

Hodnocení nebezpečnosti nanočástic na pracovištích a možnosti prevence

Karel Klouda – Kateřina Bátorlová – Marek Nechvátal – Petra Roupcová
 Lenka Frišhansová – Šárka Bernatíková – Aleš Bernatík – Lenka Schreiberová

Shrnutí

Výzkum BOZP při práci s nanomateriály byl rozdělen na dvě oblasti.

- **První oblast**, kde vyšší koncentrace nanočástic vzniká jako doprovod k antropogenní činnosti člověka (odpad v provozu). Z naměřených výsledků koncentrací nanočástic se hledal hlavní zdroj (ISO/TR 27 628 Workplace atmospheres — Ultrafine, nanoparticle and nano-structured aerosols — Inhalation exposure characterization and assessment) a ve spolupráci se zaměstnavatelem se navrhovala opatření na snížení expozice zaměstnanců vůči vyšší koncentraci nanočástic (např. využití metodiky MPSV a opatření dle ISO/TR 27 628).
- **Druhá oblast** výzkumu se zabývala cílenou výrobou nanoproduktů, která v roce 2020 probíhala s obrovským „hysterickým“ rozmachem. Jedná se o nanovlákná z různých polymerů, které se produkují metodou elektrostatického zvlákňování (elektrospinning). Tyto nanovlákná jsou nanášena na netkanou tkaninu, čímž vznikne výchozí „surovina“ pro výrobu nanoroušek a hlavně respirátorů.

Úvod

Problematika nebezpečnosti nanočástic na pracovištích a jejich vliv na zaměstnance je vysoce aktuální. Tato problematika je důležitou součástí strategických a koncepčních dokumentů rezortu s ohledem na oblast BOZP.



Cílem tohoto projektu byla tvorba rozšířeného způsobu hodnocení nebezpečnosti nanočástic na pracovištích napříč odvětvími, zejména se zaměřením na zpracovatelský průmysl, viz klasifikace ekonomických činností CZ-NACE. V návaznosti na jednotlivá měření byly individuálně v součinnosti se zaměstnavatelem/provozovatelem specifikovány možnosti prevence před negativnímu dopady nanočástic na zdraví zaměstnanců, snížení rizik v daném směru a celkové posílení úrovně BOZP.

Spoluřešitelem výzkumného úkolu byla Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství.

Hlavní poznatky z výzkumu

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.). 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 v dopravě.

Cíleně vyráběné nanočástice, tzv. „inženýrské nanočástice“, jsou hlavně materiály na bázi uhlíku (fullerény, 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 nejnižší 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).

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

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

- nebezpečí pro zdraví (toxicita);
- nebezpečí pro životní prostředí (ekotoxicita);
- 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 potenciální 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 individuální imunologický stav jedince.

Přítomnost nanočástic v živém organismu navozuje řadu interakcí mezi jejich povrchem a biologickými systémy. Tyto interakce mohou vést ke vzniku proteinových koron, obalování částic, vnitrobuněčné absorpci 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, 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.

Charakteristiky nanomateriálů a jejich možné biologické účinky

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, tkáně a plíce Potenciální dlouhodobé účinky
Agregace	Narušení buněčných procesů Poškození buněk

V provozech, kde nanočástice vznikají (zejména prašné provozy), jsou zaměstnanci ohroženi především jejich inhalací. Vdechnutý 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.).

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. Epidemiologické studie prováděné ve velkém měřítku ukázaly, že expozice částicím znečišťujícím vzduch a ultrajemným částicím významně přispívají ke zvýšení výskytu onemocnění dýchacího a kardiovaskulárního systému a ovlivňují 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.

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.

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 činnosti. 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.).

Měření koncentrací nanočástic (10–700 nm) probíhalo vždy v celém prostoru daného provozu. Po zhodnocení naměřených koncentrací nanočástic se následně měření zaměřilo na body (zdroje generující nanočástice) s vyšší a vysokou koncentrací nanočástic.

Při zhodnocování výsledků měření jsme v podstatě postupovali dle normy ISO/TR 27 628 – Workplace atmospheres — Ultrafine, nanoparticle and nano-structured aerosols — Inhalation exposure characterization and assessment, a to:

- Určili jsme předpokládané složení pevných částic aerosolu a odhadovali/stanovili jejich toxický účinek.
- Registrovali jsme proudění vzduchu s přenosem aerosolů na pracovišti (dveře, okna, řízená ventilace).

- Analyzovali jsme pracovní činnost, používané technologie, pracovní zvyklosti/chování zaměstnanců.
- Následně se zaměstnavatelem/provozovatelem jsme řešili případné otázky/návrhy na:
 - ▣ Úpravy pracovní atmosféry (přirozené větrání, odsávání centrální, lokální, mobilní, vzduchové clony, filtrace vzduchu přes hepa filtry, ideál: odtah emisí a větrání).
 - ▣ Opatření technologického či technického charakteru (změna technologie a metody výroby, instalace CNC strojů, mobilní stěny, clony, umístění výroby nebo její části do hermetického boxu nebo digestoře, změna suroviny).
 - ▣ Úpravy organizačního charakteru (politika soustavné prevence, kontrolní pásma, princip předběžné opatrnosti, čistota na pracovišti – pravidelný úklid, údržba, snížení počtu zaměstnanců u hlavního zdroje nanočástic).
 - ▣ Zavedení ochranných pracovních prostředků dýchacího systému (možnost využití certifikované metodiky MPSV, mít k dispozici kvalitní a dostatečné množství OOPP a ochranných prostředků dýchacích orgánů). Ochrana dýchacích cest pomocí OOPP by měla být uplatněna jako poslední varianta z opatření ochrany proti nanočásticím v pracovním prostředí, viz Hierarchie řízení rizik.



- ▣ Zavedení specializovaných pracovnílékařských prohlídek (např. biologické monitorování – SZÚ, Klinika pracovního lékařství 1. LF UK, prof. Daniela Pelcová – Měření nenasyčených aldehydů v dechu.

Dosažené výsledky

Souhrnná výzkumná zpráva k problematice nanobezpečnosti

Souhrnná výzkumná zpráva obsahuje výsledky měření a návrh technologických a provozních opatření ke snížení kontaktu s nanočásticemi, a tím ke snížení důsledku jejich toxicity, která je způsobena změnou fyzikálně-chemických vlastností povrchu – zvýšení chemické reaktivity. V průběhu řešení projektu byla vytipována a provedena měření, která potvrdila hlavní zdroje produkce nanomateriálů při antropogenní průmyslové výrobě či při činnostech spojených s lidskou aktivitou. Následně byl identifikován způsob jejich distribuce v technologickém prostoru a nalezeny faktory v tomto prostoru, které měly vliv na změnu koncentrace či vlastností nanočástic a jejich distribuční rozdělení.

Odborný recenzovaný článek Monitorování výskytu nanočástic v pracovním prostředí se zaměřením na zemědělské činnosti

Příspěvek shrnuje výsledky základní analýzy výskytu nanočástic v pracovním prostředí. Jedna z oblastí, kde se měřilo, byla v zemědělském odvětví a při zpracování zemědělských plodin. Na základě měření byly identifikovány hlavní zdroje nanočástic, jejich šíření v prostředí a také vliv dalších zdrojů.

Odborný recenzovaný článek Monitorování výskytu nanočástic v prostředí a prvotní závěry měření

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.

Odborný recenzovaný článek Analýza pracovního prostředí a nanočástic uvolněných při zpracování unikátního hořického pískovce a jejich možný vliv na zdraví

Příspěvek popisuje provedenou analýzu pracovního prostředí provozovny KÁMEN Ostroměř, s.r.o., kde se zpracovává hořický pískovec, který se používal již v dávné minulosti pro stavební, dekorativní a sochařské účely. V rámci této studie se analyzovala pracoviště se zaměřením na koncentraci a velikost nanočástic uvolněných při zpracování pískovce a zároveň jejich vliv na zdraví.

Zdroje

ALBA, Janette; ROUPCOVA, Petra; KLOUDA, Karel. (2020). Nanotechnology Safety and Security: Nanoparticles and Their Impact on the World. In Rehak, D., Bernatik, A., Dvorak, Z., & Hromada, M. (Ed.). *Safety and Security Issues in Technical Infrastructures*. IGI Global. S. 321-352. Dostupný z: www.igi-global.com/chapter/nanotechnology-safety-and-security/253363.

BATRLOVÁ, Kateřina ...[et al.]. Monitorování výskytu nanočástic v pracovním prostředí se zaměřením na zemědělské činnosti. *Časopis výzkumu a aplikací v profesionální bezpečnosti* [online]. 2019, roč. 12, speciální č. Nové trendy v BOZP 2019. Dostupný z: www.bozpinfo.cz/josra/monitorovani-vyskytu-nanocastic-v-pracovnim-prostredi-se-zamerenim-na-zemedelske-cinnosti. ISSN 1803-3687.

FRIŠHANSOVÁ Lenka ...[et al.]. Analýza pracovního prostředí a nanočástic uvolněných při zpracování unikátního hořického pískovce a jejich možný vliv na zdraví. *Spektrum* [online]. 2018, roč. 18, č. 2, s. 3-9 [cit. 2021-02-01]. Dostupný z: www.fbi.vsb.cz/export/sites/fbi/cs/.content/galerie-souboru/Spektrum/Spektrum_2018_2.pdf. ISSN 1804-1639.

FRIŠHANSOVÁ, Lenka ...[et al.]. Analýza unikátního provozu pro zpracování hořického pískovce z pohledu uvolňovaných nanočástic. In: *Bezpečnost a ochrana zdraví při práci 2018: recenzovaný sborník abstraktů XVII. ročníku mezinárodní konference 2018*. Ostrava: SPBI, 2018. ISBN 978-80-7385-202-3.

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: www.bozpinfo.cz/josra/monitorovani-vyskytu-nanocastic-v-prostredi-prvotni-zavery-mereni. ISSN 1803-3687.

KLOUDA, Karel ...[et al.]. Výsledky měření nanočástic v zajímavých a rozdílných prostorech II. In: *Bezpečnost a ochrana zdraví při práci 2020: recenzovaný sborník abstraktů XX. ročníku mezinárodní konference* [online]. Ostrava: SPBI 2020. S. 13-17 [cit. 2021-01-26]. Dostupný z: http://www.spbi.cz/index.php?id_document=11499.

Požární ochrana 2020: recenzovaný sborník abstraktů XXIX. ročníku mezinárodní konference [online]. Ostrava, 2020 [cit. 2021-01-26]. Dostupný z: http://www.spbi.cz/index.php?id_document=11476. ISBN 978-80-7385-234-4.

ROUPCOVA, Petra. ...[et al.]. Factors Influencing the Spread of Poisoning Substances in the Subway and their Impact on Passengers. In: *E-proceedings of the 30th European Safety and Reliability Conference and 15th Probabilistic Safety Assessment and Management Conference (ESREL2020 PSAM15)*, edited by Piero Baraldi, Francesco Di Maio and Enrico Zio [online]. Dostupný z: www.rpsonline.com.sg/proceedings/esrel2020/pdf/4501.pdf. ISBN 978-981-14-8593-0.

ROUPCOVÁ, Petra ...[et al.]. Výsledky měření nanočástic v zajímavých a rozdílných prostorech. In: *Bezpečnost a ochrana zdraví při práci 2019: recenzovaný sborník abstraktů XIX. ročníku mezinárodní konference*. Ostrava: SPBI, 2019. ISBN 978-80-7385-215-3.

ROUPCOVÁ, Petra; KLOUDA, Karel; NECHVÁTAL, Marek; BÁTRLOVÁ, Kateřina; BERNATÍKOVÁ, Šárka. New risk in OHS with focus on selected nanotechnological workplaces. In: *Proceedings of the 29th International European Safety and Reliability Conference 2019*. Hanover, 2019. DOI: [10.3850/978-981-11-2724-3_0903-cd](https://doi.org/10.3850/978-981-11-2724-3_0903-cd).

ROUPCOVA, Petra; KLOUDA, Karel; SLIVKOVA, Simona. Pyrolysis of Wood Biomass to Obtain Biochar and its Subsequent Application. In: *Makovicka Osvaldova L., Markert F., Zelinka S. (eds) Wood & Fire Safety: Proceedings of the 9th International Conference on Wood & Fire Safety 2020*. Cham: Springer, 2020. ISBN 978-3-030-41234-0.

Výzkumný ústav
bezpečnosti práce, v. v. i.
Jeruzalémská 1283/9
110 00 Praha 1 – Nové Město

tel: +420 221 015 844
e-mail: vubp@vubp-praha.cz
datová schránka: yi6jvet
www.vubp.cz

© Výzkumný ústav
bezpečnosti práce, v. v. i.
Praha, 2021

Policy Brief VÚBP, v. v. i.
ISSN 2695-1606