

Ambivalence nanočástic

Ing. Lenka Frišhansová¹, Doc. Ing. Et Ing. Karel Klouda¹, CSc., Ph.D., MBA

¹Výzkumný ústav bezpečnosti práce, v.v.i., Jeruzalémská 9, 116 52 Praha 1,

Abstrakt

Příspěvek popisuje vnitřní rozpolcenost autorů s ohledem na současnému „boom“ nanočástic. Uvádí základní charakteristiku nanočástic, jejich historii, důvod jejich odlišného chování, rozdělení nanočástic na přirozené, vzniklé lidskou činností a na záměrně vytvářené (ing-nanočástice). Příspěvek upozorňuje na potenciální rizika nanomateriálů vůči zdraví, nebezpečí pro životní prostředí, fyzikálně-chemické nebezpečí či záměrné zneužití. Zvláštní riziko představují nanočástice ve formě aerosolů, protože vdechování aerosolů nanočástic vede k jejich ukládání v dýchacím ústrojí člověka a vzhledem k jejich velikosti se předpokládá další transport v organismu.

Abstract

The article describes an internal disunity of authors in presenting the current boom of nanoparticles. It contains the basic characteristics of nanoparticles, their history, reasons of their different behavior, differentiation of nanoparticles on natural nanoparticles, nanoparticles created by human activity and nanoparticles created purposely (ing-nanoparticles). The article points out their potential health and environmental risks, physico-chemical hazards and intentional misuse. Nanoparticles represent specific risk in the form of aerosols because the inhalation of nanoparticle aerosols leads to deposition in the respiratory tract of humans and due to their size, a further transport in the body is expected.

Klíčová slova: *nanočástice, rozdělení nanočástic, toxicita nanočástic, pracovní prostředí, princip předběžné opatrnosti*

Keywords: *nanoparticles, nanoparticle distribution, toxicity of nanoparticles, working environment, the precautionary principle*

Úvod

Ambivalence je dvojakost nebo dvojznačnost, vnitřní rozpolcenost nebo rozporuplnost. Do psychologie toto slovo zavedl Eugen Bleuler roku 1910 [1] jako označení pro duševní stav, kdy člověk má současně zcela protichůdné pocity. Svým způsobem toto odráží mé pocity vůči nekontrolovatelnému rozvoji nanotechnologií (práce s nanočásticemi). Uvědomuji si nesporné klady využití nanotechnologií (například v medicíně – diagnostika, léčba), fandím pokroku, ale zároveň je to věc, kterou běžně nevidím, paralela s viry (rovněž nanočástice), takže jsem v ambivalenci.

V rámci tohoto příspěvku jsou uvedeny známé skutečnosti k nanočásticím, jejich možné nebezpečí ve čtyřech oblastech a v závěru jsou vyjádřeny možné obavy z tohoto odvětví, které lze zařadit mezi historické mezníky vědecko-technologických revolucí.

Definice nanomateriálů dle nařízení Evropské komise 2011/696/EU „Nanomateriálem se rozumí přírodní materiál, materiál vzniklý jako vedlejší produkt nebo materiál vyrobený obsahující částice v nespoutaném 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.“ [2]. Na to lze navázat definici Nanotechnologie, která se zabývá *jejím chováním* – oddělováním, spojováním a deformací nanomateriálů. Zjednodušený princip odlišného chování nanomateriálů spočívá v tom, že fyzikálně-chemické vlastnosti pevných látek nejsou stejné uvnitř materiálu a na jeho povrchu. Při zmenšení částic daného materiálu pod 100 nm začínají fyzikálně-chemické vlastnosti povrchu převládat nad vlastnostmi daného materiálu a částice se začne chovat, jako by celá byla tvořena jen povrchem. Jeden z nejvýraznějších jevů tohoto procesu je silné zvýšení chemické reaktivity, jejímž důsledkem může být i změna toxicity.

Nanočástice našly uplatnění již v době, kdy uživatelé neznali jejich podstatu (skláři, keramika-glazury, chemická katalýza, metalurgie, výroba sazí, apod.). Zároveň je realitou, že se nanočástice nacházejí vedle nás od nepaměti. Vznikají při požárech, erupcích sopek, erozí, chemickým rozkladem organických látek antropogenní činností, tj. např. spalování fosilních paliv (tepelné elektrárny, spalovací motory, apod.) a v poslední době vznikají také cíleně v laboratořích či ve výrobě.

Moderní chemie a fyzika v oblastech nanotechnologií přechází k novým typům experimentů a to ne ve zmenšování mikroobjektů postupem „TOP-DOWN“ (miniaturalizace i při použití suprakulových mlýnů je na hranici svých možností), ale naopak ve výstavbu nanoobjektů z atomů a malých molekul. Stavba těchto objektů je založena na intra a intermolekulárních ne vazebných interakcích s cílem vytvoření supramolekulárních komplexů velikosti nanočástic. Toto je nový přístup vycházející z principu „BOTTOM UP“ (tzv. směrem vzhůru). Úspěch výsledného uspořádání závisí na vhodné architektuře stavebních kamenů, ploše a vhodné orientaci funkčních skupin.

Vzhledem ke skutečnosti, že se rozměry nanočástic nacházejí pod hranicí optického rozlišení, stala se důležitým faktorem, který přispěl k rozvoji nanotechnologií, zejména nová technika. Zcela zásadní význam měl vynález elektronového mikroskopu, který umožnil spatřit a identifikovat trojrozměrnou strukturu nanočástic. Následné konstrukční změny elektronového mikroskopu v 80. a 90. letech 20. stol. umožnily spolu s dalšími technikami instrumentální analýzy identifikovat a prokázat řadu originálních struktur nanomateriálů a výskyty nanočástic v prostoru.

Vědní obor, který se věnuje studiu nanomateriálů (nanočástic), včetně vývoje materiálů a zařízení o nano-rozměrech, se nazývá nanotechnologie. Ačkoli tento vědní obor nepojmenoval, ale položil a formuloval jeho základní myšlenky v roce 1959 fyzik Richard Feynman, a to na výroční schůzi Americké společnosti fyziků v Kalifornii svoji přednáškou „*There's Plenty of Room at the Bottom*“ („*Tam dole je spousta místa*“).

Současné nanotechnologie jsou interdisciplinární vědní obor, které zahrnují klasické obory jako fyzika, kvantová mechanika, chemie, biochemie, elektronika apod. O nanotechnologiích se hovoří jako o fenoménu konce 20. a počátku 21. stol. Tomu odpovídá i obrovský nárůst podpory výzkumu v dotčených oblastech, a proto lze učinit závěr, že život nanotechnologie bude mít v budoucnu podstatný dopad na světovou ekonomiku. Do chodu jsou uváděny nové nanotechnologické společnosti, které využívají tzv. rizikový kapitál. V Evropě převládají investice z veřejných zdrojů oproti soukromým investorům, v USA a Japonsku je vyváženější poměr.

Lze tedy těžko najít oblast, kde by nedocházelo k aplikacím či výzkumu v oblasti nanotechnologií. Ať chceme, či nechceme, setkáváme se s produkty v běžném každodenním životě například zubní pasty, krémy na opalování, deodoranty, šampony, kosmetické pleťové a antibakteriální přípravky apod. Využití nanotechnologií a nanomateriálů je velmi rozsáhlé, v současnosti nalézají uplatnění v mnoha oblastech, jako je *elektronika* (paměťová média, spintronika, bioelektronika, kvantová elektronika), *zdravotnictví* (cílená doprava léčiv, umělé klouby, chlopně, náhrada tkání, desinfekční roztoky nové generace, analyzátoři, ochranné roušky), *strojírenství* (supertvrdé povrchy s nízkým třením, samočisticí nepoškrabatelné látky, obráběcí nástroje), *stavebnictví* (nové izolační materiály, samočisticí fasádní nátěry, antiadhézní obklady), *chemický průmysl* (nanotrubice, nanokompozity, selektivní katalýza, aerogely), *textilní průmysl* (nemačkávé, hydrofobní a nešpinící se tkaniny), *elektrotechnický průmysl* (vysokokapacitní záznamová média, fotomateriály, palivové články), *optický průmysl* (optické filtry, fotopické krystaly a fotopická vlákna, integrovaná optika), *automobilový průmysl* (nesmáčivé povrchy, filtry čelních skel), *kosmický průmysl* (katalyzátory, odolné povrchy satelitů), *vojenský průmysl* (nanosenzory, konstrukční prvky raketoplánů), *životní prostředí* (odstraňování nečistot, biodegradace, značkování potravin), apod.

Oblastí s nejvyšší vývojovou aktivitou je elektronika, informatika a medicína. Výzkum v medicíně se zaměřuje na transport diagnostických a terapeutických látek na požadované místo v organismu s minimalizací vedlejších účinků.

Jaká potenciální rizika nanomateriály představují?

Po záporných zkušenostech s některými látkami (např. DDT, PCB, dioxiny apod.) se světová veřejnost snaží apelovat na výzkumná centra i výrobce, aby v případě nanomateriálů a nanotechnologií

zachovávali tzv. princip předběžné opatrnosti. Přijímají se doporučení k regulaci, evidenci, stanovení metod hodnocení rizik a monitorování nanosloučenin [23**Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**] (COM 1 2000, COM 243 2005, COM 338 2004, COM 345 2008), politický záměr státu Kalifornie pro zacházení s nanolátkami [34**Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**], nemožnost použití nanosloučenin v potravinách bez provedení hodnocení rizik (Evropský parlament březen 2009) apod.

Pokud si položíme otázku, jaká potenciální rizika nanomateriály představují, zjistíme, že je lze rozdělit na

- nebezpečí pro zdraví (toxicita),
- nebezpečí pro životní prostředí (ekotoxicita),
- fyzikálně-chemické nebezpečí, tj. způsobení požárů, exploze, neřízené a nežádoucí reakce,
- v budoucnosti nelze vyloučit i neetické využití nanotechnologií a nanočástic třetí osobou (kriminální či teroristický čin, válečný konflikt).

První dva potenciální zdroje nebezpečí [45-7] spolu velmi úzce souvisí, protože právě výskyt nanočástic ve složkách životního prostředí umožní jejich kontakt s živými organismy. Přítomnost nanočástic v živém organismu navozuje řadu interakcí mezi jejich povrchem a biologickými systémy. Tyto interakce mohou vést ke vzniku proteinových koron, obalování částic, vnitrobuněčné absorpci a biokatalytickým procesům, které mohou mít kladné či záporné výsledky z pohledu toxicity. Dochází k prolínání organického světa se syntetickým světem vyrobených nanomateriálů. Vznikají nano-bio rozhraní spojená s dynamickými fyzikálně-chemickými interakcemi, kinetickými a termodynamickými výměnami mezi povrchy nanomateriálů a povrchy biologických komponent (bílkoviny, membrány, lipidy, DNA, biologické tekutiny apod). Z rešeršní práce [45][56] vyplynulo, že je jen málo vědomostí o tom, co se s nanočásticemi děje uvnitř buňky. Nanočástice mohou způsobit široké spektrum vnitrobuněčných reakcí v závislosti na jejich fyzikálně-chemických vlastnostech, vnitrobuněčných koncentracích, době trvání kontaktu apod.

Analýza chování a osud nanočástic v životním prostředí je rovněž komplikován, protože je mnoho neznámých faktorů a vlivů. Každý druh nanočástice vedle svého rozměru (ten ji vlastně zařazuje do kategorie „nano“) lze popsat a charakterizovat:

- chemickým složením
- funkčními skupiny na povrchu (hydrofilita, lipofilita)
- tvarem
- distribučním rozložením částic
- hustotou
- krystalickou strukturou
- zeta potenciálem
- schopností agregace, aglomerace, sedimentace.

Toto jsou jejich vlastnosti, se kterými vstupují do vnějšího prostředí. V ovzduší hraje roli tzv. abiotický faktor vlivu, pod který lze zahrnout teplotu, vlhkost, sanitu, intenzitu slunečního záření, smog polutanty anorganického a organického původu, apod. U vodného prostředí musíme vzít v úvahu fyzikálně-chemickou charakteristiku vodné fáze: spodní voda, povrchová voda, říční a mořská voda, teplota, pH, iontová síla, koncentrace divalentních iontů, koncentrace přírodní organické hmoty a složení sedimentu.

Co ovlivňuje osud nanočástic ve vodném prostředí:

- hydrofilita povrchu (rozpustnost)
- hydrolýza (oxidace-redukce)
- adsorpce
- agregace
- heteroagregace
- přítomnost vodních organismů (bakterie, řasy, prvoci, plankton, larvy, ryby, apod.)
- rychlost sedimentace

- složení sedimentu a jeho reaktivity (adsorpce, redukce fytoextrakty a biologickým materiálem, přítomnost části půdní organické hmoty, přítomnost polutantů-PAU, heteroagregace, apod.).

I u půdního prostředí musíme vzít v úvahu jeho fyzikálně chemickou charakteristiku. Aby půda byla půdou, musí obsahovat tuhou, kapalnou a plynnou fázi. Tuhá fáze (složka) obsahuje minerální podíl (primární a sekundární minerály) různého zrna (dělení podle obsahu frakce 0,01 mm) a organický podíl – půdní organická hmota. Základem této hmoty jsou huminové látky, což jsou směsi polydisperzních sloučenin s vysokou molekulovou hmotností s aromatickou a alifatickou částí s funkčními skupinami:

-COOH, -OH, fenolické -OH, -NH₂, N-heterocykly, apod.

Základní dělení huminových látek je podle rozpustnosti v závislosti na pH. Fulvinové kyseliny jsou rozpustné ve vodě, huminové kyseliny v zásaditém prostředí a huminy jsou zcela nerozpustné ve vodě. Půdní voda, též nazývaná půdním roztokem, může obsahovat fulvinové kyseliny, fytoextrakty s látkami polyfenolové struktury, glycidy, ionty apod. Díky půdnímu roztoku bude ovlivnění nanočástic obdobné jako v případě vodního prostředí.

Co tedy ovlivní osud nanočástic v půdním prostředí:

- hydrofilita a lipofilita povrchu
- hydrolýza
- redukce (green redukce látkami z fytoextraktů)
- heteroagregace (jílové půdy)
- přítomnost půdních mikroorganismů a živočichů (bakterie, larvy, žížaly apod.)
- adsorpce (pí-vazebné interakce, vodíkové vazby, elektrostatická interakce, acidobázická interakce)

Velmi zjednodušeně lze transport a osud obecných nanočástic v životním prostředí rozdělit na tři možnosti, a to působící samostatně, mohou se navzájem prolínat nebo mít synergický efekt, a to:

- **modifikací** (hlavní roli zde bude hrát adsorpce)
- **změnou složení** (vzájemná reakce funkčních skupin s organickými či organickými látkami)
- **degradací** (může být fyzikální, chemická, biologická).

Mezi autory [88] zabývajícími se toxicitou nanomateriálu je vcelku shoda, že je to hlavně plocha nanočástic, která je hybnou silou bioaktivity. Povrchový povlak nanočástice (například hydrofobní polymer) zvyšuje bezpečnost nanočástic a snižuje jejich bioreaktivitu.

Největším problémem však zůstává, že získáme-li poznatky o konkrétním nanomateriálu, nemusí být vůbec pravdivé, budou-li tyto samé částice vyrobeny jinou syntetickou cestou nebo budou-li modifikovány. Dalším problémem je charakterizace jejich povrchů jednoduchým a dostupným měřicím zařízením. Rovněž se předpokládá, že přírodní nanočástice se budou chovat odlišně od tzv. „ing-nanočástic“ – tj. vyrobených průmyslově či laboratorně [99][10].

Zůstává otázkou, zda tradiční přístupy (metodiky) hodnocení rizik, tj. identifikace nebezpečí, popis nebezpečí a konečná charakteristika rizika pokryjí celou složitou problematiku spojenou s nanotechnologiemi. Toto hodnocení bude pravděpodobně ovlivněno např. formou vyráběného nanomateriálu (jedná se o nanočástice, nanotyče a nanovrstvy) či skutečností, že je nanomateriál ve výrobě začleněn do jiného výrobku. Nepochybně bude řešit, jakým způsobem je zajištěna bezpečnost výroby, bezpečnost pracovníků ve výrobě a v případných dalších zpracovatelských zařízeních, zda je ohrožena veřejnost v blízkosti výroby a zpracovatelských zařízení, zda a případně jakým způsobem je ohrožen spotřebitel, jaká mohou být rizika spojená s likvidací či recyklací nanoproduktů apod. A v neposlední řadě se bude hledat odpověď na otázku, jaký je vliv jednotlivých nanomateriálů na zdraví a na jednotlivé složky životního prostředí.

Fyzikálně-chemické nebezpečí představuje především výroba nanočástic systémem „TOP-DOWN“, kdy nanočástice vznikají mechanickou cestou tj. např. broušením, řezáním, supermletím apod. Zde je nutné si připomenout a uvědomit, že nanočástice jsou přítomny v podstatě ve všech prašných

provozech, kde dochází například k obrábění kovů, opracování dřeva, mletí, broušení, svařování, apod. Jejich počet a reaktivita jsou ovlivněny stupněm vzájemné agregace nebo aglomerace.

Obecně je pro prachovzdušné směsi typické, že nejsou v čase ani místě stálé, nejsou homogenní. Na výbušnost prachu má podstatný vliv velikost částic. Obecné riziko výbuchu se zvýší snížením velikosti částic. Toto tvrzení je experimentálně prověřeno u mikročástic a lze předpokládat, že tento trend bude pokračovat i u částic rozměru nanometrů.

Řada nanočástic například Fe, Ni, Al, Mn, Co podléhá samovznícení a díky svému velkému povrchu jsou katalyticky aktivní a tím mohou iniciovat nekontrolovanou reakci s exotermním průběhem. Nanočástice samy o sobě jsou reaktivnější než jejich makroverze stejného chemického složení.

Zvláštní riziko představují nanočástice ve formě aerosolu, tedy ty, které jsou suspendovány ve vzduchu. Vdechováním aerosolu nanočástic vede k jejich depozici v dýchacím ústrojí člověka, ale lze předpokládat, že v závislosti na průměru, ploše, povrchu apod. nanočástic dojde k jejich transportu do dalších koncových orgánů.

Zdravotní rizika nanočástic lze z logiky věci, aproximovat na dlouhodobé zkušenosti s ultrajemnými částicemi, které při vdechování měly za následek zvýšení výskytu respiračních a kardiovaskulárních chorob. Zásadní rozdíl oproti mikro částicím, je v tom, že nanočástice mohou procházet do buňky řadou endocytických procesů, zejména fagocytózou a makropinocytózou. Jejich vstup do buňky je provázen zejména oxidačním stresem a mohou zasahovat do řady metabolických a regulačních procesů.

Diskuze

Z historie lze doložit řadu příkladů, kdy rozvoj a aplikace nových technologií (využití nových sloučenin) mělo v daném období a při daném stavu znalostí opodstatnění a společenský a ekonomický význam, viz výroba freonů, DDT, asbestových izolačních hmot apod. I v dnešní době se v případě freonů (ledonů) vedou diskuze, kolik životů toto chladicí medium zachránilo (například válečné konvoje, potravinová pomoc). Obdobný osud může potkat i nanotechnologie, chybějí mechanismy k jednoznačné klasifikaci toxických efektů nanočástic – vliv mnoha měnících faktorů, ovlivnění reprodukovatelnosti a spolehlivosti výsledků testů.

Ve výzkumech aktivních nanotechnologií lze najít oblasti, které se již dnes dají zneužít, například jako nosiče rizikových a vysoce rizikových biologických agens s cílem zvýšení jejich rezistencí. U veřejnosti, a to díky novinářům a autorům sci-fi literatury, lze identifikovat dva krajní přístupy – *futorologové*, kteří považují nanotechnologie jako za základ budoucího blahobytu a trvalého života a *fanatické odpůrci* nanotechnologií. Mezi stojí i řada vědeckých autorit a politiků, zastávající názor, že kombinace genetiky, nanotechnologií a robotiky může tvořit potenciál k rozvoji nového typu zbraní hromadného ničení [1].

Jak je z výše uvedeného patrné raketový rozvoj nanotechnologií, je předurčuje jako další historickou fázi vědecko-technické revoluce. Ta začala potřebou hromadné výroby textilních výrobků – zakládáním manufaktur se strojním vybavením (1800 – 1855) a následoval další vývoj:

1853 – 1913 – železniční doprava – parní stroje,

1913 – 1969 – automobilový a letecký průmysl (chemický přístup k využívání energie),

1909 – 2015 – mikroelektronika (1947 – objev tranzistoru, výpočetní technika)

2015 – 2070 – nanotechnologie.

Zásadní zlom v rozvoji nanotechnologií přinesl až objev mikroskopických metod umožňující sledovat a měřit děje až na úrovni atomů. Obrovský inovační potenciál nanotechnologií nespočívá pouze ve zmenšení, ale v nalezení a využití kvalitních změn vlastností a funkcí nano oproti makroskopickým materiálům, či technologiím.

Vždy, když došlo v historii k zásadním změnám v technologiích, byly odezvy a dopady jak v oblasti ekonomické, tak i v oblastech etiky, morálky, humanity ve spojení (či kontra) s environmentální nebezpečností.

Co může způsobit rozvoj nanotechnologií? V současnosti převažují obavy ve vztahu nanočástice – životní prostředí (toxicita, ekotoxicita). Velký výzkum je věnován kontaktům nanočástic s biologickým

materiálem (DNA, enzym, tkáň, buňka). Rozměr nanočástic umožňuje průnik do buňky a byla prokázána i jejich schopnost překonat ochranné bariéry chránící mozek.

V této schopnosti se hledá klad, a to ve využití nanočástic jako nosiče léků a preparátů k léčbě. Tím se začínáme blížit k „populárním“ nanorobotům s vlastní autoregulací, inteligencí a interním nanosenzorům, které by hlídaly zdravotní stav člověka. A zde již můžeme narazit na etické problémy.

Z globálního pohledu může hrozit ztráta kontroly nad aplikacemi nanotechnologií, získání technologické moci, změna či zmizení řady oborů, prodloužení věku – ztráta sociální vyváženosti, možný nárůst sociální, kulturní a ekonomické diverzifikace, které mohou způsobit nerovný přístup k aplikacím nanotechnologií, a tím ke střetu negativních a pozitivních dopadů nanotechnologií.

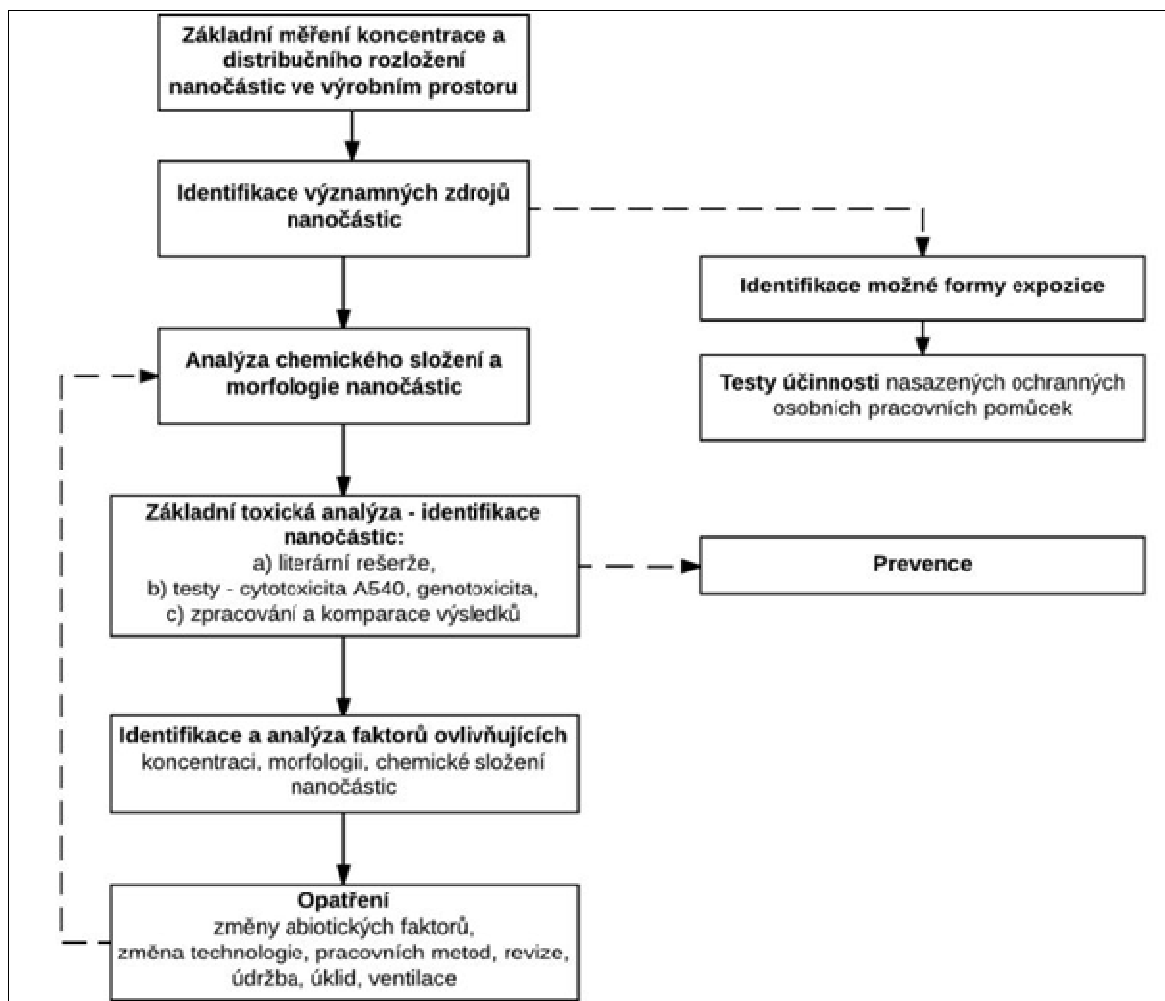
Nanotechnologie mají velký předpoklad rozvoje ve vojenských strategiích. Začíná se hovořit o nových typech zbraních hromadného ničení tzv. „zbraně masového rozkladu“ – propojení informatiky, genetiky a nanotechnologií.

Dramatický přehled rizik a zneužití nanotechnologií popisuje román jednoho z nejslavnějších amerických bestselerových autorů (Kmen Andromeda, Jurský park, apod.) Michaela Crichtona „Kořist“ z roku 2002 (originální název „Prey“) [12].

Závěr

Člověk se při běžném životě vystavuje kontaktu s nanočásticemi o rozdílných koncentracích, se zvýšenou koncentrací nanočástic se může setkat na určitých místech (industriální část města) či při určitých činnostech (sportovní střelba, kouření, ohňostroj) nebo při práci v „klasických“ provozech. Pro tzv. semi-systematického měření v konkrétních technologických provozech jsme vytvořili strategii doporučeného postupu (Obrázek č. 1).

Obrázek č. 1: Strategie postupu či opatření při a po semi-systematickém měření nanočástic v technologickém provozu



Nechci, aby výzkumy a studie Ing-nanočástic zatlačily do hlubokého pozadí tzv. antropogenní nanočástice, kterým je vystaven člověk při práci v „klasických“ provozech. Proto v rámci doktorandské práce a činnosti VUBP, v.v.i. se chci zaměřit na stanovení a analyzování vlivu technologických a bezpečnostních opatření na koncentraci a distribuční rozložení nanočástic v rizikových provozech, včetně vytvoření databáze výskytu a charakteristik nanočástic v provozu a vlivu abiotických faktorů, charakteru materiálu a technologií.

Seznam literatury

- [1] Ambivalence. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-02-14]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Ambivalence>
- [2] Doporučení komise o definici nanomateriálu ze dne 18. října 2011 (2011/696/EU). In: ÚV, L275, 20.10 2011.
- [3] KVASNIČKOVÁ, A.: Aplikace nanotechnologií v potravinářství, [on-line], [cit. dne 2016-07-20], dostupné z: http://www.nanotechnologie.cz/storage/Nanotechnologie_web-final.pdf
- [4] A Nanotechnology Policy Framework for Kalifornie, [on-line], [cit. dne 2009-06-8], dostupné z: [http://www.nsti.org/proces/Nanotech 2009v2/7/182.708](http://www.nsti.org/proces/Nanotech%202009v2/7/182.708)
- [5] PODILA, Ramakrishna a Jared M. BROWN. Toxicity of Engineered Nanomaterials: A Physicochemical Perspective *J Biochem Mol Toxicol*. [online]. 2012 [cit. 2016-07-25]. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3778677/>
- [6] FU, Peter P., Qingsu XIA, Huey-Min HWANG, Paresh C. RAY a Hongtao YU. Mechanisms of nanotoxicity: Generation of reactive oxygen species. *Journal of Food and Drug Analysis* [online].

2014, (22), 64–75 [cit. 2016-07-25]. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfda.2014.01.005>. Dostupné z: [http://www.jfda-online.com/article/S1021-9498\(14\)00006-4/fulltext](http://www.jfda-online.com/article/S1021-9498(14)00006-4/fulltext)

- [7] BRUININK, Arie, Jing WANG a Peter WICK. Effect of particle agglomeration in nanotoxicology. Springer. 2015, (89), 659-675.
- [8] NEL, A. E., MÄDLER, L., VELEGOL, D., XIA, T., HOEK, E. M. V., SOMASUNDARAN, P., KLAESSIG, F., CASTRANOVA, V., THOMPSON, M.: Understanding biophysicochemical interactions at the nano-bio interface, *Nature Materials*, 2009, Vol. 8, No. 7, pp 543-557
- [9] KLOUDA, K., KUBÁTOVÁ, H., VEČERKOVÁ, J.: Záměrně vyráběné nanomateriály. Návrh metodiky řízení rizik při produkci a manipulaci s nimi. *Ochrana obyvatel 2010*, Ostrava, sborník str. 138-151, ISBN 978-80-7385-080-7, ISSN 1803-7372
- [10] KLOUDA, K., KUBÁTOVÁ, H., VEČERKOVÁ, J.: Záměrně vyráběné nanomateriály. Návrh metodiky řízení rizik při produkci a manipulaci s nimi. *Spektrum 1/2010*, str. 41-45, ISSN 1211-6920
- [11] TŮMA, Miroslav. Nanotechnologie - "spása lidstva" s bezpečnostními riziky? *Mezinárodní vztahy*. 2004, 39(2), 36-48.
- [12] CHRICHTON, Michael. *Kořist*. Praha: Euromedia Group - Knižní klub, 2003. ISBN 80-242-1094-0.