

B. Mijović*

NANO - MNOŠTVO RIZIKA I KORISTI

UDK 620.3:331.45/48
PRIMLJENO: 26.2.2015.
PRIHVAĆENO: 18.5.2015.

SAŽETAK: Nanotehnologija i nanomaterijali postali su neizbježna tema među istraživačima zadnjih desetljeća. Razlog velike zainteresiranosti prema nanotehnologiji je u novim mogućnostima koje je područje donijelo. U ovom radu dan je kratki pregled nastajanja nanotehnologije te osnovni pojmovi nanotehnologije s težištem na vrste nanomaterijala, njihova jedinstvena svojstva i mogućnosti njihove primjene. S jedne strane, koristi nanotehnologije vidljive su u njezinoj primjeni u mnogim područjima, uključujući: informacijske i komunikacijske tehnologije, pohranu energije, inženjerstvo okoliša, kemijsku industriju, prehrambenu industriju, medicinu, farmaceutsku industriju i kozmetiku. S druge strane, ista ta jedinstvena svojstva na kojima se temelji njihova primjena istaknuta su u potencijalno toksikološkim učincima na ljudsko zdravlje i okoliš. Nanomaterijali utječu na okoliš kroz proizvodnju ili otpad, kao i na ljudsko tijelo, kroz profesionalne izloženosti ili uporabom proizvoda. Trenutno najveća zabrinutost toksikologa u vezi s potencijalno štetnim utjecajima nanomaterijala je nepotpuno znanje o njima.

Ključne riječi: nanotehnologija, nanomaterijali, ljudsko zdravlje, rizici, koristi

POČECI NANOTEHNOLOGIJE

Formalno riječ „nano“ po prvi puta se pojavljuje u svijetu znanosti 1959. godine tijekom predavanja fizičara Richarda Feynmana s temom „Ima mnoštvo mjesta na dnu“. Prema tome, nanotehnologija je definirana kao disciplina u kojoj se materijali sintetiziraju manipulacijom atoma. Godine 1981. Gerd Binnig i Heinrich Rohrer s istraživačkog laboratorija IBM Zurich kreirali su skenirajući tunelski mikroskop kao alat za upravljanje atomima i molekulama. Kasnije, 1985. godina obilježena je s otkrivanjem 0,7 nm širokih ugljičnih kuglastih molekula, s točnijim

nazivom Buckminster fullereni. Iako procvat nanotehnologije kreće u zadnjem stoljeću, uporaba „finih“ čestica bila je poznata još prije 5000 godina kada su stari Egipćani upotrebljavali fine smrvljene čestice zlata u stomatologiji. Godine 1856. Faraday je pripremio koloidno nanozlato, nazvano „podijeljenim“ metalom. U širem smislu pojam „nanotehnologija“ uključuje istraživanje i razvoj tehnologija i novih svojstava struktura s dimenzijama na nanoskali (1-100 nm); (*Pradeep i sur., 2007., Booker i sur., 2005.*). Danas, najpopularnije pojmove koji u sebi sadrže prefiks „nano“ ili 10^{-9} m, su nanomaterijali, nanostrukture, nanočestice, nanovlakna itd. Definicija pojmova dana je u Tablici 1 (*Hett 2004., Luther i sur., 2013., DHHS, 2009., Kosk-Bienko, BSI PAS 136, 2007.*).

*Prof. dr. sc. Budimir Mijović, (budimir.mijovic@ttf.hr), Sveučilište u Zagrebu, Tekstilno-tehnološki fakultet, Prilaz baruna Filipovića 28 a, 10000 Zagreb.

Tablica 1. Najčešći pojmovi koji uključuju riječ „nano“**Table 1. Some common “nano” terms**

Pojam	Definicija
Nanomaterijal	Obuhvaća pojmove nanoobjekta i nanostrukture.
Nanoobjekt	Materijal s jednom, dvije ili tri vanjske dimenzije na nanoskali, ili 1–100 nm koja se smatra nanoskalom.
Nanostruktura	Materijal s unutarnjom ili površinskom strukturom na nanoskali. Npr. nanoprah, nanokompozit, čvrste nanopjene, nanoporozni materijali i fluidne nanodisperzije.
Nanočestica	Fine čestice sa svim dimenzijama na nanoskali. Nanočestice su inženjerski dobivene, dok su ultrafine čestice dobivene slučajno.
Nanoploča	Nanoobjekt s jednom vanjskom dimenzijom na nanoskali.
Nanoštapić	Nanoobjekt sa dvije vanjske dimenzije na nanoskali.
Nanocjevčica	Šuplji nanoštapić s promjerom na nanoskali.
Nanovlakno	Vlakno s promjerom na nanoskali. Međutim, u skoro vrijeme nanovlakna se smatraju i ona s promjerima i do 1 mikrometar.
Nanokompozit	Multifazna nanostruktura s barem jednom od faza s dimenzijama na nanoskali.

SVJESNOST O POVEĆANJU TOKSIČNOSTI PRIJELAZOM S MAKRO/MIKRO NA NANO

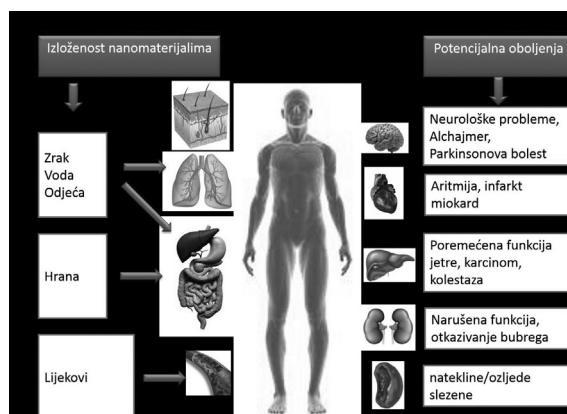
Iako su nanomaterijali umjetno pripremljeni, postoje i neki koji se pojavljuju u prirodi, npr. vulkanski pepeo i virusi. Nekih od njih dobivaju se i kao nusprodukti, npr. pri izgaranju dizela ili tijekom zavarivanja.

Zašto “nano”? Ono što nanomaterijale čini jedinstvenim je njihovo različito ponašanje u usporedbi s makromaterijalima istog sastava. Ove razlike proizlaze iz promjene fizikalnih i kemijskih svojstava zbog reduciranja veličine (od makro/mikro na nano), iz čega i proizlazi njihova jedinstvena primjena (*Sellers i sur., 2009.*). Npr. materijali koji su apsolutni izolatori ili koji su netopljivi na makroskali postaju vodljivi i toplji-

vi na nanoskali. Čestice titanij dioksida postaju bezbojne na nanoskali (oko 50 nm), za razliku od njihove bijele boje na makroskali (*Warheit, 2008.*).

Uz jedinstvena svojstva nanomaterijali imaju i onu drugu stranu, tj. svojstva koja mogu negativno utjecati na ljudsko zdravlje (slika 1). Kritična svojstva koja imaju potencijalnu toksičnost proizlaze iz njihove: veličine, forme, površine, točke paljenja, točke samopaljenja, razine aglomeracije i površinskog naboja.

Zbog svoje veličine nanomaterijali završavaju u zraku i vodi, a time i vrlo lako mogu izvršiti u ljudskom tijelu. Naknadno njihov oblik uzrokuje aglomeracije (nakupine) ili inducirane reakcije, te naposljetku dopijevaju u ljudsko tijelo. Njihova reaktivnost povećava njihovo gorjenje zbog povećane površine koja se povećava sa smanjenjem veličine. Formirane nakupine rezultiraju povećanjem topljivosti, formiranjem suspenzija te naposljetku adsorpcijom u vodi, što je pak prouzročeno elektrostatičkim odbijanjem zbog električki nabijene površine (*Sellers et al., 2009.*).



Slika 1. Utjecaj nanomaterijala na ljudsko zdravlje
Figure 1. Impact on human health after exposure to nanomaterials

Naknadno će površinska funkcionalizacija, razina nanosa, topljivost, površinska reaktivnost, vezivanje s biološkim komponentama ili receptorima, također, pridonijeti povećanju toksičnosti. U slučaju nanovlakana, njihov omjer (duljine i promjera) također je jedan od utjecajnih faktora.

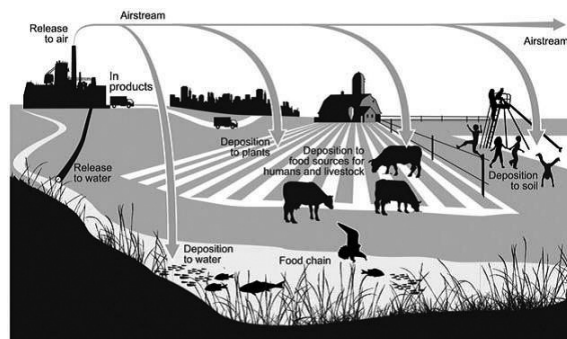
Npr. kod azbestnih vlakana povećanjem omjera raste i razina toksičnosti (*Warheit, 2008.*). Postoje kritične dimenzije kod kojih nanomaterijali dobivaju nova svojstva. Npr. u slučaju metala i metalnih oksida kritična dimezija je između 20-30 nm, što rezultira povećanim brojem površinskih atoma (*Yokel i sur., 2011., Auffan i sur., 2009.*).

MNOŠTVO MOGUĆNOSTI I MNOŠTVO NEPOZNANICA

Svojstva nanomaterijala koja su ovisna o njihovim dimenzijama omogućavaju njihovu primjenu u mnogim komercijalnim i tehnološkim područjima. Njihova primjena je u kemiji, biomedicini, energiji, elektronici, kozmetici, odjeći, hrani i industriji letjelica (*Linkov i sur., 2008.*). Danas već postoji mnoštvo proizvoda na tržištu uključujući: kreme za zaštitu od sunca, madraci, sportska oprema (npr. teniski reketi i lopte za kuglanje), ulje za kuhanje, žvakaće gume, filtri za cigarete, tekstil koji ne apsorbira mrlje, razni proizvodi za čišćenje i sl. (*Hoyt i sur., 2008.*).

Nakon proizvodnje postoji mnoštvo načina da ovi proizvodi završe u okolini, pa tako i u ljudskom tijelu (slika 2); (*Shatkin, 2008.*). Najkritičniji načini su dakako izloženost tijekom proizvodnje, transporta, odlaganja i primjene. Najveća zabrinutost je nedovoljno razumijevanje njihovog utjecaja. Cilj je iskoristiti sve njihove koristi, ali bez izlaganja rizicima. Nekonvencionalna primjena nanomaterijala su npr. materijali koji su lagani, a istovremeno imaju veliku čvrstoću, materijali za prijenos lijekova za ciljane terapije stanica, membrane za filtraciju vode, filmovi za spremanje energije i sl. (*Linkov i sur., 2008.*). Najčešće upotrebljavani nanomaterijali su ugljične nanocjevčice, silikon, razni metali i metalni oksidi. Proizvodi koji u sebi mogu sadržavati ugljične nanocjevčice su: baterije, superkondenzatori, fotoćelije i sl. Proizvodi koji u sebi sadrže fini ugljični prah su: autogume, koža, antistatički tekstil i sl. Mikroelektronika, proizvodi za solarnu energiju, biosenzori i ostali biotehnoški proizvodi u sebi sadrže silikone i njihove

okside. Metalni oksidi poput: TiO_2 , ZnO i CeO_2 , upotrebljavaju se u proizvodima za zaštitu od sunca, proizvodima za osobnu higijenu, procesima katalize, sensorima kisika, prehrambenim dodacima i sl. (*Stebounova i sur., 2012.*).



Slika 2. Načini izlaganja čovjeka i okoline nanomaterijalima

Figure 2. Ways of human and environment exposure to nanomaterials

Populacija koja je najčešće izložena nanomaterijalima su ljudi koji rade u istraživanju, proizvodnji nanomaterijala, a oni dalje mogu biti „prenositelji“ u obitelji ili kupci tih proizvoda (*Hoyt, 2008.*). Postoji nekoliko puteva za dospijevanje nanomaterijala u ljudsko tijelo, i to: disanjem, preko kože ili oralnim putem.

Disanjem - ovo je najjednostavniji i najčešći način ulaska nanomaterijala (npr. nanočestice) i translociranje u unutarnjim organima. Nakon udisanja, prenose se u pluća, što kasnije može rezultirati i bolestima centralnog živčanog sustava, jetre, srca i krvnih žila. Mnoga istraživanja potvrdila su upalu pluća, genotoksičnost i kancerogene posljedice nakon izlaganja nanomaterijalima disanjem (*IRSSST Report, 2006., Savolainen i sur., 2010.*).

Preko kože - zbog biološki kompleksne strukture kože, prijenos nanomaterijala u ljudsko tijelo ovim putem nije u cijelosti razjašnjen. Ovisno o koncentraciji nanomaterijala, brzina penetracije ili apsorpcije varira. Kako bi nanomaterijali imali utjecaj na donjim slojevima stanica, moraju penetrirati u krajnjem sloju epidermisa (*stratum corneum*).

Oralnim putem - ovo je sekundaran način dospijevanja nanomaterijala u ljudsko tijelo. Nakon toga nanomaterijali se prenose do respiratornog sustava, pluća i gastrointestinalnog trakta. Ovisno o njihovoj površini, sljedeća faza je prijenos u krvne žile i ostala tkiva (*Linkov i sur., 2008.*).

Postoje istraživanja koja govore i o dospijevanju nanomaterijala u ljudski organizam preko oči, nakon čega se prenose u sustav za disanje i u mozak (*Auffan i sur., 2009.*).

Nanomaterijali mogu penetrirati preko pluća i crijeva u vitalne organe ili dublje u koži, do dermisa, a sve ovisi o njihovim dimenzijama, kao i mjestu kontakta. Njihova daljnja distribucija nadalje ovisi o površinskim svojstvima (*Hoet i sur., 2004.*).

NANOBUDUĆNOST JE OVDJE

Nanotehnologija već je dio ljudskog života, pa sve što se smatralo da će doći u budućnosti je zapravo već ovdje (*Kosk-Bienko, 2013.*). Počevši od istraživanja, pa sve do komercijalizacije, nanomaterijali su jako atraktivni zbog jedinstvenih svojstava u odnosu na njihove makromaterijale. Npr. fulereni se mogu obraditi ovisno o primjeni, a na temelju kemijskih, mehaničkih, električnih, optičkih i bioloških svojstava. Nažalost, ovi materijali stvaraju zabrinutost u odnosu na okolinu i ljudsko zdravlje. Najveća zabrinutost je nedovoljna pouzdanost istraživanja njihovih negativnih efekata (*Wiesner i sur., 2007.*).

S druge strane postoji udaljenost od otprilike jednog desetljeća između saznanja o nanotehnologiji, njezinim efektima na okolinu i ljudsko zdravlje, i alatima potrebnim za evaluaciju rizika od tih efekata (*Savolainen i sur., 2010.*). Evaluacijski alati ne smiju biti konvencionalni. Jako je bitno dodatno poznavanje nanotehnologije s etičkog, pravnog i sociološkog aspekta, iako granice za dostizanje adekvatne razine i dalje mogu postojati (*Delgado, 2010.*).

LITERATURA

Auffan, M. et al.: Towards a definition of inorganic nanoparticles from an environmental, health and safety perspective, *Nature nanotechnology*, 4, 2009., pp. 634-641.

Booker, R., Boysen, E.: *Nanotechnology for dummies*. Wiley Publishing, Inc., Indianapolis, Indiana, 2005.

BSI PAS 136: *Terminology for nanomaterials*, 2007., www.bsigroup.com/nano.

Delgado, G.C.: Economics and governance of nanomaterials: potential and risks, *Technology in Society*, 32 2010., 2, pp. 1-8.

Approaches to safe nanotechnology. Department of health and human services. DHHS (NIOSH) Publication No. 2009-125. March, Cincinnati, Ohio, 2009.

Hett, A.: *Nanotechnology, Small matter, many unknowns*. Swiss Re, Zurich, 2004.

Hoet, P.H.M., Brüske-Hohlfeld, I., Salata, O.V.: Nanoparticles – known and unknown health risks. *Journal of Nanobiotechnology*, 2, 2004., 12.

Hoyt, V.W., Mason, E.: Nanotechnology Emerging health issues, *Journal of Chemical Health & Safety*, March/April (2008).

IRSSST Report R-451- Health effects of nanoparticles, 1, 2006.

Kosk-Bienko, J. (ed.): *Workplace exposure to nanoparticles*, European Agency for Safety and Health at Work (EU-OSHA), 2013., Spain.

Linkov, I., Steevens, J. (ed.): *Nanomaterials: Risks and Benefits*. Springer, The Netherlands, 2008.

Luther, W., Zweck, A. (ed.): *Safety aspects of engineered nanomaterials*, Boca Raton, FL: Pan Stanford, 2013.

Pradeep, T.: *Nano the Essentials: Understanding Nanoscience and Nanotechnology*. Tata

McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi, 2007.

Savolainen, K. et al.: Nanotechnologies, engineered nanomaterials and occupational health and safety – A review, *Safety Science*, 48, 2010., 8, pp. 957-963.

Sellers, K. et al.: *Nanotechnology and the environment*. Taylor & Francis Group, LLC, 2009.

Shatkin, J. A.: *Nanotechnology, health and environmental risks*, CRC press, Taylor & Francis Group, USA, 2008.

Stebounova, L.V. et al.: Health and safety implication of occupational exposure to enginee-

red nanomaterials, *Advanced review*, 4, 2012., May/June.

Warheit, D. B.: How Meaningful are the results of nanotoxicity, Studies in the absence of adequate material characterization? *Toxicological Sciences*, 101, 2008., 2, pp. 183-185.

Wiesner, M.R. & Bottero, J-Y.: *Environmental nanotechnology*. McGraw Hill Companies, 2007.

Yokel, R.A., MacPhail, R.C.: Engineered nanomaterials: exposures, hazards, and risk prevention, *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, 6, 2011., 7.

NANO – NUMEROUS BENEFITS AND RISKS

SUMMARY: Nanotechnology and nanomaterials have become the “in” topics among researchers in the last few decades. The reason for nanotechnology’s attractiveness is in the new opportunities that the technology offers. The paper gives a short overview of the emergence of nanotechnology, its basic terminology with focus on the types of nanomaterials, their unique properties and possibilities of application. The benefits of this booming field are evident in many areas including information and communication technology, energy storage, environmental engineering, chemical industry, food industry, medicine, pharmaceutical industry and cosmetics. On the other hand, the unique properties of nanomaterials which make them so attractive are also the cause of major concerns because of their potential harmfulness to human health and the environment. Nanomaterials easily enter the environment during production processes or in waste disposal, and affect the human body through occupational exposure and use of different products. Probably the biggest concerns of toxicologists at this point are the potentially harmful impacts of nanomaterials which are still insufficiently understood.

Key words: *nanotechnology, nanomaterials, human health, risks, benefits*

*Subject review
Received: 2015-02-26
Accepted: 2015-05-18*