

ANALÝZA NANOČASTÍC A MIKROČASTÍC V PRACOVNOM OVZDUŠÍ PRI SPRACOVANÍ KOVOVÉHO MATERIÁLU

ANALYSIS OF NANO AND MICRO PARTICLES IN THE WORKING ATMOSPHERE DURING METAL PROCESSING

MARTIN FRIČ¹, MARIÁN SCHWARZ², MIROSLAV DADO³, LUCIA BUSTIN⁴

¹Regionálny úrad verejného zdravotníctva so sídlom v Banskej Bystrici, Banská Bystrica, Slovak Republic

²Technická univerzita vo Zvolene, Fakulta ekológie a environmentalistiky, Zvolen, Slovak Republic

³Technická univerzita vo Zvolene, Katedra výrobných techník a manažmentu kvality, Zvolen, Slovak Republic

⁴TSI GmbH Neuköllner, Aachen, Germany

SÚHRN

Príspevok sa venuje analýze rôznych frakcií aerosólu vrátane nanometrických, mikrometrických častíc a PM „particulate matter“ častíc v pracovnom ovzduší.

Z výsledkov vyplýva, že analýzou veľkostnej distribúcie častíc pri výrobe oceľových rúr valcovaním za tepla, konkrétne pri die-rovacom lise, sa preukázala prítomnosť PM častíc s rozmermi menšími ako 0,5 µm (7,1 µg/m³), ako 1 µm (16,4 µg/m³), ako 2,5 µm (40,4 µg/m³), ako 4,0 µm (58,6 µg/m³) a ako 10 µm (95,1 µg/m³). Ďalej sme výsledky vyhodnocovali ako veľkostnú distribúciu častíc podľa ich početnosti. Z celkového počtu častíc v odobratom objeme vzduchu 4,90·10⁵ bolo 4,13·10⁵ nanočastíc (84,4 %). Na druhom pracovisku – pri trňovej tyči – sme analyzovali podobne PM častice. Výsledky preukázali prítomnosť PM_{0,5} (2,8 µg/m³), PM_{1,0} (3,9 µg/m³), PM_{2,5} (15,5 µg/m³) a PM₁₀ (119,9 µg/m³). V odobratom objeme vzduchu bolo z celkového počtu 5,75·10⁵ častíc 5,29·10⁵ nanočastíc (92,1 %). Z nameraných hodnôt vyplýva, že je dôležité objektivizovať častice v pracovnom ovzduší aj v nanorozmeroch a mikrorozmeroch, pretože môžu predstavovať potenciálne riziko poškodenia zdravia.

Kľúčové slová: nanočastice, mikročastice, ovzdušie pracovné – znečistenie

SUMMARY

The article deals with the analysis of various aerosol fractions, including nanometric, micrometric particles and particulate matter (PM), in the working atmosphere.

Analysis of particle distribution in the production of steel tubes by hot rolling, precisely at the punching press has been shown the presence of PM particles with diameter less than 0.5 µm (7.1 µg/m³), 1 µm (16.4 µg/m³), 2.5 µm (40.4 µg/m³), less than 4.0 µm (58.6 µg/m³) and less than (95.1 µg/m³). We further evaluated the results of particle size distribution according to their quantity. We have analysed of the total number of particles in the withdrawn air volume of 4.90·10⁵. The results showed that 84.4% (4.13·10⁵) of the total number of particles is in the range of nanometres. In the another workplace with the thorn rods production, the results showed the presence of PM_{0,5} (2.8 µg/m³), PM_{1,0} (3.9 µg/m³), PM_{2,5} (15.5 µg/m³) and PM₁₀ (119.9 µg/m³). The total number of particles in the nanometer range was 5.29·10⁵ (92.1%). The total number of particles of this analysis of the air was 5.75·10⁵. From the measured values, it is important to objectify the particles in the working atmosphere even in nano and micro dimensions, as they may pose a potential risk of damage to health.

Key word: nano particles, micro particles, working atmosphere – pollution

<https://doi.org/10.21101/hygiena.a1547>

Úvod

Nanomateriál je podľa odporúčania Európskej komisie (EÚ) č. 2011/696/EU definovaný ako materiál, ktorý vznikol ako vedľajší produkt alebo ako výrobný produkt, ktorý obsahuje častice alebo ich aglomeráty či agregáty, ktorých aspoň jeden či viacero rozmerov je menších ako 100 nm (1). V ovzduší sa nachádzajú aj frakcie častíc (aerosólov) väčších, ako sú nanočastice, častice s rozmermi rádovo v stovkách nanometrov či v mikrometroch.

PM častice (z angl. prekladu particulate matter) sú poletujúce pevné prachové častice v ovzduší. Môžu sa vyhodnocovať v nanorozmeroch, stovkách nanometrov (nanometrické) či v mikrometroch (mikrometrické). Najčastejšie sa analyzujú v rôznych frakciách, napríklad (PM₁₀, PM_{4,0}, PM_{2,5}, PM_{1,0} či PM_{0,5}). Pri dlhodobej expozícii dochádza k zvýšeniu celkovej chorobnosti či úmrtnosti. Spôsobujú ochorenia srdca, ciev, chronický kašeľ, sťaženie dýchania napríklad pri astme (2, 3).

Častice PM₁₀ sú menšie ako 10 µm, častice PM_{4,0} sú menšie ako 4 µm teda respirabilné frakcie, jemné časti-

ce $PM_{2,5}$ sú menšie ako $2,5\ \mu m$ a submikrometrické častice sú menšie ako $500\ nm$ a $1,0\ \mu m$, označované ako $PM_{0,5}$ či $PM_{1,0}$ (4, 5).

Nanočastice či nanoaerosóly boli prítomné v ovzduší aj v minulosti. Do vonkajšieho ovzdušia sa uvoľňovali pri rôznych požiaroch, eróziou pôdy, z vesmíru či pri sopečných erupciách (5–7). Nanotechnológie, výroba nanočastíc aj ich nežiaduce uvoľňovanie do ovzdušia, vody či pôdy naberá na intenzite ostatných desať až dvadsať rokov, čo súvisí s ich cieľovou výrobou, nárastom automobilovej dopravy (spaľovanie benzínu, nafty), nárastom leteckej dopravy, návratom k domácejmu spaľovaniu tuhých palív – najmä cez vykurovaciu sezónu, so spaľovaním odpadu v spaľovniach či s využívaním nanotechnológií v medicíne. Prítomnosť nízkorozmerových častíc je napríklad aj vo fajčiarskom dyme (4–8).

V prírode sa vyskytujú v nanorozmeroch aj bionaoobjekty. Medzi bionaoobjekty sa pokladajú bunky a ich štruktúry, ako mitochondrie, jadro, membránové receptory či bunková membrána. Ďalšie bionaoobjekty sú napríklad vírusy, peľové zrná či šupiny kože (5, 9).

Nanočastice sa môžu vyskytovať vo forme gule, vlákna, nanorúrok a pod., pričom najčastejšie používané sú fullerény, jedno- a mnohostenné uhlíkové nanomateriály, nanočastice striebra, železa, sadze, oxid hlinitý, titaničitý, kremičitý, polystirén, dendrimér atď. Používajú sa v mnohých oblastiach: v elektronike, optike, strojárstve, stavebníctve, textilnom, chemickom, automobilovom, leteckom, potravinárskom, farmaceutickom priemysle a v medicíne (v terapii a diagnostike) (5, 8–10). Ako dôkaz nárastu využívania nanomateriálov môže byť aj stúpajúci trend nových udelených patentov v oblasti nanotechnológií, ktoré sú evidované v EPO (European patent office). Najviac ich bolo udelených v Spojených štátoch amerických – 577, a v Nemecku – 286 za rok 2016 (11).

Častice menšie ako $100\ nm$ sú schopné preniknúť až do krvi. Experimenty na myšiach preukázali pri expozícii TiO_2 alebo sadziám ochorenia a významné patologické zmeny na pľúcach, zmeny na kardiovaskulárnom systéme, signifikantný nárast rakoviny pľúc a nárast mortality. Ich toxicitu zjavne zväčšuje merná povrchová veľkosť. Pri inhalácii irídiových nanočastíc s rozmerom $20\ nm$ sa preukázal ich veľký výskyt v pľúcnych alveolách. Niektoré štúdie na myšiach dokázali, že kovové častice v nanorozmeroch sa transportovali do obehového systému (5, 6).

Častice rádovo v nanometroch či mikrometroch prenikajú ľahko do tráviaceho systému.

Je dokázané prenikanie častíc v rozsahu od $700\ nm$ až $6\ \mu m$ cez pokožku, konkrétne cez stratum corneum (zárodková vrstva kože), cez folikulum chĺpka, v miestach kožných ohybov alebo oderov kože (5).

Preukázal sa prechod nanočastíc cez olfaktorické neuróny. Štúdie potvrdili prenos vírusov, nanočastíc zlata, striebra či hliníka cestou axónov. Prechod častíc do mozgu je možný aj prostredníctvom hematoencefalitickej bariéry (bariéra medzi krvou a mozgom) (5).

Genotoxická častíc v nano- a mikrometroch pri výparoch zo zvarovania ocele sa preukázala pri potkanoch (12–15).

Niektoré výskumy dokázali, že sa môžu zhoršiť neurodegeneratívne choroby – Alzheimerova, Parkinsonova, Pickova, ktoré sú spojené s oxidačným stresom, nahro-

mađením kovov v organizme, napr. medi, hliníka, zinku, železa (5, 6).

Niektoré štúdie dokázali, že nanočastice prenikajúce do organizmu inhaláciou môžu spôsobiť poškodenie imunitného systému organizmu, napríklad poškodenie receptorov makrofágov (5, 6).

V hygienickej praxi sa posudzuje predovšetkým expozícia inhalovateľných hrubých prachových častíc, respirabilné prachové častice alebo pary či rôzne chemické škodliviny v pracovnom ovzduší. V ostatnom čase je čoraz viac dostupná meracia technika, ktorá umožňuje meranie, hodnotenie ultrajemných častíc, mikrometrických častíc v ovzduší. V pracovnom procese k profesionálnej expozícii nanočasticiam môže dochádzať pri ich úniku počas výrobného procesu vo všetkých jeho fázach. Nanočastice či ultrajemné častice sa tiež dostávajú do ovzdušia pri termálnych mechanických procesoch (tavenie kovov, zvarovanie, brúsenie, obrábanie) alebo pri spaľovaní (kotolne, krematóriá a podobne). S expozíciou nanočasticiam sa môžeme stretnúť napríklad aj pri balení výrobkov alebo údržbe strojov na pracoviskách. Nanočastice sa veľakrát používajú do rôznych chemických prípravkov, čističov (13–18).

Naším príspevkom sme chceli poukázať na problematiku výskytu aerosólových častíc v mikrorozmeroch a nanorozmeroch v pracovnom ovzduší, ktoré môžu byť príčinou poškodenia zdravia pri práci.

Metodika

Samotné namerané hodnoty sú bez hygienickej analýzy bezvýznamné. Pre posúdenie nameraných hodnôt je potrebné poznať charakter výroby, pracovné prostredie, pracovné činnosti zamestnancov a dĺžku expozície.

Na analýzu častíc v pracovnom ovzduší, odhad expozície sme vybrali organizáciu, ktorá sa zaoberá výrobou bezšvíkových oceľových rúr, spracovaním železa či jeho recykláciou.

Predpokladaná expozícia vzniká počas pracovnej doby zamestnancov, ktorí pracujú v osemhodinovej pracovnej zmene s prestávkou na jedlo – 30 minút.

Sú exponovaní na celom pracovisku pri obsluhu strojov. Meracie miesta reprezentujúce kritické hodnoty boli vybrané pri dierovaní lise a pri trňovej tyči.

Zdrojom častíc je predovšetkým výroba (19–21).

Skrátený výrobný postup: oceľové bloky sa zmenia na oceľové rúry. Najprv sa zohrejú v karuselovej peci na valcovaciu teplotu, potom sa na dierovacom lise (dávkovanie grafitu v podobe prášku) pretvária na kruhový výlisok. Kruhový výlisok prejde cez trňovú tyč, cez elongátor (predĺženie tyče) a pretlačovacou stolicou. Po obvalcovaní a vytiahnutí trňových tyčí je polotovár valcovaný v ťahovej redukčnici. Tu sa dosiahne požadovaný rozmer valcových rúr. Rúry sa vychladia na chladníku a delia na potrebnú dĺžku.

Miesta merania sa vybrali na základe hygienického prieskumu a predpokladaného výskytu častíc. Následne sa vykonala analýza veľkostnej distribúcie častíc podľa ich početnej koncentrácie v meranom objeme vzduchu a PM častíc. Senzory boli umiestnené v blízkosti pracovných miest a dýchacej zóny zamestnancov. Po meraní sa vykonala analýza častíc v odobranej vzorke vzduchu, kde sa vylúčil vplyv výrobného proce-

su na expozíciu zamestnancov nanočasticami a časticami v mikrorozmeroch.

Meranie sa uskutočnilo mobilným meracím systémom. Pozostával z analyzátora nanočastíc – Nanoscan SMPS 3910, ktorý umožňuje analýzu častíc na základe ich pohyblivosti v elektrickom poli, a spektrometra – Optical Particle Sizer 3330 (OPS), ktorý vyhodnocuje veľkostnú distribúciu častíc na základe zmeny rozptylu svetla ich prítomnosťou v svetelnom lúči (22, 23).

V tabuľke 1 sú definované technické parametre mobilného meracieho systému.

Na meranie mikroklimatických podmienok (teplota vzduchu, relatívna vlhkosť, rýchlosť prúdenia vzduchu) boli použité nasledovné okalibrované meracie prístroje:

- teplota teplomerom Testo 610,
- relatívna vlhkosť vlhkomerom Testo 610,
- prúdenie vzduchu v okolí anemometrom Testo 425,
- atmosférický tlak v deň merania tlakomerom Testo 611.

Výsledky sme vyjadrili ako PM častice, kvantifikované v jednotkách hmotnostnej koncentrácie častíc a ako početnú normalizovanú koncentráciu častíc.

Hmotnostná koncentrácia častíc umožňuje charakterizovať zatupenie rôznych veľkostných frakcií častíc podľa ich hmoty, ktorú zaoberajú v celom objeme analyzovaného vzduchu. Z hmotnostnej koncentrácie častíc sa v programe Multi-Instrument Manager 2.0 a v MS Exceli vyhodnotili PM častice: PM_{0,5}, PM_{1,0}, PM_{2,5}, PM_{4,0} a PM₁₀.

$$\text{Vzorec: } dM = dN \cdot \left(\frac{\pi}{6} \right) \cdot D_{pv}^3 \rho, \text{ kde}$$

M – hmotnostná koncentrácia častíc v odobratom objeme vzduchu,
 N – totálna početnosť častíc,

D_p – stredný vážený priemer častíc „Mindpoint diameter“,
Poznámka: Nanoscan SMPS definuje veľkosť častíc podľa ich mobility v elektrickom poli, ktoré sú rozdelené podľa geometrického priemeru „geometric mindpoint diameter“,
 ρ – hustota častíc (21, 22).

Normalizovaná koncentrácia početnosti častíc ($dN/d\log D_p$) definuje zastúpenie početnosti veľkostných skupín častíc v danom aerosóle.

Vzorec pre výpočet početnosti častíc:

$$N = \sum_i \frac{c \phi}{t Q \eta}, \text{ kde}$$

N – totálna početnosť častíc

μ – horná hranica kanálu (zatriedenie častíc podľa veľkosti do kanálov)

l – dolná hranica kanálu

θ – zriedňovací faktor,

t – čas vzorkovania,

Q – prietok vzduchu pri vzorkovaní,

c – početnosť častíc v kanáli,

η – faktor efektívnosti vzorky (platí len pre prístroj Nanoscan SMSP 3910) (21, 22).

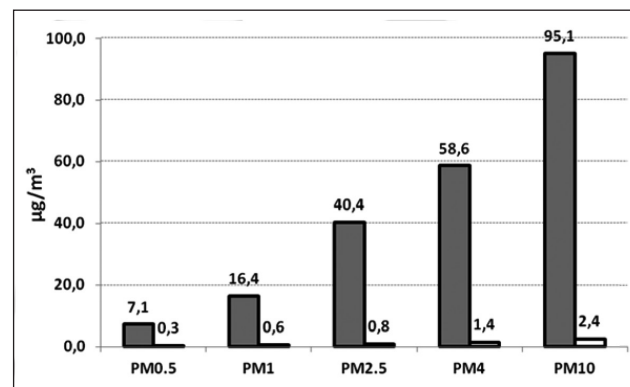
Na výpočet hmotnostnej koncentrácie sme použili hustotu častíc pre kovový prach „metal dust“ 1,922 poľa podľa The Engineering ToolBox (24). Výsledky boli spracované v programe Matlab v aplikácii Multi-Instrument Manager 2.0. (25).

Výsledky

Výsledky reprezentujú namerané hodnoty na pracoviskách, ktoré sme následne porovnali s hodnotami na pozadí.

Okrem toho uvádzame mikroklimatické podmienky, ktoré sme sledovali počas merania. V tabuľke 2 uvádzame faktory mikroklimy pre miesta merania.

V grafe 1 sú znázornené výsledky pre meranie pri dierkovacom lise. Hodnoty sa porovnávajú s nameranými PM časticami v mieste mimo vplyvu výrobného procesu. Hmotnostná koncentrácia dosahuje rádovo hodnoty pre častice PM_{0,5} (7,1 µg/m³), PM_{1,0} (16,4 µg/m³), PM_{2,5} (40,4 µg/m³), PM_{4,0} (58,6 µg/m³) a PM₁₀ (95,1 µg/m³).



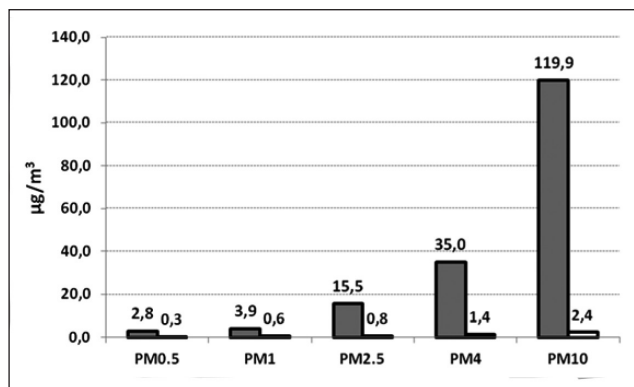
Graf 1: Grafické znázornenie hmotnostnej koncentrácie PM častíc v nameranom objeme vzduchu pri dierkovacom lise.

Tab. 1. použité meracie prístroje (22, 23)

Typ prístroja	Merací rozsah	Prietok vzduchu ± neistota (U)	Počet kanálov
Nanoscan SMPS 3910	10–420 nm	0,75l/min ± 10 %	13
OPS (Optical particle sizer 3330)	0,3–10 µm	1,0 l/min ± 5 %	16

Tab. 2. Mikroklimatické faktory priestorov

Miesto merania	Teplota [°C]	Vlhkosť [%]	Rýchlosť prúdenia vzduchu [m.s ⁻¹]	Atmosférický tlak [kPa]
Pri dierovacom lise	26,6	22,5	0,21	101,2
Pri tŕňových tyčiach	21,5	30,5	0,12	



Graf 2: Grafické znázornenie hmotnostnej koncentrácie PM častíc v nameranom objeme vzduchu pri trňovej tyči.

Na grafe 2 sú výsledky z meraní na pracovisku pri trňovej tyči. Hmotnostná koncentrácia dosahuje rádo-vo hodnoty pre častice $PM_{0,5}$ ($2,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$), $PM_{1,0}$ ($3,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$), $PM_{2,5}$ ($15,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$), $PM_{4,0}$ ($35,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$) a PM_{10} ($119,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Okrem nameraných výsledkov uvádzame aj celkové početnosti častíc na pracoviskách (pozri grafy 3, 4). Na grafoch je porovnanie veľkostnej distribúcie častíc na pracoviskách v nanorozmeroch a mikrorozmeroch (sivé stĺpce) s ich veľkostnou distribúciou mimo vplyvu výrobného procesu (čierné stĺpce).

Z výsledkov je zjavné, že na pracovisku spracovania rúr metódou valcovania pri dierkovanom lise z celkového počtu častíc $4,90 \cdot 10^5$ je $4,13 \cdot 10^5$ (84,4 %) častíc v nanorozmeroch. Pri časticiach s rozmerom 154 nm sme zaznamenali ich počet – $5,01 \cdot 10^4$ (10,2 % z celkového počtu). Na meracom mieste pri trňovej tyči sa analyzo-

lo celkovo častíc $5,75 \cdot 10^5$ a v nanorozmeroch je $5,29 \cdot 10^5$ častíc (92,01 %).

V tabuľkách 3, 4 sú uvedené početnosti častíc podľa ich veľkostného rozloženia a ich početnosť v percentuálnom vyjadrení z celkovému počtu v odobranom objeme vzduchu.

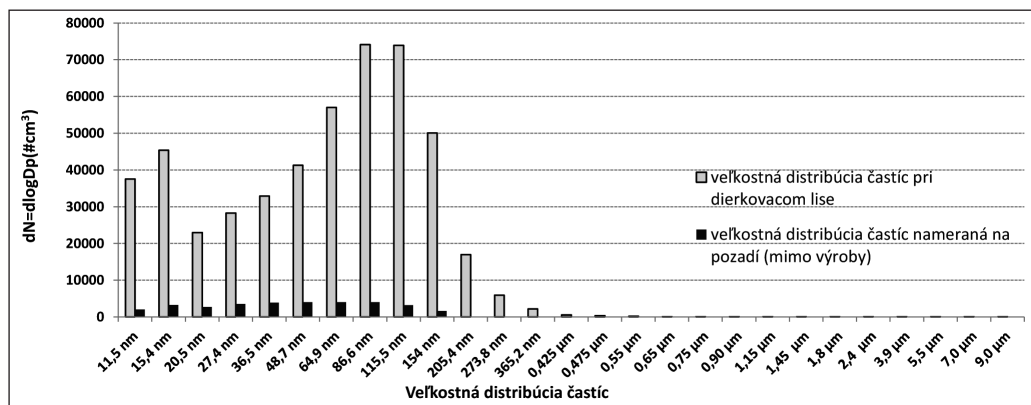
Diskusia

Na pracovisku pracuje 17 zamestnancov v riziku poškodenia zdravia z expozície aerosólom. Vzhľadom na to, že sa železné rudy taví pri vysokých teplotách a z meraní expozície celkovému pevnému aerosólu sa preukázala vysoká prašnosť, predpokladal sa výskyt aerosólov v mikrorozmeroch a nanorozmeroch (26).

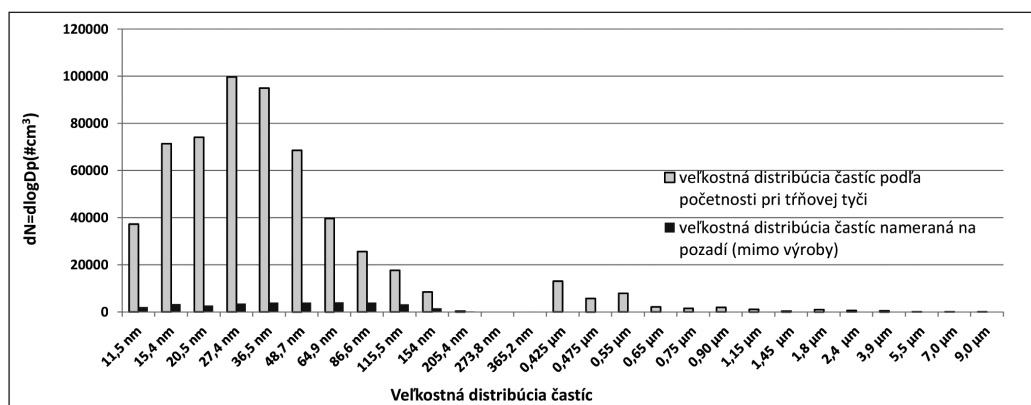
Niektoré merania v pracovnom ovzduší pri spracovaní železa v hutníckom priemysle preukázali tiež prítomnosť nanoaerosólových a mikroaerosólových častíc. Podľa autorov sa pohybovala početnosť nanočastíc (nanoaerosólov) v ovzduší v rozsahoch od $4 \cdot 10^4$ po $6 \cdot 10^4$ pri brámovom kontilatii a pri skarfovacom stroji sa pohybovala početnosť od $5 \cdot 10^4$ po $2 \cdot 10^5$ častíc (27).

Podľa aplikovaného výskumu o odhade expozície častíc v nanorozmeroch a mikrorozmeroch v pracovnom ovzduší sa pri procese brúsenia početnosť častíc pohybovala od $0,5 \cdot 10^3$ po $9,0 \cdot 10^3$ častíc. Veľkosť častíc sa pohybovala od nanometrov po mikrometre (28).

Iná štúdia preukázala pri zváraní početnosť častíc v rozmeroch pod $1 \mu\text{m}$. Dosahovali početnosti od $0,5 \cdot 10^5$ po $5,5 \cdot 10^5$. Autori podobne vyhodnocovali hmotnostné frakcie PM častíc, konkrétne pre $PM_{1,0}$ ($24,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$), $PM_{2,5}$ ($36,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$) a PM_{10} ($91,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (28).



Graf 3: Veľkostná distribúcia častíc podľa početnosti pri dierkovanom lise.



Graf 4: Veľkostná distribúcia častíc podľa početnosti pri trňovej tyči.

Tab. 3: Percentuálne vyjadrenie početnosti častíc vo valcovní rúr pri dierkovanom lise

Priemer	Početnosť	Percentuálne zobrazenie
11,5 nm	3,75.10 ⁴	7,7 %
15,4 nm	4,54.10 ⁴	9,3 %
20,5 nm	2,29. 10 ⁴	4,7 %
27,4 nm	2,83.10 ⁴	5,8 %
36,5 nm	3,29.10 ⁴	6,7 %
48,7 nm	4,13.10 ⁴	8,4 %
64,9 nm	5,70.10 ⁴	11,6 %
86,6 nm	7,41.10 ⁴	15,1 %
115,5 nm	7,39.10 ⁴	15,1 %
154,0 nm	5,01.10 ⁴	10,2 %
205,4 nm	1,70.10 ⁴	3,5 %
273,8 nm	5,92.10 ³	1,2 %
365,2 nm	2,17.10 ³	0,4 %
0,425 µm	5,49.10 ²	0,1 %
0,475 µm	3,24.10 ²	0,1 %
0,55 µm	2,45.10 ²	0,1 %
0,65 µm	7,77.10 ¹	0,1 %
0,75 µm	6,16.10 ¹	0,0 %
0,9 µm	4,36.10 ¹	0,0 %
1,15 µm	2,20.10 ¹	0,0 %
1,45 µm	9,02	0,0 %
1,8 µm	1,98.10 ¹	0,0 %
2,4 µm	6,89	0,0 %
3,9 µm	1,68	0,0 %
5,5 µm	0,569	0,0 %
7,0 µm	0,284	0,0 %
9,0 µm	0,150	0,0 %
Celkový počet častíc	4,90.10 ⁵	100 %

Naša analýza je znázornená na grafoch 3, 4. Z výsledkov je zjavné, že na pracovisku spracovania rúr metódou valcovania pri dierkovanom lise z celkového počtu častíc 4,90·10⁵ až 4,13·10⁵ častíc v nanometroch (84,4 %). Pri časticiach s rozmerom 154 nm sme zaznamenali ich počet – 5,01·10⁴ (10,2 %). Na meracom mieste pri trňovej tyči vidno, že z celkového počtu nameraných častíc 5,74·10⁵ je v nanorozmeroch 5,29·10⁵ častíc (92,1 %). Celková distribúcia početnosti častíc na pracovnom mieste pri dierkovanom lise dokazuje trend prítomnosti častíc s rozmermi 11,5 nm do 365,2 nm. Na meracom mieste pri trňovej tyči sa preukázali častice v rozmeroch od 11,5 nm po 205,4 nm.

Z výsledkov môžeme usúdiť, že častice s rozmermi do 100 nm vznikali pri spracovaní železa pri vysokých teplotách. Častice rádo v stovkách nanometrov sa vytvorili zhlukovaním menších častíc.

Ďalej sme vyhodnocovali PM častice na spomínaných pracoviskách. Na mieste merania pri dierkovanom lise (graf 1) dosahovala hmotnostná koncentrácia pre frakcie PM_{0,5} 7,1 µg/m³, PM_{1,0} 16,4 µg/m³, PM_{2,5} 40,4 µg/m³, PM_{4,0} 58,6 µg/m³ a PM₁₀ 95,1 µg/m³.

Tab. 4: Percentuálne vyjadrenie početnosti častíc vo valcovní rúr pri trňovej tyči

Priemer	Početnosť	Percentuálne zobrazenie
11,5 nm	3,73.10 ⁴	6,4 %
15,4 nm	7,14.10 ⁴	12,6 %
20,5 nm	7,41.10 ⁴	12,8 %
27,4 nm	9,97.10 ⁴	17,3 %
36,5 nm	9,50.10 ⁴	16,6 %
48,7 nm	6,86.10 ⁴	11,9 %
64,9 nm	3,97.10 ⁴	6,9 %
86,6 nm	2,57.10 ⁴	4,5 %
115,5 nm	1,77.10 ⁴	3,1 %
154,0 nm	8,52.10 ³	1,5 %
205,4 nm	3,67.10 ²	0,1 %
273,8 nm	0,00	0,0 %
365,2 nm	0,00	0,0 %
0,425 µm	1,31.10 ⁴	2,3 %
0,475 µm	5,73.10 ³	1,0 %
0,55 µm	7,96.10 ³	1,4 %
0,65 µm	2,23.10 ³	0,4 %
0,75 µm	1,60.10 ³	0,3 %
0,9 µm	1,94.10 ³	0,3 %
1,15 µm	1,16.10 ³	0,2 %
1,45 µm	4,26.10 ²	0,1 %
1,8 µm	1,09.10 ³	0,2 %
2,4 µm	6,69.10 ²	0,2 %
3,9 µm	4,78.10 ²	0,1 %
5,5 µm	8,47.10 ¹	0,0 %
7,0 µm	8,53.10 ¹	0,0 %
9,0 µm	4,71.10 ¹	0,0 %
Celkový počet častíc	5,75.10 ⁵	100 %

Hmotnostná koncentrácia PM častíc pri trňovej tyči (graf 2) pre PM_{0,5} je 2,8 µg/m³, pre PM_{1,0} 3,9 µg/m³, PM_{2,5} je 15,5 µg/m³, PM_{4,0} je 35,0 µg/m³ a pre PM₁₀ je 119,9 µg/m³.

Z výsledkov je zjavné, že na pracoviskách sa vyskytovali častice kovov, oxidov kovov či uhlíka (používaný grafit). Z predošlých štúdií sa preukázal negatívny a toxický účinok častíc na zdravie (5, 13–15).

Nie sú známe limitné hodnoty pre expozíciu nanočasticami či nízkorozmerovým časticami pre ochranu zdravia pri práci.

OSHA EU (Európska agentúra pre bezpečnosť a ochranu zdravia pri práci) odporúča uplatňovať princíp predbežnej opatrnosti, teda pri výskyte ultrajemných častíc je zamestnávateľ povinný posúdiť riziko poškodenia zdravia z expozície nanočasticami (29, 31).

Podľa zákona 355/2007 Z. z. o ochrane, podpore a rozvoji verejného zdravia a o zmene a doplnení niektorých zákonov je zamestnávateľ povinný posúdiť expozíciu zamestnancov okrem iného chemickým faktorom. Nanočastice a ultrajemné častice sa môžu považovať za chemické faktory (30).

Niektoré organizácie pre vybrané nanomateriály zavádzajú odporúčacie limity pre ochranu zdravia.

Pre ultrajemné častice NIOSH (The National Institute for Occupational Safety and Health) odporučil ako nezáväznú hodnotu limit pre pracovnú expozíciu REL (odporúčaná expozičný limit pre človeka) TiO_2 $0,1 \text{ g/m}^3$ v roku 2005, REL $1,5 \text{ mg/m}^3$ v roku 2006 (32).

Okrem oxidu titaničitého existujú ďalšie odporúčané expozičné limitné hodnoty, ktoré odporúča napríklad OSHA (2013), pre striebro – $0,01 \text{ mg/m}^3$, PEL pre kremeň – $0,1 \text{ mg/m}^3$, pre uhlíkové vlákna – $1,0 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ a PEL pre uhlíkové nanotrúbice MWCNT – $0,05 \text{ mg/m}^3$ (6). Čo sa týka PM častíc, v legislatíve na Slovensku sú zavadené limity pre častice PM_{10} vo vnútornom aj vonkajšom prostredí ($50 \text{ }\mu\text{g/m}^3$) a $\text{PM}_{2,5}$ vo vonkajšom prostredí ($25 \text{ }\mu\text{g/m}^3$) (33–35).

Z pohľadu verejného zdravotníctva je dôležité posúdiť riziko poškodenia zdravia z expozície nanočasticami alebo mikrometrickým časticami. Je predpoklad, že sústavným sledovaním ich expozície sa môže objektívne dokázať ich nežiaduci vplyv na zdravie človeka, na vznik chorôb z povolania alebo sa môže objasniť zvýšený výskyt ochorení v populácii. V súčasnosti je nedostatok relevantných údajov o expozícii časticami na pracoviskách. Okrem toho je tiež málo toxikologických štúdií vplyvu nanočastíc na organizmus alebo aj ich rôznych veľkostných frakcií aerosólov (nanoaerosólov či aerosólov v mikrorozmeroch).

Pri definovaní rizika poškodenia zdravia pri expozícii nanočasticami je dôležité skúmanie ich toxicity, ktorá závisí od ich veľkosti, tvaru, chemického zloženia, rozpustiteľnosti v kvapalinách, schopnosti prenikania do organizmu a následného translokovania sa prostredníctvom telesných tekutín či orgánov. Okrem toho nanočastice a ultrajemné častice dokážu prenikať cez epitel buniek do intersticiálnych tekutín, následne cez lymfatický systém hlbšie do organizmu. Je pri nich pozorovaný medzibunkový prenos. Napríklad nanočastice vláknitého tvaru – nanovlákná, majú podobný účinok na tkanivá dýchacieho systému ako azbestové vlákna (5, 10).

Zamestnanci by mali byť informovaní o prítomných zdravotných rizikách, o prítomných škodlivých faktoroch, napr. nanočastice, nanoaerosóly. Na druhej strane je dôležité si uvedomiť, že človek je exponovaný časticami v nanorozmeroch a mikrorozmeroch už odpradáva a má určité mechanizmy, ako sa im vyvarovať.

Z nameraných výsledkov nameraných hodnôt by sme odporučili zamestnávateľovi vykonať opatrenia technického charakteru či organizačného charakteru tak, aby sa expozícia časticami znížila na najnižšiu možnú úroveň.

Záver

Za posledné desaťročia sa výskyt nanočastíc, ultrajemných častíc a mikrometrických častíc výrazne zvýšil predovšetkým nárastom dopravy, využívaním nanotechnológií v priemysle, vo farmácii, v medicíne či vo výskume.

Naším príspevkom sme chceli poukázať na možný výskyt častíc v nanorozmeroch a mikrorozmeroch na pracoviskách. Výsledky preukázali prítomnosť častíc predovšetkým s rozmermi v mikrometroch, v desiatkach až stovkách mikrometrov.

Analyzovali sme aj častice rádovo s veľkosťou okolo 100 nm (nanočastice, nanoaerosóly), z čoho vyplýva, že môžu byť prítomné v alveolách a prenikať do krvi a ďalej sa translokovať. Ako sme spomínali, môže pri nich nastať presun cez pokožku či tráviaci trakt. Z výsledkov vyplýva, že zamestnávateľ by mal robiť opatrenia na zníženie expozície časticami v nanorozmeroch či mikrorozmeroch. Je dôležité, aby sa znížilo riziko expozície na najnižšiu možnú úroveň.

Analýzy preukázali, že je dôležité v oblasti verejného zdravotníctva naďalej robiť výskum v oblasti expozície nanočasticami v pracovnom či v environmentálnom prostredí a získavať informácie o ich výskyte.

LITERATÚRA

1. The European commission. Commission recommendation of 18 October 2011 on the definition of nanomaterial. Off J Eur Union. 2011 Oct 20;54(L275):38-40.
2. Kotlík B, Kazmarová H, Puklová V. Expozice obyvatel suspendovaným časticím [Internet]. Praha: Státní zdravotní ústav; 2009 [cited 2017 May 22]. Available from: <http://www.szu.cz/tema/zivotni-prostredi/expozice-obyvatel-suspendovanym-casticim-ve-venkovnim-1>.
3. Krajčová D, Vondrová D, Hirošová K, Ševčíková. Vnútorné ovzdušie (indoor air) v školskom prostredí a vplyv na zdravie detí. Ped Prax. 2014;15(4):160-2.
4. Mikuška P. Atmosferické aerosóly [Internet]. Brno: Masarykova univerzita; 2013 [cited 2017 May 22]. Available from: https://is.muni.cz/el/1431/podzim2013/C5150/um/6_Mikuška_Aerosoly_2013.pdf.
5. Skřehot PA, Rupová M. Nanobezpečnost. Praha: Výzkumný ústav bezpečnosti práce; 2011.
6. Nohavica D. Rizika nanomateriálů a nanotechnologií pro lidské zdraví a životní prostředí. Čs Čas Fyz. 2011;61(3-4):220-27.
7. Frič M, Schwarz M, Dado M. Príspevok k hodnoteniu rizika poškodenia zdravia pri expozícii ultrajemným časticami v hygienickej praxi. In: Mašková L, editor. Sborník XVII. Výroční konference České aerosolové společnosti; 25.- 26.10. 2016; Mikulov. Praha: Česká aerosolová společnost; 2016. s. 107-14.
8. Hrubá D, Peřina A. Kouření jako zdroj jemných a ultrajemných prachových částic. Hygiena. 2016;61(1):19-23.
9. Európska komisia. Nanotechnológia. Inovácie pre svet zajtrajška. Luxemburg: Úrad pre úradné publikácie Európskych spoločenstiev; 2007.
10. Klouda K, Frišhansová L, Senčák J. Nanočastice, nanotechnologie a nanoproducty a jejich vazba na bezpečnost a ochranu zdraví při práci. Čas Výzk Aplik Prof Bezpeč Internet. 2016 [cited 2017 May 22]; 9(Bezpečnost práce a kvalita života 2016). Available from: <http://www.bozpinfo.cz/josra/nanocastice-nanotechnologie-nanoproducty-jejich-vazba-na-bezpecnost-ochranu-zdravi-pri-praci>.
11. StatNano [Internet]. 2017 [cited 2017 May 22]. Nanotechnology patents in EPO (Patent). Available from: <http://statnano.com/report/s102>.
12. Európska agentúra pre bezpečnosť a ochranu zdravia pri práci [Internet]. Bilbao: EU-OSHA; 2017 [cited 2017 May 22]. Riadenie nanomateriálov na pracovisku. Available from: <https://osha.europa.eu/sk/emerging-risks/nanomaterials>.
13. Hurbánková M, Hrašková D, Moricová Š. Profesionálna expozícia nanočasticami. Prac Léč. 2014;66(2-3):78-84.
14. Vogel U, Savolainen K, Qinglan W, van Tongeren M, Brouwer D, Berges M, editors. Handbook of nanosafety: measurement, exposure and toxicology. Helsinki: Academic Press; 2014.

15. Hurbánková M, Hrašková D, Marcišiaková J, Kysucká K, Moricová Š. Nanočástice zo zvarania a ich vplyv na zdravie. *Prac Léč.* 2015;67(1):12-7.
16. Sovová T, Kočí V. Ekotoxikologie nanomateriálů. *Chem Lis-ty.* 2012;106(2):82-7.
17. Filipová Z, Kukutschová J, Mašlán M. Riziká nanomateriálů. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci; 2012.
18. Occupational Safety and Health Administration [Internet]. Washington, DC: OSHA; [cited 2017 May 22]. Nanotechnology. Available from: <https://www.osha.gov/dsg/nanotechnology/index.html>.
19. Buchancová J a kol. Pracovné lekárstvo a toxikológia. Martin: Osveta; 2003.
20. Ághová I a kol. Hygiena. Martin: Osveta; 1993.
21. Schwarz M, Dado M, Hnilica R. Pracovné prostredie a technika prostredia: 2. časť. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene; 2011.
22. User manual. Aerosol Instrument Manager® software for Optical Particle Sizer (OPS) Spectrometers. Shoreview: TSI Incorporated; 2000.
23. Operation and service manual NanoScan Nanoparticle sizer 3910. Shoreview: TSI Incorporated; 2012.
24. The Engineering ToolBox [Internet]. [cited 2017 May 22]. Densities of common materials. Available from: http://www.engineeringtoolbox.com/density-materials-d_1652.html.
25. Multi-instrument manager (MIMMT) Software for SMPMT Spectrofotometers and OPS sizer. User's guide, Version 2.0. Shoreview: TSI Incorporated; 2014.
26. Databáza rizikových prác - ASTR [Internet]. Bratislava: Úrad verejného zdravotníctva SR; [cited 2017 May 22]. Available from: http://www.uvzsr.sk/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=64&Itemid=73.
27. Klouda K, Brádka Š, Cejpek J, Lach K, Otáhal P, Weisheitelová M a kol. Množství a distribuční rozložení nano a mikroaerosolových částic ve vybraných provozech ocelárny. *Hut Listy.* 2013;66(5):34-43.
28. Rupová-Skřehotová M. Analýza nebezpečnosti nanočástic v pracovním ovzduší a návrh opatření pro ochranu před jejich nežádoucími účinky [diplomová práce]. Praha: Univerzita Karlova v Praze; 2012.
29. European Agency for Safety and Health at Work [Internet]. Bilbao: EU-OSHA; 2013 [cited 2017 May 22]. E-fact 74. Nanomateriály v údržbe: rizika a prevencie pri práci. Available from: <https://osha.europa.eu/sk/tools-and-publications/publications/e-facts/e-fact-74-nanomaterials-in-maintenance-work-occupational-risks-and-prevention/view>.
30. Zákon č. 355/2007 Z. z. o ochrane, podpore a rozvoji verejného zdravia a o zmene a doplnení niektorých zákonov. Zbierka zákonov SR. 2007 Jun 21;čiasťka 154:2402-75.
31. Working safely with nanomaterials. OSHA FactSheet [Internet]. Washington, DC: Occupational Safety and Health Administration; 2013 [cited 2017 May 22]. Available from: https://www.osha.gov/Publications/OSHA_FS-3634.pdf.
32. Current Intelligence Bulletin 63. Occupational exposure to titanium dioxide [Internet]. Cincinnati: National Institute for Occupational Safety and Health; 2011 [cited 2017 May 22]. Available from: <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2011-160/pdfs/2011-160.pdf>.
33. Current Intelligence Bulletin 65. Occupational exposure to carbon nanotubes and nanofibers [Internet]. Cincinnati: National Institute for Occupational Safety and Health; 2013 [cited 2017 May 22]. Available from: <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2013-145/pdfs/2013-145.pdf>.
34. Vyhláška č. 210/2016 Z. z. s ktorou sa mení a dopĺňa vyhláška Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky č. 259/2008 Z. z. o podrobnostiach o požiadavkách na vnútorné prostredie budov a o minimálnych požiadavkách na byty nižšieho štandardu a na ubytovacie zariadenia. Zbierka zákonov SR. 2016 May 30;čiasťka 54.
35. Vyhláška 244/2016 Z. z. Ministerstva životného prostredia Slovenskej republiky o kvalite ovzdušia. Zbierka zákonov SR. 2016 Aug 19;čiasťka 69.

Došlo do redakcie: 12. 6. 2017

Přijato k tisku: 12. 9. 2017

Ing. Martin Frič, PhD.

Regionálny úrad verejného zdravotníctva so sídlom

v Banskej Bystrici

Oddelenie chemických analýz

Cesta k nemocnici 1

975 56 Banská Bystrica

E-mail: martin.fric@vzbb.sk

REALIZACE CÍLŮ STRATEGIE ZDRAVÍ 2020 V EVROPSKÉM REGIONU WHO

Evropská úřadovna WHO vydala přehlednou zprávu o výsledcích monitorování realizace Zdraví 2020. Podkladem bylo 43 (81 % států) dotazníků vyplněných a odevzdaných úřadovně evropskými členskými státy. 29 zemí zpracovalo informaci pro rok 2010 jako počáteční stav, pro rok 2013 a 2016 jako průběžná léta. Uprostřed období 2010–2020 tedy významná část zemí evropského regionu akceptuje principy a přístupy Zdraví 2020 a řeší priority jako nerovnosti ve zdraví a jejich sociální determinanty, zlepšování zdraví a životní pohody.

88 % zemí, které zaslaly vyplněný dotazník, má stanoveny cíle nebo indikátory Zdraví 2020 o 15 % vyšší, než byly stanoveny ve Zdraví 2020 v roce 2010. 93 % zemí udalo, že mají národní zdravotní politiku v soula-

du se Zdravím 2020, což je o 35 % víc než v roce 2010. 86 % zemí, které mají zdravotní politiku kompatibilní se Zdravím 2020, má stanoveny plány plnění a zodpovědnosti, tedy o 40–44 % víc zemí než v roce 2010.

V citované publikaci jsou uvedeny jen souhrnné výsledky a nejsou zmíněny jednotlivé země regionu. Nelze tedy zjistit, zda a jaká data prezentovala Česká republika.

World Health Organization. On the road to Health 2020 policy targets: monitoring qualitative indicators. An update. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2017.

Jaroslav Kríž