



Výzkumný ústav bezpečnosti práce, v. v. i.
Oddělení prevence rizik a ergonomie

T A

Č R

Výstup z výzkumného projektu č. TB03MPSV005
„Ověření možnosti ochrany dýchacích orgánů před nanočásticemi prostřednictvím OOPP“

Následující metodika byla vytvořena s finanční podporou TA ČR

Certifikovaná metodika pro poskytování osobních ochranných prostředků v prostředí s rizikem výskytu nanočástic

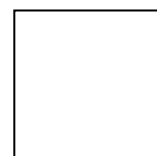
(zaměřeno na zaměstnavatele při řešení potřeby přidělování
osobních ochranných pracovních prostředků pro ochranu dýchadel)

Zadavatel:

ČR – Technologická agentura České republiky
Evropská 1692/37
160 00 Praha 6

Praha, listopad 2016

© Výzkumný ústav bezpečnosti práce, v. v. i.
Šetřete naše lesy – připraveno pro oboustranný tisk



Praha, listopad 2016

Následující metodika byla vytvořena s finanční podporou TA ČR

Autoři

Autory předložené metodiky jsou Mgr. et Mgr. Josef Senčík, Ing. Marek Nechvátal, Doc. Ing. et Ing. Karel Klouda, CSc., Ph.D., MBA., Ing. Karel Škréta, Ing. Junona Böswartová, Ing. Lenka Frišhansová – všichni Výzkumný ústav bezpečnosti práce, v. v. i..

Oponenti:

Odborný posudek: Ing. Petr Lepík, Ph.D.

Posudek ze státní správy: Ing. Karel Lach, CSc.

Certifikovaná metodika

**METODIKA PRO POSKYTOVÁNÍ OSOBNÍCH OCHRANNÝCH PROSTŘEDKŮ V PROSTŘEDÍ
S RIZIKEM VÝSKYTU NANOČÁSTIC.**

Praha 2016

OBSAH

1	ÚVOD	1
2	METODIKA	5
2.1	KROK 1: VYMEZENÍ PRACOVNÍHO SYSTÉMU, ZPRACOVÁNÍ SEZNAMU PRACOVIŠŤ A ČINNOSTÍ A IDENTIFIKACE NEBEZPEČÍ	5
2.2	KROK 2: STANOVENÍ DOBY EXPOZICE	6
2.3	KROK 3: STANOVENÍ NEBEZPEČNOSTI.....	6
2.4	KROK 4: HODNOCENÍ RIZIK SPOJENÝCH S PŮSOBENÍM NANOČÁSTIC	9
2.5	KROK 5: ODSTRANĚNÍ / OMEZENÍ RIZIK A PŘIDĚLENÍ OOPP	9
3	PŘÍLOHA Č. 1 NÁVRH POSTUPU ČI OPATŘENÍ PŘI A PO SEMI-SYSTEMATICKÉM MĚŘENÍ NANOČÁSTIC V TECHNOLOGICKÉM PROVOZU	11
4	POUŽITÁ LITERATURA	13

Seznam tabulek

Tab. 1:	Tabulka pro vyhodnocení rizik pro výběr a použití OOPP.	1
Tab. 2:	Zatřídění vybraných nanočástic do skupin nebezpečnosti.	7
Tab. 3:	Matice hodnocení rizik spojených s působením nanočástic.	9

Seznam zkratk

EU	Evropská unie.
NPK-P	Nejvyšší přípustná koncentrace v pracovním ovzduší.
OECD	Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj.
OOPP	Osobní ochranné pracovní prostředky.
OPDO	Ochranné prostředky dýchacích orgánů.
PEL	Přípustný expoziční limit.
RP	Rámcový program.
VUBP, v. v. i.	Výzkumný ústav bezpečnosti práce, veřejná výzkumná instituce.

1 Úvod

Tato metodika je určena pro potřeby zaměstnavatelů při rozhodovacím procesu, na jehož základě zaměstnavatel přiděluje zaměstnancům osobní ochranné pracovní prostředky (OOPP). Tato metodika řeší pouze ochranu dýchadel před působením nanočástic v pracovním prostředí a to v takovém, kde lze předpokládat výskyt nanočástic cíleně vyráběných anebo na pracovišti necíleně produkovaných.

Základní povinnost poskytovat OOPP zaměstnancům a dalším zainteresovaným osobám je zakotvena v zákoníku práce [1]. Plná kompatibilita s evropským systémem poskytování OOPP byla v České republice dosažena již vydáním nařízení vlády, kterým se stanoví rozsah a bližší podmínky poskytování osobních ochranných pracovních prostředků, mycích, čisticích a dezinfekčních prostředků [2], které nabylo účinnosti 1. 1. 2002. Toto nařízení vychází z evropské směrnice o minimálních požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví pro používání osobních ochranných prostředků zaměstnanci při práci [3].

Jedním ze základů ochrany zdraví zaměstnanců je, podle zákoníku práce [1], postup, kdy zaměstnavatel musí rizika identifikovat a následně se pokusit je odstranit nebo minimalizovat. Pokud se nepodaří rizika dostatečně snížit, dalším krokem je zavedení vhodných prostředků kolektivní ochrany a teprve poté následuje poskytnutí osobních ochranných prostředků, které musí chránit před konkrétním zbytkovým rizikem.

Uvedený princip je univerzální, respektovaný v celé Evropě, a není důvodu jej měnit. Pokud se však jedná o fázi, kdy se rozhoduje o výběru vhodných OOPP, existuje zde ještě mnoho příležitostí ke zlepšování.

Nařízení vlády, kterým se stanoví rozsah a bližší podmínky poskytování osobních ochranných pracovních prostředků, mycích, čisticích a dezinfekčních prostředků [2] stanoví v § 4 odst. (1), že při hodnocení rizik pro výběr a použití ochranných prostředků se postupuje zejména podle přílohy č. 1 tohoto nařízení. Tato příloha obsahuje tabulku, v níž jsou v řádcích uvedeny části těla a ve sloupcích možná rizika expozice dané části těla. Je tedy potřeba vyznačit v tabulce zjištěná rizika a v řádcích vybrat ohrožené části těla. Vybraná pole lze označit i kódem, kdy např. ohrožení dýchacích orgánů prachem a vlákny je identifikováno kódem D12.

Tab. 1: Tabulka pro vyhodnocení rizik pro výběr a použití OOPP.¹

Části těla		označení	Rizika					chemická	nanočástice
			chemická						
			aerosoly			kapaliny			
			prach, vlákna	dýmy, mlhy	tuhé látky	ponoření	postřikání		
			12	13	14	15	16	17	22
Hlava	lebka	A							
	sluch	B							
	zrak	C							
	dýchací orgány	D							
	obličej	E							
	celá hlava	F							
Horní končetiny	ruce	G							
	paže (části)	H							
Dolní končetiny	chodidlo	I							
	nohy (části)	J							
Různé	pokožka	K							

¹ Upraveno podle [2] (výřez doplněný o návrhový sloupec 22 (nanočástice)).

Části těla	označení	Rizika						
		chemická						nanočástice
		aerosoly			kapaliny		plyny, páry	
		prach, vlákna	dýmy, mlhy	tuhé látky	ponoření	postřikání		
12	13	14	15	16	17	22		
trup/břicho	L							
parenterální cesty	M							
celé tělo	N							

Takové rozlišení rizik je ovšem velmi hrubé. Předpisy, včetně směrnice o minimálních požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví pro používání osobních ochranných prostředků zaměstnanci při práci [3], však do větších podrobností nejdou. Proto také v řadě případů zaměstnavatelé i odborně způsobilé osoby k zajišťování úkolů v prevenci rizik nemají stanoven další postup pro zpřesňování rizik, který je ale pro správný a cílený výběr OOPP nezbytný.

Rovněž je nutno konstatovat, že problémem uvedené tabulky je nejen nepřesné rozlišení rizik, ale i to, že některá rizika zde schází – to se týká i rizik spojených s výskytem nanočástic. Proto lze v rámci vyhodnocování rizik doporučit uživatelům tabulky, aby si ji pro svou potřebu doplnili sloupci s vlastním rozlišením rizik, např. s odkazem na nanočástice, případně i s využitím tabulek uvedených v této metodice.

Vzhledem k tomu, že nařízení vlády, kterým se stanoví rozsah a bližší podmínky poskytování osobních ochranných pracovních prostředků, mycích, čisticích a dezinfekčních prostředků [2] je implementací evropské směrnice [3], není v současnosti jednoduché na národní úrovni tento předpis měnit. Individuální modifikace tabulky s ohledem na rizika vztažená ke konkrétnímu pracovišti je však možná a užitečná.

Pokud se zaměříme na ochranné prostředky dýchacích orgánů (OPDO), je nezbytná přesnější identifikace škodlivin, kterými mohou být částice (zde je důležitá také jejich velikost, kde extrémem jsou nanočástice), plyny, páry a jejich nejrůznější kombinace. Specifickým rizikem je např. nedostatek kyslíku.

V rámci vyhodnocení rizik pro přidělení OPDO je nutné získat informace o charakteru a koncentracích škodlivin, s nimiž se pracovník při výkonu své činnosti setkává. Získaná data je potřeba porovnat s přípustnými expozičními limity (PEL) a nejvyššími přípustnými koncentracemi (NPK-P), stanovenými např. v nařízení vlády, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci [4].

OPDO, stejně jako ostatní OOPP, procházejí posuzováním shody v příslušných notifikovaných orgánech (viz nařízení vlády [3] a [5]), zde se ale ověřuje ochrana za normových podmínek, které umožňují standardní provedení zkoušek a jejich shodné vyhodnocování v různých zkušebních laboratořích. Z výsledků zkoušek vycházejí také informace o ochranných vlastnostech OPDO, uváděné v návodech na používání. Ve skutečnosti se ale na konkrétním pracovišti obvykle vyskytuje mix různých škodlivin v nejrůznějších koncentracích, ovlivňovaných navíc aktuálními mikroklimatickými podmínkami, jako je proudění vzduchu, jeho vlhkost, teplota apod.

Z uvedeného plyne, že ani pro rizika, která jsou spojena s mikročásticemi, nelze při výběru a poskytování OOPP vycházet pouze z údajů o úrovni ochrany stanovených výrobcem, ale je nezbytné ověřit si ochranné vlastnosti OOPP na konkrétním pracovišti.

Pokud se jedná o ochranu proti nanočásticím, nelze výše uvedený přístup použít bez podstatných úprav. Jak bylo výše uvedeno, existují pro mikročástice zkušební postupy, jejichž výsledkem je definovaná a ověřená ochrana za laboratorních podmínek. V průběhu řešení úkolu bylo prokázáno, že teoreticky lze provést obdobné zkoušky záchytu nanočástic, ale vzhledem k jejich chování není možno výsledky, které by byly získány z testů prováděných různými laboratořemi, srovnávat. Definování přísných laboratorních podmínek pro zkoušky záchytu nanočástic by sice mohlo přinést srovnatelné výsledky, ale tyto výsledky by byly odtrženy od reálných podmínek na pracovišti.

Jestliže u OPDO v oblasti mikročástic dochází při jejich použití na konkrétním pracovišti pouze k upřesněním např. z hlediska možného zkrácení nebo prodloužení délky používání, u nanočástic by musel být návrh konkrétní ochrany řešen prakticky od počátku, a předchozí laboratorní výsledky by nebyly použitelné.

V rámci řešení úkolu byla zjištěna určitá korelace mezi záchytem mikro a nanočástic u vybraných filtračních polomasek. Lze tedy konstatovat, že v běžných podmínkách je dosud používaná individuální ochrana dýchacích orgánů dostatečná. Pro prostředí s očekávaným zvýšeným počtem nanočástic je vhodnější řešit situaci návrhem specifických opatření, vycházejících z konkrétních podmínek pracoviště. Mezi ně patří i ověření účinnosti navržených OPDO přímo v daných pracovních podmínkách bez zkreslení způsobených modelovými zkouškami v laboratoři.

2 Metodika

Tato metodika se skládá z několika postupových kroků, směřující k rozhodnutí o potřebě přidělit zaměstnanci OPDO. Jedná se o obecný postup založený na principu předběžné opatrnosti a zohledňující stávající stav poznání. Výstup z metodiky je aktuálně třeba chápat pouze jako informativní. Důvodem je nedostatek toxikologických údajů, znalostí o charakteru nanočástic, znalostí o způsobu jejich možného využití a manipulace s nimi, znalostí o rychle se měnících pracovních postupech a také chybějící hodnoty limitů pro oblast nanočástic. V literatuře je doposud možné se setkat pouze s referenčními hodnotami pro omezený počet nanočástic (např. [6], [7], [8], [9]), případně s hodnotami, které jsou inženýrským odhadem odvozeny od hmotnostních koncentrací částic [10]. Předpokládá se provázání metodiky s doporučenými standardními operačními postupy vypracovanými v rámci postupů OECD, resp. RP EU zaměřených na nanobezpečnost.

V případě potřeby je nutné, aby zaměstnavatel provedl konkrétní identifikaci rizik spojených s nanočásticemi dle individuálně zaměřených postupů. Rozhodování o přidělení OPDO pak může zaměstnavatel následně provést na základě zjištěných skutečností, za přímé konzultace s toxikologem, případně poskytovatelem pracovně lékařských služeb. Pro konkrétní případy je možné, aby byly na základě toxikologických či lékařských dat stanoveny relevantní limitní hodnoty, na jejichž základě by bylo rozhodováno o případných opatřeních [11].

Tato metodika se omezuje výhradně na oblast nerozpustných nanočástic.

2.1 Krok 1: Vymezení pracovního systému, zpracování seznamu pracovišť a činností a identifikace nebezpečí

Pro potřeby této metodiky se zpracuje soupis pracovišť a činností, kde lze předpokládat zvýšený výskyt nanočástic. Sledován by měl být především takový výskyt nanočástic, který se v přirozeném prostředí člověka běžně nevyskytuje². Zohledněny by měly být anomální výskyty nanočástic ve vztahu k jejich fyzikálním a chemickým vlastnostem, míry depozice nanočástic v dýchacím traktu člověka (průdušnice + alveoly), příp. jejich počtu nebo hmotnostního podílu. Nelze opominout ani závislosti změn vlastností nanočástic vztahených k mikroklimatickým charakteristikám pracoviště. Může se tak například jednat o nepřírodní zvýšené koncentrace přírodních nanočástic³, ale též o nanočástice uměle vytvořené.

Lze předpokládat, že takovýmito předmětnými pracovišti jsou vždy pracoviště, kde je s nanočásticemi manipulováno, dále pracoviště, kde jsou nanočástice cíleně vyráběny a také pracoviště, na kterých probíhají činnosti jako například (např. [12]):

- broušení;
- metalurgie;
- mletí;
- řezání;
- sklářský a keramický průmysl;
- spalování;
- střelba;
- svařování.

² Přirozeným prostředím člověka je pro potřeby této metodiky myšleno prostředí, se kterým se člověk může v České republice setkávat a to mimo pracovní prostředí.

³ Například nanočástice z přírodních erozí a vulkanických činností, jílové nanočástice, přírodní koloidní systémy, nanočástice uvolňované při manipulaci s lasturami, korály a kostmi či opály, tvrdými dřevy apod. [13], [14].

Opomenuty by neměly být ani úklidové činnosti, při kterých může docházet například k víření vzduchu, tedy ke vznosu nanočástic.

Pokud vytipovaná pracoviště, která jsou zdrojem nanočástic, „komunikují“ s jinými pracovišti a existuje riziko kontaminace těchto pracovišť nanočásticemi ze zdrojového pracoviště, budou tato pracoviště doplněna na soupis pracovišť.

V soupisu pracovišť budou vyznačena pracoviště, kde lze předpokládat uvolnění nanočástic do pracovního ovzduší, resp. do dýchací zóny zaměstnance.

2.2 Krok 2: Stanovení doby expozice

Pro každého zaměstnance, který se vyskytuje na pracovištích identifikovaných podle předchozího kroku, se stanoví doba expozice nanočásticím v pracovním ovzduší⁴. V souvislosti s úrovní současných znalostí je doporučeno přiřadit expoziční dobu zaměstnance do některé z níže uvedených kategorií:

Kategorie	Jednoduchý popis
1	Předpokládá se doba expozice v rámci pracovní směny cca do 1 hod./den, resp. do 5 hodin za týden.
2	Předpokládá se doba expozice v rámci pracovní směny od 1 do 3 hod./den, resp. od 5 do 15 hodin za týden.
3	Předpokládá se doba expozice v rámci pracovní směny od 3 do 6 hod./den, resp. od 15 do 30 hodin za týden.
4	Předpokládá se doba expozice v rámci pracovní směny nad 6 hod./den, resp. nad 30 hodin za týden.

2.3 Krok 3: Stanovení nebezpečnosti

V případě nanočástic, u kterých je předpoklad, že se vyskytují v pracovním ovzduší, se provede zařídění do některé z následujících skupin nebezpečnosti⁵ (zde je nutné měření, případně odborný odhad):

Nebezpečnost	Jednoduchý popis ⁶
I.	Nanočástice (dále neuvedené) vznikající při činnostech, kdy lze předpokládat jejich zvýšenou produkci (příklady vyjmenované v kroku 1) s koncentrací do 9 999 částic v cm ³ pracovního ovzduší.
II.	Nanočástice (dále neuvedené) vznikající při činnostech, kdy lze předpokládat jejich zvýšenou produkci (příklady vyjmenované v kroku 1) s koncentrací od 10 000 do 19 999 částic v cm ³ pracovního ovzduší.
III.	Nanočástice působící díky svým vlastnostem ⁷ jako dráždivé a leptavé; případně další nanočástice v početní koncentraci od 20 000 do 39 999 částic v cm ³ pracovního ovzduší.
IV.	Nanočástice uměle tvořené; případně další nanočástice o hustotě nižší než 6 000 kg/m ³ v početní koncentraci nad 40 000 částic v cm ³ pracovního ovzduší.

⁴ Do doby expozice se započítává pouze čas trávený v prostředí s výskytem nanočástic.

⁵ Skupiny nebezpečnosti jsou odhadnuty na základě literatury (základ viz například [15]). S ohledem na současný stav poznání je k tomuto dělení potřebné přistupovat jako k dělení informativnímu. Existují též další přístupy, např. dělení na základě velikosti a persistence a biokompatibility [24]. A jiné přístupy.

⁶ V budoucnu je plánována příprava dat, která budou použitelná pro hrubý odhad propojení skupin nebezpečnosti s hmotnostní koncentrací částic v prostředí. Součástí podrobného šetření bude i v příštích letech individuální šetření dle zásad uvedených dále [16].

⁷ Nebezpečnost nanočástic je ovlivněna například jejich chemismem, fyzikálními vlastnostmi, krystalickou strukturou, hustotou, či schopnostmi agregace, aglomerace a sedimentace [16].

- V. Nanočástice působící díky svým vlastnostem⁷ jako toxické, vysoce toxické, karcinogenní či mutagenní; vláknité nanočástice a azbestu podobné částice; případně další nanočástice o hustotě vyšší než 6 000 kg/m³ v početní koncentraci nad 40 000 částic v cm³ pracovního ovzduší.

V případě, kdy by nanočástice (jejichž přítomnost je v pracovním ovzduší předpokládána) svými vlastnostmi odpovídaly zařazení do více skupin nebezpečnosti, je vybrána vždy horší skupina nebezpečnosti. Např. budou-li se v pracovním ovzduší vyskytovat nanočástice s leptavými vlastnostmi, s hustotou nad 6 000 kg/m³ a v koncentraci nad 40 000 částic v cm³ pracovního ovzduší, budou tyto nanočástice zařazeny do V., nikoliv do III. skupiny nebezpečnosti.

Existuje-li předpoklad, že se v pracovním ovzduší vyskytují nanočástice uvedené v tabulce dále (Tab. 2), bude jejich zařazení do skupin nebezpečnosti podle tabulky 2. Předpokládá se výskyt i směsných kovových aglomerátů, oxidických fází a dalších sloučenin stabilních za vyšších teplot, vzniklých kondenzací plynné fáze, anebo reakcí s okolní atmosférou, nejčastěji s kyslíkem.

Tab. 2: Zatřídění vybraných nanočástic do skupin nebezpečnosti.⁸

Nanočástice	Skupina nebezpečnosti	Poznámky
Ag(>50nm)	IV.	Nanostříbro o velikosti částic nad 50 nm. S nano formou je pojena toxicita.
Ag(≤50nm)	V.	Nanostříbro o velikosti částic do 50 nm včetně. S nano formou je pojena toxicita.
Al ₂ O ₃ (>50nm)	IV.	Nanočástice oxidu hlinitého o velikosti částic nad 50 nm. S nano formou je pojena toxicita.
Al ₂ O ₃ (≤50nm)	V.	Nanočástice oxidu hlinitého o velikosti částic do 50 nm. S nano formou je pojena toxicita.
Au(>50nm)	IV.	Nanozlato o velikosti částic nad 50 nm. S nano formou je pojena toxicita.
Au(≤50nm)	V.	Nanozlato o velikosti částic do 50 nm. S nano formou je pojena toxicita.
C(>50nm)	III.	Uhlíková čern (saze) o velikosti částic nad 50 nm.
C(≤50nm)	IV.	Uhlíková čern (saze) o velikosti částic do 50 nm včetně.
C ₆₀ (fullereny)	IV.	Fullereny. S nano formou je pojena toxicita.
CeO ₂ (>50nm)	IV.	Nanočástice oxidu ceritického o velikosti částic nad 50 nm. S nano formou je pojena toxicita.
CeO ₂ (≤50nm)	V.	Nanočástice oxidu ceritického o velikosti částic do 50 nm. S nano formou je pojena toxicita.
Co	IV.	Nanočástice kobaltu. S nano formou je pojena toxicita.
CoO	V.	Nanočástice oxidu kobaltnatého. S nano formou je pojena toxicita.
CuO(>50nm)	IV.	Nanočástice oxidu měďnatého o velikosti částic nad 50 nm. S nano formou je pojena toxicita.
CuO(≤50nm)	V.	Nanočástice oxidu měďnatého o velikosti částic do 50 nm. S nano formou je pojena toxicita.
Fe(>50nm)	IV.	Nanoželezo o velikosti částic nad 50 nm. S nano formou je pojena toxicita.
Fe(≤50nm)	V.	Nanoželezo o velikosti částic do 50 nm včetně. S nano formou je pojena toxicita.
Fe(nerezová ocel)	IV.	Nanočástice nerezové oceli s cca 60 % Fe, 20 % Cr, 9 % Ni a stopovým množstvím Mo, Si a Mn. S nano formou je pojena toxicita.
Fe ₂ O ₃ (nano)	III.	Nanočástice oxidu železitého. S nano formou je pojena toxicita, při testech toxicity byly získány výrazně odlišné výsledky.
FeO(>50nm)	IV.	Nanočástice oxidu železnatého o velikosti částic nad 50 nm. S nano formou je pojena toxicita.

⁸ Upraveno podle [15] a dle vlastních vstupů (a odborného odhadu autorů) a dalších zdrojů (např. [25], [26], [27], [28], [29], [30], [31], [32], [33], [34], [35], [36], [37], [38], [40], [41], [42], [43]). Uvedené zatřídění neodráží výjimky v problematice toxicity vztahované na konkrétní podmínky výskytu na pracovišti. Do budoucna bude zapotřebí sjednotit standardy pro testování nanotoxicity, jak po tom někteří autoři už dnes volají [39]. V odborné literatuře se výsledky toxikologických textů liší. Doposud není zcela ustálený pohled na nebezpečnost jednotlivých nanočástic. Používá se především princip předběžné opatrnosti.

Ověření možnosti ochrany dýchacích orgánů před nanočásticemi prostřednictvím OOPP

Nanočástice	Skupina nebezpečnosti	Poznámky
FeO($\leq 50\text{nm}$)	V.	Nanočástice oxidu železnatého o velikosti částic do 50 nm. S nano formou je pojena toxicita.
Glycerol(nano)	I.	Nanočástice glycerolu.
Grafen a jeho některé deriváty	IV.	Nanografen, grafenoxid, grafen. S nano formou je pojena toxicita.
La($> 50\text{nm}$)	III.	Nanočástice chemicky odpovídající některému z lanthanoidů o velikosti částic nad 50 nm.
La($\leq 50\text{nm}$)	IV.	Nanočástice chemicky odpovídající některému z lanthanoidů o velikosti částic do 50 nm.
MgO(nano)	V.	Nanočástice oxidu manganatý. S nano formou je pojena toxicita.
Nano(neznámé)	V.	Nanočástice, u kterých není známo chemické složení, fyzikální vlastnosti, ani biologické účinky.
Nanodiamanty	III.	Toxicita nanodiamantů je výrazně nižší než toxicita ostatních uhlíkových nanomateriálů.
Nanojíly($> 50\text{nm}$)	III.	Nanočástice jílu o velikosti částic nad 50 nm. S nano formou je pojena toxicita.
Nanojíly($\leq 50\text{nm}$)	IV.	Nanočástice jílu o velikosti částic do 50 nm. S nano formou je pojena toxicita.
Nanopolystyreny($> 30\text{nm}$)	IV.	Nanočástice polystyrenu o velikosti částic nad 30 nm. S nano formou je pojena toxicita.
Nanopolystyreny($\leq 50\text{nm}$)	V.	Nanočástice polystyrenu o velikosti částic do 50 nm. S nano formou je pojena toxicita.
Nanotrubičky	V	Například grafenoxid, MWNCT a SWNCT (uhlíkaté nanotrubičky vícevrstvé i jednovrstvé). Uvažují se vlastnosti obdobné azbestu.
Ni(nano)	V.	Nanočástice niklu. S nano formou je pojena toxicita.
NiO($> 50\text{nm}$)	IV.	Nanočástice oxidu nikelnatého o velikosti částic nad 50 nm. S nano formou je pojena toxicita.
NiO($\leq 50\text{nm}$)	V.	Nanočástice oxidu nikelnatého o velikosti částic do 50 nm. S nano formou je pojena toxicita.
Pb(nano)	V.	Nanoolovo. S nano formou je pojena toxicita.
Platinové kovy (10 - 200nm)	IV.	Metalurgie platinových kovů, příp. zpracování elektroodpadů. S nano formou je pojena toxicita.
Polovodiče s Cd(nanoforma)	V.	Polovodičové nanočástice s obsahem Cd (CdS, CdSe, CdTe) vykazující značnou eko- a cytotoxicitu.
Sb ₂ O ₅ (nano)	V.	Nanočástice oxidu antimonického. S nano formou je pojena toxicita.
SiO ₂ (amorf; $> 50\text{nm}$)	IV.	Nanočástice oxidu křemičitého, amorfni forma o velikosti částic nad 50 nm. S nano formou je pojena toxicita.
SiO ₂ (amorf; $\leq 50\text{nm}$)	V.	Nanočástice oxidu křemičitého, amorfni forma o velikosti částic do 50 nm. S nano formou je pojena toxicita.
SiO ₂ (krystal)	V.	Nanočástice oxidu křemičitého, krystalická struktura není známa, případně klencová krystalická struktura (křemen/kvarcit). S nano formou je pojena toxicita.
SnO ₂ ($> 50\text{nm}$)	III.	Nanočástice oxidu cíničitého o velikosti částic nad 50 nm.
SnO ₂ ($\leq 50\text{nm}$)	IV.	Nanočástice oxidu cíničitého o velikosti částic do 50 nm.
TiN(nano)	IV.	Nanočástice nitridu titanu. S nano formou je pojena toxicita.
TiO ₂ ($> 50\text{nm}$)	IV.	Nanočástice oxidu titaničitého o velikosti částic nad 50 nm. S nano formou je pojena toxicita.
TiO ₂ ($\leq 50\text{nm}$)	V.	Nanočástice oxidu titaničitého o velikosti částic do 50 nm. S nano formou je pojena toxicita.
WC(nano)	II.	Nanočástice karbidu wolframu o složení cca 45 % WC, cca 45 % W a zbytek WO ₃ .
ZnO($> 50\text{nm}$)	IV.	Nanočástice oxidu zinečnatého o velikosti částic nad 50 nm. S nano formou je pojena toxicita.
ZnO($\leq 50\text{nm}$)	V.	Nanočástice oxidu zinečnatého o velikosti částic do 50 nm. S nano formou je pojena toxicita.
ZrO ₂ (nano)	III.	Nanočástice oxidu zirkoničitého. Platí pro nanočástice o velikosti kolem 30 nm. S nano formou je pojena toxicita, při testech toxicity byly získány výrazně odlišné výsledky.

2.4 Krok 4: Hodnocení rizik spojených s působením nanočástic

Na základě stanovení doby expozice a zatřídění do skupin nebezpečnosti se vyhodnotí rizika, která jsou spojená s působením nanočástic. K tomu slouží matice (Tab. 3), kde jsou uvedeny skupiny nebezpečnosti a kategorie expozice a v příslušných polích pak hodnoty rizika.

Výsledné riziko nabývá hodnot 1, 2 a 3. Kdy jednotlivé hodnoty vyjadřují míru tohoto rizika následovně:

Hodnota	Jednoduchý popis
1	Nepředpokládá se významné ovlivnění zdraví zaměstnance působením nanočástic. Riziko potenciálních negativních zdravotních dopadů spojené s působením nanočástic na zaměstnance lze vnímat jako přijatelné. Není pravděpodobně nutné realizovat bezpečnostní opatření. Během činností, kde dochází k uvolňování nanočástic do ovzduší je však vhodné používat OPDO.
2	Nelze vyloučit negativní ovlivnění zdraví zaměstnance působením nanočástic. Riziko potenciálních negativních zdravotních dopadů spojené s působením nanočástic na zaměstnance lze vnímat jako podmíněně přijatelné. Při práci je doporučováno používat OPDO.
3	Předpokládá se negativní ovlivnění zdraví zaměstnance působením nanočástic. Riziko potenciálních negativních zdravotních dopadů spojené s působením nanočástic na zaměstnance lze vnímat jako nepřijatelné. Při práci je doporučováno vždy používat OPDO. Spolehlivost OPDO, které jsou přidělené zaměstnanci, musí být vždy individuálně otestovány.

Tab. 3: Matice hodnocení rizik spojených s působením nanočástic.

Kategorie doby expozice	Skupina nebezpečnosti				
	I.	II.	III.	IV.	V
1	1	1	1	2	2
2	1	1	2	2	3
3	1	2	2	3	3
4	2	2	3	3	3

Provedené hodnocení rizika je pouze informativní. Pro potřeby zvýšení bezpečnosti se doporučuje postupovat například podle návrhu uvedeného dále (příloha č. 1), který je však náročný na vstupní data, kdy je vždy zapotřebí měření nanočástic v prostředí.

Uvedené hodnocení rizik se týká pouze oblasti nanočástic. V konkrétních podmínkách pracoviště se v ovzduší budou často vyskytovat i další škodliviny ve formě aerosolů, rozptýlených větších pevných částic nebo plynů s různou koncentrací. Pokud budou překročeny příslušné limity, poskytne zaměstnavatel OPDO na základě ochranných vlastností, které deklaruje výrobce v návodu pro používání. Takto vybrané OPDO budou definovat výchozí hodnotu ochrany, z níž se bude vycházet při rozšířeném návrhu ochrany proti nanočásticím. V případě velmi obtížně definovatelných směsí nanočástic se nevyklučuje uplatnění postupů na základě *Control banding* [44].

2.5 Krok 5: Odstranění / omezení rizik a přidělení OOPP

V případě, kdy jsou z matice získány hodnoty 2 nebo 3, je vhodné provést opatření minimalizující riziko ovlivnění zaměstnance působením nanočástic. Nejlépe je toto provést pomocí technických a organizačních opatření. Případně pomocí opatření individuálních, resp. za pomoci OOPP, zde OPDO.

O minimalizaci rizik je vhodné uvažovat vždy v případě nebezpečí výskytu nanočástic, které jsou uvedeny v tabulce výše (Tab. 2). V těchto případech je vždy doporučeno využívat OPDO.

Použití stávajících OOPP je možné doporučit i přesto, že tato OOPP nejsou pro oblast nano testována. Na základě literatury (např. [17], [18], [19], [20]) lze pokládat účinnost před působením nanočástic za poměrně vysokou.

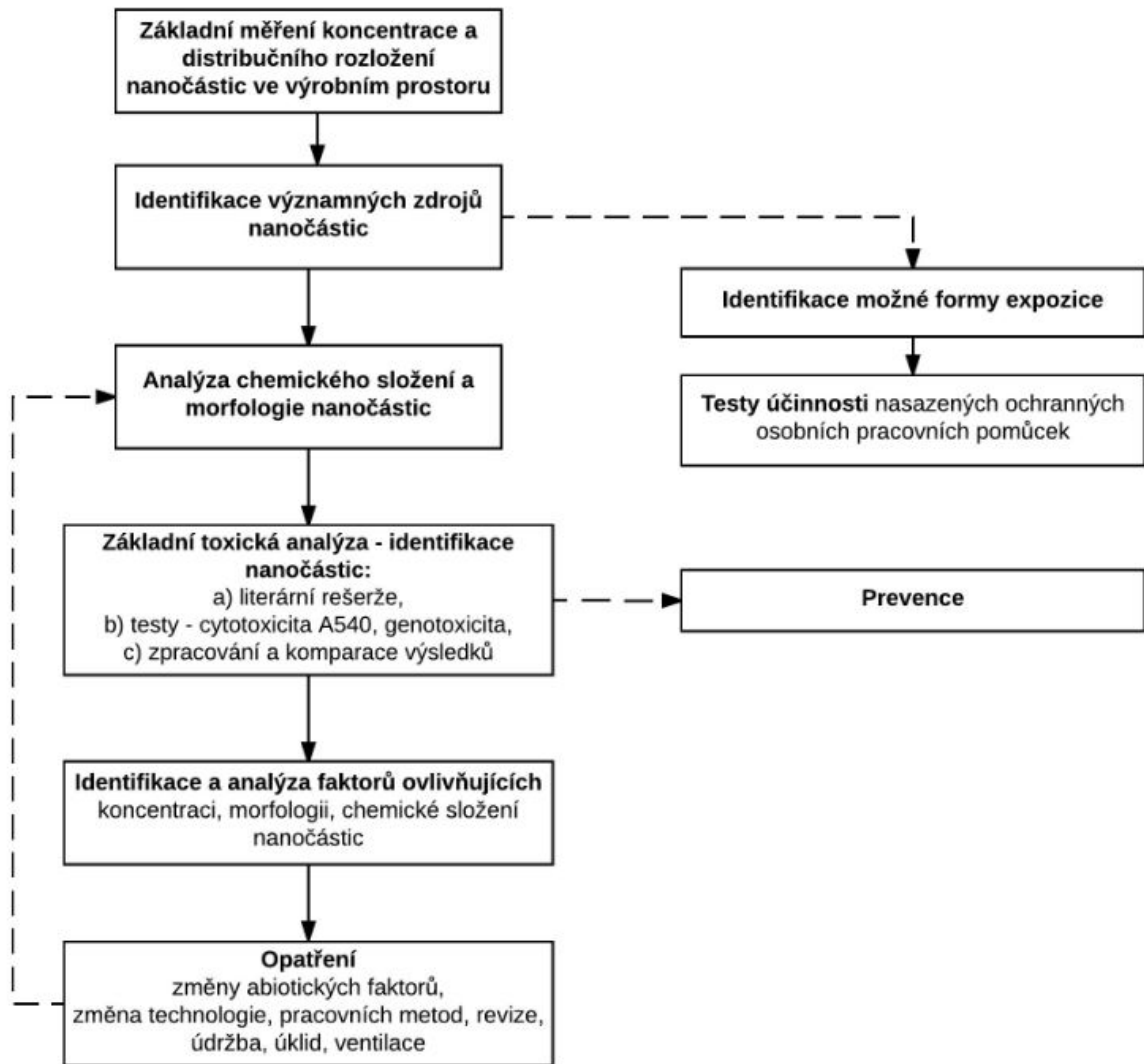
Tam, kde je riziko identifikováno hodnotou 3, se i přesto doporučuje, aby se vždy individuálně testovala účinnost přidělených OPDO (viz například [17], [21]). Individuální testování by mělo probíhat přímo na pracovišti. Změří se koncentrace nanočástic v bezprostředním okolí pracovníka při různých předpokládaných pracovních podmínkách a pohybových aktivitách. Současně se bude měřit koncentrace pomocí odběrového systému za obličejovou polomaskou (filtračním systémem) s cílem získat tzv. FIT faktor [22], ze kterého bude následně vypočtena filtrační účinnost ověřovaného ochranného prostředku v daných podmínkách.

OPDO dostupné na českém a evropském trhu lze považovat jako vhodné pro použití i pro ochranu před působením nanočástic. V případě extrémního působení nanočástic je doporučeno upřednostnit ochranu zaměstnanců pomocí technických prostředků, resp. použitím kolektivní ochrany.

V případě, kdy je riziko identifikováno hodnotou 3, případně 2, a kdy je spojeno s působením nanočástic, které jsou uvedeny v tabulce výše (Tab. 2), je vhodné věnovat se i dalším možnostem pronikání nanočástic do organismu a uvažovat například vhodnou ochranu zraku (např. [6], [23]).

3 Příloha č. 1 Návrh postupu či opatření při a po semi-systematickém měření nanočástic v technologickém provozu

Graf č. 1 Návrh postupu či opatření při a po semi-systematickém měření nanočástic v technologickém provozu [16].



4 Použitá literatura

- [1] ČESKO. Zákon č. 262/2006 Sb., Zákoník práce, ve znění pozdějších předpisů.
- [2] ČESKO. Nařízení vlády č. 495/2001 Sb., kterým se stanoví rozsah a bližší podmínky poskytování osobních ochranných pracovních prostředků, mycích, čisticích a dezinfekčních prostředků.
- [3] RADA EVROPSKÝCH SPOLEČENSTVÍ. Směrnice Rady č. 89/656/EHS o minimálních požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví pro používání osobních ochranných prostředků zaměstnanci při práci.
- [4] ČESKO. Nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci, ve znění pozdějších předpisů.
- [5] ČESKO. Nařízení vlády č.21/2003 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na osobní ochranné prostředky.
- [6] SWIDWIŃSKA-GAJEWSKA, A. M.; CZERCZAK, Sławomir. Nanomaterials--proposals of occupational exposure limits in the world and hygiene standards in Poland. *Medycyna pracy*, 2012, 64.6: 829-845.
- [7] VAN BROEKHUIZEN, Pieter, et al. Workplace exposure to nanoparticles and the application of provisional nanoreference values in times of uncertain risks. *Journal of Nanoparticle Research*, 2012, 14.4: 1-25.
- [8] VAN BROEKHUIZEN, Pieter; DORBECK-JUNG, Bärbel. Exposure limit values for nanomaterials—Capacity and willingness of users to apply a precautionary approach. *Journal of occupational and environmental hygiene*, 2013, 10.1: 46-53.
- [9] KOIVISTO, Antti J., et al. Range-finding risk assessment of inhalation exposure to nanodiamonds in a laboratory environment. *International journal of environmental research and public health*, 2014, 11.5: 5382-5402.
- [10] IFA. (2009) Criteria for assessment of the effectiveness of protective measures. Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung. Available at <http://www.dguv.de/ifa/en/fac/nanopartikel/beurteilungsmassstaebe/index.jsp>. Accessed 1 April 2016.
- [11] KUEMPEL, Eileen D.; GERACI, Charles L.; SCHULTE, Paul A. Risk assessment and risk management of nanomaterials in the workplace: translating research to practice. *Annals of occupational hygiene*, 2012, 56.5: 491-505.
- [12] HEITBRINK, William A.; LO, Li-Ming. Effect of carbon nanotubes upon emissions from cutting and sanding carbon fiber-epoxy composites. *Journal of Nanoparticle Research*, 2015, 17.8: 1-17.
- [13] KOLÁŘOVÁ, Lucie. Úvod do nanovědy a nanotechnologií, studijní opora, ISBN 978-80-244-4179-5, 48 str., 1. vyd.,
- [14] ZEMANOVÁ, Eva, et al. Composite nanofibers: Polymer-wood dust (green composites). *Journal of Materials Science and Engineering. A*, 2013, 3.10A.
- [15] VAN BROEKHUIZEN, Pieter, et al. Exposure limits for nanoparticles: report of an international workshop on nano reference values. *Annals of occupational hygiene*, 2012, 56.5: 515-524.
- [16] KLOUDA, Karel; FRIŠHANSOVÁ, Lenka; SENČÍK, Josef. Nanočástice, nanotechnologie a nanoproducty a jejich vazba na bezpečnost a ochranu zdraví při práci. *Časopis výzkumu a aplikací v profesionální bezpečnosti* [online], 2016, roč. 9, speciální č. Bezpečnost práce a kvalita života. Dostupný z: <http://www.bozpinfo.cz/josra/nanocastice-nanotechnologie-nanoproducty-jejich-vazba-na-bezpecnost-ochranu-zdravi-pri-praci>. ISSN 1803-3687.
- [17] BROCHOT, Clothilde, et al. Measurement of protection factor of respiratory protective devices toward nanoparticles. *annals of occupational Hygiene*, 2012, 56.5: 595-605.
- [18] SENČÍK, Josef, NECHVÁTAL, Marek, KOCÍK, Václav. Ochrana před nanočásticemi v pracovním ovzduší. *Bezpečnost a hygiena práce*, 2016, roč. 66, č. 4, s. 23-27 a 32. ISSN 0006-0453.
- [19] LING, Min-Pei, et al. Assessing the potential exposure risk and control for airborne titanium dioxide and carbon black nanoparticles in the workplace. *Environmental Science and Pollution Research*, 2011, 18.6: 877-889.

- [20] LI, L. I. N., et al. Evaluation of filter media for particle number, surface area and mass penetrations. *Annals of occupational hygiene*, 2012, 56.5: 581-594.
- [21] BROCHOT, Clothilde, et al. Measurement of protection factor of respiratory protective devices toward nanoparticles. *annals of occupational Hygiene*, 2012, 56.5: 595-605.
- [22] OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION, et al. Fit testing procedures (mandatory)—1910.134 App A.[cited 2006 Jan 21].
- [23] KAO, Yi-Yun, et al. Demonstration of an olfactory bulb–brain translocation pathway for ZnO nanoparticles in rodent cells in vitro and in vivo. *Journal of Molecular Neuroscience*, 2012, 48.2: 464-471.
- [24] KECK, Cornelia M.; MÜLLER, Rainer H. Nanotoxicological classification system (NCS)—a guide for the risk-benefit assessment of nanoparticulate drug delivery systems. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 2013, 84.3: 445-448.
- [25] PÁDROVÁ, Karolína — BAJEROVÁ, Kristýna — ČEJKOVÁ, Alena. Modulace toxicity nanočástic železa nulové valence. *Chemické listy*, 2016, roč. 110, č. 1, s. 48-52. ISSN: 0009-2770.
- [26] LEITNER, Jindřich; SEMIDUBSKÝ, David. Příprava, vlastnosti a využití nanostrukturovaného ZnO. *Chem. Listy*, 2016, 110: 406-417.
- [27] HRIVNÁKOVÁ, Viera; FARGAŠOVÁ, Agáta. Charakterizácia nanočástic a ich vplyv na eukaryotické bunky a vyššie rastliny. *Chem. Listy*, 2016, 110: 440-446.
- [28] CYRUSOVÁ, Tereza; PODLIPNÁ, Radka; VANĚK, Tomáš. Vliv nanočástic na rostliny. *Chem. Listy*, 2015, 109: 276-280.
- [29] VACULÍKOVÁ, Eliška; PLACHÁ, Daniela; JAMPÍLEK, Josef. Toxikologie nanoforem nosičů léčiv. *Chem. Listy*, 2015, 109: 346-352.
- [30] ZHANG, Xin, et al. Impacts of dissolved organic matter on aqueous behavior of nano/micron-titanium nitride and their induced enzymatic/non-enzymatic antioxidant activities in *Scenedesmus obliquus*. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 2016, 1-7.
- [31] SOVOVÁ, Tereza; KOČÍ, Vladimír. Ekotoxikologie nanomateriálů. *Chem. Listy*, 2012, 106: 82-87.
- [32] VERMA, Navin K., et al. Cytotoxicity evaluation of nanoclays in human epithelial cell line A549 using high content screening and real-time impedance analysis. *Journal of Nanoparticle Research*, 2012, 14.9: 1-11.
- [33] REBELLO, Valeta; SHAIKH, Shamshad; DESAI, P. V. Toxicity of cobalt oxide nanoparticles. In: 2010 International Conference on Environmental Engineering and Applications. IEEE, 2010. p. 195-199.
- [34] DOHNALOVÁ, Lucie; DOHNAL, Vlastimil. Nanočástice a jejich toxicita. *Chem. Listy*, 2015, 109: 444-450.
- [35] SIEGEL, Jakub; STASZEK, Václav, Marek. Nanočástice ušlechtilých kovů připravené v kapalinách. *Chem. Listy*, 2014, 108: 1102-1112.
- [36] ŠIMŠÍKOVÁ, Michaela; ANTALÍK, Marián. Příprava povrchovo modifikovaných ZnO nanočástic pro možnost fluorescenčního bio-zobrazování. *Chem. Listy*, 2014, 108: 673-676.
- [37] KLUKOVÁ, Ludmila; BERTÓK, Tomáš. Vlastnosti a elektrochemické využití grafénu. *Chem. Listy*, 2014, 108: 653-659.
- [38] ŠLEGEROVÁ, Jitka; CÍGLER, Petr. Nanodiamanty – fluorescenční a zobrazovací metody. *Chem. Listy*, 2014, 108: 387-393.
- [39] KUČÍRKOVÁ, Lucie, et al. Toxicita magnetických nanočástic. *Chem. Listy*, 2015, 109: 693-700.
- [40] LANONE, Sophie, et al. Comparative toxicity of 24 manufactured nanoparticles in human alveolar epithelial and macrophage cell lines. *Particle and fibre toxicology*, 2009, 6.1: 1.
- [41] ZHU, Mo-Tao, et al. Comparative study of pulmonary responses to nano- and submicron-sized ferric oxide in rats. *Toxicology*, 2008, 247.2: 102-111.
- [42] KARLSSON, Hanna L., et al. Copper oxide nanoparticles are highly toxic: a comparison between metal oxide nanoparticles and carbon nanotubes. *Chemical research in toxicology*, 2008, 21.9: 1726-1732.

[43] ASHARANI, P. V., et al. Comparison of the toxicity of silver, gold and platinum nanoparticles in developing zebrafish embryos. *Nanotoxicology*, 2011, 5.1: 43-54.

[44] PAIK, Samuel Y.; ZALK, David M.; SWUSTE, Paul. Application of a pilot control banding tool for risk level assessment and control of nanoparticle exposures. *Annals of Occupational Hygiene*, 2008, 52.6: 419-428.