

## Nanočástice a jejich (ne)bezpečnost

Pojmy nanotechnologie a nanomateriály pronikají do povědomí člověka stále více a více, útočí na nás z reklam na protiplišňové ponožky, na keramické pánve odolné proti poškrábaní, na opalovací krémy, které téměř nepropouští UV záření, ale i ze seriózních článků, které se zabývají dopady nanotechnologií a používáním výrobků obsahujících nanomateriály na lidské zdraví i na všechny složky životního prostředí. I když dnes víme o vlastnostech atomů téměř vše, prozatím málo víme o tom, jak se chovají jejich seskupení velikosti nanočástic a jak vznikají jejich někdy neočekávané vlastnosti. Vlastností nanomateriálů jsou dány jejich chemickou povahou, ale taky budou záviset na jejich velikosti, tvaru, na uspořádání jejich povrchu, případně na modifikaci jejich povrchu. Již dnes se ví, že v porovnání s částicemi, které mají obvyklou velikost ( $> 100$  nm), určité nanočástice jsou snadněji inhalovány a způsobují poškození plic. Některé studie uvádějí, že nanotrubičky vykazují obdobné toxikologické vlastnosti jako azbest – způsobují rakovinu plic. V článku chci tedy poukázat jednak na pozitivní využití moderní technologie v praxi, ale i na rizika spojená s nanočásticemi, která dosud nejsou v policejní praxi dostatečně známým a rozpoznatelným nebezpečím, v případě jeho zneužitím protiprávně jednající osobou (např. teroristou, vrahem aj.).

### Co jsou nanočástice

V současné době je zřejmé, že některé částice mohou být schopny pronikat z plic do krevního oběhu a následně do jednotlivých orgánů. Ačkoliv není zcela jisté, co se stane, jestliže se nanočástice do těla dostanou, víme jistě, že částice “normální” velikosti se v krevním oběhu nenacházejí. V této souvislosti je nutné odmítnout argumenty, že expozice nanočásticemi např. přes kůži nebo inhalací, je nevýznamná. Možnost, že nanočástice se mohou relativně lehce dostat do organismu, představuje jisté riziko, které si zaslouží podrobnější studii. Je také známo, že některé nanočástice jsou dostatečně malé, aby mohly pronikat do buněk a poškodit je.<sup>1</sup> Nano – tedy částičky obsažené ve výrobcích jsou jednou miliardtinou metru, tzn. že jsou tak velké, jako lískový oříšek v poměru k zeměkouli. Matematicky zobrazeno  $10^{-9}$ . Na délku jednoho nanometru se dá vedle sebe poskládat 5 – 10 atomů<sup>2</sup>. Další zajímavou charakteristikou je obrovský nárůst poměru plochy povrchu k objemu částic nanomateriálu (počet atomů vytvářejících povrch nanočástic je nepoměrně vyšší než počet atomů uvnitř částice). Tento poměr velmi silně ovlivňuje většinu chemických a fyzikálních vazeb na hranicích zrn v materiálu. Rozdílné jsou také vazby nanočástic se základní hmotou kompozitních materiálů. Nakonec, chování nanočástic se již neřídí zákonitostmi běžné fyziky, chování atomů je komplikovanější a řídí se kvantovou fyzikou a kvantové jevy vedou k naprosto novým možnostem. Nanotechnologie je v podstatě nauka o materiálech o rozměrech nanometrů.<sup>3</sup>

---

<sup>1</sup> Internetový odkaz: *Nanotechnologie a nanomateriály*, [citace 2009-03-18], Dostupné na internetu: <http://www.khsova.cz/>

<sup>2</sup> HRINKO, M. *Vliv a rizika nanotechnologií na společnost*, Ostrava : PowerPointová prezentace studentům FBI VŠB-TU Ostrava čerpajících z výzkumných materiálů prof. Klementa, Ostrava 2010.

<sup>3</sup> Internetový odkaz: *Nanotechnologie a nanomateriály*, [citace 2009-03-18], Dostupné na internetu: <http://www.khsova.cz/>

Průměr (μm)	Číslo (per cm <sup>3</sup> of air)	Plocha (μm <sup>2</sup> per cm <sup>3</sup> of air)
2.5	1.2	24
1	19	60
0.1	19 100	600
0.02	2 400 000	3 016

Tab. č. 1: Tabulka znázorňuje poměry vybraných rozměrů nanočástic<sup>4</sup>

Ve všedním životě nebývají zprávy o nanotechnice publikovány dramatickým způsobem, nicméně už bylo zaznamenáno poměrně hodně symptomů, které lze označit za znepokojivé, a to především z hlediska lidského zdraví a životního prostředí. Nelze přehlédnout skutečnost, že už přibližně dva nebo tři roky se množí hlášení odborníků na toxikologii, že **nanomateriály, jak už bylo zjištěno z pokusů, jsou anebo mohou být nebezpečné pro živé organismy.** Někteří hlavně ekologicky orientovaní odborníci bijí na poplach velmi intenzivně a navrhují, aby rozvoj nanotechnologií byl přísně řízen a omezen. Je nabíledni, že stoupcům nanotechnologií, kteří je považují za zázračnou vědu 21. století a za „next big thing“ ve vědě a technice (po IT a biotechnologiích), se takovéto pochyby nelíbí. Obavy z rizik nanotechnologií a nanomateriálů jsou podle firem zabývajících se výrobou produktů s nanočásticemi přehnané. Pochyby nicméně nevzbuzují jenom bagatelizující postoje takovýchto firem, nýbrž i chování mnoha výzkumných institucí a vlády USA, resp. veřejných organizací, které se nanotechnologiemi zabývají a jsou financovány ze státního rozpočtu.<sup>5</sup>

## Využití nanotechnologie v praxi

Pozitivně lze využít nanočástice v některých níže uvedených oblastech, např.:<sup>6</sup>

### 1) Medicína

- cílená likvidace tumorů, obecně – v terapii nádorů se nanočástice nejčastěji využívají u nádorů prostaty. V buňkách nádoru se shromáždí dostatečné množství magnetických nanočástic oxidu železa, které se rozkmitají vnějším vysokofrekvenčním magnetickým polem a zahřejí k teplotě kolem 50 stupňů. Tím dojde ke zničení nádorových buněk. Ve stadiu klinických testů je i léčba u nádorů mozku;
- nanočástice oxidů jako kontrastní látky pro nukleární magnetickou rezonanci (NMR). Nanočástice na bázi oxidů železa se využívají při vyšetřování jater magnetickou rezonancí. Pokusy se ale uskutečňují v řadě aplikací, především u diagnostiky nádorů;

<sup>4</sup> HRINKO, M. *Vliv a rizika nanotechnologií na společnost*, Ostrava : PowerPointová prezentace studentům FBI VŠB-TU Ostrava čerpajících z výzkumných materiálů prof. Klementa, Ostrava 2010.

<sup>5</sup> *Rizika nanočástic pro zdraví a jak jim čelit*, [citace 2006-05-21], Dostupné na internetu: <http://www.gate2biotech.cz/>

<sup>6</sup> *Nanotechnologie a nanomateriály*, [citace 2009-03-18], Dostupné na internetu: <http://www.khsova.cz/>

- 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;
- cílená doprava léčiv na určené místo: nanočástice jsou schopny nést lék a stát se jeho dopravci do těla. Při tom chrání medikament před zničením v různých prostředích organismu a dopraví jej přesně tam, kde je ho zapotřebí;
- implantáty (umělé klouby, chlopně, náhrada tkání), transplantace;
- desinfekční roztoky nové generace, speciální gel na rány, který ničí bakterie, plísně i kvasinky, pomáhá likvidovat bakterie v poraněných a popálených místech. Obsahuje více než 90 procent vody, takže zvlhčuje ránu a zabraňuje obnažení nervových vláken. Také tím napomáhá čištění rány (gel zatím čekají testy a schvalovací proces);
- opalovací ochranné krémy s nanočásticemi oxidu zinečnatého (odrážejí UV záření);
- nanoroboti, např. chirurgické zákroky uvnitř těla na úrovni buněk.

## 2) Potravinářství

- inteligentní a multifunkční obaly pro zvýšení trvanlivosti a kvality potravin;
- účinnější potravinové doplňky, např. koenzymu Q10 – tradiční forma se vyznačuje extrémně nízkou rozpustností ve vodě a následně velmi omezeným vstřebáváním v tenkém střevě. Naproti tomu nanokoenzym Q10 je tvořen přesnými částicemi s micelární strukturou o velikosti od 30 nm do 150 nm a obsahuje několik stovek molekul koenzymu Q10. Takto upravený nanokoenzym Q10 ve formě nanosuspense nebo roztoku vykazuje v porovnání s běžným koenzymem Q10 několikanásobně vyšší vstřebatelnost, podstatně rychlejší nástup účinku a je beze zbytku využit;
- zjišťování a neutralizace mikroorganismů nebo pesticidů;
- sledování původu potravin pomocí miniaturizovaného „značkování“.

## 3) Elektronika

- vysokokapacitní záznamová média (nosiče dat s velmi vysokou hustotou záznamu);
- logické obvody na molekulární úrovni;
- zobrazovací zařízení s vysokým rozlišením;
- fotomateriály, fotočlánky s dlouhou životností;
- palivové články (například nové palivové články, které budou vhodné i pro efektivní skladování vodíku), vysokokapacitní baterie;
- čidla a detektory.

## 3) Strojírenství

- nové, superpevné materiály;
- supertvrdé povrchy s nízkým třením, odolnější proti poškrábání, odolnější proti vodě;
- samočisticí oděru vzdorné laky;
- kompozitní materiály;
- obráběcí nástroje.

## 4) Stavebnictví

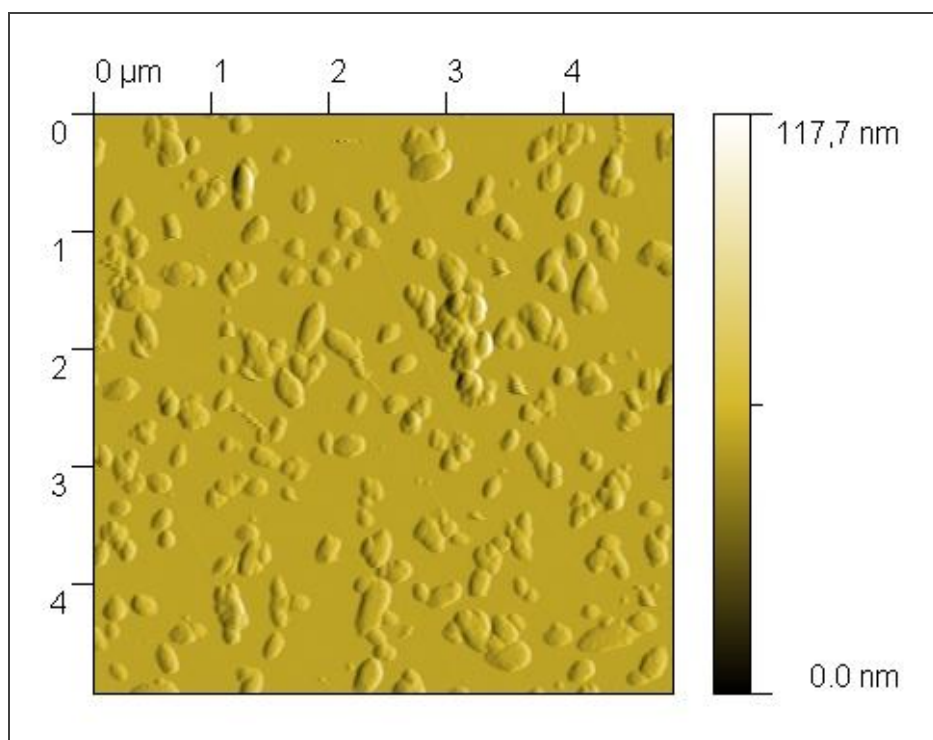
- izolační materiály nové generace;
- samočisticí fasádní nátěry;
- antiadhezní obklady.

## 5) Kosmický průmysl

- katalyzátory a nová, vysoce účinná paliva, odolné povrchy satelitů.

### Zdravotní riziko

Vlastností nanomateriálů jsou dány jejich chemickou povahou, ale taky budou záviset na jejich velikosti, tvaru, na uspořádání jejich povrchu, případně na modifikaci jejich povrchu. Kromě možného dopadu na lidské zdraví nanomateriály představují potenciální ohrožení životního prostředí. Mnohé z nanomateriálů zůstanou v životním prostředí dlouho po tom, co produkt ztratí své užité vlastnosti a hromadí se zde, přičemž toto hromadění může poškodit jednotlivé složky životního prostředí. Nanomateriály, které jsou neškodné pro člověka, mohou poškodit některé složky citlivé ekologické rovnováhy. Např. použití nanočástic stříbra jako antimikrobiologického prostředku může poškodit užitečné mikroby v biosféře, a tak ovlivnit organismy na vyšší úrovni. V současnosti je zřejmé, že existuje velmi omezené množství informací o nanomateriálech a nanoproduktech, které mohou působit přímé anebo nepřímé ohrožení života nebo životního prostředí. Při vývoji, výrobě, prodeji a spotřebě nanoproduktů musíme postupovat opatrně, s ohledem k nutnosti vyvinout strategii a systém kontroly nanosystémů, nanomateriálů, případně produktů obsahujících nanočástice, za účelem identifikovat a adresně popsat jejich potenciální nebezpečí ohrožující lidskou populaci a škodlivost životnímu prostředí, případně průmyslu.<sup>7</sup>



Obr. č. 1: Obrázek znázorňuje množství poletujících toxických nanočástic produkovaných těžkým průmyslem v jedné městské aglomeraci<sup>8</sup>

<sup>7</sup> Nanotechnologie a nanomateriály, [citace 2009-03-18], Dostupné na internetu: <http://www.khsova.cz/>

<sup>8</sup> HRINKO, M. Vliv a rizika nanotechnologií na společnost, Ostrava: PowerPointová prezentace studentům FBI VŠB-TU Ostrava čerpajících z výzkumných materiálů prof. Klementa, Ostrava 2010.

## Interakce nanočástic s živou buňkou

Co se může stát, jestliže nanočástice narazí na buňku živého organismu? Jsou tři možnosti:<sup>9</sup>

- na povrchu se nanočástice setkávající 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;
- dojde k aktivaci receptorových molekul na buněčném obalu, protože atomy kovu se vyloučí z nanočástic. Další průběh je už jako v první variantě;
- 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.

Zdánlivě nejmenší je nebezpečí u izolovaných nanomateriálů, ale je nutno si uvědomit důležitou okolnost: pokud jsou nanočástice obsaženy v povrchových vrstvách předmětů (protože se např. používají pro povrchové úpravy) a pak jsou vystaveny oděru, otěru, korozi, vibracím, biologickým, nejrůznějším chemickým, fyzikálním a povětrnostním vlivům. Při nich se částičky uvolňují a dostávají se do okolního prostředí, tedy i do vzduchu vdechovaného lidmi a do vody, přesněji řečeno do koloběhu vody v přírodě, bez něhož by lidé nemohli existovat.<sup>10</sup> Nová auta jsou dnes v automobilkách nastříkána nanovláknem, jehož částičky se po několika letech uvolňují a dostávají se do ovzduší, a při mytí aut i do odpadových vod, přičemž způsoby odstraňování škodlivých nanočástic z vody čištěné v čistírnách nejsou zatím stanoveny. Automobilů jsou miliony. Všechny jsou nalakovány a všechny uvolňují nanočástice, ale jejich působení bude možno důkladně zmapovat až za cca 10 let, až bude s nanolakováním více zkušeností.<sup>11</sup> Zatímco však u izolovaných nanočástic lze zhruba rozsah možných škod aspoň odhadnout, u zbylých dvou kategorií to provést nelze. Obecně vzato, jsou samozřejmě mnohem nebezpečnější než první kategorie. 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 – viz. následující odstavce, pokud se ocitnou v nesprávných rukách.<sup>12</sup>

## Kategorizace nanočástic

Jak k tomuto stavu mohlo dojít a co by se mělo udělat, aby se vysvětlilo, která rizika nanotechnologií jsou jenom domnělá a která reálná, a jak by měl být ovlivňován další vývoj v oblasti těchto věd? Je zapotřebí si nanotechniku a nanomateriály rozčlenit do tří kategorií, které se co do své rizikovosti odlišují. Jde o kategorie: izolovaná, bioaktivní a disruptivní, (tj. doslova: rozvratná, destruktivní). Většina současných technik a technologií pracuje se strukturami, do nichž jsou nanokomponenty vloženy, resp. jejichž jsou součástími, a díky tomu jsou izolovány od okolního prostředí. Do této kategorie patří např. nejrůznější přístroje sloužící ke zkoumání povrchů a molekul. Do této kategorie patří materiály, jako jsou samočistící anebo antipřílnavé vrstvy. Jde o takové materiály, které jsou nano a zároveň

---

<sup>9</sup> *Rizika nanočástic pro zdraví a jak jim čelit*, [citace 2006-05-21], Dostupné na internetu: <http://www.gate2biotech.cz/>

<sup>10</sup> *Nanotechnologie a nanomateriály*, [citace 2009-03-18], Dostupné na internetu: <http://www.khsova.cz/>

<sup>11</sup> *Rizika nanočástic pro zdraví a jak jim čelit*, [citace 2006-05-21], Dostupné na internetu: <http://www.gate2biotech.cz/>

<sup>12</sup> *Nanotechnologie a nanomateriály*, [citace 2009-03-18], Dostupné na internetu: <http://www.khsova.cz/>

plasty. Strukturu takového materiálu je nejprve nutno za vysokého vynaložení energie rozmělnit, aby z nich bylo možno získat nanočástice.

**Izolované nanomateriály** (do nichž patří nanoelektronika) se jeví jako lidskému zdraví či vůbec živým organismům (relativně) neškodné. Boeing však přesto klade otázku: co se stane s nanokomponentami, když přístroje a materiály, v nichž jsou obsaženy, doslouží a musejí být vyřazeny? Co s elektronickým či nanotechnickým "šrotem"? 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.<sup>13</sup>

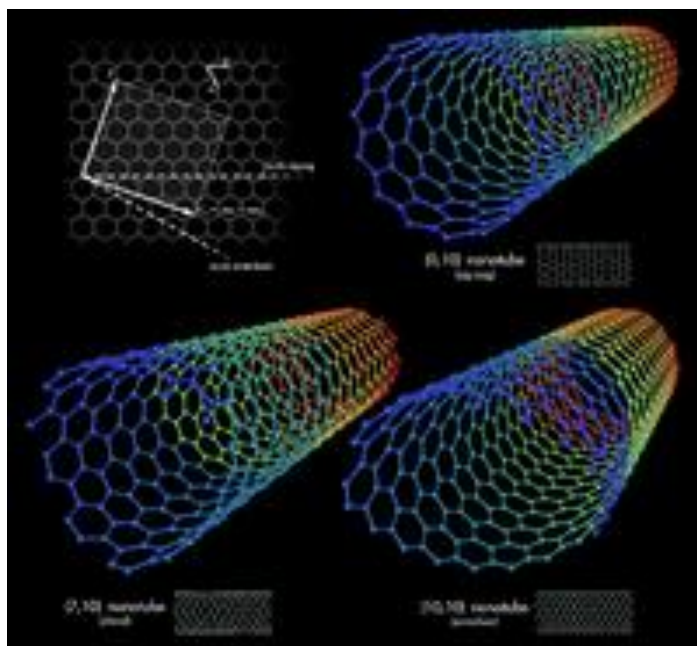
**Bioaktivní nanotechnika** – takovýto přírůstek však tato kategorie nanomateriálů nepotřebuje, protože je už dnes sama o sobě dost problémová, a dokonce ožehavá. Uměle vytvořené nanočástice, které nejsou uloženy v matici (jako je tomu např. u plastů), jsou bioaktivní. To je vlastnost, která na jedné 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). Známa varianta takovýchto molekul, zvaná ve vědecké hantýrce Buckyballs, se skládá ze 60 atomů vytvářejících kouli o průměru 0,7 nanometru (C60). Atomy jsou uspořádány do pěti- a šestihraných obrazců, takže připomínají míč na kopanou, který je sešit z podobně tvarovaných kousků kůže. Tyto nanočástice by se mohly jednou používat v medicíně a v solárních buňkách.<sup>14</sup> Jinou variantou bioaktivních nanomateriálů jsou tzv. uhlíkové nanotrubičky (viz. obr. č. 2). Jde o trubičky složené ze šestihranů, jež mohou mít délku několik mikrometrů a jež se mohou vyskytovat jak jednotlivě, tak prokládaně, ve vrstvách. Nanotrubičky jsou pevnější než ocel, vedou teplo lépe než diamant (dlouho pokládán za vůbec nejlepší vodič tepla), a pokud jde o elektřinu, jsou to buď vodiče, anebo polovodiče. Není tedy divu, že těmito přednostmi nanotrubičky nadchly hlavně technology v průmyslu. Z nanotrubiček se dají táhnout lehká a přitom velice tenká vlákna uhlíkové příze a transparentní fólie, které mají schopnost vysílat teplo anebo svítit. V čem je tady ale potíž a riziko? V tom, že tělesné buňky, resp. buňky živého organismu, a bakterie se s novými uhlíkovými molekulami nesházejí. Více pokusů s myši a krysami ukázalo, že uhlíkové nanotrubičky mohou vyvolávat zánětlivé reakce v plicích sklípčích těchto zvířat. V současné době probíhá výzkum v EMPA Material Science and Technology v St. Gallenu ve Švýcarsku, zaměřený 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 azbestu.<sup>15</sup>

---

<sup>13</sup> *Rizika nanočástic pro zdraví a jak jim čelit*, [citace 2006-05-21], Dostupné na internetu: <http://www.gate2biotech.cz/>

<sup>14</sup> *Rizika nanočástic pro zdraví a jak jim čelit*, [citace 2006-05-21], Dostupné na internetu: <http://www.gate2biotech.cz/>

<sup>15</sup> *Nanotechnologie a nanomateriály*, [citace 2009-03-18], Dostupné na internetu: <http://www.khsova.cz/>



Obr. č. 2: Obrázek znázorňuje bioaktivních nanomateriály tzv. uhlíkové nanotrubičky<sup>16</sup>

**Disruptivní nanotechnika** – jsou mikroorganismy vyvíjené ve sféře syntetické biologie. Jde o vědní oblast úzce spjatou s výzkumem genetiky, přičemž jedním z důvodů je už to, že i v této disciplíně se uvažuje a pracuje v dimenzích velice malých částic. Konkrétně tu jde o vytváření mikroorganismů. Velice známou postavou na tomto poli je Craig Venter, který nyní pracuje na novém genomu pro bakterii s názvem *Bacterium M. genitalium*. Venter spatřuje v takto uměle vytvářených mikrobech budoucí činitele, které budou v organismech či pro ně získávat energii nebo jim ji dodávat, a které budou odstraňovat škodliviny. I když samozřejmě ani zde nelze zcela vyloučit eventualitu, že **takto vypracované postupy bude případně možno zneužít k vyvinutí virů, které budou pro lidi a vůbec organismy škodlivé.**<sup>17</sup>

*plk. Ing. Martin Hrinko, Ph.D.  
náměstek ředitele pro vnější službu KŘP MSK Ostrava  
e-mail: martin.hrinko@seznam.cz*

<sup>16</sup> HRINKO, M. *Vliv a rizika nanotechnologií na společnost*, Ostrava: PowerPointová prezentace studentům FBI VŠB-TU Ostrava čerpajících z výzkumných materiálů prof. Klementa, Ostrava 2010.

<sup>17</sup> *Rizika nanočástic pro zdraví a jak jim čelit*, [citace 2006-05-21], Dostupné na internetu: <http://www.gate2biotech.cz/>