

# Nanoodpad jako nově vznikající druh odpadu: výzvy a příležitosti

**Lenka Schreiberová (lenka.schreiberova@vsb.cz), Veronika Hase (veronika.hase@vsb.cz), Pavel Danihelka (pavel.danihelka@vsb.cz), Pavel Dobeš (pavel.dobes@vsb.cz)**

**Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava**

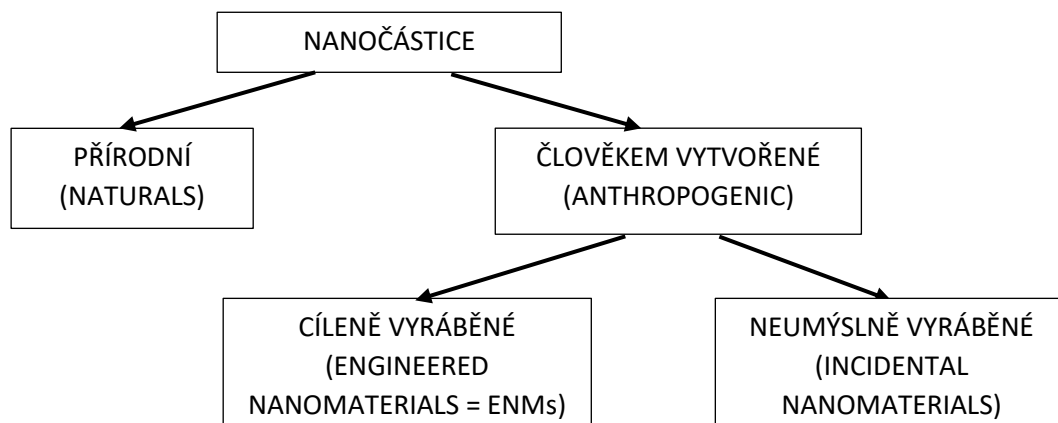
## **Souhrn**

*Nanoodpad je nový druh odpadu generovaný ve výrobních procesech s nanomateriály nebo při ukončení životnosti produktu, obsahující syntetické nanočástice, které se mohou hromadit v různých tocích odpadu. Nanotechnologie i samotné nanomateriály umíme velmi dobře popsat, ale neumíme s nimi zatím s dostatečnou jistotou zacházet, když se stanou odpady, (formálně je můžeme nazývat nanoodpady), které mnohdy vykazují nebezpečné vlastnosti, ne vždy dosud detailně prozkoumané. Čím častěji se nanomateriály dostávají do běžného života (kosmetika, textilie, povrchové úpravy, obaly, elektronika apod.), tím více se stávají součástí průmyslových technologií, a tím více se s nimi budeme setkávat ve formě nanoodpadu. Na evropské úrovni dosud neexistují pravidla pro nakládání s nanoodpady, nejsou samostatně zařazeny ani v katalogu odpadů. Není zatím žádná záruka, že stávající metody nakládání s konvenčními odpady jsou relevantní a dostačující pro nanoodpady, a to z důvodu odlišných charakteristických vlastností takovýchto materiálů. Na mezinárodních diskuzích vzniká mnoho nových otázek ohledně nanoodpadu. Ukazuje se také, že při odstraňování nanoodpadu a dodržování pravidla snížení potenciálního nebezpečí nekontrolovatelného a neočekávaného úniku nanočástic z odpadu může být užitečným nástrojem vytvoření norem klasifikace nanoodpadu, přičemž udržení vysoké úrovně ochrany životního prostředí je novou výzvou pro výzkumné pracovníky.*

**Klíčová slova:** nanoodpad, nanočástice, nakládání s odpadem, klasifikace nanoodpadu,

## **1. Nanotechnologie, nanoodpady a 4. průmyslová revoluce**

Historie syntetické přípravy nanočástic sahá až do pravěku, kdy bylo mimo jiné objeveno tzv. rozpustné zlato, které bylo využíváno v kosmetice a v lékařství, ale v té době se pojem nanočástice ještě nepoužíval [1]. Také řada procesů v keramice, povrchových úpravách a metalurgii by z dnešního pohledu mohla být chápána jako nanotechnologie. S postupem času a technologického pokroku bylo možné identifikovat a následně i pojmenovat nanočástice, mimo jiné za pomoci objevu elektronového mikroskopu. Z pohledu možného managementu rizika lze nanočástice rozdělit na přirozeně se vyskytující v životním prostředí a nanočástice, které se objevily v důsledku lidské činnosti, ať už úmyslně (s cílem konkrétního využití např. v kosmetice jako ochrana před UV, textil, aj.) či neúmyslně vyráběné (výfukové plyny, svařovací dýmy, otěry z brzdových destiček) (Obrázek 1). Dnes jsou syntetické nanomateriály obsaženy téměř ve všech výrobcích běžného denního života, a i přesto si široká veřejnost neuvědomuje, že je každý den využívá. Z pohledu životního cyklu výrobku, který obsahuje nanomateriál, se z fáze použití spotřebitelem dostává do poslední fáze tzv. likvidace (End of Life). A právě likvidace výrobků obsahující nanomateriál vzbuzuje největší obavy a otázky zároveň z důvodu jejich neočekávaného chování nejen v životním prostředí, ale zejména v lidském těle. Typickým příkladem je stříbro. V měřítku určeném pro šperkařské účely nebo elektrotechniku víceméně není nebezpečné. Ovšem pokud je v měřítku nanovelikosti, pak už může být škodlivé. Samotné nanostříbro, které je nejčastěji používáno v lékařství a oděvním průmyslu, je agresivní vůči bakteriím. Z oděvů jsou tyto nanočástice postupně vymývány praním a dostávají se do látkového koloběhu všech složek životního prostředí. Studie zaměřené na experimenty s nanočásticemi stříbra ukazují, že již ve velmi nízkých koncentracích zabíjejí prospěšné půdní mikroorganismy, které ovlivňují přirozeně se vyskytující procesy symbiózy. Pokud nanočástice stříbra zabíjejí prospěšné půdní mikroorganismy, naskytá se otázka, co pak dokáže s ekosystémy nebo dokonce s buňkami v našem těle [2]?



**Obrázek 1: Rozdělení nanočástic**

Rychlý rozvoj a nárůst nanotechnologie má za následek řadu nových aplikací v oblasti léků, potravin, ale zejména v oblasti elektroniky, a to díky 4. průmyslové revoluci. [2].

Do nanoodpadu je možné zařadit: odpady z výroby (zpracování nanomateriálu – čistě vyráběné nanomateriály, např. uhlíkové nanotrubičky); předměty, jejichž materiály a povrchy jsou kontaminované nanomateriály; kapalnou a plynnou suspenzi obsahující nanomateriál (suspenze kontaminována na základě syntézy nanomateriálu); produkty s obsahem nanomateriálu na konci fáze jejich užívání. V literatuře se rozlišuje nový proud nanoodpadu a jedná se o tzv. nano-side, který může být organický nebo anorganický [3].

Produkty obsahující nanomateriály na konci své životnosti vzbuzují řadu obav, především z důvodu rychlého nárůstu jejich množství. Mezi takový druh nanoodpadu lze zařadit např. elektroodpad nebo stavební odpad. Díky velkému počtu elektrovýrobků, které jsou ročně generovány na trh dochází také k velkému nárůstu elektroodpadu obsahující nanokomponenty. Bohužel řada těchto nanokomponentů není speciálně odstraněna před samotnou likvidací a procesem nakládání s odpady se může dostávat do všech složek životního prostředí.

Příkladem je stavební odpad obsahující nanočástice, který kontaminuje nejen složky životního prostředí v konečné fázi likvidace, ale také v průběhu životnosti stavebního materiálu. Nanočástice se do stavebního materiálu přidávají za účelem zlepšení technologických vlastností, např. jako izolační materiály nové generace, samočistící fasádní nátěry, antiadhezní obklady atd. [4] nebo se přidávají přímo do konstrukčních stavebních prvků pro zlepšení mechanických vlastností. Při kontaktu půdy a stavebního materiálu obsahující nanočástice může dojít k transformaci těchto nanočástic vlivem chemických reakcí nebo půdních mikroorganismů, na zcela jiné částice, které dokonce ani nemusí být ve formě „nano“, a přitom mohou vykazovat mnohem větší toxicitu než ty původní. K tomu, aby bylo možné charakterizovat a detekovat nanomateriály v odpadu a jejich následný osud v životním prostředí, chybí dostatečná technologická (přístrojová), ale i vědomostní základna, týkající se nebezpečnosti nanomateriálu.

## 2. Nanoodpady z pohledu legislativy

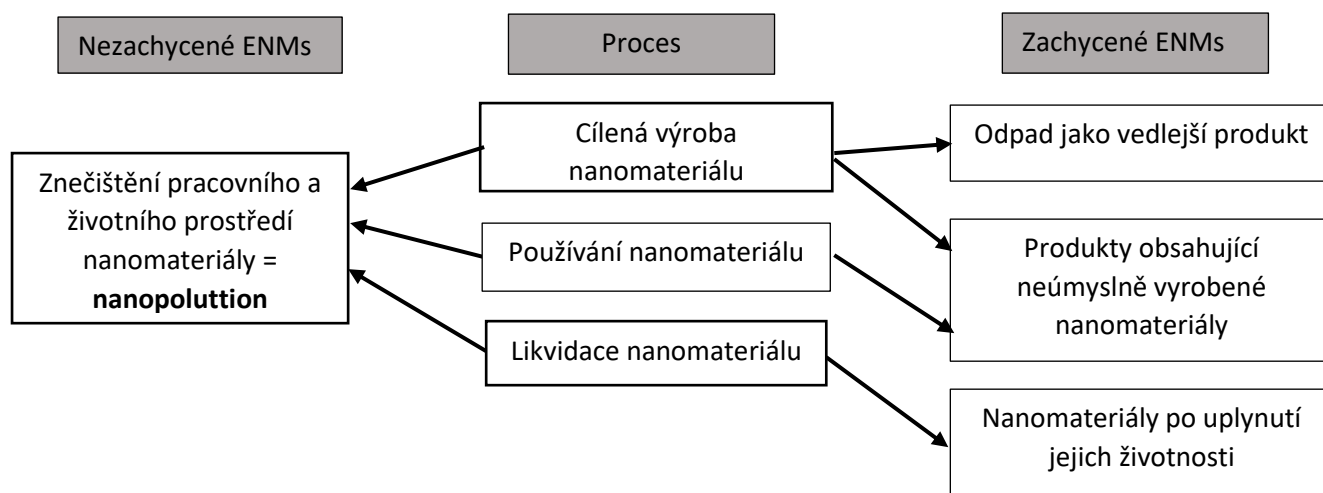
Jeden z problémů, se kterým se dlouhodobé úsilí o legislativní ošetření bezpečnosti nanotechnologií potýká, je stále neexistující jednotná definice nanomateriálů, což je podstatné pro legislativu, která upravuje zacházení s nimi. Vzhledem k tomu, že pro nanomateriály neexistují žádné výslovné požadavky podle nařízení REACH či CLP, splňují obecnou definici látky uvedenou v těchto nařízeních, tím pro ně platí příslušná ustanovení [5], a jsou chápány jako chemické látky. Bohužel v případě odpadu obsahující nanomateriál zatím žádné specifické ani obecné zařazení neplatí.

Pro nakládání s konvenčními odpady platí mnoho zákonů, nařízeních a vyhlášek, kterými je původce odpadu povinen se řídit, ale bohužel pro nakládání s nanoodpady není v současné době ani jediná platná legislativa na evropské úrovni ani národní, která by určovala požadavky na postup jejich zpracování. V důsledku toho, nanoodpady nejsou zařazeny ani v katalogu odpadů. Zároveň stávající metody pro nakládání konvenčního odpadu nemusí být zcela dostačující a relevantní, a to zejména kvůli odlišným a neočekávaným vlastnostem materiálů v nanoměřítku. Z toho důvodu je nutné na nanoodpad pohlížet jako na „nanospecifický“ problém. Vyvstává tedy otázka, jak takový nanoodpad může ovlivnit nakládání

s odpady při zachování současné legislativy? Nanomateriály nemusí vyloženě bezprostředně ohrožovat lidské životy nebo životní prostředí, ale mohou mít negativní vliv např. na technologii recyklace [6] nebo mohou negativně ovlivnit rozkladné procesy při skládkování či ovlivňovat samotný proces spalování [1]. U recyklace je velmi důležitá kvalita výsledného recyklátu, která je pro ekonomickou rentabilitu důležitá, což nanočástice v odpadu mohou negativně ovlivňovat [1]. Při nakládání s volnými nebo uvolněnými nanočásticemi během procesu v čisté nebo koncertované formě, je nutné dbát zvýšené opatrnosti, protože představují větší rizikový potenciál [6] a existují dva důležité důvody potenciálně škodlivého účinku [2]:

- 1) Při přechodu z makrovelikosti do nanovelikosti se může změnit chemická reaktivita, mobilita v prostředí i elektrická vodivost, a tím dochází k odlišnému chování a možnému nárůstu toxicity.
- 2) Nanočástice mohou působit jako nosič pro (např. i sorbované) znečišťující látky, což má za následek větší rozšíření v životním prostředí

V samotném průběhu recyklace je důležité věnovat pozornost, aby z procesu neunikaly žádné nanočástice, které by mohly ohrozit zdraví lidí, zejména pracovníků a pak samotné životní prostředí [6]. Boldrin (et al.) [7] uvádí, že pokud se nanomateriály během procesu nakládání s odpady uvolní a jsou emitovány přímo do ovzduší, tak nepodléhají definici nanoodpadu, nýbrž definici tzv. nanoznečištění (nanopollution) [8] (Obrázek 2).



**Obrázek 2: Příklad nanoznečištění z pohledu životního cyklu výrobku obsahující nanomateriál [7].**

Možnou inspirací pro českou legislativu může být příklad environmentální politiky ze Švýcarska, kdy Švýcarská federální kancelář pro životní prostředí (FEON) připravila návrh pro bezpečné nakládání s tímto druhem odpadu. Tento návrh popisuje opatření, která jsou nezbytná pro nakládání s nanomateriály, a postupy pro jejich odstraňování, které jsou v souladu se současným stavem vědeckého poznání a zároveň s použitím současné využitelné legislativy. Podle návrhu by měl proces odstraňování zajistit, že materiál nebude mít nadále nebezpečné a nanospecifické vlastnosti. Jako vhodným řešením se nabízí termický nebo fyzikálně-chemický způsob odstranění. Podle současné chemické legislativy REACH musí výrobci sami přijmout opatření dříve, než výrobek uvedou na trh. Zároveň výrobci nanomateriálů musejí ověřit, zda jejich materiály nemohou představovat zdravotní či environmentální rizika ve chvíli, kdy se stanou odpadem. Takový výrobek může být uveden na trh pouze tehdy, pokud nepředstavuje riziko, nebo je toto riziko minimalizováno ochrannými opatřeními. Verifikační a kontrolní mechanismy se pro nanomateriály teprve vytvářejí a podle tamního návrhu mají společnosti prokazovat, že navrhovaný postup pro nakládání s nanomateriály neohrozí životní prostředí. Jako potvrzení musí společnost vytvořit vlastní ověřovací postupy nebo použít existující vědecké experimenty. Pokud kantonální úřad takový důkaz přijme, získá společnost povolení pro nakládání s tímto novým druhem odpadu [6].

### 3. Výzvy a příležitosti z pohledu odstraňování nanoodpadu

Možnosti zneškodnění nanoodpadu, tak aby byla naplněna myšlenka přijatelného rizika pro zdraví lidí a složky životního prostředí, je teprve v začátcích. Literatura hovoří o několika variantách a možnostech zneškodnění odpadu obsahující nanomateriál, ale je nutné zmínit, že řada těchto experimentů zůstala pouze na vědecké či laboratorní úrovni, a nebyla praxí řádně ověřena.

Rodewal (et al.) [3] ve své studii uvádí možnost recyklace odpadu obsahující nanomateriál pomocí nanočástic drahých kovů, ale vzhledem k vysoké pořizovací ceně, bude tato možnost ještě předmětem řady zájmů a experimentů. Jako další možnost uvádí odstranění nanočástic obsažených v odpadu pomocí bioakumulace za použití vhodných rostlin či hub, ale přesný mechanismus tohoto účinku není doposud znám [3]. Sánchez (et al.) ve své studii upozorňuje na skutečnost, kdy nanočástice byly zničeny ireverzibilní agregací nebo rozpuštěním, ale v konečném výsledku si zachovaly své původní vlastnosti [3, 9].

Vzhledem k tomu, že v současné době neexistuje žádný mezinárodně dohodnutý klasifikační systém pro nakládání s odpady obsahující nanočástice, navrhl Musée [10] první kvalitativní klasifikační paradigma pro nanoodpady. Musée [10] naznačuje, že vytvoření univerzální klasifikace odpadu je zásadní pro určení stupně škodlivosti nanočástic. Ve své studii charakterizoval riziko, které je třeba vyhodnotit z hlediska nebezpečnosti a expozice, přičemž nebezpečí odvodil z údajů toxicity nanomateriálů, zveřejněné ve vědecké literatuře. V dalším kroku identifikoval, charakterizoval a kategorizoval nanoodpad do různých tříd. Tato klasifikace přináší dvě výhody: Odpadní typy, které mají charakter izolace a zaslouží si zvláštní provozní postupy řízení během výroby, manipulace, dopravy, skladování, zpracování a likvidace (všechny fáze životního cyklu) vedoucí ke zmírnění nepříznivých účinků na člověka a životní prostředí, v důsledku stupně nebezpečnosti. Druhá výhoda umožňuje efektivní stanovení vhodných způsobů zpracování a odstraňování různých typů nanoodpadu. V této studii je klasifikace založena na potenciální expozici účinnosti ve fázi likvidace životního cyklu nanoodpadu (Tabulka 1) [10].

<b>Třída nanoodpadu</b>	<b>Nebezpečnost</b>	<b>Expozice</b>	<b>Profil rizika</b>	<b>Příklad toku odpadů (nanoprodukt)</b>
Třída I	Netoxická	Od nejnižší k nejvyšší	Žádné nebo velmi malé	Televizní obrazovky, solární panely, paměťové čipy,
Třída II	Škodlivé nebo toxická	Nízká až střední	Nízký až střední	Barvy a nátěry, leštící prostředky,
Třída III	Toxická až vysoce toxická	Nízká až střední	Střední až vysoký	Obalové materiály, přísady do potravin, kosmetika, pesticidy,
Třída IV	Toxická až vysoce toxická	Střední až vysoká	Vysoký	Barvy a povlaky, kosmetika, pesticidy,
Třída V	Vysoce toxická až extrémně toxická	Střední až vysoká	Vysoký až velmi vysoký	Opalovací krémy, pleťové vody, potraviny a nápoje obsahující fullereny v koloidní suspenzi,

**Tabulka 1: Klasifikace nanoodpadu [10]**

Kim (et al.) [11] se zaměřuje na nanoodpad v čistírenských kalech. Ve své studii poukazuje na obsah nanočástic stříbra v odpadních vodách a ohlásil identifikaci nanočástic sulfidu stříbrného právě v čistírenských kalech. Díky tomuto zjištění, poskytl náhled do osudu stříbra, které je zavedeno v různých formách do životního prostředí. Nanostříbro vstupuje do odpadní vody z různých průmyslových zdrojů a také z různých spotřebních výrobků, jako jsou např. textilie, viz kapitola 1. Většina nanočástic stříbra vstupující do čistírny odpadních vod je odstraněna již v průběhu procesu čištění, a experimentálně bylo zjištěno, že sulfid hraje důležitou roli při odstraňování těchto nanočástic. Počáteční studie ukázaly, že nanočástice stříbra jsou účinně odstraněny z odpadní vody z více než 90 %, a v důsledku toho se hromadí v kalech. Čistírenské kaly mohou být spalovány, a tím může docházet k úniku nanočástic a k následné kontaminaci ovzduší. Výsledky studie Kim (et al.) [10] naznačují, že rozpuštěné stříbro vysrážené chloridem stříbrným nebo kovovými nanočásticemi stříbra jsou transformovány během procesu čištění

odpadních vod do nanočástic sulfidu stříbrného, které jsou zachovávány v kalech. Proto, i čistírny odpadních vod jsou producenty těchto nanočástic, ale ve zcela jiné formě, než kovové nanočástice stříbra vyprodukované průmyslem [11, 12].

Na druhou stranu vědci z Ústavu fyzikální chemie Polské akademie věd vyvinuli inovativní způsob odstraňování nanočástic z odpadních vod, na které poukazuje právě Kim (et al.) [11]. Současné metody mechanického a chemického čištění odpadních vod dostatečně neeliminují znečištění odpadních vod nanočásticemi a tento typ řešení se ukázal být velmi jednoduchý, levný a zároveň i efektivní. Princip odstranění nanočástic spočívá v přidání roztoku ze dvou látek: povrchově aktivní látky (např. mýdlo) a polymeru (např. polyethylenglykol). Pokud je zvolena vhodná koncentrace, tak všechny nečistoty se shromáždí na povrchu plovoucí vrstvy s konzistencí tenkého mýdla a pod touto vrstvou se nachází čistá voda zbavená nanočástic se snadno obnovitelným polymerem. Vrchní vrstva povrchově aktivní látky obsahují nanočástice a může být snadno shromažďována mechanickými prostředky a následně zlikvidována. Mechanismus účinku při separaci látek v roztoku je založen na vztahu rozdílu velikosti částic povrchově aktivní látky a polymeru. Značným přínosem pro aplikace v průmyslovém měřítku je skutečnost, že po ukončení čištění polymer zůstává ve vyčištěné vodě, kde může dojít k jeho plné obnově, aniž by došlo ke kontaminaci vyčištěné vody [13].

Dalším možným způsobem odstranění nanoodpadu je omezení výrobků obsahujících nanomateriál, a to již ve výrobní fázi. Před samotnou výrobní fázi bude původní nanomateriál nahrazen materiálem, který bude biologicky rozložitelný, tak, aby mohla být naplněna myšlenka Life Cycle Thinking. Hlavním cílem této myšlenky je snížení spotřeby zdrojů a tím i snížení dopadů na životní prostředí ve všech fázích životního cyklu. Této myšlenky je možné dosáhnout aplikací dřeva, tedy biologicky rozložitelného materiálu, do mikročipu, za účelem snížení elektroodpadu. Biologicky rozložitelné mikročipy jsou vyrobeny z průsvitného materiálu celulóznic mikrovláken, tzv. Cellulose Nanofibrils [14]. Celulózní nanovláknina jsou vyráběna přidáním vody do materiálu s vysokým obsahem celulózy, což je zpravidla dřevěný odpad z papíren nebo z průmyslových pil. Ze vzniklé směsi se vytvoří gel, v němž se vlákna dřevěné hmoty rozdělí na celulóznic nanovláknina. Následně je gel vysušen a vzniklý materiál se použije jako substrát pro výrobu mikročipu, který disponuje ohebnými vlastnostmi, předurčenými pro použití v ohebné technice [14, 15].

#### 4. Závěr

V příštích letech, díky rychlému vývoji a aplikaci nanočástic, budeme svědky nevyhnutelnému růstu množství nanoodpadu, a proto je nutno zvážit nakládání s tímto novým druhem odpadu, které je ještě na svých počátcích. Na začátku stojí také nedostatek jasných norem, definic a rámců souvisejících s využíváním, likvidací a recyklací nanomateriálů. Tato skutečnost upozorňuje na nutnost nejen rozvoje výzkumu nebezpečnosti nanomateriálů a jejich osudu, ale i rozvoje analytických metod umožňujících stanovení expozice lidí i životního prostředí, aby se zabránilo potenciálnímu riziku a nekontrolovatelnému úniku nanočástic z odpadů do složek životního prostředí.

Shromáždění potřebných údajů k dalším analýzám vyžaduje spolupráci mezi vědci, výrobcí, podnikateli i ekonomy za účelem dalšího vyhodnocování, rozvoje jednotné politiky a efektivních přístupů. Je nutné mít na paměti, že ne všechny nanomateriály jsou totožné a je obtížné určit zobecněné postupy. Proto bude vyžadován zvláštní přístup k určení potenciálního rizika a jeho řízení. Tím, že jsou nanomateriály pro lidské oko neviditelné, je také nejednoduché je monitorovat a sledovat jejich osud v životním prostředí. Predikovat jejich nepředvídatelné chování je v současném stavu vědění nad rámec vědy, a likvidace takových chemicky reaktivních materiálů bez předchozí deaktivace může vést k vážným následkům nejen pro lidské zdraví, ale zejména pro životní prostředí.

Na laboratorní úrovni se nabízí celá škála možných řešení pro odstranění odpadu, ale z pohledu odpadového hospodářství je nutné na vzniklý nanoodpad pohlížet jako na nový druh materiálu. A zatím není známo, zda některé nanočástice nebudou představovat zcela novou řadu „ne-biologický“ rozložitelného odpadu.

Před tím než budou známy otázky ohledně toxicity, nebezpečnosti a rizika nanomateriálů, doporučuje se dodržovat principy preventivního opatření a již zmiňované myšlení (Life Cycle Thinking) s možným využitím BAT a BREF, což je pro vědu z tohoto titulu výzva.

#### Poděkování

Tento článek byl vypracován v rámci projektu LO1403 Inovace pro efektivitu a životní prostředí – Growth.

## Reference

- [1] Nanoodpady. *Třídění odpadu.cz* [online]. ©2007-2017 [cit. 2017-02-11]. Dostupné z: <http://www.trideniodpadu.cz/nanoodpady>
- [2] KOŁODZIEJCZYK, Bart. What is nanowaste and why should we worry about it? In: *World Economic Forum* [online]. Monash University, ©2016 [cit. 2017-02-11]. Dostupné z: <https://www.weforum.org/agenda/2016/02/what-is-nanowaste-and-how-will-it-affect-us/>
- [3] RODEWAL, Dorota a Zenon FOLTYNOWICZ. *Nanoodpady jako nowy rodzaj odpadów potencjalnie zagrażających środowisku*. Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu, 2011. ISSN 1733-4381.
- [4] Nanotechnologie a nanomateriály. *Krajská hygienická stanice Moravskoslezského kraje se sídlem v Ostravě* [online]. Ostrava, ©2007 [cit. 2017-02-11]. Dostupné z: [https://www.khsova.cz/01\\_aktuality/nanotechnologie.php?datum=2009-03-18](https://www.khsova.cz/01_aktuality/nanotechnologie.php?datum=2009-03-18)
- [5] TINKLE, Sally S. NANOTECHNOLOGY: COLLABORATIVE OPPORTUNITIES FOR ECOTOXICOLOGY AND ENVIRONMENTAL HEALTH. *Environmental Toxicology and Chemistry* [online]. 2008,27(9), 1823- [cit. 2016-09-22]. DOI: 10.1897/08-266.1. ISSN 0730-7268. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1897/08-266.1>
- [6] Nanoodpady a jejich regulace. *Odpady* [online]. Profi Press, 2013 [cit. 2017-02-11]. Dostupné z: <http://odpady-online.cz/nanoodpady-a-jejich-regulace/>
- [7] Boldrin, A., et al., 2014, Environmental exposure assessment framework for nanoparticles in solid waste. *Journal of Nanoparticle Research* 16, 1-19.
- [8] Nanowaste - Nanomaterial-containing products at the end of their life cycle. *Nanowerk* [online]. ©2015 [cit. 2017-02-11]. Dostupné z: [http://www.nanowerk.com/spotlight/spotid=38848\\_3.php](http://www.nanowerk.com/spotlight/spotid=38848_3.php)
- [9] Sánchez A., Recillas S., Font X., Casals E., González E., Puentes V. (2011): Ecotoxicity of, and remediation with, engineered inorganic nanoparticles in the environment, *Trends in Analytical Chemistry*, Vol. 30, No. 20, 507-516
- [10] MUSÉE, N. Nanowastes and the environment: Potential new waste management paradigm. *Natural Resources and the Environment* [online]. 2011, **37**(1), 112–128 [cit. 2017-02-12]. DOI: [dx.doi.org/10.1016/j.envint.2010.08.005](http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2010.08.005). Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412010001558?np=y&npKey=4a95dbb5d391e551ac526fdd522390f3d5953ebaaee16c77f3e94feb57a75529>
- [11] KIM, Bojeong, Chee-Sung PARK, Mitsuhiro MURAYAMA a Michael F. HOCELLA. Discovery and Characterization of Silver Sulfide Nanoparticles in Final Sewage Sludge Products. *Environmental Science & Technology* [online]. 2010, **44**(19), 7509-7514 [cit. 2017-02-12]. DOI: 10.1021/es101565j. ISSN 0013-936x. Dostupné z: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es101565j>
- [12] NOWACK, B. Nanosilver Revisited Downstream. *Science* [online]. 2010, **330**(6007), 1054-1055 [cit. 2017-02-12]. DOI: 10.1126/science.1198074. ISSN 0036-8075. Dostupné z: <http://www.sciencemag.org/cgi/doi/10.1126/science.1198074>
- [13] Prosty przepis na usuwanie nanozanieczyszczeń. *Instytut Chemii Fizycznej Polskiej Akademii Nauk* [online]. Warszawa, 2010 [cit. 2017-02-12]. Dostupné z: <http://ichf.edu.pl/press/2010/07/>
- [14] CANDAN, Zeki, Douglas J. GARDNER a Stephen M. SHALER. Dynamic mechanical thermal analysis (DMTA) of cellulose nanofibril/nanoclay/pMDI nanocomposites. *Composites Part B* [online]. 2016, **90**, 126-132 [cit. 2017-02-12]. DOI: 10.1016/j.compositesb.2015.12.016. ISSN 13598368.
- [15] MIHULKA, Stanislav. Jak omezit elektronický odpad? Výrobou mikročipů ze dřeva. <http://veda.stoplusjednicka.cz> [online]. 2015 [cit. 2017-02-12]. Dostupné z: <http://veda.stoplusjednicka.cz/jak-omezit-elektronicky-odpad-vyrobou-mikrocipu-ze-dreva>