

Polymerní nanomateriály

Hana Otiepková

Bakalářská práce
2009



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav fyziky a mater. inženýrství
akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Hana OTIEPKOVÁ**
Studijní program: **B 2808 Chemie a technologie materiálů**
Studijní obor: **Chemie a technologie materiálů**

Téma práce: **Polymerní nanomateriály**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte rešerši na zadané téma.
2. Kriticky porovnejte vlastnosti nanomateriálů s rozdílnou strukturou.
3. Uveďte možnosti aplikace daných nanomateriálů.
4. Citujte použitou literaturu.

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

1. **Cao, C: Nanostructures and nanomaterials.**
2. **Imperial College Press, 2008.**
3. **Dále dle doporučení vedoucího bakalářské práce. Dostupné zdroje na ÚFMI a v Ústřední knihovně UTB.**

Vedoucí bakalářské práce:

doc. RNDr. Petr Ponížil, Ph.D.
Ústav fyziky a mater. inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

20. února 2009

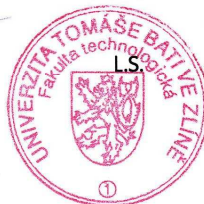
Termín odevzdání bakalářské práce:

3. června 2009

Ve Zlíně dne 5. srpna 2009



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



prof. Ing. Josef Janča, DrSc.
vedoucí katedry

ABSTRAKT

Táto bakalárska práca pojednáva o nanotechnológií a nanomateriáloch, o aplikáciach nanotechnológie v najrôznejších oboroch ako je medicína, elektronický priemysel, kozmický výzkum či stavebníctvo a ďalšie. Sú tu rozobrané dôsledky i rôzne zdroje obmedzení našich možností ich poznať. Dopad nanotechnológie na spoločnosť a každodenný život je rozobraný v kontexte rôznych zdrojov rizikových faktorov (priame/nepriame dopady; rizikovosť technológie/riziko zneužitia; časové hľadisko). U pozitívnych faktorov je potom dôraz kladený na inovatívnosť nanotechnológie vo vzťahu k spoločenským procesom.

Kľúčové slová: nanomateriál, nanotechnológia, polymer, polymerné nanomateriály

ABSTRACT

This thesis deals with nanotechnology and nanomaterials, applications of nanotechnology in various fields of science and production in medicine, electronics, space research, engineering etc. The influence of nanotechnology on society and everyday life is analyzed from the point of view of several characteristics influencing the nature of threats (direct/indirect consequences; technology inherent risks/risk of abuse; time range). When dealing with potential positive outcomes the thesis focuses on level of innovativeness related to society.

Keywords: nanomaterials, nanotechnology, polymer, polymer nanomaterials

Na tomto mieste by som chcela poďakovať doc. RNDr. Petrovi Ponižilovi, Ph.D., ktorý bol vedúcim mojej bakalárskej práce. Za jeho obetavú pedagogickú a odbornú pomoc. Samozrejme aj mojim rodičom a sestre, ktorí ma podporovali nie len počas štúdia.

„Ludia majú pozoruhodnú vlastnosť aby dosiahli presne to, čo musia mať. Ale je rozdiel medzi nevyhnutnosťou a potrebou.“

Jim Rohn

OBSAH

ÚVOD	8
I TEORETICKÁ ČASŤ	9
1 NANOTECHNOLÓGIA	10
1.1 VÝVOJ NANOTECHNOLÓGIE	11
2 ROZDELENIE NANOMATERIÁLOV	14
2.1 NANOMATERIÁLY NA BÁZE UHLÍKA EMITUJÍCE SVETLO	14
2.2 FULERÉNY	15
2.3 POLYMÉR A POLYMÉRNE NANOMATERIÁLY	16
2.3.1 Polymérne zmesi.....	17
2.3.2 Nanovlákná.....	18
2.3.3 Využitie nanovláknien v textilnom priemysle.....	19
2.3.4 Nanotrúbky	22
3 APLIKÁCIE NANOMATERIÁLOV A NANOTECHNOLÓGIE V RÔZNYCH ODVETVIACH	23
3.1.1 Medicína	23
3.1.2 Potravinárstvo.....	24
3.1.3 Elektronika	24
3.1.4 Strojárstvo.....	25
3.1.5 Stavebníctvo	25
3.1.6 Kozmický priemysel.....	25
4 VPLYV ŠTRUKTÚRY NANOMATERIÁLOV NA VLASTNOSTI	26
4.1 PRIDÁVANIE PEVNOSTI KOMPOZITAMI.....	26
4.2 SPOJENIE UHLÍKOVÝCH NANOTRUBÍC	28
4.3 NANOTRUBKY	29
5 TRENDY V OBLASTI NANOMATERIÁLOV	34
5.1 SMART MATERIÁLY	34
5.2 AMYLOIDY AKO NÁHRADA NANOMATERIÁLOV.....	34
6 RIZIKOVÉ ASPEKTY SPOJENÉ S NANOTECHNOLÓGIAMI	37
6.1 ZDRAVOTNÉ RIZIKO	37
6.2 ZNEUŽITIE NANOTECHNOLÓGIE.....	38
ZÁVER	40
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	41
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	42
SEZNAM OBRÁZKŮ	43
SEZNAM TABULEK	44
SEZNAM PŘÍLOH	45

PŘÍLOHA P II: POTENCIÁLNE VYUŽITIE NANOTECHNOLÓGIÍ V BLÍZKEJ BUDÚCNOSTI	48
------------------------------------------------------------------------------------------	-----------

ÚVOD

Pojmy nanotechnológia a nanomateriály prenikajú do povedomia človeka stále viac a viac, útočia na nás z reklám na keramické panvice odolné proti poškrabaniu, na opaľovacie krémy, ktoré takmer neprepúšťajú UV žiarenie aj z reklám na protiplesňové ponožky ale i zo seriózných článkov, ktoré sa zaoberajú dopadmi nanotechnológie a používaním výrobkov obsahujúcich nanomateriály na ľudské zdravie i na všetky zložky životného prostredia.

Nanotechnológia je v súčasnej dobe označovaná oblasť vedy, ktorá sa zaoberá cieľenou a presnou manipuláciou s jednotlivými atómami a molekulami tak, aby vznikol nový objekt.

Nanomateriály sú materiály, ktoré pozostávajú zo štruktúrnych elementov (kryštalinity, častice, póry a iné) o veľkosti spravidla 1 – 100 nm aspoň v jednom rozmere. S nanomateriálmi je spojené aj určité zdravotné riziko. Pretože čiastočky sú príliš malé, dokážu prenikať do jednotlivých orgánov.

Polymerné materiály vznikajú riadenou prípravou nanomateriálov tak, že molekuly polymeru sa uložia medzi kryštalické vrstvy vhodných íľovitých minerálov. Sú to materiály s mimoriadnymi vlastnosťami. Ich využitie je v súčasnej dobe nevyhnutné ako v medicíne, tak v strojárskom či stavebnom priemysle, kozmickom priemysle a potravinárstve.

I. TEORETICKÁ ČASŤ

1 NANOTECHNOLÓGIA

Nanotechnológia sa objavuje v sci-fi románoch, vedci o nej hovoria ako o obore 21. storočia a v súčasnosti je to výskumný smer s vôbec najväčším nárastom finančnej podpory. Ide vlastne o sústavu metód, ktoré umožňujú manipulovať s atómami, molekulami alebo ich malými skupinami. Možno tak vytvoriť materiály a objekty s unikátnymi vlastnosťami. Pracuje vo veľkostiach jedného nanometru, tj. rozmeru šiestich atómov uhlíka. Pre väčšiu názornosť - pomer veľkosti futbalovej lopty k štruktúre o rozmere 100 nm je približne rovnaký ako pomer veľkosti zemegule k rozmeru lopty. Napr. molekula DNA je asi 2,5 nanometra široká, obyčajný proteín má veľkosť 120 nanometrov.

Nanoveda je vedná oblasť na priesečníku fyziky pevnej fáze, chémie, inžinierstva a molekulárnej biológie.

Nanotechnológia je teda interdisciplinárna a rozvíja sa v rade oblastí a to napríklad:

- Nanomateriály – skúmanie a vývoj nových druhov materiálových systémov, ktorých podstatné vlastnosti vyplývajú z rozmerov ich zložiek v nanometroch.
- Nanochémia – vytvára a modifikuje chemické systémy, ktorých funkčnosť pramení z ich nanorozmerov.
- Nanoelektronika – skúma rôzne stratégie využitia elektronických vlastností nanoštruktúr v celej rade aplikácií budúcich informačných technológií.
- Nanooptika – pokladá základy optických vysokorychlostných komunikačných technológií, nových zdrojov laserového svetla a optických systémov pre široké použitie.
- Nanovýroba – skúma a vyvíja metódy technológie výroby štruktúr, vrstiev a systémov v nanorozmeroch.
- Nanobiotechnológia – sa zaoberá využitím biologických nanosystémov v technických systémoch, od sensorovej technológie po fotovoltaika. Používa tiež nanotechnologické postupy pri skúmaní biologických systémov, z čoho budú mať veľký prospech hlavne oblasti lekárskej techniky a molekulárnej diagnostiky.
- Nanoanalytika – zabezpečuje analytické metódy a nástroje pre porozumenie základných javov a pre charakterizovanie výrobkov [1].

Nanotechnológia teda nie je ani tak nová vedecká disciplína, ako skôr nová oblasť sústredujúca sa na klasické vedecké obory ako sú fyzika, kvantová mechanika, chémia, biochémia, elektronika atd. pri vývoji materiálov a zariadení s výnimočnými vlastnosťami, vyplývajúcimi z kvantovej podstaty a schopnosti samoorganizácie hmoty v rozmeroch nanometrov. [2]

Nanočastice sú charakterizované veľkosťou od cca 1 nm do cca 100 nm minimálne v jednom smere (1×10^{-7} až 10^{-9} m - pre ilustráciu, rozmery jednotlivých atómov sú rádovo 10^{-10} m) a určitým priestorovým usporiadaním, môžu vytvárať nanodrátiky, nanotrúbice, nanokompozity, keramické alebo iné tenké filmy či vrstvy. Ďalšou zaujímavou charakteristikou je obrovský nárast pomeru plochy povrchu k objemu častíc nanomateriálu (počet atómov vytvárajúcich povrch nanočastíc je nepomerne vyšší ako počet atómov vo vnútri častice). Tento pomer veľmi silne ovplyvňuje väčšinu chemických a fyzikálnych väzieb na hraniciach zŕn v materiále. Rozdielne sú také väzby nanočastíc so základnou hmotou kompozitných materiálov. Nakoniec, chovanie nanočastíc sa neriadi zákonitosťami bežnej fyziky, chovanie atómov je komplikovanejšie a riadi sa kvantovou fyzikou a kvantové javy vedú k úplne novým možnostiam. I keď dnes vieme o vlastnostiach atómov takmer všetko, zatiaľ vieme málo o tom, ako sa chová ich zoskupenie veľkosti nanočastíc a ako vznikajú ich niekedy neočakávané vlastnosti.

Nanotechnológia je skupina intenzívne sa rozvíjajúcich sa oborov, ktoré využívajú štruktúru materiálov v rozmeroch, ktorá sa blíži veľkosti jednotlivých molekúl a ich organizovaných celkov alebo supramolekulárnych štruktúr. Nanometrické dĺžkové merítka v zásade vytvára možnosti pre nové materiály, ktoré možno využiť ku konštrukcii zariadení a systémov. Nanotechnológiu zvyčajne odlišujeme od nanovedy, ktorá takú technológiu umožňuje. Nanoveda je v podstate výzkum javov a materiálových vlastností na nanometrickej úrovni [1].

1.1 Vývoj nanotechnológie

Ešte v polovici minulého storočia prevládala najmä Schrödingerova predstava – tj., že atómy nemožno presne lokalizovať priestorom, pretože „*atómy nemožno pokladať za individuality, ktoré možno identifikovať*“. Preto bola väčšina vedcov presvedčených o nemožnosti využívať atómy zámerne ako stavebné jednotky pre zariadenie, ktoré by bolo

použitelné v praxi. Jedným z prvých ľudí, ktorí predpovedali možnosť konštrukcie zariadení o molekulárnych rozmeroch bol koncom 50. rokov 20. storočia von Hippel. Tento elektroinžinier z Massachusetts Institute of Technology zaviedol pojem „molekulárne inžinierstvo“.

V roku 1959 predniesol na výročnom zasadaní American Physical Society v Pasadane v Kalifornii Robert Feynman, nositeľ Nobelovej ceny za fyziku svoju, dnes už takmer legendárnu, prednášku *There's a Plenty Room at the Bottom*. Na tejto prednáške po prvýkrát upozorňuje na možnosť manipulácie s objektami o miniatúrnych rozmeroch. Hovoril teda o mikrotechnológii. Povedal okrem iného: *“Zákony fyziky, ak môžem posúdiť, nie sú proti možnosti manipulovať s vecami atóm po atóme. Nie je to pokus porušiť žiadny zákon, je to niečo, čo môže byť v zásade vykonané”*. Poukázal na skutočnosť, že celá živá príroda pracuje na úrovni atómov a molekúl. Cieľom nanotechnológie sa tak stala snaha napodobniť postupy prírody skladaním jednej molekuly k druhej. Snaží sa postupovať obdobne ako príroda tým, že konštruuje nový objekt z jeho základných zložiek. Tým sa odlišuje od typických výrobných procesov výrobku z dielčich komponentov.

Pretože majú molekuly rozmery v nanometroch, postupom času sa pre molekulárne inžinierstvo, či molekulárnu technológiu, vžil termín nanotechnológia. V roku 1974 ho prvý použil Tauniguiche a to v súvislosti výrobných spôsobov meriacej techniky, prostredníctvom ktorých možno dosiahnuť presnosť vyrobených súčiastok v nanometroch. Zároveň v druhej polovici 20. storočia prebiehajú výskumy zamerané na poznanie základných stavebných prvkov, ktoré prekázaly, že atómy sú natoľko robustné, že ich môžeme počítať, izolovať ich a dokonca sme schopní i manipulácie s nimi. Pričom jedným z cieľov bolo poznanie spôsobu, ktorým konštruuje štruktúry príroda, a poznania chovaných biologických entít o rozmeroch molekúl. Ďalším logickým krokom vtedy bolo objavenie prístrojov, ktoré by boli schopné pozorovania, ale hlavne manipulácie s jednotlivými atómami a molekulami (ako rastrovací tunelový mikroskop, ...). Včas boli možnosti využitia zariadení o rozmeroch nanometrov objavené i biológmi a začal výskum ich využívania v medicíne, farmácii a biotechnológiach. Tak sa zrodil nový interdisciplinárny obor – nanotechnológia [2].

Nanotechnológia je vedný odbor, ktorý sa zaoberá tvorbou a využívaním technológií v meradle rádovo nanometrov (spravidla cca. 1–100 nm).

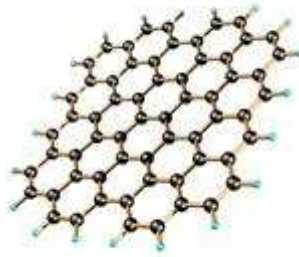
Nanotechnológia slúži alebo by mala slúžiť na priamu manipuláciu hmoty na nanoúrovni, na ktorú dnes nemáme dostatočnú techniku. Mohla by si teda dovoliť znížiť výrobné náklady až takmer na cenu materiálu. Okrem toho by mohla mať nanotechnológia samoreplikujúce vlastnosti, takže tieto systémy by mali byť schopné ako výroby užitočných produktov tak replikácie samých seba. Ďalším veľkým plus nanotechnológie je, že pri výrobe touto technológiou vzniká minimum odpadu [3].

2 ROZDELENIE NANOMATERIÁLOV

Ako už bolo spomenuté, nanomateriály sú materiály vyrobené nanotechnológiou. Základnými stavebnými prvkami nanozariadení sú v súčasnosti objekty na báze uhlíka a jeho zlúčenín, ide všetko o štruktúry a molekuly, ktoré obsahujú rádovo jednotky až desiatky atómov. Prínos nanotechnológií je najmä v medicínskych a biotechnicky zameraných oboroch [3].

2.1 Nanomateriály na báze uhlíka emitujúce svetlo

Nanomateriály na báze uhlíka dokážu na rozdiel od kremíka byť nielen supravodivými, ale zároveň môžu emitovať svetlo. Jednoatómové plošné vrstvy hexagonálne usporiadaných atómov uhlíka nazývané „grafén“ majú obrovský potenciál pre použitie pri výrobe ultrarýchlych elektronických tranzistorov. Elektróny sa v graféne dokážu totiž pohybovať rýchlosťou až 10^6 m/s, čo je síce približne 300-krát pomalšie ako je rýchlosť svetla vo vákuu, avšak ešte stále oveľa rýchlejšie v porovnaní s rýchlosťou elektrónov v súčasnosti bežne používaných vysokovodivých materiáloch. Dá sa preto predpokladať, že tenké grafénové vrstvy budú v blízkej budúcnosti znamenať revolúciu pri výrobe elektronických súčiastok, v ktorých sa elektróny nebudú správať ako hmotné častice, ale ako elektromagnetické vlnenie (podobne ako svetlo vo fotonických systémoch). Grafén sa totiž správa tak, ako keby v ňom elektrický prúd niesli elektróny, ale častice typu fotónov (bez pokojovej hmotnosti). To umožní výrobu elektronických súčiastok, ktoré sú neporovnateľné s elektronikou na báze kremíka, pretože namiesto difúzie elektrónov budú fungovať na princípe difrakcie elektrónov. Súčiastky budú môcť byť preto nielen nezrovnateľne menšie, ale budú mať predovšetkým veľmi vysokú účinnosť a veľmi nízku spotrebu energie. Vedci z Lawrence Berkeley National Laboratory v súčasnosti skúmajú možnosti, ako použiť grafén hrúbky dvoch atómových vrstiev nanosený na SiC izolátore ako spínač v elektronických súčiastkach [4, 5, 6].

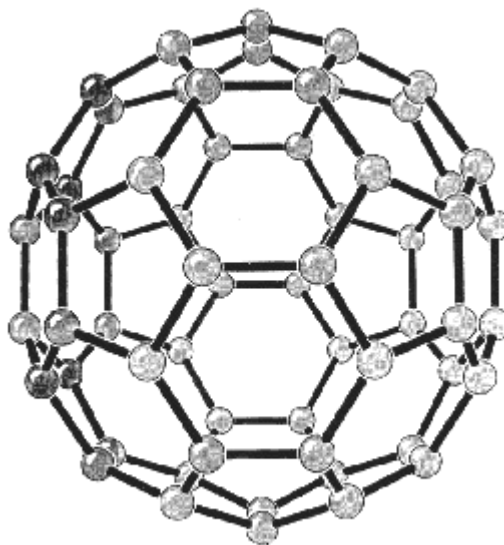


Obr. 1: *Model grafénu*

[4, 5, 6].

2.2 Fulerény

Nasledujúce dve desaťročia miniaturizácie so sebou priniesli objav rastrovacieho kvantového mikroskopu, ktorý ľuďom dovolil preniknúť do sveta nanorozmerov. Vďaka tomu mohol roku 1985 Richard Smalley spolu s vedcom Haroldom W. Krotom (VB) a Robertom F. Curlom, objaviť uhlíkaté štruktúry – fulerény. Fulerény sú obrie molekuly, ktorých kostru tvoria vzájomne prepojené atómy uhlíka, umiestené vo vrcholoch viac alebo menej pravidelných viacstenov. V najznámejšej molekule - buckminsterfullerene, je šesťdesiat atómov uhlíka usporiadaných do pentagonov a hexagonov, ktorých väzby vytvárajú komolý ikosaedr (útvár, ktorý poznáme z povrchu futbalovej lopty). [2]



Obr. 2: *Molekula fulerénu zo 60 atómov uhlíka*

[7].

Fulerény boli zo začiatku len v malom množstve a v plynnom skupenstve. Roku 1990 však došlo k novému obratu. Americko-nemecký tím fyzikov z arizonskej univerzity a Ústavu Maxa Plancka vypracoval syntetickú metódu prípravy fullerénov, ktorá umožnila produkciu fullerénov v gramových množstvách a i konečné potvrdenie ich štruktúry. Táto tretia forma čistého uhlíka (vedľa diamantu a tuhy) sa stala veľkým príslubom pre rozvoj nanotechnológie. Ich výnimočné vlastnosti ako supravodivosť, tvrdosť (za istých okolností dokonca prekonávajúce diamant), magnetické chovanie, liečivé účinky chemických derivátov fullerénu, sú predpokladom k tomu, aby objav fullerénov ovplyvnil všetky odvetvia (výroba výhodných materiálov použiteľných pre konštrukciu lietadiel, vesmírnych sond, počítačových procesorov atď.) [2].

2.3 Polymér a polymérne nanomateriály

Systematicky pripravená makromolekula – polymér, môže meniť svoje vlastnosti. Môže sa chovať ako pevná látka a tak byť použitá na výrobu sáčkov, textílií a ďalších materiálov, alebo môže byť rozpustená vo vode a vytvoriť roztok. Nie len chemická štruktúra, ale i spôsob prepojenia jednotiek základných jednotiek tvoriacich makromolekuly výrazne ovplyvňuje jej komerčné vlastnosti, ktoré určujú možnosti jej použitia ako polymerného materiálu. Tak sa dajú polyméry napríklad obrábať na obrábacom stroji, alebo je možné ich ako plasty roztaviť a naliať do rôznych foriem a pripraviť tak nové výrobky.

Polyméry ponúkajú obrovskú škálu materiálových možností, ktorých vlastnosti možno pripraviť na mieru, podľa potreby – materiály nehorľavé, ohybné i tuhé, nárazuvzdorné, pevné i krehké alebo napríklad fólie. Polyméry sa nachádzajú všade od kefiek na zuby, pneumatík, obalov pre súčasti lietadiel a áut. Jednou z foriem sú i tzv. smerovacie liečivá, ktoré dokážu dopraviť cytostatikum v netoxickej forme napríklad do nádoru. Z chemického hľadiska nevyžaduje syntéza polymérnych liečiv žiadne zložité zariadenia. Stačí sklenený reaktor opatrený deličkou, teplomerom alebo prevodami plynov. Väčšina syntéz polymerov sa dá robiť na takomto, relatívne jednoduchom zariadení. Drahé prístroje sú potom treba pri charakterizácii pripravených látok.

Polymér je vlastne jedna veľká makromolekula, do ktorej sa spojil veľký počet malých molekúl. Ak používame polymérne nanomateriály, môžeme napríklad vytvoriť stavebný materiál, ktorý bude úplne nehorľavý alebo mimoriadne tvrdý. Pridaním látky TEOS (tetraethylfthosilikát) do polymeračnej zmesi opolidu sa zase môžeme dostať až k sklu, ktoré bolo vyrobené v laboratóriu a nie v sklenárskej peci. Táto technika je však veľmi drahá, a preto sa používa len pri mimoriadnych príležitostiach. Bola napríklad použitá pri oprave mozaiky, nad vchodom do Svätováclavskej kaple Sv. Víta [2].

2.3.1 Polymérne zmesi

Polymérne zmesi tvoria významnú skupinu materiálov používaných v technologickej praxi. Ich atraktivita je spôsobená najmä tým, že miešanie polymerov o rôznych chemických vlastnostiach (napríklad pevnosť, tvrdosť, tuhosť a iné) umožňuje kombináciu rôznych vlastností vo finálnom materiále. Tento zjednodušený pohľad je však komplikovaný skutočnosťou, že väčšina polymerov je vzájomne nemiešateľná, a preto sa technika ich vzájomnosti miešania bez prítomnosti vhodných kompatibilizátorov prakticky nie je možná v technologickom merítku. S týmto súvisí aj problém, či vytvoria jednofázový alebo viacfázový systém v zmesi. Nutnou podmienkou preto aby sa dva polymery stali vzájomne nemiešateľné je, že pri ich vzájomnom miešaní musí klesať Gibbsova voľná energia [8].

Nie všetky polymery sú rozpustiteľné v rozpúšťadle. Tie, ktoré nie sú rozpustiteľné nemožu byť použité pre stérickú stabilizáciu. Keď sa polymer rozpustí v rozpúšťadle, interaguje s rozpúšťadlom. Také interakcie závisia na systéme, rovnako ako na teplote. Keď má polymer v rozpúšťadle tendenciu expandovať, pre zníženie celkovej Gibbsovej voľnej energie v systéme, nazýva sa „dobré rozpúšťadlo“. Keď má polymer v rozpúšťadle tendenciu sa zvinúť alebo stlačiť sa, pre zníženie Gibbsovej voľnej energie, rozpúšťadlo je považované za "zlé rozpúšťadlo".

Pre daný systém, tj. daný polymer v danom rozpúšťadle, ak je rozpúšťadlo "dobré" alebo "zlé", rozpúšťadlo je závislé na teplote. Pri vysokých teplotách sa polymer rozširuje, vzhľadom k tomu, že pri nízkych teplotách, sa polymer stláča. Teplota, pri ktorej sa „zlé“ rozpúšťadlo prevádza na „dobré“ rozpúšťadlo, je Flory-Hugginova théta teplota, alebo

jenoducho \square teplota. Pri $T = \square$, je považované rozpúšťadlo v theta stave, pri ktorom sa Gibbsova voľná energia nemení aj keď sa polymer rozširuje alebo kolabuje.

V závislosti na interakcii medzi polymerom a pevným povrchom polymeru možno rozdeliť na:

- ukotvený polymer, ktorý sa nevratne viaže na pevný povrch iba jedným koncom, spravidla sú to dvojblokové polymery
- adsorbujúci polymer, ktorý adsorbuje slabo náhodné body pozdrž reťazca polymeru
- neadsorbujúci polymer, ktorý nemá pripojenie k pevnej ploche, teda prispieva k stabilizácii polymerov

Interakcia medzi polymerom a pevným povrchom, je obmedzená na adsorpciu molekúl polymeru do pevného povrchu. Adsorpcia môže byť tiež vytvorením chemickej väzby medzi povrchom iontov alebo atómov v tuhej látke, a polymerných molekúl alebo slabou fyzikálnou adsorpciou [9].

2.3.2 Nanovlákná

Katedra netkaných textílií vedená prof. Oldřichom Jirsákom na Technickej univerzite v Liberci pracovala na výskumnej úlohe zvláknenia polymerov a pri tej príležitosti vedci narazili na možnosť využitia pri výrobe nanovláken. Sú silné len niekoľko atómov, teda tisíckrát tenšie ako normálne textilné vlákna o hrúbke medzi 10 – 40 tisíc nm. Medzi ich vlastnosti patrí napríklad obrovský merný povrch vynikajúcej mechanickej vlastnosti v pomere k ich váhe, malá veľkosť pórov. Majú neuveriteľnú transparentnosť, pretože tieto vlákna môžu byť tenšie ako najkratšia vlnová dĺžka svetla. Sú tak neviditeľné dokonca i pod optickým mikroskopom. Preto je treba podklad, na ktorý sa nanášajú.

V súčasnosti je vyvinutých niekoľko metód výroby nanovláken.

- ťahaním prúdom horkého vzduchu (metóda známa ako meltblown). Je schopná produkovať nanovlákná o priemere cca 1000 – 2000 nm.
- rozpúšťaním polymerového spojiva z morských rias – v tomto prípade sa priemyslové využitie ukázalo ako obtiažne.

V Liberci sa zamerali na tretiu metódu, ktorá používa elektrické pole (elektrospinning). Ich technológia je založená na zvlákňovaní vodných roztokov polymerov v elektrickom poli. Ide tak o vysoko ekologický proces, pretože sa nepoužívajú chemické rozpúšťadlá. Prakticky neexistuje odpad.

Laboratórny model zvlákňovacieho stroja sa im podarilo vyrobiť za 20 mesiacov. Tento funkčný model ale ešte nefungoval v podmienkach hromadnej výroby, i keď dokázal pracovať ako stroj. Na výrobe nanotechnológií pracuje okolo stovky výskumných laboratórií, prechod od výskumu k vývoju zvládlo niekoľko desiatok a prechod od vývoja k výrobe len liberecké laboratórium. Na základe licenčnej zmluvy, kedy si Technická univerzita nechala právo patentov a prenechala výhradné právo k výrobe a komercializácií, začala spolupracovať s firmou Elmarco. Stroj nazvali Nanospider a je schopný vyrábať vlákna o priemere 100 – 300 nm, formou kontinuálnej výroby pri nízkych prevádzkových nákladoch. Česká technológia navyše umožňuje akúkoľvek šírku materiálu.

V súčasnosti český tím rozpracováva jednotlivé aplikácie. Jednou z nich sú napríklad filtračné médiá. Vďaka svojim vynikajúcim filtračným vlastnostiam majú nanovláknové textílie využitie vo filtroch pre laboratória, chirurgické sály a priestory s veľkými nárokmi na čistotu. Využitie môžu nájsť i v biomedicíne, kde možno vytvoriť inteligentné filtre, ktoré likvidujú baktérie alebo dokonca obsahujú protilátky. Ďalšou z oblastí je vývoj materiálov pre zvukovú izoláciu – nanovlákná totiž výborne pohlcujú zvuk v počutelnom spektre. Uplatnenie napríklad v automobilovom, stavebnom, či leteckom priemysle.

Nanomateriály sú porézne, čo umožňuje vývin hydrofóbne upravených nanomateriálov, ktoré budú nepriepustné vodou, ale zároveň umožnia prestup vodných pár a vzduchu. Využitie by bolo možné napr. v armáde či športovnom oblečení. Štruktúra nanovláknenej textílie sa podobá štruktúre medzibunečnej hmoty ľudského tkaniva [2].

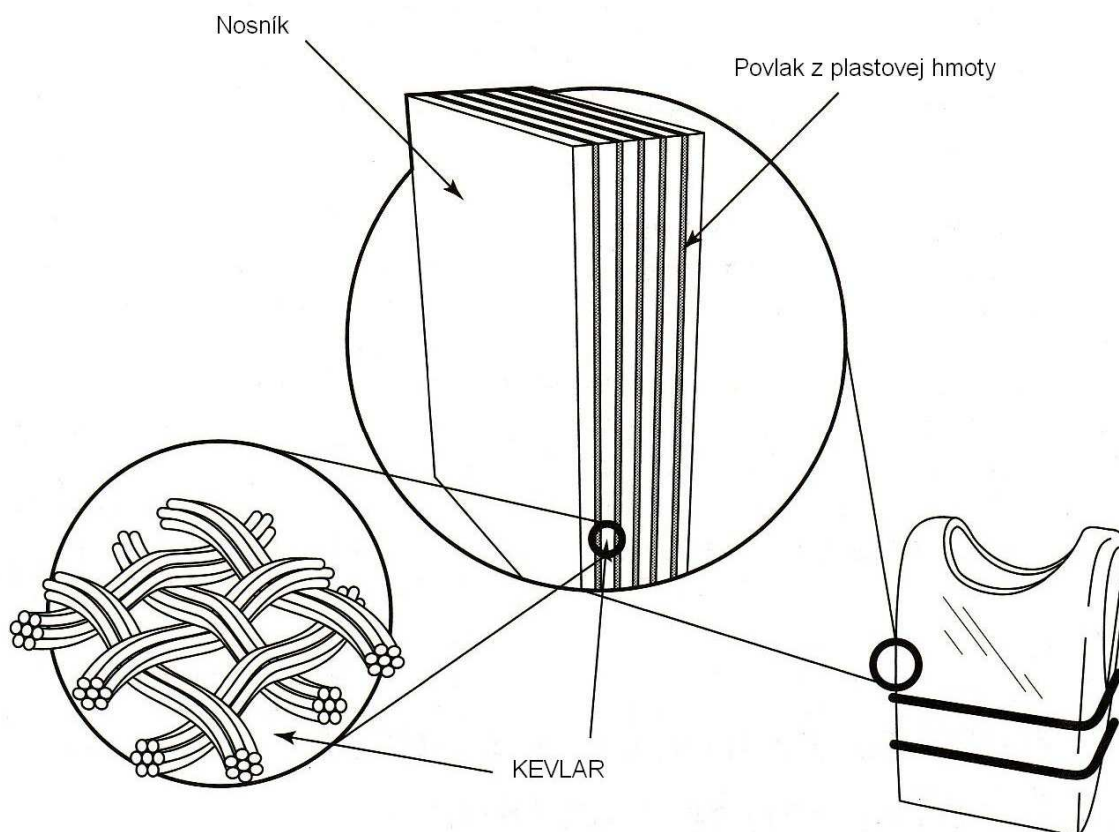
2.3.3 Využitie nanovláknien v textilnom priemysle

Nepriestrelná vesta - ľudia ju omotajú okolo seba v nádeji, že ich bude chrániť od praku a šípu od hanebného osudu. Keď človek začal poľovať, chránil svoje telo kožou. Kovovýroba pokročila z bronzu na železo a nepriestrelnými vestami pokročila pretože do módy prišli reťazové brnenia a plechy. Čo sa zbraní týka, stali sa silnejšie a ťažšie. V roku

1881, Dr. George Emery Goodfellow chcel upozorniť na to, že strela prejde ľudským mäsom a zlomí rebrá, ale nepoškodí hodvábnu vreckovku, ktorá by sa nechádzala vo vrecku. To viedlo Georga k zväštne nazvaným štúdiám, "Poznámky o nepreniknuteľnosti guľky cez hodvábu. "

Nenaznačuje tým, aby sme sa v budúcnosti obliekli do hodvábu. Tu je možné vidieť začiatok príbehu, ktorý dosiahol vysokého bodu v 1960, keď DuPont vyvinul kevlar. Silné polymerné vlákno, v súčasnosti používané v nepriestrelných vestách. Kevlar, o rovnakej hmotnosti ako oceľ, je aj päťkrát silnejší ako oceľ, čo nedá veľký zmysel, kým si človek uvedomí, že kľúčom k nepriestrelnej veste je výdaj energie náboja v rozsiahlej oblasti.

To je ako keby ste dali do futbalovú loptu do siete - sieť absorbuje energiu lopty a rozptyluje sa na rozsiahlejšie oblasti. Kevlarové vlákna sú prekladané - keď guľka zasiahne horizontálne vlákno, tak vlákno ťahá každé prekladané vertikálne vlákno. Navyše, každé vertikálne vlákno pokračuje tlačením na každé následné horizontálne vlákno. To umožňuje úplnej vrstve kevlaru absorbovať energiu náboja bez ohľadu na to, kde skutočne guľka udrela. Obrázok ukazuje prierez nepriestrelnej vesty [10].



Obr. 3: Prierez nepriestrelnej vesty [10].

S pokrokom technológie sa dá predpokladať objavenie silnejšieho vlákna nahrádzajúceho kevlar.

Pavúči hodváb - vedcovia biotechnológie chovajú geneticky upravené kozy na produkciu mlieka s vysokým obsahom pavúčieho hodvábného proteínu. To je potom plné vlákničky - s názvom Bioocel' - ktorá môže byť 20 krát silnejšia ako zodpovedajúca časť z ocele.

Sľubne sa ukazujú uhlíkové nanoelektrónky, ktoré by mali mať pevnosť 100 násobne väčšiu ako oceľ. S perfektným uhlíkovým nanoelektrónovým vláknom, spútaným spolu bez straty sily, môžete zdvíhať auto ako tenké šijacie nite. Tkanie nanoelektrónového vlákna v oblečení sa môže stať cestou k ukladaniu energie (napr. batéria), ktorá by sa potom mohla použiť v rôznych elektrických zariadeniach a senzoroch na monitorovanie ľudských známkov života. Možnosti sú nekonečné.

Výskumníci Clemsonskej univerzity majú integrovaný polymérový film zmiešaný s

nanočasticami striebra, vyrábajú "samo-čistiaci" povlak na oblečenie. Tento povlak sú mikroskopické čiastočky, ktoré spôsobia, že špina je nimi pohlcovaná. To je iné ako ostatné vodu - odpudzujúce materiály ako teflón, pretože tento film je včlenený do štruktúry a nie je aplikovaný ako ďalšia vrstva do látky.

Častice sú príliš malé na to aby sme ich videli, pretože ich veľkosť je menšia ako vlnová dĺžka svetla [10].

2.3.4 Nanotrubky

Roku 1991 Japonec Iijima ukázal, že možno pripraviť fullerény, ktoré nie su guľovité, ale valcové (ide vlastne o dlhé, úzke a čisto uhlíkové trubky, tvorené veľkým množstvom šesťuholníkov a niekoľkými päťuholníkmi). Nikdy pred tým nebol k dispozícii lepší materiál. Nanotrubky totiž môžu vykazovať mechanickú pevnosť i 50 až 100-krát vyššiu ako o veľa ťažšia oceľ. Môžu viesť prúd ako meď a teplo ako diamant. Nanotrubky môžu zmeniť i oblasť úschovy energie a viesť k rozvoju alternatívnych pohonov vozidel založených na vodíku. Pokrok vo výskume elektrického chovania nanotrubiek ukázal, že niektoré nanotrubky sa môžu chovať ako polovodiče. Najdlhší vyrobený celistvý kus má dĺžku dvadsať centimetrov, dlhšie vedci získavajú zváraním (bohužiaľ, stále ešte jeden kilogram stojí viac ako pol milióna dolárov). Ich zaujímavou vlastnosťou je okrem toho, že sa pod elektrickým napätím predlžujú a skracujú, schopnosť vyžarovať elektróny ako katóda televíznej obrazovky. To samozrejme ponúka rýchlu návratnosť prostriedkov vložených na výzkum (napr. korejský Samsung vložil do tohoto smeru vývoja nemalé prostriedky) [2].

3 APLIKÁCIE NANOMATERIÁLOV A NANOTECHNOLÓGIE V RÔZNYCH ODVETVIACH

3.1.1 Medicína

- cielená likvidácia nádorov, využívajú sa absorpčné schopnosti nanočastíc cielene usadených v nádorových tkanivách - po ožiarení infračerveným laserovým alebo vysokofrekvenčným elektromagnetickým žiarením dochádza k deštrukcii nádorového tkaniva. V terapii nádorov sa nanočastice najčastejšie využívajú u nádorov prostaty. V bunkách nádoru sa zhromaždí dostatočné množstvo magnetických nanočastíc oxidu železa, ktoré sa rozkmitajú vonkajším vysokofrekvenčným magnetickým poľom a zahrejú k teplote okolo 50 stupňov. Tým dôjde k zničeniu nádorových buniek. V štádiu klinických testov je i liečba u nádoru mozgu.
- nanočastice oxidov ako kontrastné látky pre nukleárnu magnetickú rezonanciu (NMR). Nanočastice na bázi oxidov železa sa využívajú pri vyšetovaní pečene magnetickou rezonanciou. Pokusy sa ale uskutočňujú v rade aplikácii, predovšetkým u diagnostiky nádorov.
- lab-on-chip (diagnostické laboratórium na čipe) – intenzívne sa rozvíjajúce odvetvie elektronickej diagnostiky, kedy analyzátor, skladajúci sa z miliónov nanočidiel bude schopný zobrazit' okamžite chemické zloženie telných tekutín
- cielená doprava liečiv na určené miesto: nanočastice sú schopné niesť liek a stať sa jeho dopravcami do tela. Pri tom chránia medikament pred zničením v rôznych prostrediach organizmu a dopravlia ho presne tam, kde ho je treba. Nástup jeho účinnosti je tiež ďaleko rýchlejší.
- implantáty (umelé kĺby, chlopne, náhrada tkanív), transplantácie
- dezinfekčné roztoky novej generácie: špeciálny gel na rany, ktorý ničí baktérie, plesne, kvasinky i spóry, pomáha likvidovať baktérie v poranených a popálených miestach. Obsahuje viac ako 90 percent vody, takže zvlhčuje ranu a zabraňuje obnaženiu nervových vlákien. Tiež tým napomáha čisteniu rany (gel zatiaľ čakajú testy a schvaľovací proces). Antibakteriálne hygienické vreckovky.

- opaľovacie ochranné krémy s nanočasticami oxidu zinočnatého (odrážajú UV žiarenie)
- nanoroboti, napr. chirurgické zákroky vo vnútri tela na úrovni buniek. Ďalej pomoc imunitnému systému podieľať sa na procesoch látkovej výmeny, vykonávať nejaké opravné úkony, prípadne sa zhlukovať do väčších celkov a vytvárať zložitejšie a výkonnejšie systémy.

3.1.2 Potravinárstvo

- inteligentné a multifunkčné obaly pre zvýšenie trvanlivosti a kvality potravín
- účinnejšie potravinové doplnky, napr. koenzym Q10 – tradičná forma sa vyznačuje extrémne nízkou rozpustnosťou vo vode a následne veľmi obmedzeným vstrebávaním v tenkom čreve. Oproti tomu nanokoenzým Q10 je tvorený presnými časticami s micelárnou štruktúrou o veľkosti od 30 nm do 150 nm a obsahuje niekoľko stoviek molekúl koenzýmu Q10. Takto upravený nanokoenzým Q10 vo forme nanosuspenzie alebo roztoku vykazuje v porovnaní s bežným koenzýmom Q10 niekoľkonásobne vyššiu vstrebateľnosť, podstatne rýchlejší nástup účinku a je bezozbytku využitý
- zisťovanie a neutralizácia mikroorganizmov alebo pesticídov
- sledovanie pôvodu potravín pomocou miniaturizovaného „značkovania“

3.1.3 Elektronika

- vysokokapacitné záznamové médiá (nosiče dát s veľmi vysokou hustotou záznamu)
- logické obvody na molekulárnej úrovni
- zobrazovacie zariadenie s vysokým rozlíšením
- fotomateriály, fotočlánky s dlhou životnosťou
- palivové články (napr. nové palivové články, ktoré budú vhodné i pre efektívne skladovanie vodíku), vysokokapacitné batérie

- čidla a detektory

3.1.4 Strojárstvo

- nové, superpevné materiály
- supertvrdé povrchy s nízkym trením , odolné voči poškrábaníu i voči vode
- samočistiace oderu vzdorné laky
- kompozitné materiály
- obrábacie nástroje

3.1.5 Stavebníctvo

- izolačné materiály novej generácie
- samočistiace fasádne nátery
- antiadhézne obklady

3.1.6 Kozmický priemysel

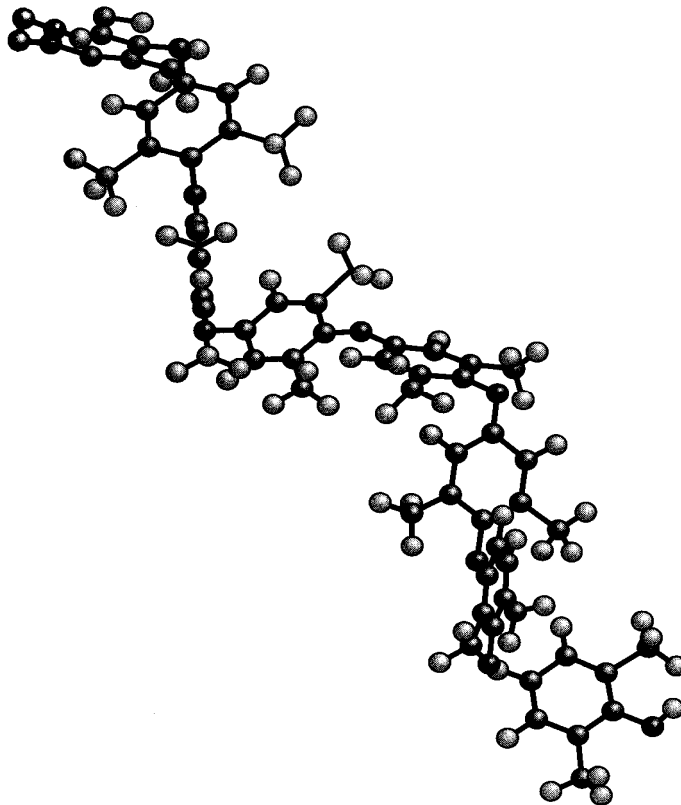
- katalyzátory a nové, vysoko účinné palivé, odolné povrchy satelitov [1].

4 VPLYV ŠTRUKTÚRY NANOMATERIÁLOV NA VLASTNOSTI

4.1 Pridávanie pevnosti kompozitami

Kompozity sú konštrukčným materiálom zložené z dvoch alebo viackomponentov. Je veľa druhov kompozitov - niektoré sú vyrobené z vločiek zlisovaných a zlepených dokopy (triesková doska) a niektoré sú zkonštruované z vlákien (skelný laminát). Zvyčajne vlákno vstupuje ako "chrbtica" pre materiál a základná látka naviaže vlákna dokopy. Vlákna sú vybrané podľa vhodnej pevnosti a základná látka je vybraná podľa schopnosti viazať sa na tieto vlákna. Dôvod prečo sme pridali vlákna je zvýšenie pevnosti konečného materiálu.

Dobrá vec na kompozitoch je, že sú silné - sú tiež formovateľné. Prečo používať hromadné materiály, keď sa kompozit skladá zo skla a epoxid bude rovnako silný alebo ešte silnejší? Nehovoriac o skutočnosti, že hliníková rímsa do požadovaného tvaru nemusí byť rovnako účinná ako lišta zložená z plastového kompozitu. Tento kompozit môže byť dokonca ľahší a silnejší. Môžete vidieť, že kompozity sú prvý pokus urobiť perfektný materiál - ľahší, silnejší, lacnejší [10].



Obr. 4: Polymerný reťazec [7].

Rok 1839 sa stal významným rokom, keď Charles Goodyear vulkanizoval gumu (kaučuk) varením v síre. Prišlo k štruktúrnym zmenám a po čase sa stávala guma vo vysokých teplotách lepkavou a mazľavou a v nižších - studených teplotách zase krehká. Bez vulkanizácie by sme nemohli mať adekvátne pneumatiky pre naše autá a množstvo vecí by zase mohlo veľmi prekážať v našom priemysle.

Ďalším pamätným dátumom v postupe k plastickej dokonalosti bol rok 1894, keď prirodzený polymér, celulóza, bol použitý na zámenu drahého hodvábu.

Umelý hodváb nemal samozrejme eleganciu hodvábu ale bol omnoho lacnejší a jednoduchší, čo sa týka starostlivosti.

Bakelit, začínajúci bod pre veľa tisícov kusov obalov šperkov, elektrických izolátorov, rádio súprav, telefónov a kancelárskych potrieb, prišiel okolo roku 1909 a je považovaný za prvý čistý syntetický plast a termoset - pevný, tvrdý a odolný voči teplote [10].

Bakelit - lacný, silný a trvanlivý - používame v rádiách, telefónoch, hodinách a dokonca biliardových guliach. Je to reaktoplast, čo znamená, že na rozdiel od termoplastov (napr. polyetylén, celuloid) ho nie je po ochladení možné opätovným zahriatím tvarovať. Vzniknutý bakelit má vždy tmavohnedú až čiernu farbu a na svetle postupne tmavne. Pri lisovaní výrobkov z bakelitu sa do hmoty väčšinou pridávajú rôzne prímеси, napríklad drevná alebo kamenná múčka, textilné vlákna atď. [11].

Plasty pokračovali vo vývoji aj počas svetových vojen - styrenne peny, PVC, nylon, akrylový polymér, epoxid, Mylar, Teflon a Kevlar [10].

Približné roky objavenia a využitie niektorých plastov (tab. 1) [10]

Tab. 1: Objavenie, vlastnosti a aplikácie plastov [10].

Rok	Názov	Vlastnosti	Aplikácia
1834	Vulkanizovaný kaučuk	Citlivosť na teplotu	Pneumatiky na autách
1.sv.v.	Polystyrén (PS)	Krehký, penivý	Jedálenské príbory
1.sv.v.	Polyvinylchlorid (PVC)	Nedegraduje pri teple ani pri chlade	Stavebné potrubia
1927	Nylon	Prvé syntetické vlákno	Pančuchy, padáky
1933	Polyetylén (PE)	Lacný, trvanlivý	Tupperware výrobky
1938	Teflon	Nízke trenie, odolný voči korózii	Gora-texové oblečenie, panvice
1939	Epoxydové živice	Adhézna látka	Lepidlá
1941	Polyester	Syntetické vlákno	Odevy v 70-tych rokoch
1960	Kevlar	Tvrdá a ľahká látka	Nepriestrelné vesty
1970	Polykarbonát	tvrdá látka	CD, sklá na okuliaroch

4.2 Spojenie uhlíkových nanotrubic

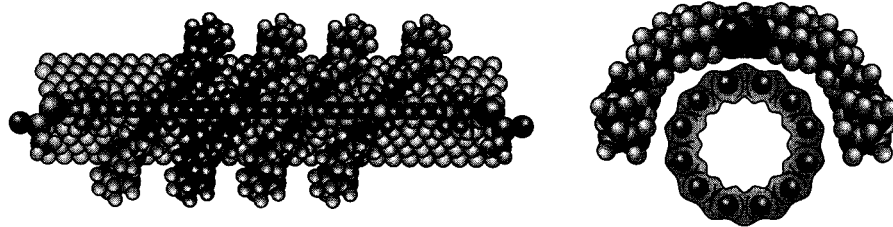
Ľudia zo spoločnosti Zyvex videli jasne, že jedným z kľúčov k efektívnemu kompozitu je rovnomerný rozptyl vlákna v základnej hmote. Hliníkové nanotrúbice sa vo vlastných smeroch potrebujú spolu nahromadiť - priamy dôsledok Van der Waalsovej sily. Sú rozdielne chemickými väzbami, ktoré pripájajú molekuly k iným.

Rozptyl vlákna je dôležitý pre pracovanie s uhlíkovými nanotrúbkami. Pre zhukovanie jednotlivých nanotrubic existujú rôzne priblíženia:

- *Povlakovanie trúbiek:* aplikácia tohto typu povlakov znamená aj nejaký risk - štruktúra unikátnych nanotrubic a elektrických vlastností sú niekedy negatívne afektované.
- *Ultrazvukové vibrácie:* dlhšie ultrazvukové vibrácie môžu poškodiť steny rúrky.

Spoločnosť Zyvex zistila, že na obale nanoelektrónky s polymérom bol docela účinný spôsob ako zabezpečiť, aby boli rúrky rovnomerne rozptýlené. PPE je tuhý polymér, ktorý nie je ľahko ohýbateľný. Tu nastupuje do hry statická priliehavosť. Nekovalentná účinnosť

zlepuje polymér k nanoelektrónom, ktorý drží rúrky zviazané dokopy. Táto nekovalentná funkcionalizácia medzi rúrkou a povlakom umožňuje nanoelektrónkam rovnomerne sa rozptýliť v polymére. PPE sám poskytuje unikátne fyzické, optické a elektronické vlastnosti [10].



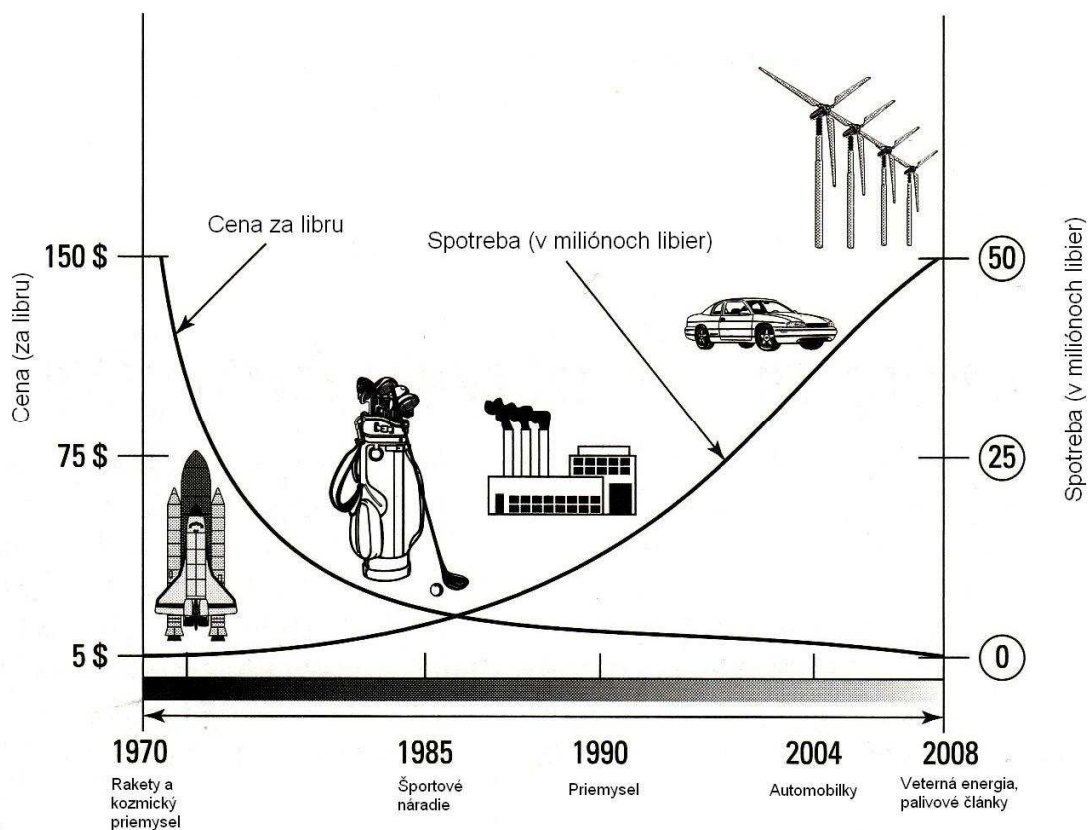
Obr. 5: Vrchná polovica uhlíkovej nanotrúbky natrená polyarylén - etylénom (PPE) [10].

Pridaním PPE každá trubica začne fungovať ako jednotka, ktorá poskytuje posilnenie vlákna. PPE sa môže zmiešať s polymérovou základnou hmotou, v tomto prípade polystyrén, dobre známy tvrdý plast, ktorý sa vyskytuje vo forme počítačových bední či pohárov [10].

4.3 Nanotrúbky

Nikto dnes nemôže prísť s faktom, že uhlíkové nanotrúbky sa nepodieľajú na tvorbe materiálov s vynikajúcimi mechanickými, elektrickými a tepelnými vlastnosťami. Kompozit sa môže formovať otočením uhlíkových nanotrubiek do vlákna, ktorý je vložený vo vnútri základnej látkovej hmoty. Vytvorenie tkanivových vlákien, ktoré majú byť použité v kompozite nie je nič nadprirodzené: nepriestrelné vesty používané v armáde sa už dlho skladajú z kevlaru, polyméru - zloženého vlákna a športového vybavenia využívajúceho uhlíkového vlákna. Použitie uhlíkových vlákien sa zvyšuje vzhľadom k tomu, že sa znižujú náklady.

Nasledovný obrázok ilustruje toto prekrútenie zákona ponuky a dopytu - tu platí, že väčší dopyt, nižšia cena. Uhlíkové vlákna môžu zohrávať dôležitú úlohu úlohu pri uchovávaní (palivové články) a generovaní elektrickej energie (veterné turbíny).



Obr. 6: Časový prehľad použitia uhlíkového vlákna [10].

Uhlíkové nanoelektrónové vlákna by mali byť požadované za ekonomicky životaschopnú alternatívu. Ak majú tieto vlákna dobré vodivé a tepelné vlastnosti, sú sto krát mechanicky pevnejšie.

Zdôrazňovali sme silu ako hlavný prínos nanoelektrónových vlákien, ale najviac vzrušujúce aplikácie nemusia nevyhnutne potrebovať surovú silu. Prichádzame s neuveriteľne silným, ľahko vodivým vodičom bez výrazného vplyvu distribučnej energie. "Kreslo kvantového vodiča" - mohlo byť použité okolo kyvadlových elektrónov s malým otvorom pri aplikácií. Tradičným materiálom pre nízko odporové vodiče je meď. Nájdenie ľahkej, odolnej energie efektívnou alternatívou k tradičným vodičom by nie len pomohlo nášemu úsiliu a snahe ale tiež by mohli podporiť vznik palivovo účinných automobilov a iné každodenné predmety.

Zamotané uzly materiálov určite majú svoje použitie - hlavným cieľom nanotechnológie je využitie existujúcich priemyselných techník k manipulácii atómov a molekúl ako celok a urobiť atomicky dokonalú, použiteľnú štruktúru. No zamotané uzly materiálov

neprodukujú vždy použiteľné štruktúry. Tento fakt doviedol niekoho k záveru, že prvým cieľom podnikania, ak pracujete s uhlíkovými nanoelektrónkami, je aproximácia - ak sa všetky nanoelektrónky vyrovnajú do jednej roviny. Ak si vezmete plastovú slámku na pitie a držíte ju na koncoch, môžete ťahať a tlačiť konce ako chcete, ale bude to chcieť skutočne nejakú snahu slámku zničiť. Avšak, keď vezmete váš prst a štuchnete slámku zo strany, slámku jednoduchšie vydujete a ohnete. A to isté sa stane, ak máte zväzok zarovnaných slámiek. Sila potrebná na natiahnutie alebo stlačenie tohto zväzku slámok je pomerne značná v porovnaní s potrebnou silou jednoducho ohýbať tieto slámky. Čiže zarovnané slámky sú silnejšie pozdĺž ich dĺžky.

Predstavte si „nanoslámky“ usporiadané ako vlákna. Tieto vlákna budú mať veľkú silu, keď budete ťahať - je to ako skúšať vytiahnuť tento zväzok slámiek ale namiesto toho ťaháte uhlíkové nanoelektrónky. Toto vlákno nebude pevné a pružné, takže stlačenie a ohýbanie na makromeradle nebude faktor, ktorý to zlomí.

Vlákno s vysokou pevnosťou. Akou vysokou? Tabuľka č. 2 udáva elasticitú pevnosť a hustotu pre bežné materiály. Naším cieľom je vlákno, ktoré je pevné a ľahké. Teraz porovnáme uhlíkové - nanoelektrónové materiály - má obrovskú pevnosť a hustotu v porovnaní s uhlíkovým vláknom.

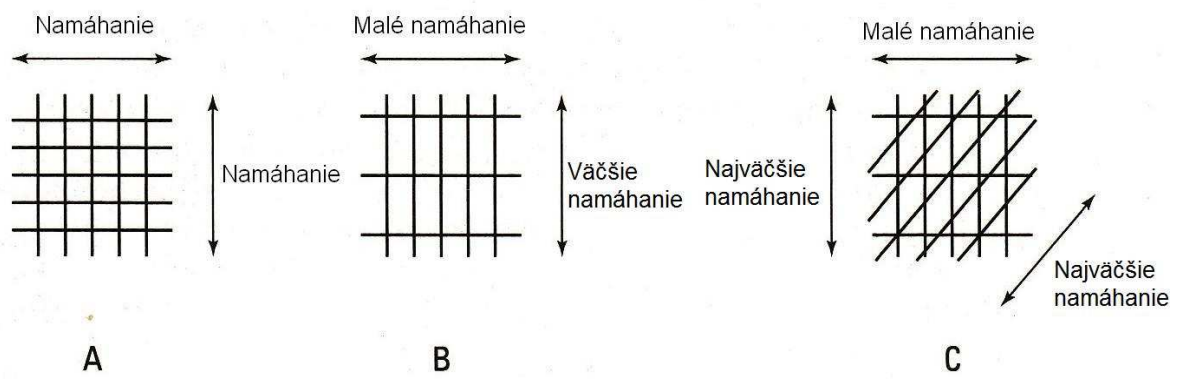
Pevnosť ťahu v tabuľke je meraná v pascaloch, jednotka tlaku. Gpa je GigaPascal - jednu miliardu pascalov. Pre správnu mieru sme dali do porovnania elasticitu z rôznych materiálov, pretože elasticita je nehnuteľnosť vo vlákne. Elasticita je tu označená aj v Youngovom module - hodnota, ktorá popisuje, ako vlákno odolá veľkému namáhaniu (ťah) a stresu (sily pôsobiace na konkrétnu oblasť) [10].

Tab. 2: Porovnanie materiálov [10].

Materiál	Ťažná sila [Gpa]	Modul pružnosti [Gpa]	Hustota [g/cm ³]
Drevo	0.008	16	0.6
Kaučuk	0.025	0.05	0.9
Oceľ	0.4	208	7.8
Diamant	1.2	1140	3.52
Pavučina	1.34	281	1.3
Kevlar	2.27	124	1.44
Uhlíkové vlákna	2.48	230	2
Sklenené vlákna	2.53	87	2.5
Uhlíkové nanotrúbky	200	1000	2

S rastúcou cenou ropy, sa tvorcovia lietadiel snažia nájsť ľahké kompozity - ľahšie lietadlá spotrebujú menej paliva, čo znamená zníženie nákladov na prevádzku. Konštrukcie lietadiel teraz využívajú uhlíkových vlákien u niektorých dielov, čo značne znižuje hmotnosť. Vlákno je tkané rovnako ako kevlarové vesty so zarovnanými vláknami s vedením vysokého napätia. Viac či menej vlákna sa používa v závislosti na výške napätia v určitom smere. Obrázok 7 ukazuje aj rozloženie namáhania.

Obrázok v strede na obrázku 7 ukazuje väčší dôraz pozdĺž vertikálneho prístupu, ktorého výsledkom je viac vlákien v tomto všeobecnom smerovaní. Táto kresba vpravo na obrázku znázorňuje situáciu, kde je vysoké napätie vo vertikálnom a diagonálnom smere, ale menej v horizontálnom smere. Tieto vlákna môžu jedného dňa aj vnímať a reagovať na zaťaženie - predstavte si jedno krídlo lietadla, namáhanie naň a reakciu - buď je deformujúca na zníženie stresu alebo čoraz viac neohybné zvládnuť stres [10].



Obr. 7: Prepletanie vlákien [10].

5 TRENDY V OBLASTI NANOMATERIÁLŮV

5.1 Smart Materiály

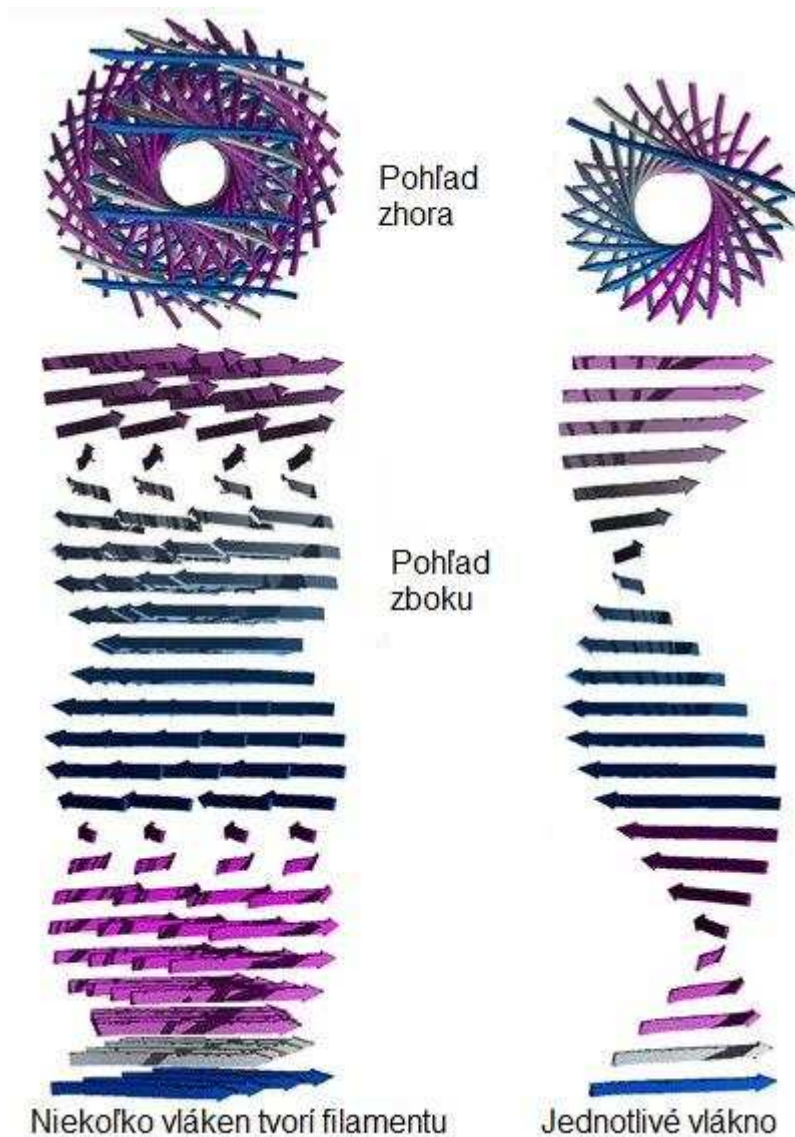
Smart materiály sú materiály, ktoré môžu vnímať alebo reagovať na svoje prostredie. V tejto sekcii je rada kovov a plastov, ktoré reagujú na zmeny v pohybe. Niektoré nové sensory sú menšie ako kedykoľvek predtým a kompozity, ktoré sa skutočne opravajú sami. Tvarovou pamäťou kompozitov sú materiály, ktoré si udržia svoj pôvodný tvar bez ohľadu na to, ako sa ohýbaním dostanú mimo tvar. Príkladom tvarového pamäťového kovu od Flexonu sú okuliare využívajúce Nitinol, čo je zliatina niklu a titánu, ktorý predložil Naval Ordnance. Užívateľ ich ohýba, dokonca na nich sedí a opätovne sa vrátia k ich tvaru. Sú príkladom, že výrobok pochádza z armády a NASA výskumu. Tvar - pamäť kompozitných je v dvoch príchutiach: kovový a polymér [10].

5.2 Amyloidy ako náhrada nanomateriálov

Vedci začínajú tušiť široké uplatnenie amyloidov v nanotechnológiach.

Amyloidy obsadené v tkanivách a orgánoch sú spojované s mnohými chorobami, vrátane Alzheimerovej a Parkinsonovej choroby, cukrovky II. typu a prionovými ochoreniami, ako je napríklad BSE. Ničmenej amyloidy nie sú len patologickými látkami, ale majú obrovský potenciál budúceho použitia, kedy by mohli nahradiť a vylepšiť niektoré aplikácie, pre ktoré sa zatiaľ javilo jediným možným riešením využitia syntetických nanomateriálov.

V prírode nie sú amyloidy vždy len abnormálne, nesprávne zložené proteíny, sú tiež fyziologickými zložkami organizmu. Napríklad sú dôležitým ochranným materiálom vo vaječných obaloch hmyzu a rýb. Tiež sú zapojené do tvorenia povrchových štruktúr mnohých baktérií. Amyloidy pokrývajú povrch bakteriálnych buniek, ochraňujú ich pred antimikrobiálnymi látkami a majú i niektoré ďalšie funkcie [12].



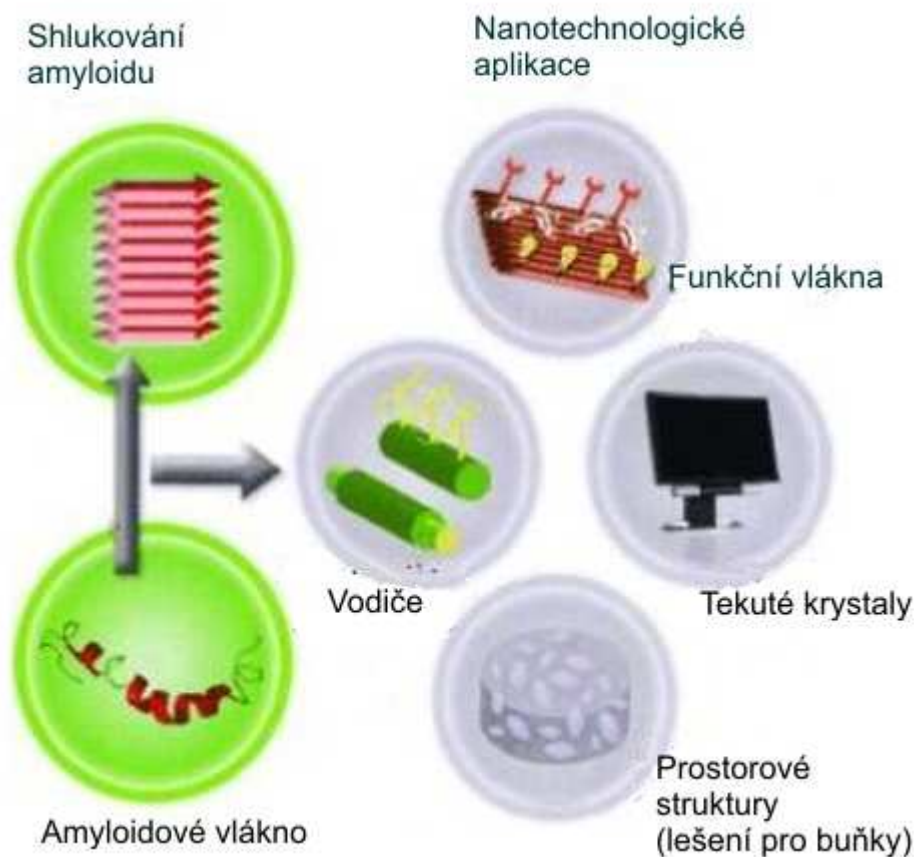
Obr. 7: Amyloidové vlákno a vlákno [12].

Amyloidové vlákna majú charakter zväzkov vysoko usporiadaných proteinových vlákien spletených do podoby akéhosi rebríka a môžu byť niekoľko mikrometrov dlhé. V priereze sa amyloidy javia ako dutý valec alebo páska. I keď sú amyloidové vlákna tvorené z proteínov, o veľa viac sa svojimi vlastnosťami podobajú syntetickým polymerom (plastom) ako obyčajným globulárnym proteínom. Amyloidy tak môžu predviesť úžasné mechanické vlastnosti, podobné pavúciemu vláknu. Pavúčie vlákno, taktiež niekedy nazývané pavúči hodváb, je na namáhanie ťahom o mnoho pevnejšie ako oceľ a navyiac môže byť natiahnuté na mnohonásobok svojej pôvodnej dĺžky, bez toho aby sa pretrhlo – to sú vlastnosti, ktoré zatiaľ neboli zopakované u žiadneho zo syntetických vlákien.

„Výborné mechanické vlastnosti amyloidov (pevnosť a pružnosť), z nich robia atraktívne prírodné stavebné prvky nových nanoštruktúr a materiálov,“ tvrdia autori štúdií z univerzity v Tel Avivu. „Vlastnosti ich „stavebných kameňov“ môžu byť ľahko a v širokom spektre menené pomocou jednoduchých molekulárnych techník.“ Povrchy vlákien môžu byť „šité na mieru“. Môžu slúžiť ako základ biokompatibilných povlakov v analytických prietokových prístrojoch a u celej rady lekárskeho nástrojov a zariadení.

Ďalšie nápady zahrňujú tvorbu amyloidových hydrogelov pre obalovanie a kontrolované uvoľňovanie liečivých látok. Ponúka sa tvorba trojrozmerných štruktúr, akéhosi lešenia pre uľahčenie rastu buniek a ich uplatnenia v tkanivovom inžinierstve. Funkčné proteíny, ako sú napríklad enzýmy, by mohli byť naviazané k amyloidom a tým by bolo možné napodobniť niektoré biologické procesy.

Zaujímavou možnosťou je vyrobiť vodivý koaxiálny nanokábel (vyplnením stredu amyloidového vlákna nanovodičom). V budúcnosti sa určite objaví veľa možností využitia takých nanovodičov v lekárstve, protetike a podobne [12].



Obr. 8: Predpokladané využitie amyloidov v nanotechnológiach [12].

6 RIZIKOVÉ ASPEKTY SPOJENÉ S NANOTECHNOLÓGIAMI

6.1 Zdravotné riziko

Otázne je, či sú produkty nanotechnologických procesov bezpečné. Vlastnosti nanomateriálov sú dané ich chemickou povahou, ale tiež budú závisieť na jich veľkosti, tvare, na usporiadaní ich povrchu, prípadne na modifikácii ich povrchu. Už dnes sa vie, že v porovnaní s časticami, ktoré majú zvyčajnú veľkosť (> 100 nm), určité nanočastice sú jednoduchšie inhalované a spôsobujú poškodenie pľúc. Niektoré štúdiá uvádzajú, že nanotrubičky vykazujú obdobné toxikologické vlastnosti ako azbest – spôsobujú rakovinu pľúc.

V súčasnej dobe je zrejmé, že niektoré častice môžu byť schopné prenikať z pľúc do krvného obehu a nasledovne do jednotlivých orgánov. I keď nie je úplne isté čo sa stane ak sa nanočastice do tela dostanú, vieme isto, že častice “normálnej” veľkosti sa v krevnom obehu nenachádzajú. V tejto súvislosti je nutné odmietnuť argumenty, že expozícia nanočasticami napr. cez kožu alebo inhaláciou, je nevýznamná. Z dlhodobého hľadiska sa nedá vylúčiť, že ich vplyv bude významný. Je tiež známe, že niektoré nanočastice sú dostatočne malé, aby mohli prenikať do buniek a poškodiť ich.

Okrem možného dopadu na ľudské zdravie, nanomateriály predstavujú potenciálne ohrozenie životného prostredia. Mnohé z nanomateriálov zostanú v životnom prostredí dlho po tom, čo produkt stratí svoje užitné vlastnosti a hromadí sa tu, pričom toto hromadenie môže poškodiť jednotlivé zložky životného prostredia. Nanomateriály, ktoré sú neškodné pre človeka, môžu poškodiť niektoré zložky citlivej ekologickej rovnováhy. Napr. použitie nanočastíc striebra ako antimikrobiologického prostriedku môže poškodiť užitočné mikróby v biosfére a tak ovplyvniť organizmy na vyššej úrovni.

V súčasnosti je zrejmé, že existuje veľmi obmedzené množstvo informácií o nanomateriáloch a nanoproduktoch, ktoré môžu pôsobiť priame alebo nepriame ohrozenie života alebo životného prostredia. Pri vývoji, výrobe, predaji a spotrebe nano produktov musíme postupovať opatrne, s ohľadom k nutnosti vyvinúť stratégiu a systém kontroly nanosystémov, nanomateriálov a prípadne produktov obsahujúcich nanočastice, za účelom identifikovať a adresne popísať ich potenciálne nebezpečenstvo ohrozujúce ľudskú populáciu a škodlivosť životnému prostrediu, prípadne priemyslu. [1]

V posledných rokoch sa skúmajú rôzne polymerné nanomateriály. Ide o novú triedu polymerných kompozitov, v ktorých majú ztužujúce častice aspoň v jednom rozmere veľkosť radu nanometra ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$). Niektoré sa v polymere vytvoria priamo pri polymeračnej reakcii, iné sa pridávajú až dodatočne. Skúmajú sa napríklad také polymerné materiály, ktoré obsahujú drobučké častice vrstevnatých kremičitanových ílov. Keď sa podarí preložiť ich vrstevnatú štruktúru molekulami nejakého polymeru alebo ich dokonca úplne rozvolniť, využije sa ich značný merný povrch k ovplyvneniu rady vlastností, ako je tuhosť, pevnosť, tepelná stálosť i prepustnosť pre plyny.

Cieľom výzkumu polymérnych zmesí je pripraviť nové materiály odolné voči nárazu, teda s vysokou húževnatosťou. Vedľajším, ale veľmi zaujímavým výsledkom tohoto výzkumu sú nové postupy spracovania zmesného plastového odpadu. Ukazuje sa, že rôznorodý plastový odpad možno spoločne spracovať do uspokojivého materiálu pomocou takzvaných kompatibilizátorov. To sú blokové kopolymery, ich makromolekuly obsahujú štruktúrne jednotky dvoch alebo i viac typov. Novo vyvinuté recyklované polymerné materiály sa už prakticky využívajú, napríklad pre trubky chrániace káblové rozvody alebo ako mriežky, ktoré stabilizujú svahy diaľnic [13].

6.2 Zneužitie nanotechnológie

Je zrejmé, že nanotechnológie môžu byť nástrojom k výrobe efektívnych zbraní. Pokiaľ budú voľne ovládané suverénnymi štátmi, môžu slúžiť ako nástroje úžasnej moci. Počas celej histórie štáty vyvíjali technológie k rozširovaniu svojich vojenských síl a i u nanotechnológií budú zrejme hlavnú úlohu hrať štáty. Vojenské rozpočty podporujú výskumy v oblasti molekulárnej nanotechnológie.

Navzdory svojmu deštruktívnemu potenciálu, ponúkajú nanotechnológie rafinovanejšie možnosti. Nemusí len ničieť, môže byť použitá i k infiltrácií, obsadeniu a ovládnutiu. Drexler vo svojej knihe píše: *„Štáty sa vyvíjali podobne ako gény, memy, organismy a zbrane. Ich inštitúcie sa rozširovali (v rôznych variáciach) rastom, štiepením, imitáciou a porážkami. Bojovné štáty bojujú ako zvieratá; obyvateľstvo im slúži ako kosti, mozgy a svaly. Technologický pokrok bude štáty konfrontovať s novými tlakmi a možnosťami, povedie ich k prudkým zmenám chovania...V určitom zmysle je štát*

jednoducho súhrnom jedincov vytvárajúcich organizačný aparát: súčet ich činov sú činy aparátu.“

Nanotechnológia by mohla pomôcť k ešte väčšej kontrole obyvateľov, mohla by dopomôcť zaplaveniu ľudského prostredia miniaturnými kontrolnými zariadeniami. Predpokladám, že vo chvíli, keď – demokratické - štáty prevádzajú niečo také ako systém Echelon, zrejme nepôjde o utópiu.

V dnešnej spoločnosti už i „demokratické“ krajiny – teda ich vlády, užívajú k svojim cieľom špionáž, mučenie či drogy. Moderná technológia len rozširuje možnosti.

Pokiaľ by sme zašli ešte ďalej, tak štát už vlastne nebude ľudí vôbec potrebovať. Replikujúce sa assembly by mohli nahradiť robotníkov. Moderné AI systémy tiež inžinierov, administrátorov a podobne. Je otázkou, či štáty existujú, aby slúžili ľuďom, alebo aby ľudia existovali preto, aby slúžili štátu. V prvom prípade je to štát tvarovaný ľuďmi. V prípade, že demokraticky kontrolovaná vláda stratí potrebu ľudskej väzby, môže to znamenať, že už nepotrebuje ľudí ako úradníkov či daňových poplatníkov (snáď zostáva funkcia voliča). V druhom prípade štát potrebuje ľudí k upevneniu moci. Pre vyspelú technológiu budú robotníci nepotrební. Hrozba vyspelej technológie v rukách vlád pre nás znamená: nemôžeme pripustiť, aby represívny štát stál na špici vývoja nových technológií. Nové technológie vždy boli a zrejme i budú vystavené zneužitiu. Naša budúcnosť by mohla byť rovnako vzrušujúca ako krátka.

Biológ Stephen Schneider povedal: *“Všetci zdieľame silnú vieru v demokraciu. Tá však môže fungovať správne iba vtedy, keď ľudia chápu rozhodnutia, ktorá je treba urobiť a sú schopní si racionálne vybrať na základe dôvodov pre a proti.“* George Dvorsky dodáva, že veda podporuje skeptické myslenie a to napomáha demokracii, pretože sa občania dokážu vyhnúť nekritickému prijímaniu informácií z médií a od politických a iných autorít.

„Nanotechnológia a umelá inteligencia by nám mohli priniesť nástroje konečného ničenia, ale tie nie su nezadržiteľne deštruktívne. Pokiaľ budeme opatrní, môžu nám slúžiť k budovaniu nástrojov konečného mieru.“ [1].

ZÁVER

Predpokladá sa, že nanotechnológie sa presadia do povedomia širšej verejnosti a ich rozvoj bude stále častejšie financovaný veľkými priemyslovými spoločnosťami.

Skutočnosť, že využívanie poznatkov nanotechnológií už viedlo k tichej revolúcií v rade odvetví (pevné disky počítačov a opaľovacie krémy, výroba automobilových pneumatik atď.).

V dlhodobejšej perspektíve ich využitie povedie k vzniku úplne nových výrobkov, ktorých výroba sa dnes zdá nemožná.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] <http://www.khsova.cz/01_aktuality/nanotechnologie.php?datum=2009-03-18>
[cit. 7.8.2009];
- [2] MOUDRÁ, Lenka, diplomová práce. Ambivalence nanotechnologie. Filozofická fakulta Masarykovy univerzity v Brně.
- [3] <<http://sk.wikipedia.org/wiki/Nanotechnol%C3%B3gia>> [cit. 5.8.2009]
- [4] <<http://www.matnet.sav.sk/index.php?ID=809>> [cit. 12.8.2009]
- [5] <<http://www.lbl.gov/Science-Articles/Archive/sabl/2006/Oct/6.html>> [cit. 7.7.2009]
- [6] <<http://gtresearchnews.gatech.edu/newsrelease/graphene.htm>> [cit. 1.8.2009]
- [7] <http://www.uni-konstanz.de/sfb513/abstracts/A7_Buckminster_Fulleren_C60.gif>
[cit.15.8.2009]
- [8] Lapčík, L., Raab, M. *Nauka o materiálech II*. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2004.
- [9] Guozhong, C. *Nanostructures and Nanomaterials*. Imperial College Press, 2004.
- [10] Booker, R., Boyse, E. *Nanotechnology for dummies*. Willey Publishing, Inc., Indianapolis, Indiana. 2005
- [11] <<http://sk.wikipedia.org/wiki/Bakelit>> [cit. 13.8.2009]
- [12] <<http://www.osel.cz/index.php?clanek=3622>> [cit. 12.8.2009]
- [13] <http://www.otevrena-veda.cz/ov/index.php?p=co_delame&site=umch>
[cit.5.8.2009]

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

UV	Ultrafialové žiarenie [ultraviolet]
DNA	Deoxyribonukleová kyselina [Deoxyribonucleic acid]
VB	Veľká Británia
TEOS	Tetraetylfotosilikát
T	Teplota
θ	Théta
NMR	Nukleárna magnetická rezonancia
3D	Trojrozmerná [Thirt dimension]
PVC	Polvinylchlorid
PS	Polystyrén
PE	Polyetylén
CD	Kompaktný disk [compact disc]
PPE	Polyarylén etylén
GPa	Gigapaskal
NASA	Národná aeronautika a vesmírna administrácia [National Aeronautics and Space Administration]
BSE	Choroba šialených krav [Bovine spongiform encephalopathy]
AI	Umelá inteligencia [Artificial intelligence]
OSN	Organizácia spojených národov

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: <i>Model grafénu</i>	15
Obr. 2: <i>Molekula fullerénu zo 60 atómov uhlíka [7]</i>	15
Obr. 3: <i>Prierez nepriestrelnej vesty [10]</i>	21
Obr. 4: <i>Polymerný reťazec [7]</i>	26
Obr. 5: <i>Vrchná polovica uhlíkovej nanotrubky natrená polyarylén - etylénom (PPE) [10]</i>	29
Obr. 6: <i>Časový prehľad použitia uhlíkového vlákna [10]</i>	30
Obr. 7: <i>Amyloidové vlákno a vlákenko [12]</i>	35
Obr. 8: <i>Predpokladané využitie amyloidov v nanotechnológiach [12]</i>	36

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1: Objavenie, vlastnosti a aplikácie plastov [8].....</i>	<i>28</i>
<i>Tab. 2: Porovnanie materiálov [8].....</i>	<i>32</i>

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Stručná história nanotechnológie

Příloha P II: Potenciálne využitie nanotechnológií v blízkej budúcnosti

PŘÍLOHA P I: STRUČNÁ HISTÓRIA NANOTECHNOLÓGIE

- 1959 - Richard Feynman prichádza s prvou víziou nanotechnológie
- 1960 – v zborníku Caltech vychádza Feynmanova hypotéza o možnosti budovania nanosystémov
- 1973 - teória usporiadania molekúl
- 1980 - snímací tunelový mikroskop (STM), ktorý je schopný zhotovovať snímky jednotlivých atómov na povrchu materiálu
- 1981 - prvý článok o nanotechnológií vo vedeckom časopise
- 1983 - reťazová reakcia v polymére - vytvorí prvý umelý chromozóm
- 1985 - objav buckminsterfullerenu - rezonančný tunelový prvok s kvantovým efektom
- 1986 - prvýkrát zaznamenané jednotlivé kvantové skoky v atónoch – založený Foresight Institute (www.foresight.org)
- 1986 - Eric Drexler vydal knihu Stroje stvorenia
- 1988 - vypracovaná metóda identifikácie osôb podľa DNA z jediného vlasu
- 1989 - prvý prenos ľudského génu s pomocou vírového vektoru
- 1990 - pomocou tunelového skenovacieho mikroskopu napísal tím vedcov na niklový plát 35 xenonovými atómami písmena IBM - metóda sériovej výroby buckminsterfullerenu
- 1991 - pomocou ohybu rentgenových paprskov vznikol prvý snímok molekúl fullerénu - Arthur Hebard demonštroval, že molekuly fullerenu spolu s draslíkom alebo rubídiom sú supravodivé
- 1991 - založený Institute for Molecular Manufacturing (www.imm.com)
- 1992 - Drexlerova kniha Nanosystémy - prvé úplne mapy štruktúry dvoch ľudských chromozómov - prototyp kvantového hradla
- 1993 - výpočty na superpočítači potvrdili Feynmanovu a Gell-Manovu teóriu kvantovej chromodynamiky - prvé nanodráty - reťazky silné len niekoľko nanometrov
- 1995 - demonštrované vedenie elektrického prúdu jednou molekulou - založená spoločnosť Nanocor, zaoberajúca sa vývojom nanokompozitných materiálov (<http://www.nanocor.com/>) - Ed Regis vydal knihu Nano
- 1997 - založená spoločnosť Zyvex - prvá firma zaoberajúca sa konštrukciou nanomechanizmov (www.zyvex.com)
- 2000 - rozlúštenie ľudského genomu – prvý nanomotorček na bázi DNA (Bell Labs)

- 2000 - americký prezident Bill Clinton vyhlasuje program National Nanotechnology Initiative (www.nano.org)
- 2001 - tranzistor z nanotrúbiek (IBM) – prvý nanolaser, základ pre optický prenos dát v inteligentných nanosystémoch - logický obvod v jednej molekule, tvorený dvoma tranzistormi
- 2002 - začínajú sa presadzovať inteligentné kompozitné materiály
- 2003 - prekročená hranica 50 nm- prvý klon človeka
- 2004 - prvý komerčne vyrábaný nanotechnologický produkt
- 2008 - vývoj hybridného nanopočítača
- 2010 - položené základy nanovýroby
- 2011 - prvý molekulárny nanosystém s vlastnou inteligenciou (assembler)
- 2015 - OSN schvaľuje celosvetový Protokol, zabráňujúci zneužitiu nanotechnológie
- 2020 - nástup nanopočítačov, nanomedicíny a ekonanotechnológie - umelá inteligencia dosahuje ľudskej úrovne
- 2030 - kvantové počítače
- 2040 - počítače splývajú s programom

Zdroj 1: [<http://nanoklastr.cz/nanotech.php>].

PŘÍLOHA P II: POTENCIÁLNE VYUŽITIE NANOTECHNOLÓGIÍ V BLÍZKEJ BUDÚCNOSTI

- Displeje z organických svetlo emitujúcich diód (OLED).
- Fotovoltaické tenké vrstvy premieňujúce svetelné žiarenie na elektrický prúd.
- Povlaky odolné voči poškrábaniu majúce samočistiacu schopnosť.
- Textilie odolné voči zašpineniu majúce schopnosť regulovať teplotu.
- Inteligentné odevy schopné monitorovať puls a dýchanie.
- Ľahké a pevné trubkové rámy.
- Kĺbové náhrady z biokompatibilných materiálov.
- Nátery chrániace pred koróziou obsahujúce nanočastice.
- Termochromné sklá regulujúce intenzitu prechádzajúceho svetla.
- Magnetické vrstvy pre pamäťové médiá.
- Palivové články využívajúce uhlíkové nanotrúbice.
- Kochleárne implantáty.
- Polovodičové čipy a mikroelektronické aplikácie.
- Katalýza chemických procesov (analýza pomocou Au).
- Keramika, ľahké zliatiny, oxidy kovov a iné kovové zlúčeniny, ferity, magnety.
- Pokrytie, farby, pigmenty, plasty, plnivá, obaly pre potraviny.
- Polymerné kompozitné materiály s vylepšenými mechanickými vlastnosťami (antibakteriálne plasty, antibakteriálne boty).
- Transparentné kompozitné materiály, UV filtry s TiO_2 , ZnO .
- Spaľovacie komory, plynové senzory, batériové elektródy.
- Nanočiarový kód.
- Hroty pre mikroskopy so skenujúcou sondou.
- Čistenie enzýmov a farmaceutek.
- Medicínske aplikácie, kontrastné látky, hypertermie, cieľená likvidácia tumorov, detoxikácia krvi.
- Enviromentálna aplikácia - oblasť čistenia vôd.

- Sensorika a bezpečnostná problematika - tlakové a tepelné senzory v stavebných materiáloch.
- Elektronika - vysokokapacitné záznamové médiá.
- Fotomateriály, fotočlánky, palivové články, vysokokapacitní batérie.
- Automobilový priemysel - palivo pre airbagy, super tvrdé nepoškríbatel'né laky.
- Stavebníctvo - izolačné materiály novej generácie, samočistiace fasádne nátery.
- Kozmický priemysel - katalyzátory, odolné povrchy satelitov.

Zdroj [2]: [<http://www.vesmir.sk/index.php?id=1391>]