

**UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE**

**Přírodovědecká fakulta**

**Bezpečnostní aspekty nanoaerosolů v  
pracovním prostředí**

Safety aspects of nanoaerosols in the work environment

Rigorózní práce

**Autor:** Mgr. Ing. Marcela Skřehotová

**Studijní obor:** Chemie životního prostředí

Praha 2013

### **Poděkování:**

Ráda bych na tomto místě poděkovala všem, kteří mne v mém dosavadním profesním životě napomohli v odborném rozvoji, rozšiřování poznání a v utváření si vlastního pohledu na problematiku rizik spojených s nanomateriály. Každá rada, pomoc či dobře míněná konstruktivní kritika, kterou jsem obdržela od prof. RNDr. Evy Tesařové, CSc., RNDr. Mgr. Petra Skřehota, Ph.D., Dr. Ing. Vladimíra Ždímalu, RNDr. Bohumila Kotlíka, Ph.D. a řady dalších, mne významným způsobem posunuly v mé odborné kariéře, za což jim tímto upřímně děkuji.

### **Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem rigorózní práci na téma „**Bezpečnostní aspekty nanoaerosolů v pracovním prostředí**“ vypracovala samostatně. Použité podkladové materiály uvádím v příloženém seznamu použitých zdrojů.

V Praze dne:

.....

## **ABSTRAKT**

Lidé jsou exponováni nanoaerosolům od nepaměti, avšak nově vyráběné nanomateriály přinášejí rizika, na která nejsme zdaleka připraveni. Ačkoli se jedná o relativně nové materiály a technologie, již dnes jsou u některých z nich prokázány jejich závažné zdravotní důsledky. Zabývat se proto otázkami ochrany lidského zdraví před jejich nežádoucími účinky je velmi potřebné. Předkládaná práce shrnuje vybrané bezpečnostní aspekty související s expozicí nanoaerosolům na pracovištích, kterým je v současnosti věnována velká pozornost. Práce tak představuje komentované výsledky autorčiny dosavadní odborné práce s odkazem na příslušnou publikační činnost.

### **Klíčová slova**

Nanobezpečnost, nanotoxikologie, prevence rizik, BOZP, ochranné pomůcky, bezpečné pracovní postupy, měření.

## **ABSTRACT**

People have been exposed to aerosols since forever. However, the newly manufactured nanomaterials involve risks for those we are not ready. Although these are relatively new materials and technologies some of them have already demonstrated their serious health consequences. Therefore it is necessary to deal with the issues of human health protection from the unwilling effects. The present thesis summarizes selected safety aspects related to nanoaerosols exposure in the workplaces, which are currently the subject of attention. Thus the thesis presents the glossed results of author's previous professional work with reference to relevant publications.

### **Keywords**

Nanosafety, Nanotoxicology, Risk Prevention, OSH, Protective Equipment, Safe Working Practices, Measurements.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

AO	autorizovaná osoba
AV ČR	Akademie věd České republiky
BOZP	bezpečnost a ochrana zdraví při práci
ČSN	česká technická norma
D <sub>p</sub>	aerodynamický průměr částice
EN	evropská norma
EU	Evropská unie
EU-OSHA	Evropská agentura pro bezpečnost a ochranu zdraví při práci
FFP	úroveň ochrany, kterou poskytuje filtrační polomaska svému uživateli, stanovená podle normy EN 149; existují tři úrovně 1 až 3
FMPS	rychlý třídič pohyblivosti částic (Fast Mobility Particle Sizer)
ICRP	Mezinárodní komise pro radiační ochranu
IVAM	Interfaculty Environmental Science Department Universiteit van Amsterdam
MPSV	Ministerstvo práce a sociálních věcí
MS	Microsoft Corporation
NPK-P	nejvyšší přípustná koncentrace polutantu v pracovním ovzduší
OOPP	osobní ochranné pracovní prostředky
PEL	přípustný expoziční limit
PM <sub>x</sub>	pevné prachové částice rozptýlené v ovzduší (Particulate Matter); x =1; 2,5; 4 nebo 10 (v μm)
PřF UK	Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze
TSI	Texas Instruments Inc.
VŠCHT	Vysoká škola chemicko-technologická v Praze
VÚBP, v.v.i.	Výzkumný ústav bezpečnosti práce

# OBSAH

<b>1 ÚVOD DO ŘEŠENÉHO TÉMATU.....</b>	<b>1</b>
<b>2 NANOAEROSOLY V PRACOVNÍM OVZDUŠÍ, JEJICH MĚŘENÍ A CHARAKTERIZACE.....</b>	<b>3</b>
<b>3 POSTUPY PRO HODNOCENÍ RIZIK A NAVRHOVÁNÍ BEZPEČNOSTNÍCH OPATŘENÍ.....</b>	<b>6</b>
<b>4 OOPP PRO OCHRANU DÝCHACÍCH ORGÁNŮ A JEJICH TESTOVÁNÍ .....</b>	<b>8</b>
<b>5 ZÁVĚR .....</b>	<b>9</b>
<b>6 POUŽITÉ ZDROJE .....</b>	<b>10</b>

# 1 ÚVOD DO ŘEŠENÉHO TÉMATU

Již delší dobu je v nejrůznějších rovinách pohledu diskutován vliv aerosolů na lidské zdraví. Nejnověji se tento fenomén rozrostl také o úvahy o možném negativním vlivu nanočástic. Jsou však uváděné obavy důvodné? Nejsou uvažovaná rizika přeceňována? Na tyto otázky a mnoho dalších není v dnešní době možné zcela jasně odpovědět. Stále totiž nejsou k dispozici potřebné znalosti o toxických účincích nanočástic tvořených nejrůznějšími materiály. Provádět posouzení zdravotních rizik v souvislosti s expozicí uvedeným materiálům, například na pracovištích, je stále hůlkou budoucnosti. Zkušenosti z minulosti nás na mnoha případech poučily. Existují-li pochybnosti, není radno možnou hrozbu podceňovat. Dvojnásob to platí u expozice na pracovištích, kde jsou lidé vystavováni zvýšeným koncentracím nejrůznějších polutantů, aniž by si to často uvědomovali.

Nanotechnologie se v roce 2006 ocitly na seznamu tzv. nových rizik (New and Emerging Risks) vyhlášených Evropskou agenturou pro BOZP (EU-OSHA). Jedná se o rizika práce, kterým je přiřazován velký význam, neboť se začínají rozvíjet jejich závažné důsledky na lidské zdraví, avšak pro jejich zvládnání nejsou doposud navržena žádná systémová opatření včetně těch legislativních. EU-OSHA proto doporučuje těmto rizikům věnovat zvýšenou pozornost na národní i celoevropské úrovni a podporuje rozšiřování příslušné poznatkové základny. Jelikož se nanotechnologie stávají významným prvkem hospodářské politiky EU, zařadila též Evropská komise řešení těchto rizik mezi své priority. Do Komunitární strategie pro oblast bezpečnosti a ochrany zdraví při práci na léta 2007-2012 vyhlášené dne 21. 2. 2007 byla zařazena kapitola „Vývoj metod pro identifikaci a hodnocení nových a potencionálních rizik“. Evropská komise tak dala národním vládám jasný signál, že zmíněná rizika neohrožují „jen“ kvalitu a produktivitu práce, ale také hospodářský růst a zaměstnanost v celé EU. Česká republika na tuto výzvu zareagovala v červnu 2008, kdy byla Ministerstvem práce a sociálních věcí vyhlášena Národní politika bezpečnosti a ochrany zdraví při práci pro období 2008–2012. Poprvé tak byly nanotechnologie ze strany státních autorit uvedeny jako oblast zvláštního významu z hlediska BOZP..

Z tohoto důvodu byl v roce 2009 do tehdy řešeného výzkumného záměru VÚBP, v.v.i. začleněn dílčí úkol zaměřený na provedení úvodní teoretické studie tohoto fenoménu, na který v roce 2010 navázalo screeningové měření kontaminace pracovního

ovzduší aerosoly na vybraných pracovištích. Na provádění této kampaně a na ostatních navazujících aktivitách ústavu, jsem se coby členka výzkumného týmu přímo podílela.

Získané výsledky přesvědčily Ministerstvo práce a sociálních věcí o potřebě dalšího podrobnějšího zkoumání tohoto tématu. V lednu 2011 proto MPSV vyhlásilo výzvu k podání nabídky na řešení projektu výzkumu a vývoje pro potřeby státu č. HC 213/11 na téma „Analýza kontaminace pracovního ovzduší nanočásticemi a stanovení účinnosti osobních ochranných pracovních prostředků pro ochranu dýchadel před účinky nanočástic na pracovištích“ s termínem řešení do 31. 12. 2011. Tuto zakázku ve veřejné soutěži získal VÚBP, v.v.i., a já jsem tak dostala příležitost zúčastnit se velmi netradičního a zajímavého projektu aplikovaného výzkumu.

Smyslem uvedeného projektu bylo soustředit informace o znečištění pracovního ovzduší v co možná nejširším spektru vybraných pracovišť a spolu s tím provést podrobnou analýzu současného stavu managementu rizik uplatňovaného jak v EU tak i ve světě. Součástí zadání bylo také provedení charakterizace a ověření účinnosti osobních ochranných pracovních prostředků na ochranu dýchadel proti nanočásticím. Tato část si vyžádala specializované laboratorní zkoušky, které byly prováděny jak v laboratoři státní zkušebny (AO č. 235) ve VÚBP, v.v.i., tak i v laboratořích oddělení aerosolových a laserových studií Ústavu chemických procesů AV ČR. Všechny získané poznatky pak byly kromě výzkumné zprávy zpracovány také do podoby informačních a metodických nástrojů určených pro veřejnost (monografie, příručka pro zaměstnavatele, informační leták, DVD film a odborné publikace v tisku).

Jelikož řešení uvedeného projektu pokrývá hlavní otázky, které jsou v současnosti diskutovány v souvislosti s bezpečnostními a zdravotními aspekty nanotechnologií, je tato rigorózní práce koncipována jako přehledová studie zaměřená na vybrané části uvedeného projektu. V příloze 8 je pak uveden seznam vybraných publikací, které shrnují hlavní výsledky mé dosavadní odborné kariéry, a na které v této práci odkazují.

## 2 NANOAEROSOLY V PRACOVNÍM OVZDUŠÍ, JEJICH MĚŘENÍ A CHARAKTERIZACE

Většina lidských činností produkuje částice o velikostech jednotek mikrometrů. Při některých činnostech, jako například svařování, tepelné procesy či doprava, se však můžeme běžně setkávat i s částicemi submikronovými, s tzv. nanočásticemi. Pokud hovoříme o nanočásticích, máme obvykle na mysli částice menší než 100 nanometrů vznikající lidskou činností a často z materiálů v přírodě se nevyskytujících.

Nanočástice představují pozoruhodnou formu hmoty, u níž se již začínají uplatňovat kvantové jevy doposud známé pouze u atomů a molekul. Zvláště výrazné je to u částic menších než 20 nm, které vznikají procesem zvaným nukleace (tj. kondenzací jednotlivých molekul plynů za vzniku molekulových klastrů). To je také důvod proč dominantní roli ve vlastnostech nanočástic hraje jejich povrch, přičemž platí, že čím menší částice, tím větší roli její povrch hraje. Velmi malé částice jsou proto značně reaktivní a ochotně se spojují do větších celků – agregátů. Tímto procesem, který se nazývá koagulace, dochází ke stabilizaci primárních nanočástic, neboť dochází k energeticky výhodnějšímu rozložení povrchového náboje. Koagulace je proces spontánní a jeho rychlost závisí na koncentraci aerosolu, převažující velikosti částic a na jejich náboji. Z tohoto důvodu z aerosolu neustále mizí velké množství malých částic a současně vzniká mnoho větších agregátů.

Pokud jde o počty částic, pak v čistém venkovním ovzduší bychom v 1 cm<sup>3</sup> napočítali přibližně 10<sup>3</sup> nanočástic; v pracovním ovzduší ale jejich koncentrace mohou dosahovat až 10<sup>5</sup> až 10<sup>6</sup>/cm<sup>3</sup>. S nejvyššími koncentracemi se lze setkávat na pracovištích, kde dochází k tepelným úpravám látek, mletí, řezání, broušení, drcení, přesypávání či spalování. Svou emisní stopu však má také kancelářská technika, klimatizace, vonné tyčinky, kouření, hořící svíčky, či lidé samotní. Podrobněji je toto téma diskutováno m.j. v článku [4] a v monografii [2].

Na rozdíl od běžných polutantů (např. plyny a páry) u nanočástic zdravotní účinky nekorelují s obdrženou dávkou, nýbrž jsou závislé na celkovém měrném povrchu částic, kterému byla daná osoba vystavena. Proto při hodnocení zdravotních rizik proto hraje rozhodující roli velikost částic, popř. jejich chemické složení, tvar či krystalická struktura; naproti tomu jejich početní či hmotnostní koncentrace v ovzduší mají až druhotný význam.



Při měření aerosolů v pracovním ovzduší je proto nutné tyto skutečnosti zohledňovat a nepřehlížet k doposud aplikovaným přístupům (pro hrubé frakce prachu) opírajícím se o limitní expoziční hodnoty, jakými jsou PEL nebo NPK-P. Charakterizace nanoaerosolů vyžaduje měřit několik veličin současně, což je poměrně náročné.

ČSN EN 689 definuje požadavky na odběry vzorků z pracovního ovzduší tak, aby bylo měření maximálně objektivní. V zásadě lze použít dva způsoby: a) měření reprezentativní, nebo b) měření v nejhorším případě. Reprezentativní měření se volí tehdy, je-li potřeba získat věrný obraz o expozici očekávaným polutantům za daných podmínek na pracovištích. Odhad expozice se tak musí provádět na základě odběru vzorků z dýchací zóny exponované osoby. Tento způsob je poměrně obtížný a má svá praktická omezení. V podmínkách většiny pracovišť se proto využívají měření v nejhorším případě, kdy se předpokládá, že měřený časový úsek věrně charakterizuje nejhorší možné podmínky na pracovišti.

V rámci řešení Výzkumného záměru VÚBP na léta 2004-2010 jsme tento způsob ověřovali v rámci první série měření v hutních provozech (viz [4]). Ačkoli se samotný postup osvědčil, získané zkušenosti, bohužel, ukázaly, že splnit všechny požadavky výše uvedené normy v praxi není možné. Proto jsme navrhli upravený postup, který byl ověřen v praxi a posléze publikován v odborných pracích [2] a [6].

Kromě vhodného postupu je pro úspěšné měření nanoaerosolů nutné použít také správné instrumentální vybavení. V současnosti existuje několik typů měřících systémů vhodných pro tato měření, nicméně v hygienické praxi se využívají prakticky jen měřící systémy založené na optické detekci částic kombinované s difúzní elektrickou nabíječkou (např. systém Grimm 1.109 s nástavcem NanoCheck 1.320) anebo rychlé čítače pohyblivosti částic (systémy FMPS). Ačkoli principy detekce částic u těchto systémů jsou odlišné, umožňují získávat relativně srovnatelná data, která lze také vzájemně kombinovat. Příklad takového zpracování dat jsem na konkrétním případě prezentovala v kapitole 4.2.3 své diplomové práce [7].

Pokud jde o dostupnost uvedených měřících systémů, dlužno říci, že v České republice není mnoho pracovišť, které by jimi disponovaly. Díky dobré spolupráci se Zdravotním ústavem v Ostravě se našemu týmu podařilo zajistit měřící systém TSI FMPS 3091 a také odbornou součinnost jejich pracovníků při měřící kampani, která

byla provedena v průběhu roku 2011 v celkem 22 podnicích. Vlastní měření, kterému předcházela poměrně náročná příprava, bylo zaměřeno na získání informací o:

- časových průbězích hmotnostních a početních koncentrací nano a mikročástic;
- hmotnostních koncentracích frakcí  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$ ,  $PM_1$ ;
- distribucích hmotnosti ( $dM/d\log(D_p)$ ), počtů ( $dN/d\log(D_p)$ ) a měrného povrchu ( $dS/d\log(D_p)$ ) částic;
- počtech částic ( $dN$ ) ve frakci „nano“ (tj. od 25 nm do 300 nm);
- statistických charakteristikách měřených aerosolů (např. medián velikosti částic ve frakci „nano“).

Provedeným měřením jsme získali unikátní výsledky, které poskytly poměrně zajímavý průřezový pohled na kvalitu ovzduší na celkem 33 typech pracovišť. Na základě těchto poznatků jsme následně definovali základní okruhy otázek a problémů, se kterými se řada zaměstnavatelů v současnosti potýká a vytvořili odbornou příručku pro zaměstnavatele [1]. Ta byla MPSV v roce 2012 postupně distribuována do průmyslových podniků a na Oblastní inspektoráty práce.

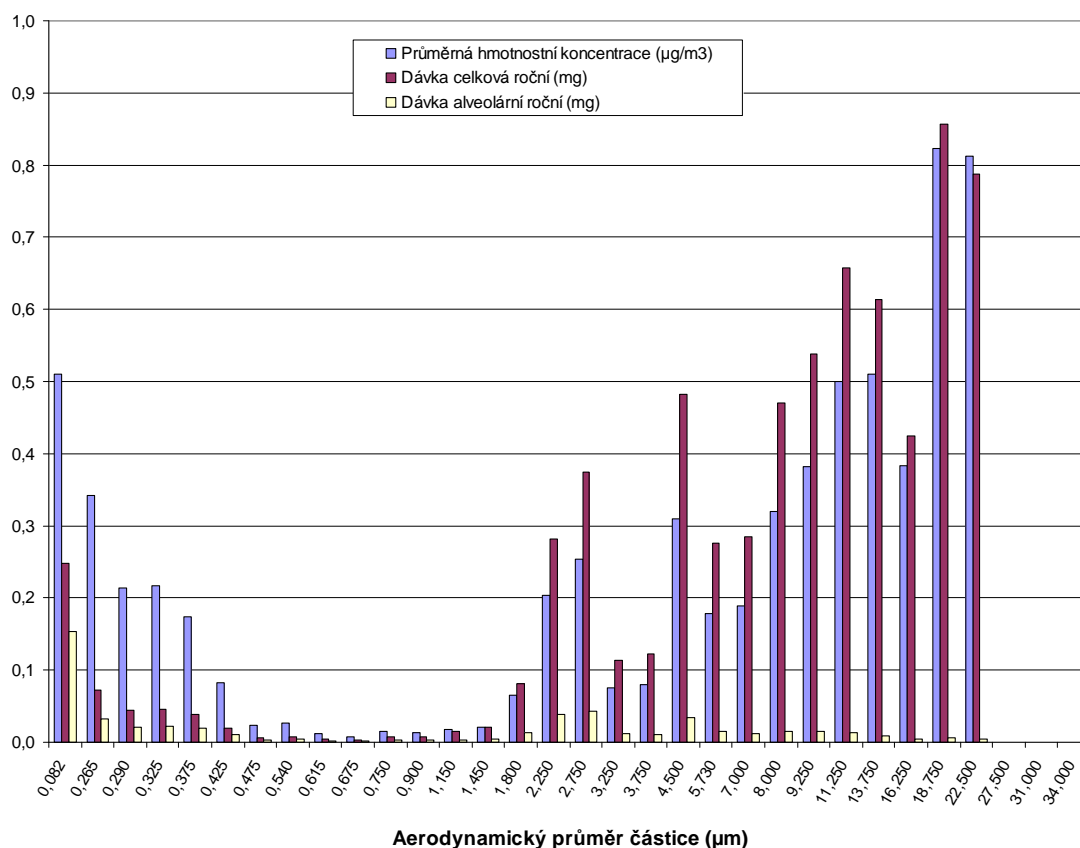
### 3 POSTUPY PRO HODNOCENÍ RIZIK A NAVRHOVÁNÍ BEZPEČNOSTNÍCH OPATŘENÍ

V současnosti neexistuje mnoho přístupů, které by v konkrétních rysech definovaly postupy pro analýzu a hodnocení rizik spojených s expozicí nanoaerosolům na pracovištích. V obecné rovině analýza rizik předpokládá znalost vyskytujících se nanočástic, informace o jejich toxicitě a o úrovni expozice během pracovní doby. Všechny tyto informace ale většinou nejsou dostupné a tak je nutné provést odborný odhad například pomocí kategorizačních technik nebo přístupů Control Banding.

Je-li ovšem známa distribuce hmotnostních koncentrací jednotlivých velikostních skupin, je možné vypočítat frakce depozice a celkovou dávku v jednotlivých částech dýchacího ústrojí, kterou obdrží exponovaný jedinec za daných podmínek. K tomuto účelu se využívá model Mezinárodní komise pro radiační ochranu „ICRP-66“, který je postaven na empirických rovnicích popisujících závislost množství deponovaných částic na jejich velikosti. Model standardně předpokládá vdechování částic kulového tvaru za standardních podmínek a je validní pro částice od 10 nm do 100  $\mu\text{m}$ .

Jelikož je výpočet podle modelu ICRP-66 pro polydisperzní (reálný) aerosol poměrně složitý, bylo jedním z cílů projektu HC 213/11 vytvořit počítačovou aplikaci, která by použitím modelu zjednodušila a umožnila jeho lepší využití v praxi. Tuto aplikaci jsme nakonec vytvořili v prostředí MS Excel, protože většina detekčních systémů umožňuje exportovat naměřená data ve formátu .xls. Naměřená data se tak do aplikace mohou vkládat běžným způsobem a za pomoci použitých algoritmů jsou následně automaticky generovány grafické výstupy (obrázek 1). Ty se v komentované formě používají jako obrazové přílohy ve zprávách z měření na daných pracovištích.

Výsledky získané z modelu ICRP-66 lze využít jak pro srovnávací analýzu, tak i pro hodnocení pracovních rizik prováděnou pomocí nové holandské metodiky IVAM. Tato metodika vyjadřuje míru rizik souvisejících s expozicí nanoaerosolům (tabulka 1) a jedním z relevantních vstupů, které může využít, jsou právě informace o závažnosti expozice. Podle výsledné míry rizika se následně vypracovává návrh opatření na ochranu zdraví pracovníků a definování strategie prevence rizik. Metodiku IVAM a její praktické využití jsme poprvé popsali v publikaci [4], následně pak i ve výstupech zmíněného projektu [1], [2].



Obrázek 1: Ukázka vyhodnocení naměřených dat pomocí modelu ICRP-66 za využití aplikace v MS Excel. Červené sloupce vyjadřují celkovou expoziční dávku, kterou obdrží za dobu 1 roku pracovník exponovaný jednotlivým frakcím aerosolu, žluté sloupce pak dávku pouze pro alveolární oblast plic [mg]. Modré sloupce představují zprůměrované hmotnostní koncentrace jednotlivých velikostních skupin částic [ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ]. Uvedený graf zachycuje reálné hodnoty naměřené v potravinářském provozu.

Tabulka 1: Třídy rizika, jejich popis a doporučená strategie prevence podle metodiky IVAM.

Míra rizika	Priorita	Doporučená strategie prevence rizik
Nevýznamné	Nízká	<b>Použijte standardní postupy určené pro snižování rizik na pracovišti v souladu s platnou legislativou.</b> Příklad: Použijte vhodné technické a organizační opatření (např. dostatečné větrání, odsávání emisí u zdroje, zakrytování, vhodné pracovní postupy aj.) doplněné vhodnými osobními ochrannými pracovními prostředky s požadovanou účinností ochrany.
Významné	Střední	<b>Proveďte, jaká další opatření je možné zavést pro další snížení rizika.</b> Příklad: Je snahou nalézt opatření, která jsou v současnosti k dispozici v souladu s běžnými přístupy BOZP a hygieny práce, avšak musí být posouzeno, nakolik budou tato opatření technicky, organizačně a ekonomicky vhodná (možno provést také Cost-Benefit analýzu).
Závažné	Vysoká	<b>Aplikujte všechny dostupné preventivní principy a nástroje.</b> Příklad: Je nutné postupně projít všechny kroky zavedené strategie prevence rizik na daném pracovišti a identifikují se všechna slabá místa v zajištění BOZP na pracovišti. Následně jsou navržena možná opatření s nejvyšší možnou účinností, která však musí být technicky a organizačně realizovatelná.

## 4 OOPP PRO OCHRANU DÝCHACÍCH ORGÁNŮ A JEJICH TESTOVÁNÍ

Z podnikové praxe dobře víme, že některá navržená bezpečnostní opatření nebývají z technických či ekonomických důvodů vždy dostupná, anebo neposkytují požadovanou úroveň ochrany. Proto je nutné volit ochranu pracovníků pomocí osobních ochranných pracovních prostředků (OOPP), která by ovšem měla být jen doplňková.

Pro ochranu dýchacích orgánů před aerosoly se využívají filtrační polomasky (respirátory), filtrační masky a ochranné prostředky s pomocnou ventilací. Z finančních důvodů se na pracovištích nejčastěji setkáváme s filtračními polomaskami, které se podle filtrační účinnosti, tj. úrovně ochrany, rozdělují do tříd FFP1, FFP2 a FFP3.

Laboratorní zkoušky filtrační účinností respirátorů, na základě které se výrobky rozdělují do výše uvedených tříd, se provádí podle normy ČSN EN 149+A1. Smyslem této zkoušky je mimo jiné zjistit hodnotu maximální penetrace, neboli průniku částic materiálem respirátoru za definovaných podmínek, která pro jednotlivé třídy může dosahovat maximálně 20 %, resp. 6 %, resp. 1 % z celkového množství částic na vstupu. Jelikož se ale při standardní zkoušce využívá aerosol se střední hodnotou velikosti částic 0,6  $\mu\text{m}$ , není prakticky možné zjistit filtrační účinnost materiálu daného respirátoru pro nanočástice (menší než 0,1  $\mu\text{m}$ ). Tato informace je ale z hlediska ochrany zdraví a optimalizace preventivních opatření na pracovištích velmi důležitá. Proto byl do projektu HC 213/11 zařazen dílčí cíl zaměřený na proměření filtrační účinnosti materiálů několika běžně prodávaných filtračních polomasek vůči nanoaerosolům. Cílem ovšem nebylo opakovat zkoušku filtrační účinnosti polomasky dle ČSN EN 149+A1, ale navrhnout postup, který by umožnil posoudit, zda se daná polomaska hodí pro použití v prostředí se zvýšenými koncentracemi nanoaerosolů.

Tento náročný úkol byl realizován ve spolupráci s Ústavem chemických procesů AV ČR, který disponuje potřebným zařízením i know-how. Bylo provedeno celkem 11 zkoušek, kdy bylo testováno 5 různých typů respirátorů (vždy po dvou kusech). Měření probíhalo při rychlostech průtoků vzduchu blízkých nádechovým a v rozmezí velikostí částic od 20 do 400 nm ve schématu 20 – 35 – 50 – 70 – 100 – 140 – 200 – 280 – 400 nm. Parametry zkoušek a použitá zařízení byly podrobně popsány v publikaci [5].

Pokud jde o výsledky provedených experimentů, tak ty ve velmi dobré shodě potvrdily předpovědi odvozené z teorie filtrace aerosolů. Při rychlostech průtoků

vzduchu blízkých nádechovým je filtrační účinnost materiálu respirátoru funkcí velikosti částic, přičemž nejlépe jimi procházely částice o rozměrech 50 nm (u třídy FFP1), resp. 280 nm (u třídy FFP2 a FFP3). U respirátorů třídy FFP1 dosáhla celková penetrace až 50 %, u respirátorů třídy FFP2 pak 3 % až 16 % a u respirátorů třídy FFP3 pouhých 1,2 % až 1,6 %. Těmito experimenty jsme tedy prokázali, že většina komerčně dostupných respirátorů nesplňuje pro oblast nanoaerosolů požadavky na minimální filtrační účinnost dle normy ČSN EN 149+A1 stanovené pro jednotlivé třídy (FFP), do kterých byly tyto výrobky zařazeny. Doposud prováděné akreditované zkoušky tak nejsou schopny v dostatečné míře prokázat filtrační účinnost respirátorů pro částice menší než cca 300 nm, resp. nejsou pro tento typ zkoušek vhodné. Konkrétní výsledky z těchto experimentů včetně podrobné diskuse byly publikovány v [6].

## 5 ZÁVĚR

Tato rigorózní práce stručnou formou shrnula mé zapojení na řešení dvou výzkumných úkolů VÚBP, v.v.i. a také nejvýznamnější výsledky, kterých jsem během své dosavadní odborné kariéry dosáhla.

Své odborné aktivity mohu v principu shrnout do několika skupin: (1) teoretické studium problematiky nanobezpečnosti pro účely tvorby aktuálních osvětových materiálů, (2) návrh a ověřování postupů pro stanovování nanoaerosolů v pracovním ovzduší, (3) charakterizace kontaminace pracovního ovzduší nanoaerosoly a hodnocení závažnosti expozice, (4) hodnocení (nano)rizik a navrhování preventivních opatření na pracovištích, (5) testování účinnosti OOPP pro ochranu dýchacích orgánů před nanočásticemi. Podrobněji jsou pak tato témata prezentována v předchozích kapitolách.

Domnívám se, že výsledky, kterých jsem postupně dosáhla, jsou v mnoha ohledech původní a obohacují naše dosavadní znalosti uplatňované v oblasti pracovního prostředí a BOZP. Zvláštní význam pak mají pro praxi, neboť byly ve srozumitelné podobě zveřejněny v několika publikacích určených pro zaměstnavatele, bezpečnostní techniky, inspektoráty práce apod. Ostatně ohlasy, které jsme na ně doposud obdrželi, (zejména z podniků) to jen potvrzují.

Závěrem bych ráda uvedla, že se prezentovanému tématu hodlám i nadále profesně věnovat a v rámci svého dalšího odborného růstu bych ráda dosáhla také cíle, kterým je úspěšná obhajoba této rigorózní práce a získání akademického titulu RNDr.

## 6 POUŽITÉ ZDROJE

- [1] RUPOVÁ, Marcela, SKŘEHOT, Petr; *Bezpečnost a ochrana zdraví při práci s nanomateriály*. Praha : VÚBP, 2011, 42 s. ISBN 978-80-86973-86-9.
- [2] SKŘEHOT, Petr; RUPOVÁ, Marcela. *Nanobezpečnost*. Praha : VÚBP, 2011, 238 s. ISBN 978-80-86973-89-0.
- [3] SKŘEHOT, Petr; RUPOVÁ, Marcela. Evaluation of exposure to aerosols at metallurgical plant workplaces. *Journal of Safety Research and Application* [online], 2010, roč. 3, č. 3-4. Dostupný z WWW: <<http://www.bozpinfo.cz/josra/josra-03-04-2010/expozice-aerosoly.html>>. ISSN 1803-3687.
- [4] SKŘEHOT, Petr; RUPOVÁ, Marcela. Nanobezpečnost – fenomén nových technologií. *Journal of Safety Research and Application* [online], 2011, roč. 4, č. 4. Dostupný z WWW: <[http://www.bozpinfo.cz/josra/josra-04-2011/nanobezpecnost\\_skrehot\\_rupova.html](http://www.bozpinfo.cz/josra/josra-04-2011/nanobezpecnost_skrehot_rupova.html)>. ISSN 1803-3687.
- [5] ŽDÍMAL, Vladimír; RUPOVÁ, Marcela; KOVÁŘOVÁ, Eliška, ZÍKOVÁ, Nad'a. Měření filtrační účinnosti materiálu filtrační polomasky v závislosti na velikosti částic. In *Sborník konference České aerosolové společnosti 18.-19. listopadu 2010*, Praha : Czech Aerosol Society, 2010. s. 31-34. ISBN 978-80-86186-25-2.
- [6] Kolektiv autorů. *Analýza kontaminace pracovního ovzduší nanočásticemi a stanovení účinnosti osobních ochranných pracovních prostředků pro ochranu dýchadel před účinky nanočástic na pracovištích. Závěrečná zpráva projektu HC 213/11*. Praha: Výzkumný ústav bezpečnosti práce, 2012. 189 s. + 14 příloh.
- [7] RUPOVÁ-SKŘEHOTOVÁ, M. *Analýza nebezpečnosti nanočástic v pracovním ovzduší a návrh opatření pro ochranu před jejich nežádoucími účinky*. Praha : Univerzita Karlova. Přírodovědecká fakulta. Katedra fyzikální a makromolekulární chemie, 2012. 87 s. Vedoucí diplomové práce Prof. RNDr. Eva Tesařová, CSc.