
Janez Navodnik

SLOVENIJA JE USTVARJENA ZA NANOTEHNOLOGIJE

Izdelki in tehnologije prihodnosti

**Za pomoč pri izdaji knjige se iskreno zahvaljujemo Ministrstvu za visoko šolstvo, znanost in tehnologijo, Ministrstvu za zdravje, podjetju Kolektor in ostalim sponzorjem ter hkrati vsem članom Tehnološke platforme NaMaT in članom Tehnološkega centra PoliEko.
Še posebej pa se zahvaljujemo avtorjem posameznih poglavij
in vsem drugim strokovnim sodelavcem.**

CIP - Kataložni zapis o publikaciji
Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

620.1/.2:539.2
66.017

NAVODNIK, Janez

Slovenija je ustvarjena za nanotehnologije : izdelki in tehnologije prihodnosti / Janez Navodnik, Mateja Kopčič. - 1. izd.
- Celje : Navodnik, 2007

ISBN 978-961-92027-0-8
1. Kopčič, Mateja
231905280

Uredništvo: Mateja Kopčič, Marjeta Stegne, Polona Jelen, Peter Navodnik, Tamara Juričič

Lektoriranje: Veronika Tavčar

Tisk: MA-TISK d.o.o., Maribor

Založba: NAVODNIK d.o.o., Celje

Slika na naslovnici: BergerhofStudios, Köln

UVODNA BESEDA

Slovenija se bo, verjemite, povzpela med najrazvitejše v svetu. Na prelomu tisočletij smo prišli do točke, ki bo povzročila večje spremembe, kot katerokoli odkritje doslej. Do sedaj smo znali materiale le grobo in naključno razbijati in jih spreminjati s kemijskimi ali jedrskimi reakcijami ter jih nerodno preoblikovati v stroje in računalnike, s kakršnimi smo, dobesedno, mesarili tudi po našem telesu. Zdaj pa znamo opazovati posamične atome in njihovo gibanje, in mnogo več, znamo jih posamično premikati in z njimi, kot z lego-kockami, sestavljati nove, povsem drugačne materiale in izdelke. Iz oglja ali saj – gozdov nam zlepa ne bo zmanjkalo – že znamo zložiti diamant ali ogljikove cevke, ki bodo kmalu same po sebi zelo tanek računalnik na sončno energijo in zaslon hkrati, so pa dovolj trdne za gradnjo transportnega traku do vesoljskih postaj. In še mnogo več! Iz posamičnih atomov, genov ali celo živih celic znamo po biološkem zgledu DNK zložiti modele, ki nam nato s samogradnjo dovolj hitro in poceni razmnožujejo in proizvajajo željene materiale, izdelke ali celo organe. Odkritja si sledijo tako hitro, da ni časa za javno vznemirjenost. Izdelke dobimo v roke prej, kot izvemmo, iz česa so, in po kakem principu delujejo. Razvoj in proizvodnja naprednih materialov, iz njih nastalih komponent ter povezovanje v celovite sisteme, pomenijo hiter napredek.



Mehatronika in mikroelektromehanski sistemi ter ICT še poganjajo industrijo, vendar nanotehnologije neopazno, a hitro izpodrivajo klasiko. Za vsako aktivnost je potrebna zavnava in predelava te informacije ter nato odziv, denimo za gib ali za pretvorbo ene energije v drugo. Senzoriko, ki opravlja prvo od teh nalog, so nanotehnologije že obvladale. Za pretvorbo energij in za gibe vseh vrst moramo (in že tudi znamo) sestaviti inteligentne materiale z bolj smotrnim odzivom. Na desetine vrtečih motorčkov in zobnikov za nekaj malih pomikov v avtomobilu verjetno ni rešitev za tretje tisočletje. Za drugo fazo, pretvorbo informacije, se nanotehnologije učijo od narave. Več kot uspešno, če upoštevamo, da je adaptronika, ki povezuje vse tri funkcije z inteligentnimi komunikacijskimi materiali, še precej mlajša veda od nanotehnologije.

Inženiring, ki povezuje razvoj materialov in komponent v celovite sisteme, npr. v proizvodne tehnologije, kompleksne naprave, inteligentne zgradbe ali nadomestne človeške organe, bo nudil dovolj izzivov vsej tehnični inteligenci. Funkcije materialov, komponent in sistemov modeliramo in simuliramo najprej na računalniku, nato izdelamo in preizkusimo prototipe. V proizvodnji postajajo najvažnejše funkcije načrtovanje, postavitve ter pogosto spreminjanje popolnoma avtomatske proizvodnje, kar se z modeliranjem in nato s samogradnjo vedno novih kompleksnih inteligentnih materialov močno stopnjuje. Inovativno globalno trženje in kreiranje novih potreb bo vse pomembnejši del celovitega inženiringa.

Slovenija bo na nanotehnologijah splavala na vrh razvitosti. Jeklo, cement, papir, masovna plastika in celo silicijeva elektronika zahtevajo ogromno kapitala, logistike, energije in surovin, za izdelavo nanomaterialov, naprav, čipov itd. pa po drugi strani zadošča le del milijona evrov ter uporaba visoke inteligence in spretnosti v povezavah. Vse več znakov kaže na to, da v tem nismo tako slabi, kot sami mislimo.

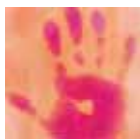
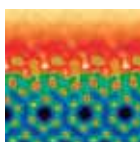
Če bomo s to knjigo, ki želi samo s prstom pokazati na silno širino in skoraj neomejene možnosti novih materialov, pritegnili v nanopodročje katerega od bodočih raziskovalcev ali podjetnikov, morda celo sprožili kako inovativno idejo, bo naš cilj dosežen in je bilo vredno truda.

Janez Navodnik



KAZALO

1 Uvod	6
2 Narava — mojster nanotehnologij	16
<i>Živali</i>	16
<i>Rastline</i>	17
3 Čudeži nanosveta	19
4 Nanomateriali	21
4.0.1 Nanodelci.....	22
4.0.2 Ogljikove nanostrukture.....	28
<i>Ogljikovi klastri</i>	28
<i>Ogljikove nanocevke CNT</i>	29
<i>Nanožice in anorganske nanocevke</i>	40
4.0.3 Nanostrukturirani masivni materiali.....	45
4.0.4 Funkcionalni gradientni materiali (FGM).....	46
4.0.5 Večslojne strukture.....	49
4.1 Polimeri.....	50
4.1.1 Nanostrukturirani polimeri.....	54
4.1.2 Polimerni kompoziti na osnovi večslojnih silikatov.....	55
4.1.3 Polimerni nanokompoziti na trgu (PNC).....	68
4.1.4 Transparentni nanokompoziti (NC).....	75
4.1.5 Nanoaditivi.....	77
4.1.6 Supramolekularne strukture.....	83
4.1.7 Hibridni nanomateriali.....	87
4.1.8 Prevodni polimeri ICP.....	89
4.1.9 Inteligentni polimeri.....	99
4.1.10 Polimerne nanofolije in membrane.....	122
4.2 Keramika.....	128
4.3 KMM in intermetalne zlitine.....	137
4.4 Premazi, prevleke.....	140
4.4.1 Proizvodnja laka in barv.....	140
4.4.2 Tankoslojne prevleke PVD, CVD.....	152
4.5 Kemija, nanoporozni materiali, katalizatorji.....	158
5 Elektronika	169
5.0.1 Polimerna elektronika je poceni.....	169
5.0.2 Polimerni tranzistorji in čipi.....	179
5.0.3 FET-tranzistorji.....	185
5.0.4 Molekularna stikala.....	186
5.1 Optoelektronika.....	188
5.1.1 Fotonski kristali.....	188
5.1.2 Svetlobo sevajoči displeji PLED.....	190
5.2 Adaptronika.....	203
5.3 Magneti.....	207
5.3.1 Nanostrukturirani feromagnetni.....	207
5.3.2 Magnetne tekočine in adsorberji.....	218
5.4 Polprevodniki.....	236
6 IKT	238
7 Mobilnost — avtoindustrija	244
7.1 Aeronavtika.....	246



8 Biotehnologija	249
8.0.1 Biomateriali.....	249
8.0.2 Biomimetika.....	251
8.1 Hrana, embalaža.....	252
8.1.1 Bariere.....	255
8.1.2 Nanoabsorberji.....	258
9 Zdravje	265
9.1 (Bio)medicina.....	265
9.2 Farmacija, kozmetika.....	272
10 Tekstil	274
10.1 Šport in prosti čas.....	277
11 Energija	280
11.1 Racionalna raba in alternativni viri energije.....	283
11.2 Gorivne celice.....	286
11.3 Polimerna fotovoltaika.....	296
11.4 Baterije.....	304
11.5 Energija in gradnje.....	306
12 Stroji	309
12.1 Strojništvo.....	311
12.1.1 Tankoplastne tehnologije za orodja.....	311
<i>PVD-zaščita orodij</i>	311
<i>Opis postopkov</i>	313
12.1.2 Nanotehnologija za hitre prototipe.....	320
12.1.3 Senzorji.....	324
13 Proizvodnja	327
13.1 Sinteza nanodelcev.....	327
13.2 Samogradnja.....	332
13.3 Sol-gel tehnologija.....	334
13.4 Proizvodna mikroskopija, roboti.....	343
13.5 Modeliranje materialov.....	348
13.6 Plazma-postopki za prevleke in kovinske delce, laser.....	350
13.7 Elektrodepozicija.....	353
13.8 Plamenska proizvodnja nanocevk, CVD in ALD.....	353
13.9 CVD za nanocevke.....	353
13.10 Hibridni aditivni 3D-tisk, razgradna proizvodnja.....	354
13.11 Brizgalno stiskanje.....	356
13.12 Plinska atomizacija.....	357
13.13 Vodna atomizacija.....	357
13.14 Mletje.....	358
13.15 Predenje taline.....	359
13.16 Litografija.....	360
14 Analitika	362
14.1 Mikroskopija in spektroskopija.....	363
14.2 Optična in vibracijska spektroskopija.....	367
15 Varnost, obramba	370
16 Okolje	380
17 Nanomateriali v Sloveniji	383
18 Avtorji in literatura.....	388
19 Stvarno kazalo.....	393

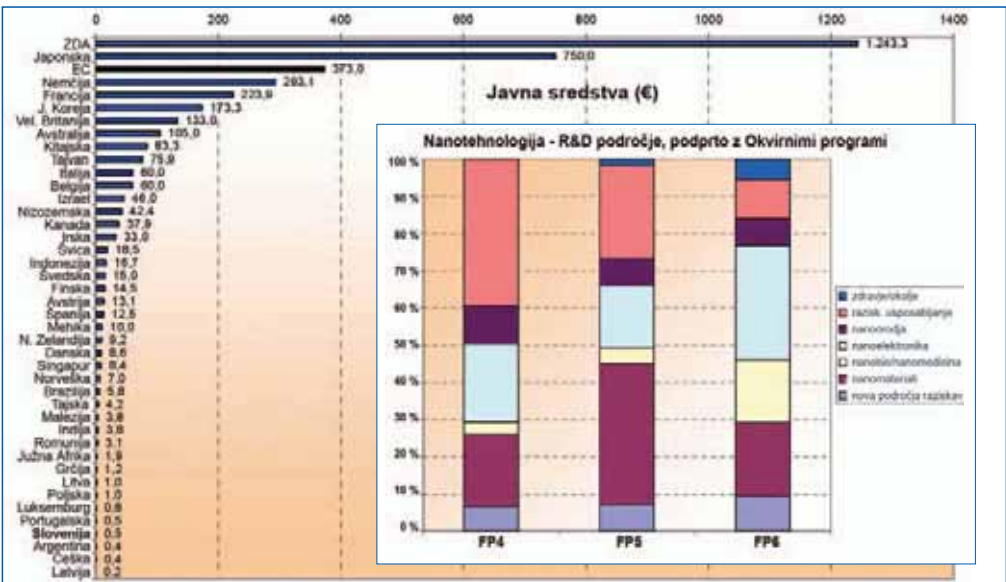
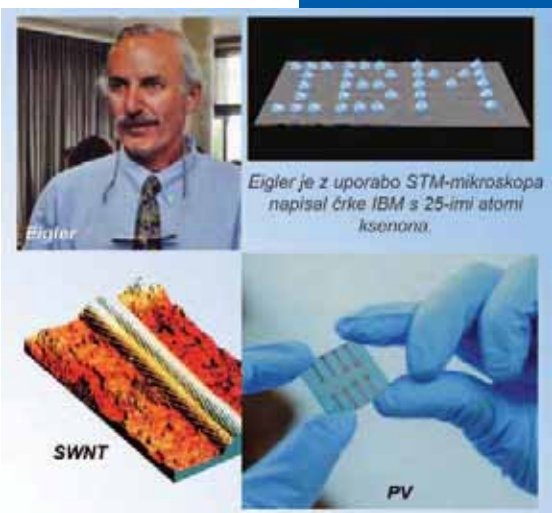


1 UVOD

Nanotehnologija je kreiranje koristnih funkcionalnih materialov, naprav in sistemov z upravljanjem z materijo na atomskem in molekularnem nivoju in z izkoriščanjem novih fenomenov v nanodimenzijah. Je le nekaj let star, a vse pogosteje uporabljan termin za svet, ki se meri z milijardinko milimetra, čeprav so nanostrukturirani materiali že dolgo uporabljani in znani iz narave.

Supertrdno lepilo nekaterih školjk je sestavljeno iz nanodelcev apnenca, povezanega s proteini. Vitraži katedral se zaradi delcev srebra in zlata v steklu na svetlobi spreminjajo od zelenih na globoko rdeče, srebrov bromid v polimerih pa je npr. osnova fotografije. Nanotehnologije ne moremo definirati le glede na dimenzije, ampak predstavlja konvergenco klasičnih ved, kot so fizika, kemija in biologija na skupnem raziskovalnem področju (sl. 4).

Raziskave so se razmahnile z razvojem rastrske tunelske mikroskopije (STM), mikroskopije na atomsko silo



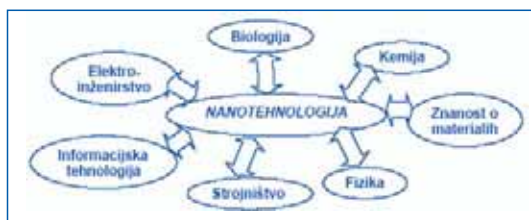
Sl. 2: Javna poraba in njen delež za razvoj nanotehnologij v svetu

(AFM) in elektronske litografije (EBL), ki se uporablja za proizvodnjo silicijevih čipov (proizvaja strukture velikosti 10 nm ali pa npr. izmenične magnetne/nemagnetne sloje debeline 1 nm, enoelektronski tranzistor itd.), elektronske paramagnetne resonance (EPR), z odkritjem fluorescence alkalijskih delcev v poroznem siliciju ter ferofluidov, to je magnetnih delcev v tekočinah.

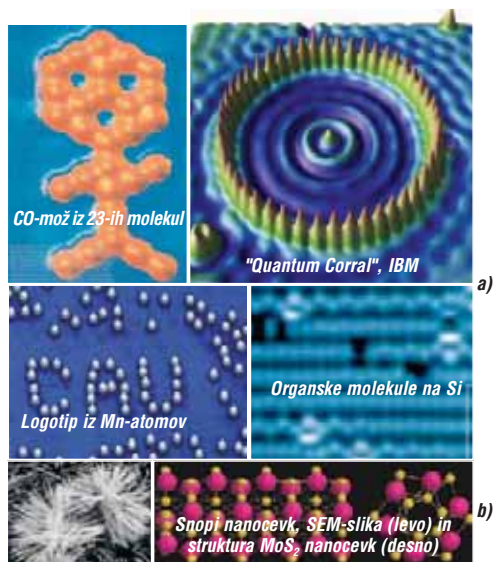
V osemdesetih letih so z laserskim uparevanjem kovin s plazmo zgradili zanimive grozde atomov (clustre), npr. fuleren C_{60} (z lastnostmi superprevodnikov in feromagnetov). Iz njih so izdelali tudi tranzistorje (FET). Tedaj so odkrili tudi ftonske kristale in samogradnjo molekul, npr. disulfid na zlati podlagi. Pričeli so s proizvodnjo kvantnih delcev, žičk in ploščic, ki imajo 1 do 3 nanodimenzije, ki jim drastično spremenijo fizikalne in kemijske lastnosti. Polprevodniki nanodimenzij imajo povprečno pot prostih elektronov in pozitivnih "lukenj", ki prevajajo elektriko, istega reda velikosti, to pa ekstremno spremeni obnašanje elektronov. Na tem principu deluje kvantni laser za odčitavanje CD. Zadnja leta se je financiranje razvoja nanotehnologij močno povečalo (sl. 2).

Največji izziv je komunikacija z nanosvetom. Silicijev stebriček v čipu premera 10 nm ima 10 % atomov na površini, vendar pa lastno frekvenco 10^{10} Hz in amplitude nihanja v piko- ali femtometrih (10^{-12} , 10^{-15}), ki jih še komaj znamo meriti (sl. 5).

Nanopodročje je 1–100 nm, atomsko področje 0,1 nm (1 Å) in jedrsko področje okrog femtometra. Mnogo pomembnih nanostruktur je zgrajenih iz elementov IV. skupine (Si, Ge) in III.–V. skupine (npr. GaAs) ter II.–VI. skupine polprevodnikov, npr. CdS.

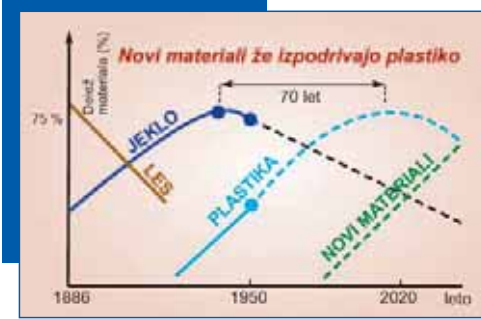


Sl. 4: Nanotehnologija prodira v mnoge vede

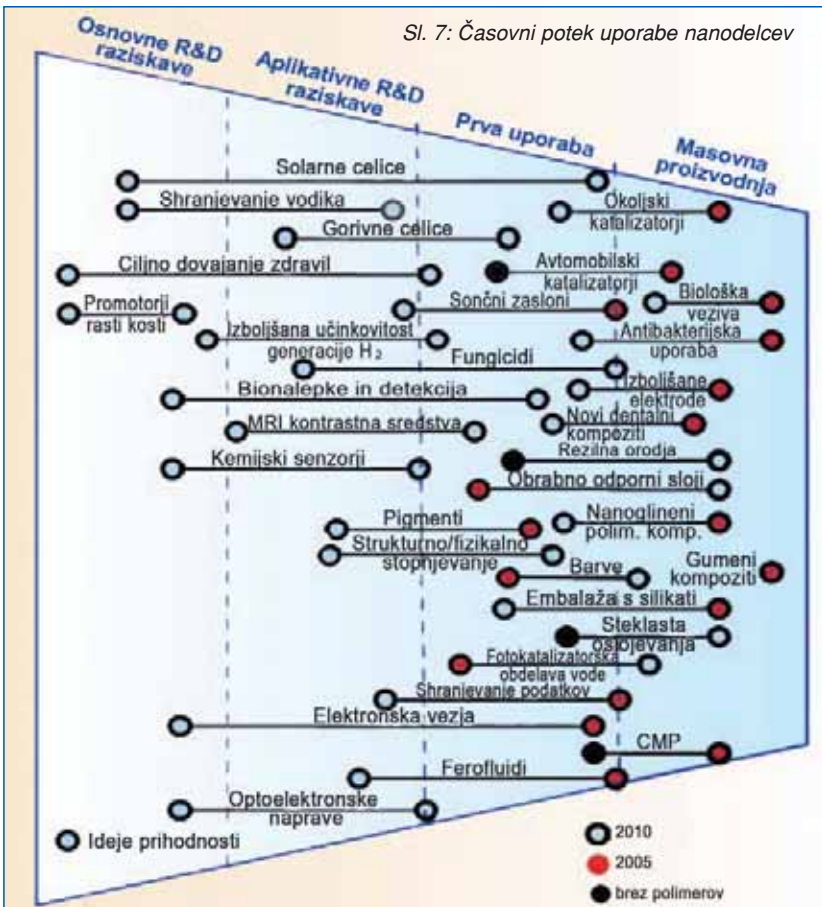


Sl. 5: Zloženi atomi (STM) (a) in snopi nanocevk (b)

Kvalitativne lastnosti izdelkov zavisijo od medsebojne razporejenosti atomov. Nanotehnologija se ukvarja z načrtnim preurejanjem, npr. preureditev atomov v premoгу bi dala diamant. Namen nanotehnologije je torej izdelovati izdelke z gradnjo atoma na atom na velikostni skali približno 1 nm–100 nm. Nanotehnologija raziskuje obnašanje materialov in se ukvarja z načrtovanjem, izdelavo in uporabo struktur, naprav in sistemov na tej skali.



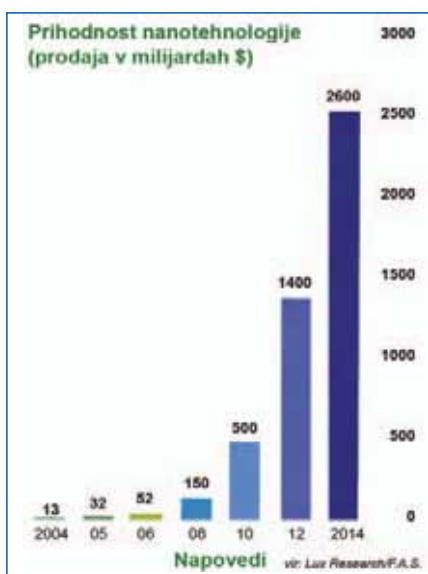
Cilj nanotehnologije je ekonomično sestavljanje izdelkov, pri katerih bi bil vsak atom na željenem mestu. Razvoj nanotehnologije poteka v smeri izdelave novih vrst materialov z mnogo boljšimi lastnostmi, izdelave hrane, uporabe v medicini, kjer npr. nanoroboti popravljajo celice, razvoja računalnikov – miniaturizacije, kvantnega računalništva ter uporabe v vesolju.



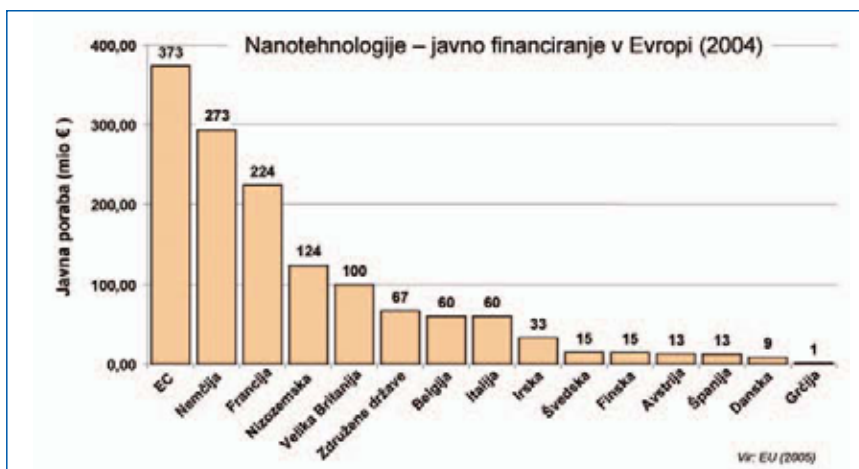
Zamenjava materialov bo sledila hitreje, kot pričakujemo. V naslednjih letih naj bi se evforična rast plastike pričejala nagibati navzdol, zamenjevali naj bi jo novi funkcionalni in inteligentni materiali. So plastika oz. polimeri torej preteklost? K sreči je ravno obratno. Polimeri dobivajo mnogo večjo veljavo, saj bazirajo novi materiali na polimerih ali so na njih vezani (sl. 7, 8).

Polimeri so most za hiter in varen prodor naprednih materialov na vsa področja, od industrije preko informacijskih tehnologij do medicine. Z vrstičnimi mikroskopi lahko danes z nekaj atomi izpišemo svoj logotip na plošči ali sestavimo kakršnokoli željeno strukturo. Novi postopki nudijo nove čudežne lastnosti, vendar je cena ekstremne majhnosti in točnosti enako ekstremna počasnost in nevarnost teh postopkov. Za

varno in široko uporabo novih materialov je potrebno zagotoviti dvoje. Nevarne nanodelce, ki prodirajo tudi v človeške možgane in se narava ne zna boriti proti njim, je potrebno z močnimi vezmi povezati v neškodljive in kompaktne izdelke, le-te pa je potrebno proizvajati s samogradnjo, da bi lahko bila proizvodnja poceni in v realnem času. Narava seveda zna oboje, na primer z DNK in geni ... Znanost se je od nje že veliko naučila, saj znamo sintetizirati večino materialov, celo tkiva in organe. Še več, znamo jih tudi spreminjati. Najpriročnejše orodje za izdelavo molekularnih kalupov za razmnoževanje so nanotehnologije, za samorazmnoževanje pa biotehnologije, pri čemer so materiali



Sl. 8: Samo trg nanomaterialov bo v 7-ih letih narasel za 20-krat – na 2600 milijard \$.

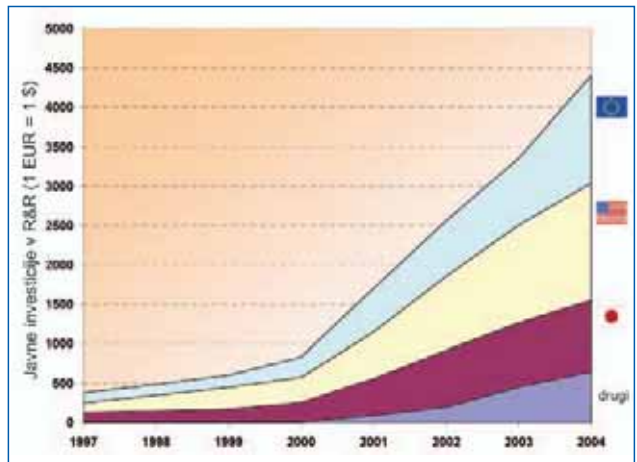


v večini primerov polimeri in kompoziti. Mnoge med njimi kar dobro poznamo, tudi tehnologije, kako iz njih oblikovati izdelke. Formula je preprosta: polimeri + delček novih materialov + znanje = napredni material. Plastika torej ne umira, pač pa menjuje poklic. Če je bila doslej telo, bo poslej srce in možgani izdelkov. Verjetno menjuje tudi ime in starše. Namesto nafte bodo to polja in gozdovi, nekoliko pozneje pa kar morje in sonce. Bliskovitega širjenja novih materialov okrog nas niti ne opazimo. Po osnovni šoli smo nekoč za vse izdelke vedeli, iz česa so narejeni. Če pred sebe danes postavimo računalnik, mobilnik in novejši avtomobil – za koliko njihovih delov bi stavili, iz katerega materiala so? Material določajo tudi uporabljane tehnologije, poslovni uspeh in s tem za mnoge tudi preživetje.

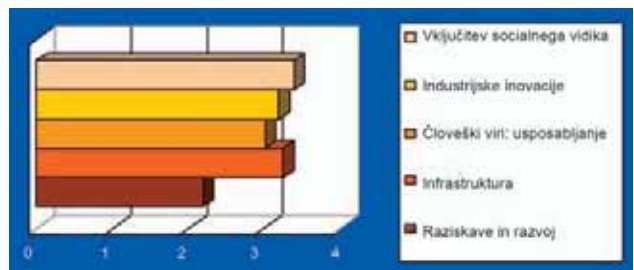
TRG

Trg nanotehnologij se bo strmo večal. Navajamo nekaj tržnih podatkov in napovedi za nanomateriale:

- investicije v razvoj nanotehnologije so od 1 milijarde € v letu 2000 narasle na 10 milijard € v letu 2006, celotna panoga pa bo že leta 2010 vredna 1000 milijard €,
- nanomateriali bodo dosegli vrednost 340 milijard \$ letno in predstavljali 31 % skupnih prihodkov,
- ostali segmenti vključujejo elektroniko (28 %), farmaceutiko (17 %), kemijsko predelavo (9 %), letalstvo in vesolje (6 %) ter ostala področja (9 %),
- ameriški trg za nanomateriale je bil leta 2000 vreden 215 milijard \$, predvidena vrednost je 1.000 milijard \$ leta 2007 in 35.000 milijard \$ leta 2020. Druge ocene navajajo, da bo trg nanomaterialov v Ameriki v naslednjih petih letih rasel s 30,6 odstotno letno rastjo. Gonilci rasti so karbonske nanocevke in fullereni s 173-odstotno letno stopnjo rasti. Kljub še vedno majhni komercializaciji nanotehnologij napovedujejo samo za avtomobilsko industrijo zaradi pocenitev z nanotehnologijami že v petih letih prihranke v milijardah €.



Sl. 10: Razvoj vlaganj v RR



Sl. 11: Ocena prioritet evropskih iniciativ

Poraba nanomaterialov v plastiki bo v Evropi od leta 2006 do 2009 narastla od 300 milijonov do 1,5 milijard \$, in sicer največ na račun slojnih organofilnih silikatov, ki se uporabljajo kot ojačala, bariere in za samogasnost.

Vlaganja v RR so predpogoj za razvoj novih materialov, zato se ti najhitreje uporabijo v sektorjih z največ vlaganji. V Evropi je to avtoindustrija, v Ameriki IT, na drugem mestu je povsod bio-farmacija ter na tretjem EE-tehnologije (tabela 1). Kljub recesijam je nemško gospodarstvo zadnjih deset let podvojilo vlaganje v razvoj na 47 milijard €, od tega kar četrtino v avtomobilsko industrijo, petino v elektroindustrijo in skoraj enako v kemijsko industrijo.

Po vlaganjih v RR je prvi na svetu Daimler C. s 5,6 milijardami € (7. Okvirni program razpolaga s 5 milijardami €), pri IT pa je na vrhu Nokia s 3,8 milijardami €. Preko 5 milijard vlagajo še Pfizer, Ford, Toyota in Siemens. ZDA in Japonci, ki vlagajo preko 3 % BDP, dosegajo le Skandinavci. Vendar pa vlaganja rastejo (sl. 12).

Investicije v nanotehnologije znašajo v Ameriki 3,7 milijard \$ na štiri leta, na Japonskem 0,75 in v EU 1,2 letno. Na razvoju dela 400 firm, v nekaj letih pa se bo število povečalo na 1000.

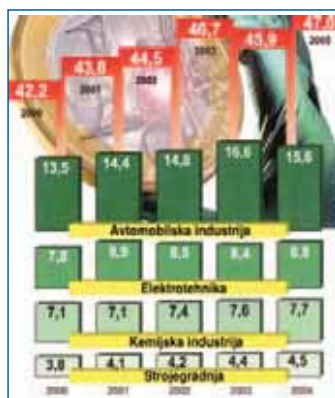
Uporaba nanomaterialov v avtomobilski industriji bo po analizah naraščala vse hitreje, in sicer do 45 % letne rasti v 10-ih letih. Samo z laki, katalizatorji in gorivnimi celicami naj bi bil letni prihranek preko 1 milijarde €. Nanostrukturirani polimeri, kompoziti, Al in Mg bodo omogočili preko 25 % zmanjšano težo, kar bo omogočilo prihranek 6,5 milijard € letno. V 10-ih letih se bo poraba povečala preko 4-krat (sl. 13).

Predsednik ZDA je s podpisom zakona o državni podpori razvoju nanotehnologije še pospešil rast trga nanoizdelkov, ki naj bi z zdajšnje milijarde do leta 2015 dosegel vrednost dveh milijard \$.

Kodak je že leta 2003 predstavil prvi digitalni fotoaparati z nanozaslonom. Boeing

Sektor	Vrednost v milijardah €
Avto	58,5
IT	57,4
Bio-farmacija	56,0
EE	34,7
Softver	19,6

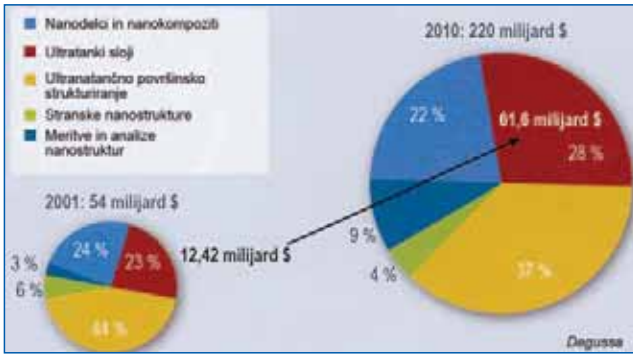
Tab. 1: Sektorji v EU z največ investicijami v RR



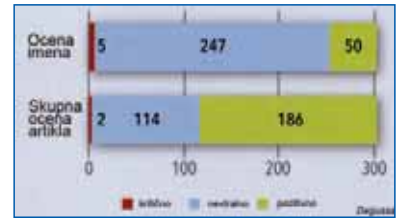
Sl. 12: Vlaganja v RR v milijardah € (skupaj avtomobilska, elektro, kemijska in strojna industrija)



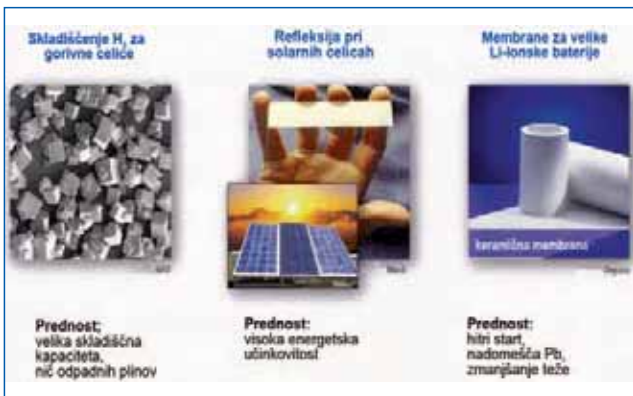
Sl. 13: Področja uporabe nanotehnologij v avtomobilu



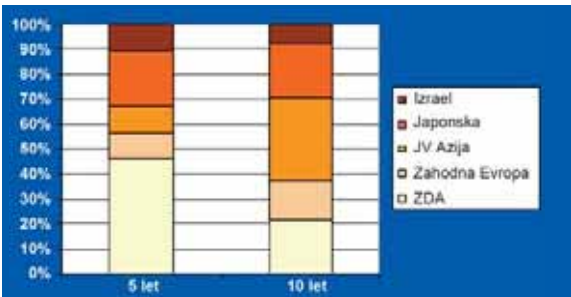
Sl. 14: Rast trga posamičnih nanotehnologij



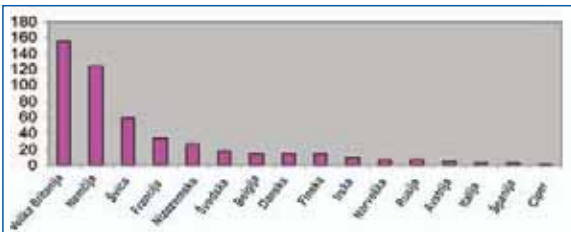
Sl. 16: Vrednotenje generalne linije in posameznih področij



Sl. 15: Nanotehnologije omogočajo cenejše in okolju prijazno pridobivanje, transport in skladiščjenje energije.



Sl. 17: Število strokovnjakov za nanotehnologije po regijah



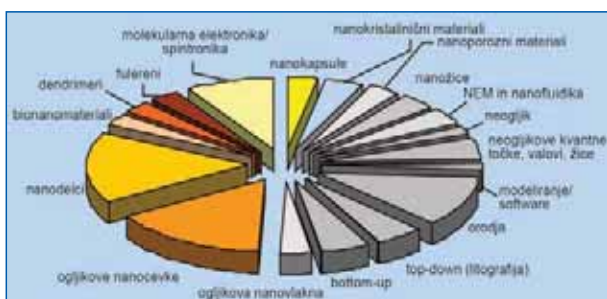
Sl. 18: Število družb v nanotehnologijah leta 2005

želi s pomočjo nanotehnologije izdelovati nekatere največje izdelke človeških rok: letala, raketoplane in satelite. L'oreal je že leta 1998 predstavil prvo kremo, ki vsebuje nanokapsule vitamina A. Smith že več let prodaja sončna očala z nanosloji zaščitnih filtrov, podobni sloji so tudi v notranjosti Wilsonovih teniških žogic in loparjev, tudi že kakšne knjige ali DVD-ji (Hulk, Spiderman) so narejeni po postopku nanotehnologije.

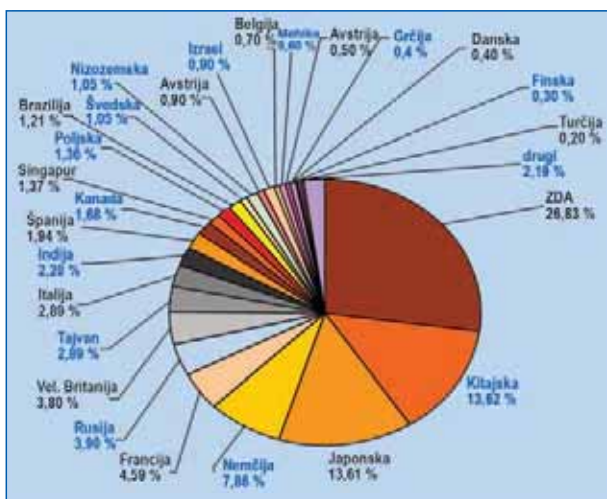
Trg nanokompozitov bo, po napovedih nemške centralne banke, od 12,4 milijard \$ v letu 2009 narasel na 61,6 milijard \$ v letu 2010. Petkratni faktor bodo dosegli tudi tanki sloji in površinske nanostrukture, kar bo samo v Nemčiji navrglo 10.000 novih delovnih mest v 450-ih različnih firmah. Ankete kažejo na močno pozitiven odnos do novih tehnologij in izdelkov, še posebno zato, ker omogočajo te tehnologije tudi trajne poceni rešitve za probleme energije in okolja (slike 14, 15, 16).

Razvoj nanotehnologij in sodobnega računalnika je sprožil val dematerializacije, katerega posledica bo zmanjšanje porabe energije. Znižanje cen strojne in programske opreme je nepremožnim kreativnim ljudem v roke položilo sanjska proizvodna sredstva. Zaradi inovacij na številnih področjih se nanotehnologiji pripisuje velik gospodarski potencial. Že zdaj se več sto evropskih podjetij ukvarja s komercialno uporabo nanotehnologij, pri čemer zaposlujejo več deset tisoč visoko kvalificiranih ljudi. Biomimetika in uporaba mešanic polimer/celice omogočata obnovo ali menjavo meniskusa v kolenu – v Evropi je letno 400.000 operacij. V letu 2005 je znašal trg nanotehnologij 68 milijard €. Japonska je že v 90-ih letih potrošila 396 milijonov \$ javnih in 150 milijonov \$ privatnih sredstev za nanotehnologije, ZDA 495 milijonov \$ leta 2001. Nanotrg 2000 je v Nemčiji znašal 3 milijarde €. Danes je samo v steklarski industriji 1 milijarda, v avtomobilski pa 13 milijard €. Korozijske škode v Nemčiji stanejo letno 70 milijard €.

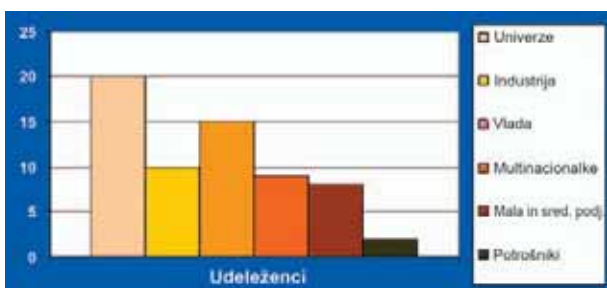
Trg nanoproizvodov za hrano je presegel 7 milijard €, področje raziskuje preko 500 institucij, v naslednjih 4-ih letih pa bo trg narastel na preko 20 milijard €, in sicer največ v Aziji. Za RR se porabi preko 1 milijarda \$, za varnost teh proizvodov pa le okoli 10 %. Uporablja se npr. silika za zgoščevanje, Ag, Mg, Ca, karotenoidi in drugi antioksidanti ter provitamini (BASF) za sokove, TiO₂ za prelive. Nanodelce



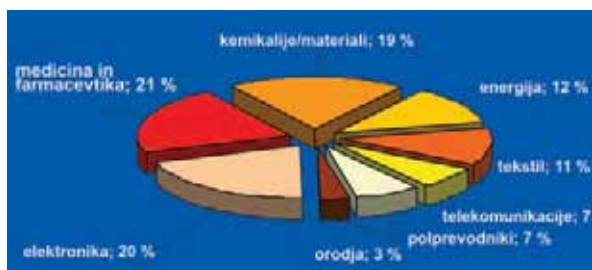
Sl. 19: Znanstveni članki (2004–2005)



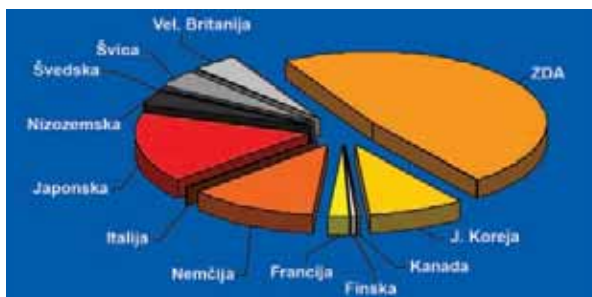
Sl. 20: Razširjenost publikacij in konferenc o nanotehnologijah



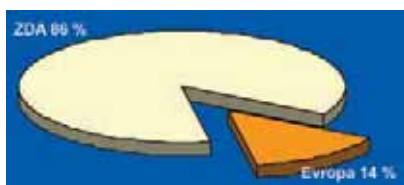
Sl. 21: Dandanašnji vpliv na razvoj nanotehnologij



Sl. 22: Svetovne kapitalske naložbe v nanotehnologije po sektorjih (leto 2005)



Sl. 23: Zasebna poraba na področju nanotehnologij po državah (2005)



Sl. 24: "Nanoaktivnost" po regijah v letu 2005

vitaminov, omega-3 maščobnih kislin in fitosterolov vnašamo v telo ali z nanoprenosniki, ki so npr. molekule lipidov ali pa z nanokapsulami, ki jih dostavimo na točno željeno mesto v organu. Mikrokapsule s tuninim oljem ne dajo kruhu, jogurtu in otroški hrani neprijetnega vonja. Antioksidanti se vnašajo tudi z micelnimi raztopinami s premerom micelov 30 nm

UPORABA

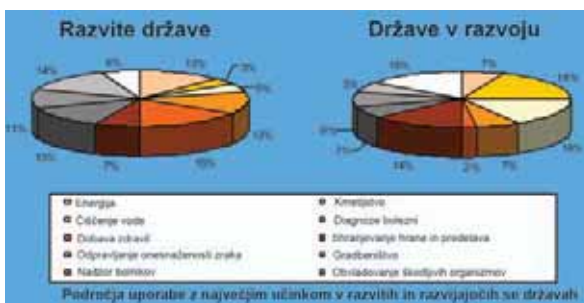
Obstoječa uporaba nanotehnologij

Materiali: nanokompoziti, tiskarska črnila/brezpigmentne barve – spremenljiva velikost delcev/antimikrobni Ag/ojačala CNT, SiNT, BC, SiC, TiC
Katalizatorji: AVTOKATALIZATOR/kem. katalizatorji CeO, Pt, Au, Pd, Mo, Ni, In – 200 m²/g
Tekstil: protimadežna obleka in posteljina, protiohrabna obutev
Elektronika: »jumbotron«, CNT/P-svetilke, mikroskopi (SEM, STM, AFM), CNT-krtacke in displeji, super – in prevodniki CNT, SiO₂, Si, Cu, In
ICT: GMR (magnetoresistenčne) glave za HD, hitrejši računalniki
Adaptronika: SENZORJI
Magnetika: MAGNETNI TRAK, neizbrisni spomin
Optika: OPTIČNA VLAKNA (EDFA), leče
Avto: 60 % lažji odbijači, šipe, protidrnsne/protiorabne gume, brisalci, tesnila
Hrana – embalaža
Biomedicina: BIOETIKETE, fluorescenčne za dele celic, W, prekrit z DNA – genski vsadki
Medicina: dentalno vezivo, povoji, diagnostika, označevanje npr. tumorjev, kosti – Ca-fosfat, W oksid za X-rentgen zob, feromagnetni Fe, Co za uničevanje raka in Mri-slikanje, absorpcija P iz krvi
Farmacija: doziranje zdravil s senzorji /implantati
Kozmetika: SONČNI FILTRI ZnO, kreme
Šport: tenis žogice in loparji
Energija: Solarne celice Si/La, Ce, Sr-karbonat, Mn, NiO, za gorivne celice SOFC/Pt za membrane celic PEM/Li, Li-titanat, Tn za baterije
Strojna: POLIRANJE, rezila
Varnost: detektorji min, ballistična zaščita CNT
Eko: FILTRACIJA vode, Ni-dehalogenator klorovodikov (TCE)

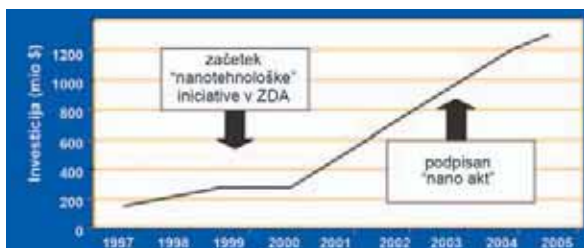
Legenda: VELIKE ČRKE - množično, male črke - začetki, rdeče črke - v prihodnjih 10-ih letih

(Neosino, Aquanova - sl. 27 a, b), ki učinkovito vnašajo v telo hidrofobne sestavine.

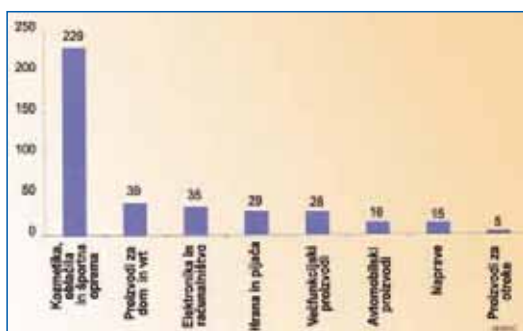
Evropske prioritete v 7. Okvirnem programu so naslednje: zdravje, hrana, IKT, nanomateriali, energija, okolje, transport, socio-ekonomika ter varnost, glavne stebre tehnološke platforme EuMaT pa predstavljajo mnogofunkcionalni materiali, lahki ekstremni materiali in hibridni materiali.



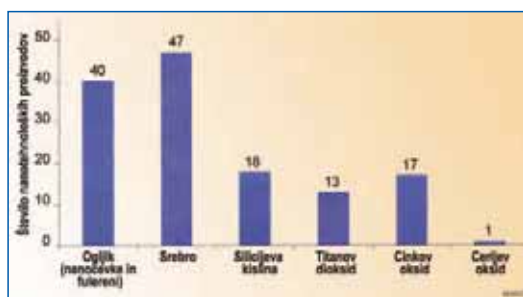
Sl. 25: Privatna in javna vlaganja v RR



Sl. 26: RR raziskave v nanotehnologijah (ZDA)



Sl. 27b: Število nanotehnoloških proizvodov po vrstah; 356 je deklariranih nanoproduktov (Woodrow W.), resnično število je seveda neprimerno večje.



Sl. 27a: Število nanotehnoloških proizvodov po uporabljenem nanomaterialu

Teme (vključno z vsemi programi financiranja in INCO)	
Zdravje	8317
Prehrana, kmetijstvo, biotehnologija	2455
Informacijske in komunikacijske tehnologije	12670
SODELOVANJE	
Nanoznanost, nanotehnologija, materiali in nove proizvodne tehnologije	4832
Energija	2931
Okolje (vključno s klimatskimi spremembami)	2535
Transport (vključno z aeronavtikco)	5940
Družbenoekonomska znanost in humanistika	792
Varnost in prostor	3960
SKUPNO SODELOVANJE	44432
IDEJE	European Research Council 11862
OSEBJE	Marie Curie Actions 7120
KAPACITETE	Raziskovalne infrastrukture 3961

Sl. 28: Proračunska delitev 7. Okvirnih programov evropske skupnosti (2007–2013) in Euratoma (2007–2011) v milijonih €

2 NARAVA je mojster nanotehnologij

Lepila in lupine školjk, kosti in kite, skladiščenje železa in prenos kisika v telesu, geli in membrane, spremenljive barve, magnetni kompas pri ribah, gline in zeoliti s površino preko 600 m²/gram so primeri iz nanosveta v naravi. Starejše imitacije narave so vitraž na katedralah, fotografija, katalizatorji, novejši dosežki pa umetne DNA in geni, sinteza klorofila, proteinov, svile ...

Živali

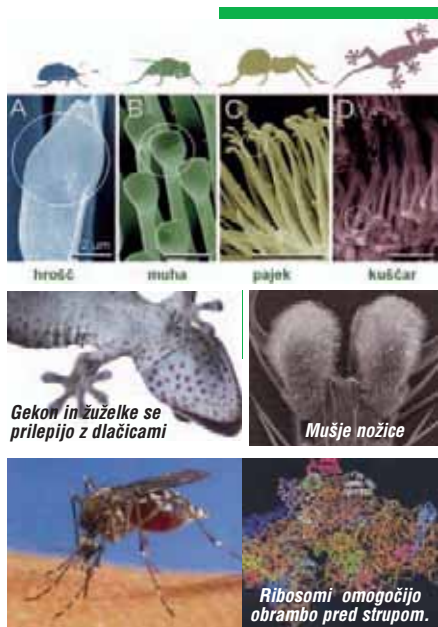
Gekoni po stropu drvijo z glavo, obrnjeno navzdol, in na njem obvisijo na eni nogi, in sicer s pomočjo nanotehnologije. Gekon ima na nogi tanke dlačice, ki so tako mehke, da se lahko podlagi na večji površini približajo na nekaj nanometrov. Takrat začne med atomi dlačic in podlage delovati Van-der-Waalsova vez (sl. 1).

Lepljenje celic lahko rešuje življenje, saj le-te pri poškodbah izločajo feromon. Obloge krvnih žil in levkociti dovajajo medsebojno prilagojene lepljive molekule, ki upočasnijo prehod levkocitov vzdolž žilne stene. Lepljive molekule odnašajo obrambna krvna telesa skozi žilno steno do mesta pika, ki zato pordeči (sl. 1). Pomemben del tega mehanizma so ribosomi, ki proizvajajo na podlagi dedne zasnove DNK vse mogoče beljakovinske molekule. Ribosom je velik 20 nanometrov.

Klapavica izbrizga curke lepljivih kapljic, micel. Te se razlijejo in sprostijo močno podvodno lepilo, ki se razpeni v obliko majhne blazine. Na tem dušilniku vibracij je klapavica zasidrana (sl. 2).

Biomineralizacija ekstremno utrdi dele tkiva. Biserovina sestoji iz apnenčastih kristalov aragonita, ki so povezani z viskoelastičnimi proteini. Trije odstotki so dovolj, da je lupina tritisočkrat trdnjša od kristala. Morski ježki na ta način krepijo bodice.

Spužva venerina košarica plete vlaknat oklep. Osnovne sestavine iz SiO₂ v premeru 3 nm celice spužve najprej povežejo v zelo tanke plasti. Te se nato zvijejo, da nastanejo kremenaste iglice in iz njih pletarski izdelek, ki je odporen na visoke tlake in je biološki vzorec za optično vlakno (sl. 3).



Sl. 1: Primeri iz narave



Sl. 2: Lepilo klapavice naj bi naredilo celo najboljčutljivejši porcelan odporen na pranje v pomivalnem stroju.

Hišice diatomej iz SiO_2 imajo zaradi optimalnih oblik najboljše stabilnost pri najmanjši teži in verjetno tudi sisteme za zbiranje svetlobe za svoj fotosintetski aparat, kloroplaste. Uporabili jih bodo kot reakcijske posode za kristale v nanometrskem merilu. V hiškah diatomej je veliko por v nanomerilu, nanoreaktorjev. Raziskovalci so odkrili, da lahko različice proteinov v raztopini kremenčeve kisline s samogradnjo ustvarijo nanokroglice z nastavljivimi premeri med 50 in 900 nm (sl. 3). Prst iz hišic diatomej vpija nitroglicerina, pri tem pa blaži nagnjenje tega razstreliva k spontanemu eksploziju. Mešanico je Nobel poimenoval "dinamit".

Kremenova lupina morske zvezde je posejana s popolnimi polji mikroleč, zaradi česar je celotno telo eno samo oko. Posebnost kalcita, da tvori dvojne slike, ne učinkuje. Leče z dodatkom magnezija so korigirane, da bi se izognile nezaželenim barvnim robovom (sl. 4).

Ribe imajo za orientacijo v glavi ferofluide, nekatere bakterije pa nanomagnetite. Človek skladišči 30 % železa v feritu. Nanožičke so DNA, pajčevina in svila, kite, nanostrukture so tudi hemoglobin, fosfolipidne membrane, holesterol, kosti z nanokristali mineralov, mnogi geli, soli in miceli.

Rastline

Lotosov učinek je našel svoje mesto v vrsti izdelkov, na primer v fasadnih barvah in za sanitarno keramiko (sl. 5).

Rastlinski listi uporabljajo nanotehnologije. Njihov sistem pogosto urejajo forisomi. To so mikroskopsko majhne mišice, ki v kapilarnem sistemu rastline odpirajo poti ali pa jih – če je rastlina poškodovana – zapirajo. Inštituti poskušajo razviti tehnično uporabo mišic rastline, na primer za mikroskopsko majhne linearne motorje.

Proces fotosinteze zbira energijo za življenje na Zemlji (sl. 6).

V neživi naravi so nanostrukture zeoliti, nekatere gline (do $660 \text{ m}^2/\text{g}$), sestavine dima itd.

Meje narave

Nanotehnologija je popolnoma naravna, vendar so možnosti žive narave omejene, npr. pri visokih temperaturah, za keramiko, s kovinskimi prevodniki itd. Nasprotno pa ima sodobna tehnika na razpolago zelo umetne pogoje – skrajno čistost, mraz, vakuum – pod katerimi lahko doseže presenetljive lastnosti snovi.



Trdne hišice diatomej iz SiO_2

Venerina cvetna košarica, globokomorska spužva, ki jo trenutno raziskujejo kot biološki vzorec za optično vlakno.

"Euprymna scolopes" zmede svoje sovražnike z večplastnimi svetlobnimi zrcali iz odsevnih proteinov. Svetlobo dovajajo svetleče bakterije.

Sl. 3: Živali



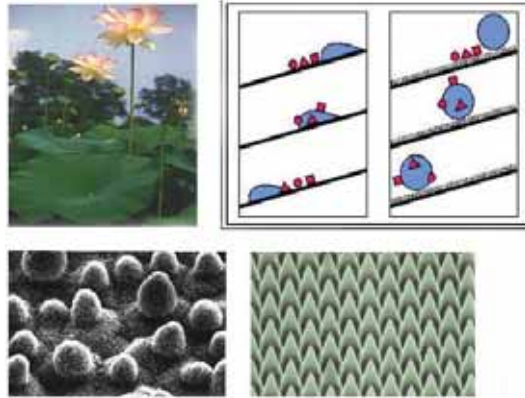
Tridimenzionalni biomineralni preplet v zobni sklenini kočnika varuje dlesni voluharja pred poškodbami.

Morska zvezda je opremljena s popolnim sistemom mikroleč za optično gledanje.

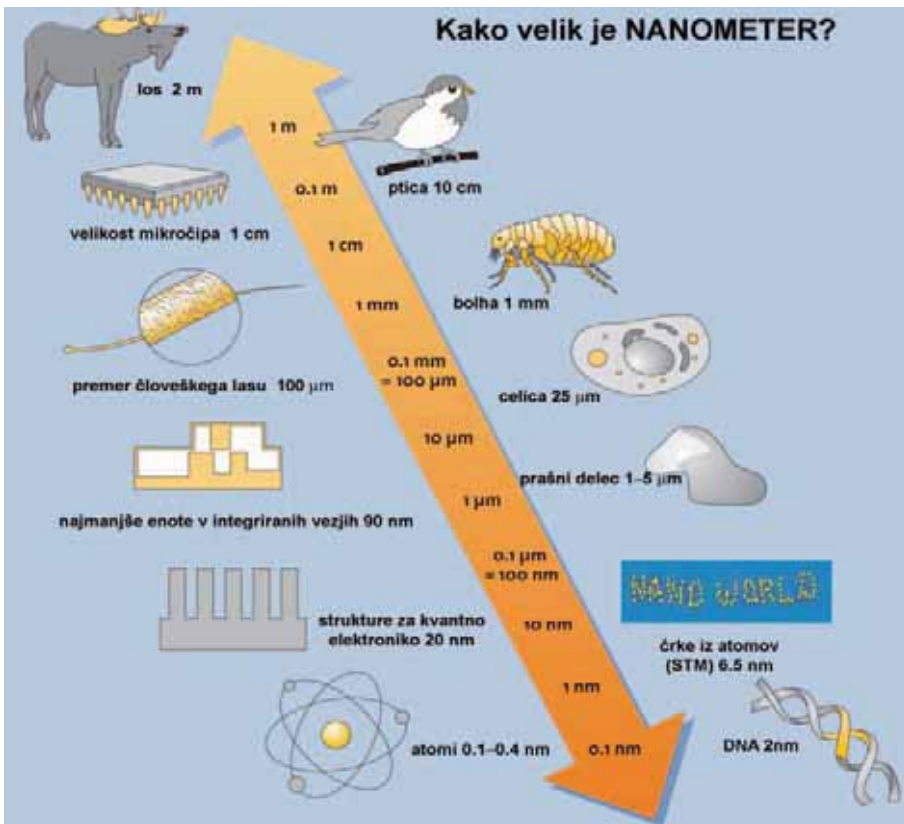
Sl. 4: Živali



Sl. 6: Rastline



Sl. 5: Samočistilni "lotosov efekt" v naravi, na plastiki in lakih



3 ČUDEŽI NANOSVETA

• **Trdnost:** C-cevke imajo trdnost 20 do 100-krat višjo kot jeklo, E-modul 10-krat višji, so 2-krat trše od diamanta (komprimirane), z dodatkom 5 % cev se 5 do 7-krat poviša trdnost Fe in Al, zlitina FeCu je 5-krat trdnejša od jekla in raztegljiva;

• **Električne lastnosti:** 1000-krat manjša električna in magnetna upornost, kot jo ima Cu, superprevodniki so pri 33 K, 10-krat močnejši magneti, kovine kot izolatorji, polprevodniki, preostali magnetizem 4,5-krat večji tudi pri organskih delcih, supermagnetni brez histerezne zanke in superparamagnetni;

• **Fizikalne lastnosti:**

- superfluidi (He^4) — viskoznost 0,
- ferrofluidi - tekočine, oblikovane z magnetom (sl. 1),
- spremembe volumna in temperature z elektriko in obratno,
- drastično znižanje tališča, npr. za 800 °C (sl. 3),
- fotorazpad — eksplozija klastrov,
- nepolarna voda,
- superkatalizatorji,
- samogradnja in samopopravila.

• **Optične lastnosti:**

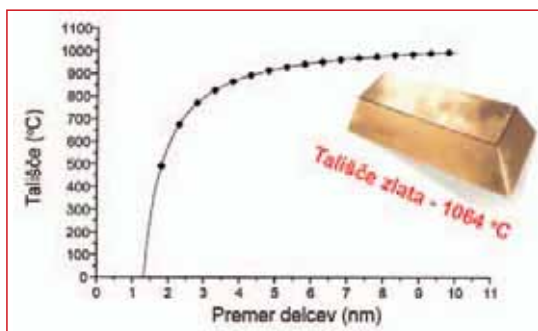
- menjava barve z velikostjo delcev, elektriko, kemično, s T, P ali svetlobo (zlat sijaj polimera),
- svetlilo (fosforescenca/fluorescenca) z elektriko, temperaturo ali silo (sl. 2),
- prozorne kovine (kmalu),
- vodenje svetlobe preko ostrih ovinkov,
- razmejitev svetlobe je nastavljiva, jakost svetlobe zavisi od kota.



Sl. 1: Oblikovani ferrofluidi



Sl. 2: Delci CdTe fluorescirajo, barva pa je odvisna le od velikosti delcev.



Sl. 3: Znižanje tališča zlata iz 1064 °C na 500 °C

V nanosvetu lastnosti podivjajo, ker je večina atomov na površju, delci pa so manjši od valovov večine žarkov. C-klastri, npr. C-cevke, imajo trdnost in E-modul 20 oziroma 10-krat večji od najboljših jekel. Z dodatkom 5 % C-cevk jeklu ali Al povečamo trdnost za 5-krat, trdota nanostrukturiranega Al in jekel je 5-kratna. Nanosloji spremenijo barvo z debelino, tlakom, napetostjo, kemikalijami ali svetlobo. Možne so prozorne kovine in organsko acetilensko "zlato", ki ima tudi prevodnost zlata.

Delci postanejo npr. 4,5-krat bolj magnetni (tudi organski magneti) ali pa superparamagnetni, z magnetnim poljem se jim prevodnost 1000-krat poveča. Superprevodniki (poliacetilen, anilin, pirol, tiofen) imajo vse višjo temperaturo, pri kateri je upornost 0,