

Oborová kontaktní organizace pro průmyslový výzkum a vývoj v ČR
Svaz průmyslu a dopravy České republiky

Oborová kontaktní organizace pro materiály, technologie a výrobní procesy
Česká společnost pro nové materiály a technologie

II. řada

Šestý rámcový program evropského výzkumu a technického rozvoje

6

NANOTECHNOLOGIE

Tasilo Prnka
Karel Šperlink

srpen 2004

Svaz průmyslu a dopravy (SP ČR) a Česká společnost pro nové materiály a technologie (ČSNMT) jsou řešiteli projektů programu MŠMT EUPRO, vyhlášeného na podporu integrace českého výzkumu a vývoje do sítě evropských pracovišť.

SPD řeší projekt OK 452 „Oborová kontaktní organizace pro průmyslový výzkum a vývoj v ČR“, ČSNMT řeší projekt OK 446 „Oborová kontaktní organizace pro materiály, technologie a výrobní procesy“.

V rámci řešení projektů vydávají obě organizace další příručku, šestou v druhé řadě, která je věnována 6. Rámcovému programu evropského výzkumu a technického rozvoje. Šestá příručka druhé řady je zaměřena na významnou prioritu 6. RP – nanotechnologie, interdisciplinární obor, který se celosvětově intenzivně rozvíjí nejen ve vědě a výzkumu, ale i v praxi.

V publikaci se nacházejí základní informace o současném stavu a předpokládaném vývoji nanotechnologie. Jelikož se nanotechnologie stala v nedávné době předmětem velké pozornosti Evropské komise, zveřejňujeme v příloze této publikace v úplném znění překlad jejího sdělení „Na cestě k evropské strategii nanotechnologie“ (COM /2004/ 338 final).

Doc. Ing. Karel Šperlink, CSc.
vice-prezident SP ČR
prezident ČSNMT

OBSAH

1. Úvod	5
2. Co je nanotechnologie?	6
3. Nanotechnologie – starý obor?	8
3.1. Nanotechnologie v přírodě	8
3.2. Příklady „staré“ nanotechnologie v technice	11
4. Současné názory na nanotechnologii	15
4.1. Nanotechnologie jako radikální změna	15
4.2. Nanotechnologie jako opatrná revoluce	16
4.3. Nanotechnologie a její bojovní zastánci	18
4.4. Nanotechnologie a její komentátoři a kritici	18
4.5. Shrnutí	19
5. Současný stav oboru	21
5.1. Publikace a patenty	21
5.2. Finanční podpora	23
5.3. Shrnutí	24
6. Nanotechnologie a Evropská unie	25
7. Možné sociální a etické důsledky nanotechnologie	28
7.1. Přehled významných publikací	28
7.2. Vybrané směry hodnocení sociálních dopadů	30
8. Aplikace nanotechnologie	33
8.1. Současnost	33
8.2. Blízká budoucnost	35
8.3. Dlouhodobá perspektiva	36
9. Závěr	38
10. Literatura a internet	39
Příloha – „Na cestě k evropské strategii nanotechnologie“, sdělení Evropské komise COM (2004) 338	43

1. ÚVOD

Jestě v polovině minulého století nebylo zřejmé, že bychom někdy byli schopni ovládat hmotu na atomární či molekulární úrovni. Převládala především Schrödingerova představa, že atomy nelze přesně v prostoru lokalizovat, protože „atomy nelze pokládat za individuality, které lze identifikovat“/1/. O něco později Heisenberg doplnil, že atomy „jsou forma potenciality či možnosti, spíše než jedna z věcí nebo skutečností“/2/. Ve světle těchto prohlášení byla většina vědců přesvědčena o praktické nemožnosti využívat atomy záměrně jako stavební jednotky prakticky použitelných zařízení.

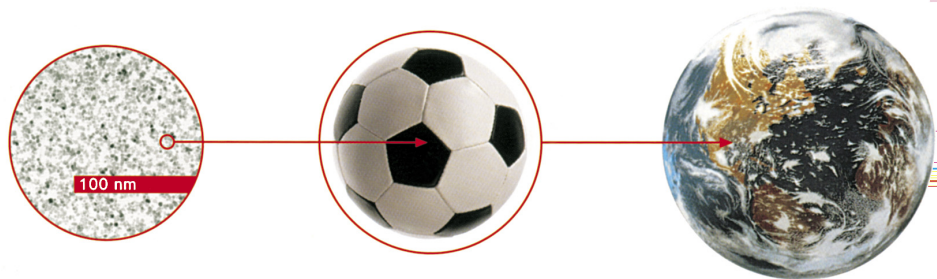
Koncem padesátých let 20. století se však našli jednotlivci, kteří předpověděli možnost konstrukce zařízení o molekulárních rozměrech, tak jak to od pradávna dělá příroda. Pravděpodobně prvním byl von Hippel, elektroinženýr z Massachusetts Institute of Technology (MIT), který zavedl pojem „molekulární inženýrství“/3/ a poté fyzik R. Feynman, nositel Nobelovy ceny za fyziku, který v roce 1959 svojí památnou přednáškou „There`s Plenty Room at the Bottom“, přednesenou na výročním zasedání American Physical Society v Pasadeně, California, upozornil na možnost manipulace s objekty o nepatrných rozměrech. Hovořil tehdy o mikrotechnologii. Řekl mj.: „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“/4/.

Uplynulo přibližně dvacet let, kdy na uvedené průkopníky navázal K. E. Drexler, který uveřejnil článek o molekulárním inženýrství a upozornil na možnost použít jako základní stavební kameny proteiny /5/. K. E. Drexler svoje představy rozvinul ve svých dalších pracích, přičemž upozornil na pozitivní i negativní stránky molekulární nanotechnologie, jak nazval technologie vytváření komplexních struktur na molekulární úrovni /6,7/.

Jelikož molekuly mají rozměry řádově v nanometrech, vžil se postupně pro molekulární inženýrství či molekulární technologie termín **nanotechnologie**, který jako první použil v roce 1974 Taniguchi ve zcela jiné technické oblasti, když popisoval výrobní způsoby a měřicí techniku, při kterých je možné dosáhnout přesnost výroby součástí v nanometrech /8/.

Souběžně s uvedenými úvahami probíhaly v druhé polovině 20. století s rostoucí intenzitou výzkumné práce zaměřené na poznání vlastností základních stavebních prvků hmoty a jevů, které se na atomové a molekulární úrovni projevují, které mj. prokázaly, že atomy jsou dostatečně robustní, takže je můžeme izolovat, počítat, pozorovat a manipulovat s nimi. Výzkumné práce se orientovaly na poznání způsobů jak konstruuje struktury příroda a jak se chovají biologické entity o rozměrech na úrovni molekul. V osmdesátých letech bylo postupně rozvinuto zkoumání možnosti syntézy a vlastností částic, krystalů, povrchů atd. o rozměrech řádově v nanometrech. Průlomovou událostí bylo vynalezení nových přístrojů umožňující nejen pozorování, ale i manipulaci s jednotlivými atomy a molekulami (rastrovací tunelový mikroskop, mikroskop atomových sil). Strojní inženýři započali obrábět povrchy s nanometrickou přesností a výroba čipů velké integrace se začala blížit rozměru 100 nm. Možnosti využití vlastností stavebních prvků a zařízení o rozměrech nanometrů byly rozpoznány i biology a začal výzkum jejich aplikace v medicíně, farmacii a biotechnologiích. Zrodil se nový interdisciplinární obor – **nanotechnologie**, který má způsobit novou průmyslovou i sociální revoluci /9/.

Svět v rozměru nanometrů je velmi malý. Jak je zřejmé z **obr. č. 1**, je poměr velikosti fotbalového míče ke struktuře o rozměru 100 nm přibližně stejný jako poměr velikosti zeměkoule k rozměru kopacího míče.



Všechny materiály a systémy mají své „základy“ v malých rozměrech. Molekula vody má průměr cca 1 nm, jednoděnná uhlíková nanotrubiice má průměr cca 1,2 nm, bio-molekulární zařízení mají velikost v rozsahu několika nanometrů, kvantová tečka germania na křemíkové podložce je asi 10 nm široká a 1,5 nm vysoká, nejmenší tranzistory měří dnes pouze cca 20 nm. Molekula DNA je asi 2,5 nm široká, typický protein má velikost 1-20 nm a ATP syntáza - biochemický motor - má průměr cca 10 nm.

V předložené práci jsou podány pro širokou veřejnost základní všeobecné informace o nanotechnologii, jejím významu pro technický pokrok, o možných směrech jejího vývoje i o potenciálním nebezpečí, které v sobě skrývá.

2. CO JE NANOTECHNOLOGIE?

Kvantová mechanika a standardní model fyziky částic jsou velmi úspěšné vědní oblasti popisující chování elementárních částic v atomu a jednotlivých atomů v molekulách. Klasická fyzika je rovněž úspěšná v popisu vlastností hmoty ve větších objemech, v rozměrech, se kterými máme každodenní zkušenosti. Mezi světem atomů a současným reálným světem leží oblast **nanosvěta**, území částic a struktur v rozměrovém oboru od cca 1 nm do cca 100 nm, která nebyla v minulosti středem přílišné pozornosti. **Nanostruktury**, které jsou základními prvky **nanomateriálů**, jsou dostatečně malé na to, aby se v nich mohly uplatňovat kvantové jevy. Jsou však i tak rozměrné, že aplikace zákonů kvantové mechaniky při zkoumání jejich vlastností nemá význam. Dnes rozumíme individuální vlastnostem atomů, ale prozatím málo rozumíme tomu jak se chovají jejich seskupení a tomu, jak vznikají jejich leckdy neočekávané vlastnosti. Zkoumání těchto jevů je předmětem **nanovědy**, vědní oblasti na průsečíku fyziky pevné fáze, chemie, inženýrství a molekulární biologie.

V současné době však nejde jen o poznání a charakterizování jevů, které se v nanosvětě projevují, ale i o praktické využití nových a neobvyklých vlastností nanomateriálů, **nanosystémů a nanozařízení**, které se snažíme cílevědomě vytvářet a spojovat je s objekty větších rozměrů.

Je málo odborných výrazů v chemii a fyzice, které by se tak často používaly (a zneužívaly) v posledních letech, jako jsou „**nanoscience**“ (nanověda) a „**nanotechnology**“ (nanotechnologie).

Nanotechnologie je interdisciplinární a průřezová technologie. Rozvíjí se v řadě oblastí, např.:

- Oblast **nanomateriálů** je zaměřena na zkoumání a vývoj nových druhů materiálových systémů, jejichž podstatné vlastnosti vyplývají z rozměrů jejich složek v nanometrech.
- **Nanochemie** se zabývá vytvářením a modifikací chemických systémů, jejichž funkčnost pramení z jejich nanorozměrů. Supramolekulární funkční systémy představují materiálový základ nových látek.
- **Nanoelektronika** zkoumá různé strategie využití elektronických vlastností nanostruktur v celé řadě aplikací budoucích informačních technologií.
- **Nanooptika** pokládá základy optických vysokorychlostních komunikačních technologií, nových zdrojů laserového světla a optických systému pro široká použití.
- **Nanovýroba** zkoumá a vyvíjí metody technologie výroby struktur, vrstev a systémů v nanorozměrech.
- **Nanobiotechnologie** se zabývá využitím biologických nanosystémů v technických systémech, od senzorové technologie po fotovoltaika. Používá též nanotechnologické postupy při zkoumání biologických systémů, z čehož budou mít velký prospěch zejména oblasti lékařské techniky a molekulární diagnostiky.
- **Nanoanalytika** zabezpečuje analytické metody a nástroje pro porozumění základních jevů a pro charakterizování výrobků.

V současné době neexistuje všeobecně uznávaná definice nanotechnologie. Nanotechnologie, jak vyplývá z výše uvedeného, není nová vědecká disciplína, je to spíše nová oblast soustřeďující klasické vědecké obory jako jsou fyzika, kvantová mechanika, chemie, biochemie, elektronika atd. při vývoji materiálů, zařízení a funkčních systémů s výjimečnými vlastnostmi, vyplývajícími z kvantové podstaty a schopnosti samoorganizace hmoty v rozměru nanometrů. V současnosti existuje mnoho definic nanotechnologie, které se více nebo méně liší. Z mnoha definic uvedeme dvě, které se nejvíce líbily respondentům v nedávné anketě provedené v České republice.¹

Za prvé je to definice používaná v americkém programu „Národní nanotechnologická iniciativa (NNI)“, ve znění z března 2004 /10/:

Nanotechnologie je výzkum a technologický vývoj na atomové, molekulární nebo makromolekulární úrovni, v rozměrové škále přibližně 1–100 nm. Je to též vytváření a používání struktur, zařízení a systémů, které mají v důsledku svých malých nebo intermediárních rozměrů nové vlastnosti a funkce. Je to rovněž dovednost manipulovat s objekty na atomové úrovni.

Za druhé jsou to dvě definice zformulované v rámci zpracovávání studie „The Nanotechnology Study“ v britské The Royal Society v roce 2003 /11/:

Nanověda je studium hmoty na atomové a molekulární úrovni (obvykle od 0,1 do 100 nm), kde se vlastnosti výrazně liší od vlastností při větších rozměrech.

Nanotechnologie je aplikací těchto znalostí při vytváření užitečných materiálů, struktur a zařízení.

Pojem „**nanotechnologie**“ je v této práci používán v jednotném čísle jako společný pojem, který zahrnuje různé obory nanovědy a nanotechnologií.

¹ Anketa organizovaná Sekcí nanovědy a nanotechnologie České společnosti pro nové materiály a technologie v roce 2004.

3. NANOTECHNOLOGIE – STARÝ OBOR?

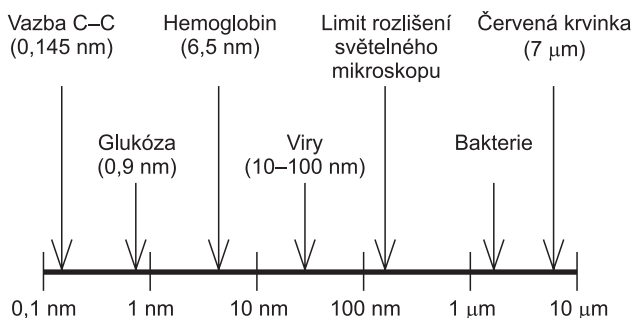
Nanotechnologie je poměrně nové slovo, ale není to úplně nová oblast. V přírodě většina základních životních procesů probíhá v nanorozměrech odpradáвна a i lidskou činnost zasahující do nanorozměrů můžeme vypořovovat mnohem dříve, než byla koncem šedesátých let minulého století předpovězena možnost manipulovat s atomy a molekulami.

3.1. NANOTECHNOLOGIE V PŘÍRODĚ

Zejména v přírodě platí, že nanotechnologie je věda a umění o vytváření komplexních a praktických zařízení s atomovou přesností. Této vědě se příroda učila a tuto vědu rozvíjela po milióny let, a to jak v oblasti živé, tak neživé přírody.

Základními stavebními prvky přírody jsou atomy a molekuly. Co je molekula? Molekula je seskupení jednoho nebo více atomů, které jsou vzájemně spojeny interakcemi po dostatečně dlouhou dobu, takže mohou být pozorovány jako existující subjekty. Je značný rozptyl ve stabilitě a životnosti molekul. Některé existují např. po dobu jednoho pokusu trvajícího 10^{-12} vteřin nebo ještě kratší dobu, jiné mohou být nezměněné po dobu miliard let. Molekuly bývají někdy klasifikovány podle toho, kolik atomů obsahují. Ty, jež obsahují více než tři atomy, se nazývají polyatomové. Co do rozměru, známe molekuly jednoatomové, které nacházíme v plynném heliu nebo argonu, i makroskopické agregáty, jako jsou monokrystaly diamantu nebo křemene a polymery. Co do komplexnosti známe molekuly monoatomové a na druhé straně složité proteiny, enzymy a nukleové kyseliny. Každý známý druh atomu nalézáme přinejmenším v jedné diatomové nebo větší molekule. Některé atomy, např. uhlíku či vodíku, jsou složkami miliónů různých molekul. Molekuly, které obsahují uhlík nazýváme (až na několik výjimek) organické, všechny ostatní molekuly jsou anorganické. Tento termín nenaznačuje spojení s živými organizmy. Na **obr. č. 2** jsou znázorněny relativní velikosti atomů, biomolekul, bakterií a buněk.

Obr. č. 2 Relativní velikost atomů, biomolekul, bakterií a buněk



Jak je zřejmé z **obr. č. 2**, mnoho biologických materiálů lze klasifikovat jako **nanočástice**. Bakterie, jejichž velikost se pohybuje v rozmezí 1–10 μm, patří do mezoskopické oblasti rozměrové škály, zatím co viry s rozměry od 10 do 200 nm patří do horní části velikosti nanočástic. Bílkoviny, které se obvykle vyskytují v rozměrech mezi 4 a 50 nm, patří do spodní části nanometrické škály. Stavebními bloky proteinů je 20 aminokyselin

a každá má rozměr kolem 0,6 nm. V přírodě se vyskytuje více než 100 aminokyselin, ale jen 20 se angažuje v syntéze bílkovin. Při vytváření proteinu jsou tyto aminokyseliny navzájem svázány pomocí silných chemických peptidových vazeb a tvoří dlouhé řetězce zvané polypeptidy, obsahující stovky a v některých případech tisíce aminokyselin; proto odpovídají **nanodrátům**. Polypeptidové nanodrátky jsou zkrucovány a stáčeny, aby se stlačily do relativně malého objemu, který odpovídá polypeptidové nanočástici o průměru s rozsahem mezi 4–50 nm. Proto je bílkovina nanočásticí, která sestává ze stlačeného polypeptidového nanodrátku. Deoxyribonukleová kyselina (DNA), tvořící genetický materiál, má rovněž strukturu zhuštěného nanodrátku. Jejím stavením bloky jsou čtyři nukleotidní molekuly, které jsou spojeny k sobě v dlouhém dvojšroubovitém nanodrátku, aby vytvořily chromozomy, které jsou v člověku obsaženy v počtu okolo $140 \cdot 10^6$ nukleotidů ve sledech za sebou. Molekulu DNA tedy tvoří dva nanodrátky, které jsou obtočeny jeden kolem druhého v útvaru o průměru cca 2 nm, který se opakuje každých 3,4 nm. Tento dlouhý, do dvojité šroubovice spletený nanodrát rovněž prochází systematickým kroucením a stáčením, aby se DNA vešla do chromozomu asi $6 \mu\text{m}$ dlouhého a $1,4 \mu\text{m}$ širokého. Samotný chromozom není natolik malý, aby byl nanočásticí; spíše se pohybuje v mezoskopické rozměrové škále.

Příroda buduje svoje struktury a systémy hierarchicky. Hierarchické struktury mají velkou účinnost a rovněž je možné vytvářet struktury různých vlastností změnou stupně interakce na rozhraní mezi různými úrovněmi hierarchie. Uvedeme dva příklady:

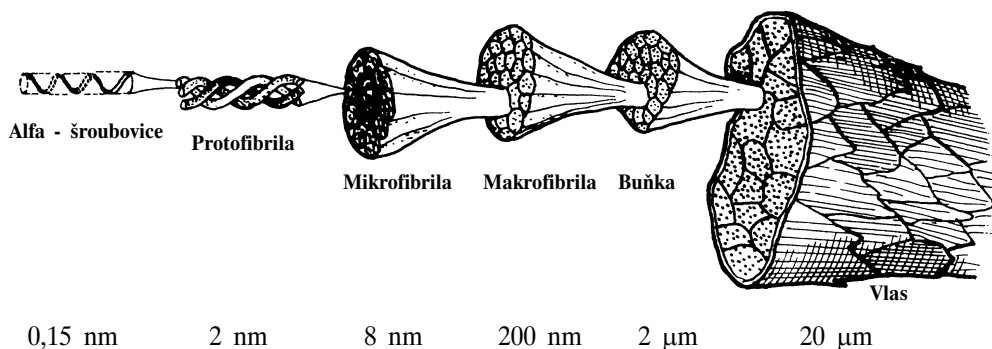
● Lidská šlacha

Funkcí šlachy je přichytit sval ke kosti. Z biologického hlediska je základním stavebním kamenem šlachy seskupení aminokyselin (0,6 nm), které tvoří protein podobný želatině, zvaný kolagen (1 nm), který se stáčí do trojitě šroubovice (2 nm). Pak následuje trojitá sekvence fibrilárních nanostruktur či nanostruktur podobným vláknům; mikrofibrila (3,5 nm), subfibrila (10–20 nm) a samotná fibrila (50–500 nm). Poslední dva konečné kroky ve výstavbě šlachy představují svazek vláken zvaný fascikulus (50–300 μm) a samotná šlacha (10–50 cm), které jsou daleko za nanometrickou škálou rozměrů. Fascikulus patří do mezoskopické a šlacha do makroskopické rozměrové škály [12/].

● Vlas

Základním stavebním kamenem vlasů (ale i nehtů a kopyt) je protein keratin. Vlas je tvořen šesti strukturními hierarchiemi – obr. č. 3. Jednotlivé úrovně jsou zřejmé z obrázku. Výsledkem je vysoce pružná a relativně pevná struktura schopná samostatného růstu [13/].

Obr. č. 3 Hierarchická struktura vlasu



Jelikož nejmenší aminokyselina - glycin je velká 0,42 nm a některé viry dosahují rozměru 200 nm, zdá se, že biologické nanostruktury je vhodné definovat jako struktury o rozměrech v rozmezí od 0,5 do 200 nm, na rozdíl od rozměrové škály ve výše uvedené definici nanotechnologie.

Osvědčenou přírodní nanotechnologií je biomineralizace. Uvedme opět dva příklady:

● **Měkkýš Abalon**

Tento tvor si konstruuje superpevnou skořápku s krásným, duhově zbarveným vnitřním povrchem. Provádí to tím, že uspořádává uhlíčitan vápenatý (křída) do pevných nanostrukturních bloků. Jako maltu používá měkkýš pružný sliz, směs proteinů a uhlohydrátů. Trhliny, které se mohou iniciovat na povrchu skořápky jen obtížně pronikají dovnitř. Struktura skořápky ztěžuje pronikání trhliny, jejíž dráha je při překonávání jemných bloků klikatá a dochází tak k rozptýlení energie potřebné k lomu. Významnou roli sehrává i pružná malta. Jak trhlina roste, malta vytváří houževnaté nanostruny, které se snaží zamezit jakémukoliv vzájemnému oddálení nanobloků. Výsledkem je liliputánská konstrukce, která může odolat ostrým zobákům, zubům, případně i úderům kladiva. Chytré uspořádání měkkýšovy skořápky naznačuje jednu z nejvíce zajímavých možností nanotechnologie – vytvářením nanostruktur je možné řídit základní vlastnosti, jako např. barvu, elektrickou vodivost, teplotu tání, tvrdost, odolnost proti trhlinám a pevnost, bez změny chemického složení materiálu. Měkké křída se změní v tvrdou skořápku.

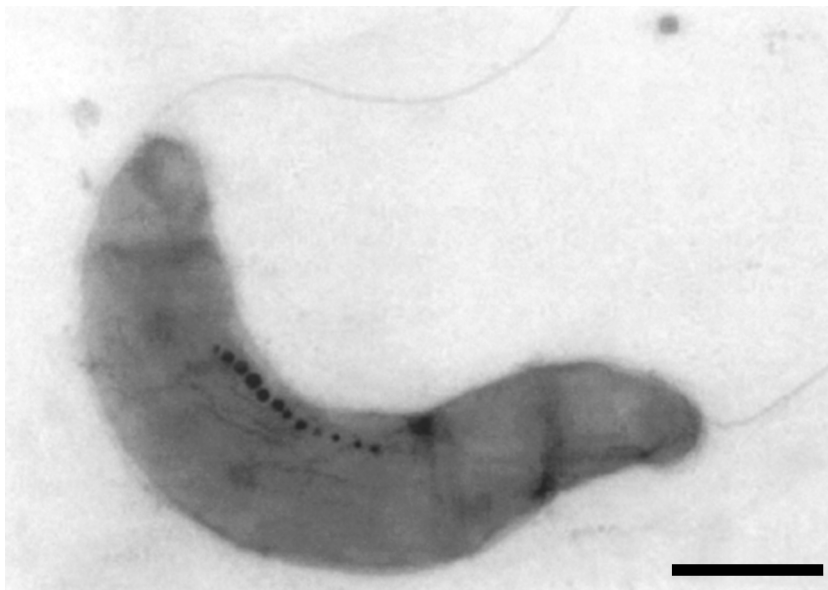
● **Biogenní magnetické nanočástice**

V roce 1962 objevil H.A. Lowenstam první biochemicky precipitovaný magnetit, který sloužil jako radula² zubů chitonů³ a v roce 1975 R. Blakemore magnetotaktickou bakterií, která je nyní objektem intenzivního zkoumání /14/. Bakterie si vytváří sférické krystality magnetitu (Fe_3O_4) o rozměru cca 50 nm – **obr. č. 4 /15/**, které jsou přesně orientované a předávají jí magnetický moment rovnoběžný s její osou pohyblivosti. Řetízky částic nazývaných magnetosomy slouží jako jednoduché stříelky kompasu, které pasivně zkrucují buňky bakterie, aby byly vyrovnány souběžně se zemským magnetickým polem a bakterie tak mohla snáze najít její nejpřirozenější prostředí – mikroaerofilní zónu na rozhraní kal/voda. Je zajímavé, že tyto bakterie plavou na severní polokouli vždy k severnímu magnetickému pólu a na jižní polokouli k jižnímu magnetickému pólu.

² Radula je rohovitá páska v ústní dutině plžů.

³ Chiton je mořský plž třídy Polyplacophora.

Obr. č. 4 Bakterie *Magnetospirillum gryphiswaldense*. Úsečka značí 500 nm. (Podle [15]).



Představme si výkonný motor o rozměrech nanometrů, nebo paměť na ukládání dat podobných rozměrů, která má kapacitu deseti disket, či katalyzátor přeměňující inertní dusík ze vzduchu na dusíkaté umělé hnojivo při pokojové teplotě a atmosférickém tlaku. Zajisté to zní jako science-fiction, i když realizace podobných představ se očekává v budoucnosti od nanotechnologie. Evoluce v přírodě však uvedené problémy již vyřešila.

Zmíněnou paměť jsou např. chromosomy, dlouhé vláknité útvary v buňkách složené z DNA a asociovaných proteinů, nesoucí genetickou informaci o organismu; katalyzátorem je enzym nitrogenáza, který je obsažen v hlízkovitých bakteriích žijících v symbióze s určitými rostlinami a zajišťujících jim čerstvě vyrobené dusíkaté hnojivo ze vzduchu a vody. A molekulárních motorů vytvořila příroda celou řadu. Molekulární motory jsou biologické molekuly, které řídí pohyb v biologických systémech. Tyto molekuly přeměňují chemickou energii ve formě ATP (adenosin trifosfát) na mechanický pohyb.

Ze snahy napodobovat přírodu se vyvinula nová vědní oblast – **biomimetika** a o využití či syntézu biomateriálů v nanorozměrech či vytváření nanozařízení na biologických principech se snaží **bionanotechnologie**.

3.2. PŘÍKLADY „STARÉ“ NANOTECHNOLOGIE V TECHNICE

Některé technologie, které bychom dnes mohli zařadit podle definice jako nanotechnologie, se používaly velmi dávno, i když jejich uživatelé zřejmě neznali jejich podstatu a nepoužívali předponu nano-.

Se „starou“ **nanotechnologií** se můžeme setkat např. v materiálovém a chemickém inženýrství. Některé příklady:

- Již dávno přidávali středověcí skláři pro dosažení zajímavých barevných efektů do skel prášky z kovů a jiných látek, zejména ze zlata, stříbra, zinku, kadmia, síry a se-

lenu. Jak se v nedávné době ukázalo, byly mezi nimi i částice v rozměru nanometrů, které způsobovaly unikátní barevnost skel. Znamé jsou tzv. Lykurgovy poháry pocházející asi ze 4. století našeho letopočtu. Některé se nacházejí v Britském muzeu v Londýně – **obr. č. 5** /16/.

Obr. č. 5 Lykurgovy poháry



a)

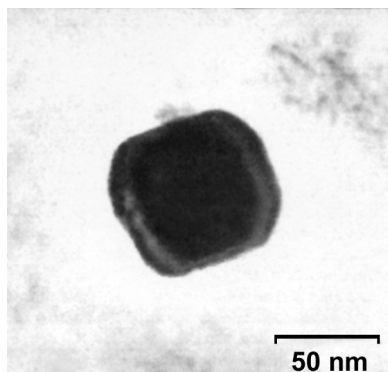


b)

Lykurgos byl mytologický thrácký král, který byl oslepen, když se protivil Dionýsovu kultu⁴. Poháry a jim podobné artefakty se vyráběly v období Římské říše. Na pohárech je zobrazen král Lykurgos jak je lákán do podsvětí Ambrosií, která se proměnila ve vinnou révu. Vlys na pohárech je umístěn mimo ně a je s nimi spojen jen malými můstky a poutky. Jev, který nás zajímá, spočívá v neobvyklých barvách poháru. Je-li pozorován v odraženém světle, např. denním světle, je zelený (obr. č. 5a). Je-li však zdroj světla umístěn dovnitř poháru, pohár je červený (obr. č. 5b). Je známo jen několik těchto pohárů, všechny jsou římské. Chemická analýza pohárů ukázala, že sklo obsahuje 73 % SiO_2 , 14 % Na_2O a 7 % CaO , tedy složení podobné moderním sklům. Sklo pohárů však obsahuje malé množství zlata (cca 40 ppm) a stříbra (cca 300 ppm). Tyto kovy se ve skle nacházejí ve formě nanokrystalů o rozměru cca 70 nm – **obr. č. 6**. Nanokrystaly jsou slitinou zlata a stříbra v poměru 3:7. Není známo, jakou technologii výroby těchto pohárů a podobných artefaktů římscí skláři používali. Je třeba poznamenat, že objev barvení skla přísadou malého množství zlatého prášku je přisuzován německému skláři Johannu Künckelovi, který žil v 17. století.

⁴ Dionysos, latinsky Bacchus, byl řecký bůh plodivé síly, zvláště dárce vína.

Obr. č. 6 Nanočástice slitiny Au-Ag ve skle Lykurgova poháru

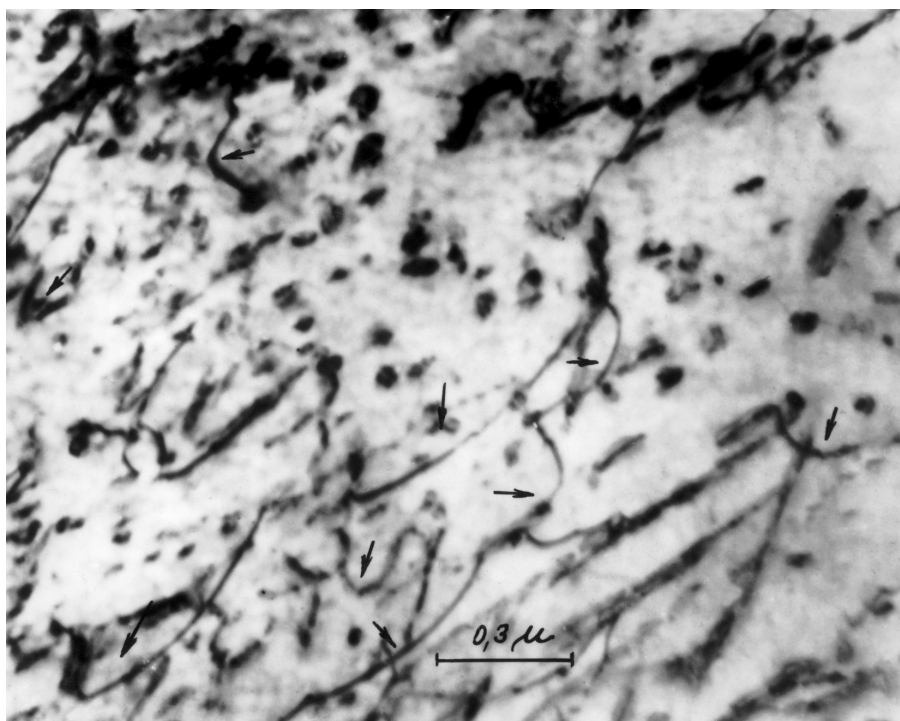


- Dalším příkladem je výsledek analýzy lesklé glazované keramiky z 13.–16. století. Zjistilo se, že lesk vyvolává dekorativní kovový film o tloušťce 200–500 nm, obsahující kovové (stříbrné) sférické nanokrystaly rozptýlené v matrici bohaté na křemík, přičemž vnější vrstva filmu o tloušťce 10–20 nm je kovu prostá. Kompozitní struktura má optické vlastnosti závislé jak na rozměru částic, tak na matrici. Lesklá vrstva byla zřejmě prvním nanostrukturním filmem reprodukovatelně vyráběným člověkem /17/.
- V roce 1861 jako první popsal suspenzi obsahující částice o rozměrech 1–100 nm Thomas Graham, britský chemik a nazval ji koloidním systémem. Koloidní systémy byly intenzivně studovány významnými vědci (Rayleigh, Maxwell, Einstein) zejména na přelomu 19.–20. století a později vznikl i nový obor – koloidní chemie.
- Jiným příkladem jsou saze. Vyrábějí se nedokonalým spalováním organických látek bohatých na uhlík. Jejich průmyslová výroba je stará více než 100 let. Jsou to částice amorfního uhlíku o velikosti 10–500 nm a používají se především jako plnivo při výrobě pneumatik. Prodávají se v odstupňovaném rozměrovém sortimentu a jejich cena je cca 30 Kč/kg. Celosvětově se jich vyrábí asi 6 mil. tun. Je to nejpoužívanější nanomateriál.
- V roce 1930 byla vyvinuta dodnes používaná metoda Langmuir-Blodgettové pro vytváření tenkých monomolekulárních filmů. Patří dnes mezi nanotechnologie.
- Chemická katalýza. V současné době katalýza urychluje denně tisíce chemických přeměn, jako např. jsou přeměna ropy na benzin, přeměna levného grafitu na syntetický diamant pro nástroje, uplatňuje se při výrobě léků a polymerů atd. Mnoho katalytických procesů bylo objeveno metodou pokusů a omylů. Při zkoumání katalyzátorů moderními prostředky bylo zjištěno, že řada z nich má vysoce organizované kovové nebo zejména keramické nanostruktury, obsahující nanopóry. Tyto materiály jsou jak přírodní, tak syntetické a používají se nejen ke katalýze, ale i při adsorpci a separačních technologiích. Nejznámější jsou zeolity obsahující rovnoměrné póry o velikosti 2–100 nm, jejichž průmyslová aplikace započala v roce 1959. Používají se např. při katalytickém krakování, hydrokrakování, hydroizomeraci, alkylaci benzenu atd. /18/.
- Příklady využití nanočástic – nanoprecipitátů pro zpevňování kovové matrice lze nalézt v metalurgii. V roce 1906 objevil Wilm jev nazvaný vytvrzování hliníkových slitin stárnutím. Jeho podstata byla vysvětlena v roce 1919 a mikrostrukturní objekty za něj zodpovědné byly poprvé identifikovány Guinierem a Prestonem při rtg. zkou-

mání v roce 1938. Dnes víme, že jemné precipitáty zodpovědné za zpevnění, např. ve slitině Al-4%Cu, jsou klastry (shluky) atomů Cu, tzv. Guinier-Prestonovy zóny, a metastabilní, částečně koherentní θ'' precipitáty. Maximální tvrdost je dosahována při průměru θ'' 100 nm a tloušťce cca 10 nm.

Vysoká žárupevnost nízkolegovaných ocelí a jejich dlouhodobá životnost v energetických zařízeních při vysokých teplotách a tlacích je dosahována precipitačním zpevněním železné matrice částicemi např. karbidu vanadu. Optimální vzájemná vzdálenost a velikost částic se dosahuje vhodným chemickým složením a tepelným zpracováním výrobku. Na obr. č. 7 je substruktura oceli 0,5%Cr-0,5%Mo-0,25%V získaná transmisí elektronovou mikroskopií. Pozorujeme precipitaci částic V_4C_3 o průměru 20-100 nm a interakci dislokací s těmito částicemi Orowanovým mechanismem (na obr. č. 7 je interakce označena šipkami) [19,20/.

Obr. č. 7 Precipitace částic V_4C_3 v žárupevné Cr-Mo-V oceli



Existují i další příklady. V dnešním pojetí je nanotechnologie interdisciplinární obor vycházející zejména z poznatků chemie, fyziky, materiálového inženýrství, elektroniky a biologie. Zejména **elektronika a materiály** jsou v současné době hnací silou rozvoje nanotechnologie, když se zjistilo, že lze vytvářet potřebné struktury manipulací s atomy a molekulami, případně využívat různých chemickým postupů.

4. SOUČASNÉ NÁZORY NA NANOTECHNOLOGII

Existuje řada názorů na nanotechnologii a na výhody a problémy, které může přinést její rozvoj. Diskutuje se především o tom, co tato nastupující technologie zahrnuje a co může znamenat pro společnost. Na jedné straně jsou předkládány představy o revoluční podstatě nanotechnologie, jejíž rozvoj radikálně a rychle změní současný vývoj, na druhé straně je nanotechnologie považována za technologii vycházející ze známých postupů, která se bude rozvíjet postupně. Nejradikálnější koncepce nanotechnologie jsou založeny především na teoretických možnostech nanotechnologie a na jejím perspektivním potenciálu, zatím co opatrnější koncepce vycházejí ze současné situace a stupně poznání. Současné názory můžeme rozdělit do dvou širokých kategorií:

- Na názory bojovných zastánců nanotechnologie, kteří zdůrazňují zejména její budoucí ekonomický a sociální užitek.
- Na názory různých komentátorů či institucí, které jsou zaměřeny spíše na současný vývoj a spíše oponují rozvoji nanotechnologie.

Jednotlivci či organizace, kteří spadají do obou skupin, nemají nezbytně konfliktní názor na to, co nanotechnologie je a znamená, ale jejich stanoviska jsou podřízena většinou jejich cílům.

Existuje korelace mezi vnímáním nanotechnologie a jejími potenciálními dopady. Čím jsou silnější představy o jejích možnostech, tím revolučnějšími se zdají její potenciální sociální účinky.

Diskuse o ekonomických, sociálních a etických účincích nanotechnologie probíhá s rostoucí intenzitou v posledních 10 letech, zejména v USA, ale v poslední době i v Evropě.

4.1. NANOTECHNOLOGIE JAKO RADIKÁLNÍ ZMĚNA

Radikální pohled na možnosti nanotechnologie, který byl nejprve vysloven R. Feynmanem /4/ v roce 1959, rozvinul v roce 1986 K. E. Drexler /6/ ve své knize „Engines of Creation“. Drexler předložil představu „molekulární výroby“, výroby zařízení a artefaktů v měřítku nanometrů, schopných sofistikovaných činností včetně výroby jiných nanozařízení, ve kterých základními stavebními kameny jsou jednotlivé atomy a molekuly. Tuto představu podložil teoretickým rozbořením ve své známé knize „Nanosystems: Molecular Machinery, Manufacturing and Computation“ v roce 1992 /7/. Drexlerovy předpovědi, že bude možné, aby nanozařízení vyráběla repliky sebe samých, jakési nanoroboty (nanobots) a že bude možné sestavit „assembly“, tj. zařízení, která uspořádají atomy do libovolných konfigurací s „atomovou“ přesností a budou moci vytvořit cokoliv, co dovolí zákony přírody, se staly v řadě diskusí měřítkem, co nanotechnologie může dokázat. Drexler ve svých představách setrvává do poslední doby (viz /21,22/), navzdory názorům svých oponentů. Drexler rovněž stále zastává radikální představy, že nanoroboty budou jednou likvidovat viry a rakovinné buňky a opravovat poškozené tkáňové struktury, čímž bude možné zamezit šíření nemocí a stárnutí. Je zajímavé, že Drexlerovy vizionářské názory byly citovány rovněž v České republice v roce 2004 /23/, a to bez jakékoliv seriózní analýzy.

„Revoluční“ pohled na nanotechnologii dominoval zejména v devadesátých letech minulého století a v podstatě velmi přispěl k popularizaci nanovědy a nanotechnologie i k dnešnímu rozmachu v této oblasti. Pergamit a Peterson v roce 1993 napsali: „Lid-

stvo bude konfrontováno se silnou, rychle probíhající sociální revolucí, jež bude důsledkem aplikace nanotechnologie. V blízké budoucnosti tým vědců uspěje při konstrukci prvních robotů o velikosti nanometrů schopných replikace. Během několika let zastarají všechny současné průmyslové technologie, jakož i současná koncepce práce.“ /24/.

Revoluční prvky v nanotechnologii se objevily i při přípravě Národní nanotechnologické iniciativy v USA v roce 1999 /25/. Při jejím vyhlášení v California Institute of Technology dne 21. 1. 2000 prezident W. J. Clinton řekl: „Ze svého rozpočtu podpořím velkou novou Národní nanotechnologickou iniciativu částkou cca 500 mil. \$. Nanotechnologie má schopnost manipulovat s hmotou na atomové a molekulární úrovni. Představme si možnosti: materiál desetkrát pevnější než ocel o malém zlomku její hmotnosti – umístění všech informací nacházejících se v kongresové knihovně do zařízení o rozměrech kostky cukru – detekci rakovinných nádorů, které mají rozměr teprve jen několika buněk. Některé z našich výzkumných cílů budou trvat 20 i více let, než budou dosaženy, ale to je přesně ten důvod, proč zde musí mít významnou úlohu federální vláda“.

Drexler založil v Kalifornii „The Foresight Institute“ /26/, který se systematicky zabývá možnostmi realizace „molekulární nanotechnologie“. Stanoviska publikovaná na internetové stránce ústavu charakterizují molekulární nanotechnologii jako dokonalý, levný způsob vytváření struktury hmoty, založený na ovládnutí jejích molekul s maximální přesností. Drexler našel řadu následovníků, např. v prosinci 2002 bylo v USA založeno „Centrum pro odpovědnou nanotechnologii“ (Center for Responsible Nanotechnology) /27/, jako informačně-etická organizace, která se hlásí k Drexlerovým myšlenkám a rozvíjí je. Drexlerovy představy nebyly zatím přehlednuty v žádném důležitějším dokumentu, publikovaném v poslední době, který se zabývá sociálními a etickými aspekty nanotechnologie /28-32/.

4.2. NANOTECHNOLOGIE JAKO OPATRNÁ EVOLUCE

Mezi odborníky, kteří mají skeptický pohled na radikálnost rozvoje nanotechnologie, patří R. E. Smalley, jeden z nositelů Nobelovy ceny za chemii z roku 1996 za objev nové formy uhlíku – fullerenů. V článku „Of Chemistry, Love and Nanobots“, zveřejněném v roce 2001 /33/, uvedl, že chemie je nejučinnější metodou pro manipulaci s molekulami. Napsal, že nanoroboty a assembler nemohou být v našem světě realizovány pro prostorové omezení. Kontrola všech atomů obklopujících místo reakce vyžaduje takové množství manipulátorů, že pro ně nebude dostatečný prostor. Smalley nazval prostorový problém jako „tlusté prsty“ a problém vazeb atomů jako „lepivé prsty“. Již ve své přednášce „Nanotechnology and the next 50 years“ v roce 1995 odmítl revoluční pojetí nanotechnologie /34/. V kritice Drexlerových představ pokračoval i při velké diskusi s Drexlerem v roce 2003 /22/.

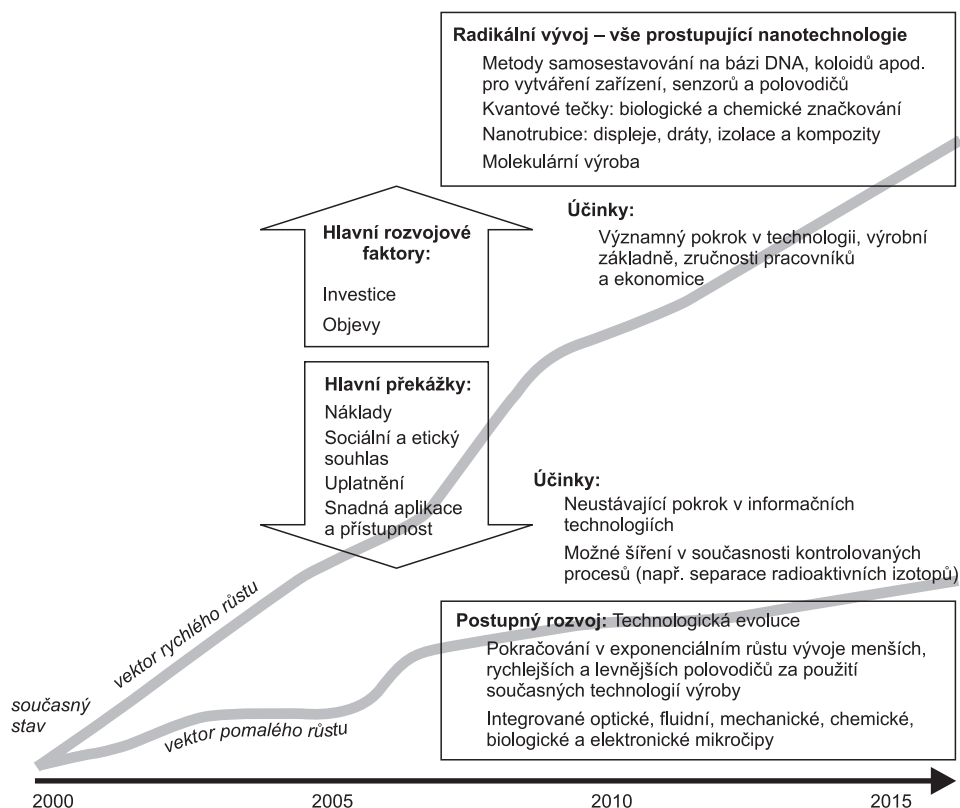
Jiný autor, G. M. Whitesides /35/, uvedl, že nanotechnologie se musí vyvíjet v souvislosti s biologickými poznatky. Připustil, že radikální nanotechnologie je v principu možná, protože nanostroje již existují ve formě funkčních molekulárních komponent živých buněk. Problém spočívá v syntéze těchto nanostrojů člověkem. V každém případě půjde o evoluční a ne revoluční vývoj nanotechnologie.

Seriózní analýzy a předpovědi jsou vlastní americkému ústavu pro výzkum národní obrany RAND. V roce 1995 byla tímto ústavem publikována zpráva „The Potential of Nanotechnology for Molecular Manufacturing“ /36/. Její autoři strážlivě hodnotí možnosti vyrábět způsobem bottom-up z molekul větší struktury. Upozorňují, že koncepce

vytvářet objekty na atomové či nano škále je stará alespoň 30 let, když postupný vývoj v biotechnologii, chemii, výpočetní technice, elektroinženýrství a fyzice přivedl vědce a inženýry blíže k práci v nanorozměrech. Rovněž pokroky v mikroobrábění a litografii, objevy rastrovacího tunelového mikroskopu a mikroskopu atomových sil, které umožnily manipulaci s atomy a molekulami, přispěly k posílení představy, že bude možné v budoucnu modelovat, syntetizovat a snad i vytvářet samosestavováním komplikovanější molekuly žádaných vlastností. Autoři upozornili na velký potenciál molekulární výroby, avšak nepředpokládali, že k jejímu rozmachu dojde v dohledné době.

O šest let později, ve zprávě „The Global Technological Revolution“ [9], Antón a kol. z ústavu RAND zhodnotili technologické trendy v řadě oblastí (genomika, vývoj léků, bioinženýrství, materiálové inženýrství, „chytré“ materiály, nanotechnologie, integrované mikrosystémy, molekulární výroba a nanoroboty) a upozornili na meta-technologické trendy (multidisciplinaritu, zvětšující se rychlost změn, zvětšující se sociální a etické aspekty, rostoucí délku života lidí, omezování soukromí, pokračující globalizaci, mezinárodní soutěžení). Předložili 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. Na **obr. č. 8** jsou znázorněny dva trendy budoucího vývoje a efektu nanotechnologie. Z obrázku vyplývá, že pravděpodobně půjde spíše o evoluční, než o revoluční vývoj.

Obr. č. 8 Trendy budoucího vývoje a dopadu nanotechnologie [9]



4.3. NANOTECHNOLOGIE A JEJÍ BOJOVNÍ ZASTÁNCI

Do této kategorie patří převážně vládní a průmyslové organizace, které poukazují na velké potenciální (i když ne revoluční) možnosti nanotechnologie změnit současné výrobní postupy a přinést velké ekonomické efekty. Svědčí o tom skutečnost, že více než 30 států zahájilo vlastní národní programy výzkumu a vývoje nanotechnologie a rovněž výše finančních prostředků, které jsou z veřejných i soukromých zdrojů na tuto oblast vynakládány. Optimistické představy vycházejí i z různých prognóz (roadmaps) /37,38/.

Zpráva britského Ministerstva obchodu a průmyslu „New Dimensions for Manufacturing: A UK Strategy for Nanotechnology“ /38/ zkoumá potenciální dopad nanotechnologie a nanovědy na průmysl Spojeného království a předkládá strategii budoucího vývoje. Nanotechnologie je ve zprávě definována poměrně široce jako inovace s okamžitým potenciálem, jako nový přístup k výrobě a jako zlomová technologie, která způsobí velké posuny v názoru na to, jak se věci mají vyrábět.

Rovněž zpráva španělské organizace CMP Científica „The Nanotechnology Opportunity Report“ /39/ zdůrazňuje průmyslové aplikace nanotechnologie. Španělská společnost, zaměřená na propagaci a podporu rozvoje nanotechnologie, zdůrazňuje především komerční aspekty nanotechnologie. Nanotechnologie je ve zprávě chápána jako nastupující technologie, která umožní vyrábět nové produkty v téměř každé myslitelné technické oblasti.

Zpráva amerického výboru NSTC (US National Science and Technology Council) „Nanotechnology: Shaping the World Atom by Atom“ /40/ předkládá rovněž velmi širokou koncepci nanotechnologie. Podle zprávy, tato nastupující technologie může umožnit lidstvu bezprecedentní kontrolu ve světě materiálů, kdy bude možné manipulovat s atomy a molekulami. Zpráva podotýká, že technologie je ve svých počátcích.

V prosinci roku 2003 podepsal prezident G. Bush zákon Spojených států amerických č. S. 189 „21st Century Nanotechnology Research and Development Act“, jako výsledek značného úsilí vědecké obce v předcházejících letech. Zákon definuje nanotechnologii jako vědu a technologii, která nám umožní porozumět, měřit, manipulovat a vyrábět na úrovni atomů, molekul a supramolekul, s cílem vytvářet materiály, zařízení a systémy s fundamentálně novým molekulárním uspořádáním, vlastnostmi a funkcemi. Je v něm uvedeno prohlášení, že zákon je důležitý pro zajištění světové převahy USA v rozvoji a aplikaci nanotechnologie. V době podepsání tohoto zákona to byl první právní dokument na světě uznávající nanotechnologii jako významnou oblast pro budoucí rozvoj lidstva.

Zdá se, že veřejné instituce mají tendenci adoptovat vše zahrnující koncepci nanotechnologie, pravděpodobně v obavě, že její příliš úzká definice může omezit to, čeho by mohlo být dosaženo.

4.4. NANOTECHNOLOGIE A JEJÍ KOMENTÁTOŘI A KRITICI

Tato čtvrtá skupina, sestávající především z novinářů a autorů popularizujících vědu a techniku, resp. autorů z jiných oblastí (ekonomických, právních, ekologických apod.), se zaměřuje především na specifické aspekty nanotechnologie. Převážně považují nanotechnologii za rychle se rozvíjející a různorodou oblast vědy a techniky, ale patričný „zápal“ u nich chybí. Jejich články se zaměřují méně na to, co nanotechnologie je a co může pozitivního přinést a více na různé aspekty, co aplikace nanotechnologie může negativního způsobit. Obvykle zdůrazňují tři záležitosti:

- Rychlost technologického rozvoje a zaostávání studia souvisejících sociálních aspektů.
- Možné etické problémy vyplývající z konvergence nanotechnologie s biotechnologií.
- Potřebu srovnávání a učení se ze sociálních dopadů a jiných komplikací vzniklých při zavádění některých jiných technologií (např. likvidace odpadů syntetických polymerů, nukleární energetika, genové inženýrství a klonování).

Jako příklad prvního přístupu může sloužit článek paní A. Mnyusiwalla a kol., kanadských bioetiků /41/. Uznávají, že nanotechnologie je velmi rychle se rozvíjející oblast a očekávají její velké dopady ve výrobě materiálů, v elektronice a medicíně. Důkladným rozбором docházejí k názoru, že nehledě na potenciální vliv nanotechnologie a hojnost finančních prostředků, existuje nedostatek seriózních odborných prací zaměřených na etické, právní a sociální aspekty nanotechnologie. Domnívají se, že je nebezpečí nesprávné orientace rozvoje nanotechnologie v případě, že výše uvedené aspekty nebudou zkoumány souběžně s aspekty technologickými.

Na etické aspekty nanotechnologie upozornil např. i filosof J. Masterin /42/. Připomněl, že nanověda a nanotechnologie působí na průsečíku fyziky pevné fáze, chemie, inženýrství a molekulární biologie, přičemž jakákoliv technologie je, až na malé výjimky (např. nášlapné miny), eticky neutrální. Vše záleží na tom, s jakým úmyslem ji používáme. V budoucnu očekává různé problémy etického charakteru, kterými se budeme muset velmi vážně zabývat, zejména při postupujícím sblížení nanotechnologie a molekulární biologie.

Třetí aspekt – poučit se z chyb při zavádění některých technologií – je rovněž diskutovaným tématem v souvislosti s nanotechnologií. Uvedeme tři příklady.

Možnou konvergenci nanotechnologie s biotechnologií a z toho vyplývající možné etické problémy předpokládá např. D. R. Rollisonová /43/. Připomněla, že je při výzkumu třeba brát ohled na tzv. „jev odplaty“, který nastává, není-li řešena nová technologie komplexně (např. zvyšující se odolnost virů a bakterií, zatížení prostředí chemikáliemi jako jsou DDT, PCB).

S. Mayerová /44/ upozornila na možnou paralelu důsledků výzkumu genové technologie a nanotechnologie. Nedává obě technologie do přímé souvislosti, ale upozorňuje, že přehnaná a neuvážená podpora rozvoje nanotechnologie, podobná té, která se vyskytla v počátečních obdobích rozvoje genetických modifikací, může vést k vzniku odporu k této technologii, tak jak se to stalo s genetickými modifikacemi. Debata o nanotechnologii se musí vést v celé společnosti a s přiměřenými technickými a vědeckými termíny. Autorce se zdá, že vědecká komunita sleduje opakující se scénář.

Od roku 2002 se systematickou kritikou rozvoje nanotechnologie zabývá kanadská společnost ETC Group /30,45/ Upozorňuje zejména na možnou toxicitu nanočástic a na perspektivní nebezpečí ovládnutí samosestavování hmoty, které se může vymknout kontrole a komentuje různé aplikace nanotechnologie, které se jí zdají nebezpečné z hlediska životního prostředí.

Sociálními a etickými aspekty nanotechnologie se podrobněji zabývá část 7. této práce.

4.5. SHRNUTÍ

Tak, jak je široká odborná oblast nanotechnologie, jsou různorodé názory na její potenciální dopad na různé oblasti života lidí. Jsou názory, zejména oficiálních institucí, že nanotechnologie velmi významně pozitivně ovlivní téměř všechny oblasti lidské činnosti

(zejména průmyslovou výrobu, zdravotnictví a vojenství) a jsou názory, že tyto představy jsou přehnané. Současně se upozorňuje na možné negativní aspekty rozvoje nanotechnologie a jeho důsledky v sociální a etické oblasti.

Pro rozklíčování těchto názorů je zapotřebí analyzovat rozvoj nanotechnologie v různých oblastech lidské činnosti a její možné dopady. Je nutné podrobně se zabývat používáním nanočástic v průmyslové výrobě, kosmetice a lékařství a jejich vlivem na lidské zdraví, rozvojem nanoelektroniky a nanofotoniky, možnostmi nanotechnologie v energetice, biotechnologii, chemické výrobě, informačních technologiích, ve vojenství, v boji proti terorismu, lékařství atd. V každém oboru se možnosti nanotechnologie projevují s různou intenzitou a mají různý význam. Je zřejmé, že dopady aplikace nanotechnologie není možné zobecňovat.

Vědecké zkoumání nanotechnologie – nanověda – je již velmi intenzivní, zatímco praktická aplikace nanotechnologie je v počátcích. Avšak i zde můžeme vyzorovat oblasti, ve kterých jsou aplikace nanotechnologie více rozvinuty, než v jiných oblastech. V průmyslu se pro tyto rozvinutější oblasti často používá termín „near-term nanotechnology“ k popisu jakékoliv technologie, která se realizuje v oblastech výrazně menších rozměrů než mikrotechnologie, např. výroba a použití nanočástic a nanomateriálů. Nové výrobky mohou mít kladné i negativní vlivy na zdraví a životní prostředí. Jejich projevy je zapotřebí studovat, ale jejich společenský vliv, jak kladný, tak i záporný, je ve srovnání s pozdějšími fázemi nanotechnologie omezený. Z hlediska perspektivního působení nanotechnologie se též používá termín „moderní nanotechnologie“. Obvykle je tak označována molekulární nanotechnologie (termín zavedený K. E. Drexlerem) nebo molekulární výroba, která snad v budoucnu umožní budovat širokou škálu velkých objektů levně a s atomovou přesností. Tato technologie bude na vyšší technické úrovni než je výroba nanomateriálů a jednoduchých nanozařízení a umožní realizovat složité systémy molekulárních strojů, které budou inspirovány těmi, které můžeme nalézt v přírodě. Tato fáze nanotechnologie je předmětem rozsáhlého výzkumu a bude mít nesporně velký společenský dopad.

5. SOUČASNÝ STAV OBORU A JEHO PODPORA

5.1. PUBLIKACE A PATENTY

Za posledních cca 20 let došlo k bouřlivému vývoji nanovědy a nanotechnologie, což dokumentuje rychlý růst počtu publikací v devadesátých letech minulého století - **obr. č. 9** /46/.

Podobně je tomu i u počtu podaných patentů. Zajímavou analýzu provedli Huang Z. et al. /47/ Z **obr. č. 10**, kde je znázorněn růst počtu patentů v letech 1976–2002, vyplývá, že zřetelně vedou USA následované Japonskem. Vedoucími deseti státy v roce 2002 byly: USA – 6425 patentů, Japonsko – 1025, Francie – 245, Velká Británie – 100, Korea – 87, Taiwan – 86, Nizozemí – 66, Austrálie – 61, Švýcarsko – 55 a Itálie – 44. Uvedení autoři sestavili i tabulku pořadí dvaceti společností – vlastníků nanotechnologických patentů – **tab. č. I**. Z tabulky vyplývá, že uvedené společnosti vlastnily v roce 2002 celkem 12703 patentů. Průměrný věk patentů se pohyboval v rozmezí 1,9 – 11 let.

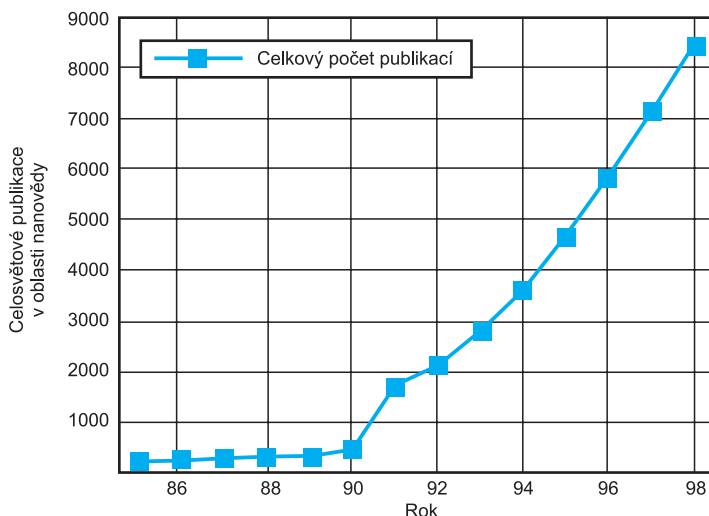
Tab. č. I. Analýza vlastníků nanotechnologických patentů (1976-2002) /47/

Pořadí	Názvy vlastníků patentů	Počet patentů	Průměrný věk patentů
1	International Business Machines Corporation (IBM)	2092	6.6
2	Xerox Corporation	1039	7.1
3	Minnesota Mining and Manufacturing Company (3M)	809	6.9
4	Micro Technology, Inc.	781	1.9
5	Eastman Kodak Company	738	9.3
6	Motorola, Inc.	705	7.1
7	Texas Instruments, Inc.	604	6.9
8	NEC Corporation	608	3.7
9	The Regents of the University of California	540	3
10	The United States of America as represented by the Secretary of the Navy	525	10
11	Canon Kubushiki Kaisha	505	5
12	Advanced Micro Devices, Inc.	502	3.3
13	General Electric Company	491	11
14	Hitachi, Ltd.	462	5.7
15	Hewlett-Packard Company	434	7.7
16	Kabushiki Kaisha Toshiba	412	4.6
17	E. I. DuPort de Nemours and Company	362	11
18	Lucent Technologies, Inc.	341	2.8
19	Intel Corporation	341	4.6
20	The Dow Chemical Company	322	10

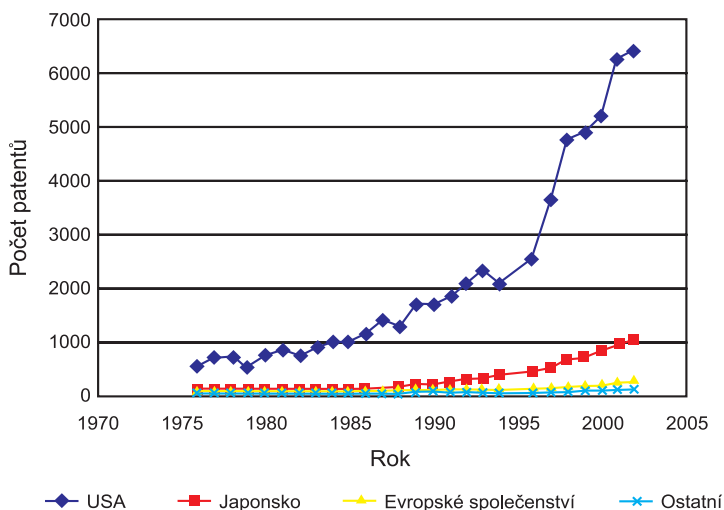
V oblasti patentování nanotechnologie vedou zřetelně firmy zaměřené na elektroniku. Na problémy patentových úřadů při patentování nanotechnologických patentů upozornili R. A. Bleeker et al. /48/ Největší problém spočívá v interdisciplinární podstatě nanotechnologie. Rovněž mnoho používaných definicí nanotechnologie a neustálená terminologie působí v řadě případů „napětí“ mezi patentovým úřadem a vynálezcem. V oblasti patentování nanotechnologie lze očekávat další pokrok. Závěrem je třeba konstatovat, že do konce roku 2003 nebyl v České republice zaregistrován žádný patent z oblasti nanotechnologie.

V současné době je výzkum nanotechnologie plně rozvinut ve všech průmyslově vyspělých státech. Velké množství informací je možné získat na internetových stránkách, které se specializují na nanotechnologii a její různé oblasti. Pořádá se velké množství konferencí a workshopů. Výzkum nanotechnologie a nanomateriálů je v rozsáhlé míře podporován z veřejných i soukromých prostředků, zejména v USA, Japonsku a v zemích EU.

Obr. č. 9 Trend růstu počtu publikací z oblasti nanovědy a nanotechnologie v letech 1985–1998 /46/



Obr. č. 10 Počet patentů z oblasti nanotechnologie pro 4 regiony. Údaje jsou z roku 2002 /47/.



5.2. FINANČNÍ PODPORA

V **tab. č. II.** jsou uvedeny údaje o podpoře nanotechnologie z veřejných prostředků v různých státech a seskupeních /49, 50 a jiné zdroje/. Ve všech případech pozorujeme významný růst podpory z veřejných prostředků. M. C. Roco uvádí, že ve srovnání s rokem 1997 byl nárůst v roce 2003 celosvětově o 690 %. Pokud se týká České republiky, lze odhadnout, že v roce 2003 činila podpora nanotechnologie z veřejných prostředků přibližně 3 mil. \$⁵. Další velké prostředky vydávají na výzkum nanotechnologie zejména velké nadnárodní firmy.

Tab.č. II. Podpora výzkumu a vývoje nanotechnologie ve světě z veřejných prostředků ve vybraných státech (mil. USD ročně)

Fiskální rok	1997	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Evropská unie	130	184	225 ^x	400 ^x	1150 ¹		
Japonsko	120	245	465	700 ^x	810 ^x	875	
USA	116	270	422	697	1070 ²	847 ³	9823 ^{xx}
Čína	100 ^x						
Korea	150 ^x	200 ^x					
Taiwan	111	150 ^x					
Německo	47	63	250 ^x				
Velká Británie	32	39	130 ^x				
Francie	10	19			180		
Celkem svět	432 ^x	825 ^x	1492 ^x	2347 ^x	3600 ^x		

Vysvětlivky: ^x – odhad, ^{xx} – předpoklad

¹ – 350 mil. \$ Evropská komise, 800 mil. \$ členské a asociované státy

² – 770 mil. \$ Federální rozpočet, 300 mil. \$ jednotlivé státy USA

³ – Federální rozpočet

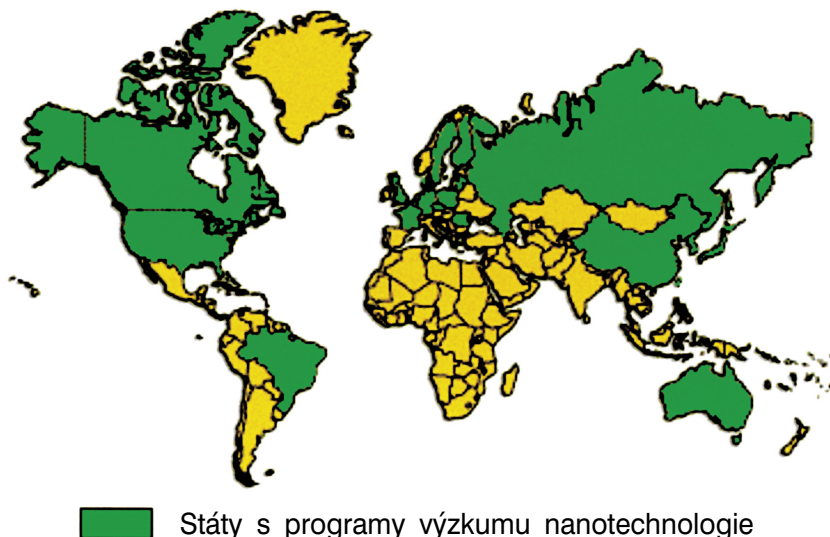
Poznámka: 1 \$ = 1 €

Na **obr. č. 11** je zeleně vyznačeno nejméně 30 států, jež vyhlásily vlastní program podpory nanotechnologie z veřejných prostředků /51/.

V ČR se stal klíčový výzkumný směr (KVS) „Nanotechnologie a nanomateriály“ součástí Národního programu výzkumu vyhlášeného v roce 2003. KVS je zařazen do dílčího programu „Nastupující technologie“ a výzvy k podávání návrhů projektů se provádějí v rámci programu POKROK Ministerstva průmyslu a obchodu /52/. KVS má malou prioritu (je jedním z 90 KVS Národního programu výzkumu) a v roce 2004 se začaly řešit pouze 2 projekty. Problémy působí rovněž to, že poskytovatel prostředků vyžaduje podílové financování.

⁵ Odhad autorů publikace

Obr. č. 11 Státy, které vyhlásily národní programy výzkumu nanotechnologie



5.3. SHRNUTÍ

Výzkum nanotechnologie se postupně internacionalizuje, když dochází, především v oblasti základního výzkumu, ke spolupráci mezi státy a seskupeními (National Science Foundation – USA s EU, Japonskem, Indií, Německem, Itálií aj; EU s Čínou a Izraelem aj.). Na výzkum nanotechnologie se zaměřuje řada nadnárodních společností, orientovaných zejména na chemickou výrobu, elektroniku a materiály, ale i malé a střední podniky /39/. O podporu výzkumu nanotechnologie se ve velké míře začínají zajímat banky a firmy poskytující rizikový kapitál. V dubnu 2004 zavedla brokerská firma Merrill Lynch na American Stock Exchange jako prvá Merrill Lynch Nanotech Index pro obchodování s akciemi firem, jejichž zisky se budou z významné části odvozovat od využití nanotechnologie. Do indexu bylo na začátek zahrnuto 25 amerických firem vyrábějících v oborech polovodiče, biotechnologie, senzory, diagnostika, léčiva, genomika a materiály /53/.

Interdisciplinární projev nanovědy a nanotechnologie vyžaduje i implementaci nového paradigma při výchově vědců a inženýrů /54/. Nová generace studentů musí mít hluboké znalosti určité vědní disciplíny, současně však nesmí mít obavy při překračování hranic mezi disciplínami, musí být zběhlá v konverzaci se svými kolegy z jiných oblastí, musí mít potěšení ze spolupráce a umět pracovat v týmu, či jej řídit. Studenti a studentky se musí učit „jazyk“ a metody více než jedné disciplíny. V oblasti vzdělávání teprve nedávno byla učiněna opatření k úpravě a vytváření speciálních osnov a předmětů výuky a k výzkumu jak vyučovat tento nový obor, a to i v nejvyspělejších státech.

6. NANOTECHNOLOGIE A EVROPSKÁ UNIE

Jak bylo uvedeno v publikaci „Výzkum nanotechnologií a nanomateriálů v Evropě a USA“ (autor T. Prnka) /55/, první program podporující výzkum nanotechnologie z veřejných prostředků v Evropě byl vyhlášen ve Velké Británii v roce 1989. Následovalo Německo (1993), Finsko a Francie (1997), Švédsko (1998). V České republice byly první tři projekty z oblasti nanotechnologie podpořeny Grantovou agenturou ČR v roce 1993, určité priority se dočkal tento nový vědní obor až zmíněným vyhlášením Národního programu výzkumu v roce 2002. Pokus se týká celoevropských programů, první nanotechnologický projekt byl podpořen v programu EUREKA v roce 1995, v programu COST v roce 1998 a European Science Foundation vyhlásila první program zaměřený na nanotechnologii v roce 1998.

V Rámcových programech EU byla klíčová úloha nanotechnologie uznána až v šestém programu (2002–2006). Je třeba poznamenat, že v pozoruhodně velkém počtu výzkumných projektů byly řešeny různé problémy nanotechnologie již ve 4. RP (1994–1998) v programu ESPRIT a zejména v 5. RP (1999–2002) v programech LIFE, IST a GROWTH. V 6. RP se nanotechnologie dočkala ocenění zejména ve specifickém programu „Integrace a posilování ERA“, v tematické prioritě „Nanotechnologie a nanověda, inteligentní multifunkční materiály a nové výrobní procesy a zařízení“ /56, 57/. Výzkum nanotechnologie je zaměřen na:

- Dlouhodobý interdisciplinární výzkum vedoucí k porozumění jevům, ovládnutí procesů a vývoj výzkumných přístrojů
- Nanobiotechnologie
- Inženýrské nanotechnologie pro vytváření materiálů a komponent
- Manipulační a kontrolní zařízení
- Aplikace

Výzkum nanotechnologie je podporován i v rámci dalších tematických priorit, zejména v prioritě „Technologie informační společnosti“.

Evropská komise (EK) a Evropský parlament (EP) podporují rozvoj výzkumu a aplikací nanotechnologie s rostoucí intenzitou přibližně od roku 1997. Od této doby byly zveřejněny následující významné dokumenty:

- Studie „Nanotechnology in Europe: Expert's perceptions and scientific relations between sub-areas“, IPTS, 1997 (EUR 17710 EN).
- Článek „Small science...big future“ zveřejněný v červenci 1998 v časopise „Innovation & Technology Transfer“.
- Studie „Technology Roadmap for Nanoelectronics“, 5. RP-IST-FET, vyd. R. Companó, 11/2000, 2. vydání, ISBN 92-894-1070-2.
- Studie „Survey of Networks in Nanotechnology“, 5. RP-Growth-Life-IST, 11/2001. V této studii bylo v Evropě identifikováno 82 sítí pracovišť, ať již národních či nadnárodních sítí.
- Pracovní dokument EP „Nanotechnology Advances in Europe“, STOA 108 EN, předložený EP DG Research v 4/2002. Dokument zpracovali S. Dunn a R. W. Whatmore z University of Cranfield, U.K. V dokumentu upozornili na rostoucí význam nanotechnologie a současně na nedostatečnou finanční podporu z veřejných prostředků, nedostatečnou přípravu vzdělaných pracovníků i na relativně negativní vnímání oboru společností.

- Analýza C. Románové „How Nano is Europe? – An Analysis of Nanotechnology-based Expressions of Interest in the Sixth Framework Programme“, European Nanobusiness Association, Brusel, 11/2002.
 - Leták EK „Nanotechnology in the European Research Area“ z 11/2002, podávající informace o nanotechnologických programech 5. RP v roce 2001.
 - Studie „Nanotechnology in the Candidate Countries“, 2nd Nanoforum Report, 6/2003, vyd. I. Malsch.
 - Informační článek „Nanotechnology: Small Science with a Big Potential“, 8/2003.
 - Zpráva „Nanotechnologies: A Preliminary Risk Analysis“, z workshopu „Mapping out Nano Risks“, organizovaného DG Health and Consumer Protection EK v Bruselu, 3/2004 /65/. Rozsáhlý dokument o jednání 17 vybraných expertů, kteří diskutovali o nebezpečí, účincích a rizicích pro člověka a prostředí v nejbližších 3–5 letech v souvislosti s nanomateriály.
 - Publikace „Nanotechnology – Innovation for Tomorrow's World“, DG Research EK, Luxembourg, 5/2004, ISBN 92-894-7498-X. Publikace, pro kterou byl použit podklad zpracovaný pro BMBF – německé ministerstvo výuky a výzkumu – je k dispozici ve 20 jazycích. V publikaci je populární formou popsáno, co nanotechnologie je a co její aplikace může přinést v různých oblastech lidského života.
 - Sdělení EK „Towards a European Strategy for Nanotechnology“, COM (2004) 338 final, 5/2004. Ve sdělení se EK poprvé v historii EU obrací na vlády členských států a další subjekty s návrhem aktivit vedoucích k podpoře integrovaného přístupu výzkumu v oblasti nanovědy a nanotechnologie, pro udržení a upevnění Evropského výzkumného prostoru. Ve sdělení se uvádí, že je pravá doba pro zahájení diskuse na institucionální úrovni s cílem zabezpečení následujících koherentních akcí:
 - Zvýšit investice a koordinaci VaV pro zabezpečení průmyslového využití nanotechnologie, při udržení vynikající úrovně vědeckých prací a konkurence;
 - Vybudovat VaV infrastrukturu světové úrovně v „Centrech high-tech“, při respektování potřeb jak průmyslu, tak výzkumných organizací;
 - Prosadit interdisciplinární vzdělávání výzkumného personálu, včetně celoživotního, které by bylo zaměřeno i na podnikatelský způsob myšlení;
 - Zabezpečit příznivé podmínky pro transfer technologií a inovací tak, aby produkty a postupy špičkového technologického VaV přispívaly ke zlepšování životní úrovně;
 - Zajistit včasnou integraci společenských aspektů nanotechnologie do procesu VaV;
 - Posoudit potenciální rizika pro zdraví, bezpečnost, životní prostředí a spotřebitele, a to především získáním nezbytných údajů pro hodnocení rizik a jejich integraci pro každou etapu životního cyklu nanotechnologických produktů;
 - Propojit výše uvedená opatření vhodnou spoluprací a iniciativami na mezinárodní úrovni.
- Dokument, vzhledem k své závažnosti, je uveden v **příloze** v plném znění.
- Strategická vize „Vision 2020: Nanoelectronics at the Centre of Change“, zpráva vydaná DG Information Society, 6/2004. Ve zprávě se uvádí, že nanoelektronika je středem evropské pozornosti, nejen jako obor, který pomůže vytvořit tisíce pracovních míst, ale i pro svůj potenciál podpořit růst a konkurenceschopnost v mnoha průmyslových odvětvích, zejména v telekomunikacích, automobilovém průmyslu, multimédiích, při

výrobě spotřebního zboží a v medicíně. Klíčovým doporučením autorů zprávy je návrh na vytvoření technologické platformy pro upevnění společného výzkumu a vytvoření optimálního finančního podpůrného systému

Aktivita EP a EK při podpoře výzkumu a aplikace nanotechnologie významně vzrostly od poloviny roku 2003, jak již vyplynulo z výše uvedených publikací. Mezi další aktivity patří:

- V červnu 2003 se konal v EP první mezinárodní seminář o sociálních dopadech nanotechnologie. Diskuse se zaměřila zejména na možnost nepříznivého účinku nanočástic na lidské zdraví při jejich vdechování a při působení na kůži. Hovořilo se o možné regulaci používání nanočástic ve výrobcích a dalších aspektech /58/.
- V prosinci 2003 uspořádala EK v Terstu velkou mezinárodní konferenci „EuroNano-Forum“, které se zúčastnilo cca 1000 odborníků z celého světa. Závěry z konference byly použity při přípravě výše uvedeného sdělení EK. Český čtenář se s nimi mohl seznámit v Technickém týdeníku /59/.

Nezanedbatelná je činnost EK v oblasti mezinárodní spolupráce. Od roku 2000 probíhá spolupráce s americkou NSF a od roku 2002 s Čínou. V letech 2000 až 2002 byly uspořádány celkem čtyři společné workshopy EC/NSF:

- Joint EC/NSF Workshop on Nanotechnology, Toulouse, Francie, 19.–20. 10. 2000
- 2nd Joint EC/NSF Workshop on Nanotechnologies nazvaný „Manufacturing and Processing“, San Juan, Puerto Rico, 1/2002
- 3rd Joint EC/NSF Workshop on Nanotechnology nazvaný „Nanotechnology – Revolutionary Opportunity & Social Implications“, Lecce, Itálie, 31. 1.–1. 2. 2002
- 4th Joint EC/NSF Workshop on Nanotechnology nazvaný „Tools and Instruments for Research and Manufacturing“, Grenoble, Francie, 12.–13. 6. 2002

V prosinci 2002 byl v Pekingu uspořádán EC/MOST Workshop „EU-China Forum on Nanosized Technology“.

Všechny uvedené dokumenty jsou dostupné z internetové stránky www.cordis.le/nanotechnology.

Důležitá je i Evropskou komisí podporovaná stránka www.nanoforum.org, tzv. European Nanotechnology Gateway.

7. MOŽNÉ SOCIÁLNÍ A ETICKÉ DŮSLEDKY NANOTECHNOLOGIE

Dopady nanotechnologie na společnost mohou být různé a mít velký rozsah. Jelikož nanotechnologie představuje velmi různorodou škálu nových technických možností, je zřejmě nemožné v současné době přesně předpovědět dokonce i bezprostřední důsledky jednotlivých inovací. Některé dopady mohou překvapit, jiné budou mít nepředvídatelné důsledky, které se ukáží až za dlouhou dobu. Konec konců, jak technologie, tak i společnost jsou složité systémy, mající potenciál pro působení mechanismů chaosu a variabilních mechanismů zpětné vazby.

Nanotechnologie slibuje ovlivnit tak mnoho aspektů společnosti, že předpovědi jsou nejisté, a je těžké je empiricky ověřit. Budoucí vývoj může být v některých případech i rozvratný, protože se může 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. Pokládá se rovněž za možné, že zavádění nanotechnologie, byť postupné, může zcela změnit současný tradiční průmysl, se všemi sociálními i dalšími dopady. V posledních letech je část veřejnosti, zejména v průmyslově vyspělých zemích, ovlivňována publikacemi žánru science-fiction a psaním ne zcela seriózních novinářů a autorů, kteří zveřejňují senzačně laděné články o nebezpečnosti nanotechnologie. To zapůsobilo na různé instituce, vládní i nevládní, které se začaly sociálními, etickými a dalšími důsledky nanotechnologie seriózně zabývat.

7.1. PŘEHLED VÝZNAMNÝCH PUBLIKACÍ

Přibližně od roku 2000 se začínají zkoumat sociální, etické, ekologické a ekonomické dopady nanotechnologie /28/ a finančně podporovat výzkumné práce v těchto oblastech /60, 61/. Od roku 2001 byly zveřejněny tyto významné publikace:

- „Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology“, NSET Workshop Report, 3/2001, Arlington, VA, vyd. M. C. Roco a W. S. Bainbridge /28/. Je to rozsáhlá zpráva z první diskuse o sociálních a etických aspektech nanotechnologie, které se zúčastnilo 64 vybraných zástupců vědecké a výzkumné sféry, vládních i soukromých subjektů, převážně z USA. Byly prodiskutovány možné dopady nanotechnologie na ekonomiku a politiku, na vědu a výuku, na zdravotnictví, ekologii, výzkum vesmíru a národní bezpečnost a její sociální, etické, právní a kulturní aspekty. Z workshopu vyplynula řada doporučení pro vládu USA, akademickou sféru a průmysl - např.:
 - Do výukového procesu musí být zavedena koncepce studia jevů v nanorozměrech;
 - Výuka odborníků v nanotechnologiích musí zahrnout i studium jejích sociálních důsledků a etické citlivosti;
 - Je třeba, aby byly vyvinuty formální měřicí metody jako např. sociální a ekonomické indikátory pro systematickou charakterizaci změn, které mohou probíhat v průmyslu, vzdělávání a veřejném mínění;
 - Je zapotřebí všeobecná podpora rozsáhlého a vysoce kvalitního, teoreticky fundovaného sociálního a ekonomického výzkumu nanotechnologie;
 - Vláda i soukromý sektor musí neodkladně vytvořit příslušné informační kanály pro průběžné informování společnosti o nových koncepcích, projektech, potenciálních aplikacích a etických problémech.
- „Nanotechnology: Revolutionary Opportunities & Societal Implications“, 3rd Joint EC-NSF Workshop on Nanotechnology, 1/2002, Lecce (Itálie), vyd. M. C. Roco, R. Tomellini /29/. Zpráva o jednání 70 odborníků z EU a USA, které bylo zaměřeno na

tři široké oblasti: budoucí technologické příležitosti nanotechnologie, problémy výuky nanotechnologie a její sociální dopady.

- „The Big Down: From Genomes to Atoms“, ETC Group, 1/2003 /30/. Zpráva kanadské společnosti, která se orientuje na podporu udržitelného rozvoje v oblasti kultury, ekologie a lidských práv. Místo pojmu nanotechnologie se ve zprávě používá pojem atomotechnologie (Atomtech). Autoři zprávy nepopírají perspektivní možnosti nanotechnologie, avšak jejich závěry vyznívají negativně, zejména varují před nekontrolovaným používáním nanočástic a uhlíkových nanotrubic a zdůrazňují, že žádná globálně působící organizace, např. OECD, se tímto problémem zatím nezabývá. Zpráva vzbudila značnou pozornost.
- „Future Technologies, Today's Choices“, zpracoval A. H. Arnall pro Greenpeace Environmental Trust, 6/2003 /31/. Zpráva je zaměřena na dvě oblasti: nanotechnologii a umělou inteligenci a robotiku. Je psána vyváženě, tj. autor zdůrazňuje jednak přednosti a možnosti nanotechnologie, jednak uvádí možná rizika při jejím praktickém používání. Je zdůrazněna možnost infiltrace nanočástic do životního prostředí a upozorňuje se na rizika použití nanomateriálů a nanozařízení v medicíně a ve vojenství.
- „The Social and Economic Challenges of Nanotechnology“, zpracovali S. Wood, R. Jones a A. Geldart pro ESRC (Economic and Social Research Council) UK, 7/2003 /32/. Zpráva podává seriózní přehled současné diskuse o pozitivních a negativních stránkách nanotechnologie. Autoři vyvodili tři doporučení pro zaměření budoucích sociálních a etických studií: a) řízení technologických změn, b) vyhodnocování rizik a příležitostí v nejistotě, c) studium úlohy nových technologií v období ekonomických nerovností a předělu etap vývoje. Mnoho jednotlivých témat v uvedených doporučeních přesahuje rámec nanotechnologie, např. transfer technologie, stárnutí, komercializace vědy, nicméně, mohou existovat problémy výlučně spjaté s nanotechnologií, vyplývající z její interdisciplinární podstaty a její schopnosti ovlivnit rozhraní v systému lidstvo-stroje-příroda.
- „Nanotechnologies: A Preliminary Risk Analysis“, zpráva z workshopu „Mapping out Nano Risks“, organizovaného DG Health and Consumer Protection EK v Bruselu, 3/2004 /62/. Zpráva sestává ze dvou částí. První část obsahuje zhodnocení výstupů workshopu, druhá část pak obsahuje 19 příspěvků účastníků workshopu. Přítomní experti se shodli na 12 doporučeních:
 - Vypracovat rejstřík nanomateriálů (poloproduktů a konečných výrobků);
 - Přidělovat vyráběným nanomateriálům všeobecně uznávané číslo v registru CAS (Chemical Abstracts Service);
 - Urychlit vědecké práce při sběru dat o vlastnostech nanomateriálů a podrobovat je analýze;
 - Vyvíjet měřicí zařízení;
 - Vyvinout standardizované metody hodnocení rizik;
 - Prosazovat „dobré zkušenosti“ při oceňování rizik, zdraví lidí, nebezpečí pro životní prostředí a bezpečnost v celosvětovém měřítku;
 - Zřídit instituce pro monitorování rozvoje nanotechnologie, pro zavádění laboratorních i výrobních standardů a pro případná regulační opatření;
 - Rozvinout dialog s veřejností a průmyslem a zajistit účast obou stran při rozhodovacích procesech;

- Vypracovat směrnice a standardy pro oceňování rizik, pro výrobu a manipulaci nanomateriálů a pro komercializaci nanomateriálů a jiných nanotechnologických výrobků;
- Revidovat stávající regulační opatření s ohledem na specifika nanotechnologie;
- Přikládat nejvyšší význam výrobě a manipulaci s volnými nanočásticemi, dokud nebude identifikována jejich míra nebezpečnosti, případně, dokud nebudou např. zabudovány do matrice jiné látky;
- Snažit se o eliminaci, případně minimalizaci výroby částic o nanorozměrech a jejich nechtěnému uvolňování do životního prostředí, tam kde je to možné.

EK hodlá na základě výsledků workshopu přijmout řadu opatření.

- „Towards a European Strategy for Nanotechnology“, Sdělení EK, COM (2004) 338 final, 5/2004 – úplné znění se nachází v **příloze**. Ve sdělení se zdůrazňuje zodpovědný přístup k nanotechnologii. Komise poukazuje na to, že sociálním aspektům nanotechnologie je nutné věnovat náležitou pozornost a
 - apeluje na členské státy, aby v souvislosti s VaV v oblasti nanotechnologie zaujímaly otevřené a transparentní postoje. Cílem musí být zajistit pochopení a důvěru veřejnosti;
 - vyzývá k dialogu s občany EU a spotřebiteli produktů z EU s cílem umožnit kritické posouzení VaV v oblasti nanotechnologie, které bude založeno na objektivních informacích a výměně názorů;
 - zdůrazňuje, že se bude řídit etickými zásadami, aby zajistila, že VaV v oblasti nanotechnologie bude prováděn odpovědně a transparentně

V zájmu zachování vysoké úrovně veřejného zdravotnictví, bezpečnosti, ochrany životního prostředí a ochrany spotřebitelů poukazuje Komise na nutnost

- co nejdříve zjistit a posoudit (reálné nebo domnělé) bezpečnostní hrozby;
- podpořit integraci aspektů zdravotních, ekologických, rizikových a jiných aspektů v příslušných aktivitách VaV a dostatečně podpořit specifické studie;
- podpořit zjišťování toxikologických a ekotoxikologických dat (včetně údajů o přípustných dávkách) a vyhodnotit potenciální expozice lidí a životního prostředí.

Komise apeluje na členské státy, aby

- v případě potřeby podpořily úpravy postupů hodnocení rizik. Přitom je nutné vzít v úvahu specifické aspekty nanotechnologických aplikací;
- podpořily začlenění hodnocení rizik do ochrany zdraví lidí, životního prostředí, spotřebitelů a zaměstnanců ve všech etapách životního cyklu nanotechnologií (od záměrů přes VaV, výrobu, odbyt, využití až po likvidaci).

7.2. VYBRANÉ SMĚRY HODNOCENÍ SOCIÁLNÍCH DOPADŮ

V závěru této části uvádíme vybrané směry hodnocení sociálních dopadů nanotechnologie jak je doporučil M. C. Roco /49/:

- Sociální aspekty je třeba posuzovat za použití **vyváženého přístupu** mezi cíli, které vedou k očekávanému společenskému užitku a neočekávanými souvislostmi, které mohou být kombinací neočekávaného užitku a rizik. Např., nanotechnologie slibuje významný pokrok v syntéze léčiv a jejich transportu v těle na nemocné místo, v lé-

kařské diagnostice, regeneraci tkání a jejich nahrazování. Na druhé straně, do buněk mohou pronikat nežádoucí nanočástice, případně nová nanostrukturní tkáň nemusí být biokompatibilní. Rizika je tedy třeba zkoumat. Existuje sociální odpovědnost na obou stranách vývoje. Při vyhodnocování pozitivního vývoje a rizik na populaci je zapotřebí respektovat demokratické principy. Např. výroba v nanorozměrech zabezpečí prostředky pro trvalý udržitelný rozvoj – méně materiálu, méně vody a méně odpadu při výrobě a nové metody přeměny energie a čistou vodu. Současně je zapotřebí sledovat vliv nových kontaminujících látek o velikosti nanometrů a např. přesun pracovníků v souvislosti s novými výrobními technologiemi.

- Sociální aspekty nanotechnologie se projeví v **různých oblastech** jako jsou technika, ekonomika, životní prostředí, zdraví, výchova a výuka, etika, morálka a filosofie. Zatím co technické a ekonomické aspekty jsou klíčové hnací síly, v jiných oblastech jim konkurují problémy spojené s možnými neočekávanými projevy a potřebami nanotechnologie.
- Příroda již od počátku pracuje v nanorozměrech. Je zapotřebí **porozumět, co se stane**, když se nanostrukturní kontaminanty z výroby či spalování dostanou do kontaktu s prostředím. Např. v současnosti existují zdravotní a ekologická rizika od nanočástic vznikajících v dolech, na stavbách a ve spalovacích motorech. Vyrobené nanostruktury mohou mít zvláštní složení a reaktivitu, což může zvýšit riziko, a to musí být zkoumáno od samého počátku. Na druhé straně, pro odstraňování znečišťujících látek, které v současné době nemohou být zneškodněny, mohou být použity nové molekulární postupy. Nanosenzory mohou lépe monitorovat životní prostředí. Trvalý udržitelný rozvoj je rozsáhlý úkol. V současné době se, zejména v USA a EU, soustřeďují výzkumné aktivity na výzkum vlivu nanočástic nacházejících se ve vzduchu, v zemi i ve vodě, na výzkum procesů probíhajících v nanorozměrech v bio-systémech, na vývoj nástrojů a přístrojů a další problémy. Bylo by příliš velké riziko neprovádět tento výzkum.
- Každý průmyslový sektor má dnes svoje pravidla a předpisy pro nakládání s chemikáliemi a biologickými materiály. Je zapotřebí zpracovávat studie, ve kterých bude posouzeno, **jak tyto předpisy ovlivní použití nanomateriálů a nanotechnologie**.
- Sociální aspekty mají **mezinárodní dosah** související s rostoucími znalostmi humanity a jejich filozofickými souvislostmi, rozvojem trhů, záležitostmi zdraví, mezinárodní konkurencí a výrobní způsobilostí.
- Mělo by se rozlišovat mezi jevy, které mohou být opraveny nebo upraveny na **akceptovatelnou úroveň** a těmi, které vedou k **neakceptovatelným rizikům**. Neexistují jednoznačná výzkumná řešení, která by naznačovala, že by důsledky aplikace nanotechnologie nemohly být ve stávajících systémech akceptovány. Riziko je často vyváženo přínosy.
- Existuje **celá soustava faktorů**, od kreativity jednotlivců, organizací, transferu technologií, regionálních a interdisciplinárních interakcí k ekonomice a mezinárodnímu rámci. Tyto faktory jsou v dynamické vzájemné interakci, a proto je třeba sledovat časovou škálu. Např. je třeba předvídat potřebu vývoje standardů a právních aspektů.
- Bude-li nanotechnologie lépe prozkoumána, lze očekávat **postupně vyjasnění sociálních dopadů**. V laboratořích vznikají nové nanostruktury, vyvíjejí se nové výrobky a roste počet kvalifikovaných výzkumníků. Již nyní však existuje časové zpoždění ve studiu sociálních důsledků od doby prvních vědeckých objevů.

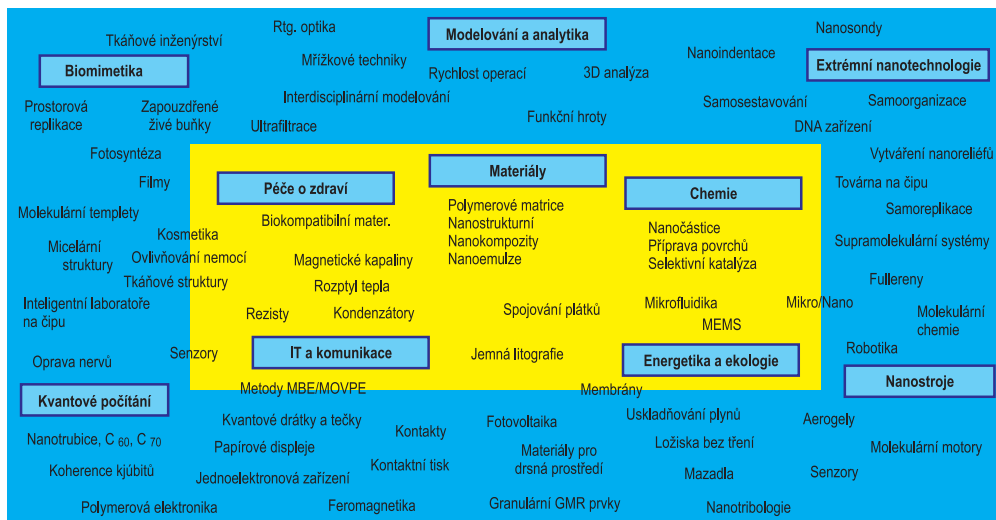
- Důležité je **poznat, zda veřejnost akceptuje rizika**. Např. vliv elektromagnetického pole na buňky nebo záření televize je pronikavý. Zjišťujeme však, že tyto skutečnosti jsou akceptovány, protože magnetické pole existuje v přírodě a buňky mají schopnost se regenerovat. Podobně, nanočástice již existují v přírodě a živé buňky jsou s nimi v interakci. Je zapotřebí, aby ti, co se zabývají sociálními vědami, byli členy výzkumných týmů, aby zprostředkovávali a současně správně ovlivňovali veřejnost.
- **Je třeba se poučit ze zkušeností první průmyslové revoluce** a jiných dřívějších událostí. Např. spalovací motory přispívají globálnímu oteplování a DDT, i když bylo úspěšné v boji s malárií, je karcinogenní. Bylo by dobré se při provádění další průmyslové revoluce využíváním nanotechnologie poučit z předcházejících chyb a optimalizovat včas celkový životní cyklus výrobků.

V současné době probíhá řada výzkumných projektů, financovaných zejména NSF v USA a v rámci 6. Rámcového programu EU (např. projekt NANOSAFE zahájený ještě v rámci 5. RP), které jsou zaměřeny na zdravotní, ekologické, etické a další aspekty nanotechnologie.

8. APLIKACE NANOTECHNOLOGIE

Nanotechnologie patří spolu s informačními technologiemi a biotechnologiemi k tzv. „nastupujícím technologiím“ /9/, a to nehledě na jejich doposud „dětský věk“. Významný pokrok v porozumění jevům a procesům projevujícím se v nanosvětě, který nanověda učinila v posledních 20 letech, nám umožňuje předpovědět, že jejich využití a ovládnutí přinese průlomové změny zejména v elektronice, fotonice a počítačích, ale i v dalších oblastech jako jsou zdravotnictví a farmacie, energetika a ochrana životního prostředí, zemědělství, vojenství a průmysl, např. textilní. Na **obr. č. 12** je znázorněno množství oblastí, kterých se nanotechnologie více či méně dotýká /63/. Vnitřní obdélník na obrázku vyznačuje oblasti, které v současné době mají nejbližší k realizační fázi nebo u nichž realizace výsledků výzkumu a vývoje již započala. Jsou to: materiály, chemie, péče o zdraví, informační a komunikační technologie a energetika a péče o životní prostředí. V dalších letech (vnější obdélník) se očekává uplatnění nanotechnologie v dalších oblastech, jako biomimetika, kvantové počítání, nanostroje, modelování a analýzy a v tzv. extrémní nanotechnologii (zejména v technologiích samosestavování, samoorganizace, samoreplikace, zařízeních založených na DNA atd.). Je však třeba poznamenat, že se někdy o aplikaci nanotechnologie píše, že přinese revoluční změny ve výše uvedených oblastech. Spíše je pravdou, že půjde o dlouhodobý postupný vývoj, odhadovaný až na 50 let /34/.

Obr. č. 12 „Nanosvět“ (podle /63/)



8.1. SOUČASNOST

V současné době především nanomateriály již v mnoha případech opustily laboratoře a staly se předmětem praktického využití. První aplikace nanomateriálů se objevily v systémech, ve kterých mohou být ve volné formě použity prášky o rozměrech nanometrů, bez zhutnění a smíšení. Např. nanoprášky TiO₂ a ZrO₂ se nyní běžně používají v kosmetice v krémech na obličej a v opalovacích pleťových vodách a krémech. Nanoprášky Fe₂O₃ se např. používají jako základní materiál do rtěnek a líčidel a nedávno byly pokusně použity pro detoxikaci a ozdravení kontaminovaného území v Severní

Karolině, USA /64/. S přísadou nanočástic TiO_2 se dnes vyrábějí laky s reflexními vlastnostmi. Již několik let se používají nanostrukturální otěruvzdorné povlaky řezných nástrojů a komponent. Na trh byly uvedeny obkladačky s povrchovým filmem z nanočástic, na kterých se nedrží ani voda, ani špína. Již delší dobu se v automobilovém průmyslu používají nanokompozity polymer – jíl. Rozmístění pouze 5 % nanočástic montmorillonitu v polymerové matici způsobuje významné zvýšení pevnosti kompozitu. Zkouší se i přísada nanočástic CeO do motorového paliva s cílem snížení jeho spotřeby.

Nedávno bylo v informačních technologiích uskutečněno mnohem sofistikovanější využití nanomateriálů. Výroba křemíkových tranzistorů již používá řízené depozice vrstvených struktur pouze několik atomů tenkých (cca 1 nm) a laterální rozměry kritické délky hradla tranzistoru dosáhly běžně 180 nm a v roce 2003 bylo některými výrobci ohlášeno dosažení hodnoty 90 nm. Kratší délka hradla umožňuje výrobu menších, rychlejších a energeticky účinnějších tranzistorů a odpovídající zlepšení ceny a výkonnosti každého digitálního zařízení. Podobně, čtecí hlavy standardních harddisků využívají, díky vrstveným heterostrukturám o nanorozměrech, jevu obřího magnetického odporu, což významně zvyšuje jejich paměťovou kapacitu a snižuje jejich cenu. Mikroelektronika směřuje k nanoelektronice.

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 např. k zapouzdření protirakovinných léků pro léčení Kaposiho sarkomu, který má vztah k AIDS. Různé firmy používají při analýze krve, moči a jiných tělních tekutin pro urychlení separace a zlepšení rozlišitelnosti magnetické nanočástice. Jiné společnosti vyvinuly fluorescentní nanočástice, které tvoří základ novým detekčním technologiím. Tyto aktivní nanočástice se používají v nových zařízeních a systémech pro analýzu infekčních a genetických chorob a výzkum léčiv. Jedna čínská firma uvedla na trh antibakteriální nanoprášek.

Rozsáhlé využití nanočástic je ohlašováno obranným průmyslem a průmyslem vědeckých a technických přístrojů. Výrobci optických materiálů a elektronických substrátů, jako jsou např. křemík a galium arsenid, používají nanočástice pro chemomechanické leštění. Nanočástice karbidu křemíku, diamantu a karbidu bóru se používají pro lapování součástí s cílem omezit vlnitost povrchu na 1-2 nm. Možnost výroby tak vysoce kvalitních součástí je významná pro vědecké aplikace a bude ještě významnější při postupující miniaturizaci elektronických zařízení a rozvoji optoelektronických systémů.

Nanotechnologie pronikla již i do odívání a sportu. Vyrábí se např. nemačková a nešpinící se bavlněná tkanina s přísadou nanočástic, tenisové rakety, jejichž rámy jsou zpevněné uhlíkovými nanotrubicemi a tenisové míčky s vnitřní vrstvou z nanokompozitu polymer-jíl, která zvyšuje jejich životnost /65/.

Odhaduje se, že v oblasti nanotechnologie působí nyní celosvětově asi 2500 firem různé velikosti.

Na **obr. č. 13** /51/ jsou znázorněny některé současné aplikace a předpokládaný vývoj do roku 2012.

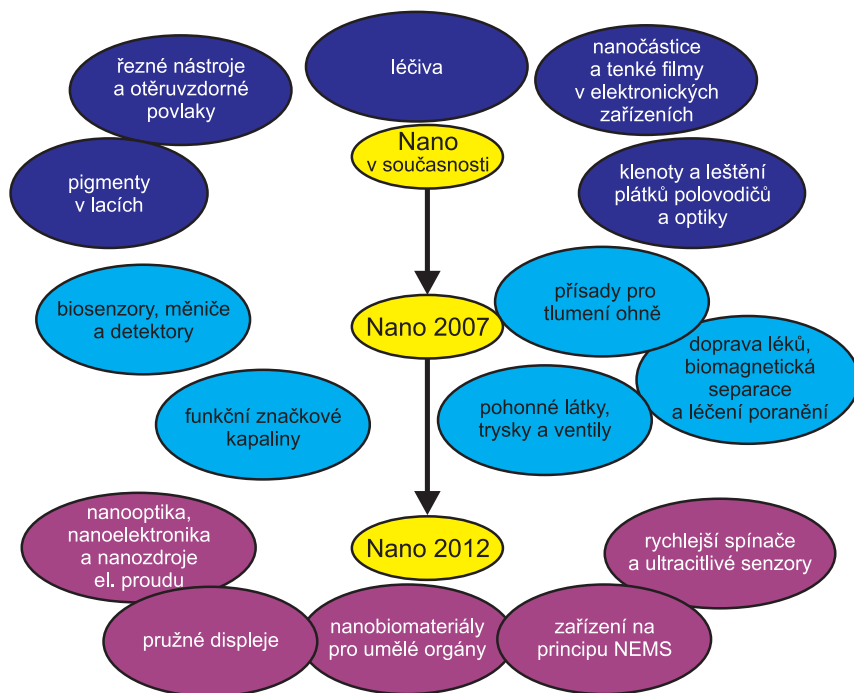
8.2. BLÍZKÁ BUDOUCNOST

Ukazuje se, že v horizontu 3–5 let bude realizována řada nových výrobků produkovaných nanotechnologiemi a využívajících nanomateriálů. Na **obr. č. 13** jsou uvedeny jen nejpravděpodobnější aplikace.

Zkoušejí se speciálně připravené polovodičové krystaly – kvantové tečky, které mají sloužit m.j. pro analýzu biologických systémů. Po osvětlení vyzařují tyto tečky světlo specifických barev, v závislosti na jejich rozměrech. Kvantové tečky různých rozměrů mohou být připojeny při biologických reakcích k různým molekulám, což dovoluje sledovat všechny molekuly účastníci se biologických procesů současně. Kvantové tečky mohou být rovněž použity jako nástroj pro rychlejší, méně pracné testování DNA a protilátek, než je tomu v současnosti.

Slibný je pokrok v plnění nanoprášek do komerčních sprejů. V nedaleké budoucnosti to umožní povlékat plasty nanoprášky, což zlepší jejich otěruvzdornost a korozivzdornost. Automobilový průmysl již zkoumá možnost využití polymerních nanokompozitních materiálů v dílech, které vyžadují současné splnění podmínek malé hmotnosti a vysoké rázové pevnosti.

Obr. č. 13. Současné aplikace nanotechnologie a předpokládaný vývoj



Několik společností již demonstrovalo díly vyrobené injekčním vstřikováním. Prototypy těchto dílů se podrobují náročným zkouškám a plné využití těchto materiálů se očekává v nejbližších třech letech. V několika leteckých firmách probíhají programy výzkumu využití nanočástic hliníku a hafnia k pohonu raket. Významnými faktory jsou pro tento účel použití zlepšené hoření a rychlost vznícení částic.

Rozvíjí se využití nanomateriálů v povrchových úpravách. Zkoumají se a již se i využívají nanomateriály v otěruvzdorných a korozivzdorných povlácích vytvářených na různých substrátech a v povlácích na površích účastnících se katalýzy. Významnými kandidáty při výrobě filtrů pro separaci tekutin při průmyslových procesech nebo čištění odpadních tekutin jsou nanočástice TiO_2 a ZrO_2 , které mají schopnost zachycovat těžké kovy a přitahovat bioorganismy. Nové keramické nanomateriály budou využívány při výrobě vodních trysek, injektorů, laserů, zrcadel teleskopů o malé hmotnosti, opláštění zbraňových systémů a při povlékání povrchů anod a katod v energetických zařízeních.

Pokroky ve výzkumu fotonických krystalů, což jsou fotonické prvky založené na jevech, které se projevují v nanorozměrech, nás přibližují k jejich využití v optických komunikačních sítích s výsledkem podstatného zvýšení jejich výkonnosti. Malé a levné optické spínače jsou klíčem k realizaci plného potenciálu rychlých a širokopásmových optických komunikačních sítí.

V dubnu 2001 byla v časopise „mdd – Modern Drug Discovery“ uveřejněna následující předpověď aplikace nanotechnologie a nanomateriálů do roku 2006:

- V oblasti vysokorychlostního počítání a „postkřemíkových“ elektronických zařízení:
 - pokračování Mooreho zákona (fa. Intel plánuje výrobu nanotranzistorů pro výrobu 10 GHz čipů)
 - vysokorychlostní modelování genomu (např. fy. Intel, Compaq a Celera spolupracují na stavbě 100 gigaflopového proteomického analytického počítače)
- V oblasti materiálů a výroby:
 - hromadný prodej uhlíkových nanotubic
 - nové a zlepšené textilní látky (pro oděvy odolávající vodě, špíně a mačkání)
 - nové laky a barvy (odolávající ohni, odstraňující trhliny)
 - nové kosmetické přípravky, biosenzory, otěruvzdorné polymery, jemnozrnné keramické kompozity odolávající špíně a otěru atd.
- V oblasti medicíny a farmacie:
 - MEMS a nanozařízení pro separaci fragmentů DNA a rychlostní sekvencování
 - bio-křemíkové rozhraní pro diagnostiku, senzory, farmakogenetiku a výzkum léků (fa. Nanogen připravuje automatický molekulární analytický systém typu lab-on-chip)
- V oblasti životního prostředí a energetiky:
 - využití uhlíkových nanotubic pro uskladňování vodíku pro palivové články
 - odstraňování ultrajemných nečistot z biologických odpadů jejich zapouzdřováním
 - biodegradabilní chemické látky pro pěstitelství a na ochranu proti hmyzu

V mnoha oblastech se tato předpověď naplňuje.

8.3. DLOUHODOBÁ PERSPEKTIVA

Rostoucí úsilí v různých oblastech nanovědy a nanotechnologie nasvědčuje tomu, že v budoucnosti budou objeveny v současné době neznámé jevy působící v nanorozměrech, syntetizovány materiály s novými vlastnostmi, vypracovány nové technologie jejich syntézy a nalezeny nové aplikace jejich použití.

Očekává se, že jedním z hlavních příjemců výsledků výzkumu a vývoje budou informační a komunikační technologie. V delším časovém horizontu nahradí v širokém měřítku postupně současnou mikroelektroniku nanoelektronika. Tranzistory vytvořené z uhlíkových nanotubic mohou být menší a rychlejší než jakékoliv myslitelné křemíkové tranzistory. Molekulární spínače naznačují možnost konstruování velmi levných pamětí s velkou hustotou. Byly již demonstrovány jednoelektronové tranzistory (SET), které se zkoušejí jako výjimečně citlivé indikátory elektrického náboje pro různá použití, od detektorů biologických molekul po součásti kvantových počítačů. Kvantové tečky, na které bylo upozorněno v souvislosti s označováním při DNA diagnostice, jsou rovněž zajímavé z hlediska jejich použití v kvantových počítačích. Očekává se, že budou vyvinuty nové způsoby syntézy nanodrátků, což umožní výrobu nových nanosenzorů pro detekci chemických látek. Nicméně, s ohledem na vysoce vyvinutou a stále se rozvíjející křemíkovou technologii lze očekávat rychlejší využití výše uvedených prvků a zařízení spíše na nově vzniklých trzích a jejich úzkých místech, kde se neuplatní stávající technologie. Uplatnění lze očekávat např. v senzorech pro řízení a kontrolu průmyslových procesů, při detekci chemických a biologických nebezpečných látek, při výrobě vědeckých přístrojů, při monitorování životního prostředí atd.

Velmi mnoho se očekává od budoucího využívání tzv. extrémní nanotechnologie (**obr. č. 12** – vpravo nahoře). Tento výraz, používaný zejména ve Velké Británii /66/, zahrnuje atomovou a molekulovou manipulaci a samoorganizování (selforganisation) či samo-sestavování (self-assembly) hmoty. Je to velká příležitost pro budoucí „konstruktéry“ vytvářet materiály a sestavovat struktury, které se nenacházejí v přírodě a u kterých se očekává, že budou mít zcela odlišné funkční vlastnosti, než mají jejich základní složky. Základní výzkum v této oblasti je v současné době velmi intenzivní. Předpokládá se, že tyto nové procesy umožní vytváření dvou a třírozměrných vysoce integrovaných konstrukčních prvků s využitím např. uhlíkových nanotubic, organických molekulárních elektronických komponent, kvantových teček apod., pro rychlé sestavování mnohem komplexnějších elektronických systémů, např. logických a paměťových zařízení. Taková zařízení by mohla mít provozní charakteristiky a kapacitu ukládání dat mnohonásobně převyšující současná zařízení.

Budou se dále zlepšovat vlastnosti nanomateriálů. Pro širokou aplikaci budou k dispozici stále nové lepší a levnější nanoprášky, nanočástice a nanokompozity. Další důležitou aplikaci budoucích nanomateriálů lze očekávat při vysoce selektivní a účinné katalýze v chemických procesech a při přeměně energie. Katalýza založená na využití nanomateriálů může hrát velkou roli ve fotovoltaiických článcích, palivových článcích, při bio-konverzi energie, v biotechnologických systémech (při výrobě potravin a v zemědělství) a při zpracování odpadů a kontrole ovzduší.

Nanověda a nanotechnologie budou mít stálý vliv na různé oblasti biomedicíny, jako jsou terapeutika, diagnostická zařízení a biokompatibilní materiály pro implantáty a protézy. Dále se budou rozvíjet aplikace nanomateriálů pro dopravu léčiv. Kombinování nových nanosenzorů s nanoelektronickými součástkami povede k dalšímu zmenšení rozměrů a k zlepšené funkčnosti diagnostických zařízení a systémů. Očekává se, že bude možné vytvořit implantáty o rozměrech buněk, které budou působit in vivo a diagnostikovat a monitorovat vývoj chorob.

Předvídaný pokrok nemůže být realizován bez rozsáhlého výzkumu a vývoje. Současný stav nanotechnologie a nanozařízení se zdá odpovídat situaci technologie polovodičů

a elektroniky v roce 1947, kdy byl vytvořen první tranzistor, který předznamenal „informační věk“. Ten měl svůj vrchol pravděpodobně až v devadesátých letech minulého století. Z minulých zkušeností průmyslu polovodičů vyplývá, že vynálezy jednotlivých vyrobitelných a spolehlivých zařízení neuvolňují okamžitě sílu skrytou v nové technologii. To se stane v okamžiku, kdy jednotlivá zařízení mají nízkou výrobní cenu, jsou-li spojena do fungujícího systému, může-li být tento systém spojen s okolním světem a když může být systém programován a řízen, aby splňoval určitou funkci. Plný význam tranzistoru nebyl prakticky využit, dokud nebyly vynalezeny a realizovány integrované obvody a jejich hromadná výroba na velkých podložkách, komputerizován vývoj obvodů, vyvinuto zapouzdřování podložek a vyvinuta technika vzájemného spojení obvodů velké integrace. Obdobně, v budoucnosti pravděpodobně nastane období velkého pokroku ve vývoji způsobů integrace komponent o nanorozměrech do zařízení, a to jak integrace nanokomponent navzájem, tak jejich integrace s mikrokomponentami a rozměrnějšími komponentami, ve spojení s požadovanou spolehlivostí a nízkou cenou. Musí však být vynalezeny nové způsoby hromadné paralelní a bezdefektní výroby součástek. Jelikož nanotechnologie zahrnuje mnohem větší rozsah vědních disciplín a potenciálních aplikací ve srovnání s elektronikou v pevné fázi, může být její sociální dopad mnohonásobně větší, než tomu bylo při aplikaci mikroelektroniky a počítačů.

9. ZÁVĚR

Předpokládá se, že za 15–20 let nanotechnologie od základu přemění vědu, technologii a společnost.

Již v současné době umožnila nanotechnologie znatelný pokrok v péči o zdraví – v cílené dopravě léků, v regeneraci biokompatibilní tkáně a ve vývoji senzorů. Hlavním cílem je včasná diagnóza rakoviny a její léčení.

Zvláště perspektivní se jeví využití nanotechnologie v elektronice. Velkou výzvou jsou nové směry jako kvantové počítání, spintronika, molekulární a biomolekulární elektronika a fotonika.

Sestavování struktur na atomové a molekulární úrovni může vést k významnému zlepšení vlastností a funkcí materiálů a může zlepšit výkonnost konečných produktů např. v dopravě, energetice, optice a bezpečnosti, případně při práci v extrémních podmínkách (v kosmu).

Nanotechnologie zaujala vědce, inženýry a ekonomy v celém světě nejen explozí objevů v nanorozměrech, ale i pro její potenciální sociální dopady. To se projevuje v současnosti v seriózním přístupu k výzkumu jejích možností a jejího dosahu ve společnosti, který je prosazován nejen na národních úrovních, ale i v mezinárodním měřítku. Zapojení do mezinárodní spolupráce na výzkumu a aplikace nanotechnologie se jeví pro všechny státy nezbytné.

10. LITERATURA A INTERNET

1. Schrödinger E.: „Science and Humanism: Physics in Our Time“, CUP, Cambridge, 1951, str. 27 a 58
2. Heisenberg W.: „Physics and Philosophy“, Harper and Row, New York, 1958, str.186.
3. Von Hippel A.R.: Science, 138 (1962), str. 91
4. Feynman R.P.: Engineering and Science, 23 (1960), str. 22
5. Drexler K.E. : „An Approach to the Development of General Capabilities for Molecular Manipulation“, Proc.Natl.Acad.Sci.USA, 78 (1981), str. 5275
6. Drexler K.E.: „Engines of Creation – The Coming Era of Nanotechnology“, Anchor Books, New York, 1986, ISBN 0-585-19973-2
7. Drexler K.E.: „Nanosystems – Molecular Machinery, Manufacturing and Computation“, J.Wiley&Sons, Inc., New York, 1992, ISBN 0-471-57518-6
8. Taniguchi N.: „On the Basic Concept of Nanotechnology“, Proc.Int.Conf. on Production Engineering, part 2, 1974, JSPE, Tokyo
9. Antón P.S., Silbergliitt R., Schneider J.: „The Global Technology Revolution“, RAND – National Defense Research Institute, Arlington VA, 2001, ISBN 0-8330-2949-5, www.rand.org/publications
10. „National Nanotechnology Initiative“; 2004, <http://www.nano.gov>
11. www.nanotec.org.uk
12. Poole Jr. Ch.P., Owens F.J.: „Introduction to Nanotechnology“, Wiley-Interscience, Hoboken, NJ, 2003, str. 311, ISBN 0-471-07935-9
13. Vincent J.: „Materials Technology from Nature“, Metals and Materials, Jan. 1990, str. 7
14. Blakemore R.: Science, 190 (1975), str. 377
15. Šafařík I., Šafaříková M.: „Magnetic Particles and Biosciences“, Monatshefte für Chemie, 135 (2002), str.737
16. <http://www.british-museum.ac.uk/science/text/lycurgus/sr-lycurgus-p2-t.html>
17. Perez-Arantegui P, Molera J. aj.: Journal Am.Ceram.Soc., 84 (2001), str 442
18. Tanev P., Butruille J.R., Pinnavaia T.J.: „Nanoporous Materials“, Chemistry of Advanced Materials – An Overview, ed.by L.V. Interrante a M.J. Hampden-Smith, Wiley-VCH, Weinheim, 1998, ISBN 0-471-18590-6
19. Prnka T.: Československý časopis pro fyziku, sekce A, 19, 1969, str. 8
20. Prnka T.: „Vliv mikrostrukturních faktorů na mez kluzu precipitačně vytvrzených nízkolegovaných Cr-Mo-V ocelí“, Hutnické aktuality VÚHŽ Praha, 11, 1970, č.2, str. 9
21. Drexler K.E.: „Machine-Phase Nanotechnology“ v „Understanding Nanotechnology“, vyd. Scientific American, New York, 2002, str. 104., ISBN 0-446-67956-9
22. Drexler x Smalley: „Nanotechnology – Drexler and Smalley make the case for and against molecular assemblers“, Chemical & Engineering News, 81, 2003, No. 48, str. 37-42

23. TECHNIK: „Auto vypěstované na zahrádce?“, Technik. č. 1-2, 2004, str. 33
24. Pergamit G., Peterson C. (1993): „Nanotechnology“, citováno v /31/, str. 68.
25. National Nanotechnology Initiative – The Initiative and its Implementation Plan, NSTC, Washington, D.C., 7/2000
26. www.foresight.org
27. <http://crnano.org>
28. Roco M.C., Bainbridge W.S. Eds.: „Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology“, NSET Workshop Report, vyd. NSF, 3/2001
29. „Nanotechnology – Revolutionary Opportunities & Societal Implications“, Ed. M.Roco a R.Tomellini, 3rd Joint EC-NSF Workshop on Nanotechnology, Lecce (Italy), 2/2002, ISBN 92-894-3488-0
30. „The Big Down: From Genomes to Atoms“, vyd. ETC Group (Kanada), leden 2003; www.etcgroup.org
31. Arnall A.H. : „Future Technologies, Today's Choices“, vyd. Greenpeace Environmental Trust, London, 6/2003; www.greenpeace.org.uk
32. Wood S., Jones R., Geldart A. : „The Social and Economic Challenges of Nanotechnology“, vyd. ESRC, London, 7/2003; www.esrc.ac.uk
33. Smalley R. : „Of Chemistry, Love and Nanobots“, Scientific American, 9/2001, str. 76-77.
34. Smalley R.: „Nanotechnology and the Next 50 Years“, přednáška na Univerzitě v Dallasu, 7.12.1995, <http://cnst.rice.edu/dallas12-96.html>
35. Whitesides G.M. : „The Once and Future Nanomachine“, Scientific American, 9/2001
36. Nelson M., Shiphaugh C.: „The Potential of Nanotechnology for Molecular Manufacturing“, RAND, Santa Monica, CA, 1995, dokument č. MR-615-RC; www.rand.org/publications
37. Saxl O.: „Opportunities for Industry in the Application of Nanotechnology“, 1/1999, www.foresight.gov.uk
38. „New Dimensions for Manufacturing – A UK Strategy for Nanotechnology“, DTI Pub. 6182, London, 6/2002, www.dti.gov.uk
39. Hollister P., Harper T.E: „The Nanotechnology Opportunity Report“, vol. 1 a 2, vyd. CMP Cientifica, 3/2002
40. Amato I.: „Nanotechnology: Shaping the World Atom by Atom“, NSTC Report, Washington, D.C., 1999
41. Mnyusiwalla A., Daar A.S., Singer P.A.: „Mind the Gap: Science and Ethic in Nanotechnology“, Nanotechnology, 14 (2003), č. 3, str. R9-R13
42. Masterin J.: „Ethical Implications of Nanotechnology“, v 3rd Joint EC-NSF Workshop on Nanotechnology, „Nanotechnology – Revolutionary Opportunities & Societal Implications“, ed M.Roco, R.Tomellini, Lecce (Italy), 2/2002, str.91-94, ISBN 92-894-3488-0
43. Rolison D.R.: „Nanobiotechnology and its Societal Implications“, v 3rd Joint EC-NSF Workshop on Nanotechnology, „Nanotechnology – Revolutionary Opportu-

- nities & Societal Implications“, ed M.Roco, R.Tomellini, Lecce (Italy), 2/2002, str. 89-90, ISBN 92-894-3488-0
44. Mayer S.: „From Genetic Modification to Nanotechnology: the Dangers of Sound Science“, v „Science: Can We Trust Experts?“, vyd. T.Gilland, nakl. Hoddler & Stoughton, London, 2002, str. 1-15
 45. www.etcgroup.org
 46. Lowe T.: Advanced Materials & Processes, Jan. 2002, str. 63
 47. Huang Z., Chen A., Yip G., Ng P., Guo Z., Chen K., Roco M.C.: „Longitudinal patent analysis for nanoscale science and engineering: Country, institution and technology field“, J.Nanoparticle Res., 5, 2003, str. 3
 48. Bleeker R.A., Troilo L.M., Ciminello D.P.: „Patenting Nanotechnology“, Materials Today, Feb 2004, str. 44
 49. Roco M.C.: „Broader societal issues of nanotechnology“, J.Nanoparticle Res., 5, (2003), str. 181
 50. Román C.: „It`s Our to Lose – An Analysis of EU Nanotechnology Funding and the Sixth Framework Programme“, European Nanobusiness Association, Brussels, 10/2002; www.nanoeurope.org
 51. „Small Wonders, Endless Frontiers - A Review of the National Nanotechnology Initiative“, National Academy Press, Washington, D.C., 2002, ISBN 0-309-08454-7
 52. www.mpo.cz
 53. www.ml.com
 54. Roco M.C.: „Nanotechnology – A Frontier for Engineering Education“, Int.J.Engn. Ed., 18, 2002, č. 5, str. 488
 55. Prnka T.: „Výzkum nanotechnologií a nanomateriálů v Evropě a USA“, Repronis, Ostrava, 2001, ISBN 80-86122-86-7
 56. „Šestý rámcový program evropského výzkumu – základní informace“, Repronis Ostrava, 11/2001, ISBN 80-86122-95-6
 57. www.cordis.lu/6fp; www.tc.cas.cz
 58. „Nanotechnology: opportunity or threat?“, Cordis focus, č. 224, 30.6.2003, str. 1-2
 59. Technický týdeník, 52, 2004, č. 65, str. 4
 60. Roco M.C.: „National Nanotechnology Initiative to Advance Broad Societal Goals“, MRS Bulletin, 6/2003, str. 416
 61. EPA: „Proceedings – EPA Nanotechnology and Environment: Applications and Implications STAR Progress Review Workshop“, 8/2002, Arlington, VA., http://es.epa.gov/ncer/publications/workshop/nano_proceed.pdf
 62. „Nanotechnologies: A Preliminary Risk Analysis“, zpráva z workshopu „Mapping out Nano Risks“, organizovaného DG Health and Consumer Protection EK v Bruselu, 3/2004, http://europa.eu.int/comm/health/ph_visk/events_risk_en.htm
 63. Rühle M., Dosch H., Mittenmeijer E.J., van der Voorde M.H. (Ed.): „European White Book on Fundamental Research in Materials Science“, Max-Planck-Institut für Metallforschung, Stuttgart, 2001, str. 302, ISBN 3-00-008806-7
 64. Zhang W-X.: „Iron Awe – Nanoparticles for Mine Site Remediation“, Materials World, 4/2004, str. 33

65. „Nanotechnologies: A Preliminary Risk Analysis on the Basis of a Workshop Organized in Brussels on 1-2 March 2004“, EC DG SANCO, 3/2004, www.cordis.lu/nanotechnology
66. „Materials: Shaping our Society“, vyd. Department of Trade and Industry (UK), č. publ. 5198/2k/12/00/NP, London, 12/2000, str. 39

Komise evropských společenství

Brusel 12. 5. 2004

COM (2004) 338, konečné znění

SDĚLENÍ KOMISE RADĚ

**NA CESTĚ K EVROPSKÉ STRATEGII
NANOTECHNOLOGIE**

OBSAH

Shrnutí	45
Úvod	46
1.1. Co je nanotechnologie?	46
1.2. Proč je nanotechnologie důležitá?	46
1.3. Jakou koncepci použít pro zajištění bezpečné nanotechnologie?	48
2. Financování VaV v oblasti nanotechnologie ve světě	48
2.1. VaV v oblasti nanotechnologie ve třetích zemích	48
2.2. VaV v oblasti nanotechnologie v Evropě	49
3. Cesta k nekonečně malému: Pět dynamických oblastí pro podporu pokroku ...	50
3.1. Výzkum a vývoj: vytváření hybné síly	51
3.2. Infrastruktura: „Centra high-tech“	53
3.3. Investice do lidských zdrojů	55
3.4. Průmyslové inovace: od poznatků k technologiím	57
3.5. Respektování společenské dimenze	60
4. Veřejné zdravotnictví, bezpečnost, ochrana životního prostředí a ochrana spotřebitelů	62
5. Další krok: mezinárodní spolupráce	63
Příloha: Odhad veřejné podpory nanotechnologie v roce 2003	65

SHRNUTÍ

Nanověda a nanotechnologie jsou nové koncepce výzkumu a vývoje (VaV), které jsou zaměřeny na usměrňování základní struktury a chování hmoty na úrovni atomů a molekul. Tím se otvírá možnost pochopit nové jevy a rozvíjet nové vlastnosti na mikro i makro úrovni. Aplikace nanotechnologie se již rýsují a budou ovlivňovat život každého občana.

V minulém desetiletí vytvořila Evropská unie (EU) v nanovědách solidní základ poznání. Naše schopnost si toto postavení udržet je ohrožena tím, že EU investuje relativně méně než její hlavní konkurenti a chybí centra s infrastrukturou světové úrovně, která by vytvářela nezbytnou kritickou masu. K nedostatkům patří i skutečnost, že sice investice v národních programech členských zemí EU rychle rostou, ale bez vzájemné koordinace.

Evropský špičkový výzkum v oblasti nanověd musí být konec konců transformován do hospodářsky akceptovatelných produktů a postupů. Nanotechnologie je nejnadějnější a rychle expandující oblastí VaV. Nanotechnologie může propůjčit i nové impulsy dynamickým a na znalosti orientovaným cílům z Lisabonu. Rozhodující však je vytvořit příznivé předpoklady pro inovace, především v malých a středních podnicích (MSP).

Je třeba rozvíjet bezpečnou a spolehlivou nanotechnologii. Je nutné dodržovat etické zásady a zkoumat potenciální zdravotní, bezpečnostní a ekologická rizika a připravit i případnou regulaci. Je nutné posuzovat a respektovat společenské dopady. Dialog s veřejností nabývá rozhodujícího významu. Pozornost je nutné zaměřit na otázky skutečného významu nikoli na „scénáře science-fiction“.

V předkládaném sdělení jsou navržena opatření jako součást integrované koncepce, která udrží evropský VaV v oblasti nanověd na dobré úrovni a tuto úroveň budou dále rozvíjet. Posouzeny jsou otázky, které jsou rozhodující pro získání a využití poznatků VaV k prospěchu společnosti. Nastal čas pro zahájení diskuse na institucionální úrovni o koherentních opatřeních pro:

- zvýšení investic a koordinaci VaV s cílem rozvíjet průmyslové využití nanotechnologie a zároveň zachovat vysokou úroveň vědy a konkurenceschopnosti;
- rozvoj konkurenceschopné infrastruktury (high-tech center), která pokryje potřeby průmyslu a výzkumných organizací;
- podporu interdisciplinárního vzdělávání výzkumného personálu, včetně celoživotního, které by bylo zaměřeno i na podnikatelský způsob myšlení;
- zabezpečení příznivých podmínek pro transfer technologií a inovací tak, aby produkty a postupy špičkového technologického VaV přispívaly ke zlepšování životní úrovně;
- včasné zařazení společenských úvah do procesu VaV;
- posouzení potenciálních rizik pro zdraví, bezpečnost, životní prostředí a spotřebitele, a to především získáním nezbytných údajů pro hodnocení rizik a jejich integraci pro každou etapu životního cyklu nanotechnologických produktů; dále pro změny stávajících metod a popřípadě i pro rozvoj metod nových;
- propojování výše uvedených opatření vhodnou spoluprací a iniciativami na mezinárodní úrovni.

Uvedená opatření odpovídají závěrům zasedání Evropské rady v roce 2000 v Lisabonu, na kterém byla vyhlášena připravenost k rozvoji dynamického hospodářství a společností

založených na znalostech. Tento cíl byl upřesněn na zasedání rady v roce 2001 v Göteborgu a nutnost prosazení zásad udržitelného rozvoje na zasedání rady v roce 2002 v Barceloně, kde byl stanoven cíl dosáhnout v roce 2010 výdajů na VaV v úrovni 3% HDP¹. Opatření dále přispějí k rozvoji Evropského výzkumného prostoru (ERA)².

1. ÚVOD

1.1 CO JE NANOTECHNOLOGIE?

Předpona „nano“ pochází z řeckého jazyka a označuje „trpaslíka“, avšak ve vědě a technice znamená 10^{-9} , tj. jedna miliardtina ($=0,000000001$). Jeden nanometr (nm) je miliardtina metru, to znamená nějakých deset tisícín průměru lidského vlasu. **Pojem „nanotechnologie“ je v tomto sdělení používán jako společný pojem, který zahrnuje různé obory nanovědy a nanotechnologie. Podobně je používán termín „nanověda“.**

Pojmově je nanotechnologie věda a technologie na atomární a molekulární úrovni a odkazuje na vědecké principy a nové vlastnosti, které lze pochopit a ovládnout, jestliže pracujeme v této oblasti. Tyto vlastnosti pak mohou být pozorovány a využívány na mikro a makro úrovni, např. při vývoji materiálů a přístrojů s inovovanými funkcemi a výkonností.

1.2 PROČ JE NANOTECHNOLOGIE DŮLEŽITÁ?

Nanověda je často označována jako „horizontální“, „klíčový“ nebo „základní“ soubor různých vědních disciplín, které prakticky pronikají do všech oblastí technologie. Často se různé obory vědy spojují a vytvářejí interdisciplinární nebo „konvergující“ koncepty. Od toho lze očekávat významný příspěvek k řešení četných problémů dnešní společnosti:

- **Aplikace v medicíně** zahrnují např. miniaturizované diagnostické metody, které by mohly být použity ke včasnému rozpoznávání chorob a stavu organismu. Nanotechnologické povrchy mohou zlepšit bioaktivitu a biokompatibilitu implantátů. Samooorganizující se struktury otevírají cestu pro nové generace tkáňových technologií a pro biomimetické materiály a poskytují dlouhodobou perspektivu pro syntetické transplantace orgánů. Vytvářejí se zcela nové systémy pro podávání léků. Nedávno se podařilo transportovat nanočástice do buněk tumoru s cílem jeho likvidace ohřevem.
- **Informační technologie** zahrnují nosiče dat s velmi vysokou hustotou záznamu (např. 1 Terabit/inch²) a nové, flexibilní technologie pro obrazovky. V dlouhodobé perspektivě by mohly molekulární nebo biomolekulární nanoelektronika, spintronika nebo kvantové počítání ukázat nové cesty, které překonají současné počítačové technologie.
- **Výroba a akumulace energie** může nanotechnologie například prospět novými palivovými články nebo lehkými nanostrukturními pevnými látkami, které budou vhodné i pro efektivní skladování vodíku. Dále jsou vyvíjeny účinné, nákladově příznivé fotovoltaické solární články (např. „solární barvy“). Vývoj nanotechnologie, která umožňuje

¹ Závěry předsednictví jsou k dispozici na adrese <http://ue.eu.int/info/eurocouncil/index.htm>

² „The European Research Area: Providing new momentum – Strengthening-Reorienting-Opening up new perspectives“, COM (2002) 565 konečné znění.

lepší izolaci, dopravu elektřiny a účinnější osvětlení, je rovněž slibný pro úspory energie.

- Vývoj nanotechnologie v oblasti **materiálového inženýrství** by mohl mít dalekosáhlé dopady prakticky ve všech oblastech. Nanočástice byly již použity k zpevnění materiálů nebo k vývoji nových druhů kosmetických přípravků. Je možné modifikovat povrchy využitím nanostruktur, takže se stanou odolnějšími proti poškrábání, odolnějšími proti vodě, čistšími nebo sterilnějšími. Výkonnostní parametry materiálů v extrémních podmínkách je možné podstatně zlepšit, což umožní pokrok v letectví a kosmonautice.
- **Výroba** na nano úrovni vyžaduje novou interdisciplinární koncepci jak výzkumných postupů, tak postupů výrobních. Při přípravě koncepcí máme dvě možnosti: vycházet od mikrosystémů a tyto systémy miniaturizovat („koncepte top-down“), nebo napodobovat přírodu vytvářením struktur na atomové a molekulární úrovni („koncepte bottom-up“). První cesta je shodná s montáží, druhá se syntézou. Koncepte bottom-up se stále ještě nachází ve stadiu vývoje, má však neobyčejně rozsáhlé dopady a může vést k úplné přestavbě stávajících výrobních řetězců.
- **Přístroje** pro zkoumání vlastností látek na nano úrovni přinesly již významné přímé i nepřímé účinky, které umožnily pokrok v četných oblastech. Vynález rastrovacího tunelového mikroskopu byl rozhodující pro vznik nanotechnologie. Přístroje hrají rovněž důležitou úlohu při rozvoji výrobních postupů „top-down“ i „bottom-up“.
- **Výzkum potravin, vody a životního prostředí** může být rozvinut využitím nanotechnologie zejména při zjišťování a neutralizaci přítomnosti mikroorganismů nebo pesticidů. Původ potravin by mohl být sledován pomocí nového způsobu miniaturizovaného „značkování“. Vývoj nanotechnologických (např. fotokatalytických) technologií pro odstraňování škodlivin by mohl významně pomoci při odstraňování škod v životním prostředí (např. znečištění vod nebo půdy ropnými produkty).
- **Bezpečnost** by mohla být zvýšena např. inovovanými systémy rozpoznávání s vysokou přesností a včasným upozorněním na biologické nebo chemické látky již na úrovni jednotlivých molekul. Zlepšená ochrana vlastnictví, jako např. bankovek, by mohla být zabezpečena nano etiketami. V současné době jsou již v dnes vyvíjeny nové šifrovací postupy pro datové komunikace.

Na trh již byly uvedeny nejrůznější nanotechnologické produkty, mezi nimi výrobky pro medicínu (např. bandáže, srdeční chlopně aj.), konstrukční prvky pro elektroniku, nepoškrabatelné nátěry, sportovní nářadí, textilie odolné proti pomačkání a zašpinění a sluneční krémy. Podle analytiků činí trh pro současné produkty 2,5 mld. € a mohl by do roku 2010 dosáhnout úrovně několika stovek miliard a později i bilionu €³.

Využitím nanotechnologie je možné dosáhnout vyšších výkonů při nižší spotřebě surovin, zejména při výrobě způsobem „bottom-up“, kdy se snižuje odpad v průběhu celého životního cyklu produktu. Nanotechnologie může přispět k udržitelnému rozvoji⁴, k realizaci cílů „Agendy 21“⁵ a k Akčního plánu technologií pro životní prostředí⁶.

³ Viz např. údaje v „New Dimension for Manufacturing: A UK Strategy for Nanotechnology“, DTI (2002), str. 24.

⁴ „A Sustainable Europe for Better World: A European Union Strategy for Sustainable Development“, COM (2001) 264. Srovnej s United Nations Millenium Declaration (<http://www.un.org/millenium/>).

⁵ Viz <http://www.un.org/esa/sustdev/documents/agenda21/index.htm>.

⁶ Viz http://europa.eu.int/comm/research/environment/etap_en.html.

1.3 JAKOU KONCEPCI POUŽÍT PRO ZAJIŠTĚNÍ BEZPEČNÉ NANOTECHNOLOGIE?

Na základě Smlouvy o ES musí nanotechnologie vyhovět velmi náročným požadavkům na veřejné zdraví, bezpečnost, ochranu spotřebitelů⁷ a ochranu životního prostředí⁸. U této rychle se rozvíjející technologie musí problémy (skutečné nebo zdánlivé) být zjištěny a řešeny co nejdříve, tak brzy, jak je to jen možné. Úspěšné využití nanotechnologie vyžaduje solidní vědeckou bázi, aby bylo možné získat důvěru jak spotřebitelů, tak i podniků. Dále musí být uděláno vše pro zachování zdraví a bezpečnosti na pracovištích.

Aspekty rizik musí být řešeny jako integrovaná součást koncepce. VaV až po komerční využití musí zajistit bezpečný vývoj, výrobu, využití a likvidaci nanotechnologických produktů. Nanotechnologie je postavena před nové úkoly při hodnocení rizik a pro management rizik. Proto je nutné provádět paralelně s vývojem technologií i VaV práce pro získání kvantitativních údajů v oblasti toxikologie a ekotoxikologie (včetně údajů o nezávadných dávkách a expozičních dobách pro člověka a životní prostředí). Jedině tak bude možné včas a účinně provádět hodnocení rizik, popřípadě přizpůsobit postupy hodnocení rizik novým potřebám. Opatření v oblasti veřejného zdraví, životního prostředí a ochrany spotřebitelů jsou uvedena na jiném místě sdělení.

2. FINANCOVÁNÍ VAV V OBLASTI NANOTECHNOLOGIE VE SVĚTĚ

Vzhledem k potenciálu nanotechnologie realizují mnohé země programy VaV s rozsáhlými a rychle rostoucími veřejnými investicemi. V uplynulém desetiletí vzrostly veřejné investice explozivním způsobem z cca 400 milionů € v roce 1997 na současné více než 3 miliardy €. Tato část sdělení uvádí přehled o veřejně financovaných iniciativách v oblasti nanotechnologie.

Príspevek soukromého sektoru k financování VaV v oblasti nanotechnologie nelze přesně zjistit, oceňuje se odhadem na 2 miliardy €; tím se zvyšují celkové investice na cca 5 miliard €. V této souvislosti je vhodné poznamenat, že EU s 56 % celkových investic ze soukromých zdrojů zaostává za USA a Japonskem, kde podíly soukromých investic činí 66 % resp. 73 %⁹.

2.1 VAV V OBLASTI NANOTECHNOLOGIE V TŘETÍCH ZEMÍCH

S vyhlášením Národní nanotechnologické iniciativy (NNI) zahájily USA ambiciózní program VaV v oblasti nanotechnologie. Federální výdaje vzrostly z 220 milionů na 750 milionů \$; pro rok 2005 bylo navrženo 982 milionů. Další podporu ve výši cca 300 milionů \$ poskytují jednotlivé státy USA.

Dlouhodobá angažovanost USA byla nedávno zabezpečena přijetím „21st Century Nanotechnology Development Act“ pro období 2005–2008. V jeho rámci mají být poskytnuty téměř 3,7 miliardy \$ pěti agenturám (NSF, DoE — Ministerstvo energetiky, NASA,

⁷ Články 152 a 153 Smlouvy o EU vyžadují při „stanovování a realizaci všech politik Společenství [...]“ „vysokou úroveň ochrany zdraví“ a „vysokou úroveň ochrany spotřebitelů.“

⁸ V článku 174 Smlouvy o ES jsou jako cíle kromě jiného uvedeny „zachování a ochrana životního prostředí a zlepšení jeho kvality“, „prozíravé a racionální využití přírodních zdrojů“ a „podpora opatření pro zvládnutí regionálních a globálních problémů na mezinárodní úrovni“.

⁹ Evropská komise, „Key Figures 2003–2004“ (2003).

NIST a EPA). Současná podpora se do roku 2008 více než zdvojnásobí. V těchto částkách nejsou obsaženy výdaje na obranu v Ministerstvu obrany (DoD) a další oblasti, které v současné době dosahují téměř jedné třetiny výdajů federálního rozpočtu na nanotechnologii.

Japonsko označilo v roce 2001 nanotechnologii za jednu ze svých hlavních priorit ve výzkumu. Ohlášené příspěvky stouply skokem z 400 milionů \$ v roce 2001 na přibližně 800 milionů \$ v roce 2003 a překonaly tím výši federální podpory v USA. Do roku 2004 by měly výdaje v Japonsku vzrůst o dalších 20 %. S podporou cca 2 miliard \$ zahájila Jižní Korea svůj ambiciózní desetiletý program, zatímco Taiwan zajistil cca 600 milionů \$ z veřejných prostředků pro období šesti let.

Čína investuje stále více a více do nanotechnologie, což je velmi významné s ohledem na kupní sílu země. Podíl Číny na celosvětovém počtu publikací rychle roste. Přírůstky činily koncem 90. let 200 %, čímž se Čína přiblížila EU a USA. Ruská federace a několik dalších nových nezávislých států se dobře etablovalo v oblasti nanotechnologie.

Mnohé další regiony a země, mezi nimi Austrálie, Indie, Izrael, Kanada, latinská Amerika, Malajsie, Nový Zéland, Filipíny, Singapur, Jižní Afrika a Thajsko, věnují nanotechnologii rostoucí pozornost.

2.2 VAV V OBLASTI NANOTECHNOLOGIE V EVROPĚ

Evropa včas rozpoznala potenciál nanotechnologie a zásluhou několika nejbrilantnějších vědců vybudovala solidní poznatkovou základnu v této oblasti. Několik zemí zavedlo vlastní výzkumné programy v období od poloviny do konce 90. let. Přestože některé země nezavedly specifické iniciativy v oblasti nanotechnologie, je příslušný výzkum zahrnut do ostatních programů (např. biotechnologie, mikrotechnologie aj.).

Porovnáme-li Evropu, Japonsko a USA, potom v oblasti nanotechnologie neexistuje žádný jednoznačný „vítěz“ nebo „poražený“. Přesto je však možné prokázat určité tendence. Sílu Evropy v oblasti nanovědy lze doložit tím, že v období 1997–1999 činil podíl Evropy na celosvětovém počtu publikací 32 %, oproti 24 % USA a 12 % Japonska¹⁰. Zdá se, že však průmysl nedokáže vždy tyto poznatky využít. Podíl EU na celosvětovém počtu patentů činí 36 %, oproti 42 % USA, což poukazuje na nedostatky při převodu výsledků VaV do praxe.

Veřejné investice členských zemí se vzájemně podstatně liší jak v absolutních, tak i v relativních číslech. Prostředky vynaložené v Evropě na VaV v oblasti nanotechnologie vzrostly z cca 200 milionů € v roce 1997 na současnou 1 miliardu €. Z těchto prostředků připadají dvě třetiny na národní a regionální programy.

V absolutních číslech investuje EU pozoruhodné finanční prostředky a je tak na přibližně stejné úrovni s USA a Japonskem. Na obyvatele však činí veřejné investice v EU-25 jen 2,4 € (EU-15 potom 2,9 €/obyv.) proti 3,7 €/obyv. v USA a 6,2 €/obyv. v Japonsku. EU-25 investuje do nanotechnologie 0,01 % HDP, USA rovněž 0,01 % HDP a Japonsko 0,02 % HDP.

Ve všech zemích EU-25 s výjimkou Irska jsou v současné době investice vztažené na jednoho obyvatele nižší než v USA a Japonsku. Dále je nutné vzít na vědomí plánované zvýšení výdajů v USA a Japonsku, kde předpokládají zvýšení do roku 2006 na

¹⁰ Třetí evropská zpráva o ukazatelích vědy a technologií, Evropská komise (2003), viz http://www.cordis.lu/indicators/third_report.htm.

hodnotu 5 €/obyv. (USA), resp. na 8 €/obyv. v roce 2004 (Japonsko). Zdá se, že se rozdíl mezi EU a jejími hlavními konkurenty dále zvyšuje.

Jeden z podstatných rozdílů mezi EU a jejími hlavními konkurenty spočívá v tom, že evropský VaV v oblasti nanotechnologie je ohrožen značnou fragmentací nesourodých a rychle připravovaných programů a finančních zdrojů. V roce 2003 bylo poskytnuto z 6. Rámcového programu 350 milionů €, tzn. třetina celkových evropských investic do nanotechnologie.

Charakteristické pro naše hlavní konkurenty jsou koordinované, případně centralizované programy VaV nanotechnologie. V USA byly například více než dvě třetiny finančních prostředků v rámci Národní nanotechnologické iniciativy soustředěny do federálního programu. Je nepravděpodobné, že by EU mohla zůstat konkurenceschopnou ve světě bez cíleného zaměření a koordinace na úrovni Společenství.

Výzkum v oblasti nanotechnologie je prováděn i v přístupujících zemích, které se podílejí na projektech rámcových programů EU. Švýcarsko provádí již řadu let výzkum v oblasti nanotechnologie a má jeden z nejvyšších podílů na patentech a publikacích vztažených na jednoho obyvatele. Rovněž v ostatních zemích, které jsou asociovány k 6. RP, byly vyhlášeny výzkumné programy nanotechnologie.

Četné kooperační výzkumné projekty a další iniciativy byly již podpořeny v Rámcových programech výzkumu EU. Odstartování přeshraniční spolupráce poskytlo výzkumu podstatnou celoevropskou dimenzi; veřejné a soukromé prostředky byly významně zvýšeny. Pozoruhodný počet nanotechnologických projektů¹¹ byl již financován ve čtvrtém a pátém rámcovém programu. Avšak teprve v 6. RP¹² byla nanotechnologie vyhlášena jako prioritní oblast.

3. CESTA K NEKONEČNĚ MALÉMU: PĚT DYNAMICKÝCH OBLASTÍ PRO PODPORU POKROKU

Na dnešním světovém trhu není myslitelný hospodářský růst bez inovací, které však opět předpokládají výzkum. VaV světové úrovně je podstatnou součástí tohoto procesu, respektovat však musíme i další faktory. V této souvislosti je možno uvést pět dynamických oblastí: VaV, infrastruktura, vzdělání a celoživotní vzdělávání, inovace a společenská dimenze. V těchto vzájemně souvisejících dynamických oblastech potřebujeme k tomu, abychom plně využili potenciál evropského výzkumného prostoru (ERA), řadu kombinovaných opatření na úrovni Společenství.

Integrovaná koncepce VaV v oblasti nanovědy a nanotechnologie byla důležitým výsledkem „Euro Nano Fóra 2003“¹³, které v prosinci 2003 uspořádalo GD Výzkum a kterého se zúčastnilo více než 1 000 odborníků z celého světa. K dalším aktivitám z poslední doby patří i workshop uspořádaný GD Zdraví a ochrana spotřebitelů (SANCO) o potenciálním riziku nanotechnologie, který se konal v březnu 2004¹⁴. Další iniciativy, např. o plánování a výzkumu budoucnosti, zabezpečovaly GD Výzkum a Společné výzkumné centrum (Joint Research Center – JRC).

¹¹ Bližší podrobnosti je možné získat v databance projektů na adrese <http://www.cordis.lu/fp6/projects.htm>.

¹² Viz <http://fp6.cordis.lu/fp6/home.cfm>.

¹³ Viz <http://www.euronanoforum2003.org/>.

¹⁴ Viz http://europa.eu.int/comm/health/ph_risk/events_risk_en.htm.

3.1 VÝZKUM A VÝVOJ: VYTVÁŘENÍ HYBNÉ SÍLY

Vzhledem k intelektuálním, vědeckým a technickým požadavkům, se kterými se musíme v oblasti nanovědy a nanotechnologie vyrovnat, potřebujeme ve VaV špičkové kapacity. Jedině tak lze zabezpečit dlouhodobou konkurenceschopnost Evropy. Rozhodující přitom jsou podpora VaV z veřejných zdrojů, dostatek výzkumných pracovníků světové úrovně a konkurence výzkumných týmů na evropské úrovni.

Zároveň je však nezbytné transformovat získané poznatky do inovovaných výrobků a technologií, které mohou zlepšit konkurenceschopnost evropského průmyslu. Přitom je nutné nejen podávat špičkové vědecké výkony, nýbrž i výrazně zvýšit investice do průmyslového VaV. Zároveň je nezbytné posílit VaV na úrovni Společenství a koordinaci opatření jednotlivých národních politik výzkumu. Jedině tak lze zajistit potřebná kritická množství personálních a finančních kapacit.

3.1.1 Zvýšení investic do znalostí pro růst konkurenceschopnosti Evropy

Růst životní úrovně a vytváření pracovních míst na globálním trhu a v ekonomice založené na znalostech předpokládají konkurenčně orientované generování nových poznatků. Evropský VaV musí podávat špičkové výkony. Výsledků však musí být dosaženo včas a s celkovými náklady, které budou konkurenceschopné; jinak totiž existuje riziko přesunu průmyslových aktivit do oblastí, v kterých je tvorba nových poznatků nákladově efektivnější. Jestliže se nám podaří dostat se v tvorbě nových poznatků na špičku, můžeme obrátit současnou tendenci a zajistit tak zachování pokročilého, na znalostech založeného průmyslu v Evropě¹⁵.

Evropské veřejné investice do VaV v oblasti nanotechnologie nesmějí být v příštích pěti letech podstatně nižší než investice hlavních konkurentů. Jsme konfrontováni s nebezpečím, že ztratíme hybnou sílu, jestliže při respektování cílů z Lisabonu nebudou investice na evropské úrovni podstatně zvýšeny; do roku 2010 minimálně na trojnásobek. Tyto investice by však neměly mít negativní dopad na jiné programy VaV. Investice by se v souladu s „cílem 3 % HDP“¹⁶ měly koncentrovat na nejnáročnější aspekty, a to především průmyslové inovace založené na znalostech („nanovýroba“), na integraci makro, mikro a nano úrovně a na interdisciplinární (konvergující) VaV.

Výhodou může být i synergie s evropskou strategií pro oblast biověd a biotechnologií¹⁷.

Investice do VaV by měly být zvyšovány komplementárně a jednotně jak na úrovni Společenství, tak i na úrovni jednotlivých států. Kooperační výzkumné projekty na evropské úrovni jsou zásadním předpokladem pro získání kvality, dosažení kritického množství personálních a finančních zdrojů, což je nezbytné pro dosažení špičkových výsledků. To je zvláště důležité pro dosažení rychlého pokroku v nanotechnologii interdisciplinárním VaV. Prioritou musí být synergie výzkumu, infrastruktury a vzdělání, tedy aktivit, které jsou vzájemně neoddelitelně spojeny. Tato systematická koncepce podporuje generování poznatků a zároveň natrvalo získává nejlepší vědce z oblasti technologií pro práci v Evropě.

¹⁵ V poslední době se EU objevují vážné obavy z deindustrializace Evropy

¹⁶ „More Research for Europe: Towards 3% of GDP“, COM (2002) 499 konečné znění.

¹⁷ „Life Sciences and Biotechnology: A Strategy for Europe“, COM (2002) 27.

3.1.2 Výzkum na úrovni Společenství

Konkurenčně orientovaný, transparentní výzkum na úrovni Společenství je podstatný prostředek pro stimulaci a podporu výzkumu světové úrovně v Evropském výzkumném prostoru (ERA). Shromažďuje poznatky, vytváří nejlepší výzkumné týmy složené z odborníků různých disciplín a je styčným místem mezi průmyslem a vysokými školami. Tím i upravuje vhodné podmínky pro interdisciplinární VaV, který je nezbytný pro dosažení pokroku v nanotechnologii.

Na nanotechnologii již byl zaměřen pozoruhodný počet výzkumných projektů rámcových programů EU. Špičkový VaV sice dále výrazně pokročil, ale klíčová úloha nanotechnologie byla uznána až v 6. RP, kde jsou příslušné aktivity VaV zahrnuty do jedné tematické oblasti. Tímto uspořádáním chce Komise předejít problémům tříštění sil, duplicit a přílišné rozmanitosti. Byly zavedeny dva nové nástroje: integrované projekty (IP) a síť špičkových pracovišť (NoE). K nim patří řada dalších nástrojů a opatření¹⁸, mezi nimi i specifické IP pro malé a střední podniky.

Od zveřejnění prvních výzev k předkládání návrhů bylo již vybráno přes 20 IP a NoE pro VaV v oblasti nanotechnologie. IP vytvářejí kritická množství aktérů a finančních zdrojů nezbytných pro stanovené cíle. Uvedené IP a NoE zahrnují všechny aspekty – technické a netechnické – VaV a mohly by zajistit přechod od nanovědy k nanotechnologii tím, že spojují výzkumná a podniková konsorcia.

Evropské technologické platformy (ETP) jsou nově požívanou koncepcí, která má spojit všechny zainteresované aktéry při návrhu společné dlouhodobé vize, přípravě prováděcích plánů, k zabezpečení financování a k prosazení koherentní koncepce řízení. Tato koncepce musí být vzhledem k nutnosti dosažení synergie a účinné koordinace různých aktérů v souladu se specifiky příslušné technologické oblasti.

3.1.3 Koordinace národních politik

Národní a regionální politiky a programy poskytují významný rámec pro financování VaV v oblasti nanotechnologie. Jisté však je, že národní kapacity často nepostačí na vytvoření high-tech center světové úrovně. Proto je naléhavě nutné tyto národní programy koordinovat tak, aby opatření byla sjednocena a vzájemně provázána. Cílem je vytvořit kritická množství a ve třech synergických osách – výzkumu, infrastruktuře a vzdělávání – dosáhnout většího účinku v Evropském výzkumném prostoru (ERA).

K podpoře přechodu nanotechnologie do aplikací a k posílení a využití interdisciplinárního charakteru VaV v oblasti nanotechnologie musí být koordinovány národní programy. Národní programy často mají rozdílné obory a priority a proto se koordinace musí soustředit na dosažení kritických množství v aplikovaném VaV a na překonání rozdílných vědeckých koncepcí. Jedině tak je možné zajistit rychlý transfer poznatků do inovačních aplikací v celé Evropě.

Iniciativy jako OMC (Open Method of Coordination)¹⁹ a ERA-NET²⁰ mohou podpořit koordinaci programů a činností na národní úrovni i v celoevropských organizacích (např. v JRC). Tyto iniciativy mohou být doprovázeny i příslušným srovnáním výkonnosti pro hodnocení pokroku.

¹⁸ Všechny nástroje 6. RP jsou uvedeny na adrese <http://fp6.cordis.lu/fp6/home.cfm>.

¹⁹ Podle závěrů předsednictví Evropské rady v Lisabonu, viz <http://ue.eu.int/>.

²⁰ Viz <http://www.cordis.lu/coordination/home.html>.

3.1.4 Technologické plánování a výzkum budoucnosti

Technologické plánování rozvoje (roadmaps) umožňuje definovat a hodnotit pokrok v nanotechnologii a sledovat přechod do vyzrálejších fází průmyslového vývoje. Příprava technologických plánů rozvoje je sama o sobě smysluplná. Vede totiž všechny zúčastněné k interakcím a společným úvahám o stanovení úkolů, o postupech, dopadech a budoucích potřebách. Vše zahrnující technologický plán rozvoje pro nanotechnologie by však byl nereálný, protože oblast jako celek je příliš rozsáhlá. Místo něj by měly být připravovány technologické plány rozvoje pro dostatečně rozvinuté jednotlivé obory. Různé plány a strategie rozvoje mohou být připraveny zejména s přispěním Institutu pro výzkum budoucnosti technologií JRC (The Institute for Prospective Studies JRC v Seville - IPTS).

Jestliže jde o využití plánu technologického rozvoje jako strategického nástroje, potom výzkum budoucnosti (foresighting) má důležitou úlohu, neboť předjímá budoucí vývoj a umožňuje odpovídající plánování. Má to význam především v případě nanotechnologie, která prochází bouřlivým rozvojem a vyžaduje posouzení možných společenských dopadů. Vyžaduje to specifickou metodiku. Na úrovni EU je vytvářena skupina nezávislých špičkových expertů s názvem - „Perspektivy nového technologického průlomu: konvergující nano-, bio- a informační technologie a jejich dopady na společnost a konkurenceschopnost v Evropě“ („Foresighting the new technology wave: Converging nano-, bio- and info-technologies and their social and competitive impact on Europe“).

Opatření: Evropský výzkumný prostor pro nanotechnologii
1. Aby si nanověda a nanotechnologie udržely své špičkové postavení, musí EU zvýšit svoji angažovanost ve VaV. Komise bude pečovat o synergii s programy na národní úrovni a vyzývá členské státy (a) Zvýšit do roku 2010 veřejné investice do nanovědy a nanotechnologie koherentním, koordinovaným způsobem na trojnásobek současných investic, přičemž je nutné respektovat cíl Lisabonu - 3 %HDP. (b) Podpořit špičkový výzkum v oblasti nanovědy posílením konkurence na evropské úrovni. (c) Podpořit VaV v oblasti nanotechnologie zaměřený na aplikace zvyšující kvalitu života s důrazem na zapojení MSP. (d) Provázet v příštím rámcovém programu činnosti VaV a zajistit tak kritická množství a synergii pro rozvoj nanovědy, nanotechnologie, navazující výroby a bezpečnostních aspektů. (e) Pečovat o koordinaci národních programů. (f) Zpracovávat technologické plány rozvoje a provádět výzkum budoucnosti na evropské úrovni zapojením špičkových pracovišť a takových ústavů, jako je IPTS.

3.2 INFRASTRUKTURA: „CENTRA HIGH-TECH“ („POLES OF EXCELLENCE“)

Infrastruktura je tvořena zařízeními a zdroji, které poskytují výzkumnému společenství významné služby. Přitom může jít o konkrétní infrastrukturu s umístěním v jednom místě, rozdělenou infrastrukturu (sítí místně oddělených zdrojů) nebo „virtuální“ infrastrukturu (elektronické zabezpečení a poskytování služeb). Zařízení a přístroje na nejvyšší

úrovni techniky jsou pro rozvoj nanotechnologie stále důležitější, též pro demonstraci, zda je možné transformovat VaV do produktů a postupů zlepšujících životní úroveň.

Pro urychlení rozvoje nanovědy a nanotechnologie jsou nezbytné investice do většího počtu moderních zařízení a přístrojů. Na základě interdisciplinárního a komplexního charakteru těchto přístrojů musí být investice často realizovány soukromým sektorem na místní, regionální a národní úrovni. Podporu infrastruktury je možné rozdělit do třech investičních stupňů:

- Investice ve výši několika desítek milionů €, zpravidla na lokální nebo regionální úrovni, např. „Interdisciplinary Research Centres in Nanotechnology“ ve Spojeném království a „Competence Centres for Nanotechnology“ zřízená v Německu;
- Investice do 200 milionů €, zpravidla na národní úrovni. MINATEC ve Francii, IMEC v Belgii a MC2 ve Švédsku mohou být dobrými příklady. Staly se z nich centra s evropskou a světovou pověstí.
- Investice vyšší než 200 milionů €. Speciální zařízení pro výzkum nanotechnologie této velikosti v EU ještě neexistují, jsou však budovány v třetích zemích²¹.

Současná infrastruktura ne vždy vyhovuje potřebám průmyslu. Tyto nedostatky mohou mít příčinu správně-technickou nebo geografickou; může jít i o problémy přístupu nebo nejednotnosti podmínek pro autorská práva. Řešení, jako „otevřené laboratoře“, ke kterým získá průmysl bezproblémový přístup, jsou mimořádně vzácná, jsou však naléhavě nutná. Zejména MSP často nedisponují potřebnými prostředky a z přístupu k laboratorům tohoto druhu by mohly profitovat tím, že by svůj VaV urychlily a zkrátily dobu potřebnou pro vstup na trh.

3.2.1 Nová centra high-tech“ („Poles of Excellence“) pro Evropu

Infrastruktura světové úrovně pro nanovědu a nanotechnologii s evropskou dimenzí a přitažlivostí („centra high-tech“) jsou bezpodmínečně nutná. Tato infrastruktura by poskytovala nejen přístup k nejnovějším zařízením, nýbrž by pokrývala i veškeré aspekty interdisciplinárního VaV, vzdělávání a vývoje prototypů. Mohla by zahrnovat i partnerství veřejného a soukromého sektoru a sloužit jako inkubátory pro podniky typu start-up a spin-off.

Aby dosáhly potřebného kritického množství, je třeba soustředit zdroje na omezený počet součástí evropské infrastruktury. K oblastem, kterým by prospěla vzájemná synergie, patří nanoelektronika, nanobiotechnologie a nanomateriály. Na jedné straně je nutné zabránit roztržtění a duplicitám, na straně druhé je však nutné zajistit konkurenci a jejím prostřednictvím špičkové výkony ve VaV.

Jednotlivé infrastruktury na evropské, národní i regionální úrovni musí být ve vzájemně vyváženém poměru. Dlouhodobě může být rozvoj několika „místních“ a/nebo sdílených center důležitým nástrojem pro zachování přiměřené konkurence. Evropské technologické platformy a grémia jako je ESFRI (European Strategy Forum on Research Infrastructure) mohou poskytnout významné impulsy pro zabezpečení optimální koncepce.

²¹ Příkladem může být „California Nanosystems Institute“, do kterého bylo investováno za cca 300 milionů \$ federálních, státních a soukromých prostředků (viz <http://www.cnsi.ucla.edu/mainpage.html>).

3.2.2 „Iniciativa pro růst“

Sdělením „Evropská iniciativa pro růst: investice do sítí a znalostí pro růst a zaměstnanost“²² byla ve spolupráci s Evropskou investiční bankou (EIB) zahájena rozsáhlá iniciativa. Aby nezůstala delší dobu nečinná, byl vyhlášen „Program rychlého startu (Quick start programme)“, který je financován půjčkami banky (prostřednictvím iniciativy EIB „Innovation 2010) a z prostředků soukromého sektoru (průmyslu).

Budování infrastruktur pro nanoelektroniku jsou v navrženém „Quick start programme“ na prvním místě. K ostatním projektům patří lasery příští generace (např. „lasery s volnými elektrony“), které například umožní získat obrázky atomové struktury nebo jednotlivých molekul. Tyto přístroje mají nedocenitelný význam pro rozvoj nanovědy a nanotechnologie a proto je nutné usilovat o synergii s ostatními opatřeními na evropské a národní úrovni.

Opatření: Infrastruktura
2. Infrastruktura světové úrovně ve formě „center high-tech“ („Poles of Excellence“) s evropskou dimenzí a přitažlivostí je podstatným předpokladem pro zvýšení konkurenceschopnosti EU ve VaV v oblasti nanovědy a nanotechnologie. Komise apeluje na členské státy, aby: (a) rozvíjely koherentní systém infrastruktury VaV, který by plně respektoval požadavky zúčastněných a rozvíjel synergie se vzděláváním; (b) učinily opatření pro zvýšení přínosu dosahovaného stávající infrastrukturou, přičemž je nutné vzít do úvahy potřeby průmyslu, zejména MSP. Komise poukazuje na nutnost: (c) posoudit a zmapovat stávající infrastrukturu, zjistit nejnaléhavější potřeby a urychlit pokrok v nanotechnologii, zejména v interdisciplinárním VaV; (d) v případě potřeby budovat nové specificky nanotechnologické infrastruktury na evropské úrovni s cílem dosáhnout kritických množství a vyhovět požadavkům průmyslu; (e) ověřit možnost vytvoření finanční synergie s Evropskou investiční bankou, Evropským investičním fondem a strukturálními fondy.

3.3 INVESTICE DO LIDSKÝCH ZDROJŮ

Pro využití potenciálu nanotechnologie potřebuje EU interdisciplinárně zaměřené výzkumníky a inženýry, kteří generují poznatky a starají se o jejich transfer do průmyslu. Dále EU potřebuje školené toxikology a posuzovatele rizik, kteří by odhadli a vyhodnotili rizika, která pro lidské zdraví mohou vyplynout z nanotechnologie. Nanotechnologie jako nová dynamická oblast poskytuje jedinečnou příležitost zaujmout mladé výzkumníky a jiné kvalifikované pracovníky pro kariéru ve výzkumu.

Podle nedávno zveřejněné zprávy²³ připadá na 1 000 zaměstnaných osob v Evropě 5,68 aktivních výzkumných pracovníků, oproti 8,08 v USA a 9,14 v Japonsku. Vezmeme-li

²² „A European initiative for growth: Investing in networks and knowledge for growth and jobs“, COM (2003) 690.

²³ Evropská komise, „Key Figures 2003–2004“ (2003), str. 44. Číselné údaje se pro Evropu týkají roku 2001, pro USA roku 1997 a pro Japonsko roku 2002.

v úvahu dosažení cíle 3% HDP na VaV, potom by EU potřebovala cca 1,2 milionů nových pracovníků pro VaV (z toho 700 000 výzkumných pracovníků)²⁴. Jsou nutná opatření pro získání výzkumníků pro trvalý pobyt v Evropě; platí to i pro doposud nevyčerpaný potenciál žen.

3.3.1 Získat mládež pro „nano“

Podstatná část předkládané koncepce spočívá v probuzení a udržování zájmu mládeže o vědu, a to již od malička. Podle všeho se zdá, že pravděpodobnost zahájení vědecké kariéry zásadním způsobem ovlivňují schopnosti učitelů, rodičů a medií probouzet nadšení pro „přicházení věcem na kloub“, jak to vyjádřil nositel Nobelovy ceny Richard Feynman. Jednoduché koncepce nanotechnologie mohou být sděleny praktickými vědeckými experimenty a demonstracemi.

Nanotechnologie se dobře hodí pro základní studium, neboť ji lze vyučovat jako celek a ne po jednotlivých disciplínách. Rozhodující však je, aby si mladá generace učinila nejen představu o výzkumu, ale i o tom, co vlastně výzkumný pracovník „dělá“. Studenti mohou učinit kritické rozhodnutí, jestliže se jim představí výzkum jako vzrušující a odpovědná životní dráha, která nabízí četné možnosti. Vhodnými přístupy jsou iniciativy typu „Evropský rok výzkumníků“²⁵.

3.3.2 Odstranění hranic mezi obory

Vysoké školy mají při rozvoji Evropy založené na znalostech centrální roli²⁶. Nanotechnologie klade velký důraz na interdisciplinární postupy. Představitelné by byly základní kurzy, které by studujícím nezávisle na „zapsaném“ oboru poskytl základní přípravu v různých oborech. Tím by bylo zajištěno, že nanotechnologové příštích generací budou „otevřenými odborníky“, kteří mohou komunikovat a spolupracovat s odborníky – kolegy z jiných oborů. Praktické „vzdělávání prostřednictvím výzkumu“ by se mohlo stát základním stavebním prvkem nanotechnologie.

U nanotechnologie přicházejí v úvahu nové formy vzdělávání, při kterých se stírají obvyklé ostré hranice mezi obory a které jsou zaměřeny na cílenou interdisciplinární výuku od zahájení studia až po jeho ukončení, včetně případných doktorských studií a programů. Dále by měly být posouzeny nové koncepce, které usnadňují spojování veřejných a soukromých finančních prostředků a další formy spolupráce vysokých škol a průmyslu (např. „zakládání podniků na univerzitách“ a „univerzity rizikového kapitálu“). Mohlo by to být realizováno v návaznosti na evropská „centra high-tech“ (viz opatření 2). Tím by studujícím byla poskytnuta ideální příležitost ke spojení praktických zkušeností se špičkovým výzkumem.

3.3.3. Výzkumníci a inženýři s podnikatelským duchem

Nedávno byla věnována pozornost na evropské úrovni kariérám výzkumníků. Přitom bylo poukázáno na několik slabých míst, mezi nimi na postupy obsazování míst, pracovní podmínky a rozdílné perspektivy pro ženy a muže²⁷. Překážky pro výměnu výzkum-

²⁴ „Investing in research: An action plan for Europe“, COM (2003) 226.

²⁵ „Researchers in the European Research Area: One profession, multiple careers“, COM (2003) 436.

²⁶ „The role of universities in the Europe of knowledge“, COM (2003) 58.

²⁷ „Making a European area of lifelong learning a reality“, COM (2001) 678 a „Commission`s Action Plan for skills and mobility“, COM (2002), 72.

ných pracovníků a inženýrů mezi výzkumem a průmyslem (dané rozdíly v hodnocení úspěšnosti – publikace proti patentům) dávají podnět k odstranění těchto rozdílů. Tyto překážky totiž mohou ohrožovat transfer technologií a inovace v nanotechnologii.

Usilujeme-li o dynamickou, na znalostech založenou společnost, potom je názor, že vzdělání končí tam, kde začíná zaměstnání, kontraproduktivní. Tím se zabývá akční plán pro kvalifikace a mobilitu²⁷. Nanotechnologie je dynamickou oblastí, která vyžaduje průběžné další vzdělávání. Jedině tak je možné vyučovat nejnovějším poznatkům. Čím více se nanotechnologie orientuje na trh, tím více nabývá na významu vzdělávání. Platí to především pro rozvoj start-up/spin-off podniků, správu portfolia autorských práv, bezpečnost a pracovní podmínky (včetně zdraví a bezpečnosti na pracovištích). Vzdělání musí zabezpečit inovátorům lepší perspektivy pro spolehlivé financování a prosazení jejich iniciativ.

Opatření: Investice do lidských zdrojů

3. Komise apeluje na členské státy, aby přispěly:

- (a) ke zjištění potřeb vzdělávání pro oblast nanotechnologie a k předložení příkladů vhodných postupů a/nebo výsledků pilotních studií;
- (b) k podpoře přípravy a zavádění nových studijních programů a plánů, k přípravě učitelů a učebních pomůcek pro podporu interdisciplinárních koncepcí nanotechnologie jak na středních školách, tak na školách vysokých;
- (c) začlenění dalších předmětů do doktorského a celoživotního vzdělávání, např. v oborech podnikání, zdraví a bezpečnosti na pracovištích, ochraně autorských práv, mechanismu vzniku spin-off, komunikace aj.

Komise vidí možnosti:

- (d) k ověření realizovatelnosti společné výzvy Marie-Curie²⁸ k předkládání návrhů projektů v oblasti nanovědy a nanotechnologie;
- (e) k zavedení „Celoevropské ceny za nanotechnologie“, která by podpořila interdisciplinární a podnikatelské myšlení výzkumných pracovníků.

3.4 PRŮMYSLOVÉ INOVACE: OD POZNATKŮ K TECHNOLOGIÍM

Na dnešních globalizovaných trzích je dlouhodobější hospodářský úspěch stále více závislý na generování poznatků, péči o tyto poznatky a na jejich využití. Generování poznatků vyžaduje investice do VaV; průmyslové inovace, mají-li přispívat ke zvyšování životní úrovně, jsou odkázány na nové poznatky. Tím se okruh uzavírá a nový soukromý kapitál může směřovat do VaV. Jak může evropský průmysl využít naše přednosti v nanovědě k produkci výrobků a poskytování služeb zvyšujících životní úroveň? Schopnost využít potenciál těchto poznatků v nanotechnologii je rozhodujícím předpokladem, aby průmyslovým odvětvím, která již vlivem mezinárodní konkurence nejsou konkurenceschopné, byly poskytnuty nové impulsy. Jedině tak mohou vzniknou nové evropské obory založené na znalostech.

²⁸ Viz <http://europa.eu.int/mariecurie-actions>.

Vyžaduje to integrovanou koncepci inovační politiky²⁹, která bude rozvinuta příštím akčním plánem pro inovace³⁰. Vedle společných, pro VaV rozhodujících faktorů³¹, jako jsou dobře fungující a konkurencí usměrňované trhy, daňová politika příznivá pro inovace, finanční nástroje³², kvalifikovaný personál, partnerství veřejného a soukromého sektoru a infrastruktura, je u nanotechnologie nezbytné zahrnout i tři další faktory: patentovou ochranu základních poznatků, regulaci a metrologii.

3.4.1 Možnosti a úkoly současného průmyslu

Nanotechnologie poskytuje bohaté možnosti jak pro postupné, tak i pro rozhodující, v podstatě jednorázové inovace v podnicích. Současně se však mnohé podniky vystavují nebezpečí, že včas nerozpoznají potenciál nanotechnologie a ohrozí svoji konkurenceschopnost. Nedostatek solidní evropské kultury, kultury, která by podpořila snášet podnikatelská rizika v oblastech jako je nanotechnologie, může být vedle nepříznivých rámcových podmínek pro inovace rozhodujícím faktorem ohrožujícím budoucí konkurenceschopnost.

Evropský průmysl pracuje v prostředí silné konkurence. Z nejrůznějších důvodů se průmysl může dostat do situace nedostatku kapitálu, takže mu zbývají jen omezené prostředky na VaV a inovace. Podle novějších údajů činí v EU soukromé investice do VaV 1,09 % HDP, oproti 1,85 % v USA a 2,2 % v Japonsku³³. Pro nanotechnologii neexistují žádné srovnatelné údaje. Je však možné vycházet z toho, že podíl investic průmyslu v Evropě je relativně nižší než v USA nebo v Japonsku.

3.4.2 ZAKLÁDÁNÍ PODNIKŮ A RIZIKOVÝ KAPITÁL V OBLASTI NANOTECHNOLOGIE

Většina oborů nanotechnologie se nachází v ranném stadiu vývoje a úspěšní výzkumníci často zakládají firmy a stávají se podnikateli. Ze stovek podniků, které byly v uplynulých letech založeny, se polovina nachází v USA a čtvrtina v EU³⁴. Vezmeme-li do úvahy, že dvě třetiny pracovních míst v Evropě připadá na MSP, tak bude zřejmé, že jsou nutná další opatření, která by podpořila zakládání nových a inovačních podniků³⁵.

Banky a poskytovatelé rizikového kapitálu postupují mimořádně selektivně, když nabízejí rizikový kapitál. Platí to především pro oblasti, které v jejich očích v sobě skrývají vysoké technické riziko, jsou spojeny s nejistotami o dobách do vstupu na trh, nebo by mohly mít negativní etické, zdravotní nebo ekologické dopady. K ochraně vlastnictví poznatků jsou zpravidla nutné patenty; mladí podnikatelé musí být dobří v nanotechnologii, musí však mít i manažerské schopnosti a smysl pro podnikání.

Noví podnikatelé si často stěžují, že jsou jim k dispozici jen půjčky (nikoli však rizikový kapitál) a že nemají žádnou podporu v řízení podniků; tím se zvyšují rizika jejich činnosti. Přes technologické úspěchy mohou nově založené podniky špatně dopadnout pro

²⁹ „Innovation policy: updating the Union's approach in the context of the Lisbon strategy“, COM (2003) 112.

³⁰ Viz <http://europa.eu.int/comm/enterprise/innovation/index.htm>.

³¹ Viz např.: „Investing in research: An action plan for Europe“, COM (2003) 226.

³² Viz např.: „Access to finance of small and medium-sized enterprises“ COM (2003) 713.

³³ Evropská komise, „Key Figures 2003–2004“ (2003).

³⁴ „Little science, big bucks“, Nature Biotechnology, ročník 21, č. 10, říjen 2003, str. 1127.

³⁵ „Action Plan: The European Agenda for Entrepreneurship“, COM (2004) 70.

nedostatek finančních prostředků. Tento problém se může u nanotechnologie vyostřit, protože v tomto případě proces VaV vyžaduje dlouhodobou angažovanost. Důležitou úlohu zde může sehrát Evropská investiční banka (EIB) tím, že bude poskytovat půjčky a posílí kapitálovou základnu pro podniky zaměřené na nanotechnologii.

3.4.3 Patentová ochrana

Vlastnictví poznatků na základě autorských práv je rozhodující pro konkurenceschopnost průmyslu. Týká se to jak získání prvotních investic, tak i zabezpečení budoucích příjmů. Od osmdesátých let bylo udělováno stále více nanotechnologických patentů. Management autorských práv v oblasti, jakou je nanotechnologie, může být náročným úkolem, který spojuje interdisciplinární přístup výzkumníků a podniků s rozdílnou kulturou a rozdílnými představami.

Uvedené klade vysoké nároky na znalosti a klade v oblasti nanotechnologie základní otázku, co by mělo být patentováno a co ne (např. na úrovni jednotlivých molekul). Shoda o koncepci a definicích na evropské a v ideálním případě i mezinárodní úrovni hraje důležitou roli pro zachování důvěry investorů a pro vyloučení sporů, ke kterým by mohlo při rozdílném chápání a výkladu autorských práv dojít.

3.4.4 Regulace

Priměřená a včasná regulace v oblastech veřejného zdravotnictví, ochrany spotřebitelů a životního prostředí je rozhodující nejen pro získání důvěry spotřebitelů, zaměstnanců a investorů. Měly by být v maximální možné míře uplatněny stávající předpisy. Vzhledem ke speciální podstatě nanotechnologie je nutné jejich ověření a popřípadě i přizpůsobení. Doporučuje se uplatnit koncepci předvídání. Rozšíření znalostí nanovědy prostřednictvím VaV jak na evropské, tak i na národní úrovni by mělo vytvořit základnu pro další opatření.

Jednotná regulace zabezpečuje koherenci, zabraňuje i deformacím hospodářské soutěže, ale je i důležitým předpokladem pro snižování rizik, zabezpečení zdraví a ochranu životního prostředí. Stávající regulace se často opírá o parametry, které by se mohly ukázat pro určité aplikace nanotechnologie jako nedostatečné, např. volné nanočástice. Často jsou jako mezní hodnoty například definovány objemy produkce nebo hmotnosti nějaké látky, do jejichž dosažení není nutná žádná regulace. Měla by být posouzena relevance těchto mezních hodnot pro nanotechnologii a v případě potřeby by měly být změněny.

3.4.5 Metrologie a normy

K využití komerčního potenciálu nanotechnologie v EU potřebuje průmysl i společnost spolehlivé kvantitativní metody a měřicí techniku, které by zajistily konkurenceschopnost a spolehlivost příštích produktů a služeb. Je nutné vyvinout měřicí techniku a normy, které usnadní rychlý rozvoj nanotechnologie a uživatelům poskytnou potřebnou důvěru k parametrům postupů a produktů.

Nová měřicí technika je potřebná ke zvládnutí všech nároků, s kterými je spojen výzkum, vývoj, výroba a užití nanotechnologie. Jde o náročný úkol. Na nano úrovni je obtížné zjistit rušivý vliv měřicích nástrojů na vlastní měření. V mnoha oborech doposud nejsou k dispozici žádné měřicí přístroje. Bude nutné vykonat rozsáhlé normalizač-

ní a vývojové práce, při kterých je nutné vzít do úvahy, že průmysl potřebuje rychlá měření a kontroly. Evropský výbor pro normování (CEN)³⁶ nedávno ustanovil pracovní skupinu pro nanotechnologii.

Opatření: Průmyslové inovace – od poznatků k technologiím
4. Komise podtrhuje výhody koordinovaného postupu při podpoře inovací a podnikání v oblasti nanotechnologie v Evropě a (a) vyzývá členské státy ke stanovení podmínek, které podpoří investice průmyslu a inovačních podniků ve smyslu cílů z Lisabonu; (b) zdůrazňuje nutnost podrobného ověření perspektiv a podmínek pro úspěšné průmyslové využití nanotechnologie; (c) nabízí Evropské investiční bance a Evropskému investičnímu fondu, aby přispěly k vytvoření kapitálové základny pro nanotechnologické inovace; apeluje na členské státy, aby ověřily použití strukturálních fondů pro aktivity VaV na regionální úrovni; (d) považuje solidní, jednotné a příznivé rámcové podmínky pro autorská práva za zásadní předpoklad pro transfer technologií a inovace; (e) vyzývá členské státy, aby zahájily těsnou spolupráci národních patentových úřadů, která umožní vytvoření efektivního globálního systému patentů³⁷; (f) žádá členské státy, aby posoudily současnou regulaci a popřípadě provedly takové úpravy, po kterých bude regulace respektovat specifika nanotechnologie, a stanovily společnou evropskou koncepci; (g) vyzývá členské státy, aby zintenzivnily činnosti v oblastech metrologie, standardizace a normování s cílem zvýšit konkurenceschopnost evropského průmyslu.

3.5. RESPEKTOVÁNÍ SPOLEČENSKÉ DIMENZE

Vědeckému společenství je někdy vytýkáno, že se odvrací od demokratických postupů. Veřejnosti se nedostává porozumění, znalosti rizik a výhod, nedostává se jí možnost účasti a kontroly. Potenciální aplikace nanotechnologie mohou zlepšit kvalitu našeho života, avšak mohou s nimi přijít, jako ostatně s každou novou technologií, i rizika. Ta by měla být otevřeně přiznána a podrobně posouzena. Zároveň je nutné se zabývat přijetím nanotechnologie i s jejich riziky ve veřejnosti.

Je v zájmu všech přijmout ofenzivní přístup, celospolečenské rozvahy bez omezení začlenit do VaV a zvážit všechny výhody, rizika a celospolečenské dopady nanotechnologie. Bylo již poukázáno na to³⁸, že k tomu musí dojít co nejdříve, že nelze počítat s dodatečným souhlasem. V tomto smyslu představuje komplexní a neviditelná podstata nanotechnologie náročný úkol pro ty, kteří odpovídají za informace o výsledcích vědy a za informace o možných rizicích.

³⁶ Viz <http://www.cenorm.be> (Rozhodnutí CEN – BT C005/2004).

³⁷ Viz závěrečné komuniké zasedání výboru OECD pro vědní a technologickou politiku na ministerské úrovni z 29. až 30. ledna 2004 (<http://www.oecd.org>).

³⁸ Např. „Nanotechnology: Revolutionary opportunities & social implications“, 3. společný workshop EC-NSF o nanotechnologiích, Lecce, Itálie (2002) a „The social and economic challenges of nanotechnology“, ESCR, UK (2003).

3.5.1 Odpovědný rozvoj nanotechnologie

Je nutné dodržovat etické zásady, popřípadě je podpořit regulačními opatřeními. Tyto zásady jsou vloženy do Evropské charty základních práv³⁹ a do dalších evropských a mezinárodních dokumentů⁴⁰. Dále je nutné vzít do úvahy stanovisko Evropské skupiny pro etiku⁴¹, která posuzuje etické aspekty aplikací nanotechnologie v medicíně.

K základním etickým hodnotám patří úcta k lidské důstojnosti, nezávislost jednotlivců, spravedlnost, dobré zdraví, svoboda výzkumu a princip přiměřenosti. Relevance těchto zásad při aplikaci nanotechnologie u lidí a jinde musí být známy. Dále mohou určité aplikace, např. miniaturní senzory, mít specifické dopady na ochranu soukromé sféry a na osobní data.

Je nesporné, že rozvoj nanotechnologie se nemůže provádět skrytě, nýbrž musí být otevřený a kontrolovatelný a musí být v souladu s demokratickými zásadami. I když jsou vznášeny požadavky na moratorium výzkumu nanotechnologie, je Komise přesvědčena, že by takové moratorium bylo kontraproduktivní. Moratoriem by mohly být společnosti odepřeny značné výhody, mohly by však také vzniknout „technologické ráje“, v kterých by byl pěstován výzkum bez jakékoli regulace a vzniklo by nebezpečí zneužití. Za těchto okolností bychom nemohli sledovat vývoj a zasáhnout, což by mohlo mít ještě horší důsledky. Princip předběžné péče⁴² by mohl platit jako doposud, pokud by se vyskytla reálná a vážná rizika.

3.5.2 Informace, komunikace a dialog: pochopení neviditelného

„Co je nanotechnologie?“ Podle průzkumu provedeného v roce 2001⁴³ u 16 000 osob je nanotechnologie patrně nějakým pojmem neurčitěho obsahu. Nanotechnologie je komplexem a odehrává se v nepřehledné oblasti. Proto je patrně pro veřejnost obtížné vyjádřit obsah pojmu nanotechnologie. Titulky, jako například o samoreprodukujících se robotech, které značně překračují naše lidské schopnosti, jsou často vnímány jako upozornění na vážná a bezprostřední nebezpečí. To ukazuje naléhavost informací o současném výzkumu nanotechnologie a o možných aplikacích výsledků. „Nanotruck“⁴⁴ je vynikajícím příkladem možnosti, jak získat veřejnost pro nanotechnologii.

Bez vážného úsilí o komunikaci by mohla být nanotechnologie negativně přijímána veřejností, a to neprávem. Efektivní dialog se ukazuje jako nezbytný. Na jeho základě mohou být respektovány názory veřejnosti a mohou být ovlivněna rozhodování o politice VaV⁴⁵. Důvěra v nanotechnologii a jejich akceptovatelnost u veřejnosti jsou rozhodující pro jejich dlouhodobý rozvoj a využití jejich potenciálních výhod. Je jisté, že vědecká obec musí zlepšit své komunikační schopnosti.

³⁹ Viz http://www.europarl.eu.int/charter/default_en.htm.

⁴⁰ Viz http://europa.eu.int/comm/research/science-society/ethics/legislation_en.html.

⁴¹ Viz http://europa.eu.int/comm/european_group_ethics/index_en.htm.

⁴² „Communication from the Commission on the Precautionary Principle“, COM (2000) 1.

⁴³ Evropská komise, „European, Science and Technology“ Eurobarometr 55; 2. prosince 2001.

⁴⁴ Viz <http://www.nanotruck.net>.

⁴⁵ „Science and Society – Action Plan“, COM (2001) 714.

Opatření: Respektování sociální dimenze

5. Komise poukazuje na to, že sociálním aspektům nanotechnologie je nutné věnovat náležitou pozornost a
 - (a) apeluje na členské státy, aby v souvislosti s VaV v oblasti nanotechnologie zaujímaly otevřené a transparentní postoje. Cílem musí být zajistit pochopení a důvěru veřejnosti;
 - (b) vyzývá k dialogu s občany EU a spotřebiteli produktů z EU s cílem umožnit kritické posouzení VaV v oblasti nanotechnologie, které bude založeno na objektivních informacích a výměně názorů;
 - (c) zdůrazňuje, že se bude řídit etickými zásadami, aby zajistila, že VaV v oblasti nanotechnologie bude prováděn odpovědně a transparentně.

4. VEŘEJNÉ ZDRAVOTNICTVÍ, BEZPEČNOST, OCHRANA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ A OCHRANA SPOTŘEBITELŮ

VaV a technologický pokrok se musí na základě vědeckých průzkumů a hodnocení vyporádat s možnými zdravotními a ekologickými riziky nanotechnologie. V současné době se zpracovává několik specifických studií o hodnocení rizik. Rizika jsou rovněž posuzována v 6. Rámcovém programu v několika integrovaných projektech (IP) a v několika sítích špičkových pracovišť (NoE) zabývajících se nanotechnologií. Především nanočástice by se vzhledem ke své nepatrné velikosti mohly chovat neočekávaně⁴⁶. Mohou se vyskytnout problémy při výrobě, likvidaci, používání, skladování a při dopravě. VaV je nutný pro stanovení příslušných parametrů a popřípadě i pro návrh konkrétních regulačních opatření. Přitom je nutné uvážit celý řetězec těch, kteří budou přicházet do kontaktu s nanomateriály a nanotechnologií, od výzkumných pracovníků, přes zaměstnance ve výrobě a službách až po spotřebitele. Dále je nutné sledovat dopady nanotechnologie v průběhu celého jejich životního cyklu. Protože tyto otázky mají celosvětový význam, bylo by účelné na mezinárodní úrovni systematicky propojovat poznatky.

Veřejné zdravotnictví, ochrana životního prostředí a ochrana spotřebitelů předpokládají, že všichni zúčastnění na rozvoji nanotechnologie – výzkumní pracovníci, vývojáři, výrobci a obchodníci – vezmou včas do úvahy potenciální rizika – předloží spolehlivé vědecké údaje a analýzy založené na odpovídajících metodách. Jde o náročnou výzvu, neboť předpověď vlastností nanotechnologických produktů je obtížná. Je nutné zohlednit jak klasickou fyziku, tak i efekty kvantové mechaniky. Mnohdy je nanotechnologické zpracování nějaké látky rovnocenné výrobě nové chemické látky. Jestliže se chceme zabývat potenciálními riziky nanotechnologie pro veřejné zdraví, životní prostředí a spotřebitele, potom je nutné pečlivě zvažovat rozsah a podíly využití existujících dat a rozsah a podíly nově získaných dat o toxikologii a ekotoxikologii nanolátek a nanotechnologie (mezi jinými údaje o přípustných dávkách a dobách expozice). Dále je nutné ověřit metody hodnocení rizik a přizpůsobit novým potřebám. Vyrovnání se s potenciálními riziky nanotechnologie vyžaduje zařadit hodnocení rizik do každé etapy životního cyklu nanotechnologických produktů.

⁴⁶ Např. projekty financované ES: Nanopathology „The role of nano-particles in biomaterial-induced pathologies“ (QLK4-CT-2001-00147), Nanoderm „Quality of skin as a barrier to ultra-fine particles“ (QLK4-CT-2002-02678); Nanosafe „Risk assessment in production and use of nano-particles with development of preventive measures and practice codes“ (GIMA-CT-2002-00020).

**Opatření: Veřejné zdraví, bezpečnost, ochrana životního prostředí
a ochrana spotřebitelů**

6. V zájmu zachování vysoké úrovně veřejného zdravotnictví, bezpečnosti, ochrany životního prostředí a ochrany spotřebitelů poukazuje Komise na nutnost
- (a) co nejdříve zjistit a posoudit (reálné nebo domnělé) bezpečnostní hrozby;
 - (b) podpořit integraci aspektů zdravotních, ekologických, rizikových a jiných aspektů v příslušných aktivitách VaV a dostatečně podpořit specifické studie;
 - (c) podpořit zjišťování toxikologických a ekotoxikologických dat (včetně údajů o přípustných dávkách) a vyhodnotit potenciální expozice lidí a životního prostředí.

Komise apeluje na členské státy, aby

- (d) v případě potřeby podpořily úpravy postupů hodnocení rizik. Přitom je nutné vzít v úvahu specifické aspekty nanotechnologických aplikací;
- (e) podpořily začlenění hodnocení rizik do ochrany zdraví lidí, životního prostředí, spotřebitelů a zaměstnanců ve všech etapách životního cyklu nanotechnologií (od záměrů přes VaV, výrobu, odbyt, využití až po likvidaci).

5. DALŠÍ KROK: MEZINÁRODNÍ SPOLUPRÁCE

Mezinárodní spolupráce je klíčovým faktorem, který urychluje VaV. Například 6. Rámcový program je otevřený pro celý svět. Prakticky se na projektech mohou podílet výzkumné týmy z celého světa. To má význam především pro nanotechnologii, která vyžaduje mnoho základních poznatků a která vyvolává značný počet nových vědeckých a technologických projektů. Tyto projekty jsou bez vytvoření kritických množství neřešitelné. Mezinárodní spolupráce může urychlit VaV, v rámci ní dochází k uzavírání mezer mezi poznatky. Mezinárodní spolupráce urovnává cestu novým metrologickým řešením a normám.

Několik zemí uzavřelo dohody o vědecko technické spolupráci s EU, mezi jiným i v oblasti nanotechnologie. Především existuje prováděcí dohoda Evropské komise a National Science Foundation (NSF, USA) a další dohoda s Ministerstvem pro vědu a technologie (MOST, Čína). Tyto prováděcí dohody tvoří rámec pro intenzivní spolupráci a umožňují provádění společných iniciativ. Od roku 1999 byly zveřejněny koordinované výzvy Komise a NSF a bylo zahájeno cca 20 projektů.

Zkušenosti ze 6. Rámcového programu potvrzují, že potřebujeme intenzivnější mezinárodní spolupráci v oblasti nanovědy a nanotechnologie. Potřebujeme spolupráci jak s hospodářsky vyspělými zeměmi (s cílem výměny poznatků a získání prospěchu z vytvoření kritických množství zdrojů), tak i s hospodářsky méně vyspělými zeměmi (zabezpečení jejich přístupu k poznatkům a zabránění vzniku a rozšiřování znalostních předělů). Především ku prospěchu všech obyvatel musí být vyměňovány poznatky o zdravotních, bezpečnostních a ekologických aspektech nanotechnologie.

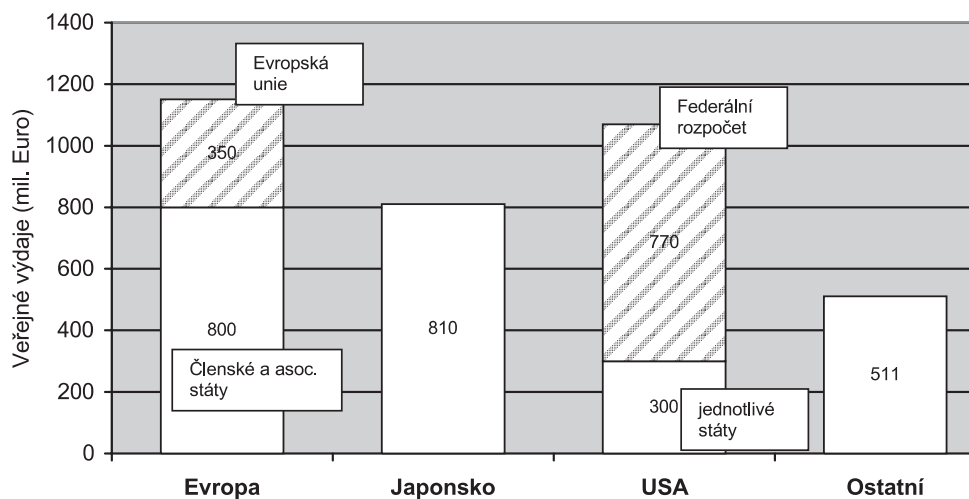
Společné zásady pro VaV v oblasti nanotechnologie by měly být začleněny do dobrovolného rámce (např. do „kodexu jednání“). Tento rámec by mohl propojit EU se zeměmi, které působí ve výzkumu nanotechnologie, a sdílet s nimi angažovanost a odpovědnost za další rozvoj. První rozhovory se zástupci např. USA, Japonska, Švýcarska a Ruska jsou z tohoto hlediska mimořádně slibné a mohly by připravit cestu pro další iniciativy.

Opatření: Mezinárodní spolupráce

7. Komise bude v souladu se svými mezinárodními závazky, především v rámci Světové organizace pro obchod:
- (a) podporovat mezinárodní diskusi, případně dosažení shody v otázkách celosvětového dosahu, jakými jsou zdraví, bezpečnost, životní prostředí, ochrana spotřebitelů, hodnocení rizik, koncepce regulace, metrologie, názvosloví a normy;
 - (b) podporovat přístup méně industrializovaných zemí k základním poznatkům, aby tak přispěla k překonání znalostních předělů;
 - (c) podporovat sledování a výměnu informací o vědeckém, technologickém, hospodářském a společenském rozvoji nanotechnologií;
 - (d) podporovat vytvoření mezinárodního „kodexu jednání“, který by zajistil celosvětové sjednocení zásad odpovědného rozvoje nanotechnologie.

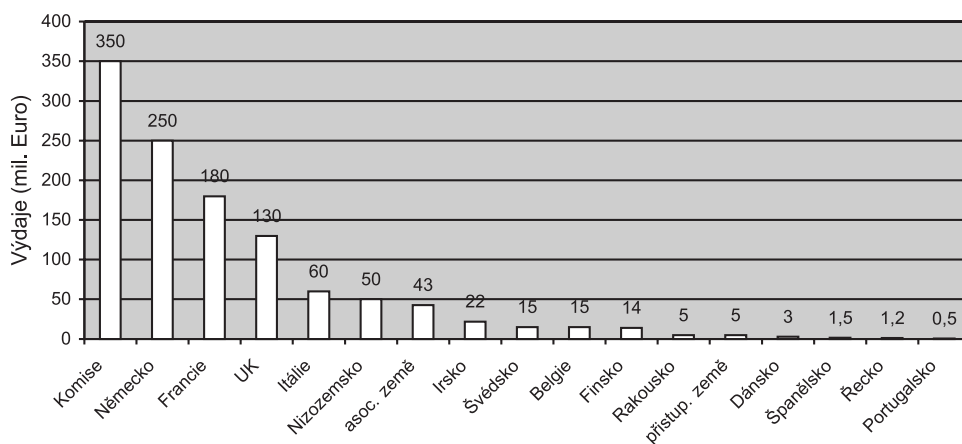
PŘÍLOHA: ODHAD VEŘEJNÉ PODPORY NANOTECHNOLOGIE V ROCE 2003

Obr. 1 Celkové veřejné investice do nanotechnologie v roce 2003



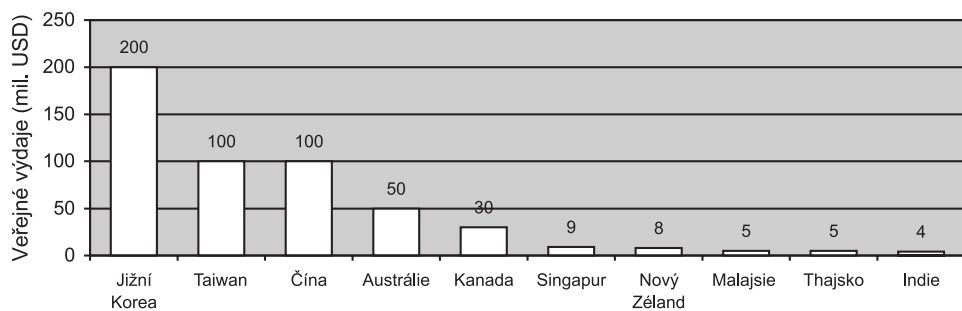
- Pozn.: 1) Evropská unie = EU-15+přistupující země (CZ, LV, LT, SI)+země asociované k 6. Rámcovému programu (Izrael, Švýcarsko a Norsko)
 2) Pro graf byl použit vztah 1 € = 1 \$

Obr. 2 Veřejné výdaje na nanotechnologie v roce 2003

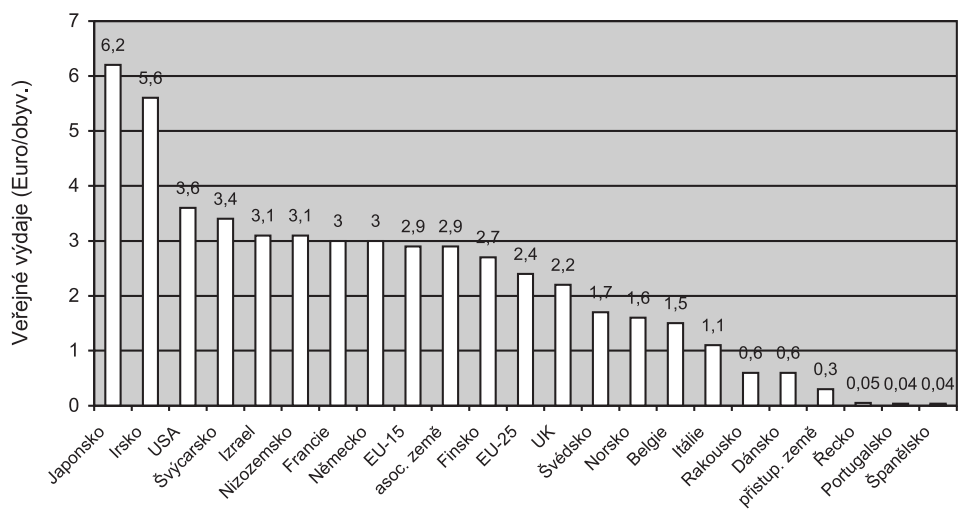


Asociované země: Švýcarsko, Izrael a Norsko; Přistupující země: Česko, Litva, Lotyšsko a Slovinsko

Obr. 3 Veřejné výdaje na nanotechnologie ve vybraných třetích zemích v roce 2003



Obr. 3 Měrné veřejné výdaje na nanotechnologie v roce 2003



Pro grafy byl použit vztah 1 € = 1 \$

Doposud vydané publikace:

I. řada věnovaná 5. RP:

- č. 1 – Rámcové programy EU v oblasti výzkumu a vývoje - základní informace, 10/2000, ISBN 80-86122-69-7
- č. 2 – Příručka pro hodnocení návrhů projektů, 10/2000, ISBN 80-86122-68-9
- č. 3 – Vzorová smlouva pro výzkumné projekty EU, 10/2000, ISBN 80-86122-70-0
- č. 4 – Vzorová konsorciální smlouva, 7/2001, ISBN 80-86122-83-2
- č. 5 – Výzkum nanotechnologií a nanomateriálů v Evropě a USA, autor T. Prnka, 7/2001, ISBN 80-86122-86-7

II. řada věnovaná 6. RP:

- č. 1 – Šestý rámcový program evropského výzkumu - základní informace, 11/2001, ISBN 80-86122-95-6
- č. 2 – Pravidla účasti podniků, výzkumných center a vysokých škol v 6. Rámcovém programu Evropského společenství a pravidla pro rozšiřování výsledků tohoto programu, 11/2001, ISBN 80-86122-96-4
- č. 3 – Pravidla účasti podniků, výzkumných center a vysokých škol na realizaci 6. Rámcového programu Evropského společenství a pravidla pro rozšiřování výsledků, 5/2003, ISBN 80-7329-040-5
- č. 4 – Vzor hlavní smlouvy pro projekty 6. Rámcového programu evropského výzkumu; Příklad konsorciální smlouvy, 8/2003, ISBN 80-7329-045-6
- č. 5 – Investice do výzkumu: Akční plán pro Evropu, 7/2003, ISBN 80-7329-044-8

III. řada „Inovace v Evropské unii“:

- č. 1 – Evropská unie a inovace, autoři T. Prnka, F. Hronek a K. Šperlink, 9/2002, ISBN 80-7329-010-3
- č. 2 – Inovační politika v Evropě v letech 2000 a 2001, 10/2002, ISBN 80-7329-018-9
- č. 3 – Evropský inovační zpravodaj 2002, 3/2003, ISBN 80-7329-031-6
- č. 4 – Evropská unie a inovace, autoři T. Prnka, F. Hronek a K. Šperlink, 7/2003, druhé, aktualizované vydání, ISBN 80-7329-042-1
- č. 5 – Podnikání v Evropě - Zelená kniha, 6/2003, ISBN 80-7329-043-X
- č. 6 – Výzkum, vývoj a inovace v Evropském parlamentu a Evropském hospodářském a sociálním výboru, 4/2004, ISBN 80-7329-060-X
- č. 7 – Trendchart - Komplexní obraz inovační politiky v Evropě 8/2004, ISBN 80-7329-067-7

IV. řada „Evropská strategie výrobních procesů“:

- č. 1 – Průmyslová politika v rozšířené Evropě, 4/2004, ISBN 80-7329-061-8
- č. 2 – *MANUFUTURE* – model globálně pojaté výroby založené na znalostech, 4/2004, ISBN 80-7329-062-6

Šestý rámcový program evropského výzkumu a technického rozvoje (6)
NANOTECHNOLOGIE

Autoři: Tasilo Prnka, Karel Šperlink
Odborná redakce: Tasilo Prnka
Vydal: Repronis Ostrava, 2004
Počet stran: 70
Sazba a tisk: Repronis Ostrava
Vydání: první

ISBN 80-7329-070-7