


# Monitorování výskytu nanočástic v pracovním prostředí se zaměřením na zemědělské činnosti

 21.11.2019

## MONITORING of the occurrence of nanoparticles in the working environment FOCUSING ON AGRICULTURAL ACTIVITIES

Kateřina Bátorová<sup>1</sup>, Karel Klouda<sup>1,2</sup>, Hana Kubátová<sup>3</sup>, Petra Roupová<sup>1,2</sup>, Marek Nechvátal<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Výzkumný ústav bezpečnosti práce, v. v. i., Jeruzalémská 1283/9, 110 00 Praha 1 [batrlova@vubp-praha.cz](mailto:batrlova@vubp-praha.cz)

<sup>2</sup>Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, FBI, Lumírova 13, 700 30 Ostrava

<sup>3</sup>Státní úřad pro jadernou bezpečnost, Senovážné náměstí 9, Praha 1

pracoviště

nanočástice

měření

zaměstnanci

expozice

zemědělství

### Abstrakt

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. 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 environment. One of the measured areas was in the agricultural sector and during the processing of agricultural crops. 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, nanoparticle, measurement, employees, exposure

## 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 samovolně vznikají 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 ( $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), dendrity, kompozitní nanomateriály, kvantové tečky apod. U těchto cíleně vyráběných nanočástic je snaha snížit jejich negativní dopad na uživatele, tak 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;
- Safe Use Products;
- Safe Industrial Production [3].

Obecně platí, že na toxicitu částic má vliv řada parametrů, včetně typu částic, jejich velikost, tvaru, koncentrace a distribuce v prostředí, rozpustnost ve vodě, chemické reaktivity, frekvence a doby expozice, interakce s dalšími chemikáliemi v prostředí, pulmonální ventilace a individuálního imunologického stavu jedince [4].

V rámci identifikace nebezpečí jako součást hodnocení rizik nanomateriálu je důležité znát co největší charakteristiku nanomateriálů, a tím je myšleno:

- Rozměr;
- Tvar;
- Morfologie;
- Chemické složení;
- Rozpustnost;
- Velikost povrchu;
- Koncentrace částic;
- Náboj na povrchu;
- Přítomnost znečištění;
- Lipofilita;
- Biodegradabilita a persistence [5].

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.). [6]. V porovnání s ostatními materiály mají nanomateriály výjimečnou schopnost cestovat v živém organismu.

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 [7]. 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.

Pokud se zaměříme na vlastnosti, které mohou ovlivňovat kvalitu metod pro hodnocení rizik nanomateriálu, zjistíme, že je důležité brát v úvahu:

- ❖ Vysoký počet vlastností podmiňujících toxicitu;
- ❖ Odlišnou toxikokinetiku (laboratorní zvíře – člověk);
- ❖ Heterogenita nanomateriálu (většinou nejsou homogenní);
- ❖ Nejasná dozimetrie (na jakou jednotku dávky vázat/povrch, počet částic);
- ❖ Dynamika chování v závislosti na prostředí;
- ❖ Odlišnost šarží (vliv výrobních procesů, skladování);
- ❖ Samospořádání (tvorba sekundárních struktur agregace, aglomerace);
- ❖ Chybí spolehlivé metody odlišení pozadí;
- ❖ Specifické chování v prostředí;
- ❖ Aktuální expozice a počet osob exponovaných v pracovním a životním prostředí [5].

Po zvážení výše uvedených vlastností je důležité si uvědomit úskalí pro exaktní interpretaci.

Osoby pracující v zemědělství jsou při výkonu práce vystaveny působení celé řady faktorů pracovních podmínek, které mohou významně ovlivnit jejich zdraví. Vedle působení chemických látek (např. hnojiva, dezinfekční či biocidní prostředky) nebo biologických činitelů (např. mikroorganismy obsažené ve výkalech a tělních sekretech v živočišné výrobě) je významným rizikovým faktorem prach. Přípustné expoziční limity prachů definuje a stanovuje Nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci. Součástí vdechovatelné (respirabilní) frakce prachu jsou však i nanočástice, pro které doposud nebyly stanoveny žádné expoziční limity. Hlavním ochranným opatřením před jejich případným negativním působením na lidský organismus je přijetí principu předběžné opatrnosti. Aby mohl být úspěšně aplikován, je třeba alespoň orientačně znát hodnoty koncentrace nanočástic na pracovišti. Za tím účelem byla provedena pilotní měření 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). Cílem projektu je vytipovat a měřeními potvrdit hlavní zdroje nanomateriálů související s antropogenní činností, a to jak v zemědělství, tak v průmyslu či při činnostech spojených s každodenní aktivitou lidí. Následně by mělo dojít k identifikaci způsobu distribuce nanočástic v technologickém prostoru a nalezení faktorů, které ovlivňují změnu jejich vlastností, koncentraci či distribuční rozložení v daném prostoru.

Tento příspěvek shrnuje prvotní výsledky získané měřeními nejen v zemědělské prvovýrobě – během sklizně sena a ječmene a ve velkochovu skotu, krůt a krocanů, ale také v navazujících zpracovatelských odvětvích – ve mlýně a při výrobě slámových ekopanelů.

## **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 nanočástice velikosti 10 – 750 nm, zároveň je zjišťována střední velikost částic.

## Výsledky měření

### Sklizeň sena

Měření nanočástic proběhlo při zpracování sena z luk. Usušené seno v řádcích bylo sbíráno vazačem (balíkovačem typ John Deere) taženým traktorem a následně bylo fixováno do válcových balíků. Při prvním měření jsme zjišťovali situaci koncentrace nanočástic v uzavřené klimatizované kabině řidiče traktoru a svým způsobem i obsluhy stroje. Další měření probíhalo 3 m za balíkovačem. Na závěr jsme měření provedli uprostřed posečené louky, kdy balíkovací technika byla vzdálena 300 m od měřicí techniky.

Během měření v kabině došlo k zahoření gumových napínacích pasů, kdy bylo nutné vystoupit z kabiny traktoru. Při otevření kabiny došlo k prudkému nárůstu počtu nanočástic (Obrázek 1, Graf 1 a Graf 2). Z ustálené hodnoty 5 000 – 10 000 #·cm<sup>-3</sup> na 30 000 – 40 000 #·cm<sup>-3</sup> a k poklesu průměru nanočástic. V uzavřené klimatizované kabině byla stabilní koncentrace nanočástic o průměru kolem 40 nm.

Stabilní počet částic i jejich velikost se nacházela při měření na korbě auta ve vzdálenosti 3 m za vazačem. K prudkému, ale krátkodobému zvýšení koncentrace nanočástic došlo při otevření vazače a vypadnutí balíku sena na louku, a to z 5 000 #·cm<sup>-3</sup> na 200 000 – 300 000 #·cm<sup>-3</sup>. Změna rozměru částic byla minimální.

Pozadí na otevřené louce s řádky sena při mírném větru bylo relativně vyšší (30 000 – 40 000 #·cm<sup>-3</sup>), ale rozměr částic byl v podstatě konstantní (23 -24 nm). Vzdálenost techniky a pracovníků byla 300 m od měřicího přístroje.



**Obrázek 1: Měření v klimatizované kabině traktoru**

### **Graf 1: Početní koncentrace částic během balíkování**

### **Graf 2: Střední velikost částic během balíkování sena**

#### **Skřízeň ječmene**

Skřízeň ječmene byla prováděna kombajnem značky New Holland LX 8080. Prostřednictvím kvalitního filtračního zařízení v kabině kombajnu byla koncentrace nanočástic nižší než u ideálního přírodního pozadí a nepřesáhla  $5\,000\ \text{\#}\cdot\text{cm}^{-3}$ . Krátkodobý nárůst způsobilo otevření dveří kombajnu. V grafu 4 jsou vteřinové nárůsty velikosti nanočástic z intervalu 50 - 100 nm až na 250 - 300 nm, které neumíme vysvětlit.



## Obrázek 2: Měření v kabině kombajnu New Holland

### Graf 3: Početní koncentrace nanočástic při měření v kabině kombajnu

### Graf 4: Střední velikost částic při měření v kabině kombajnu

#### Měření v dvouřadém kravíně

Měření v kravíně probíhalo v době dojení, a to při chůzi chodbou mezi dojnicemi (4 krát tam a zpět). Hodnoty koncentrace nanočástic byly stabilní  $30\,000 \text{ \#}\cdot\text{cm}^{-3}$ . Totéž lze říci o velikosti nanočástic 35 - 40 nm.

#### Velkochov krůt a krocanů

Měření probíhalo v halách, kde bylo cca 3 500 kusů (Obrázek 3) krůt a krocanů, haly byly systémově odlišné, hala pro krůty byla s denním světlem, krocani se nacházeli v bezokenním objektu, který byl opatřen ventilátory.



Image not found or type unknown

### **Obrázek 3: Chovné haly krůty a krocani**

Při opatrném vstupu do hal byly koncentrace stabilní, cca  $10\,000 - 11\,000 \text{ \#}\cdot\text{cm}^{-3}$  tisíc v hale u krůt, cca  $60\,000 \text{ \#}\cdot\text{cm}^{-3}$  nanočástic v hale u krocánů. Po jejich vyplašení byl nárůst nanočástic na cca  $100\,000 \text{ \#}\cdot\text{cm}^{-3}$ , v případě krůt došlo i k poklesu střední velikosti částic na polovinu, viz Graf 5 a Graf 6.

### **Graf 5: Početní koncentrace částic během měření v chovné hale pro krůty**

## **Graf 6: Střední velikost částic během měření v chovné hale pro krůty**

### **Mlýn**

Velmi nízká koncentrace nanočástic byla naměřena u mlýnu s moderní uzavřenou technologií. Průměrná hodnota mlynářského prostředí se pohybovala v rozmezí 2 500 – 5 000 #·cm<sup>-3</sup> (Obrázek 4), nejrizikovější činností byl proces pytlování mouky v části míchárna, kde početní koncentrace byla 5 000 – 30 000 #·cm<sup>-3</sup> [8].

## **Obrázek 4: Schéma měření ve mlýně s naměřenými hodnotami [8]**

### **Ekopanel**

Při plnění výzkumného úkolu jsme měli možnost navštívit i výrobu stavebních panelů ze slámy – Ekopanel. Principem výroby je lisování pšeničné slámy ve výrobní lince. Naměřené hodnoty koncentrace nanočástic a jejich střední velikosti jsou patrné z grafu 7 a 8. U balíku slámy byly změřené hodnoty 11 000 – 17 000 #·cm<sup>-3</sup> a cca 55 nm, u dopravníku byl zaznamenán mírný pokles na hodnoty 5 000 – 6 000 #·cm<sup>-3</sup> a částice měli stejný průměr. U části linky, která se nacházela v hale, byly hodnoty 16 000 – 20 000 #·cm<sup>-3</sup>, 41 – 48 nm. Výstupem po žebříku na podestu byly na grafu 7 a 8 zaznamenány 2 maxima koncentrace, a to cca 70 000 #·cm<sup>-3</sup>. V další části linky byly naměřeny v podstatě konstantní hodnoty 13 000 – 15 000 #·cm<sup>-3</sup> nanočástic o střední velikosti cca 45 nm. U konce haly, kde byly uskladněny panely, vyjel dieselový vysokozdvizný vozík s panely a prostředí v okolí měřicí aparatury mělo koncentraci 400 000 #·cm<sup>-3</sup> nanočástic o střední velikosti 36 -37 nm.





**Obrázek 5: Měření vedle výrobní linky**

**Graf 7: Početní koncentrace nanočástic u linky na zpracování slámy**

**Graf 8: Střední velikost částic u linky na zpracování slámy**

## **Závěr**

Výše uvedené hodnoty získané měřením početních koncentrací nanočástic a jejich střední velikosti na různých pracovištích jsou pouze orientační. Protože se nejednalo o měření dlouhodobá, ale nárazová, je jejich výpovědní hodnota velmi omezená. Přesto lze výsledky ze strany zaměstnavatele využít v rámci procesu vyhledávání a hodnocení rizik. Mohou být východiskem při rozhodování, zda a v jakém rozsahu poskytovat zaměstnancům osobní ochranné

pracovní prostředky (např. vhodné respirátory) nebo zda vylepšit technologické vybavení pracoviště.

## 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 nanoprodukty a jejich vazba na bezpečnost a ochranu zdraví při práci. *Časopis výzkumu a aplikací v profesionální bezpečnosti* [online], 2016, vol. 9, č. Bezpečnost práce a kvalita života [cit. 2019-08-12] Dostupný z: <http://www.bozpinfo.cz/josra/nanocastice-nanotechnologie-nanoprodukty-jejichvazba-na-bezpecnost-ochranu-zdravi-pri-praci>. 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*. Ostrava, 2019.
- [4] BRZICOVÁ, T. *Management bezpečnosti nanočástic s ohledem na bezpečnost práce: autoreferát disertační práce*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2019.
- [5] 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.
- [6] DAVID, A.; WAGNER, G. R. Respiratory system. In: *Encyklopedia of occupational health and safety*. 4th ed. STELLMAN, J. M.(ed.). Geneva: International Labour Office, 1998. S. 101-107.
- [7] CHROMEČKA, O. *Měření částic prachu menších než 10 µm v pracovním ovzduší*. Ostrava, 2019. Bakalářská práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.

## Vzorová citace

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: <https://www.bozpinfo.cz/josra/monitorovani-vyskytu-nanocastic-v-pracovnim-prostredi-se-zamerenim-na-zemedelske-cinnosti>. ISSN 1803-3687.

---

Autor článku:

[Mgr. Kateřina Bátorlová](#)

[doc. Ing. et Ing. Karel Klouda, CSc., Ph.D., M.B.A.](#)

[RNDr. Hana Kubátová](#)

[Ing. Petra Roupcová, Ph.D.](#)

[Ing. Marek Nechvátal](#)