

Avtorja:
dr. David Heath
mag. Vasilije Vasić

Dr. David Heath je strokovni sodelavec Gorenja z Mednarodnega centra za trajnostni razvoj (International Centre for Sustainable Development) – Inštitut Jožef Stefan, Jamova 39, 1000 Ljubljana

Nanotehnologija – priložnost za industrijo gospodinjskih aparatov

Nanotechnology – opportunity for the domestic appliance industry

Povzetek

Prispevek predstavlja povzetek raziskave o možnosti uporabe nanotehnologij pri gospodinjskih aparatih, ki jo je izpeljal Mednarodni center za trajnostni razvoj v sodelovanju z Gorenjem. V prispevku bo podan kratek uvod s praktično definicijo nanotehnologije s poudarkom na tistih vidikih nanotehnologije, ki bodo ključni za proizvodnjo gospodinjskih aparatov.

Avtorja predvidevata, da se bodo začetne možnosti nanoznanosti in nanotehnologije pokazale najprej pri novih materialih. Predvsem se bo to odrazilo pri izboljšavi lastnosti materialov in funkcionalnih lastnosti površin: samočiščenje (self-cleaning), antibakterijska zaščita (anti-microbial) in antikorozijska (anti-corrosion). V prispevku so navedeni tudi primeri izdelkov s področja gospodinjskih aparatov, ki že izkoriščajo prednosti nanotehnologije in se serijsko proizvajajo.

Nanotehnologija bo prav tako imela velik vpliv na razvoj elektronike: napredni mikrokontrolerji, tehnologija prikazovalnikov (display) in senzorjev. Ta vpliv se bo vsekakor odražal tudi pri razvoju bodočih "pametnih" (smart) gospodinjskih aparatov.

Namen raziskave, predstavljene na prvi inovacijski okrogli mizi (predavanje dr. David Heatha – 5. februarja 2004) je širšemu krogu strokovnjakov Gorenja predstaviti zelo obetavno vedo – nanotehnologijo, ki jo prištevajo med ključna gonila gospodarskega razvoja 21. stoletja.

Abstract

Reported herein is a summary of the initial findings from a study made by the International Centre for Sustainable Development for Gorenje on the likely implications of nanotechnology for the major appliance industry. The article focuses on aspects of "near-term" nanotechnology applicable to the manufacture of domestic appliances. The authors believe that the initial opportunities emerging out of nanoscience and nanotechnology will come from using new and improved materials with superior mechanical properties and surfaces with greater functionality: self-cleaning, anti-microbial, anti-scratch, and anti-corrosion. The article also provides examples of domestic appliances already on the market that utilise nanotechnology.

Nanotechnology will also have a big impact on the next generation of electronics: advanced microcontrollers, display technologies, and sensors that are becoming an increasingly important feature in the design of modern "smart" appliances.

The aim of this research, presented at the first Innovation round table (lecture by Dr. David Heath -5th February 2004) is to introduce to a broad audience of Gorenje's experts a very promising new science – nanotechnology, which many consider is going to be one of the main drivers of the 21st century's economy.

1. Uvod

V proizvodnji prihaja do temeljnih sprememb v načinih razvoja materialov, ki vključujejo načrtno ravnanje z materiali in napravami na sub mikro ravni. Ta sposobnost manipulacije z materiali na nano ravni se imenuje nanotehnologija. To je znanstvena panoga, ki se je samo v zadnjem desetletju eksponentno razrasla do take ravni, da jo mnogi vidijo kot nosilca naslednje industrijske revolucije^[1].

Glavna težava pri opredelitvi nanotehnologije je v tem, da ta znanstvena panoga ne izvira zgolj iz ene veje znanosti, ampak iz več, ki vključuje

Področji nanoelektronike in nanomaterialov bosta imeli največji vpliv na proizvodnjo velikih gospodinjskih aparatov

Slika 2: Primer konkurenčnega aparata LG digital washing machine WD-16100FD

2001 povečal za 78 %. V poročilu "It's ours to lose", je opredeljena vizija EU o nanocentrični Evropi in pojasnjen način financiranja v 6. okvirnem programu (2002 – 2006). Od celotnih 17,5 milijard evrov se za nano raziskave namenja kar 1,3 milijarde evrov. To pomeni, da bo EU za nano raziskave samo v letu 2006 namenila okrog 680 milijonov evrov. Ko se bo program raziskav in razvoja nanotehnologij zaključil, pa lahko znesek doseže tudi 3,3 milijarde evrov^[6].

V ZDA nanotehnologija tudi naprej ostaja državna prioriteta z 864 milijoni dolarjev za program Nacionalne nanotehnološke iniciative (National Nanotechnology Initiative – NNI) v letu 2004. Japonska se je prav tako resno vključila v razvoj s kar 800 milijoni^[7] dolarjev.

Velike investicije v nanotehnologijo se usmerjajo v prepričanju, da bo nanotehnologija imela ogromen tržni potencial v vseh industrijskih sektorjih. Pogosto se navaja podatek ameriške nacionalne znanstvene fundacije (National Science Foundation), da bo v naslednjem desetletju nanotehnologija industrija z 1 milijardo^[8] dolarjev.

3. Glavne usmeritve nanotehnologije v industriji/ gospodarstvu ter vpliv na proizvodnjo velikih gospodinjskih aparatov

S stališča razvoja in raziskav nanotehnologija združuje tri zelo široka področja – nanobiotehnologijo, nanoelektroniko in nanomateriale. Med njimi bosta področji nanoelektronike in nanomaterialov imeli največji vpliv na proizvodnjo velikih gospodinjskih aparatov in nudili največ možnosti za povečanje dodane vrednosti izdelkov.

3.1 Nanoelektronika

Čeprav je nanoelektronika zunaj obsega tega poročila, mnogi strokovnjaki od nanotehnologije veliko pričakujejo in sicer, da bo do leta 2016 razrešila glavne tehnične ovire pri Moorovem zakonu (zmožnost računalnika se podvoji vsakih osemnajst mesecev)^[9].

Dejansko je trenutna velikost tranzistorjev na sodobnih procesorjih (širina tranzistorskih vrat < 100 nm) že na ravni nanotehnologije. Zato lahko upravičeno rečemo, da elektronska industrija že uporablja nanotehnologijo^[10].



Vse nanotehnološke izboljšave v električnih in elektronskih napravah se bodo lahko uporabljale pri hišnih aparatih, za mikrokontrolerje, senzorje, spominske enote, komunikacijske naprave in tehnologijo prikazovalnikov (display). Prav zadnja bo imela največji vpliv na novo generacijo močno izpopolnjenih ali inteligentnih (smart) gospodinjskih aparatov – **slika 2**^[11].

Omenjeni pralni stroj (**slika 2**) lahko z interneta prevzame nove pralne cikle za različne vrste oblačil. Pri tem ne deluje samo v skladu s tovarniškimi nastavitvami, temveč t.i. Turbo Drum prilagaja pralni program glede na trenutne zahteve uporabnika. Pralni stroj je opremljen s 4.2 inčnim LCD prikazovalnikom (display) in 4 MB spominom (flash memory).

Uporaba nanomaterialov vidno narašča in prihaja v splošno uporabo, saj raziskave hitro izboljšujejo mehanske lastnosti in funkcionalnosti nanomaterialov v primerjavi s tradicionalnimi materiali

Slika 3: Primeri industrijske uporabe nanomaterialov

Industrija polimernih materialov (plastike) je naredila zelo pomembne tehnološke preboje z razvojem polimernih (plastičnih) nanokompozitov, kar bo vplivalo na industrijo gospodinjskih aparatov

3.2 Kakšne so prednosti nanomaterialov v primerjavi s tradicionalnimi materiali

Uporaba nanomaterialov vidno narašča in prihaja v splošno uporabo, saj raziskave hitro izboljšujejo mehanske lastnosti in funkcionalnosti nanomaterialov. Nanostrukturni materiali predstavljajo široko skupino materialov s strukturo, ki vsebuje nanodelce: prah (powder), glina (clay), kvantne točke (dots), plastne strukture, lamelne strukture, vlaknaste strukture (cevi, žice, pasovi), celoviti (bulk) nanostrukturni materiali, nanokompoziti in nanoporozne strukture.

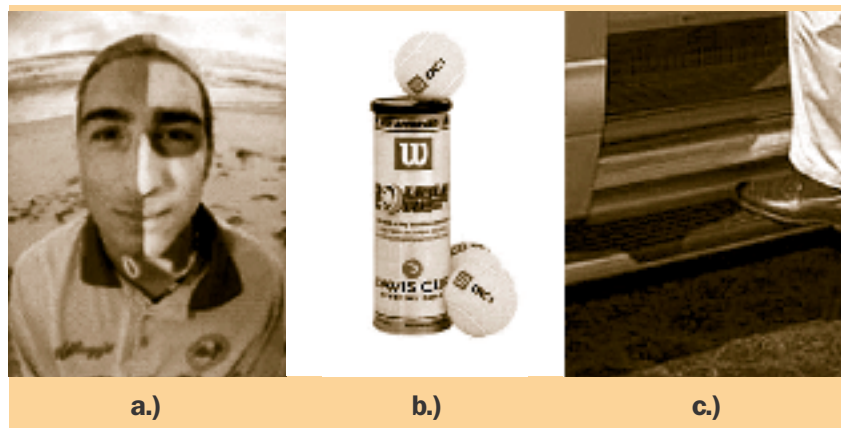
Prednost nanodelcev je, da se njihove lastnosti znatno razlikujejo v odvisnosti od velikosti nanomateriala z ozirom na makromateriale. Razlogi za to so kombinacije lastnosti ^[12]:

- velika razmerja površina/volumen ali presek/volumen,
- efekt velikosti in
- kvantni efekti.

Ostale prednostne lastnosti nanostrukturnih materialov so med drugim večja trdota in žilavost kovin in zlitin, izboljšana razteznost, žilavost in oblikovnost keramike, super žilavosti in super plastičnosti.

Primer je nanokristaliničen baker, ki je kar petkrat trši od navadnega bakra z mikro kristalinično zgradbo.

Primeri perspektivnih področij uporabe so prikazani na **sliki 3** ^[13, 14, 15]:



Na sliki 3a je prikazana primerjava UV zaščitnih sončnih krem, kjer je tista z nanodelci (ZinClear s cinkovim dioksidom) brezbarvna ^[13]. Pri teniških žogicah podjetja Wilson (slika 3b) z nanoprevleko (air D-Fence Technology) se je življenjska doba dvakrat podaljšala.

Za povečanje odpornosti proti obrabi (slika 3c) se za pohodne površine uporabljajo nanokompoziti (TPO - termoplastni olefin). Materiali so precej bolj trdni in lažji v primerjavi z običajnimi.

3.3 Nanokompoziti in nanoprevleke

Veliko zanimanje za nanokompozitne materiale je v industriji polimerov (plastike), ki je naredila zelo pomembne tehnološke preboje z razvojem polimernih (plastičnih) nanokompozitov (npr. surovine plastike so ojačane s plastičnimi nanoaditivi). To bo vplivalo na industrijo gospodinjskih aparatov, ki je zagotovo ena od najbolj inovativnih uporabnikov plastike (polimernih materialov).

Nanokompoziti imajo boljše lastnosti od tradicionalnih kompozitov, zlasti kar zadeva trdnost, žilavost, termično in oksidativno stabilnost, optično jasnost, kakor tudi posebne nove lastnosti, kot so samougasljivost, antibakterijska zaščita, nastavljiva biorazgradljivost, znatno zmanjšanje

Industrija velikih gospodinjskih aparatov se posebej zanima za sposobnost samočiščenja, odpornost proti praskam (razenju), proti sledovom prstnih odtisov ter sposobnost antikorozijske in antibakterijske zaščite

Razvoj antibakterijskih prevlek kot dela celostne higienske konstrukcije gospodinjskega aparata je novo porajajoče se področje

teže in povečanje ali zmanjšanje električne prevodnosti. Zaželene lastnosti materialov lahko dosežemo z manjšo vsebnostjo polnila, zato je potrebno manj kompromisov. Vse te karakteristike omogočajo zmanjšanje stroškov materiala, več inovacij in večjo fleksibilnost pri snovanju aparatov.

Raziskave so pokazale^[16], da nanokompoziti z vsebnostjo manj kot 5 % (utežni odstotki) nanogline razvijejo naslednje lastnosti:

40 %.....višja natezna trdnost
 68 %.....višji natezni modul
 60 %.....višja upogljivost
 126 %.....upogibni modul

Temperatura toplotne razgradljivosti se je povečala od 65° C (nylon-6) na 152° C.

Nanokompozitne prevleke so zelo priljubljene, ker na zelo pripraven način uveljavljamo prednost nanomaterialov, ne da bi bilo treba celoten del izdelati iz tega dragega materiala. Naslednja prednost nanodelcev je njihova velikost, ki je manjša od še vidne valovne dolžine (400 do 700 nm), torej so za oko transparentni. Vključitev nanodelcev v tanek film nanoprevlek omogoča močnejše povezave in boljšo prilagodljivost, pri čemer so razlike v stroških majhne. Takšne prevleke so gladke, močnejše in precej bolj vzdržljive ter omogočajo doseganje "pametnih" prevlek^[17].

Med prvimi so bile uporabljene aktivne prevleke za zaščito pred UV žarki in antistatične prevleke. Industrija velikih gospodinjskih aparatov pa se posebej zanima za sposobnost samočiščenja, odpornost proti praskam (razenju), proti sledovom prstnih odtisov ter sposobnost antikorozijske in antibakterijske zaščite.

4 Najpomembnejše aplikacije nanotehnologije pri velikih gospodinjskih aparatih

4.1 Higiensko konstruiranje: antibakterijska zaščita

Novo porajajoče področje, kjer bo nanotehnologija imela pomembno vlogo, je razvoj antibakterijskih prevlek kot dela celostne higienske konstrukcije aparata. Zahteve po antibakterijskih površinah hitro naraščajo, ne samo v bolnišnicah in v prehrabeni industriji, kjer je kontaminacija velik problem, temveč tudi v gospodinjstvih^[18]. Povečanje prisotnosti bakterij pri modernih gospodinjskih aparatih lahko povzroči razbarvanje, slab vonj, razgradnjo materialov in potencialni nastanek legla mikroorganizmov.

Tako v gospodinjskih aparatih obstaja možnost nastajanja legla škodljivih mikroorganizmov. Študija v ZDA je pokazala^[19], da so bile v skoraj 60 % testiranih pralnih strojev zaznane različne vrste patogenih organizmov (npr. faecal coliform bacteria *Escherichia-coli*).

Nanotehnologija je bila uporabljena za rešitev tega problema, pri čemer se za nanodelce pri antibakterijski zaščiti najbolj pogosto uporabljata srebro in titanov dioksid. Primer takšne uporabe sta aparata SIEMENS – hladilnik (KT 16 420) in SAMSUNG – pralni stroj (AG Plus – SEW-3P105A) – **slika 4**.

Pralni stroj sprošča srebrne nanodelce v pranje. Po podatkih proizvajalca ti delci uničijo kar 99,9 % bakterij, ne da bi pri tem morali perilo prekuhati. Samsung med drugim tudi zaščiti notranjost bobna z nanodelci srebra [20]. Uporaba pri Samsungu ni omejena zgolj na pralne stroje, vključuje tudi hladilno-zamrzovalne aparate pri katerih dodajajo nanodelce srebra v sistem razprševanja vode in v sistem za osvežitev prostora.

Slika 4: Primer aplikacije nanotehnologije – antibakterijske zaščite – pri gospodinjskih aparatih



V notranjosti hladilnika je možno uporabljati nanotehnologijo v delu aparata, ki je namenjen hrambi zelenjave, "neo-fresh" oddelek ima antibakterijsko odpornost. "Neo-fresh" funkcija bi lahko zagotavljala sveže meso in neškodljiva užitnost do 15 dni ^[21]. Na evropskem trgu pa že obstajajo podobni hladilno-zamrzovalni aparati podjetja SIEMENS (slika 4) ^[20].

Med zelo priljubljene antibakterijske tehnologije prištevamo tudi uporabo srebra v izmenjujočih se zeolitskih prevlekah, čeprav teh praviloma ne prištevamo v sklop nanotehnologije. Ta tehnologija namensko izkorišča porozen material s porami z velikostjo 2 nm do 50 nm za natančno kontrolo stopnje sproščanja ionov srebra. Zeoliti se uporabljajo kot nosilci za natančno kontrolirano oddajanje ionov srebra za zaviranje rasti bakterij.

Proizvajalci uporabljajo zeolitsko tehnologijo z izmenjavo ionov srebra za oblikovanje antibakterijske površine za vse vrste površin, zlasti za nerjaveče jeklo in plastiko. To je namenjeno predvsem za prevleke pri velikih gospodinjskih aparatih - pralnih strojih, hladilno-zamrzovalnih aparatih in inštalacijah za klimatizacijo (HVAC) ^[22]. Prav sistemi klimatizacije so bili zelo ugodni za razvijanje bakterij (mikrobov), kar je bil zelo akuten problem zlasti v bolnišnicah, delovanje in se lahko uporabi tudi za površine, ki se enostavno čistijo (t.i. easy-to-clean) in imajo funkcijo samočiščenja. Za razliko od srebra, ki ima biostatičen efekt, titanov dioksid deluje na osnovi fotokatalitične oksidacije. Pri delci titanovega dioksida se pri svetlobi valovne dolžine 350 do 380 nm sproži fotokatalitična reakcija, ki razen uničevanja mikrobov povzroča razgradnjo zraka NO_x in SO_x, ter hlapnih organskih sestavin (VOCs – volatile organic compounds), ki so značilne za problem – sindrom bolnih zgradb. Velika uporabnost je pri sanitarni keramiki (RF duravit), čistilnih napravah za odpadno vodo in zrak v industriji in gospodinjstvih ter pri HVAC (Heating Ventilating and Air-Conditioning) napravah ^[23].

4.2 Primer odpornosti proti praskam (razenju)

Industrija gospodinjskih aparatov prav tako skrbi za obliko in izgled svojih izdelkov. Trenutno je zelo priljubljen izgled nerjavečega jekla, kar je tržni trend, ki narašča. Vendarle je vizualna prednost kovinskega izgleda omejena zaradi možnosti prask in zelo težkega čiščenja mastnih ostankov in sledov prstnih odtisov. Ena od rešitev je nanoprevleka, ki je odporna proti praskam in se lahko očisti, druga pa samočistilna jasna nanopovršina, ki je podobna novim vrstam prevlek, ki jih razvijajo v avtomobilski industriji.

Pomanjkljivosti, kot so praske, težko čiščenje mastnih ostankov in sledov prstnih odtisov pri aparatih iz nerjavečega jekla, prav tako odpravljajo s pomočjo nanotehnologije

Slika 5: Primerjava obrabe avtomobila z in brez nanozaščite



Mercedes Benz je uporabil nanodelce za pripravo novega laka za prevleke avtomobilov, ki je odporen na praske[24]. Za prevleke uporabljajo nanokeramične polimerne kompozite, ki tvorijo zelo gosto mrežo na strukturi premaza. Le-ta preprečuje mikropraske, ki sčasoma nastanejo in so pogosto posledica abrazije zaradi majhnih delčkov peska v ščetkah avtopralnic (slika 5).

Na sliki 5 se jasno vidi razlika med levimi vrati, ki imajo novo zaščito z nanoprevleko in obrabo vrat na desni strani, ki te zaščite nima.

Proizvajalci zagotavljajo, da nanoprevleka omogoča trojno povečanje odpornosti proti praskam v primerjavi z običajno prozorno prevleko.

4.3 Alternativne oblike hlajenja in klimatizacije

Razen že preverjenih materialov in funkcionalnih prevlek, pričanja nanotehnologija prodirati tudi na področje raziskovanja alternativnih tehnologij hlajenja in klimatizacije. Vendar so raziskave še v povojih.

Sodobne raziskave so usmerjene na tri glavna področja:

- izboljšane termo-električne naprave z uporabo nanostrukturnih površin, poznanih kot "supermreže" (superlattice) ^[25];
- uporaba multifunkcionalnih termalnih nanofluidov – t.i. "inteligentni fluid" ^[26];
- termo-ionska hladilna tehnologija ^[27].

Termo-ionsko hlajenje se uporablja pri elektronskih trdnih vakuumskih diodah (coolchip tehnologija). V diodi prihaja do preskoka elektronov preko nanometersko majhne zareze, kjer se na račun tega hladi del diode. Z nizom takšnih elektrod skušajo znanstveniki ta sistem uporabiti kot alternativo tradicionalni obliki hlajenja (slika 6) ^[27].



Prednost novih, alternativnih načinov hlajenja je vsekakor ekološka neoporečnost.

5. Tržne in znanstvene ovire pri implementaciji nanotehnologije

Proizvajalci morajo računati na tradicionalna tveganja in ovire, ki so povezane z uvajanjem novih tehnologij (npr. razpoložljivost, visoki stroški novega materiala, spremembe v infrastrukturi, sprememba delovnih procesov), kakor tudi na okoljske in socialne posledice nanotehnologije.

Proizvajalci gospodinskih aparatov morajo tudi upoštevati socialne implikacije nanotehnologije. V zadnjih letih proizvajalci v svojih okoljevarstvenih poročilih poudarjajo okoljsko kredibilnost, zavezanost trajnostnemu razvoju in t. i. triple-bottom line – koncept pomeni upoštevanje ne samo ekonomskih vidikov ustvarjanja vrednosti, temveč tudi vpliv na družbo in okolje. Tudi tu še ni raziskano v kolikšni meri nano spremembe lastnosti materiala v nanodimenzijah vplivajo na toksičnost.

Novije raziskave so pokazale, da nanodelci lahko prodrejo skozi membrane celic. Ugotovljena je bila prisotnost nanodelcev v možganih laboratorijsko testnih živali, ki so bile izpostavljene nanodelcem [28]. Veliko več raziskav bo potrebno, da bi se prepoznalo večino tveganj, ki

Slika 6: "Nanohladilni" element v primerjavi s konvencionalnim kompresorjem

Proizvajalci morajo računati na tradicionalna tveganja in ovire, ki so povezane z uvajanjem novih tehnologij

V mnogočem nanotehnologija predstavlja nov, napreden način v snovanju proizvodnje, ki bi lahko zamenjala mnoge tradicionalne vidike proizvodnje

Zahvala
Avtorja se zahvaljujeta
Gorenju za podporo projektu o
nanotehnologijah v gospodinjstvu.

jih povzročajo nanomaterija v materialih/izdelkih. Opredeljeni morajo biti tako aktivni kot tudi pasivni vidiki vpliva na ljudi, ki prihajajo v stik s takšnimi materiali.

Ozaveščenost javnosti o novih tehnologijah je večja kot kadar koli prej in razumevanje javnosti je zelo pomembno, še posebej če se želimo izogniti problemom, s katerimi se sooča na primer biotehnologija in gensko modificirana hrana.

Mnogi so že izrazili bojzani v zvezi z nanotehnologijo, medtem ko drugi verjamejo, da nanotehnologija lahko zagotovi večjo trajnostno rast s čistejšimi, varnejšimi in bolj konkurenčnimi proizvodnimi procesi in izdelki z manjšo rabo toksičnih snovi ^[29].

6. Zaključek

Nanotehnologija je skupno ime za skupino tehnologij, tehnik in procesov, ki se uporabljajo pri manipulaciji materije v nanometerskih dimenzijah. V mnogočem nanotehnologija predstavlja nov, napreden način v snovanju proizvodnje, ki bi lahko zamenjala mnoge tradicionalne vidike proizvodnje.

Nanotehnologija je še vedno v zgodnji fazi široke uporabe in na področju bele tehnike obstaja nekaj primerov, kot je na primer antibakterijska zaščita. Možnosti pa so še veliko večje.

Izboljšane mehanske lastnosti materialov bodo snovalcem aparatov dale nove možnosti pri konstruiranju. Uporaba inteligentnih materialov bo zagotovila večjo funkcionalno učinkovitost, higieničnost, enostavno čiščenje (ti. self-cleaning – samočiščenje), antikorozijske lastnosti, energijsko učinkovitost in izboljšano lastnost samogašenja.

Uporaba naprednih elektronskih naprav in senzorjev bo povečala učinkovitost in uporabnost t.i. inteligentnih gospodinjskih aparatov. Enako velja za področje hlajenja.

Uporabnost nanotehnologije v beli tehniki se ne razlikuje od drugih tehnologij. Vrednotena bo glede na zmožnost povečanja dobička z večanjem dodane vrednosti obstoječih izdelkov, nižanju proizvodnih stroškov, razvojem novih izdelkov ali odpiranjem novih trgov.

Kljub vsemu je nanotehnologija v povojih in še vedno obstaja kar nekaj ekonomskih, okoljevarstvenih in socialnih ter okoljskih ovir za široko uporabo. Kljub temu se tržna uporabnost nanotehnologije hitro širi in od tega si lahko veliko obeta tudi industrija bele tehnike.

Ta prispevek je samo izhodišče za nadaljnje raziskave in za potrebno tehnično-tehnološko znanje o nanotehnologijah za Gorenje v sodelovanju z Inovacijskim centrom.

7. Literatura

- [1] Murday, J. S.: The Coming Revolution: Science and Technology of Nanoscale Structures, The AMPTIAC Newsletter, 6 (1), 2002, pp. 1-5
- [2] National Nanotechnology Initiative, NSET, 2002. Retrieved from <http://www.nano.gov>
- [3] Office of Basic Energy Science: Scale of things, US Department of Energy, 2003. (http://www.sc.doe.gov/bes/scale_of_things.html)
- [4] Peterson, C.: Foresight Institute Molecular Manufacturing: Societal Implications of Advanced Nanotechnology U.S. House of representatives Committee on Science April 9, 2003
- [5] Drexler, K.: Nanosystems: Molecular Machinery, Manufacturing, and Computation, Wiley, 1992;

- [6] Roman, C.: It's our to lose: an analysis of EU nanotechnology funding and the sixth framework, European Nanobusiness Association, October 2002
- [7] National Nanotechnology Initiative NNI, 2004. (<http://www.nano.gov>)
- [8] Roco, M. C., and Bainbridge, W. S.: Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology, NSET Workshop Report by the National Science Foundation, March 2001
- [9] The International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS), Semiconductor Industry Association, 2003 edition
- [10] Bourianoff, G.: the future of nanocomputing, Computer, Vol 38, No 8. august 2003
- [11] LG Electronic Inc, New Digital Living Network, 2003. (<http://www.dreamlg.com>)
- [12] Dobson, P. J.: Nanoparticles and Nanocomposites, Commercial and Industrial Applications for Microengineering and Nanotechnology, Paper for "Commercial and Industrial Applications for Microengineering and Nanotechnology" 26th April, London, pp1-11
- [13] Advanced Powder technology Pty Ltd, Welshpool, Western Australia 2004 (<http://www.aptpowders.com>)
- [14] InMat LLC, Hillsborough, New Jersey, 2004 (<http://www.InMat.com>)
- [15] Southern Clay Products, Inc., Gonzales, Texas USA, 2004 (<http://www.Nanoclay.com>)
- [16] Gilman, J. W., Kashiwagi, T., and Lichtenham, J. D.: Nanocomposites: a revolutionary new flame retardant approach, 42nd International SAMPE symposium May 1997, pp1078-1089
- [17] Baer, D. R., Burrows P. E., and El-Azab, A. A.: Enhancing coating functionality using nanoscience and nanotechnology, Progress in Organic Coatings, 47 (2003) pp 342-356
- [18] KREN, L. A.: Sleeker shapes for white-goods, Metalforming, feb., 2004, pp 22-27
- [19] Casonova, L.M., C.P. Gerba, and M. Karpiscak: Chemical and Microbial Characterization of household graywater, J. Environ. Sci. Hlth, Part A., 2001, pp 395-401
- [20] Samsung Electronics Introduces Korea's First "Silver Sterilization Washing Machine", Samsung press centre, Apr 15, 2003. (<http://www.samsung.com/PressCenter/PressRelease>)
- [21] Samsung Electronics Introduces a New Line of Refrigerators for the Korean Market-Nano-silver Particles Added to Water Dispenser System and Odour Remover. Samsung press centre, 2003. (<http://www.samsung.com/PressCenter>)
- [22] AgION Technologies Europe Ltd, 2004, (<http://www.agion-tech.com>)
- [23] Bio-cera Co. Ltd, South Korea, 2004, (<http://www.biocera.co.kr>)
- [24] Mercedes Benz, World Premiere of Innovative Nano-Particle Clearcoat, March 5, 2004, (<http://www.germancarfans.com>)
- [25] Venkatasubramanian, R., Siivola, E., Colpitts, T., and O'Quinn, B.: Thin-film Thermoelectric Devices with High Room-temperature Figures of Merit, Nature, 413, 2001, pp 597-602
- [26] Egolf, P. W., Sari, O., and Kitanovski, A.: Multifunctional Thermal Fluids for Refrigeration and Air Conditioning, European Conference on Energy Dispersive X-Ray Spectrometry EDXRS, 2002, Berlin, Germany
- [27] Tavkheldze A., Taliashvili, Z., Bibiliashvili, A., Tsakadze, L., Jangadze, L., Skhiladze, G., amd Co, I.: Nano Cooling and Thermal Conversion: Construction of a Useful 5nm Vacuum Gap Across Macroscopic Areas, IEC Nanoengineering World Forum, 2003
- [28] Oberdörster, G., Sharp, Z., Atudorei, V., Elder, A., Gelein R., Lunts, Kreyling, A.W., and Cox, C.: Extrapulmonary translocation of ultrafine carbon particles following whole-body inhalation exposure of rats. J. Toxicol. Environ. Health, A, Oct 2002, pp 1531-43
- [29] Research Directorate-General Press Release Sustainable Production: Nanotechnologies Lead the Way, EMBARGO, 7.oct., 2002