

NÁSTROJE PRO NAKLÁDÁNÍ S NANOMATERIÁLY NA PRACOVÍŠTI A PREVENTIVNÍ OPATŘENÍ

Tento dokument z řady elektronická fakta představuje řadu nástrojů pro řízení rizik, které byly vytvořeny s cílem pomoci při volbě vhodných preventivních opatření na pracovišti a které mohou společně sloužit jako podpora při provádění hodnocení rizik na pracovišti, pokud jde o nanomateriály.

1. Úvod

1.1 Co jsou to nanomateriály?

Nanomateriály jsou materiály obsahující částice s jedním nebo více rozměry v rozmezí 1 až 100 nm⁽¹⁾, což je velikost srovnatelná s atomy či molekulami. Mohou být přírodního původu, například ze sopečného prachu, nebo mohou být vedlejšími produkty lidské činnosti, obsaženými například ve výfukových plynech. Velké množství nanomateriálů se však vyrábí a uvádí na trh a právě na ně se zaměřuje tento dokument z řady elektronická fakta.

Nanomateriály mají specifické vlastnosti – zejména v důsledku své malé velikosti a velkého povrchu, ale také svého tvaru, chemické povahy, konvenční forma povrchu a povrchové úpravy –, které přinášejí mnohé výhody v řadě uplatnění. Kvůli těmto vlastnostem však mohou nanomateriály mít rovněž celou škálu potenciálně toxických účinků, dokonce i když je tytéž materiály v hrubé formě nemají [2, 3].

1.2 Zdravotní a bezpečnostní rizika nanomateriálů a cesty expozice

Za běžných podmínek mohou nanomateriály tvořit aglomeráty či agregáty větší než 100 nm, čímž mění (nikoli nutně ztrácejí) svoje specifické vlastnosti. Tyto nanomateriály se nicméně mohou ze slabě vázaných aglomerátů, a za určitých podmínek i ze silněji vázaných agregátů, znovu uvolňovat. V současnosti se zkoumá, zda se tak může dít v plicích poté, co byly takovéto aglomeráty či agregáty vdechnuty [2, 3]. Aglomeráty a agregáty obsahující nanomateriály by proto měly být při hodnocení rizik na pracovišti rovněž vzaty v potaz.

Mechanismus vnitřní expozice po vstupu nanomateriálu do těla může zahrnovat další absorpci, distribuci a jeho možnou přeměnu. Některé nanomateriály byly například nalezeny v plicích, játrech, ledvinách, srdci, reprodukčních orgánech, plodu, mozku, slezině, kostech a měkkých tkáních [2]. Otázky ohledně bioakumulace nanomateriálů a mechanismů jejich eliminace z buněk a orgánů

¹ Doporučení Evropské komise uvádí [1]:

- „Nanomateriálem“ se rozumí přírodní materiál, materiál vzniklý jako vedlejší produkt nebo materiál vyrobený obsahující částice v nesloučeném stavu nebo jako agregát či aglomerát, ve kterém je u 50 % nebo více částic ve velikostním rozdělení jeden nebo více vnějších rozměrů v rozmezí velikosti 1 nm – 100 nm. Velikostní rozdělení je vyjádřeno jako počet objektů v rámci daného rozpětí velikosti, dělený celkovým počtem objektů.
- „Ve zvláštních případech a opravňují-li k tomu obavy týkající se životního prostředí, zdraví, bezpečnosti nebo konkurenceschopnosti, může být hranice 50 % ve velikostním rozdělení nahrazena hranicí mezi 1 a 50 %.“
- „Odchylně od výše uvedeného by měly být fullerény, grafenové vločky a jednoděnné uhlíkové nanotrubice s jedním nebo více rozměry pod 1 nm považovány za nanomateriály.“

zůstávají otevřené. Další věcí je, že ačkoli nanomateriál sám o sobě toxický být nemusí, může fungovat jako trojský kůň – na nanomateriál se může navázat toxičtější materiál a dostat se tak do těla, orgánů či buněk [4].

Nejzávažnější účinky nanomateriálů byly odhaleny v plicích a patří mezi ně mimo jiné zánět, poškození tkáně, oxidační stres, chronická toxicita, cytotoxicita, fibróza a vznik nádorů. Některé nanomateriály mohou ovlivňovat rovněž kardiovaskulární systém. Potenciálně nebezpečné vlastnosti vyrobených nanomateriálů jsou předmětem probíhajícího výzkumu [2, 3].

K expozici nanomateriálům na pracovišti může dojít třemi hlavními cestami [2, 4–8]:

- **Vdechnutí** je nejběžnější cestou expozice na pracovišti u nanočástic, které se přenášejí vzduchem. Vdechnuté nanočástice se mohou ukládat v závislosti na svém tvaru a velikosti v dýchacích cestách nebo v plicích. Po vdechnutí mohou projít plicním epitelem, vstoupit do krevního řečiště a dostat se tak k dalším orgánům a tkáním. Bylo zjištěno, že některé nanomateriály se také mohou prostřednictvím čichového nervu dostat do mozku.
- K **požití** může dojít v důsledku neúmyslného přenosu z rukou do úst po kontaktu s kontaminovaným povrchem nebo požitím kontaminovaných potravin či vody. K požití může také dojít následkem vdechnutí nanomateriálu, neboť mohou být polknuty vdechnuté částice odstraněné z dýchacích cest prostřednictvím mukociliárního aparátu. Některé nanomateriály mohou po požití projít střevním epitelem, vstoupit do krevního řečiště a dostat se tak k dalším orgánům a tkáním.
- Pronikání **kůží** je dosud předmětem výzkumu [6, 8]. Neporušená kůže se zdá být proti pronikání nanomateriálů dobrou překážkou [9]. Poškozená kůže je zřejmě méně efektivní, míra absorpce však bude pravděpodobně menší než při vdechování [9]. Bez ohledu na to by se kontaktu s kůží mělo rovněž předcházet a měl by být kontrolován.

Případná expozice tudíž závisí především na tom, s jakou pravděpodobností se nanomateriál dostane do vzduchu, kdy prášková forma nebo spreje představují větší potenciální riziko než kapalné suspenze, pasty či granulované a kompozitní materiály. Kapalně nanomateriály pak představují větší potenciální riziko než vázané či fixované nanostruktury, například polymerní kompozity [10].

V neposlední řadě může bezpečnostní riziko vyplývat rovněž z vysoké výbušnosti, hořlavosti a katalytického potenciálu některých nanoprášek (nanomateriálů ve formě prášku), zejména kovových.

1.3 Řízení rizik nanomateriálů na pracovišti

Na pracovišti mají zaměstnavatelé obecnou povinnost zajistit ochranu zdraví a bezpečnost zaměstnanců s ohledem na všechna hlediska týkající se jejich práce tak, že pravidelně provádějí hodnocení rizik – jak je uvedeno v „rámcové“ směrnici 89/391/EHS [11] – a ta by měla zahrnovat rovněž možná rizika způsobená nanomateriály. Směrnice 98/24/ES o chemických činitelích používaných při práci [12] pak ukládá ještě přísnější ustanovení o řízení rizik chemických látek na pracovišti – zejména uvádí posloupnost preventivních opatření, která jako prioritní opatření podporují vyloučení nebo nahrazení látky – tato opatření se rovněž vztahují na nanomateriály, neboť spadají do definice „látek“. Pokud je nanomateriál nebo materiál téhož složení v hrubé formě karcinogenní či mutagenní, musí být dodržena rovněž směrnice 2004/37/ES o karcinogenech a mutagenech při práci [13]. Ve všech případech je třeba konzultovat vnitrostátní právní předpisy, které mohou obsahovat přísnější ustanovení.

Jelikož se nanomateriály považují za chemické látky, stejně relevantní jsou také nařízení REACH (o registraci, hodnocení, povolování a omezování chemických látek) [14] a nařízení CLP (o klasifikaci, označování a balení látek a směsí) [15].

Navzdory probíhajícímu výzkumu se oblast nanotechnologií rozvíjí rychleji, než se daří vytvářet poznatky o zdravotních a bezpečnostních hlediscích nanomateriálů. Stále přetrvávají mezery ve znalostech, pokud jde o důsledky nanomateriálů pro lidské zdraví a metody hodnocení rizik.

Při provádění hodnocení rizik nanomateriálů na pracovišti proto mohou zaměstnavatelé narazit na potíže v souvislosti s:

1. nedostatkem informací o nebezpečných vlastnostech nanomateriálů;
2. neexistencí shody ohledně metod a zařízení, jež se mají používat k měření úrovně expozice

- a k určení nanomateriálů a zdrojů emisí;
3. omezenými informacemi o účinnosti opatření ke snížení rizik (filtrů, rukavic apod.) a
 4. chybějícími informacemi o přítomnosti nanomateriálů, zejména ve směsích či předmětech a u následných účastníků uživatelského řetězce, když jsou nanomateriály nebo výrobky, které je obsahují, používány či zpracovávány.

Důležitým informačním nástrojem pro předcházení rizikům nebezpečných látek na pracovišti jsou bezpečnostní listy. V současnosti však obecně obsahují jen málo informací nebo vůbec žádné informace o přítomnosti nanomateriálů a jejich vlastnostech, rizicích pro zaměstnance a preventivních opatřeních [17–19]. Organizacím se proto doporučuje, aby se obrátily přímo na dodavatele a požádaly je o doplňující informace. Očekává se, že kvalita informací uvedených v bezpečnostních listech se zlepší díky změnám v příloze II nařízení REACH [20], která je pro bezpečnostní listy právním rámcem, a v pokynech agentury ECHA pro bezpečnostní listy [21], v nichž jsou uvedeny další informace o tom, jak se vypořádat s charakteristickými vlastnostmi nanomateriálů.

Pokyny Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj (OECD) [22] poskytují podporu při určování možných zdrojů emisí vzduchem přenášených nanomateriálů z různých druhů procesů a pracovních postupů.

Předběžné náznaky ukazují, že následující činnosti a postupy pracovišti zahrnující nanomateriály vyžadují při posuzování expozice zvláštní pozornost a při řízení rizik je nutno je upřednostnit:

- činnosti, při nichž jsou používány nanomateriály s těmito vlastnostmi:
 - nanomateriály, o nichž je známo, že mají toxické účinky (například arzen, kadmium a jejich sloučeniny nebo krystalický oxid křemičitý), nebo jejichž konvenční forma je známa specifickými toxickými účinky,
 - biologicky perzistentní nanomateriály jak ve formě vláken (například uhlíkové nanotrubičky), tak v jiných formách (oxid titaničitý, oxid hlinitý) a
 - rozpustné materiály, u kterých byla zjištěna zdravotní rizika nebo u nichž nebylo prokázáno, že žádná zdravotní rizika nemají,
- jakákoli situace, kdy mohou být nanomateriály přenášeny vzduchem, například při plnění nanomateriálů nebo chemických látek obsahujících nanomateriály do mlecího nebo směšovacího zařízení nebo jejich vyjímání z těchto zařízení, plnění chemických látek do obalů, vytváření vzorků vyráběných chemických látek nebo otevírání systémů za účelem vynětí výrobku,
- čištění a údržba instalací (včetně uzavřených výrobních systémů) a zařízení pro snižování rizik, například filtrů v systémech místního odsávání odvětrávání,
- výzkum a vývoj chemických látek obsahujících nanomateriály, například kompozitních materiálů,
- nakládání s prášky a směsmi určenými k nástřiku obsahujícími nanomateriály; prášky, u nichž existuje pravděpodobně vyšší riziko výbuchu, samovznícení nebo vzniku elektrostatického náboje, což vzbuzuje obavy z hlediska bezpečnosti. Kromě toho mohou tvořit oblaka prachu, což vede k expozici vdechováním,
- mechanické nebo tepelné zpracování předmětů obsahujících nanomateriály, které by se v důsledku uvedených postupů mohly uvolnit (například zpracování pomocí laseru, drcení či řezání),
- zpracování odpadu, jehož součástí jsou předměty obsahující nanomateriály.

V zásadě lze za kritické označit veškeré činnosti zahrnující nanomateriály, které jsou prováděny mimo uzavřené zařízení, neboť představují riziko expozice pro zaměstnance. Expozice je však možná i v uzavřeném zařízení, například při úniku nebo během čištění či údržby, což je třeba při hodnocení rizik a provádění preventivních opatření rovněž zohlednit.

Je důležité, aby při hodnocení rizik byly upřednostněny nejen nanomateriály se známými dopady na zdraví a bezpečnost, ale i nanomateriály, u nichž informace ohledně jejich rizik a expozice chybějí, jsou neúplné nebo nespolehlivé – v takovém případě je třeba při předcházení expozici nanomateriálům uplatnit přístup založený na předběžné opatrnosti.

Jelikož na nanomateriály nelze kvůli výše zmíněné nejistotě vždy použít tradiční přístupy k hodnocení rizik nebezpečných látek, alternativní možností je použít rozřazení do kontrolních pásem. To je

zjednodušená metoda hodnocení rizik činností a chemických látek, které se při nich používají, a jejich rozřazení do pásem podle potenciální nebezpečnosti a potenciální expozice na posuzovaném pracovišti.

Tento dokument z řady „elektronická fakta“ představuje řadu nástrojů pro řízení rizik založených na rozřazování do kontrolních pásem, které byly vytvořeny s cílem pomoci při volbě vhodných preventivních opatření na pracovišti a které mohou – s ohledem na výše zmíněná omezení – sloužit společností jako podpora a vodítko při hodnocení rizik.

2 Dostupné průvodce a nástroje pro nakládání s nanomateriály na pracovišti

S cílem překonat již zmíněná omezení a usnadnit hodnocení rizik a nakládání s nanomateriály na pracovišti byla vypracována řada užitečných a informativních průvodců a nástrojů.

Stejně jako při jakémkoli jiném hodnocení rizik závisí míra komplexnosti a podrobnosti na dotčené nebezpečné látce a prováděné činnosti. Ve složitějších situacích se proto doporučuje vyhledat k použití těchto nástrojů odbornou pomoc.

Kromě níže popsanych průvodců a nástrojů zadala Evropská komise v době vypracovávání tohoto dokumentu společností Risk & Policy Analysts Ltd (<http://rpaltld.co.uk/>) a IVAM UvA BV (<http://www.ivam.uva.nl>) vyhotovení praktických pokynů pro bezpečnou práci s umělými nanomateriály a nanotechnologiemi na pracovišti coby součást širší studie zaměřené na určení možných dopadů nanomateriálů a nanotechnologií na pracovišti a zhodnocení rozsahu a požadavků případných změn příslušných právních předpisů EU týkajících se bezpečnosti a ochrany zdraví na pracovišti. (Další informace naleznete na adrese <http://ec.europa.eu/social/main.jsp?catId=148&langId=en&callId=311&furtherCalls=yes>).

2.1 On-line interaktivní nástroje pro rozřazování do kontrolních pásem

Rozřazování do kontrolních pásem je kvalitativní nebo částečně kvantitativní přístup k hodnocení a řízení rizik s cílem podporovat bezpečnost a ochranu zdraví při práci (BOZP). Jeho účelem je minimalizovat expozici zaměstnanců nebezpečným chemickým látkám a jiným rizikovým faktorům na pracovišti, zejména v pracovních situacích, kdy jsou informace o nebezpečnosti, úrovních expozice a rizicích omezené. Tyto nástroje se zabývají nejistotou rizika v daném pracovním prostředí či při dané činnosti tak, že pragmaticky a na základě předběžné opatrnosti stanoví odhad příslušného rizika. Jinými slovy, při neexistenci úplného souboru údajů se uplatní přístup předběžné opatrnosti.

Účelem těchto nástrojů je pomáhat organizacím tím, že poskytují snadno srozumitelný a praktický přístup k hodnocení rizik na pracovišti, a pomáhat jim s volbou vhodných preventivních opatření a se zvyšováním povědomí o rizicích spojených s používáním nanomateriálů a zacházením s nimi. Mohou tudíž být obzvláště užitečné pro malé a střední podniky (MSP), zejména mikropodniky, které se mohou potýkat s dalšími obtížemi kvůli tomu, že mají méně zdrojů nebo postrádají interní odborníky na tuto oblast.

Většina těchto nástrojů se průběžně vyvíjí a aktualizuje na základě nových poznatků o zdravotních a bezpečnostních aspektech nanomateriálů, metodách měření úrovně expozice a preventivních opatřeních. Jelikož jsou však informace v této oblasti v současnosti omezené, rozřazování do kontrolních pásem spoléhá na řadu předpokladů týkajících se rizik a expozice a použití této metody je do určité míry omezené.

2.1.1 Stoffenmanager Nano (k dispozici v nizozemštině, angličtině a finštině)

K dispozici na adrese <http://nano.stoffenmanager.nl/Default.aspx>

Stoffenmanager Nano Modul 1.0 (verze 1.0) je nástroj pro rozřazování do kontrolních pásem vytvořený nizozemským Ministerstvem sociálních věcí a zaměstnanosti spolu s organizací TNO (nizozemská organizace pro aplikovaný vědecký výzkum) a společností Arbo Unie pro účely kvalitativního hodnocení a řízení rizik pro zdraví při práci, která vyplývají z expozice nanomateriálům prostřednictvím vdechování [23]. Nástroj Stoffenmanager Nano byl vyvinut s cílem pomáhat zaměstnavatelům a zaměstnancům při přednostním řešení situací, v nichž dochází k expozici

nanomateriálům v důsledku nakládání s těmito materiály, a při volbě vhodných opatření k řízení rizik. Nástroj je zdarma k dispozici on-line (je nutné se zaregistrovat).

Je vhodný pro všechny druhy nerozpustných vyráběných nanomateriálů, například uhlíkových nanočástic, nerozpustných kovových nanočástic, nanočástic oxidů kovů a perzistentních nanovláken. V případě rozpustných nanočástic je uživatel přesměrován na obecný nástroj Stoffenmanager pro řízení rizik při práci s nebezpečnými látkami. Stoffenmanager Nano lze použít tehdy, je-li velikost primárních nanočástic menší než 100 nm nebo specifický povrch nanoprášku větší než 60 m²/g. Nástroj je použitelný na jednotlivé částice, aglomeráty nebo agregáty. Je založen na určení nebezpečnosti a pásem expozice prostřednictvím různých atributů, přičemž každému atributu je přiděleno bodové hodnocení. Podle těchto bodů se určí konkrétní pásmo nebezpečnosti (nízká, průměrná, vysoká, velmi vysoká nebo extrémní) a pásmo expozice (nízká, průměrná, vysoká nebo velmi vysoká). Kombinace těchto rozmezí určuje celkovou prioritu rizika (nízké, střední nebo vysoké).

Atributy používané k zařazení nanomateriálů do těchto pásem nebezpečnosti souvisí s vlastnostmi nanomateriálů a toxikologickými údaji, jakož i s vlastnostmi těchto materiálů v konvenční formě. Veškerá nerozpustná nanovláknina se řadí do pásma s nejvyšší nebezpečností, neboť panují obavy ohledně jejich účinků po vdechnutí, které by mohly být obdobné jako u azbestu.

Potenciální expozice se posuzuje po jednotlivých krocích, přičemž se zohledňují různé aspekty od zdroje nanomateriálu po dýchací zónu zaměstnance. Faktory používané k určení pásma expozice jsou tyto:

- možnost, že se nanomateriál dostane do vzduchu (prašnost),
- postup nakládání s nanomateriály,
- používaná kontrolní opatření,
- diluční/disperzní potenciál nanomateriálu,
- oddělení zaměstnance od nanomateriálů,
- kontaminace povrchu,
- používané ochranné pracovní prostředky na ochranu dýchacích cest,
- jak často je úkol vykonáván a
- doba trvání úkolu.

Nástroj Stoffenmanager Nano nakonec na základě kombinace výsledků rozřazování do pásem podle expozice a nebezpečnosti vytvoří tři riziková (prioritní) pásma. Poté lze vypracovat plán snižování rizik. Nástroj Stoffenmanager Nano uvádí seznam možných kontrolních opatření pro každé rizikové pásmo, která mohou být uplatňována s cílem snížit potenciální expozici a tím snížit riziko. Postup hodnocení rizik se následně opět provede automaticky. To uživateli umožňuje prověřit účinnost zvolených kontrolních opatření.

Nástroj Stoffenmanager Nano nabízí možnost vytvořit a vytisknout zprávu s výsledky hodnocení rizik. Kromě toho uživatelé umožňuje vytvářet seznamy/knihovny nanovýrobků používaných na pracovišti / ve společnosti a nabízí vzdělávací informační listy s příklady osvědčených postupů a videi PIMEX⁽²⁾.

2.1.2 CB Nanotool 2.0 (k dispozici v angličtině)

K dispozici na adrese <http://controlbanding.net/Services.html>

CB Nanotool 2.0 je interaktivní sada nástrojů pro rozřazování nanomateriálů do kontrolních pásem. Tato sada nástrojů byla vytvořena americkou národní laboratoří Lawrence Livermore za účelem provádění hodnocení rizik a ochrany výzkumných pracovníků v laboratoři [24–26].

Nástroj k určení úrovně rizika využívá matici o rozsahu 4x4, kde se na jedné ose nacházejí parametry

² PIMEX (z angl. *Picture Mixed Exposure*) jsou videa, která lze využít k získání přehledu o dopadech kontrolních opatření.

Nizozemské Ministerstvo sociálních věcí a zaměstnanosti vytvořilo tato videa jako součást rozšíření programu opatření v oblasti BOZP týkajících se chemických látek. Více informací naleznete na adrese

<https://stoffenmanager.nl/Public/Pimex.aspx>.

závažnosti a na druhé parametry pravděpodobnosti. Bodové hodnocení závažnosti se vypočítá pomocí těchto faktorů:

- vlastnosti nanomateriálu:
 - povrchové chemické vlastnosti,
 - tvar částic,
 - průměr částic,
 - rozpustnost,
 - karcinogenní a mutagenní vlastnosti a toxicita pro reprodukci (CMR) (tři faktory),
 - dermální toxicita a
 - vlastnosti způsobující astma,
- vlastnosti výchozího materiálu:
 - toxicita na základě limitní hodnoty expozice výchozímu materiálu na pracovišti (OEL),
 - karcinogenní a mutagenní vlastnosti a toxicita pro reprodukci (CMR) (tři faktory),
 - potenciální nebezpečnost při styku s kůží a
 - vlastnosti způsobující astma.

Bodové hodnocení pravděpodobnosti je založeno na následujících faktorech, které určují rozsah potenciální expozice:

- množství nanomateriálu, s nímž se během pracovní činnosti nakládá,
- prašnost či mlžnost materiálu,
- počet zaměstnanců s podobnou expozicí,
- jak často je činnost vykonávána a
- doba trvání činnosti.

Nástroj uvádí, jak jednotlivé parametry hodnotit, a stanoví maximální počty bodů, které jim lze přidělit.

Nejistotu rizik nanomateriálů pro zdraví řeší nástroj kombinováním informací o nanomateriálu a o témže materiálu v konvenční formě. Nejsou-li informace ve vztahu ke konkrétnímu parametru známy, přidělí se neznámému parametru výchozí hodnota 75 % maximálního počtu bodů definovaného pro daný parametr. Tím by mělo být dosaženo rovnováhy mezi zásadou předběžné opatrnosti (konzervativním přístupem) a podloženým vědeckým odhadem, což umožňuje pokračovat ve výzkumu a zároveň zajistit ochranu zaměstnanců.

Úroveň rizika vyplývajícího z nakládání s nanomateriálem se potvrdí kombinací bodových hodnocení závažnosti a pravděpodobnosti. Tato metoda definuje čtyři možné úrovně rizika s odpovídajícími kontrolními pásmy:

- celkové odvětrávání (nejnižší úroveň rizika),
- odsávací trychtýř nebo místní odsávací odvětrávání,
- uzavření (izolace) a
- nutnost vyhledat specializované poradenství (nejvyšší úroveň rizika).

2.1.3 NanoSafer (k dispozici v dánštině)

K dispozici na adrese <http://nanosafer.i-bar.dk/>

NanoSafer je dánský nástroj pro rozřazování do kontrolních pásem zaměřený na nakládání s nanomateriály na pracovišti [27]. Tento nástroj je určen pouze pro nanomateriály ve formě prášku. Nástroj NanoSafer byl vyvinut Dánským technologickým institutem a Národním výzkumným střediskem pro pracovní prostředí. Je zdarma dostupný on-line (je nutné se zaregistrovat), avšak

pouze v dánštině.

Prvním krokem je určení nanomateriálu a jeho fyzikálních vlastností (velikost částic, hustota a povrch), OEL (limitní hodnoty expozice na pracovišti; je-li k dispozici), indexu prašnosti (u respirabilního nebo minerálního prachu) a toxikologických informací z bezpečnostního listu.

Druhým krokem je definice procesu (nakládání s práškem nebo náhodný únik, například rozsypání), množství použitého nanomateriálu, četnost použití a pracovní prostředí.

Tato metoda kombinuje údaje o materiálu (umožňující posoudit úroveň toxicity) s údaji o procesu (umožňujícími posoudit úroveň expozice). Úroveň rizika se posuzuje pro akutní expozici (15 minut) a 8hodinovou expozici. Provádí se jak pro zaměstnance, kteří se nacházejí v blízkosti zdroje emisí (expozice v blízkém okolí), tak pro ty ve větší vzdálenosti (expozice ve vzdáleném okolí). Nástroj kromě toho doporučuje kontrolní opatření vhodná pro jednotlivé úrovně rizika a obsahuje vzdělávací videa o těchto opatřeních.

2.2 Další nástroje pro rozřazování nanomateriálů do kontrolních pásem

2.2.1 Nástroj ANSES pro rozřazování nanomateriálů do kontrolních pásem (k dispozici ve francouzštině a v angličtině)

K dispozici na adrese <http://www.afsset.fr/index.php?pageid=2820&parentid=805>

Tento nástroj pro rozřazování nanomateriálů do kontrolních pásem byl vyvinut odborníky z francouzské Agentury pro bezpečnosti potravin a ochranu životního prostředí a zdraví při práci (ANSES) společně se skupinou odborníků z francouzského Národního institutu pro výzkum a bezpečnost (INRS), kanadského Institutu Roberta Sauvého pro bezpečnost a ochranu zdraví při práci (IRSST), belgického Vědeckého institutu veřejného zdraví (ISP-WIV) a švýcarského Institutu pro zdraví při práci (IST). Nástroj ANSES je dostupný pouze v tištěné verzi [28].

Nástroj lze používat v jakémkoli pracovním prostředí, kde se vyrábí nebo používají nanomateriály, například v průmyslových provozech, výzkumných laboratořích a v pilotních závodech.

Autoři upozorňují, že tato metoda musí být začleněna do celkového systému řízení BOZP, což platí i pro všechny ostatní nástroje popsané v tomto dokumentu z řady „elektronická fakta.“ Její použití nicméně podléhá určitým omezením:

- tato metoda by se měla uplatňovat pouze na běžné nakládání s materiály na pracovišti coby součást obvyklého provozu společnosti,
- nanomateriály by neměly být příliš zředěné ani v příliš velkém objemu,
- metodu lze použít pouze k určení rizik pro zdraví – nikoli bezpečnostních rizik (tj. ne pro riziko požáru/výbuchu) nebo rizik pro životní prostředí.

Rovněž se doporučuje, aby uživatel měl odpovídající kvalifikaci v oblasti prevence rizik chemických látek (tj. chemie či toxikologie), nanovědy a nanotechnologie. V neposlední řadě je třeba poznamenat, že při používání této metody bez odborných zkušeností, analytického přístupu nebo podpory může vést k nepravdivým předpokladům a následnému přijetí nevhodných preventivních opatření, čímž se riziko expozice zvýší.

Určení rizikového pásma začíná zodpovězením předběžných otázek:

- zda výrobek či materiál používaný v pracovním postupu obsahuje nanomateriály,
- zda je nanomateriál nebo výrobek obsahující nanomateriály klasifikován jako nebezpečná látka, nebo
- zda výrobek obsahuje biologicky perzistentní nanomateriály ve formě vláken.

Je-li nanomateriál nebo dotčený výrobek klasifikován v souladu s právními předpisy o chemických látkách a označování, informace o klasifikaci by měly být využity k určení rizikového pásma. Pokud jsou toxikologické informace neúplné nebo neexistují, rizikové pásmo se určí předběžně na základě

informací dostupných pro výchozí materiál nebo obdobný materiál (tj. materiál s podobným složením nebo krystalickou fází, z téže chemické kategorie a s podobnými zdokumentovanými fyzikálně-chemickými vlastnostmi jako dotčená látka). Pro případy, kdy se použijí informace o toxicitě výchozího nebo obdobného materiálu, nástroj popisuje přírůstkové faktory, jimiž se řeší nejistota spojená s použitou analogií. Existuje-li materiál v hrubé formě, má přednost před obdobným materiálem. A konečně, pokud lze pro tentýž materiál v konvenční formě (obdobný materiál) zvolit různé možnosti, zohlední se ta nejtoxicitější.

Nástroj nelze použít, pokud je toxicita nanomateriálu neznámá nebo ji není možné spojit s žádným výchozím či obdobným materiálem.

Aby bylo možné činnosti, při nichž se nakládá s nanomateriály, zařadit do pásem expozice, je třeba provést odhad emisního potenciálu dané činnosti. Klíčovým parametrem v tomto odhadu je fyzikální forma zpracovávaného nanomateriálu. V úvahu přicházejí čtyři fyzikální kategorie: tuhá látka, kapalina, prášek a aerosol. V určitých případech se emisní potenciál dané fyzikální formy upraví tak, aby zohledňoval přirozený sklon materiálu být přenášen vzduchem (jedná se například o drobitivé tuhé látky (tuhé látky, které lze rozdrobit, rozemnout nebo rozmělnit na prášek pouhou rukou), vysoce těkavé kapaliny nebo prášky s vysokou či průměrnou prašností) a určité postupy zpracování (například tavení a nástřik).

Rizikové kontrolní pásmo je dáno kombinací pásem nebezpečnosti a emisního potenciálu. Pro každé z pěti rizikových kontrolních pásem definovaných v nástroji jsou doporučena technická řešení:

- přirozené nebo mechanické celkové odvětrávání (kontrolní pásmo 1),
- místní odvětrávání (kontrolní pásmo 2),
- uzavřené odvětrávání (kontrolní pásmo 3),
- úplná izolace (kontrolní pásmo 4) a
- úplná izolace spolu s přezkumem odborníka (kontrolní pásmo 5).

2.2.2 Pokyny pro bezpečnou práci s nanomateriály a nanovýrobky – průvodce pro zaměstnavatele a zaměstnance (dostupné v angličtině)

K dispozici na adrese

<http://www.industox.nl/Guidance%20on%20safe%20handling%20nanomats&products.pdf>

Tyto pokyny pro rozřazování do kontrolních pásem vznikly díky společnému úsilí nizozemských zaměstnavatelů, zaměstnanců a sociálních partnerů (FNV, VNO-NCV a CNV) a byly financovány nizozemským Ministerstvem sociálních věcí a zaměstnanosti. Pokyny jsou zvláště zaměřeny na zaměstnavatele a zaměstnance, aby mohli pracoviště pro práci s nanomateriály a výrobky obsahujícími nanomateriály uspořádat bezpečně, a poskytují jim podporu při navrhování vhodných kontrolních opatření a zavádění osvědčených pracovních postupů. Jsou dostupné pouze v tištěné verzi [29].

Pokyny sestávají z osmi různých kroků a uvádějí vhodné formy shromažďování požadovaných informací:

- vytvoření seznamu vyráběných nebo používaných nanomateriálů,
- určení potenciálních rizik pro zdraví spojených s vyráběnými či používanými nanomateriály (tři kategorie),
- vytvoření seznamu činností, které se s nanomateriály provádějí,
- bodové hodnocení pravděpodobnosti, že zaměstnanci budou během prováděných činností vystaveni nanočásticím (tři kategorie),
- získání výsledného kontrolního pásma pro každou činnost (tři kategorie),
- vypracování akčního plánu s opatřeními k řízení rizik,
- vytvoření seznamu všech zaměstnanců, kteří zacházejí s nanomateriály kategorie nebezpečnosti 2 nebo 3 a
- zjištění, zda je možný preventivní lékařský dohled, a provedení odpovídajících kroků.

Tyto pokyny pro rozřazování do kontrolních pásem jsou jednoduché, snadno se používají a uvádějí doporučená opatření k řízení rizik s cílem zlepšit bezpečnost při práci s umělými nanomateriály. Zdůrazňuje se, že platí stávající právní předpisy pro práci s nebezpečnými látkami; pokud byl nanomateriál odpovídající materiál v hrubé formě klasifikován jako karcinogenní, mutagenní či toxický pro reprodukci, nebo pokud tyto vlastnosti vykazuje sám nanomateriál, je třeba se řídit příslušnými právními předpisy. Pokyny neposkytují podporu pro řízení rizik u nezáměrně vzniklých nanomateriálů, jako jsou dieselové výfukové plyny nebo svářečské plyny.

2.2.3 *Queenslandský Úřad pro bezpečnost a ochranu zdraví při práci: pracovní list pro rozřazování nanomateriálů do kontrolních pásem (k dispozici v angličtině)*

K dispozici na adrese

<http://www.deir.qld.gov.au/workplace/subjects/nanotechnology/controlbanding/index.htm>

Oddíl tohoto pracovního listu sloužící k rozřazování do kontrolních pásem je podobný sadě nástrojů CB Nanotool 2.0. Bere v potaz rovněž hořlavost nanomateriálů, nezahrnuje však všechny informace potřebné ke zhodnocení rizik požáru a výbuchu nanomateriálů.

Tento nástroj je obzvláště vhodný pro výzkumná pracoviště, kde se obvykle používají jen malá množství nanomateriálů. Lze jej nicméně použít obecně na všech pracovištích, kde jsou nanomateriály přítomny. Nástroj se bude pravděpodobně zdokonalovat, až bude k dispozici více informací o nebezpečnosti a rizicích nanomateriálů.

2.3 Další nástroje

2.3.1 *GoodNanoGuide (GNG) (k dispozici v angličtině)*

K dispozici na adrese <http://www.goodnanoguide.org>

GoodNanoGuide (GNG) je interaktivní on-line platforma pro spolupráci, kterou vyvinula Mezinárodní rada pro nanotechnologie na Riceově univerzitě v USA. Tyto webové stránky slouží jako platforma pro výměnu poznatků o nakládání s nanomateriály na pracovišti. Poskytují rovněž pokyny ohledně toho, jak nejlépe zacházet s nanomateriály v pracovním prostředí, a to pro začínající, středně pokročilé a pokročilé uživatele [30].

Oddíl pro **začínající uživatele** obsahuje pouze stručné vysvětlení nanomateriálů a nanotechnologií a bezpečnosti při zacházení s těmito technologiemi a odkazy na další internetové zdroje.

Oddíl pro **středně pokročilé uživatele** předpokládá, že je uživatel s nanotechnologiemi a nanomateriály již obeznámen a hledá pokyny či protokoly pro práci s konkrétními druhy umělých nanomateriálů. Tento oddíl navrhuje tři různé způsoby, jak lze nanomateriál zařadit do příslušné kategorie. Uživatel se rozhodne, jaký přístup považuje pro situaci na svém pracovišti za nejlepší:

- První přístup spočívá ve zjednodušeném rozřazení do kontrolních pásem, kdy jsou nanomateriály klasifikovány podle rozsahu znalostí o rizicích nanomateriálů (zda jsou netečné/reaktivní nebo to není známo). Uvádí rovněž pokyny ohledně toho, jak lze kontrolovat expozici na základě doby jejího trvání (krátkodobá/střednědobá/dlouhodobá), a možnosti, že se nanomateriál dostane do vzduchu (vázané materiály / materiály, které se mohou uvolňovat / volné či nevázané materiály).
- Druhý navrhovaný přístup je převzat od Britského normalizačního institutu (BSI), podle kterého se nanomateriály řadí do kategorií na základě druhu rizika (materiály ve formě vláken / karcinogenní, mutagenní, způsobující astma nebo toxické pro reprodukci / nerozpustné / rozpustné) [31]. Považuje se za výchozí bod pro posuzování nebezpečnosti. Pro posouzení / kontrolu expozice nejsou stanoveny žádné pokyny.
- Třetí přístup vychází z chemické struktury nanomateriálu (fullereny / uhlíkové nanotrubičky / kovy / oxidy / kvantové tečky / polovodičové nanomateriály). Uvedeny jsou informace o konkrétních rizicích a protokoly pro bezpečné zacházení.

Oddíl pro **pokročilé uživatele** obsahuje protokoly pro bezpečné zacházení s nanomateriály

s ohledem na životní prostředí, zdraví a bezpečnost. Obsahuje schéma činností, které představují potenciální riziko při zacházení s různými fyzikálními formami nanomateriálů (suchý prášek, kapalná disperze, pevné polymerní kompozity a nepolymerní kompozity).

- Postup začíná určením **potenciálních rizik**. Ukazateli potenciálních rizik, které je třeba zohlednit, jsou fyzikálně-chemické, toxikologické a ekotoxikologické vlastnosti (například velikost částic, povrch, povrchové chemické vlastnosti, reaktivita, morfologie, bio-perzistence, interakce s biomolekulami a antimikrobiální účinky a možné změny způsobené například stárnutím nanomateriálu či interakcemi s jinými molekulami). Doporučuje se rovněž systém institutu BSI pro klasifikaci [31].
- Druhým krokem je provedení odhadu **potenciálu expozice**. Nástroj poskytuje informace o expozici během různých fází zacházení s nanomateriálem.
- Třetím krokem v tomto postupu je volba vhodných **kontrolních opatření**. Nástroj poskytuje informace o doporučených kontrolních opatřeních pro různé činnosti, při nichž se nakládá s nanomateriály.

Oddíl pro pokročilé uživatele rovněž obsahuje editovatelnou referenční příručku BOZP, která uživateli poskytuje pokyny týkající se zkoumání a zmírňování rizik, která nanomateriály představují.

2.4 Srovnávací přehled popsaných nástrojů

Tabulka 1: Přehled nástrojů pro řízení rizik a jejich charakteristiky

Nástroj pro řízení rizik	Přístup k řízení rizik	Oblast použití	Omezení
Stoffenmanager Nano (v nizozemštině, angličtině a finštině)	1) určení nanomateriálů a vytvoření seznamu vlastností nanomateriálů 2) popis postupů 3) popis pracoviště 4) popis již zavedených kontrolních opatření 5) výsledné hodnocení rizik 6) vytvoření akčního plánu s opatřeními k řízení rizik	(Ve vodě) nerozpustné vyráběné nanomateriály o velikosti menší než 100 nm a specifickém povrchu větším než 60 m ² /g. To zahrnuje především nanočástice, aglomeráty a agregáty.	a) Pokud nanomateriál náleží do nejvyšší třídy nebezpečnosti (E), představuje riziko s vysokou prioritou bez ohledu na expozici, neboť nástroj ve vztahu k nejnebezpečnějším materiálům vychází z přístupu předběžné opatrnosti. b) Všechny materiály ve formě vláken se řadí do nejvyšší třídy nebezpečnosti (E). c) Kontrolní opatření zvolená k použití v rámci nástroje málokdy snižují skutečnou úroveň rizika.
CB Nanotool 2.0 (v angličtině)	Typický systém pro rozřazování do kontrolních pásem s odhadem rizikového pásma (bodové hodnocení závažnosti) a pásma expozice (bodové hodnocení pravděpodobnosti) pro	Práce v rozsahu laboratorní činnosti; situace, při nichž se zachází pouze s malými množstvími nanomateriálů.	Sledované toxikologické vlastnosti zahrnuté v nástroji byly jen málokdy zkoumány; pásmo expozice zahrnuje pouze několik činitelů.

Nástroj pro řízení rizik	Přístup k řízení rizik	Oblast použití	Omezení
	danou činnost, který se používá k určení celkové úrovně rizika. Bodové hodnocení závažnosti se vypočte na základě vlastností nanomateriálu a materiálu v hrubé formě. Pro každou úroveň rizika je uveden doporučený kontrolní přístup.		
NanoSafer (v dánštině)	1) určení vlastností nanomateriálu a materiálu v hrubé formě (velikost částic, hustota a povrch), limitních hodnot expozice na pracovišti (OEL), které jsou k dispozici u respirabilního nebo minerálního prachu, indexu prašnosti a toxikologických informací z bezpečnostního listu 2) určení procesu (nakládání s práškem nebo náhodný únik) 3) určení bodového hodnocení 4) poskytnutí pokynů pro kontrolní opatření	Pracoviště, kde se nakládá s nanomateriály ve formě prášku, a náhodné úniky nanomateriálů	Posouzení nebezpečnosti vychází z fyzikálních parametrů a bezpečnostních listů, které málokdy obsahují jakékoli toxikologické informace o nanomateriálu; nástroj zahrnuje pouze nanomateriály ve formě prášku; je dostupný pouze v dánštině.
Nástroj ANSES pro rozřazování do kontrolních pásem (ve francouzštině a v angličtině)	Nástroj pro rozřazování do kontrolních pásem integrovaný do systému OHSAS 18001 (norma pro řízení systémů BOZP): 1) analýza dostupných informací (o výrobku a pracovišti) 2) určení rizikového pásma	Všechna pracovní prostředí	Informace nutné k určení rizikového pásma (například aktivita reaktivní formy kyslíku) může být obtížné shromáždit. Je dostupný pouze v tištěné verzi.

Nástroj pro řízení rizik	Přístup k řízení rizik	Oblast použití	Omezení
	3) určení emisního potenciálu 4) stanovení akčního plánu 5) realizace akčního plánu 6) rutinní monitorování 7) pravidelný přezkum rizik 8) vědecký a technologický průzkum za účelem aktualizace znalostí 9) zaznamenávání údajů		
Pokyny pro bezpečnou práci s nanomateriály a nanovýrobky (v angličtině)	1) vytvoření seznamu vyráběných nebo používaných nanomateriálů 2) klasifikace potenciálních rizik vyráběných či používaných nanomateriálů pro zdraví	Pro zaměstnavatele a zaměstnance pracující s nanomateriály.	Je dostupný pouze v tištěné verzi.
	3) vytvoření seznamu činností, které se s nanomateriály provádějí 4) klasifikace možnosti expozice zaměstnanců 5) získání výsledného kontrolního pásma pro každou činnost zahrnující nanomateriály 6) vypracování akčního plánu 7) vedení seznamu zaměstnanců, kteří zacházejí s nanomateriály 8) zjištění, zda je možný preventivní lékařský dohled		

Nástroj pro řízení rizik	Přístup k řízení rizik	Oblast použití	Omezení
Queenslandský pracovní list pro rozřazování nanomateriálů do kontrolních pásem (v angličtině)	Nástroj pro rozřazování do kontrolních pásem podobný sadě nástrojů CB Nanotool, avšak zahrnující i aspekt hořlavosti	Stejná jako u sady nástrojů CB Nanotool. Bere v potaz i hořlavost.	Stejná jako u sady nástrojů CB Nanotool. Riziko požáru a výbuchu není zcela určeno. Je dostupný pouze v tištěné verzi.
GoodNanoGuide (v angličtině)	Pokyny jsou uvedeny podle úrovně znalostí uživatele: pro začínající, středně pokročilé a pokročilé uživatele. Podle možnosti pro pokročilé uživatele spočívá řízení rizik v 1) určení potenciální nebezpečnosti, 2) odhadu expozice a 3) doporučení kontrolních opatření.	Přístup je velice obecný a lze jej použít v mnoha situacích, kdy se používají nanomateriály.	Řada webových stránek nástroje je dosud neúplná. Pokyny vycházejí z právních předpisů USA (například co se týče osobních ochranných pracovních prostředků).

3 Preventivní opatření

Poté, co zaměstnavatel provede hodnocení rizik vyplývajících z expozice nanomateriálům, musí zajistit, aby se této expozici předešlo nebo byla náležitě kontrolována.

3.1 Vyloučení a nahrazení

Stejně jako u všech ostatních nebezpečných látek by mělo mít vyloučení a nahrazení látky přednost před ostatními preventivními opatřeními. Cílem je, aby se u všech zaměstnanců předešlo expozici nanomateriálům. Avšak v případě, že se vyráběné nanomateriály používají nebo vyrábějí pro své specifické vlastnosti, které jiné méně nebezpečné materiály nevykazují, vyloučení nebo nahrazení nemusí být možné. Je však nutné mít na paměti rovnováhu mezi požadovanými vlastnostmi a účinky na jedné straně a riziky pro zdraví na straně druhé a vyloučení a nahrazení by se mělo důkladně zvážit.

V každém případě je třeba se vyhnout používání nebo výrobě nanomateriálů, které mohou být přenášeny vzduchem. Tyto materiály by měly být nahrazeny méně nebezpečnou formou, například rozpuštěnou či kapalnou formou, granulemi či pastou nebo nanomateriály vázanými v podobě tuhých látek.

Kromě toho může být možné snížit rizikový potenciál nanomateriálu povrchovou úpravou.

3.2 Technická opatření

Technická preventivní opatření by se měla zavádět u zdroje emisí. Nejúčinnějším technickým preventivním opatřením je izolace u zdroje za použití uzavřených systémů a uzavřených strojů a postupů, tj. ohrazení a izolace, které vytvářejí fyzickou překážku mezi osobou a nanomateriálem. I při takovýchto opatřeních je však důležité zdůraznit, že je nadále nutné brát v potaz riziko úniku. Dalšími standardními opatřeními pro procesy, které nelze zcela izolovat, jsou systémy místního odsávacího odvětrávání vybavené filtry částic, jako jsou vysoce účinné filtry vzduchových částic (tzv. HEPA filtry) nebo vzduchové filtry s ultra nízkou penetrací integrované do odsávacích trychtýřů nebo odtokových boxů.

Kromě technických kontrolních opatření budou vyžadována další zvláštní opatření, pokud dochází

k otevření izolovaných procesů, například při plnění/vyjímání materiálů, vytváření vzorků, čištění nebo údržbě. V těchto situacích se za platnou kontrolní strategii považuje používání pracovních prostředků na ochranu dýchacích cest (viz oddíl 3.4.1).

3.3 Organizační opatření

Nejdůležitějším organizačním opatřením, které pomůže minimalizovat potenciální expozici zaměstnanců, je oddělení pracovišť, jinými slovy minimalizace počtu osob, které by mohly přijít do kontaktu s materiálem. Měly by být navrženy zvláštní oblasti, kde se vyrábějí nebo používají nanomateriály, a kde by tudíž mohlo dojít k jejich uvolnění, a tyto oblasti by měly být izolovány či odděleny od ostatních pracovišť, například stěnami. Tyto oblasti by měly být jasně označeny příslušnými značkami uvádějícími, že přístup je povolen pouze oprávněným a vyškoleným zaměstnancům.

Je důležité poznamenat, že v současnosti neexistuje žádný standardizovaný způsob používání bezpečnostních značek nebo označování pracovišť či obalů s nanomateriály. Doporučuje se uplatňovat obezřetný přístup a používat existující věty označující riziko a bezpečnostní pokyny (evropské nařízení (ES) č. 1272/2008 o klasifikaci, označování a balení látek a směsí [15]) a výstražné značky a poskytovat tak odpovídající, relevantní a konkrétní informace o jakýchkoli skutečných či potenciálních rizicích pro zdraví a bezpečnost vyplývajících z používání nanomateriálů a nakládání s nimi.

Kromě snížení počtu zaměstnanců vystavených nanomateriálům je rovněž důležité provést tato organizační opatření:

- zkrátit na minimum dobu potenciální expozice zaměstnanců,
- minimalizovat množství nanomateriálu ve formě částic používané najednou,
- monitorovat úroveň koncentrace nanomateriálu ve vzduchu,
- pravidelně uklízet pracoviště (čistit za vlhka),
- zaměstnanci, kteří zacházejí s potenciálně nebezpečnými nanomateriály, by měli být zařazeni do programů sledování zdravotního stavu a situace týkající se expozice by měla být podrobně dokumentována.

Kromě toho by se všem zaměstnancům, kteří mohou na svém pracovišti přijít do kontaktu s nanomateriály, mělo dostat dostatečných pokynů, informací a školení, aby porozuměli rizikům pro své zdraví vyplývajícím z možné expozice nanomateriálům a preventivním opatřením, která by měla být přijata, aby se této expozici předešlo nebo aby byla co nejmenší. Panuje-li ohledně dopadů nanomateriálů na zdraví a bezpečnost nejistota, zaměstnanci by o tom měli být rovněž informováni a měla by se uplatňovat zásada předběžné opatrnosti.

3.4 Osobní ochranné pracovní prostředky

Podle hierarchie kontrolních opatření by osobní ochranné pracovní prostředky měly být použity až jako poslední možnost. Pokud z hodnocení rizik vyplývá, že jsou osobní ochranné pracovní prostředky⁽³⁾ nutné, měl by být vypracován plán pro osobní ochranné pracovní prostředky. Kvalitní plán pro osobní ochranné pracovní prostředky sestává z těchto prvků: volba vhodných osobních ochranných pracovních prostředků, jejich způsobení na míru a údržba.

Dodatečný požadavek, aby zaměstnanec používal jakékoli osobní ochranné pracovní prostředky, je třeba zvážit, aby se zajistilo, že uživatel je k nošení takového vybavení dostatečně způsobilý. Lze provést zkoušky, aby se zajistilo, že osobní ochranný pracovní prostředek nebrání pracovníkovi v bezpečném výkonu práce ani v používání jiného nezbytného vybavení či nástrojů, například brýlí. Je třeba mít na paměti, že úroveň ochrany zajišťovaná osobním ochranným pracovním prostředkem může být snížena, pokud se více druhů osobních ochranných pracovních prostředků používá zároveň. Účinnost osobních ochranných pracovních prostředků mohou rovněž snižovat dodatečná rizika, například výpary z rozpouštědel. Během hodnocení rizik a při volbě osobního ochranného pracovního

⁽³⁾ Návrh a používání osobních ochranných pracovních prostředků upravuje evropská směrnice 89/686/EHS [32], která zajišťuje, aby plnily svůj zamýšlený účel ochrany zaměstnanců před konkrétními riziky.

prostředku je tudíž nutné vzít v úvahu kromě nanomateriálů i všechna další rizika. Všechny osobní ochranné pracovní prostředky musí mít označení CE a musí být používány bezvýhradně v souladu s pokyny výrobce.

3.4.1 Ochrana dýchacích cest

Nejsou-li výše zmíněná opatření dostačující ke kontrole expozice nanomateriálům, které jsou přenášeny vzduchem (například nanoprášků nebo aerosolů obsahujících nanomateriály), nebo tuto expozici dostatečně nesnižují, doporučuje se používat pro takovéto případy expozice pracovní prostředky na ochranu dýchacích cest. Měly by se používat například tehdy, kdy se u vybavení používaného v rámci kontrolních opatření provádí údržba nebo opravy.

Volba pracovního prostředku na ochranu dýchacích cest bude záviset na:

- druhu, velikosti a koncentraci vzduchem přenášeného nanomateriálu,
- ochranném faktoru přidělenému pracovnímu prostředku na ochranu dýchacích cest (což zahrnuje filtrační kapacitu a těsnost lícnicové části) a
- pracovních podmínkách.

Zvolený pracovní prostředek na ochranu dýchacích cest může mít podobu poloobličejové nebo celoobličejové masky s filtry P3/FFP3 nebo P2/FFP2, zařízení pro filtraci částic s ventilátorem a přilbou (TH2P nebo MH3P) nebo zařízení pro filtraci částic s ventilátorem a polobličejovou nebo celoobličejovou maskou (TM2P a TM3P)⁽⁴⁾. Celoobličejové masky v kombinaci se vzduchovými hadicemi a filtračními zařízeními s pohonem obvykle mají vyšší ochranný faktor.

Účinnost filtrů v pracovních prostředcích na ochranu dýchacích cest pro konkrétní nanomateriál za konkrétních podmínek by měla být ověřena u výrobce těchto prostředků, neboť výsledky zkoušek by se neměly zobecňovat pro všechny nanomateriály. Je třeba poznamenat, že HEPA filtry, respirátory a masky s vláknitými filtry jsou pro nanomateriály účinné (dokonce ještě účinnější než pro větší částice [34]).

Na zmírnění expozice mohou mít vliv rovněž další faktory, jako je těsnost lícnicové části, řádná údržba pracovního prostředku na ochranu dýchacích cest a doba, po jakou je nošen. V případě obličejových masek vznikají hlavní rizika nedostatečně těsným přiléháním masky na obličej [34]. Pro všechny uživatele by mělo být pravidelně zajištěno přezkoušení těsnosti masky, aby se zajistilo, že brání průniku, a uživatelé by měli být vyškoleni, jak pracovní prostředky na ochranu dýchacích cest používat. Snížení expozice je vždy třeba vnímat jako kombinaci účinnosti filtru a charakteru používání respirátoru, což je v některých zemích EU vyjádřeno tzv. respiračními faktory.

V případě, že pracovní prostředek na ochranu dýchacích cest nezakrývá oči, měla by být použita rovněž ochrana očí (těsně přiléhající ochranné brýle).

3.4.2 Rukavice

Rukavice musí být vysoce mechanicky odolné a na ochranu proti nebezpečným chemickým látkám by se měly obecně používat pouze rukavice, které splňují požadavky norem řady EN 374. Při zacházení s nanomateriály se jako účinné ukázaly rukavice vyrobené z latexu, nitrilu či neoprenu [33]. Účinnost rukavic pro konkrétní nanomateriál bude záviset na fyzikální formě nanomateriálu, který je na pracovišti přítomen (prášek, kapalina atd.) – dodavatel rukavic by to měl zkontrolovat a potvrdit. Hlavním faktorem při určování míry difuze nanomateriálu je tloušťka materiálu, z něhož jsou rukavice vyrobeny. Doporučuje se proto používat dva páry rukavic současně, aby byla zajištěna náležitá ochrana [34].

3.4.3 Ochranné oděvy

Ochranné oděvy by měly být vybírány na základě hodnocení rizik. Přednost by měly mít netkané textilie (vzduchotěsné materiály), například vysokohustotní polyetylen (textilie s nízkými mírami zadržování a uvolňování prachu), před tkanými. Doporučuje se vyhýbat se používání ochranných

⁽⁴⁾ Viz [33]: Míra pronikání částic je 0,2 % u filtrů P2 a 0,011 % u filtrů P3 v případě nanočástic chloridu draselného. Zkoušky s různými velikostmi grafitových částic prokázaly penetraci dosahující nejvýše 8 %. To naznačuje, že filtry P3 poskytují vyšší ochranu, tyto výsledky však nelze zevšeobecňovat na všechny nanočástice.

oděvů vyrobených z bavlněných tkanin [34].

Používají-li se opětovně použitelné ochranné oděvy, například kombinézy, mělo by být zajištěno jejich pravidelné praní a předcházení druhotné expozici [35]. Je nutno zajistit, aby bylo možné obléci si čistou kombinézu a ochranný plášť a odstranit ty špinavé tak, že nedojde ke kontaminaci jednotlivců ani pracoviště.

3.5 Předcházení výbuchu nebo požáru

V důsledku své malé velikosti a velkého povrchu mohou nanomateriály ve formě prášku představovat riziko výbuchu, ačkoli u odpovídajících materiálů v hrubé formě tomu tak není⁽⁵⁾ [36]. Je třeba zachovávat opatrnost, pokud se zachází s nanoprášky nebo pokud tyto prášky vznikají, a to i při drcení, pískování nebo leštění materiálů obsahujících nanomateriály.

Preventivní opatření pro nanomateriály v práškové formě jsou v zásadě tatáž jako pro jakýkoli jiný výbušný či hořlavý materiál v konvenční formě nebo výbušná oblaka prachu a měla by se řídit požadavky směrnice 99/92/ES o minimálních požadavcích na zlepšení bezpečnosti a ochrany zdraví zaměstnanců vystavených riziku výbušných prostředků. Mezi tato opatření patří:

- zacházení by mělo být pokud možno omezeno na zvláštní zóny pro výbušniny a mělo by být prováděno v inertní atmosféře,
- materiály by měly být rozpuštěny navlhčením pracoviště (předcházení vzniku prachu),
- z pracoviště by mělo být odstraněno zařízení způsobující vznik jisker a jiné zdroje zapálení a mělo by být zamezeno podmínkám usnadňujícím vznik elektrostatického náboje; místo toho by se mělo pokud možno používat zařízení, které je svojí podstatou bezpečné (signální a kontrolní obvody fungující s nízkým proudem a napětím),
- vrstvy prachu by se měly odstraňovat otřením za vlhka,
- skladování výbušných či hořlavých materiálů na pracovištích by se mělo omezit na minimum. Lze použít antistatické sáčky/pytle.

Jsou-li nanomateriály během pracovní činnosti používány (oproti situacím, kdy jsou vyráběny), je vhodné zvážit doporučení výrobce uvedená v bezpečnostním listu. Je však třeba mít na paměti obecné poznámky ohledně kvality bezpečnostních listů ve vztahu k nanomateriálům, které jsou zmíněny výše.

3.6 Kontrola účinnosti preventivních opatření

Hodnocení rizik by mělo být pravidelně revidováno a volba a provádění opatření k řízení rizik pravidelně kontrolovány a prověřovány, pokud jde o jejich účinnost. To znamená, že je třeba zajistit řádné fungování veškerých ochranných pracovních prostředků, například laboratorních stolů či laminárních boxů, a provádět pravidelnou kontrolu veškerého odvětrávacího zařízení a příslušných systémů filtrace. Dále je třeba kontrolovat vhodnost osobních ochranných pracovních prostředků a v případě potřeby je modernizovat.

Účinnost opatření ke snižování rizik lze posuzovat pomocí analýzy koncentrace nanomateriálů ve vzduchu před zavedením preventivního opatření a poté. Úrovně expozice změřené poté, co byla zavedena opatření k řízení rizik, by se neměly výrazně lišit od výchozích koncentrací, kdy není přítomen žádný zdroj vyráběného nanomateriálu. Lze použít i další nepřímé způsoby měření účinnosti technických preventivních opatření, jako jsou například kouřové zkoušky nebo kontrolní měření rychlosti.

V budoucnu mohou být vypracovány limitní hodnoty expozice na pracovišti. Prvořadým cílem řízení rizik na pracovišti by však měla být minimalizace expozice, splnění limitních hodnot expozice na pracovišti není dostačující. K vypracování referenčních hodnot pro nanomateriály se v současnosti přistupuje několika způsoby [37, 38].

⁽⁵⁾ Výbušnost většiny organických a mnoha kovových prachů vzrůstá spolu s tím, čím menší jsou částice. Horní hranicí velikosti částic ve výbušném oblaku prachu se zdá být velikost 500 µm. Doposud nebyl stanoven žádný velikostní limit, pod nímž lze výbuch prachu vyloučit.

Literatura

1. Evropská komise, doporučení Komise ze dne 18. října 2011 o definici nanomateriálu, Úř. věst. L 275, s. 38–40, 2011. K dispozici na adrese <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:275:0038:0040:CS:PDF>.
2. Evropská komise, pracovní dokument útvarů Komise s názvem Types and Uses of Nanomaterials, Including Safety Aspects. *Accompanying the Communication from the Commission to the European Parliament, the Council and the European Economic and Social Committee on the Second Regulatory Review on Nanomaterials* (Druhy a použití nanomateriálů, včetně bezpečnostních aspektů. Průvodní dokument ke sdělení Komise Evropskému parlamentu, Radě a Evropskému hospodářskému a sociálnímu výboru o druhém regulačním přezkumu týkajícím se nanomateriálů), SWD(2012) 288 final, Brusel 3. října 2012. K dispozici na adrese <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=SWD:2012:0288:FIN:EN:PDF>.
3. Evropská agentura pro bezpečnost a ochranu zdraví při práci (EU-OSHA), Workplace Exposure to Nanoparticles (Expozice nanočásticím na pracovišti), Evropské observatorium rizik, přehled literatury, 2009. K dispozici na adrese http://osha.europa.eu/en/publications/literature/reviews/workplace_exposure_to_nanoparticles.
4. Lauterwasser, C., *Small Size that Matter: Opportunities and Risks of Nanotechnologies* (Malá, ale důležitá velikost: příležitosti a rizika, které přinášejí nanotechnologie), zpráva Allianz Center for Technology a OECD. K dispozici na adrese <http://www.oecd.org/dataoecd/32/1/44108334.pdf>.
5. Murashov, V., „Occupational exposure to nanomedical applications (Expozice aplikacím nanotechnologií v lékařství na pracovišti)“, *WIREs Nanomedicine and Nanobiotechnology*, 2009:1, s. 203–213.
6. Hanson, N., Harris, J., Joseph, L. A., Ramakrishnan, K., Thompson, T., *EPA Needs to Manage Nanomaterial Risks More Effectively* (Agentura EPA by měla rizika nanomateriálů řídit účinněji), U.S. Environmental Protection Agency, zpráva č. 12-P- 0162, 2011. K dispozici na adrese <http://www.epa.gov/oig/reports/2012/20121229-12-P-0162.pdf>.
7. Národní institut pro bezpečnost a ochranu zdraví při práci (NIOSH), *Approaches to Safe Nanotechnology – Managing the Health and Safety Concerns Associated with Engineered Nanomaterials* (Přístupy k bezpečným nanotechnologiím – řešení obav z hlediska zdraví a bezpečnosti spojených s umělými nanomateriály), Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, publikace č. 2009–125, 2009.
8. Gratieri, T., Schaefer, U. F., Jing, L., Gao, M., Kostka, K. H., Lopez, R. F. V., Schneider, M., „Penetration of quantum dot particles through human skin“ (Pronikání kvantových teček lidskou kůží), *Journal of Biomedical Nanotechnology*, 2010, 6(5), s. 586–595.
9. Národní institut pro bezpečnost a ochranu zdraví při práci (NIOSH), *General Safe Practices for Working with Engineered Nanomaterials in Research Laboratories* (Obecné osvědčené postupy pro práci s umělými nanomateriály ve výzkumných laboratořích), Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, publikace č. 2012-147, 2012.
10. Senjen, R., *Nanomaterials Health and Environmental Concerns* (Obavy týkající se nanomateriálů z hlediska zdraví a životního prostředí), European Environmental Bureau, 2009. K dispozici na adrese <http://www.eeb.org/?LinkServID=540E4DA2-D449-3BEB-90855B4AE64E8CE6&showMeta=0>.
11. Směrnice Rady ze dne 12. června 1989 o zavádění opatření pro zlepšení bezpečnosti a ochrany zdraví zaměstnanců při práci, Úř. věst. L 183, 29. června 1989. K dispozici na adrese <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:31989L0391&qid=1421060176647&from=CS>.
12. Směrnice Rady 98/24/ES ze dne 7. dubna 1998 o bezpečnosti a ochraně zdraví zaměstnanců před riziky spojenými s chemickými činiteli používanými při práci (čtrnáctá samostatná směrnice ve smyslu čl. 16 odst. 1 směrnice 89/391/EHS). K dispozici na adrese <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1998L0024:20070628:CS:PDF>.

13. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2004/37/ES o ochraně zaměstnanců před riziky spojenými s expozicí karcinogenům nebo mutagenům při práci (šestá samostatná směrnice ve smyslu čl. 16 odst. 1 směrnice 89/391/EHS). K dispozici na adrese <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32004L0037&qid=1418804983607&from=EN>.
14. Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1907/2006 ze dne 18. prosince 2006 o registraci, hodnocení, povolování a omezování chemických látek, o zřízení Evropské agentury pro chemické látky, o změně směrnice 1999/45/ES a o zrušení nařízení Rady (EHS) č. 793/93, nařízení Komise (ES) č. 1488/94, směrnice Rady 76/769/EHS a směrnic Komise 91/155/EHS, 93/67/EHS, 93/105/ES a 2000/21/ES (nařízení REACH), Úř. věst. L 396, 30. prosince 2006. K dispozici na adrese <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32006R1907:CS:NOT>.
15. Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1272/2008 o klasifikaci, označování a balení látek a směsí (nařízení CLP), Úř. věst. L 353, 31. prosince 2008. K dispozici na adrese <http://echa.europa.eu/cs/regulations/clp/legislation>.
16. Nygren, O., Skaug, V., Thomassen, Y., Tossavainen, A., Tuomi, T., Wallin, H., „Evaluation and control of occupational health risks from nanoparticles“ (Hodnocení a řízení rizik pro zdraví při práci s nanomateriály), *TemaNord*, 2007: 581, Severská rada ministrů, Kodaň, 2007. K dispozici na adrese http://www.norden.org/da/publikationer/publikationer/2007-581/at_download/publicationfile.
17. Borm, P., Houba, R., Linker, F., *Good Uses of Nanomaterials in the Netherlands* (Osvědčené používání nanomateriálů v Nizozemsku), 2008. K dispozici na adrese <http://www.nano4all.nl/Reporthandsummary.pdf>.
18. Rakouský ústřední inspektorát práce (ACLI), *Use of Nano at the Workplace* (Používání nanomateriálů na pracovišti). K dispozici na adrese http://www.arbeitsinspektion.gv.at/NR/rdonlyres/592E7E96-E136-453F-A87B-3C393FC039E1/0/Nano_Untersuchung.pdf.
19. SafeWork Australia, *An Evaluation of MSDS and Labels Associated with the Use of Engineered Nanomaterials* (Hodnocení bezpečnostních listů materiálů a označení spojená s používáním umělých nanomateriálů). K dispozici na adrese <http://safeworkaustralia.gov.au/AboutSafeWorkAustralia/Whatwedo/Publications/Pages/RP201006EvaluationOfMSDSAndLabels.aspx>.
20. Nařízení Komise (ES) č. 453/2010 ze dne 20. května 2010, kterým se mění nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1907/2006 o registraci, hodnocení, povolování a omezování chemických látek (REACH), Úř. věst. L 133, 31. května 2010.
21. Evropská agentura pro chemické látky (ECHA), *Pokyny pro sestavení bezpečnostních listů*, prosinec 2013. K dispozici na adrese http://echa.europa.eu/documents/10162/17235/sds_cs.pdf.
22. Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj (OECD), „Emission assessment for the identification of sources and release of airborne manufactured nanomaterials in the workplace: compilation of existing guidance“ (Posuzování emisí za účelem určení zdrojů a uvolňování vzduchem přenášených vyráběných nanomateriálů na pracovišti: shrnutí stávajících pokynů), *ENV/JM/MONO*, řada věnovaná bezpečnosti vyráběných nanomateriálů, č. 11, 2009.
23. Van Duuren-Stuurman, B., Vink, R., Verbist, K. J. M., Heussen, H. G. A., Brouwer, D. H., Kroese, D. E. D., Van niftrik, M. F. J., Tielemans, E., Fransman, W., „Stoffenmanager Nano Version 1.0: A web-based tool for risk prioritization of airborne manufactured nano objects“ (Stoffenmanager Nano 1.0: on-line nástroj pro stanovování priorit ohledně rizik souvisejících se vzduchem přenášenými, vyráběnými nanoobjekty), *Ann Occup Hyg*, 2012, 56(5), s. 525–541.
24. Paik, S. Y., Zalk, D. M., Swuste, P., „Application of a pilot control banding tool for risk level assessment and control of nanoparticle exposures“ (Použití pilotního nástroje pro rozřazování do kontrolních pásem za účelem posouzení úrovně rizik a kontroly expozice nanočásticím), *Ann Occup Hyg*, 2008, 52(6), s. 419–428.
25. Zalk, D. M., Paik, S. Y., Swuste, P., „Evaluating the control banding nanotool: a qualitative risk

- assessment method for controlling nanoparticle exposures“ (Hodnocení nástroje pro rozřazování nanomateriálů do kontrolních pásem: metoda kvalitativního hodnocení rizik za účelem kontroly expozice nanočásticím), *J Nanoparti Res*, 2009, 11(7), s. 1685–1704.
26. Zalk, D. M., Paik, S. Y., „Control banding and nanotechnology“ (Rozřazování do kontrolních pásem a nanotechnologie), *The Synergist*, 2010, 3(10), s. 26–29.
 27. Teknologisk Institut, *Nanopartikler i arbejdsmiljøet – Viden og inspiration om håndtering af nanomaterialer* (Nanočástice na pracovišti – poznatky a inspirace pro nakládání s nanomateriály), Center for Arbejdsliv / Det Nationale Forskningscenter for Arbejdsmiljø, 2010.
 28. ANSES, *Development of a Specific Control Banding Tool for Nanomaterials* (Vývoj zvláštního nástroje pro rozřazování nanomateriálů do kontrolních pásem), zpráva, 2010. K dispozici na adrese <http://www.anses.fr/Documents/AP2008sa0407EN.pdf> [konzultováno 26. června 2012].
 29. FNV, VNO-NCV, CNV, *Guidance Working Safely with Nanomaterials and Nanoproducts – The Guide for Employers and Employees* (Pokyny pro bezpečnou práci s nanomateriály a nanovýrobky – průvodce pro zaměstnavatele a zaměstnance), verze 1.0, 2011. K dispozici na adrese <http://www.industox.nl/Guidance%20on%20safe%20handling%20nanomats&products.pdf>.
 30. Mezinárodní rada pro nanotechnologie (ICON), *GoodNanoGuide*, 2010. K dispozici na adrese <http://www.goodnanoguide.org/tiki-index.php?page=HomePage>.
 31. Britský normalizační institut (BSI), *Nanotechnologies – Part 2: Guide to Safe Handling and Disposal of Manufactured Nanomaterials* (Nanotechnologie – část 2: pokyny pro bezpečné zacházení s nanomateriály a jejich odstraňování), PD 6699–2:2007.
 32. Směrnice Rady 89/656/EHS ze dne 30. listopadu 1989 o minimálních požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví pro používání osobních ochranných pracovních prostředků zaměstnanci při práci (třetí samostatná směrnice ve smyslu čl. 16 odst. 1 směrnice 89/391/EHS). K dispozici na adrese <https://osha.europa.eu/en/legislation/directives/workplaces-equipment-signs-personal-protective-equipment/osh-directives/4>.
 33. Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung, „Sichere Verwendung von Nanomaterialien in der Lack- und Farbenbranche – Ein Betriebsleitfaden“ (Bezpečné používání nanomateriálů v odvětví výroby barev a nátěrových hmot – návod), *Schriftenreihe der Aktionslinie Hessen-Nanotech*, svazek 11, 2009. K dispozici na adrese http://www.hessen-nanotech.de/mm/Betriebsleitfaden_sichere_Verwendung_Nanomaterialien_Lack_Farbenbranche.pdf.
 34. Golanski, L., Guillot, A., Tardif, F., *Are Conventional Protective Devices such as Fibrous Filter Media, Respirator Cartridges, Protective Clothing and Gloves also Efficient for Nanoaerosols?* (Jsou běžné ochranné pracovní prostředky, jako jsou vláknité filtry, respirátory, ochranné oděvy a rukavice účinné také pro nanoaerosoly?), DR-325/326–200801–1, Nanosafe2, 2008. K dispozici na adrese http://www.nanosafe.org/home/liblocal/docs/Dissemination%20report/DR1_s.pdf.
 35. UK NanoSafety Partnership Group (UKNSPG), *Working Safely with Nanomaterials in Research & Development* (Bezpečná práce s nanomateriály v oblasti výzkumu a vývoje), srpen 2012. K dispozici na adrese http://www.liv.ac.uk/media/livacuk/safety/documentsguidance/Working_Safely_with_Nanomaterials_-_Release_1.0_-_Aug2012.pdf.
 36. Dyrba, B., *Explosionsschutz: Handlungsbedarf bei Nanostäuben* (Ochrana před výbuchem: nutnost jednat v případě nanoprachu), nedatováno. K dispozici na adrese <http://www.arbeitssicherheit.de/de/html/fachbeitraege/anzeigen/337/Explosionsschutz-Nanostaub/> [konzultováno 3. prosince 2012].
 37. Sociální a hospodářská rada Nizozemska (SER), *Provisional Nano Reference Values for Engineered Nanomaterials* (Prozatímní hodnoty pro umělé nanomateriály), 2012. K dispozici na adrese http://www.ser.nl/en/sitecore/content/Internet/en/Publications/Publications/2012/2012_01.aspx [konzultováno 20. října 2012].

38. Nanowerk, *SAFENANO Team Complete BSI British Standards Guide to Safe Handling of Nanomaterials* (Tým SAFENANO dokončil průvodce pro bezpečné zacházení s nanomateriály podle norem institutu BSI), 2012. K dispozici na adrese <http://www.nanowerk.com/news/newsid=4136.php>.