

V nanodimenzijah svet spremeni lastnosti: bomo znali v njem preživeti?

¹ Dr. Damjana Drobne je od leta 1989 zaposlena na Oddelku za biologijo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Osrednje področje njenih raziskav sta okoljska toksikologija in zoologija. V zadnjem času se je posvetila raziskavam interakcij med nanodelci, ki so proizvod nanotehnologij, in biološkimi sistemi. Tako je začela razvijati povsem novo vejo toksikologije, nanotoksikologijo.

Uvod

Bolj ko je tehnologija napredna in zmožna, večje in bolj izrazite družbene spremembe povzroči. Po mnenju nekaterih je pred nami nanotehnološka revolucija, ki bo imela za družbo neprimerno večje posledice, kot jih je imela industrijska revolucija.

Predpona »nano« izvirja iz grške besede, ki pomeni »pritlikav«, v znanosti in tehnologiji pa označuje 10^{-9} , torej milijardin-

ko (= 0,000000001). En nanometer (nm) je milijardinka metra, kar je več desetstičkrat manj od debeline človeškega lasu. Nanodelci so definirani kot delci, ki merijo vsaj v eni dimenziji 100 nm ali manj. Nanotehnologije ne le preoblikujejo materiale in tvorijo nove tehnološke izdelke, dajejo jim tudi nove lastnosti. Material, ki je manjši od 100 nm, spremeni svoje lastnosti v primerjavi s snovjo iste kemijske sestave v večjih dimenzijah. Tako v resnici nastane popolnoma nov material, ki ima številne želene in zelo uporabne lastnosti, hkrati pa lahko pridobi tudi nove, nepoznane in morda neželene lastnosti. Če merijo delci 100 nm in manj, se jim zaradi razmerja površine v primerjavi s prostornino močno spremenijo lastnosti. Edinstvene kemijske, mehanske in električne lastnosti, ki jih pridobi material v nanodimenzijah, so močno zaželeni v številnih aplikacijah, hkrati pa te lastnosti pomenijo potencialno nevarnost za biološke sisteme.

Osrednje vprašanje, povezano z izdelki novih tehnologij, pa sprašuje, če je korist nanotehnoloških izdelkov večja od njihove potencialne škode ter kako ustvariti nove izdelke s čim manj stranskimi učinki (Drobne, 2007).

Lastnosti, ki jih ponujajo nanomateriali, so skorajda čarobne. Nanodelci in nanomateriali bodo namesto nas opravljali najbolj zoprna dela, ali pa omogočili, da takšna opravila sploh ne bodo več potrebna. Očistili bodo okna, sproti odstranjevali bakterije z oblačil in s tem preprečili neprijetne vonjave, hrana v hladilniku se ne bo pokvarila, tudi če bomo nanjo pozabili za teden ali dva, tudi samega hladilnika ne bo treba čistiti, obleko bomo prali brez pralnega praška pri nizkih temperaturah, težka vojaška oprema bo postala smešno lahka, sterilnost medicinskih

pripomočkov in tkanin bo zagotovljena, športni pripomočki iz ogljikovih vlaken pa so tako ali tako že vsakdanji. Le kdo bi se temu lahko uprl!

Toda spomin na pričakovanja, povezana z vsemogočnostjo azbesta, nas opozarja, da ima vsaka stvar svojo ceno. Kakšno? Ravno to je vprašanje premnogih znanstvenih srečanj ter zasedanj vladnih in nevladnih organizacij (SCENIHR, 2005). Toda čemu se stvari na področju regulative za nove tehnologije na prvi pogled tako počasi premikajo? Čemu najnovejša evropska zakonodaja na področju kemikalij, REACH (EP in Svet EU, 2006), nanodelcev sploh ne omenja? Mar zadostuje, da jih obravnavamo kot nove kemikalije, ali pa dejansko potrebujejo poseben »status« in obravnavo?

Namen tega prispevka je osvetliti ključne probleme, povezane z nanodelci, nanomateriali in nanotehnologijami ter njihovo varno proizvodnjo, porabo in reciklažo. V prispevku se bom dotaknila tudi izobraževanja in doizobraževanja, ki nam ga na tem področju omogoča nova bolonjska shema visokega šolstva, obravnavala pa bom tudi ustreznost zakonodaje ter odgovornosti nas vseh pri uporabi nanotehnoloških izdelkov in nanotehnologij. Razpravo končujem z razmišljanjem o dejavnih, zaradi katerih se nanotehnologije tako zelo razlikujejo od drugih tehnologij in čemu posegajo v vse pore družbenega življenja in njegove organiziranosti.

Nanodelci in nove tehnologije

Nanotehnologija bo najverjetneje kmalu obsegala največji delež svetovnega gospodarstva ter postala del našega vsakdanjega življenja. Na stotine ton nanomaterialov se že proizvaja vsak dan in tako vstopa v naše okolje, vendar pa še vedno vemo zelo malo o njihovih morebitnih kvarnih učinkih na okolje in človeka. Specifični izzivi za biologijo in toksikologijo so predvsem razumevanje delovanja nanodelcev na biološke sisteme, omogočanje proizvodnje novih, varnih materialov ter obvladovanje izpusta nanodelcev v okolje.

Različne študije kažejo na značilno začetno dilemo o tehnološkem determinizmu in t. i. optimističnem (nove tehnologije bodo rešile vse) oziroma pesimističnem (nove tehnologije bodo uničile medčloveške odnose, okolje ...) videnju vpliva sodobnih tehnologij. Prav ta dilema oziroma njena razjasnitev pa je tisto, kar se pozneje uveljavi tudi v praksi. Že samo zavedanje o možnosti vpliva je pomemben korak za družbo, ki ji nove tehnološke spremembe hkrati z navdušenjem nad novim, sodobnim, zbujaajo strah pred neobvladljivim, neznanim, morda celo nevarnim in škodljivim.

Fizik Richard P. Feynman je bil prvi, ki je v svojem predavanju na letnem srečanju ameriških fizikov leta 1959 govoril o konceptu nanoznanosti. Izraz nanotehnologija pa je bil uveden veliko pozneje, ko je japonski znanstvenik Nario Taniguchi leta 1974 definiral nanotehnologijo kot izdelovanje proizvodov mikrometrskih ali manjših velikosti.

Na eni strani so obeti za nanotehnologije svetli, na drugi strani pa so čedalje pogostejši tudi protesti, ki opozarjajo na morebitne kvarne učinke in na nezadostno vedenje o teh morebitnih kvarnih učinkih (ETC, 2005). Zato so čedalje glasnejše javne razprave, kjer se sprašuje, če koristi nanotehnologij res odtehtajo potencialne kvarne učinke.

Zavedanje o razsežnostih nanotehnologij in njihovih učinkov se že kaže v razvoju novih znanstvenih vej, kot so nanobiologija, nanotehnologija in podobne, ter na drugi strani vrste novih študijskih programov s področja nanoznanosti, ki podajajo tako nanotehnološka kot tudi nanobiološka in humanistična znanja.

Nanodelci in učinki na biološke sisteme

Številne študije *in vitro* in nekaj študij *in vivo* na živalskih modelih kaže, da ni enotnega načina privzema nanodelcev in ne specifičnega tarčnega delovanja ter, kar je od vsega najbolj skrb zbujačo, da odziv ni odvisen od doze, če je ta izražena kot masa nanodelcev, privzeta v določenem času. Nanodelci se očitno ne vedejo tako kot kemikalije.

Najverjetneje bo treba dozo nanodelcev opredeliti drugače kot dozo kemikalij. Za kemikalije na splošno velja, da količina kemikalije v mediju ali hrani, kateri je izpostavljen organizem, povsem zadostuje za mero doze. Za nanodelce pa bo najverjetneje treba iznajti drugačen način določanja doze. Morda bo podatek o koncentraciji potrebno zamenjati s številom delcev, z njihovo površino ali s čim podobnim, kar bo neposredno povezano z njihovo biološko aktivnostjo. Tega zdaj še ne vemo.

Dejstvo, da ne vemo, katera značilnost ali skupina značilnosti nanodelcev je tista, ki določa njihovo biološko aktivnost in s tem strupenost, pa je glavni razlog, da ne moremo opredeliti, kolikšna je varna doza nanodelcev, ki jih organizem lahko sprejme. To pa posledično onemogoča tudi ustrezne regulativne ukrepe na tem področju.

Nanodelci, nanomateriali in zakonodaja

Uporaba nanotehnologije bo morala skladno s Pogodbo o Evropski uniji zadostiti zahtevam po zagotavljanju visoke ravni zdravja ljudi, varnosti ter varovanja potrošnika in okolja. (Evropska unija temelji na načelu pravne države. To pomeni, da vse, kar dela, izhaja iz pogodb, o katerih se prostovoljno in demokratično dogovorijo vse države članice. Prej podpisane pogodbe so bile spremenjene in posodobljene, da ne bi zaostajale za družbenim razvojem.)

Nova evropska kemijska uredba REACH, sprejeta decembra leta 2006 (uporabljati se je začela 1. junija 2007), določa obveznosti za registracijo, evalvacijo, avtorizacijo oziroma omejevanje nevarnih kemikalij (EP in Svet EU, 2006). Zda je na evropskem trgu prisotnih več kot 100.000 kemikalij; od tega »samo« 30.000 v količinah nad eno tono (količine so mišljene na enega proizvajalca oziroma uvoznika). Grozljiv je podatek, da več kot 99 odstotkov kemikalij ni bilo izpostavljenih nadaljnjim poglobljenim ocenam tveganja za zdravje ljudi in okolja, čeprav so številne izmed teh kemikalij vključene v vsakdanje življenje (čistila, kozmetika, tekstil itd.) ali pa prisotne na delovnih mestih (CEC, 2001).

Nanoznanosti in bolonjska shema izobraževanja

Bolonjski sistem visokega šolstva, kot ga privzema skoraj vsa Evropa, je, gledano z vidika nanotehnologij in družbenih sprememb, prišel ravno ob pravem času.

Bolonjski deklaraciji so botrovale nove razmere v Evropi in svetu, katerim so dali svoj pečat predvsem evropski integracijski procesi, tranzicija v srednji in vzhodni Evropi, globalizacija v svetovnem merilu in nastajanje družbe znanja. Med bistvenimi cilji prenovе študijev po načelih Bolonjske deklaracije je poenotenje poteka študija in s tem sprejem sistema zlahka prepoznavnih in primerljivih diplomskih stopenj.

Nov sistem študija naj bi poenotil različne nacionalne sisteme. Bolonjski sistem študija omogoča študentom nadaljevanje študija v lastni vertikali oz. disciplini, prehod na drug študij

po končani eni od stopenj, izhod na trg dela oz. zaposlitev po končani kateri koli stopnji študija ter možnost in postopnost nadaljnega izobraževanja (vseživljenjsko učenje).

Nanotehnologije prinašajo potrebo po novih delovnih mestih in seveda novih kvalifikacijah. Bolonjska shema s svojimi vertikalnimi prehodi in veliko izbiro predmetov na eni stopnji omogoča široka znanja in kompetence, ki bodo v prihodnosti nujno potrebne. V ospredje stopa vprašanje, kaj diplomant zna in obvlada, ne pa, kaj se je učil. S tem naj bi se kompetence diplomantov, ki so izjemno pomembne za delodajalce, izboljšale do te mere, da bi bili diplomanti lažje zaposljivi oz. za delodajalce tudi bolj uporabni. Vse to je povsem skladno z novimi tehnologijami, ki bodo zahtevale veliko fleksibilnost v kompetencah strokovnjakov in široke možnosti doizobraževanja.

Bolonjski študijski sistem s kreditnim ovrednotenjem študentovih obveznosti in z natančno opredeljenimi kompetencami po končanem predmetu pa je primeren način doizobraževanja že zaposlenih kadrov. Nanotehnologije in vse družbene aktivnosti, ki jim utegnejo slediti, bodo zahtevale dodatna znanja, ki pa so v raznoliki ponudbi novih bolonjskih programov že na voljo. Obstoječi kadri, ki so končali študij pred desetletjem ali dvema, se bodo za soočenje z novimi profesionalnimi izzivi nujno morali doizobraziti. Vendar pa obstoj študija še ni dovolj. Vseživljenjsko izobraževanje je tako ali tako že del naše evropske strategije, treba pa ga je tudi formalnopravno vpeljati (EC, 2008(a); EC, 2008(b)).

Družba na preizkušnji

Nanotehnologije in z njimi povezane spremembe v družbi nas postavljajo pred zanimivo in zahtevno preizkušnjo. V skoraj dvesto letih intenzivnega spreminjanja okolja smo spoznali, da ima naše delovanje na naravo nepredvidljive posledice. Spoznali smo, da potrebujemo smernice, ki določajo, kaj smemo in česa ne. V kolikšni meri se tega držimo, je vprašanje, ki je povezano z našim vrednotnim sistemom, odgovornostjo in razgledanostjo. Vemo, da kršenje predpisov vodi v sankcije.

Pri nanotehnologijah nimamo niti osnovnih znanj o potencialni nevarnosti nanotehnoloških izdelkov, iz česar sledi, da nimamo niti regulativnih ukrepov, kaj šele sankcij. Izdelki nanotehnologij počasi postajajo del naše vsakdanje rabe, kakor tudi eno najobetavnejših tehnoloških področij. Tukaj je še dovoljeno vse tisto, česar druge tehnologije že dolgo ne smejo več. To zbuja negotovost in zaskrbljenost na eni strani in val navdušenja na drugi.

Znašli smo se pred preizkušnjo, kako ravnati z nečim, kar že uporabljamo, a o čemer vemo le malo. Ali naj prisluhnemo opozorilom o nevarnostih ali pa naj čakamo na regulativne ukrepe in smernice, kot smo vajeni pri vseh drugih potencialno nevarnih snoveh, od radioaktivnosti pa do različnih kemikalij? Kot družba smo se znašli v položaju, ko se še nismo opredelili, katera institucija oz. ministrstvo naj bo odgovorno za nanotehnologije. Nekatere države namreč že ustanavljajo agencije za nanotehnologije, druge pa uvrščajo nanodelce in nanomateriale med nove kemikalije in predlagajo podoben način testiranja in informiranja kot pri kemikalijah.

Nanotehnologije so sprožile tudi ustanavljanje novih študijskih smeri, ki večinoma izhajajo iz študijev materialov, fizike in okolja (Erasmus Mundus, 2008). Sočasno pa se problematika, povezana z nanotehnologijami, obravnava tudi v družboslovju. Nanotehnologije niso le stvar novih tehnologij, temveč se počasi razširjajo na vsa področja znanosti in tudi našega vsakdanjega življenja. To jim daje interdisciplinarno naravo, ki je do zdaj v takšni meri najbrž ni imela

še nobena druga tehnološka pridobitev. Izziv, ki je pred nami, se tako glasi, ali bomo znali in zmogli problematiko nanotehnologij obravnavati interdisciplinarno, kot del našega vsakdanjega življenja, in jih ustrezno, formalno umestiti v družbo. Preizkušnjo bomo dobro prestali le, če bomo nanotehnologije obravnavali ne le kot tehnologije, temveč morda tudi kot novo organizacijo družbe, novo delitev moči in nov vrednotni sistem.

Literatura

- CEC (2001): Strategy for a future Chemicals Policy. Na <http://www.sfc.fr/LivreBlancEU-REACH-01-2.pdf>.
- DROBNE, D. (2007): Nanotoxicology for safe and sustainable nanotechnology. Arhiv za higijeno rada i toksikologiju, 58, 471–478.
- ETC (2005): A Tiny Primer on Nano-scale Technologies ... and The Little BANG Theory. Na http://www.etcgroup.org/upload/publication/55/01/tinyprimer_english.pdf.
- EC (2008(a)): A single umbrella for education and training programmes. Na http://ec.europa.eu/education/programmes/llp/index_en.html.
- EC (2008(b)): Knowledge Society. Na http://ec.europa.eu/employment_social/knowledge_society/index_en.htm.
- EP in SVET EU (2006): Uredba (ES) št. 1907/2006 Evropskega Parlamenta in Sveta o registraciji, evalvaciji, avtorizaciji in omejevanju kemikalij (REACH). Na <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:396:0001:0849:SL:PDF>.
- ERASMUS MUNDUS (2008): Nanoscience and Nanotechnology. Na <http://www.emm-nano.org/indexnano.htm>.
- SCENIHR (2005): The appropriateness of existing methodologies to assess the potential risks associated with engineered and adventitious products of nanotechnologies. Na <http://files.nanobio-raise.org/Downloads/scenihhr.pdf>.