



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA CHEMICKÁ  
ÚSTAV FYZIKÁLNÍ A SPOTŘEBNÍ CHEMIE

FACULTY OF CHEMISTRY  
INSTITUTE OF PHYSICAL AND APPLIED CHEMISTRY

## POTENCIÁLNÍ RIZIKA POUŽÍVÁNÍ NANOČÁSTICOVÝCH MATERIÁLŮ

POTENTIAL RISKS OF NANO-PARTICLE MATERIALS UTILIZATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

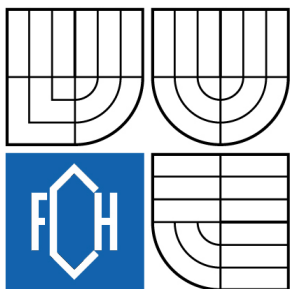
MIROSLAVA ŠPÉROVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JIŘÍ KUČERÍK, Ph.D.

BRNO 2008



Vysoké učení technické v Brně  
**Fakulta chemická**  
Purkyňova 464/118, 61200 Brno 12

## Zadání bakalářské práce

Číslo bakalářské práce	<b>FCH-BAK0210/2007</b>	Akademický rok: <b>2007/2008</b>
Ústav	Ústav fyzikální a spotřební chemie	
Student(ka)	<b>Špérová Miroslava</b>	
Studijní program	Chemie a chemické technologie (B2801)	
Studijní obor	Spotřební chemie (2806R002)	
Vedoucí bakalářské práce	<b>Ing. Jiří Kučerík, Ph.D.</b>	
Konzultanti bakalářské práce		

### Název bakalářské práce:

Potenciální rizika používání nanočásticových materiálů

### Zadání bakalářské práce:

Literární rešerše na téma možných zdravotních rizik vyplývajících z použití nano - rozměrových částic, shromáždění aktuálních poznatků pro další využití a směřování aplikací.

### Termín odevzdání bakalářské práce: 30.5.2008

Bakalářská práce se odevzdává ve třech exemplářích na sekretariát ústavu a v elektronické formě vedoucímu bakalářské práce. Toto zadání je přílohou bakalářské práce.

---

Miroslava Špérová  
student(ka)

---

Ing. Jiří Kučerík, Ph.D.  
Vedoucí práce

---

Ředitel ústavu

V Brně, dne 1.12.2007

---

doc. Ing. Jaromír Havlica, CSc.  
Děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce „Potenciální rizika používání nanočásticových materiálů“ shrnuje poznatky z oblasti nanotechnologií, nanočástic a nanochemie. Cílem práce je literární rešerše této problematiky, používání nanočástic a možná rizika vyplývající z jejich používání. Jsou prezentovány důsledky jejich využití i omezení související s jejich poznáváním a predikcí jejich osudu v životním prostředí. Dopad nanotechnologie na společnost a každodenní život je rozebrán v kontextu různých zdrojů rizikových faktorů.

## **ABSTRACT**

The thesis „Potential risks of nano-particle materials utilization“ summarizes scientific knowledge on nanotechnology, nano-particle and nano-chemistry. The aim of the work is the literature overview on potential problems associated with their utilization. Thesis is focused particularly on nanoparticles exploitation and limits connected with their understanding and prediction of their fate in the environment. The impact of nanotechnology on the society and every-day life is discussed with respect to various risk sources.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Nanotechnologie, nanočástice, environmentální rizika,

## **KEYWORDS**

Nanotechnology, nanoparticles, environmental risks

ŠPÉROVÁ, M. *Potenciální rizika používání nanočásticových materiálů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2008. 37 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Kučerík, Ph.D.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně a že všechny použité literární zdroje jsem správně a úplně citovala. Bakalářská práce je z hlediska obsahu majetkem Fakulty chemické VUT v Brně a může být využita ke komerčním účelům jen se souhlasem vedoucího diplomové práce a děkana FCH VUT

-----  
Podpis

### *Poděkování:*

*Chtěla bych poděkovat Ing Jiřímu Kučeríkovi, Ph.D. za jeho vstřícnost, čas a cenné rady. Dále bych chtěla poděkovat všem, kteří se mnou sdíleli své zkušenosti a bez jejichž účasti by tato práce nemohla vzniknout.*

# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>7</b>
1.1	Co je nanotechnologie .....	7
1.2	Nanomaterály .....	7
1.2.1	Polymery .....	8
1.2.2	Nanovlákná.....	9
1.2.3	Nanoprášky.....	9
1.2.4	Nanotrubičky.....	9
<b>2</b>	<b>HISTORIE</b> .....	<b>11</b>
2.1	Pre – nanotechnologie .....	11
2.2	Koncepční počátky nanotechnologie .....	12
2.3	Experimentální pokusy .....	13
<b>3</b>	<b>VÝROBA NANOČÁSTIC</b> .....	<b>14</b>
3.1	Hlavní druhy teplých plazem pro produkci nanočástic.....	14
<b>4</b>	<b>VYUŽITÍ NANOTECHNOLOGIE</b> .....	<b>17</b>
4.1	Medicína .....	18
4.1.1	Diagnostika.....	18
4.1.2	Detekce.....	19
4.1.3	Cílená doprava léčiv .....	19
4.1.4	Tkáňové inženýrství .....	20
4.1.5	Léčba popálenin .....	20
4.1.6	Léčba rakoviny.....	20
4.2	Chemie.....	20
4.2.1	Katalýza.....	20
4.2.2	Filtrace.....	21
4.3	Energie.....	21
4.4	Elektronika .....	21
4.4.1	Nanopaměti .....	22
4.4.2	Displeje.....	22
4.4.3	Nanoantény.....	22
4.5	Těžký průmysl .....	22
4.6	Spotřební průmysl.....	22
4.6.1	Potraviny .....	22
4.6.2	Domácnost.....	23
4.6.3	Optika .....	23
4.6.4	Textil .....	23
4.6.5	Kosmetika.....	23
4.7	Ekologie .....	24
<b>5</b>	<b>RIZIKA POUŽÍVÁNÍ NANOČÁSTICOVÝCH MATERIÁLŮ</b> .....	<b>25</b>

<b>5.1</b>	<b>Hrozba nanočástic .....</b>	<b>25</b>
5.1.1	Nanotoxikologie .....	25
5.1.2	Dělení nanočástic .....	26
5.1.3	Interakce mezi nanočásticemi a živou buňkou.....	27
5.1.4	Vlastnosti ovlivňující toxicitu .....	27
<b>5.2</b>	<b>Vědecký výzkum.....</b>	<b>28</b>
<b>5.3</b>	<b>NIOSH – national institute for occupational safety and health.....</b>	<b>30</b>
<b>5.4</b>	<b>Etické a sociální dopady .....</b>	<b>31</b>
<b>5.5</b>	<b>Možné negativní dopady .....</b>	<b>31</b>
5.5.1	Selhání technologie .....	31
5.5.2	Negativní důsledky (masového) užívání nanotechnologie.....	31
5.5.3	Neetické užití primárních uživatelem .....	31
5.5.4	Negativní důsledky pozitivních dopadů.....	32
<b>6</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>33</b>
<b>7</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....</b>	<b>34</b>

# 1 ÚVOD

Lidstvo během svého vývoje prošlo mnohými dramatickými změnami ve výrobních postupech, které byly spojeny s objevováním nových technologií, materiálů a rozvojem vědy. Tyto změny měly obrovský dopad na lidstvo v různých oblastech jejich života. 21. století je obdobím velkých změn a startovací čarou několika nových oborů a technologií, stejně jako robotika nebo genové inženýrství se k nim přidává i nanotechnologie. Podle názorů vědců a futurologů toto nové odvětví v příštích dvaceti letech výrazně změní život člověka. I když rozvoj nanotechnologie je poměrně nedávná záležitost, její vývoj je dlouhodobý a trvá delší dobu. Tak jako všechno neznámé a nové, je i nanotechnologie přijímána s rozpaky, jedni jsou nadšenci a zastánci nové technologie a jiní jsou na druhou stranu skeptičtí a nepřilíživě nakloněni novým věcem a oborům.

Cílem nanotechnologie se stala snaha napodobit postupy přírody skládáním jedné molekuly k druhé. Snaží se postupovat podobně jako příroda tím, že konstruuje nový objekt z jeho základních složek. Tím se odlišuje od typických výrobních procesů výrobků z dílčích komponentů.

Nanotechnologie v sobě integruje poznatky nejen z elektroniky a mikrosystémového inženýrství, ale i chemie, biochemie, optiky a biologie a pracuje s rozměry lidskému zraku nedostupnými [1].

## 1.1 Co je nanotechnologie

Jako nanotechnologie se obecně označuje technický obor, který se zabývá tvorbou a využíváním technologií v měřítku řádově nanometrů (obvykle cca 1-100 nm), tzn.  $10^{-9}$  m (biliontina metru), což je přibližně tisícina tloušťky lidského vlasu.

Definice pojmu "nanotechnologie" se poněkud v jednotlivých programech a u různých autorů liší. Nanotechnologie je studium a použití materiálů, zařízení a systémů o rozměrech řádově nanometrů. Nanotechnologie je populární termín pro vytváření a využití funkčních struktur s minimálně jedním charakteristickým rozměrem měřeným v nanometrech. Lze si ji představit jako všezahrnující popis aktivit na úrovni atomů a molekul, které mají uplatnění v reálném světě. Je to rovněž skupina rozvíjejících se technologií (technologie v pevném stavu, biotechnologie, chemické technologie aj.), které metodami shora dolů (top-bottom) a zdola nahoru (bottom-up) konvergují k nanorozměrům. V současné době sestává nanotechnologie ze čtyř hlavních oblastí: nanoelektroniky, nanomateriálů, molekulární nanotechnologie a mikroskopů pracujících s rozlišitelností v nanometrech. [2]

## 1.2 Nanomateriály

V nano rozměrech mají materiály jiné vlastnosti, než v rozměrech normálních. Zrnko zlata, bude mít stejné fyzikální a chemické vlastnosti, jako jiné zrnko. Naproti tomu zlaté nanočástice mohou mít rozdílné vlastnosti – např. bod tání, elektrickou vodivost, barvu – stačí změnit jejich velikost (bez změny chemického složení). V dnešní době již vědci dokáží připravit nanočástice různých tvarů a velikostí a tím i jiných vlastností. Například zlato, které

je za normálních okolností téměř neslučitelné s jiným prvkem, je ve velikosti nano svých částí, velmi silně reaktivní (asi jako draslík).

Významné změny chování materiálů jsou způsobeny nejen plynulou modifikací jejich charakteristických vlastností se zmenšujícími se rozměry, ale působením jevů jako jsou např. kvantové jevy, převažující vliv povrchových jevů atd. Jakmile bude možné řídit rozměry a tvar nanostruktur, bude rovněž možné zlepšit materiálové vlastnosti a účinnost zařízení za hranice ležící mimo naše představy. Nanostrukturami, které v současné době známe, jsou např. uhlíkové nanotrubic, proteiny, DNA, jednoelektronové tranzistory, ale i prášky a vrstvy o rozměrech nanometrů. Racionální vytváření a integrace materiálů a zařízení v nanorozměrech ohlašuje novou vědeckou a technickou revoluci, za podmínky, že budou objeveny a plně využity dosud neznámé principy a zákonitosti.

Nanomateriály se vyznačují následujícími společnými znaky:

a) stavebními jednotkami jsou nanočástice s definovanými vlastnostmi: rozměry, tvarem, atomovou strukturou, krystalinitou, mezifázovým rozhraním, homogenním/heterogenním složením a chemickým složením. Rozměry jsou limitovány v oblasti od molekul k pevným částicím menším než 100 nm. Vlivem malých rozměrů v některých případech počet povrchových atomů převyšuje počet atomů ve vnitřním objemu.

b) tyto stavební jednotky jsou uspořádané v makroskopických multi-klastrových materiálech s velmi různorodým topologickým pořádkem. Chemicky identické částice mohou být těsně uspořádány a kompaktovány za vzniku hranic zrn. Částice mohou být oddělené nebo spojené koalescencí nebo podložkou a mohou vytvářet nanodrátky, nanotrubic, nanokompozity, keramické nebo jiné tenké filmy nebo vrstvy.

c) stavební jednotky a jejich topologie mohou sloužit pro vytváření rozměrnějších materiálů vhodných pro technické aplikace.

Nanomateriály (nanostrukturální materiály) jsou ty, jejichž nové vlastnosti jsou určeny charakteristickými znaky (částice, klastry, dutiny) o rozměrech mezi 1-100 nm, přinejmenším ve dvou rozměrech [3]

### 1.2.1 Polymery

Polymer je systematicky připravená velká makromolekula, která vznikla spojením velkého počtu malých částic. Jestliže jsou tyto částice mají nano rozměry, pak se hovoří o tzv. polymerních nanomateriálech. Polymery mohou být tuhé, nebo rozpuštěné ve vodě a tvoří roztok, dají se tavit atd. Z chemického hlediska nevyžaduje syntéza polymerních léčiv žádné složité zařízení. Stačí skleněný reaktor opatřený děličkou, teploměrem nebo převody plynů [4]

### 1.2.2 Nanovlákna

Nanovlákna jsou textilní materiály vyráběné asi z 50 syntetických a přírodních polymerů, jsou silná jen několik atomů, jejich tloušťka je v rozmezí 10 – 40 nm. Nanovlákna mají tisícinásobně větší povrchovou plochu než mikrovlákna, mají malou velikost pórů, vynikající tuhost a houževnatost. Jsou vysoce transparentní a mohou být tenčí než nejkratší vlnová délka světla. Jsou neviditelná i pod optickým mikroskopem, proto potřebují podklad na který se nanášejí.

V současnosti je vyvinuto několik metod výroby nanovláken:

a) tažením proudem horkého vzduchu (metoda známá jako meltblown). Je schopna produkovat nanovlákna o průměru cca 1000 – 2000 nm.

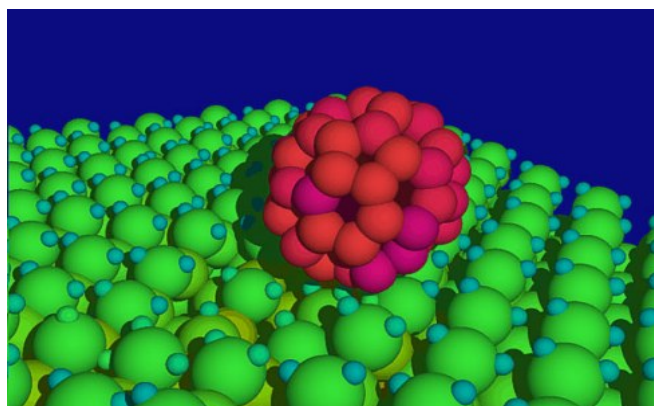
b) rozpouštěním polymerového pojiva z mořských řas – ovšem průmyslové využití se ukázalo jako obtížné [5]

### 1.2.3 Nanoprášky

První aplikace nanomateriálů se objevily v systémech, ve kterých mohou být ve volné formě použity prášky o rozměrech nanometrů, bez zhutnění a smíšení. Například nanoprášky  $\text{TiO}_2$  a  $\text{ZrO}_2$  se běžně používají v krémech na obličej a v přípravcích na opalování. Nanoprášky  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  se například používají jako základní materiál do rtěnek a líčidel a nedávno byly pokusně použity pro detoxikaci a ozdravení kontaminovaného území v Severní Karolíně, USA [1]

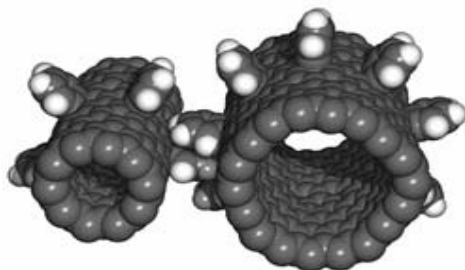
### 1.2.4 Nanotrubicice

Fulereny jsou látky složené ze sférických molekul uhlíku (obr. 1). Kostru tvoří vzájemně propojené atomy uhlíku, umístěné ve vrcholech více nebo méně pravidelných mnohostěnů. Jméno získaly podle amerického architekta a vynálezce Richarda Buckministera Fullera (1895-1983), který se proslavil podobnými stavebními konstrukcemi [7].



Obr. 1 Počítačem vytvořený fullerén  $\text{C}_{60}$

První, šedesátiatomový fullerén byl syntetizován a objeven v roce 1985 britským vědcem Haroldem Krotem, který za tento objev dostal Nobelovu cenu za chemii. Nanotrubičky jsou vlastně podobné struktury, s tím rozdílem, že tvar molekuly místo koule připomíná válec, který může být libovolně dlouhý a vnitřní objem nemusí být uzavřený (obr. 2).



*Obr. 2 Uhlíkové nanotrubičky*

Pro nanotechnologii jsou jak fulerény tak nanotrubičky velmi zajímavé, neboť lze tyto látky připravit v různých modifikacích s odlišnými vlastnostmi. U sférických fullerénových molekul lze například ovlivňovat vlastnosti tím, že je uvnitř uvězněn jiný atom. Tak lze změnit třeba hustotu, tepelnou kapacitu, teplotu tání a varu a přitom se chemické vlastnosti nezmění. Sférické fulerény byly již objeveny jak na Zemi tak v meteoritech. Při výrobě nanotrubiček vznikají trubice o různém průměru, přičemž jejich vodivost kolísá od izolantů přes polovodiče až po kovovou vodivost v závislosti na průměru [8]. Byl objeven způsob jejich dělení pomocí dlouhodobého odstředování v ultracentrifuze na základě hmotnosti. Rozdíly mezi hmotnostmi jednotlivých nanotrubiček ještě zvětší tak, že na jejich povrch nechají neabsorbovat povrchově aktivní látky [9].

Bylo zjištěno, že mořské bakterie rodu *Shewanella*, které získávají energii redukcí kovových iontů, produkují při tom polovodivé nanotrubičky ze sulfidu arsenitého  $As_2S_3$ . Přesný mechanismus, jak vznikají, není doposud znám. Víme jen, že bakterie produkuje polysacharid, na který se sulfid arsenitý usazuje. Výzkumy z poslední doby ukazují, že jednobuněčné mohou vytvářet různé zajímavé struktury, které by se možná mohly uplatnit i v průmyslové praxi [10].

## 2 HISTORIE

Lidé, aniž by o tom věděli a znali podstatu nanotechnologie, ji používali po tisíce let. Ve středověku skláři přidávali pro dosažení zajímavých barevných efektů prášky z různých kovů. Objevovaly se i částice o velikosti nanometrů, které po přidavku do skla, způsobovaly jedinečné barevné vlastnosti skla. Nejznámější jsou tzv. Lykurgovy poháry (obr. 3) ze 4. st. našeho letopočtu. Denním světle jsou zelené, pokud je však denní světlo uvnitř, je pohár červený. Sklo je obohaceno o částičky zlata a stříbra, které mají velikost asi 70 nm. První nanostrukturní film vyráběný člověkem je lesklá glazovaná keramika ze 13. až 16. století. Nejpoužívanějším materiálem jsou zřejmě saze, které se vyrábějí nedokonalým spalováním organických látek bohatých na uhlík. Jejich průmyslová výroba je stará víc jak 100 let. Částice jsou velké 10-500 nm [11].



Obr. 3 Lykurgův pohár

### 2.1 Pre – nanotechnologie

První zmínka o klasickém pojetí nanotechnologie je z roku 1867, kdy *James Clerk Maxwell* navrhoval experimentovat s malými objekty, tento experiment je nazván Maxwellův démon [12]. První pozorování s částicemi o velikosti nanometrů bylo provedeno v první dekádě 20. století. Většina pokusů je spojována se jménem *Zsigmondy*, který podrobně studoval zlaté částičky a další nanomateriály. Používal ultramikroskop s tmavým pozadím pro pozorování částic o velikosti menší než je vlnová délka světla. *Zsigmondy* byl také první, kdo užíval nanometr explicitně pro určení velikosti částic: nanometr určil jako 1/100 000 milimetru a vyvinul první systém třídění částic založený na jejich velikosti v rozsahu nanometrů [13]. Ve 20. letech 20. století *Irving Langmuir* a *Katharine B. Blodgett* představili koncept

monomolekulární vrstvy. Za tento objev získal Langmuir Nobelovu cenu za chemii. Na začátku 50. let, *Derjaguin a Abrikosova* uvedly první měření povrchových sil. Mnoho dalších objevů, které sloužily jako vědecké základy pro moderní nanotechnologii mají prameny v díle *J. Lyklema* – „Fundamentals of Interface and Colloid Science“ [14].

## 2.2 Koncepční počátky nanotechnologie

Ještě v polovině 20. století převládala *Schrödingerova* představa o atomech, tzn. že je nelze lokalizovat v prostoru. Z tohoto tvrzení vyplývala představa většiny vědců, že atomy nelze využívat jako stavební jednotky pro zařízení, které by bylo použitelné v praxi. Prvním kdo předpověděl možnost konstrukce zařízení o molekulárních rozměrech byl elektroinženýr z Massachusetts Institute of Technology *von Hippel* a zavedl pojem „molekulární inženýrství“ [15]. Téma nanotechnologie znovu pronesl 29. prosince 1959 na setkání American Physical Society v Caltechu *Richard Feynman*, nositel Nobelovy ceny za fyziku. Přednesl dnes už legendární přednášku „There’s a Plenty Room at the Bottom“. Na přednášce upozornil na možnost manipulace s objekty miniaturní velikosti. Hovořil tehdy o mikrotechnologii. Řekl mimo jiné: „Zákony fyziky, jak mohu posoudit, nejsou proti možnosti manipulovat s věcmi atom po atomu. Není to pokus porušit žádný zákon, je to něco, co může být v zásadě uděláno“ [1]. Poukázal na skutečnost, že živá příroda pracuje na úrovni atomů a molekul a také upozornila na možné problémy, které by mohly vyplývat ze změny velikosti: gravitace by se stala méně důležitá, povrchové napětí a van der Waalovy síly by byly důležitější atd. Na setkání Feynman sdělil dvě výzvy a nabídl 1000 dolarů odměnu tomu, kdo je vyřeší. První výzva byla stavba nanomotoru, k Feynmanovu překvapení, byla vyřešena do listopadu 1960 *Williamem McLellanem*. Druhá výzva zahrnovala schopnost sepsání všech svazků encyklopedie Britannica na špendlíkovou hlavičku, toto bylo dosaženo v roce 1985 *Tomem Newmanem* [17]. V roce 1965 *Gordon Moore* pozoroval křemíkové tranzistory, které se odlupovaly (oddřívávaly), pozorování bylo později utříděn jako Mooreův zákon, podle kterého mimo jiné se vyčerpají možnosti mikrotechniky do roku 2010 a na její místo nastoupí nanotechnologie. Od jeho pozorování, kdy tranzistory měly velikost 10 μm se rozměry snížily na 45-65 nm (rok 2007) [18].

Termín nanotechnologie poprvé použil v roce 1974 *Norio Taniguchi* a to v souvislosti výrobních způsobů měřicí techniky, prostřednictvím jich lze dosáhnout přesnosti v nanometrech. Představa, že nanotechnologie obsáhne struktury vystavované kvantově mechanickým aspektům, byla zamítnuta [19].

Rovněž v roce 1974 byl vyvinut a patentován proces atomového vrstevového uložení pro nános uniformní tenké vrstvy najednou.

Jestliže je Feynman považován za zvěstovatele nanotechnologie, apoštolem jeho vizí se stal kontroverzní americký fyzik *K. Eric Drexler*. Právě on v knize *Stroje stvoření – nástup éry nanotechnologie* rozpracoval s obdivuhodnou invencí myšlenku nanotechnologické revoluce a popsal svět miniaturních umělých systémů, jakýchsi neuvěřitelně malých stroječků neboli nanorobotů, které se budou podobat živým organismům nejen schopností reprodukce, ale i vzájemnou komunikací a sebezdokonalováním, přičemž jejich velikost se bude pohybovat na molekulární úrovni. Drexler podrobně popsal, jak tyto neviditelné nanosystémy (neboli assemblers) budou schopny molekulu po molekule postavit všechno, co jim předem stanovený program zadá, od počítačů a kosmických sond, po dálnice a mrakodrapy.

Drexlerova vize nanotechnologie je často nazývána molekulární nanotechnologie nebo molekulová manufaktura. Drexler pro nanotechnologii navrhol termín „zattatech“, který se ale neujal [20].

### 2.3 Experimentální pokusy

Nanotechnologie a nanověda byla na začátku 80. let posílena dvěma významnými objevy: zrozením klastrové vědy a vynálezem rastrovacího tunelového mikroskopu (STM). Tento vývoj vedl k objevu fullerenů v roce 1985. Za jejich objev získali jejich objevitelé v roce 1996 *Robert F. Curl* (USA), *Richard Smalley* (USA) a *Harold W. Kroto* (Anglie) Nobelovu cenu za chemii. V dalším vývoji byla studována syntéza a vlastnosti polovodičových krystalů. To vedlo k velkému nárůstu počtu polovodičových nanočástic [21].

Na začátku 90. let *Huffman* a *Kraetschmer* (Arizona) objevili jak syntetizovat a čistit velké množství fullerenů. To otevřelo dveře k jejich charakterizaci a dalšímu uplatnění.

Na setkání Materilas Research Society v roce 1992 dr. *T. Ebbesen* popsal jeho objev uhlíkových nanotrubic

V současnosti nanotechnologie zahrnuje oba přístupy: stochastický i deterministický, stochastický přístup, ve kterém supramolekulární chemie vytváří nepromokavé spodní prádlo a deterministický přístup, kde jednotlivé molekuly (vytvořené stochastickou chemií) jsou manipulovatelné na substrátových površích. Sen o komplexní, deterministické molekulární nanotechnologii zůstává zatím nerealizovatelným [22].

### 3 VÝROBA NANOČÁSTIC

Výrobní postupy, při kterých získáváme nanočástice, lze rozdělit do dvou skupin.

1. Tyto postupy kombinují metody, které dovolují připravit a studovat nanočástice, ale nepomáhají ve vývoji nových materiálů, patří sem: kondenzace při supernízkých teplotách, chemické, fotochemické a radiační redukce, laserově indukované vypařování.
2. Příprava materiálů a nanokompozitních materiálů různými variantami mechanochemického rozrušování, kondenzace z plynné fáze, plasmochemická syntéza...

Běžnými metodami je odírání, tepelný rozklad, elektrochemicky. Při odírání makro a mikročástic jsou tyto broušeny kulovým mlýnem, planetárním kulovým mlýnem nebo jinými mechanismy redukující velikost.

Při elektrochemické přípravě například stříbrných nanočástic, dochází k tomu, že na stříbrné elektrody, které jsou umístěné ve vodě, je přiváděno napětí a z elektrod se do vody uvolňují nepatrné částičky stříbra. Čistota a teplota vody ve velké míře ovlivňuje velikost částic, čím bude voda teplejší tím budou částice menší [23].

Při tepelném rozkladu dodává teplá plazma energii nezbytnou pro odpařování malých částíček mikrometrických rozměrů. Teplota plazmy se pohybuje v řádech 1000 K, takže pevný prášek se lehce odpařuje. Částice se pak tvoří po ochlazení.

#### 3.1 Hlavní druhy teplých plazem pro produkci nanočástic

- DC plasma jet
- DC oblouková plazma
- Vysokofrekvenční (RF) indukční plazma

V reaktoru obloukové plazmy je energie nutná pro vypařování a reakci vytvářena elektrickým obloukem, který se tvoří mezi anodou a katodou. Např.: křemenný písek se vypařuje obloukovou plazmou při atmosférickém tlaku. Výsledná směs plazmového plynu a křemenné páry se rychle ochlazuje kyslíkem, tak se zajišťuje kvalita vzniklých částic.

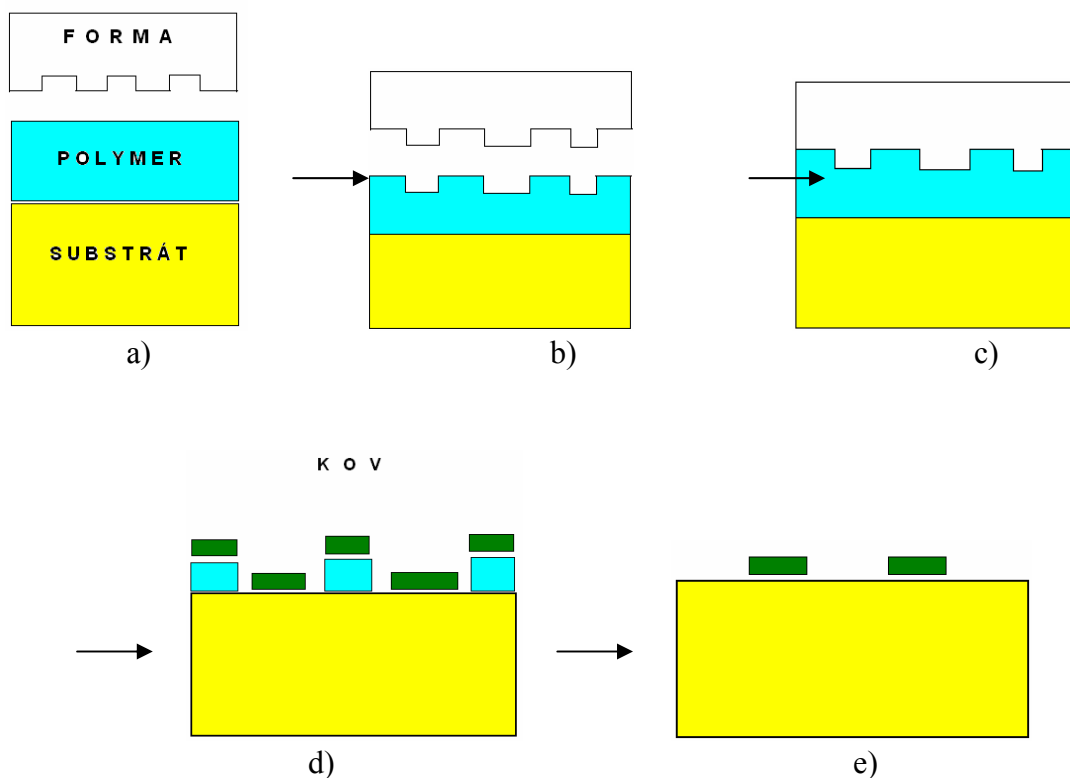
U RF indukčních plazem je síla vazby k plazmě dána skrz elektromagnetické pole generované indukční cívkou. Plazmový plyn nepřichází do styku s elektrodami, tak jsou vylučovány zdroje znečištění a mohou se používat plyny jako jsou inertní, oxidující, redukující atd.

Typická frekvence je mezi 200 kHz až 40 MHz. V laboratorních podmínkách se používá výkonu 30 – 50 kW, zatímco velké průmyslové stroje byly testovány i při výkonech 1MW.

Aby kapka byla co nejmenší a došlo ke kompletnímu odpaření, musí být doba nástřiku do plazmy co nejkratší.

RF plazmová metoda je používána pro syntézu různých nanočásticových materiálů, např.: syntéza keramických nanočástic jako jsou oxidy, sloučeniny uhlíku a nitridy titanu a křemíku. Pro výrobu nanočástic z kovů s nízkým bodem tání se užívá metoda, kdy se kov vypařuje ve vakuové komoře a nakonec se podchladí proudem netečného plynu. Podchlazená kovová pára kondenzuje v částičky o velikosti nanometrů, které jsou deponovány na substrát [24].

Nanoimprint lithography (NIL) je nová metoda zhotovení nanorozměrových částic (obr. 4).



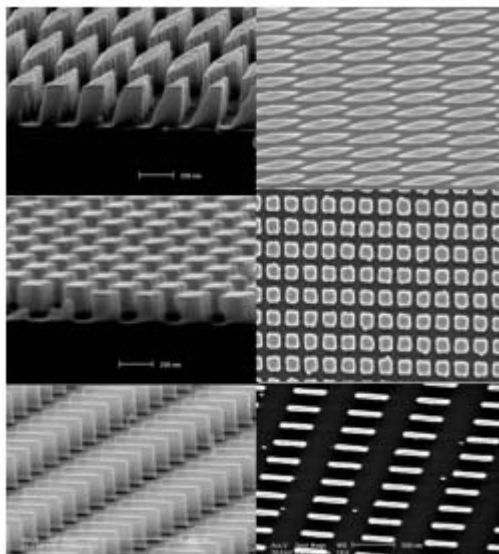
Obr. 4: Popis NIL

a – c: Skleněná podložka je pokrytá tenkou vrstvou polymeru a vtisknutelnou formou  
d – e: Vrstva je odstraněna a tenká vrstva kovu je pak vsazena na vtisknutelnou formu  
f: Aceton je užíván pro odstranění zbytkového polymeru

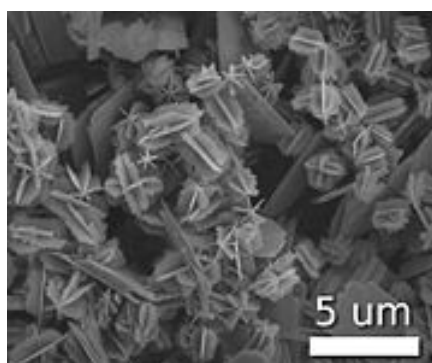
Mezi nejvýznamnější varianty NIL patří [25]:

- Thermoplastic NIL (T-NIL)
- Photo NIL (P-NIL)

Je to jednoduchý proces s nízkými náklady, vysokou výrobní kapacitou a dobrými výsledky. NIL byla poprvé použita v roce 1994. NIL byla přidána do ITRS – International Technology Roadmap for Semiconductors. Po jeho objevu další vědci vytvořili další varianty NIL. Kovové částice vyrobené metodou NIL mají četné biologické aplikace – senzory (obr. 5, 6).



*Obr. 5: obrázky nanočástic vytvořených použitím NIL*

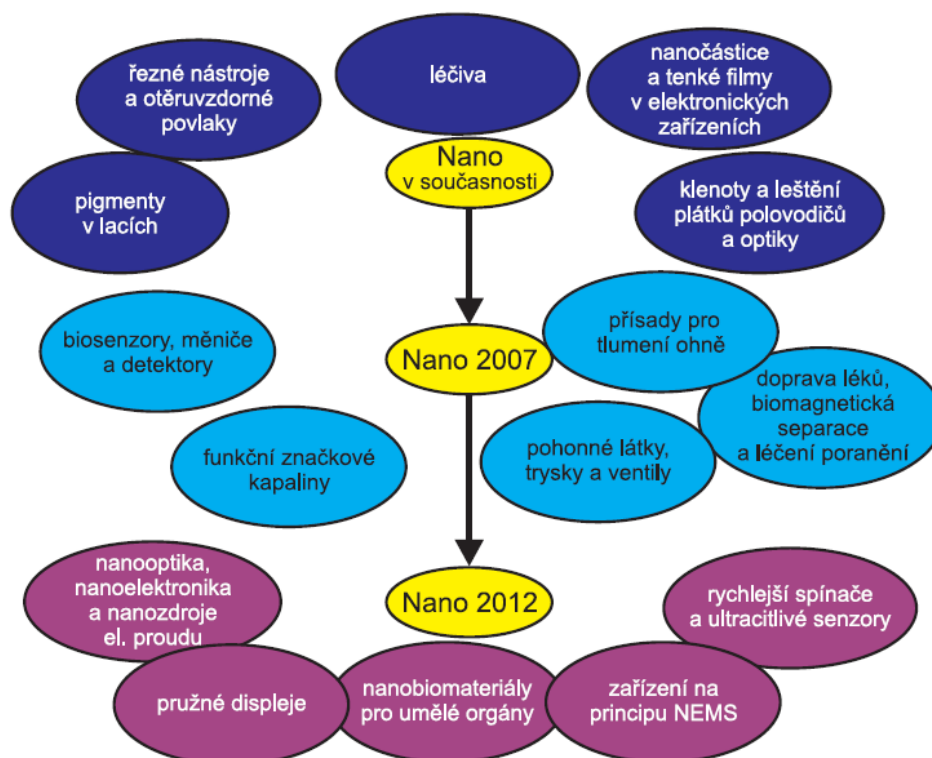


*Obr.6: Nanočástice oxidu vanadu*



## 4.1 Medicína

V souvislosti s nanotechnologií se asi nejvíce píše o změnách v medicíně, velikost nanomateriálů je nejvíce podobná biologickým molekulám a strukturám [26]. Proto nanomateriály mohou být užitečné při biomedicinském výzkumu jak *in vivo* tak i *in vitro*. Vědci začali vyvíjet funkční nanočástice, které jsou napojeny na biologické molekuly jako peptidy, proteiny a DNA. Zvláštní vlastnosti nanočástic, jako je schopnost emitovat světlo na různých vlnových délkách, z nich dělají vhodné značkovače pro snímání magnetickou rezonancí (MRI) nebo pozitronovou emisní tomografií (PET). Spojení nanočástic se specifickou protilátkou a lékem se pak nabízí i jako slibná metoda pro cílenou dopravu léčiv například do nádorů.



Obr. 8: Nejpravděpodobnější aplikace nanotechnologie v budoucnosti

### 4.1.1 Diagnostika

Biologické testy měření přítomnosti nebo aktivity vybraných substancí budou rychlejší, citlivější a flexibilní, když se částice nanorozměrů zapojí jako přívěsky nebo štítky. Magnetické nanočástice, vázané na vhodnou protilátku, jsou užívány pro označení specifické molekuly, struktury nebo mikroorganismu. Zlaté nanočástice se využívají pro odhalení genetické sekvence ve vzorku. Nanotechnologie pro analýzu nukleových kyselin přemění řetězce nukleotidů přímo do elektronického záznamu. Lab-on-chip (diagnostická laboratoř na čipu) - intenzívně se rozvíjející odvětví elektronické diagnostiky, kdy analyzátor, skládající se

s milionů nanočidel bude schopen zobrazit okamžitě chemické složení tělních tekutin umělé krvinky. Nanostruktury, které se nazývají dendrimery, mohou provádět diagnózu nemoci, podání léku i kontrolu zdravotního stavu. Lze jimi lék krevním řečištěm dopravit přesně na místo. Mohou také opravit poškozenou tkáň, nebo být spojeny s nanokamerou a zajistit tak vzhled do lidského těla.

Nanosenzory jsou miniaturní zařízení, která dokážou rozpoznat přítomnost určité látky i v nepatrné koncentraci. Tvoří je malé ploché výběžky, které jsou pokryté protilátkou nebo jiným materiálem, který je potřeba k přilákání molekul hledané látky. Nanosenzory budou usnadňovat lékařské diagnózy – při nemoci dochází k chemickým změnám, než přijdou první příznaky. Další z možných využití interních nanosenzorů je sledování hladiny inzulínu u diabetiků.

#### **4.1.2 Detekce**

Nanočástice mohou posloužit i jako detekční metoda. Tyto aktivní nanočástice se používají pro analýzu infekčních a genetických chorob a výzkum léčiv. Pro analýzu moči, krve a jiných tělních tekutin, používají různé firmy magnetické nanočástice – urychlí se tak separace a zlepši rozlišitelnost. Zkouší se použití zlatých nanočástic připojených ke kouskům DNA pro detekci olova. Pokud je ve zkoumané látce přítomno, vyvolá změnu zlatých nanočástic z modré na červenou. Zlaté nanočástice by se zřejmě daly uplatnit i při detekci raných stádií Alzheimerovy choroby. Umožňují totiž odhalit z míšní tekutiny protein, který tuto nemoc signalizuje. Nanočástice jsou mnohem citlivější, než dosud používané fluorescenční metody.

#### **4.1.3 Cílená doprava léčiv**

Celková látková spotřeba a průvodní jevy mohou být sníženy uložením aktivního činitele v patologické oblasti jen v potřebné dávce ne ve vyšší. Tento vysoce selektivní přístup redukuje náklady, k tomuto účelu se používají nanoporézní materiály a dendrimery (viz výše). Tyto mohou vázat malé molekuly léku a transportovat je k žádanému místu. Většina současných léků koluje cévním řečištěm bezcílně po celém těle. Tyto molekuly by působily jen v cílových buňkách (např. nádorových), nebo by byly aktivní jen za určitých podmínek. K aplikaci léku se dají využít „nano“ spreje. Tyto spreje obsahují v koloidním roztoku nanotechnologicky vyrobené vitamíny, rostlinné extrakty, minerály, aminokyseliny a další. Usnadňuje se tak aplikace vitamínů, potravinových doplňků, či léků. Míra účinnosti léků je totiž závislá na množství vstřebané látky do krevního oběhu. Klasickou cestou musí projít přes trávicí trakt, přičemž určité množství látky zůstává nevstřebáno a je vyloučeno. Do krevního oběhu se dostává minimální množství látky. Léky ve sprejové formě umožňují snadnou aplikaci na sliznici ústní dutiny a současně mají velkou účinnost. Bukální sliznice na vnitřních stranách tváří je dobře propustná a aplikace látek formou spreje má tak téměř 90% absorpci. Lék je navíc v krevním oběhu již během 2-3 minut. Mezi další výhody patří nezatěžování trávicího ústrojí a to, že je levnější, než klasické tabletové formy analogických preparátů .

#### **4.1.4 Tkáňové inženýrství**

Nanotechnologie může posloužit k reprodukci nebo k obnovení poškozené tkáně. Používá se uměle stimulovaných růstových buněk pomocí vhodných nanomateriálů- založených na usazování. Tkáňové inženýrství by mohlo nahradit dnešní konvenční ošetření jako je transplantace orgánů nebo umělé implantáty. Ve tkáňovém inženýrství mohou být nanovlákná užitá pro rekonstrukci kůže, kosti svalů neb nervové tkáně, kde mohou sloužit i jako nosiči nervových buněk. Na druhé straně tkáňové inženýrství je úzce spojeno s otázkou etických debat o lidských kmenových buňkách a jejich etických důsledcích .

#### **4.1.5 Léčba popálenin**

Další velkou roli hraje nanotechnologie v léčbě popálenin. Tenký proužek textilie, na níž bude z jedné strany nanosená účinná látka a z druhé strany filtr by byl pro popáleniny řešením. Po přiložení na popálenou tkáň totiž bude hojení rychlejší a snadnější. Krycí a ob vazový materiál, který by se z nich vyráběl, by totiž zajistil průnik kyslíku, odtok hnisu a při tom by zabránil přístupu bakterií zvenčí [27].

#### **4.1.6 Léčba rakoviny**

Asi největší naděje směrem k nanomedicině se upírají k možné léčbě rakoviny. V oblasti biomedicíny byly syntetizovány struktury zvané liposomy, které umožňují zlepšenou cílenou distribuci terapeutických látek. Liposomy jsou lipidové koule o průměru cca 100 nm. Používají se například k zapouzdření protirakovinných léků pro léčení Kaposiho sarkomu, který má vztah k AIDS [28].

### **4.2 Chemie**

Chemická katalýza a filtrační techniky jsou dva základní příklady, kde již nanotechnologie hraje svou důležitou roli. Syntéza poskytuje nové materiály s přizpůsobenými rysy a chemickými vlastnostmi. V tomto smyslu můžeme chemii chápat skutečně jako nanovědu, všechny chemické syntézy mohou být chápány jako součást nanotechnologie. Chemie vytváří základ pro nanotechnologii poskytující „zakázkové“ molekuly, polymery stejně jako klastry a nanočástice.

#### **4.2.1 Katalýza**

Chemická katalýza těží zvláště z nanočástic, díky extrémně velkému povrchu . Katalýza je také důležitá pro produkci chemikálií.

## 4.2.2 Filtrace

Nanochemie začíná mít silný vliv na zpracování odpadních vod, čištění ovzduší... Pro efektivní filtrační techniky mohou být použity mechanické nebo chemické metody. Jedna z filtračních technik je založena na použití membrán s vhodnými průměry pórů, kterými je kapalina tlačena skrz. Nanoporézní membrány se hodí pro mechanickou filtraci s extrémně malými póry menšími než 10 nm (nanofiltrace), které se mohou skládat z nanotrubic. Nanofiltrace je převážně využívána pro odstranění iontů nebo oddělení různých tekutin. Pro větší rozměry je membránová filtrační technika nazývána ultrafiltrace (10 – 100 nm). Důležité uplatnění ultrafiltrace je v medicíně při ledvinové dialýze. Magnetické nanočástice nabízí efektivní a spolehlivý způsob odstranění těžkých kovů, které kontaminují odpadní vody. K tomu se využívá magnetická dělicí technika. Používání nanorozměrových částic zvyšuje efektivitu absorbovat kontaminující láky a je poměrně levný ve srovnání s tradičními metodami (srážení a filtrace).

Při výrobě filtrů pro separaci tekutin při průmyslových procesech nebo čištění odpadních tekutin se začali používat nanočástice  $\text{TiO}_2$  a  $\text{ZrO}_2$ , pro jejich schopnost zachycovat těžké kovy a přitahovat bioorganismy [29].

## 4.3 Energie

Nejpokročilejší projekty související s energií jsou: uskladnění energie, konverze, výrobní zlepšení, úspora energie a zvětšení obnovitelných zdrojů energie.

Dnešní neúčinnější sluneční články mají vrstvy z několika různých polovodičů pro pohlcení světla v různých energetických hladinách, ale i přesto se jim podaří využít jen 40% ze sluneční energie. Nanotechnologie by mohla zlepšit efektivitu konverze světla použitím nových nanostruktur. Nanotechnologie by mohla zlepšit spalování motorů projektováním specifických katalyzátorů s maximalizovanou plochou povrchu. Nedávno byly vyvinuty tetrazformované nanočástice, které když se aplikují na povrch okamžitě se transformují do slunečního kolektoru.

Nejlepším nanostrukturním materiálem v palivových člancích je katalyzátor z uhlíku podporovaný částicemi vzácného kovu s průměrem 1 – 5 nm. Příkladem energetického systému šetrného k životnímu prostředí je zařízení poháněné vodíkem. Vhodné materiály pro vodíkové uskladnění obsahují velké množství pórů o velikostech nanometrů. Proto mnoho nanostrukturních materiálů jako nanotrubic, zeolity a jiné jsou předmětem zkoumání. Nanotechnologie může přispět k dalšímu zmenšení spalovacích motorových emisí nenoporézními filtry, které mohou čistit výfuk mechanicky, katalytickými konvertory založených na nanorozměrových částicích vzácných kovů nebo katalytickými nátěry na stěnách válce a katalytické nanočástice jako přísada pro paliva [30].

## 4.4 Elektronika

Vysokokapacitní záznamová média, logické obvody na molekulární úrovni, zobrazovací zařízení s vysokým rozlišením, fotomateriály, fotočlánky, palivové články, vysokokapacitní baterie

#### **4.4.1 Nanopaměti**

V souvislosti s nanopaměťmi se nejvíce mluví o společnosti Nantero. Pracuje na technologii označované jako NRAM (Nanotube-based/Nonvolatile RAM), které využívá nanotrubiček. Mezi další firmy patří například startup ZettaCore. Ta vyvíjí technologii, jejíž základem jsou na míru vytváření molekuly porfyrinů (základ hemoglobinu nebo chlorofylu), jímž lze dle potřeby přidávat a odebírat elektrony (tedy mohou existovat v oxidovaných nebo redukovaných stavech). Jednu ze zkoumaných molekul lze takto přivést až do 8 různých stavů, což umožňuje uložení 3 bitů – molekula přitom měří zhruba jeden nanometr [31].

#### **4.4.2 Displeje**

Velkou budoucnost má využití nanotrubeček jako součásti kompozičních materiálů. Velkou perspektivu mají displeje FOLED (Flexible Organic Light Emitting Device) – ohebná organická světlovyzařující zařízení [32].

#### **4.4.3 Nanoantény**

V optických sítích – internetu se dají využít nanoantény. Data nebudou přenášena elektrickými signály, ale světelnými impulsy. Vědci by mohli využít elektromagnetickou energii zaměřenou přes antény i k manipulaci s předměty. Zatím pouze v rozměrech v řádu nanometrů [33].

### **4.5 Těžký průmysl**

#### **4.6 Spotřební průmysl**

Nanotechnologie v dnešní době dopadá i na pole spotřebního průmyslu, poskytující produkty s novými funkcemi od samočisticích materiálů k otěruvzdorným materiálům. Užívány jsou různé nanočástice zlepšující dané výrobky. Zvláště na poli kosmetiky má nanotechnologie slibný potenciál.

##### **4.6.1 Potraviny**

V potravinářském průmyslu může být nanotechnologie využívána při produkci, zpracování, bezpečnostních opatřeních a balení potravin. U balení potravin by se přímo na povrch nacházela nanokompozitní vrstva z antimikrobiálních činitelů. Nanokompozity zvýší nebo sníží prodyšnost různých náplní. Nanočástice také zlepšují ohnivzdornost a mechanické vlastnosti obalových materiálů. Americká vláda financuje vývoj nanokapslí z jedlých polymerů, které mají zamezit degradaci molekul chuti a vůně v potravinách. Royal Body Care (USA) vytvořila tzv. nanoceuticals. Jedná se o nepatrné soubory minerálních látek, které by měly zvyšovat absorpci nutričních složek do humánních buněk [34].

#### 4.6.2 Domácnost

Nejvýznamnější aplikace nanotechnologie v domácnostech je samočisticí nebo snadno čistící povrchy keramiky a sklenic. Nanokeramické částice zlepšují hladkost a odolnost proti žáru u běžného vybavení domácností. Byla objevena úprava oceli chemicky nanášeným niklem. Ten odolá kyselině sírové i chlorovodíkové, dusičné i dalším kyselinám, a zásadám, rozpouštědlům i aktivním tenzidům. A navíc je mechanicky stabilní. Částice jsou tak malé, že nimi nemůže nic proniknout a zároveň tak přízpůsobivé, že je výsledný povrch pružný, ohebný a odolný proti vibracím [35].

#### 4.6.3 Optika

V dnešní době se již na trhu objevují sluneční brýle, které používají ultratenkou polymerní vrstvu antireflexního a ochranného filmu. V optice se využívají povrchové nátěry založené na nanokompozitech, které jsou odolné proti poškrábání. U nanooptiky by mohlo dojít k zvýšení preciznosti při operacích čočky a jiných laserově prováděných operacích.

#### 4.6.4 Textil

Byla zkonstruována vlákna, které se již používají při výrobě oděvů, jež se nemačkají a jsou rezistentní proti vodě a skvrnám. Textilní zboží, kde je využívána nanotechnologie se perou při nižších teplotách a méně často. Nanotechnologie byla použita pro integraci malých částic uhlíku do textilu a tím byla zaručena jeho ochrana před elektrostatickými náboji(36). V současnosti jsou rozpracovány jednotlivé aplikace textilních tkanin na bázi nanovláken. Jednou z nich jsou například filtrační média. Díky svým vynikajícím filtračním vlastnostem mají nanovláknové textilie využití ve filtrech pro laboratoře, chirurgické sály a prostory s velkými nároky na čistotu. Využití mohou nalézt i v biomedicině, kde lze vytvořit inteligentní filtry, které likvidují bakterie nebo dokonce obsahují protilátky. Další z oblastí je vývoj materiálů pro zvukovou izolaci – nanovlákná totiž výtečně pohlcují zvuk ve slyšitelném spektru. Uplatnění například v automobilovém, stavebním, či leteckém průmyslu je nasnadě. Nanomateriály jsou porézní, což umožňuje vývoj hydrofobně upravených nanomateriálů, které budou nepropustné vodou, ale zároveň umožní průstup vodních par a vzduchu. Využití by bylo možné např. v armádě či sportovním oblečení. Struktura nanovláknové textilie se podobá struktuře mezibuněčné hmoty lidské tkáně[37],[38].

#### 4.6.5 Kosmetika

Velký rozsah použití je v ochraně proti slunci. Tradiční UV ochranné prostředky mají krátkou stabilitu. Ochrana proti slunci založená na minerálních nanočásticích jako je oxid titaničitý nabízí několik výhod: nanočástice oxidu titaničitého mají porovnatelné UV ochranné vlastnosti jako sytký materiál, ale ztrácí kosmeticky nevhodné bělení, které se ztrácí se zmenšující se velikostí částic. Firma L'Oréal již prodává výrobky na ochranu pokožky obsahující nanočástice. „Nanosomy“ vyráběné touto společností, jsou nepatrné systémy pro přívod aktivních složek do intercelulárních oblastí, které penetrují pokožku a následně uvolňují vitamín E. Mezery vnější vrstvy pokožky totiž dosahují asi 100 nm, a tak

nanovektory poskytují zatím nejlepší řešení pro transport a zacílení aktivních přísad v pokožce [39]. Zpráva Royal Society ale poukazuje na nedostatek toxikologických údajů o vyráběných nanočásticích. Zpráva doporučuje provést další studie zaměřené na penetraci pokožky vyráběnými nanočásticemi, které se přidávají do některých kosmetických přípravků a do prostředků na ochranu před sluncem. Zatím neexistují žádné požadavky na značení, pokud jde o použití nanotechnologie [40].

#### **4.7 Ekologie**

Pro obnovitelné zdroje energie se však požadavky soustřeďují spíše na tvorbu nanostruktur na velkých plochách. Týká se to především všech zařízení na přímé využití slunečního záření. Nejde jen o fotovoltaické články všech typů, ale i nízkoteplotní kolektory a komponenty částí které fungují jako absorbatory slunečního záření.

Jednou z možných energetických alternativ fosilních paliv jsou nanotechnologické tepelné pasti (kolektory) sluneční energie. Existují již nějaký čas, zatím v tloušťce 400 nm. K monitoringu prostředí potom mohou být použity nanosenzory [41].

## 5 RIZIKA POUŽÍVÁNÍ NANOČÁSTICOVÝCH MATERIÁLŮ

Potenciální rizika mohou být rozděleny do 4 oblastí:

1. zdravotní aspekty – vliv nanočástic na lidské tělo
2. vliv na životní prostředí
3. společenské hledisko
4. „Grey-goo“ – specifická rizika, která jsou spojena se spekulativními vizemi o molekulární nanotechnologii

Nástup nanotechnologie se sebou přináší široké možnosti, ale současně dramatičtější změny, než jaké proběhly díky nástupu počítačů a informačních technologií v posledních několika letech. Každý z těchto oborů je provozován a řízen lidmi. Je nutné proto očekávat, že bude nutně docházet ke značným společenským změnám, které bychom již nyní mohli předpokládat a možná se je i snažit minimalizovat, abychom omezili negativa, která doprovází jakoukoliv technologickou revoluci. Detekce a přesná identifikace nepochybně budou vyvolávat etické a možná také politické otázky. Například bude možné určit genetické dispozice k určitým onemocněním, které dosud nelze léčit, nebo odhalit závažné neurologické defekty plodu.

Jelikož nanotechnologie představuje velmi různorodou škálu nových technických možností, je zřejmě nemožné v současné době přesně předpovědět dokonce i bezprostřední důsledky jejich inovací. Některé dopady mohou překvapit, jiné budou mít nepředvídatelné důsledky, které se ukáží až za dlouhou dobu. Budoucí vývoj může v některých případech i rozporuplný. Může se ukázat, že bude nutné zavést neobvyklá bezpečnostní opatření např. v zdravotnickém a obranném systému států či regulovat výrobu a spotřebu některých výrobků, případně je zcela zakázat.

Syntéza léčiv a jejich transport v těle na nemocné místo, lékařská diagnostika, regenerace tkání a jejich nahrazování vytvářejí již laboratorně uskutečňované procesy, které přispějí k zvýšení a zkvalitnění lékařské péče. Tyto pozitiva mohou být naopak vyvažována možnostmi pronikání nežádoucích nanočástic do buněk nebo bionekompatibilitou nových nanostrukturních tkání v lidském těle. To vše jsou rizika, která s sebou mohou přinášet vývoj nových biomateriálů [42].

### 5.1 Hrozba nanočástic

#### 5.1.1 Nanotoxikologie

Nanotoxikologie je studium toxicity nanomateriálů. Má za cíl určit zda a nakolik mohou nanomateriály představovat hrozbu k prostředí a člověku. Toxikologie nanočástic, které, jak se zdá, mají toxické vlastnosti, které jsou neobvyklé a u větších částic nejsou pozorované.

### 5.1.2 Dělení nanočástic

Nanočástice mohou být rozděleny na částice, které vznikají hořením (saze vznětového motoru), průmyslově vyráběné nanočástice jako uhlíkové nanotrubičky a přirozeně se vyskytující nanočástice se sopečných erupcí, atmosférických procesů. Typické částice, které byly studovány jsou studovány  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , zinková běloba, saze, uhlíkové nanotrubičky a „nano C-60“

Při poukazování na zdravotní rizika a životní prostředí potřebujeme rozlišit 2 druhy materiálů:

1. Nanokompozity, nanostrukturní povrchy a nanokomponenty (elektronické, optické, senzory atd.), kde nanočástice jsou začleněny do hmoty, materiálu nebo zařízení (fixované nanočástice)

2. Volné nanočástice – prvky, jednoduché směsi ale také komplexní sloučeniny, kde například nanočástice prvků jsou pokryté další substancí (pokryté nanočástice nebo „core-shell“ nanočástice)

Největší zájem výzkumu je o volné nanočástice.

J zapotřebí si nanotechniku a nanomateriály rozčlenit do tří kategorií, které se co do své rizikovitosti odlišují. Jde o kategorie: izolovaná, bioaktivní a disruptivní, (tj. doslova: rozvratná, destruktivní) [42].

#### 5.1.2.1 *Izolované nanočástice*

Do této kategorie patří materiály, jako jsou samočisticí anebo antipřílnavé vrstvy. Jde o takové materiály, které jsou nano a zároveň plasty. Strukturu takového materiálu je nejprve nutno za vysokého vynaložení energie rozmělnit, aby z nich bylo možno získat nanočástice. Mezi izolované nanomateriály je nutno počítat i nanoelektroniku, což souvisí se snahou umístit do co nejmenšího prostoru co nejvíce elektronických součástek. Izolované nanomateriály se tedy jeví jako lidskému zdraví či vůbec živým organismům (relativně) neškodné. Koncepce jeho recyklace a znovupoužívání zatím nejsou dostatečně ujasněny ani v Americe, která v nanotechnologiích ve světě vede, natož pak jinde na světě. Pokud by se podařilo dosáhnout toho, aby nanoaplikace na konci své životnosti byly rozloženy (fyzikálně a chemicky), dostaly by se do další kategorie, tj. staly by se bioaktivními nanomateriály [42].

#### 5.1.2.2 *Bioaktivní nanočástice*

Bylo zjištěno, že uměle vytvořené nanočástice, které nejsou uloženy v matrici (jako je tomu např. u plastů), jsou bioaktivní. To je vlastnost, která na jedné straně umožňuje, aby nanočástice byly používány v průmyslu a v medicíně, ale na druhé straně tato vlastnost skrývá v sobě to nebezpečí, že při setkání s buňkami mohou s nimi nanočástice vstoupit do interakce, tedy ovlivnit vývoj v buňkách tkáně. Nejnebezpečnější jsou přitom nanočástice (uhlíkové molekuly) zvané buckminsterfullereny. Jinou variantou bioaktivních nanomateriálů jsou tzv. uhlíkové nanotrubičky, problém je v tom, že tělesné buňky, resp. buňky živého organismu a bakterie se s novými uhlíkovými molekulami neshodávají. Při pokusech in vitro byla přidána k nanomateriálu zvanému buckyballs kultura kožních buněk. Při koncentraci 20 buckyballů v 1 miliardě molekul roztoku polovina kožních buněk rychle odumřela. Nicméně bylo zjištěno i

to, že buckyballs působí méně jedovatě, jestliže jsou obaleny či obklopeny jednoduchými molekulami, takže toxicitu těchto nanočástic lze mírnit.

Pokud jde o bioaktivní nanočástice, mohou zasáhnout např. potravní řetězce v přírodě silněji než izolované částice, a mohou být zneužity i pro válečné a teroristické účely, podobně jako disruptivní, pokud se ocitnou v nesprávných rukách [42].

### **5.1.2.3 Disruptivní nanočástice**

Je zapotřebí poznamenat, že termín disruptivní je nutno chápat primárně nikoliv v negativním smyslu, neboť např. při terapiích je někdy zapotřebí razantních kroků a úkonů. Patří sem mikroorganismy vyvíjené ve sféře syntetické biologie.

### **5.1.3 Interakce mezi nanočásticemi a živou buňkou**

Jsou tři možnosti ovlivnění:

1. na povrchu nanočástice setkávající se s vnějším obalem buňky dochází k "oxidačnímu stresu". To znamená, že se vytvářejí volné radikály čili molekuly obsahující volné elektrony a díky tomu jsou velice náchylné k reakci. Následkem toho se zvýší hladina vápníku v buňce a v jejím jádru může dojít k nežádoucí přeměně genů v proteiny, jež mohou vyvolat zánětlivý, resp. chorobný proces ve tkáni
2. dojde k aktivaci receptorových molekul na buněčném obalu, protože atomy kovu se vyloučí z nanočástic. Další průběh je už jako v první variantě
3. nanočástice je jako celek pohlcena buňkou a dostává se do tzv. mitochondrií, což jsou svého druhu "elektrárny" čili energetické zdroje buňky. Nanočástice činnost mitochondrií buď citelně naruší, nebo je zcela vyřadí z činnosti [43].

### **5.1.4 Vlastnosti ovlivňující toxicitu**

V posledních letech dochází k nevídaným objevům na poli nanotechnologie, které nám ukazují i odvrácenou stranu nanotechnologií a nových materiálů. Velká část výzkumu se soustředí na studium vlivu nanočástic nacházejících se ve vzduchu, v zemi, ve vodě, soustřeďuje se rovněž na zkoumání procesů probíhajících v biosystémech. Sledují se důsledky nanočástic na ekologii a zdraví lidí, které vyplývají z vlastností nanočástic [42].

Jsou jisté aspekty, které mohou z nanomateriálů vytvořit toxický subjekt, zvláště jejich mobilita a zvýšená reaktivita. Malé částice mají větší měrný povrch a vyšší chemickou reaktivitu a biologickou aktivitu. Větší chemická reaktivita má za následek zvýšenou produkci volných radikálů. Produkce ROS (reactive oxygen species) a volných radikálů je u řady nanomateriálů: uhlíkové fullereny, nanotrubičky a nanočástice oxidů kovů. Vznik ROS a volných radikálů je jeden z primárních mechanismů toxicity nanočástic, to má za následek oxidativní procesy, záněty a z toho vyplývající poškození bílkovin, membrán a DNA.

Extrémně malá velikost nanomateriálů také znamená, že jsou mnohem rychleji přijaty do těla než dané částice větší velikosti. Do těla se dostávají skrz inhalaci, kožní povrch a příjem potravy nebo náhodně uvolňovány z materiálu implantovaných do živé tkáně. Nanomateriály jsou schopné přecházet skrz membrány, buňky, tkáně a orgány přes které dané částice větší

velikosti nemohou přejít. Nejméně mohou nanočástice pronikat kůží, dokonce větší částice mohou pronikat kůží když je ve flexi. Jak fungují částice uvnitř těla je jeden z velkých problémů, které je třeba odhalit. Chování nanočástic je funkcí jejich velikosti, tvaru a povrchové reaktivity s okolní tkání. Poraněná kůže je neúčinná ochrana proti proniknutí částic, akné, ekzém, zranění při holení nebo spálení může umožnit rychlejší absorpci nanomateriálů. Jakmile jsou v krvi jsou lehce dopraveny k tkáním a orgánům včetně mozku, srdce, jater, ledvin, sleziny, kostní dřeně, nervové soustavy.

Nanomateriály mohou způsobit přetížení fagocytózy a to má za následek zápalu a oslabení imunity. Nehledě na to, co se stane jestliže se nanočástice nerozkládají se nebo rozkládají se pomalu nahromadí v orgánech, další zájem se upírá na jejich možnou interakci s biologickými procesy uvnitř těla.

Protože nanočástice mají velký měrný povrch na jednotku hmotnosti a když jsou v tkáni nebo tekutině absorbují na svém povrchu makromolekuly, se kterými přijdou do kontaktu a to znamená že v některých případech mohou mít více rozněčující účinky např. v plicích. Navíc některé se mohou přemísťovat z místa uložení k vzdáleným místům. Na rozdíl od větších částic, nanomateriály mohou přecházet do mitochondrií a jaderných buněk. Velikost a velký povrch je proto klíčovým faktorem v určování potenciální toxicity částic. Nicméně to není jediný faktor. Povrch může významně ovlivnit buněčnou pohyblivost a životaschopnost. Dalšími významnými vlastnostmi nanomateriálů ovlivňujícími toxicitu jsou: chemické složení, tvar, povrchová struktura, plošný náboj, hromadění, rozpustnost, přítomnost či nepřítomnost funkčních skupin nebo jiných chemikálií. Rozdíly ve fázovém složení nanokrystalických struktur mohou ovlivnit toxicitu. Nanočástice nelze odfiltrovat.

Jelikož nanočástice jsou velmi odlišné od běžných daných částic, jejich nepříznivé účinky nemohou být odvozeny ze známé jedovatosti mikročástic. To představuje podstatné problémy týkající se zdravotního a environmentálního dopadu. Komplikace také představuje to, že prach nebo kapalina, kde se nachází nanočástice, nebude nikdy téměř monodisperzní ale obsahuje řadu částic různé velikosti. To komplikuje experimentální analýzu. Agregáty nanočástic vykazují jiné vlastnosti než jednotlivé nanočástice. Informace existují především ze studia ultrajemných částic. Studium ukázalo, že málo rozpustné ultrajemné částice jsou více toxické než větší [44].

## 5.2 Vědecký výzkum

Pokusy na potkanech a myších prokázaly, že vdechování uhlíkatých nanočástic způsobuje zauhlení mozku. Bylo zjištěno, že již po 24 hodinách po vdechnutí se 35 nm velké nanočástice objevily v čichovém laloku mozku pokusných zvířat a jejich koncentrace rostla s tím, jak potkani inhalovali další nanočástice. Na základě experimentů bylo dokázáno, že nanočástice se do mozku nedostávaly přes krevní oběh (mozek je velmi dobře chráněn před průnikem škodlivin z krve), ale přes čichový nerv. To bylo zjištěno po pokusu, kdy před inhalací nanočástic uhlíku byla ucpána jedna nosní dírka. Nanočástice se pak objevily jen v čichovém laloku na příslušné straně mozku a druhý čichový lalok nebyl zasažen [45].

Bylo zjištěno, že u ryb, které byly vystaveny účinkům fullerenu po dobu 48 hodin v relativně mírné dávce, došlo k poškození mozku. Došlo také k poškození jater a byla ovlivněna celková fyziologie. V testu, který probíhal souběžně, fullereny zabily dafnie, které jsou důležitou součástí potravního řetězce v moři.

Obdobný jev byl rovněž pozorován u perlooček, kdy do akvária s perloočkami bylo přidáno nepatrné množství fullerenu. Do 48 hodin se u perlooček projevilo znatelné poškození mozku. Membrány mozkových buněk byly porušeny způsobem, který připomínal Alzheimerovu chorobu.

Nanomateriály, dokonce i když jsou vyrobeny z inertního prvku jako je například zlato, jsou velice reaktivní. Bylo zjištěno, že zlato, které je za normálních okolností neslučitelné s jiným prvkem, je při svých nanovelikostech silně reaktivní (obdobně jako draslík).

Nanočástice obsažené ve zplodinách z dieslových motorů mohou vyvolat chorobné změny na plicích. Ve městech vdechneme každým nádechem asi 25 milionů těchto nanočástic. V důsledku tohoto zjištění byl vyvozen závěr, že nanočástice jsou schopny vyvolat zánětlivé reakce dokonce i v mozku [42].

V nedávné studii se zabývalo dalšími možnými důsledky nanočástic na měkké tkáni v organismu. Studovala se distribuce fluorescenčních nanočástic skrz zárodek a dospělá těla druhu ryb známých jako *Oryzias Latipes*. Tento druh má malou velikost, velkou teplotní odolnost, snášenlivost na vysokou slanost vody a krátký generační cyklus. Embrya jsou průhledná a tkáňový materiál je podobný savcům. Při výzkumu se vyhodnotily 4 druhy rozložení nanočástic. Částice byly přijaty do krevního řečiště a deponované skrz tělo. U zárodků byla vysoká akumulace nanočástic ve žloutku. Dospělí jedinci měli částičky nahromaděné v žábřácích, mozku, játrech a krevním řečišti. Jeden z nejvýznamnějších výsledků této studie byla skutečnost, že slanost má velký vliv na jedovatost nanočástic, které pronikají skrz membránu a které dokonce zabíjejí jedince [46].

Další studie u hlodavců a lidí podporuje hypotézu, že vystavení nanočásticím a ultrajemným částicám představují větší riziko pro dýchací ústrojí než masa větších částic stejného chemického složení. Výzkum ukázal, že ultrajemné částice jsou více karcinogenní než stejné částice větších rozměrů. Ačkoli fyzikálně-chemické charakteristiky ultrajemných částic a nanočástic se mohou lišit, toxikologické principy odvozené z dostupných studií se tkají zdravotních rizik i pro nanočástice.

Hypotéza, že potenciální riziko se váže k většímu měrnému povrchu nanočástic ve srovnání se stejnou masou větších částic, je založena na sledování efektů v plicích pozorovaných u hlodavců, kteří byli vystaveni částicím  $\text{TiO}_2$ , C,  $\text{BaSO}_4$ , sazím dieslových motorů, uhelnému popílku a u lidí kteří vdechovali svářečské výpary a výfukové plyny. Studie ukázala že relativně nerozpustné částice jsou více toxické než větší částice stejného složení a povrchových vlastností a že částice s méně reaktivním povrchem jsou méně toxické. Dokonce se ukázalo, že částice s malou základní toxicitou (např.  $\text{TiO}_2$ ) mohou při dostatečné dávce způsobit zápal plic, poškození tkání, fibrózu... Pokusy ukázaly, že částičky tohoto materiálu o průměru 20 nm způsobovaly krysám zápaly plic, zatímco částičky téhož materiálu o průměru 250 nm takovéto škodlivé účinky neměly, projevovaly se neutrálně. Ironií je skutečnost, že  $\text{TiO}_2$  se už dlouho používá jako přísada do opalovacích krémů, která má chránit pokožku před ultrafialovým zářením [42]. Vědci se pokouší uklidit veřejnost tvrzením, že částice oxidu titanu o průměru 20 nanometrů neproniknou do pokožky hlouběji než do 5 mikrometrů. Nedokáže však zatím zodpovědět otázku, jaký vliv má  $\text{TiO}_2$  na potní a mazové žlázy v pokožce [43].

Vlastnosti nanomateriálů mohou být modifikovány – např. fullereny jsou pro buňky škodlivé, ale když dojde k modifikaci struktury (např. hydroxylací), změní se i toxicita – dojde ke snížení produkce kyslíkových radikálů, které pravděpodobně způsobují smrt buněk. V srpnu 2007 skupina amerických vědců v polovině srpna na zasedání Americké chemické společnosti

zveřejnila výsledky výzkumu, jež identifikoval řadu toxických či rakovinotvorných zplodin z výroby uhlíkových nanotrubic (CNTs). Studium možných rizik nanotechnologií se doposud soustřeďovalo převážně na výzkum přímého ohrožení zdraví samotnými nanočásticemi. Studie prováděné na myších už prokázaly, že nanočástice mohou poškozovat plíce. Ale znalosti vědy zatím nestačí ke stanovení rizika pro zdraví lidí. Ještě méně bylo vědcům známo o účincích vedlejších produktů nebo odpadů z výroby nanočástic. Proto se američtí výzkumníci z Massachusetts Institute of Technology a Woods Hole Oceanographic Institution soustředili na analýzu zplodin, které vznikají jako nežádoucí vedlejší produkty při výrobě uhlíkových nanotrubic. Měření prováděli v malém laboratorním zařízení pro výrobu CNTs a identifikovali nejméně 15 aromatických uhlovodíků, jejichž nebezpečné vlastnosti byly prokázány například při studiu poškození zdraví cigaretovým kouřem nebo výfukovými plyny automobilů. Podle spoluautorky výzkumu Desirée Plata byl při výrobě CNTs identifikován také rakovinotvorný benzo-a-pyren a škodliviny schopné podílet se na vzniku fotochemického smogu i na formování přízemního ozónu, který poškozují dýchací cesty člověka i rostliny, včetně zemědělských plodin.

Ve stejné době publikoval vědecký časopis *Environmental Health Perspectives* práci skupiny švýcarských vědců, která shrnuje znalosti současné vědy o působení uhlíkových nanotrubic na lidské zdraví a životní prostředí. Doposud provedené výzkumy ukazují, že uhlíkové nanotrubic jsou v životním prostředí biologicky dostupné pro živé organismy. Vlastnosti CNTs naznačují jejich schopnost dlouhodobě přetrvávat v životním prostředí (vysoká perzistence) a hromadit se v potravních řetězcích (bioakumulace). Tyto vlastnosti vzbuzující značné obavy lékařů i ekologů, protože právě perzistentní a bioakumulativní látky (dioxiny, PCB, DDT, chlorované pesticidy, bromované zpomalovače hoření atd.) patří mezi ty, které v minulosti způsobily vážné poškození zdraví lidí a významné škody na životním prostředí.

V současné době probíhá výzkum v EMPA Material Science and Technology v St. Gallenu ve Švýcarsku, zaměřené na toxické působení na kultury bakterií. Dosavadní výsledky ukazují, že už po jediném dni působení nanočástic se drasticky snižuje aktivita buněk, přičemž určité rozdíly k intenzitě působení trubiček jsou dány tím, jakou geometrickou formu tyto trubičky mají. Vcelku je zde však toxicita indikována jako vyšší než u asbestu [47].

### **5.3 NIOSH – national institute for occupational safety and health**

Niosh – národní institut bezpečnosti práce a zdraví

Je to federální agentura zodpovědná za vedení výzkumu v oblasti prevence pracovních zranění a nemocí. NIOSH je součástí centra pro kontrolu nemocí a jejich prevenci. Poskytuje informace, vzdělání a výzkum v této oblasti. V oblasti nanotechnologie se zaměřili na to, jak nanočástice působí na lidské tělo a jak jsou pracovníci ovlivňováni nanočásticemi při jejich výrobě. NIOSH v současné době nabízí směrnice pro práci s nanomateriály založených na aktuálních vědeckých znalostech.

NIOSH poukazuje na pracovní rizika spojená s používáním nanomateriálů, která nejsou dostatečně známá. Pracovníci v nanotechnologickém průmyslu jsou vystavováni nanočásticím v koncentraci daleko vyšších než kdekoli jinde [48].

## 5.4 Etické a sociální dopady

V roce 2001 Anton a kol. z ústavu pro výzkum národní obrany (RAND), napsali zprávu „The Global Technological Revolution“. V ní zhodnotili technologické trendy v řadě oblastí a upozornili mimo jiné na omezování soukromí, pokračující globalizaci a mezinárodní soutěžení. Předložili mimo jiné představu o probíhající technologické revoluci, založenou na interakci a synergii různých technologií, z nichž značný význam budou mít nanotechnologie. Při své analýze uvažovali cílové období kolem roku 2015.

Hlasy, které se čím dál častěji ozývají v souvislosti s možnými negativy nanotechnologie, upozorňují zejména na tyto problémy:

- Rychlost technologického rozvoje a zaostávání studia souvisejících sociálních aspektů. Např. A.Mnyusiwalla a kol., kanadští biotici, se pozastavují nad nedostatkem seriózních odborných prací, které by byly zaměřené na etické, právní a sociální aspekty nanotechnologie.
- Možné etické problémy, vyplývající z konvergence nanotechnologie s biotechnologií. Např. filosof J.Masterin upozorňuje na to, že každá technologie je eticky neutrální, záleží na úmyslu. V budoucnu proto očekává různé problémy etického charakteru, zejména při sblížení nanotechnologie a molekulární biologie.
- Chyby související se zaváděním nových technologií. Jde o tzv. jev odplaty (např. někdejší používání DDT,..). kanadská společnost ETC Group upozorňuje na možnou toxicitu nanočástic a na perspektivní nebezpečí ovládnutí samosestavovací hmoty, které se může vymknout kontrole.

## 5.5 Možné negativní dopady

### 5.5.1 Selhání technologie

(technologie působí jinak, než měla)

Prvotní obavy jsou spojené s přímým negativním dopadem užití nanotechnologie. Zde hraje svou roli jak novost technologie (nedostatečné zvládnutí) tak i obtížnější kontrola procesu.

### 5.5.2 Negativní důsledky (masového) užívání nanotechnologie

Přestože samotný proces aplikace může proběhnout v pořádku, stále ještě zůstávají otevřené jeho pozdější dopady.

(Nanočástice zůstávají v ekosystému i po dosažení původního účelu: nanoodpad, nanotoxiny; vedlejší efekty výroby, distribuce a užívání).

### 5.5.3 Neetické užití primárních uživatelem

Nanotechnologie jsou ideálním nástrojem pro vojenské účely v rukou různých zájmových skupin (nejen vlád), ale i kontrolní mechanismy omezující právo na soukromí a osobní svobodu. Další možné využití nanotechnologie k účelům obtížně slučitelných s morálními, etickými a právními normami společnosti, pravděpodobně ještě ukáže čas (pokud budou

nanotechnologie opravdu masově rozšířeny, čemu však dosavadní vývoj více než nasvědčuje).

#### **5.5.4 Negativní důsledky pozitivních dopadů**

(záchrana lidského života versus stárnutí populace; neekologičnost jednání způsobená spoléháním se na „všemocnou nanotechnologii“; zánik některých současných výrobních procesů – nezaměstnanost...)

Technologické výtoby motivované krátkodobým ziskem se mohou ukázat v dlouhodobém horizontu nebo ze širšího pohledu jako problematické. Zvýšení účinnosti medicínských postupů spojených se záchranou života učiní ještě palčivějšími některá etická dilemata, nebo dokonce prodloužení délky života bez prodloužení délky produktivního věku může vést ke zvýšení zátěže sociálního/zdravotního systému (nebo dokonce přispět k jeho zhroucení ve stávající podobě) [49].

## 6 ZÁVĚR

Téma nanotechnologie se s vývojem pokroku dostává neustále víc do popředí nejrůznějších disciplín a jako vysoce specifický obor chemie se její hranice stále rozšiřuje. Jde o obor, který se zabývá tvorbou a využíváním technologií v měřítku řádově nanometrů. Nano rozměry přisuzují materiálům zcela odlišné vlastnosti, než jak je tomu v normálních rozměrech. Tyto vlastnosti se týkají především bodu tání, elektrické vodivosti, barvy, ale hlavně reaktivity. Jak již bylo dříve naznačeno, použití nanočástic je známé již od středověku. Nicméně, doposud nebyla publikována ucelená studie týkající se chemismu a fyziky nanočástic. I to je důvodem, proč nelze predikovat chování a osud těchto materiálů s ohledem na prostředí v nichž se nacházejí a v nichž mohou způsobovat nemalé problémy. Lze tedy říci, že i přes nesčetné možnosti oboru nanotechnologie a neoddiskutované výhody využití nano materiálů, existují nezanedbatelná rizika spojená s jejich zapojením například do biologických cyklů živých organismů. Následky, s nimiž se pak lidstvo a možná i celá planeta budou potýkat, mohou být katastrofální. Řešením se v tuto chvíli zdá pouze využití nano materiálů až po dokonalém pochopení jejich vlastností a zmapování všech potenciálních rizik.

## 7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] PRNKA, T., ŠPERLINK, K. *Nanotechnologie*. Ostrava : Reprones, 2004. ISBN 80-7329070-7.
- [2] [online], dostupné z:<<http://www.nanoklastr.cz/nanotech.php> (citováno 10.2.2005)
- [3] DUTTA, J., HOFFMANN, H., SCHMID, G. *European consortium on nanomaterials, advanced material*, 1996. s. 555-557.
- [4] BLUMA, Aleš. Menší než malé aneb císařovy nové šaty. *Ekonom*. 2004, roč. XLVIII, č. 46, s. 58-61. ISSN 1210-0714
- [5] ŠMILAUEROVÁ, Renata. Nanotechnologie hrají všemi barvami. [online]. 29.3.2006, poslední revize: 20.6.2006, dostupné z: <[www.scienceworld.cz/sw.nsf/fyzika/25EAB21213324844C125713F004FBA32?OpenDocument&cast=1](http://www.scienceworld.cz/sw.nsf/fyzika/25EAB21213324844C125713F004FBA32?OpenDocument&cast=1)>.
- [7] KAPOUN, Jan. Zázračné fullereny: Na obzoru doba uhlíková [online], 2001, poslední revize 20.6.2005. dostupné z: <http://www.scienceworld.cz/sw.nsf/ID/D879158F5CDO4BEBC1256E97700489DB2?OpenDocument&casts=1>
- [8] ŽÁČEK, Martin. Pátá forma uhlíku-nanopěna s feromagnetickými znalostmi. *Aldebaran Bulletin* [online]. 2004, roč. 2, č. 5 [cit. 2008-04-21]. Dostupný z WWW: <[aldebaran.cz/bulletin/2004\\_25\\_uhl.html](http://aldebaran.cz/bulletin/2004_25_uhl.html)>. ISSN 12124-1674.
- [9] DVOŘÁK, Ondřej. Jak separovat nanočástice. *Akademon* [online]. 2006 [cit. 2008-04-04]. Dostupný z WWW: <[akademon.cz/default.asp?source=1006](http://akademon.cz/default.asp?source=1006)>. ISSN 1214-1712.
- [10] DVOŘÁK, Ondřej. Bakteriální nanotrubičky. *Akademon* [online]. 2007 [cit. 2008-12-04]. Dostupný z WWW: <[aldebaran.cz/bulletin/2004\\_25\\_uhl.html](http://aldebaran.cz/bulletin/2004_25_uhl.html)>.ISSN 1214-1712.
- [11][online]: dostupné z<<http://csnmt.tme.vutbr.cz/OKO/2-6/pruv03.pdf>> [cit. 2008-05-20]
- [12] EVERITT, Francis. James Clerk Maxwell: a force for physics. *Physicworld*. 2006, ISSN 0047-2816
- [13] NALWA, Hari singh. *Encyklopedia of nanoscience and nanotechnology*. 1st edition. [s.l.] : American Scientific Publisher, 2004. 1000 s. ISBN 1-58883-001-2.
- [14] LYKLEM, J. *Fundamentals of interface and colloid science*. London : Academic press, 2001. 751 s. ISBN 0-12-460524-9.

- [15] VON HIPPEL, Eric. *The source of innovation*. USA : Oxford university press, 1988. 232 s. ISBN 0-19-504085-6.
- [17] FEYNMAN, Richard. *Feynmanovy přednášky z fyziky s řešenými příklady*. [s.l.] : Fragment, 2000. 3 sv. (732, 806, 436 s.). ISBN 90-7200-405-0.
- [18] MOORE, Gordon E. Cramming more component onto integrated circuits. *Electronics* [online]. 1965, vol. 38, no. 8. [cit. 2008-05-11] Dostupný z <[ftp://download.intel.com/museum/Moores\\_Law/Articles\\_Press\\_releases/Gordon\\_Moore\\_1965\\_Article.pdf](ftp://download.intel.com/museum/Moores_Law/Articles_Press_releases/Gordon_Moore_1965_Article.pdf)>.
- [19] TANIGUCHI, N. *On the basic concept of nanotechnology*. Tokyo : Japan society of precision Engineering, 1974.
- [20] DREXLER, Eric K. *Engines of creation. the coming era of nanotechnology*. 2nd edition. New York : Anchor Books, 1990. ISBN 0-385-199732.
- [21] BILLUPS, Edward W, CIUFOLINI, Marco A. *Buckminsterfullerenes*. [s.l.] : Wiley-VCH, 1993. ISBN 1560816082. s. 1.
- [22] GOGOTSI, Yury G. *Nanostructured Materials and coating in biomedical sensor applications*. [s.l.] : Springer , 2003. 416 s. ISBN 1402013213.
- [23] SERGEEV, G.B. *Nanochemistry*. [s.l.] : Elsevier science, 2006. ISBN 0444519564. 7 s.
- [24] YING, Jackie. *Nanostructured materials*. New York : Academic press, 2001. ISBN 0127444513.
- [25] CHIN, Christine. Fabrication of metallic nanoparticle arrays. *The journal of young investigators* [online]. 2008, vol. 18, no. 5. [cit. 2008-04-20] Dostupný z WWW: <[jyi.org/research/re.php?id=1036](http://jyi.org/research/re.php?id=1036)>. ISSN 1539-4026.
- [26] GERLA, Václav. *Nanotechnologie v medicíně*. [online] 15.12.2002. poslední revize 20.6.2006. dostupné z: <[www.sweb.cz/nanomedicina](http://www.sweb.cz/nanomedicina)>
- [27] OZIN, Geoffrey A. *Nanochemistry: a chemical approach to nanomaterials*. [s.l.] : Royal Society of chemistry, 2005. 546 s. ISBN 085404664.
- [28] ECHARTOVÁ, Dita. Stalo se roku 2100. *Živel*. 2000, č. 17, s. 95.
- [29] HILLIE, Thembela, HLOPHE, Mbhut. Nanotechnology and the challenge of clean water. *Nature* [online]. 2007, vol. 2. [cit. 2008-04-19] Dostupný z <[nature.com/naturenanotechnology](http://nature.com/naturenanotechnology)>. ISSN 0028-0836.
- [30] Velký bratr tě vidí i slyší.... *Science*. říjen2005, roč. 59, č. 10, ISSN 1214-4754

- [31] ŠRÁMEK , Dalibor. Tři bity na molekulu: Nanotechnologie slibují novou generaci paměti. *Science Word* [online]. 2004. [cit. 2008-03-20] Dostupný z: <scienceworld.cz/sw.nsf/ID/345301A5B942F305C1256EE800323C3C?OpenDocument&cas=1>.
- [32] [online] dostupné z:< <http://206.106.174.125/foled.htm>> [cit. 2008-05-20]
- [33] VOLDMAN, Steven H. Bleskovody pro nanoelektriku. *Scientific American*. únor 2004, s. 118-125. české vydání. ISSN 0036-8733
- [34] KVASNIČKOVÁ, Alexandra. *Nanotechnologie a funkční potraviny/doplňky stravy*. [online]. 25.3.2006. poslední revize 20.6.2006. dostupné z: <<http://www.bezpecnostpotravin.cz/default.asp?ids=0&ch=66&typ=1&val=45283>>
- [35] [online] dostupné z: <<http://www.basf.cz>> [cit. 2008-05-01]
- [36] [online] dostupné z: [http://www.wikipedia.org/wik/List\\_of\\_nanotechnology\\_applications](http://www.wikipedia.org/wik/List_of_nanotechnology_applications)
- [37] Nanovlákná sklízí úspěch za oceánem. *Technický týdeník*. 2006, č. 11, ISSN 0040-1064
- [38] Nanovlákná včera, dnes a v budoucnu. *Technický týdeník*. 1.1.2008, č. 1, ISSN 0040-1064
- [39] KVASNIČKOVÁ, Alexandra. *Nutrikosmetika*. [online]. 26.3.2006. poslední revize 20.6.2006. dostupné z: <<http://www.bezpecnostpotravin.cz/default.asp?ids=0&ch=66&typ=1&val=45311>>
- [40] Příspěvek k sociálním aspektům nanotechnologie. 23.8.2007 [online]. [cit. 2008-05-20]dostupné z: <<http://www.nanotechnologie.cz/view.php?cisloclanku=2007080012>>
- [41] Nanotechnologie a obnovitelné zdroje energie. 14.5.2004 [online]. [cit. 2008-05-17] dostupné z: <[http://www.stech.cz/articles\\_print.asp?idk=97&ida=274](http://www.stech.cz/articles_print.asp?idk=97&ida=274)>
- [42] BARBASZOVÁ, Karla. *Nanotechnologie a nanomateriály*. Ostrava : Schenk, 2006. ISBN 80-248-1210-X. s. 144-145.
- [43] HONĚK, Jakub. Rizika nanočástic pro zdraví a jak jim čelit. [online]. 2006. Zdroj: *Technik*. [cit. 2008-01-20] Dostupný z WWW: <[enviweb.cz/?env=gmo\\_archiv\\_fifci/Rizika\\_nanocastic\\_pro\\_zdravi\\_a\\_jak\\_jim\\_celit.html](http://enviweb.cz/?env=gmo_archiv_fifci/Rizika_nanocastic_pro_zdravi_a_jak_jim_celit.html)>. ISSN 1210-616X.
- [44] ZAO, Yulinag, NALWA, Hari Singh. *Nanotoxicology*. [s.l.] : American Scientific Publisher, 2006. ISBN 1-58883-088-8.

[45] ELDER, Alison. Tiny inhaled particles take easy route from nose to brain. [online]. 2006. University of Rochester-medical center. [cit. 2008-04-20] Dostupný z WWW: <[urmc.rochester.edu/pr/news/story.cfm?id=1191](http://urmc.rochester.edu/pr/news/story.cfm?id=1191)>.

[46] KASHIWADA, Shosaku. Distribution of nanoparticles in the see-through medaka. *Environ health perspect* [online]. 2006, vol. 114, no. 11 [cit. 2008-05-16]. Dostupný z WWW: <[lib.bioinfo.pl/auth:kashiwada,S](http://lib.bioinfo.pl/auth:kashiwada,S)>. ISSN 0091-6765.

[47] ŠUTA, Miroslav. Nanotechnologie: Velké přísliby i značná rizika nanotrubic. *Respekt* [online]. 2007 [cit. 2008-05-20]. Dostupný z WWW: <[suta.blog.respekt.cz/c/9695/Nanotechnologie-Velke-Prisliby-I-Znacna-Rizika-nanotrubic.html](http://suta.blog.respekt.cz/c/9695/Nanotechnologie-Velke-Prisliby-I-Znacna-Rizika-nanotrubic.html)>. ISSN 1801-1446.

[48] [online] dostupné z: <<http://www.cds.gov/Niosh>> [cit. 2008-05-14]

[49] ANTON, Philip S, SILBERGLIT, Richard, SCHNEIDER, James. *The Global technology revolution:Bio/nano/materials trends and their synergis with information technology by 2015*. [s.l.] : Rand corporation, 2006. ISBN 0833039105.