



Možné přístupy k hodnocení rizik nanočástic z pohledu znalce

Possible Approaches to Risk Assessment of Nanoparticles from the Point of View of Expert

Vladimír Adamec^{a*}, Barbora Schüllerová^a, Vladimír Bencko^b, Kristýna Hrabová^a, Pavel Bulejko^c

^aVysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství

^bUniverzita Karlova v Praze, 1. Lékařská fakulta

^cVysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Abstrakt

Rozvoj nanotechnologií, zejména v posledních letech, je velice dynamický a nachází uplatnění v celé řadě nejen technických odvětví. Toto ovšem není možné říci o sledování případných nežádoucích zdravotních nebo environmentálních vlivů. Na straně druhé je nutné konstatovat, že hodnocení těchto vlivů je velmi složité, a to i s ohledem na poměrně krátkou dobu využívání nanotechnologií. Nedostatek relevantních informací o případných negativních účincích nanočástic jakož i absence legislativních nástrojů vede v poslední době k požadavkům na hodnocení rizik těchto částic a materiálů. Příspěvek analyzuje možné přístupy a metody k hodnocení zdravotních rizik nanočástic z pohledu bezpečnosti pracovního prostředí v technických oblastech a upozorňuje na nezbytnost tohoto řešení.

Klíčová slova: nanomateriály, riziko, hodnocení, zdraví, pracovní prostředí

Abstract

The development of nanotechnology is particularly in recent years very dynamic and is applied in many not only technical branches. This is not possible to say about monitoring of possible health and environmental undesirable influence. On the other hand is necessary to say that the assessment of this influence is very difficult also with regard on relatively short period of nanotechnology using. The lack of relevant information about possible undesirable effects of nanoparticles and also absence of legislative measures in recent time leads to requirements on risk assessment of these particles and materials. The paper analyze possible approaches and methods of health risk assessment from the point of view of safety work environment at technical areas and efforts on necessary of solution of this issue.

Keywords: nanomaterials, risk, assessment, health, work environment

1. ÚVOD

Nanotechnologie jsou významným fenoménem posledních let, široce podporovaným výzkumem ve všech dotčených oblastech. Očekává se, že nanotechnologie budou mít v budoucnu podstatný dopad na světovou ekonomiku. Jak uvádí poslední studie [1], v letech 2016–2022 je očekávaný nárůst nanotechnologií na trhu o 17,5%. Česká republika (ČR) patří v Evropě mezi země, kde rovněž dochází k velkému rozvoji nanotechnologií a mnoho významných objevů v této oblasti bylo dosaženo právě u nás. V ČR působí v současné době celkem 34 firem využívajících nanotechnologie, z nichž 19 jsou členy Asociace nanotechnologického průmyslu ČR [2]. Nanotechnologie jsou v průmyslu využívány zejména v:

- automobilovém průmyslu, letectví a kosmonautice (pevnost a lehkost materiálů, nátěry a laky, odolnost proti korozi

a špíně, aditiva dieselových paliv, příměsi do pneumatik, senzory pro optimalizaci chodu motorů),

- elektronice (paměťová zařízení, procesory, solární články, bezdrátové technologie),
- energetice (fotovoltaické články, baterie, izolační materiály),
- farmacii (aktivní léky, autodiagnostika, regenerace tkání),
- chemii (pigmenty, inhibitory koroze, keramické prášky, dezinfekční prostředky, filtrační materiály, kosmetika),
- potravinářském průmyslu (barviva, konzervanty) [3].

V rámci těchto technologií, jsou uplatňovány především uměle vyrobené nanomateriály (*engineered nanomaterials/nanoparticles* nebo *manufactured nanoparticles*). Tyto materiály obsahují nebo jsou tvořeny částicemi o velikosti 1–100 nm (tzv. nanočásticemi).

Dodáno do redakce: 2. 2. 2018

Recenzní řízení: od 25. 2. do 12. 3. 2018

*Korespondenční adresa: vladimir.adamec@usi.vutbr.cz

Nanočástice se vyskytují i v přírodní formě, kdy vznikají například při vulkanické činnosti nebo v rámci procesu hoření. V reakci na rozvoj nanotechnologií a jejich využití a za účelem sjednocení terminologie byla v roce 2011, na doporučení Evropské unie (EU), vytvořena definice nanomateriálů: „přírodní materiály, materiály vzniklé jako vedlejší produkt nebo materiál vyrobený, obsahující částice v nesloučeném stavu nebo jako agregát nebo aglomerát, ve kterém je u 50% nebo více částic ve velikostním rozdělení jeden nebo více vnějších rozměrů v rozmezí velikosti 1–100 nm“ [3]. S touto definicí vstoupily v platnost i první předpisy zaměřené na regulaci nanočástic a jejich využívání. S ohledem na současné poznatky vlivu nanočástic a nanomateriálů na lidské zdraví a životní prostředí jsou však tyto legislativní nástroje spíše obecnějšího charakteru a vycházejí z dokumentů ošetřujících především nakládání s chemickými látkami. V reakci na tyto úpravy zřídila European Chemicals Agency (ECHA) v roce 2012 pracovní skupinu pro nanomateriály, která poskytuje neformální poradenství k vědeckým a technickým otázkám, týkajícím se uplatňování předpisů REACH a CLP. Rovněž vytvořila skupinu hodnotící již registrované nanomateriály (GAARN) z pohledu řízení bezpečnosti nanomateriálů [4]. Ani ČR není výjimkou, chybí zde řádná legislativní opatření, která by byla blíže zaměřena na problematiku regulace a bezpečnosti využívání nanomateriálů. V souvislosti s nanotechnologiemi lze uvést alespoň zákon č. 350/2011 Sb. o chemických látkách a chemických směsích nebo nařízení vlády č. 361/2007 Sb., které stanovuje podmínky ochrany zdraví při práci.

Uplatnění nanotechnologií, jak bylo již výše uvedeno, je velmi široké a bezpochyby i užitečné. Důvodem jejich rozvoje je nejenom pokrok technologií, schopných jejich produkce, ale i postupný výzkum v oblasti jejich možného využití. V přiměřené rovnováze by ovšem měla být dodržována i stránka bezpečnosti a zkoumání potenciálních rizik souvisejících s výrobou, aplikací, využíváním a stejně tak i likvidací nanomateriálů. Absence těchto opatření, především ze strany legislativního zajištění, je dána relativně krátkou dobou využívání nanotechnologií (nejvíce od roku 2006) a s tím i spojeným nedostatečným počtem relevantních informací o jejich vlivu na lidské zdraví a životní prostředí. A proto by měl být i zde uplatňován princip předběžné opatrnosti, který říká „I když není jisté, zda hrozící nevratné nebo závažné poškození

skutečně nastane, není to důvod pro odklad opatření, která mu mají zabránit“.

2. RIZIKA NANOMATERIÁLŮ A MOŽNÉ PŘÍSTUPY JEJICH HODNOCENÍ

Rizika související s využíváním nanotechnologií jsou stále ve fázích výzkumu a potvrzování jejich výsledků (vliv na lidské zdraví a životní prostředí). Posouzení je zaměřeno především na rizika související s toxicitou daných nanočástic [3]. Mezi nejvíce využívané nanočástice dnes patří například částice uhlíku, stříbra a zlata, oxidy, jíly (viz tab. 1).

2.1 Zdravotní rizika nanomateriálů

Nanočástice mohou za běžných podmínek pronikat do organismu dýchacími cestami, trávicí soustavou nebo přes kůži [12, 13, 14]. Inhalace je přitom pravděpodobně nejvýznamnějším způsobem vstupu nanočástic do organismu [15]. Díky své nepatrné velikosti nanočástice snadno pronikají až do plicních sklípků [16]. Jakmile se nanočástice dostanou do krevního oběhu, rozptylují se do celého organismu [17, 18, 19]. Nanočástice procházejí snadno skrze povrchové membrány buněk [20, 21]. Výsledky některých studií naznačují, že dostatečně malé nanočástice řádu 10 nm, tedy velikosti molekuly vody, jsou schopné snadno přecházet skrze hemoencefalickou bariéru z krevního oběhu do mozku [22].

Vymezeny jsou tři mechanismy toxicity potenciálně indukované nanočásticemi, a to vyvolání oxidativního stresu, vznik zánětlivých procesů a genotoxicita [23]. Příčinnou toxického působení nanočástic je pravděpodobně jejich vysoká povrchová reaktivita, v důsledku čehož mají tendenci interagovat s buněčnými biomolekulami, zejména s DNA a proteiny [20, 21]. Uvedené skutečnosti jsou důvodem, proč některé z postupů klasické toxikologie, především vyjadřování dávky v hmotnostních jednotkách, nejsou pro účely studia toxických účinků nanočástic dostatečně efektivní [24]. Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR) upozorňuje ve svém doporučení z roku 2007 na skutečnost, že stávající metodika hodnocení zdravotních rizik si vyžádá významné modifikace předtím, než ji bude možné aplikovat

Tab. 1 Příklady nejčastěji využívaných nanočástic.
Tab. 1 Examples of most often used nanoparticles.

Druh	Využití	Zdroj
uhlíkové nanočástice a materiály	<ul style="list-style-type: none"> elektronika (odvod tepla, paměťová média, displeje, palivové články) stavebnictví (nanokompozitní materiály), strojírenství (maziva, mechanicky odolné povrchy, snižování tření) senzorika (senzory plynů, elektrochemické senzory, biosenzory) 	[5]
oxidy	<ul style="list-style-type: none"> oxid mědi a wolframu (rozložení olejů na biologicky odbouratelné látky) oxid titaničitý (fotokatalýza, ochranné vrstvy, bílý pigment, potravinářská výroba, kosmetika), oxid zinečnatý (výroba elektrod a LED diod, výroba solárních článků, kosmetika) 	[6] [7, 8] [9]
jíly	<ul style="list-style-type: none"> stavebnictví (suspenze pro injektaže, utěsnění objektů), slévárenství (formovací směsi) 	[10]
stříbro	<ul style="list-style-type: none"> zdravotnictví (léčba kožních nemocí, antimikrobiální, antimykotické a protivirové účinky) stavebnictví (příměsi povrchových nátěrů) 	[11]
zlato	<ul style="list-style-type: none"> zdravotnictví (léčba, transport léčiv), kosmetika, elektronika (čipů, senzorů) 	[12]

na nanočástice. Zásadním faktorem při hodnocení zdravotních rizik nanočástic je volba vhodné metriky přijaté dávky [25, 26]. Kromě počtu a velikosti částic byla navržena zejména plocha povrchu částic (Surface Area, SA) a specifická plocha povrchu částic (Specific Surface Area, SSA).

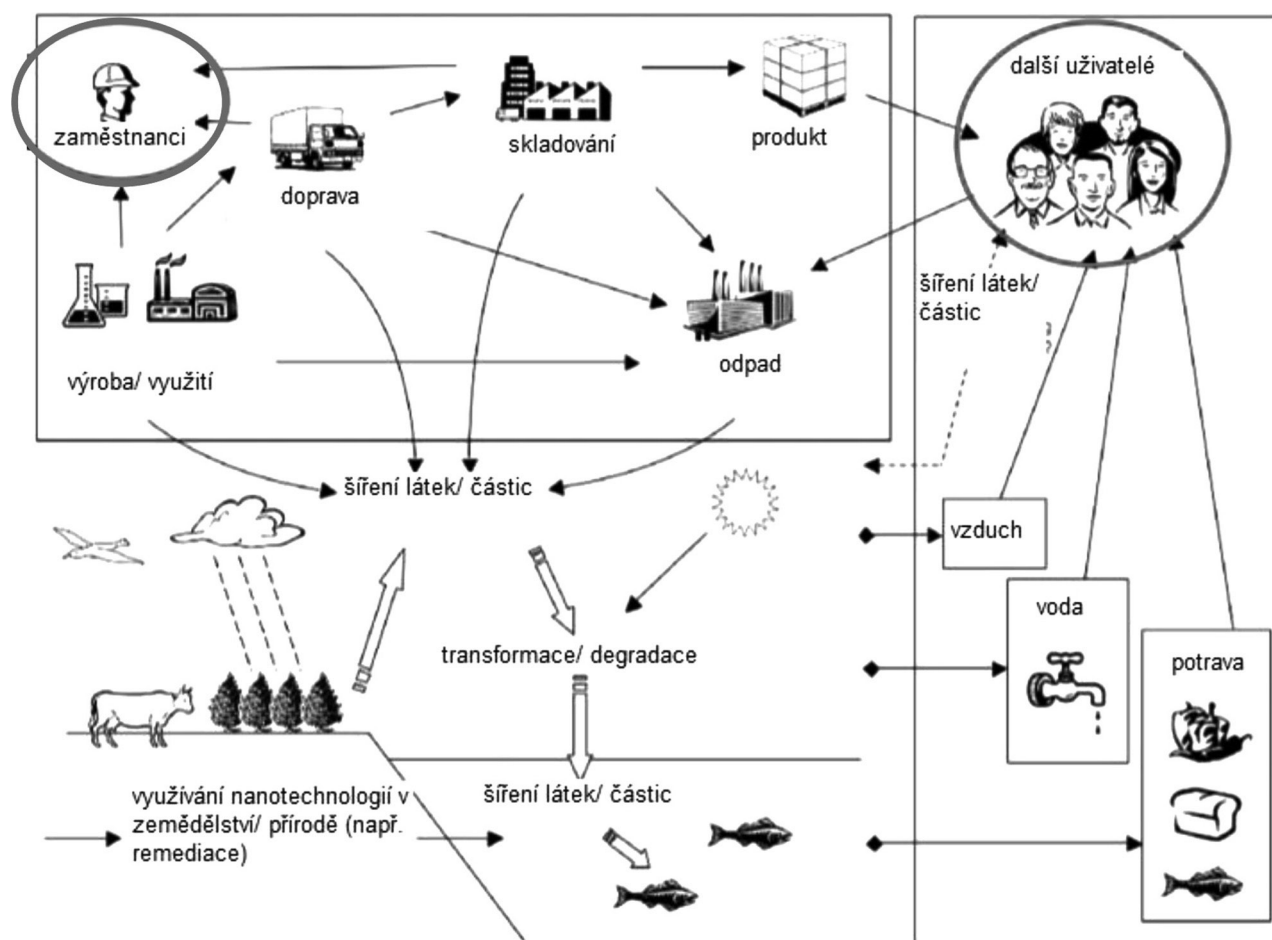
Světová zdravotnická organizace (WHO), evropský SCENIHR ani americká United States Environmental Protection Agency (U. S. EPA) dosud nepublikovaly žádnou ucelenou metodiku hodnocení zdravotních rizik nanočástic ani pro ně nestanovili nejvyšší přípustné koncentrace. Vydána byla jen obecná doporučení [24, 26, 27, 28] a případové studie, např. [29]. Pro nanočástice tak nadále platí stejná bezpečnostní pravidla jako pro větší částice, které jsou obecně považovány za méně rizikové [30, 31, 32].

3. PŘÍSTUPY K HODNOCENÍ ZDRAVOTNÍCH RIZIK NANOMATERIÁLŮ

Přestože v současné době chybí jednotný systém pro hodnocení těchto rizik, je možné vycházet jak z obecných, tak i již vzniklých metodických postupů, kterými se zabývají odborníci a relevantní organizace po celém světě (U. S. EPA, NIOSH, WHO, ECHA apod.). Hodnocení rizik spojených s využíváním nanomateriálů vychází z obecně uplatňovaných zásad, jako jsou výzkum,

identifikace nebezpečí a rizika, charakteristika rizika a nastavení regulačních mechanismů ke snížení míry nebezpečí [33]. Nejčastěji jsou uplatňovány existující metody pro hodnocení rizik, které jsou následně adaptovány pro oblast nanomateriálů s využitím stávajících legislativních opatření. Při hodnocení je nezbytné zohlednit všechny možné vzájemné interakce, kde může k projevům rizik docházet (viz obr. 1).

Při samotném hodnocení rizik je možné následně vycházet ze dvou základních přístupů, deterministického a stochastického. Deterministický přístup se řídí principem nejhoršího možného scénáře, ale nerozlišuje mezi variabilitou a nejistotou a neumožňuje kvantifikaci zohledňující například variabilitu mezi expozicemi a citlivostí jedinců [35]. Druhý přístup je založen na principu pravděpodobnosti, který využívá postup formou analýzy nejistot. Právě nejistota a variabilita jsou zde dvě významné veličiny, které by měly být při hodnocení rizik zohledněny s cílem dosažení reálných výsledků. Tyto veličiny jsou využívány i v rámci legislativních opatření, jako je například nařízení REACH (variabilita mezidruhová, variabilita v čase, nejistota měření, nejistota zdroje expozice apod.), které jsou následně aplikovány do metod hodnocení rizika. Pravděpodobnostní hodnocení umožňuje i oddělené kvantifikované posouzení jednotlivých zdrojů expozice [36]. Při hodnocení rizika však není možné posuzovat rizika pouze zvlášť, ale je nezbytné je zároveň hodnotit jako celek v rámci jednotlivých procesů, které se v daném prostředí



Obr. 1 Potenciální zdroje expozice v oblasti nanočástic [34].
Fig. 1 Potencial source of nanoparticles exposition [34].

uskutečňují. Proto jsou zaváděny systémy managementu/řízení rizik, které jsou blíže popsány v následující kapitole.

3.1 Management rizik v oblasti nanotechnologií

Pravděpodobnostní i deterministické přístupy jsou obecně uplatňovány v oblasti řízení rizik, jejímž cílem je identifikace, analýza, hodnocení a snížení míry rizika relevantními opatřeními. Jak je uvedeno v některých odborných studiích [37–40], tak i v případě nanotechnologií by měla být dodržována standardní hierarchie kontroly s cílem eliminace nebezpečí a snížení expozice, jak je uvedeno na obr. 2.

S rozvojem nanotechnologií vznikají přístupy řízení rizik (také někdy uváděné jako systémy řízení rizik), které ovšem nejsou prozatím zakotveny v legislativě a patří tak mezi doporučené. Zaměřeny jsou především na průmyslovou oblast a související procesy, kde jsou nanomateriály využívány v rámci výrobních i nevýrobních procesů nebo vznikají jako sekundární produkt a mohou znamenat potenciální zdravotní riziko pro člověka. Patří sem například:

- *EDF-DuPont NanoRisk Framework* – založen na šesti základních krocích (materiál a aplikace, životní cyklus, hodnocení rizika, posouzení managementu rizika, rozhodnutí o riziku, kontrola a přizpůsobení podmínek), které jsou postupně hodnoceny a slouží pro získání relevantních informací o rizicích [41].
- *CENARIOS Risk Management* – certifikovaný přístup managementu rizika a systému monitoringu nanotechnologií, který vychází ze tří základních principů, mezi které patří posouzení nebezpečí a rizika ve vztahu k produktu a procesu, tzv. 360° systém monitoringu rizika (odhadující relevantní trendy v oblastech vědy a výzkumu, zaměřuje se na regulaci a technologie), management a komunikace (nástroje pro rychlou a spolehlivou reakci v kritických situacích) [42].
- *Nanomaterial Life Cycle Regulation* – přístup založený na ISO 14040:2006 Life Cycle Assessment (LCA), který je v souvislosti s nanomateriály využíván pro hodnocení potenciálních rizik a jejich vlivu na lidské zdraví a životní prostředí. Přístup je založen na hodnocení nanoproduktů v jednotlivých fázích jejich existence, a to z pohledu

jejich rozdílných mechanických, fyzikálních a chemických charakteristik [44].

- *LCnano* – přístup je založen, stejně jako předcházející, na posouzení životního cyklu nanomateriálu. Přístup posuzuje vztahy mezi expozicí a mírou nebezpečí v jednotlivých fázích životního cyklu nanomateriálu a vytváří tak predikční modely nežádoucích dopadů s cílem zkvalitnění bezpečnostních opatření v rámci jednotlivých procesů [40].
- *Control Banding (CB)* – kvalitativní a semikvantitativní přístup zaměřený na řízení zdravotních a bezpečnostních rizik, který se obecně skládá ze systému bodování míry nebezpečnosti nanočástic/nanomateriálů a úrovní expozice klasifikované dle definovaných parametrů. V současné době byl přístup CB zaveden normou ISO/TS 12901-2:2014 do předběžné technické normy ČSN P CEN ISO/TS 27687 Nanotechnologie (část 1 – termíny a definice, část 2 – použití přístupu CB) [39]. Přístup CB je dnes široce využívaným v metodách používaných pro hodnocení rizika, jako například CB Nanotool, Stoffenmanager Nano, ANSES Nano, NanoSafer, Swiss precautionary matrix [44].
- *10-step risk management model* – kvalitativní přístup založený na logicky členěných základních krocích – základní znalosti o pracovním procesu, hodnocení rizik, identifikace nanočástic, identifikace souvisejících nebezpečí, získání nejnovějších informací, vyhodnocení způsobů expozice, identifikace rizik, provádění opatření, dokumentace celého procesu, znovu ohodnocení rizik a způsobu jejich řízení [40].
- *Precautionary Risk Management* – vychází ze čtyř základních kroků řízení rizik, mezi které patří kontrola technologie (odstranění potenciálních rizik – suroviny, výroba, procesy, výrobní zařízení apod.), kontrola výroby (prevence a omezování zdrojů rizika apod.), osobní ochranné pracovní pomůcky (ochrana dýchacích cest, ochrana povrchu těla, apod.), sledování pracovního prostředí [47].

Výběr vhodného systému pro řízení rizik se odvíjí od typu, frekvence a počtu jednotlivých procesů, které v daném prostředí probíhají a souvisí s potenciálními riziky v oblasti nanotechnologií



Obr. 2 Hierarchie snižování míry rizika v obecném pojetí [41].
Fig. 2 Hierarchy of basic risk reduction [41].

a expozici nanočástic. S ohledem na dostupnost relevantních informací bývá doporučen i princip možné modifikace uvedených přístupů pro specifické prostředí [46]. Je ovšem nezbytné dodržovat základní charakter konkrétních přístupů a zároveň při provedení modifikace využívat znalostí a zkušeností odborníků. Uvedené manažerské přístupy využívají především kvalitativního a semikvantitativního hodnocení. Pro samotné hodnocení rizik a jejich analýzu jsou však aplikovány i přístupy kvantitativní, uvedené v kap. 3. Zde je ovšem nezbytné získání potřebných a ověřených údajů, které bohužel nejsou pro některé procesy v současné době dostupné (např. statistické údaje, expoziční limity stanovené legislativou).

3.2 Metody hodnocení zdravotních rizik nanomateriálů

Riziko využívání nanočástic, nanomateriálů a celkově nanotechnologií je spojeno s jejich společenskou přijatelností z pohledu bezpečnosti. Proto jsou metody pro analýzu a hodnocení rizik zaměřeny především na posuzování zdravotních a environmentálních rizik. Jedním z problémů, se kterými je možné se při analýze a hodnocení rizik setkat, jak již bylo uvedeno, je nedostatek údajů. To vede právě ke vzniku nejistot při charakterizaci nanomateriálů, expozice a jejich nežádoucích účinků. Vedle nedostatku informací mohou nejistoty zahrnovat i nesoulad v dostupných informacích pocházejících z různých odborných zdrojů, které mohou vznikat vlivem nepřesností v překladech, v terminologii, zjednodušením některých modelů nebo jejich nesprávnou aplikací [48]. Obecně mohou metody hodnocení rizika vycházet z metod stávajících. Tyto metody a jejich modifikace nacházejí uplatnění v nejrůznějších oblastech, především pak v problematice ochrany zdraví, včetně pracovního prostředí. Metody založené na kvantitativním přístupu jsou zároveň kombinovány anebo doplněny metodami založenými na kvalitativním nebo semikvantitativním přístupu. Patří sem například:

- *Integrované pravděpodobnostní hodnocení rizik (Integrated Probabilistic Risk Assessment, IPRA)* – založeno na dvourozměrném systému Monte Carlo, který kvantifikuje rozdělení nejistoty a variability samostatně [49],
- *Baysovské metody* – založené na pravděpodobnostním hodnocení, modelování, které zahrnuje specifické vlastnosti nanočástic a parametry prostředí, ve kterém se nacházejí, společně s prvky expozičního potenciálu a jejich riziky [50]
- *Posouzení rozsahu rizik nanočástic (Scope of Nonparticles Risk Assessment, SNRA)* – metoda je založena na principu hodnocení expozice, identifikace nebezpečí, charakteristice nebezpečí, charakteristice vyplývajících rizik [51],
- *Efektivní, adaptivní životní cyklus nanočástic (SLCRA Adaptive Streamlined Life Cycle/Risk Assessment)* – založen na identifikaci a charakterizaci nebezpečí, posouzení expozice a stanovení toxicity nanočástic nebo nanomateriálu na jejichž základě je charakterizováno riziko a doporučen přístup pro řízení a snížená míry rizika [35],
- *Přístup k referenčním hodnotám nano (Nano Reference Value Approach, NRVA)* – metoda je založena na hodnocení expozice člověka v pracovním prostředí po stanovenou dobu a zohlednění velikosti, morfologii, biopersistence a obsahu nanočástic v daném prostředí. Pro aplikaci této metody byly stanoveny referenční hodnoty nanočástic, kterým je pracovník vystaven [45].

- *Rozhodovací strom* – metoda založena na klasickém principu rozhodování pomocí sestavení logického diagramu, ve kterém je odpovídáno na otázky buď ano nebo ne na jednotlivých větvích, vedoucích k odpovědím a stanovení typu nanočástic nebo nanomateriálů dle míry nebezpečí [52].
- *NanoRiskCat* – metoda se zaměřuje na potenciální nebezpečí pro lidské zdraví a životní prostředí způsobené specifickými typy nanoproduktů. Princip je založen na vytvoření nástroje pro kategorizaci rizik a jejich ohodnocení dle vytvořené stupnice pro tuto metodu [53].
- *CB Nanotool* – umožňuje posuzovat rizika spojená s procesy, kde jsou využívány nanomateriály, a volit účinný systém technických kontrol [54, 56].
- *Stoffenmanager Nano* – holandská metoda založená na hodnocení zdravotních rizik způsobených inhalací člověkem vytvořených nanočástic a zároveň bývá využíván pro řízení rizik ve výrobních a nevýrobních procesech [55].

Uvedené metody jsou výčetem v současné době nejvyužívanějších metod pro hodnocení rizika, které zohledňují expozici člověka a jejich potenciálně nežádoucí vliv zdraví. S ohledem na to, že prozatím nejsou legislativně stanoveny expoziční limity pro všechny druhy v současné době využívaných nanomateriálů a variabilitu pracovního prostředí, je nezbytné při vyhodnocování výsledků metod počítat s tolerancí možné odchylky. Na straně druhé, uvedené metody vycházejí z ověřených přístupů, které jsou pro hodnocení rizika v praxi běžně využívány, a účinnost jejich aplikace je ověřena, přestože se nejedná o svět nanotechnologií.

4. ZÁVĚR

Nanotechnologie budou i v následujících letech procházet velkým rozvojem a lze tak předpokládat, že budou velkou výzvou nejenom pro oblast vědy a výzkumu, ale také pro oblast bezpečnosti. Význam jejího řešení spočívá i v poznatcích získaných z dřívějších zkušeností, jako tomu bylo například při využívání látek DDT nebo PCB [57]. V této rovině je nezbytné se v současné době vyrovnat s mnoha problémy, jako jsou zejména nedostatek informací, nedostačující komunikace a integrace získaných informací mezi různými obory. S ohledem na nedostatek informací je proto nezbytné dodržovat alespoň princip předběžné opatrnosti, kdy má být počítáno s potenciálními škodami a zároveň vytvářet a provádět všechna dostupná opatření pro snížení potenciálních rizik. Aby mohl být tento princip dodržován, je nezbytné identifikovat a zhodnotit možná rizika, která s posuzovanými procesy souvisejí. Přestože existují metody a přístupy, založené na kvantitativním přístupu, s ohledem na dostupnost relevantních informací a variabilitu vstupních podmínek, jsou uplatňovány především přístupy a metody kvalitativní, případně semikvantitativní. Výhodou těchto metod je možnost jejich modifikace právě pro konkrétní prostředí. Zároveň mohou být uvedené metody a přístupy využity i v rámci znalecké činnosti, zejména v oblasti hygieny, pracovního prostředí a hodnocení rizik.

Záměrem autorů bylo upozornit na v současné době neadekvátní výzkum v oblasti vývoje a využití nanotechnologií na straně jedné a bezpečnostními riziky nanotechnologií na straně druhé, který by

dle standardních postupů měl být úměrný. Jelikož se jedná o nový a progresivní směr vývoje, který jde svým způsobem i částečně neznámým směrem, může zde docházet ke vzniku nepředvídaných rizik, tzv. černých labutí [57]. Právě nezanedbáváním významu potenciálních rizik a bezpečnosti můžeme těmto jevům zabránit nebo alespoň výrazně zmírnit jejich důsledky.

5. LITERATURA

- [1] *Global Nanotechnology Market Outlook 2022* [online], 2015 [cit. 2017-12-17]. Dostupné z: <https://www.researchandmarkets.com/reports/3512791/global-nanotechnology-market-outlook-2022>.
- [2] *Asociace nanotechnologického průmyslu ČR: Členové asociace*. [online], 2015 [cit. 2017-12-16]. Dostupné z: <http://www.nanosociace.cz/clenove-asociace/>
- [3] SKŘEHOT, P. A.; RUPOVÁ, M. *Nanobezpečnost*. Praha: Výzkumný ústav bezpečnosti práce, 2011, 240 s. ISBN 978-80-86973-89-0.
- [4] *Doporučení komise ze dne 18. října 2011 o definici nanomateriálu 2011/696/EU*, [online], 2011 [cit. 2017-12-17]. Dostupné z <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:275:0038:0040:CS:PDF>
- [5] *Nanomateriály. EUROPEAN CHEMICALS AGENCY* [online], [cit. 2017-12-17]. Dostupné z: <https://echa.europa.eu/cs/regulations/nanomaterials>.
- [6] PRÁŠEK, J. Uhlíkové nanočástice: Grafen, nanotrubičky, Fullereny. 2011. *Budování výzkumných týmů a rozvoj univerzitního vzdělání výzkumných odborníků pro mikro- a nanotechnologie (NANOTEAM) CZ.1.07/2.3/00/09.0224*.
- [7] *Nanotechnologie, nanočástice a nanomateriály: Využití nanočástic*. Dostupné z: <http://www.nanocastice.cz/vyuziti-nanocastic/>
- [8] COLL, C., NOTTER, D. GOTTSCHALK, F et al. Probabilistic environmental risk assessment of five nanomaterials. *Nanotoxicology*. 2016. 10(4):436-44. DOI:10.3109/17435390.2015.1073812.
- [9] DUCHEK, P. Bentonity v klasických a moderních aplikacích. *ZČU v Plzni, Fakulta strojní Katedra materiálu a strojírenské metalurgie* [online], 2013 [cit. 2018-01-05]. Dostupné také z: http://www.icpf.cas.cz/cs/system/files/users/public/strnadm_9/PrednaskaUCHP15032013.pdf
- [10] ZHONG LIN WANG. Zinc oxide nanostructures: growth, properties and applications. *Journal of Physics: Condensed Matter*. 2004. doi:10.1088/0953-8984/16/25/R01.
- [11] *Nanotechnologie – Slovník: Část 6: Charakterizace nanoobjektu. České technické normy* [online], 2016 [cit. 2018-01-05]. Dostupné z: http://csonlinefirmy.unmz.cz/html_nahledy/01/500772/500772_nahled.htm
- [12] TOURINHO, P. S., VAN GESTEL, C. A. M., LOFTS, S., SVENDSEN, C., SOARES, A. M. V, LOUREIRO, S. Metal-based Nanoparticles in Soil: Fate, Behavior and Effects on soil invertebrates. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 2012, 31(8), 1679-1692. ISSN 1552-8618.
- [13] BAKER, T. J., TYLER, CH. R., GALLOWAY, T. S. Impacts of metal and metal oxide nanoparticles on marine organism. *Environmental Pollution*. 2014, 186, 257–271. ISSN 0269-7491.
- [14] EL-ANSARY, A. AL-DAIHAN, S. On the Toxicity of Therapeutically Used Nanoparticles: *An Overview*. *Journal of Toxicology* [online], 2009 [cit. 2018-01-05]. ID 754810. Dostupné z: <http://www.hindawi.com/journals/jt/2009/754810/cta/>
- [15] RADAD, K., AL-SHRAIM, M., MOLDZIO, R., RAUSCH, W.-D. Recent advances in benefits and hazards of engineered nanoparticles. *Environmental Toxicology and Pharmacology*. 2012, 34(3), 661–672. ISSN 1382-6689.
- [16] FOJTÍK A, PIKSOVÁ K, WEISEROVÁ M, BENCKO V.: Nanočástice a nanostruktury v biomedicínských aplikacích. *Praktický lékař*, 2012, ročník 92, č. 8, 440–443. ISSN 0032-6739.
- [17] FOJTÍK A, KÁLAL M, PRNKA T, ŠPERLINK K, MAŠLÁŇ M. et al. NANO, fascinující fenomén současnosti. *Comtec FHT*, 2014, 228 s. ISBN 978-80-260-7135-8.
- [18] YAH, C. S., SIMATE, G. S., IYUKE, S. E. Nanoparticles toxicity and their routes of exposures. *Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2012, 25(2), 477–491. ISSN 1011-601X.
- [19] HIRST, S. M., KARAKOTI, A., SINGH, S., SELF, W., TYLER, R., SEAL, S., REILLY, C. M. Bio-distribution and in vivo antioxidant effects of cerium oxide nanoparticles in mice. *Environmental Toxicology*. 2013, 28(2), 107–118. ISSN 1522-7278.
- [20] OBERDÖRSTER, G., OBERDÖRSTER, E., OBERDÖRSTER, J. Nanotoxicology: An Emerging Discipline Evolving from Studies of Ultrafine particles. *Environmental Health Perspectives*. 2005, 113(7), 823–839. ISSN 0091-6765.
- [21] ROY, R., KUMAR S., TRIPATHI, A., DAS, M., DWIVEDI, P. D. Interactive threats of nanoparticles to the biological system. *Immunology Letters*. 2014, 158(1–2), 79–87. ISSN 0165-2478.
- [22] SONAVANE, G., TOMODA, K., MAKINO, K. Biodistribution of colloidal gold nanoparticles after intravenous administration: Effect of particle size. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 2008, 66(2), 274–280. ISSN 0927-7765.
- [23] AYDIN, A., SIPAHI, H., CHAREHSAZ, M. Nanoparticles Toxicity and Their Routes of Exposures. In: SEZER, A. D., ed. Recent Advances in Novel Drug Carrier Systems. *InTech*, 2012, 483–500. ISBN 978-953510810-8.
- [24] SCENIHR [SCIENTIFIC COMMITTEE ON EMERGING AND NEWLY IDENTIFIED HEALTH RISKS]. Opinion on: *The appropriateness of existing methodologies to assess the potential risks associated with engineered and adventitious products of nanotechnologies* [online], 2007 [cit. 2017-12-20]. Dostupné z: http://ec.europa.eu/health/archive/ph_risk/committees/04_scenihir/docs/scenihir_o_010.pdf
- [25] SCENIHR [SCIENTIFIC COMMITTEE ON EMERGING AND NEWLY IDENTIFIED HEALTH RISKS]. Opinion on: *Risk Assessment of Products of Nanotechnologies* [online], 2009 [cit. 2017-12-16]. Dostupné z: http://ec.europa.eu/health/archive/ph_risk/committees/04_scenihir/docs/scenihir_o_023.pdf
- [26] SIMKÓ, M., NOSSKE, D., KREYLING, W. G. Metrics, Dose, and Dose Concept: The Need for a Proper Dose Concept in the Risk Assessment of Nanoparticles. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2014, 11, 4026–4048. ISSN 1660-4601.
- [27] *U. S. EPA. Nanotechnology White Paper* [online], 2007 [cit. 2017-12-15]. Dostupné z: <http://www.epa.gov/osainter/pdfs/nanotech/epa-nanotechnology-whitepaper-0207.pdf>
- [28] *U. S. EPA. Nanomaterial Research Strategy* [online], 2009 [cit. 2017-12-17]. Dostupné z: http://www.epa.gov/nanoscience/files/nanotech_research_strategy_final.pdf
- [29] *WHO. Nanotechnology and human health: Scientific evidence and risk governance* [online]. Report of the WHO expert meeting 10–11 December 2012, Bonn, Germany. 2013 [cit. 2017-12-15]. Dostupné z: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0018/233154/e96927.pdf
- [30] FILIPOVÁ, Z., KUKUTSCHOVÁ, J., MAŠLÁŇ, M. Rizika nanomateriálů. Olomouc: *Univerzita Palackého v Olomouci*, 2012. ISBN 978-80-244-3201-4.

- [31] ZEMAN, T.; KELLNER, J. Zdravotní a ekologická rizika nanočástic. Závěrečná zpráva projektu specifického výzkumu (SV14-FEM-k106-08-ZEM). *Univerzita obrany, Fakulta vojenského leadershipu*, Brno 2015. s. 29.
- [32] OLDENBURG, S. J., Silver Nanoparticles: Properties and Applications. *SIGMA ALDRICH* [online]. [cit. 2017-12-10]. Dostupné z: <https://www.sigmaaldrich.com/technical-documents/articles/materials-science/nanomaterials/silver-nanoparticles.html>
- [33] LING, M. P., et al., Risk management strategy to increase the safety of workers in the nanomaterials industry. *Journal of Hazardous Materials*, 2012. 229–230, 83–93.
- [34] OLDENBURG, S. J., Gold Nanoparticles: Properties and Applications. *SIGMA ALDRICH* [online]. [cit. 2017-12-10]. Dostupné z: <https://www.sigmaaldrich.com/technical-documents/articles/materials-science/nanomaterials/silver-nanoparticles.html>
- [35] Nanotechnologies: Are current risk assessment methodologies for nanoparticles adequate? *Public Health*. [online]. 2007 [cit. 2017-12-17]. Dostupné z: http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/opinions_layman/en/nanotechnologies/l-3/8-risk-assessment.htm
- [36] VERDONCK, F., VAN SPRANG, P., and VANROLLEGHEM, P. Uncertainty and precaution in European environmental risk assessment of chemicals. *Water science and technology: a journal of the International Association on Water Pollution Research*, 2005, 52(6), 227–344.
- [37] JACOBS, R., BRAAK, C. a VOET, H. Nanoparticle Risk Assessment: *A probabilistic approach* [online]. [cit. 2017-12-17]. Dostupné z: <http://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/264481>.
- [38] NIOSH, General Safe Practices for Working with Engineered Nanomaterials in Research Laboratories. *DHHS (NIOSH)*, 2012, 147.
- [39] NIOSH, Current Strategies for Engineering Controls in Nanomaterial Production and Downstream Handling Processes, 2013, Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, *DHHS (NIOSH)*: Cincinnati, OH:U.S.
- [40] EPA, Approaches for assessing and controlling workplace releases and exposures to new and existing nanomaterials, in *INTERNAL CEB INTERIM DRAFT2012*. p. http://www.epa.gov/oppt/exposure/pubs/cebnanodraft_05_12.pdf.
- [41] EPA, Approaches for assessing and controlling workplace releases and exposures to new and existing nanomaterials, in *INTERNAL CEB INTERIM DRAFT2012*. p. http://www.epa.gov/oppt/exposure/pubs/cebnanodraft_05_12.pdf.
- [42] RISK MANAGEMENT OF NANOMATERIALS: Guidelines for the Safe Manufacture and Use of Nanomaterials. [online]. 2017 [cit. 2017-12-17]. UK. Dostupné také z: <http://www.sun-fp7.eu/wp-content/uploads/2017/01/SUN-risk-management-guidelines.pdf>.
- [43] *NANO Risk Framework: Environmental Defense – DuPont Nano Partnership*. [online]. 2007 [cit. 2018-12-21]. Dostupné také z: http://www.nanoriskframework.org/wp-content/uploads/2016/01/6496_Nano-Risk-Framework.pdf.
- [44] CENARIOS® – Managing Nano Risks: World’s First Certifiable *Risk Management and Monitoring System for Nanotechnologies*. [online]. 2015 [cit. 2017-12-22]. Dostupné z: http://innovationsgesellschaft.ch/wp-content/uploads/2015/01/CENARIOS_Factsheet_englisch_2015.pdf.
- [45] GENDRE, L., BRIGHTON, J.L. et al. Nanomaterials Life Cycle Analysis: Health and Safety Practices, Standards and Regulations – *Past, Present and Future Perspective*. 2014. DOI: 10.1002/sml.200690039
- [46] WESTERHOFF, P., FAIRBROTHER, D.H., HUTCHISON, J.E. a PLATA, D.L., NCCLCs: Life Cycle of Nanomaterials (LCnano). United States *Environmental Protection Agency*. [online]. 2014 [cit. 2017-12-22]. Dostupné z: https://cfpub.epa.gov/ncer_abstracts/index.cfm/fuseaction/display.highlight/abstract/10212.
- [47] SAEID GOUDARZI et al., Nano technology risks: A 10-step risk management model in nanotechnology projects. *Hypothesis* 2013, 11(1): e5, doi:10.5779/hypothesis.v11i1.330.
- [48] LING MP, LIN WC, LIU CC, HUANG YS, CHUEH MJ A SHIH TS. Risk management strategy to increase the safety of workers in the nanomaterials industry. *Journal of Hazardous Materials* 2012, 229–230, 83–93. doi: 10.1016/j.jhazmat.2012.05.073.
- [49] WHITE, R.H., *Nanotechnology: Risk Assessment and Management*. [online]. 2013 [cit. 2017-12-19]. Dostupné z: https://www.jhsph.edu/research/centers-and-institutes/johns-hopkins-education-and-research-center-for-occupational-safety-and-health/2013pdc_handouts/White_2013_PDC_Nanotechnology_Risk_Assessment_Mangement.pdf.
- [50] JACOBS, R., C.J.F. BRAAK a H. VOET. Integrated probabilistic risk assessment for nanoparticles: the case of nanosilica in food. *Journal of Nanoparticle research* 2015. doi: 10.1007/s11051-015-2911-y.
- [51] MONEY, E.S., K.H. RECKHOW a M.R. WIESNER. The use of Bayesian networks for nanoparticle risk forecasting: Model formulation and baseline evaluation. *Science of The Total Environment*, 2012. 435-446. ISBN 0048-9697.
- [52] BROEKHUIZEN, B., VEELLEN W., STREEKSTRA, W. H., SCHULTE, P. and L. REIJNDERS.; Exposure Limits for Nanoparticles: Report of an International Workshop on Nano Reference Values, *The Annals of Occupational Hygiene*, Volume 56, Issue 5, 1 July 2012, 515–524, <https://doi.org/10.1093/annhyg/mes043>
- [53] GROSO, A., A. PETRI-FINK, A. MAGREZ, M. RIEDIKER a T. MEYER. Management of nanomaterials safety in research environment. *Particle and Fibre Toxicology* 2010. ISBN 1743-8977.
- [54] HANSEN, S.F., K.A. JENSEN, and A. BAUN, NanoRiskCat: a conceptual tool for categorization and communication of exposure potentials and hazards of nanomaterials in consumer products. *Journal of nanoparticle research*, 2014, 16(1), 1–25. ISSN 1388-0764.
- [55] *Control Banding for Nanotechnology Applications* [online]. [cit. 2017-12-22]. Dostupné z: <http://www.controlbanding.net/>
- [56] DOHNALOVÁ, L. a V. DOHNAL. NANOČÁSTICE A JEJICH TOXICITA. In: *Chemické listy*. Brno, 2015, 444-450. Dostupné z: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2015_06_444-450.pdf.
- [57] *Nano Modul. Stoffenmanager* [online]. [cit. 2017-12-22]. Dostupné z: <https://nano.stoffenmanager.nl/>

Správná citace:

ADAMEC, V., SCHÜLLEROVÁ, B., BENCKO, V., HRABOVÁ, K., BULEJKO, P. Možné přístupy k hodnocení rizik nanočástic z pohledu znalce. *Soudní inženýrství*, 2018, 29(2), 49–55. ISSN 1211-443X.