graf 4). V celém prostoru výrobní haly byla koncentrace nanočástic relativně nízká $15\,000\text{--}25\,000 \text{ \#}\cdot\text{cm}^{-3}$ při malém rozptylu střední velikosti nanočástic 50–65 nm.



Obrázek 2: Vytěžené žulové kvádry a lanová pila

Graf 3: Početní koncentrace částic naměřených ve venkovním prostoru zpracování lipnické žuly

Graf 4: Střední velikost částic naměřených ve venkovním prostoru zpracování lipnické žuly

Zvýšení koncentrace nanočástic způsobené vjezdem dieselového vysokozdvizného vozíku jsme monitorovali i při měření alternativního využití slámy jako stavebního materiálu (Ekopanel). Při měření u linky byly naměřeny v podstatě konstantní hodnoty $13\,000\text{--}15\,000 \text{ \#}\cdot\text{cm}^{-3}$ nanočástic o střední velikosti cca 45 nm. U konce haly, kde byly uskladněny panely, vjel v průběhu měření dieselový VZV s panely a následně byla v prostředí poblíž měřicí aparatury naměřena koncentrace $400\,000 \text{ \#}\cdot\text{cm}^{-3}$ nanočástic o střední velikosti 36–37 nm.

V rámci měření jsme měli možnost porovnání ručního lakování práškovými barvami v otevřeném boxu a v uzavřeném boxu. Hodnoty v lakovacím boxu byly v rozpětí $15\,000\text{--}45\,000 \text{ \#}\cdot\text{cm}^{-3}$ (Obrázek 3) a koncentrace nanočástic během lakování dílce (Obrázek 4, Graf 5) byla v rozmezí $10\,000\text{--}22\,000 \text{ \#}\cdot\text{cm}^{-3}$.

Měření při lakování v uzavřeném boxu



Image not found or type unknown

Obrázek 3: Měření při lakování v uzavřeném boxu



Obrázek 4: Lakování na ručním pracovišti

Graf 5: Početní koncentrace částic při lakování v otevřeném boxu

Závěr

Z množiny testovaných pracovišť vyplynulo největší riziko při tavbě a odlévání hliníků, pájení mědi a svařování ve strojním závodě. Na těchto pracovištích je vhodné provést otestování konkrétních osobních ochranných pracovních pomůcek a design vzniklých nanočástic (využití morfologické analýzy SEM a chemické mikroanalýzu prvků EDAX).

Stabilní velikost a nízká koncentrace nanočástic byla naměřena v kabině nového kombajnu, poloautomatizované pekárně a ve dvojřadě kravíně (ze 70. let s původním technologickým vybavením).

Poděkování

Tato práce byla vypracována v rámci výzkumného úkolu Výzkumného ústavu bezpečnosti práce, v. v. i., č. VUS4_02_VÚBP Hodnocení nebezpečnosti nanočástic na pracovištích a možnosti prevence institucionální podpora, doba řešení 2018–2020.

Literatura

- [1] KLOUDA, K.; FRIŠHANSOVÁ, L.; SENČÍK, J. Nanočástice, nanotechnologie a nanoproducty a jejich vazba na bezpečnost a ochranu zdraví při práci. *Časopis výzkumu a aplikací v profesionální bezpečnosti* [online]. 2016, vol. 9, Bezpečnost práce a kvalita života [2019-08-12]. Dostupný z: <http://www.bozpinfo.cz/josra/nanocastice-nanotechnologie-nanoproducty-jejich-vazba-na-bezpecnost-ochranu-zdravi-pri-praci>. ISSN 1803-3687. ISSN 1803-3687.
- [2] Czech Republic. Parliament CR. Firearms and Ammunition Act no. 119/2002.
- [3] SCHÜLLEROVÁ, B.; ADAMEC, V.; BENCO, V. Současné přístupy hodnocení rizik nanomateriálů. In: *XIX. ročníku mezinárodní konference BEZPEČNOST A OCHRANA ZDRAVÍ PŘI PRÁCI 2019*. 2019.
- [4] TŮMA, M. Nanotechnologie: „spása lidstva“ s bezpečnostními riziky? *Mezinárodní vztahy*. 2004, č. 2, s. 36-48.
- [5] KLOUDA, K.; FRIŠHANSOVÁ, L.; SENČÍK, J. Nanočástice, nanotechnologie a nanoproducty a jejich vazba na bezpečnost a ochranu zdraví při práci. *Časopis výzkumu a aplikací v profesionální bezpečnosti* [online], 2016, roč. 9, speciální č. Bezpečnost práce a kvalita života. Dostupný z: <http://www.bozpinfo.cz/josra/nanocastice-nanotechnologie-nanoproducty-jejich-vazba-na-bezpecnost-ochranu-zdravi-pri-praci>. ISSN 1803-3687.
- [6] NEL, A. E. ...[et al.]. Understanding biophysicochemical interactions at the nano-bio interface. *Nature Materials*. 2009, vol. 8, no. 7, s. 543-557.
- [7] BAKAND, S.; HAYES, A.; DECHSAKUTHORN, F. Nanoparticles: a review of particle toxicology following inhalation exposure, *Inhalation Toxicology*. 2012, vol. 24, s. 125-135.
- [8] MEDINSKY, M. A.; BOND, J. A. Sites and mechanisms for uptake of gases and vapors in the respiratory tract. *Toxicology*. 2001, vol. 160, s.165-172.
- [9] DAVID, A.; WAGNER, G. R. Respiratory system. In: STELLMANN, J. M. (ed.) *Encyklopedia of occupational health and safety*, 4th ed. Geneva: International Labour Office, 1998. S. 101-107.
- [10] FRIŠHANSOVÁ, Lenka; KLOUDA, Karel. Ambivalence nanočástic. In: *Sborník příspěvků ze symposia Týden vědy a inovací pro praxi a životní prostředí*. 1. vyd. Praha: CEMC, 2017. 8 s. ISBN 978-80-85990-30-0.
- [11] *Certifikovaná metodika pro poskytování osobních ochranných prostředků v prostředí s rizikem výskytu nanočástic: zaměřeno na zaměstnavatele při řešení potřeby přidělování osobních ochranných pracovních prostředků pro ochranu dýchadel*. Praha: Výzkumný ústav bezpečnosti práce, 2016.
- [12] BAŘINOVÁ, E. ...[et al.]. Presentace a analýza výsledků z terénního měření nanočástic ve strojním závodě. In: *Bezpečnost a ochrana zdraví při práci 2018: sborník přednášek XVIII. ročníku mezinárodní konference*. Ostravice: VŠB-TU, 2018. S. 3-5. ISBN 978-80-7385-202-3.
- [13] FRIŠHANSOVÁ, L. ...[et al.]. Analýza unikátního provozu pro zpracování hořického pískovce z pohledu uvolňovaných nanočástic. In: *Bezpečnost a ochrana zdraví při práci 2018: sborník přednášek XVIII. ročníku mezinárodní konference*

. Ostravice: VŠB-TU, 2018. S. 3-5. ISBN 978-80-7385-202-3.

[14] SIROVÁTKA, J. Měření částic prachu menších než 10 µm v pracovním ovzduší v dopravě s ohledem na fytotoxicitu částic. Ostrava, 2018. Diplomová práce. Vysoká škola báňská – technická univerzita Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství. Vedoucí práce Ing. et Ing. Vendula Laciok, Ph.D.

Vzorová citace

KLOUDA, Karel ...[et al.]. Monitorování výskytu nanočástic v prostředí a prvotní závěry měření. *Časopis výzkumu a aplikací v profesionální bezpečnosti* [online]. 2019, roč. 12, č. 2. Dostupný z: <https://www.bozpinfo.cz/josra/monitorovani-vyskytu-nanocastic-v-prostredi-prvotni-zavery-mereni>. ISSN 1803-3687.

Autor článku:

doc. Ing. et Ing. Karel Klouda, CSc., Ph.D., M.B.A.

Mgr. Kateřina Bátorlová

Ing. Petra Roupcová, Ph.D.

Ing. Marek Nechvátal