

Marica IVANKOVIĆ

Sveučilište u Zagrebu

Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb

Nanomaterijali i nanoproizvodi – mogućnosti i rizici

UDK 66.01:57

Pregledni rad / Review paper

Primitljeno / Received: 1. 2. 2011.

Prihvaćeno / Accepted: 18. 4. 2011.

Sažetak

Nanostrukturirani materijali vrlo su živo područje istraživanja u svijetu, prije svega zahvaljujući svojim jedinstvenim svojstvima. Uz golem tržišni potencijal oni donose i nove rizike. Činjenica je da postoji opća zabrinutost zbog negativnog utjecaja nanočestica na ljudsko zdravlje i okoliš. Posljednjih godina raste broj istraživanja vezanih za štetne učinke nanomaterijala na žive organizme. U ovom radu dan je kratak pregled literaturnih nalaza.

KLJUČNE RIJEČI:

nanočestice
nanomaterijali
nanotehnika
rizik
toksičnost

KEY WORDS:

nanomaterials
nanoparticles
nanotechnology
risk
toxicity

Nanomaterials and Nanoproducts - Possibilities and Risks

Summary

Research and development in the area of new nanomaterials is advancing rapidly. Due to the chance of obtaining unique physicochemical properties nanomaterials are seen as having an enormous economic potential. However, there are unanswered questions about the impacts of nanoparticles and nanoproducts on human health and the environment. Due to concerns over nanomaterial risks, there has been an increase in safety research. The present paper provides a short summary of the published findings.

Uvod / Introduction

Bilo kuda, *nano* svuda! Posljednjih nekoliko godina prefiks *nano* pokazao se presudnim za niz pozitivnih i negativnih uporaba proizvoda koji sadržavaju nanočestice. Da *nanotrend* poprima *megaproporcije*, svjedoče patentni uredi zasuti nanotehničkim rješenjima, brojni nano-simpoziji i konferencije diljem svijeta te znanstveni časopisi koji su preplavljeni člancima o nano-otkrivenjima. Savjetnici za nano-investicije kompiliraju burzovne indekse i predviđaju enorman rast vrijednosti dionica, nano-eksperti obećavaju novi (bolji?) svijet i ispunjenje mnogih snova u medicini,

zaštiti okoliša, informacijsko-komunikacijskim tehnikama i na mnogim drugim područjima.

Prema procjeni američke *National Nanotechnology Initiative*, u svijetu je u 2005. u nanotehniku uloženo 9 milijardi dolara. Između 1998. i 2003. javna ulaganja u Europi su povećana šest puta, a u Americi i Japanu osam puta. Svjetsko tržište tog područja, koje je u 2009. iznosilo 11,7 milijardi dolara, 2015. bi trebalo dosegnuti 26 milijardi dolara.¹

Prefiks *nano* znači faktor 10^{-9} i može se primijeniti na vrijeme (nanosekunde), volumen (nanolitar), masu (nanogram) ili duljinu (nanometar). U popularnoj uporabi *nano* se odnosi na duljinu², a nanoskala u pravilu podrazumijeva duljinu od atomske razine (oko 0,1 nm) do 100 nm. Nanostrukture ili nanomaterijali oblici su materije na nanoskali, odnosno oni materijali koji sadržavaju čestice kojima je barem jedna dimenzija u navedenom nanopodručju. Pri opisivanju nanostrukture potrebno ih je razlikovati po broju dimenzija na nanoskali. Nanostrukturirane površine su jednodimenzijske na nanoskali, tj. samo debljina površine objekta je između 0,1 i 100 nm. Nanocjevčice su dvodimenzijske na nanoskali, tj. promjer cjevčice je između 0,1 i 100 nm, dok njihova duljina može biti mnogo veća. Kuglaste nanočestice su trodimenzijske na nanoskali, tj. svaka prostorna dimenzija je između 0,1 i 100 nm. Kao sinonim za nanočestice često se rabi i pojam ultrafine čestice iako one mogu dosegnuti i mikrometerske veličine. Promjer koloidnih čestica u rasponu je od 1 do 1 000 nm.

Pojam nanotehnike podrazumijeva kreiranje funkcionalnih materijala, uređaja i sustava kontroliranjem oblika i veličina na nanometarskoj razini te pojavu novih svojstava i fenomena dobivenih na toj razini. Područje nanotehnike može se podijeliti na tri dijela. Prvo skupini pripadaju *nanomaterijali*. To su jednokomponentni ili višekomponentni materijali kod kojih je barem jedna dimenzija komponente u rasponu između 0,1 i 100 nm. Toj skupini pripadaju nanočestice, nanovlakna i nanocjevčice, nanokompoziti i nanostrukturirane površine. Drugu skupinu čine *nanoolati*. To su alati i tehnike za sintezu nanomaterijala, manipuliranje atomima i proizvodnju struktura za uređaje te za mjerenja i karakterizaciju materijala i uređaja na nanoskali. Treći dio pripada *nanouređajima*. To su naprave na nanoskali važne u mikroelektronici i optoelektronici. Posebnu pozornost u novije vrijeme pobuđuju *stanični motori*, koji bi trebali oponašati rad bioloških sustava³.

Proizvodnja i primjena nanomaterijala / Production and application of nanomaterials

Pojedini nanomaterijali proizvode se već niz godina. Čestice čađe, koje su nanometarskih veličina i rabe se u gumenim pneumaticima, proizvode se više od stoljeća. SiO₂ i ostali oksidi (Ti-, Al-, Zr-) proizvode se kao nanomaterijali više od pola stoljeća i rabe kao tikotropni agensi u pigmentima i kozmetici. U novijim primjenama dolaze u prašcima za poliranje u industriji mikroelektronike.

Proizvodnja novih nanomaterijala za niz različitih namjena često je na laboratorijskoj razini (manje od 10 kg po danu). Primjer su magnetni materijali za električne motore i generatore, pohranu podataka, elektrodni

materijali za gorivne ćelije te materijali s novim površinskim svojstvima za boje, prevlake, samočišćeće prozore, tekstil postojećih boja i sl.

Veličina površina i međupovršina ključna je u nanomaterijalima. Smanjenjem veličine čestica raste omjer između broja atoma na površini i onih u masi (volumenu) pa nanočestice mogu biti mnogo reaktivnije i djelotvornije kao npr. katalizatori ili kao punila/ojačavala u kompozitnim materijalima.

Istraživanja keramike, metala, koloida i polimera oduvijek su, zapravo, uključivala i nanorazinu pa se očekuje da će nanotehnika kao tehnička disciplina u tim područjima najranije imati (ili već ima) komercijalni učinak.

Nanokeramički prašci uske raspodjele veličine čestica i visoke čistoće omogućuju dobivanje uređenih struktura i uniformnih poredaka, sinteriranje pri nižim temperaturama i proizvodnju dobro kontroliranih proizvoda za mikroelektroniku, magnetnu pohranu podataka, različite kemijske primjene.

Polimerni nanokompoziti radikalna su alternativa klasičnim kompozitima. Zahvaljujući disperziji punila na nanorazini, oni pokazuju znatno bolja svojstva u usporedbi s čistim polimerom ili klasičnim kompozitom (povišeni moduli i čvrstoća, smanjena propusnost za plinove, poboljšana postojanost na otapala, toplinska postojanost, smanjena zapaljivost, električna i optička aktivnost i dr.). O polimernim nanokompozitima može se saznati više u preglednom radu autorice.⁴

Primjenom nanomaterijala pri detekciji zagađivala u okolišu i njihovu uklanjanju te u projektiranju *čišćih* industrijskih procesa može se i poboljšati stanje u okolišu.

Procjena globalne proizvodnje različitih nanomaterijala i naprava dana je u tablici 1.⁵

Pretpostavlja se da će se tijekom sljedećih pet godina bitan komercijalni učinak osjetiti na tržištu *inkjeta*, nanočestica za kozmetiku te za potrebe u automobilske industriji (pokrovi motora, katalizatori, baterije, čipovi). U sljedećih 10 godina očekuje se komercijalizacija naprava za pohranu podataka, biosenzora za dijagnostiku. Vremenska skala za zrakoplovno-svemirsku tehniku i bionanotehniku je najdulja (više od 15 godina).

Nema sumnje da nanomaterijali i nanoprodukti imaju golem tržišni potencijal. No svaka nova tehnika, proces ili materijal donosi i nove rizike. Uvođenje novih materijala u industriju i njihovu primjenu zahtijeva procjenu sigurnosti i razumijevanje utjecaja nanomaterijala na okoliš i ljudsko zdravlje.

Utjecaj nanočestica na zdravlje živih organizama i okoliš Impact of nanoparticles on living organisms and the environment

Prema nekim procjenama, čovjek hranom koja sadržava različite aditive u prosjeku dnevno konzumira 10^{12} čestica submikronskih veličina (primarno TiO_2 i aluminosilikati)⁶, dok razina nanočestica u zraku u vrlo prometnim područjima može biti u rasponu od 5 000 do čak 3 000 000 čestica/cm³¹⁷

Svojstva koja čine nanočestice jedinstvenima i koja trenutačno pobuđuju veliko zanimanje u industrijskoj i biomedicinskoj primjeni izazivaju u isto vrijeme i zabrinutost glede sigurnosti. Nanočestice su zbog velike površine vrlo reaktivne i mogu pokazivati jedinstvenu bioraspodjelu određenu veličinom (npr. deponiranje u plućima) ili međudjelovanje s bjelančevinama. Svojstva nanočestica koja treba uzeti u obzir pri procjeni opasnosti su veličina, oblik, aglomeracijsko stanje, topljivost, površinska svojstva (veličina površine, naboj).⁸

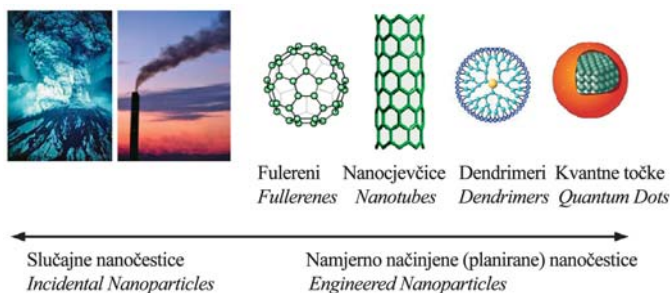
Pri razmatranju utjecaja nanotehnike na zdravlje živih organizama i okoliš razlikuju se dvije vrste nanostrukture. Prvoj skupini pripadaju nanokompoziti, nanostrukturirane površine i nanokomponente (elektroničke, optičke, senzori), u kojima su nanočestice uključene u materijal ili uređaj (*fiksne* nanočestice). Drugoj skupini pripadaju *slobodne* nanočestice, koje su prisutne u pojedinim fazama proizvodnje ili uporabe kao individualne nanočestice. Može se reći da među znanstvenicima postoji konsenzus o tome da najveći problem predstavljaju izolirane, slobodne čestice, što ne znači da ne treba biti oprezan i s proizvodima u kojima su integrirane nanočestice.

Prema podrijetlu, odnosno nastanku, nanočestice se mogu podijeliti u dvije skupine: namjerno načinjene (tehničke, planirane, *krojene*) nanočestice i *slučajne* (uzgredne, nenamjerno načinjene) nanočestice (slika 1)⁹. Tehničke nanočestice (kvantne točke, dendrimeri) stvorene su radi iskorištavanja svojstava inherentnih nanorazini (vodljivost, spektralna svojstva, bioraspodjela...). Trenutačno na tržištu postoje brojni proizvodi koji deklariraju sadržaj određene nanokomponente. Nenamjerno načinjene nanočestice mogu potjecati od antropogenih izvora (izgaranjem goriva) ili iz prirodnih izvora (npr. čestice nastale tijekom šumskih požara, erupcije vulkana i sl.). Neke čestice poput fullerena ili ugljikovih nanocjevčica mogu pripadati i jednoj i drugoj skupini.⁹

TABLICA 1 – Procjena globalne proizvodnje različitih nanomaterijala i naprava⁵

TABLE 1 – Estimated global production rates for various nanomaterials and devices⁵

Primjena <i>Application</i>	Nanomaterijal/uređaj <i>Nanomaterial/device</i>	t/god. <i>tonnes/year</i>	t/god. <i>tonnes/year</i>	t/god. <i>tonnes/year</i>
		2003. – 2004.	2005. – 2010.	2011. – 2020.
Strukturalne primjene	Keramika, katalizatori, kompoziti, prevlake, tanki filmovi, prašci, metali	10	10^3	$10^4 - 10^5$
Zaštita kože	Metalni oksidi (npr. TiO_2 , ZnO)	10^3	10^3	10^3 ili manje
Informacijske i komunikacijske tehnike	Jednostjenčane ugljikove nanocjevčice, nanoelektronički i optoelektronički materijali, organski svjetlosni emiteri	10	10^2	10^3 ili više
Biotehnika	Nanoinkapsulati, ciljano doziranje lijekova, dijagnostički markeri, biosenzori	< 1	1	10
Zaštita okoliša	Nanofiltracija, membrane	10	10^2	$10^3 - 10^4$



SLIKA 1 – Primjeri slučajnih i namjerno načinjenih nanočestica⁹
 FIGURE 1 – Examples of incidental and engineered nanoparticles⁹

Toksikologija čestica, nanotoksikologija, obuhvaća istraživanja djelovanja ultrafinih čestica i mineralnih vlakana nanometarskih veličina (npr. azbest) na ljudsko zdravlje. Istraživanja mogu biti epidemiološka ili eksperimentalna na životinjama. Nanočestice mogu ući u tijelo udisanjem, gutanjem, preko kože i parenteralno (u biomedicinskim primjenama). Do izloženosti nanočesticama može doći tijekom njihova razvoja, proizvodnje, uporabe i odlaganja. Prvo predavanje o rizicima i toksičnosti nanočestica održano je u Hrvatskoj još 2002.¹⁰ O istoj je tematici već pisano i u časopisu *Polimeri*.¹¹⁻¹³ Ovdje će biti dan kratak pregled literaturnih nalaza vezanih za štetne učinke nanomaterijala na žive organizme.

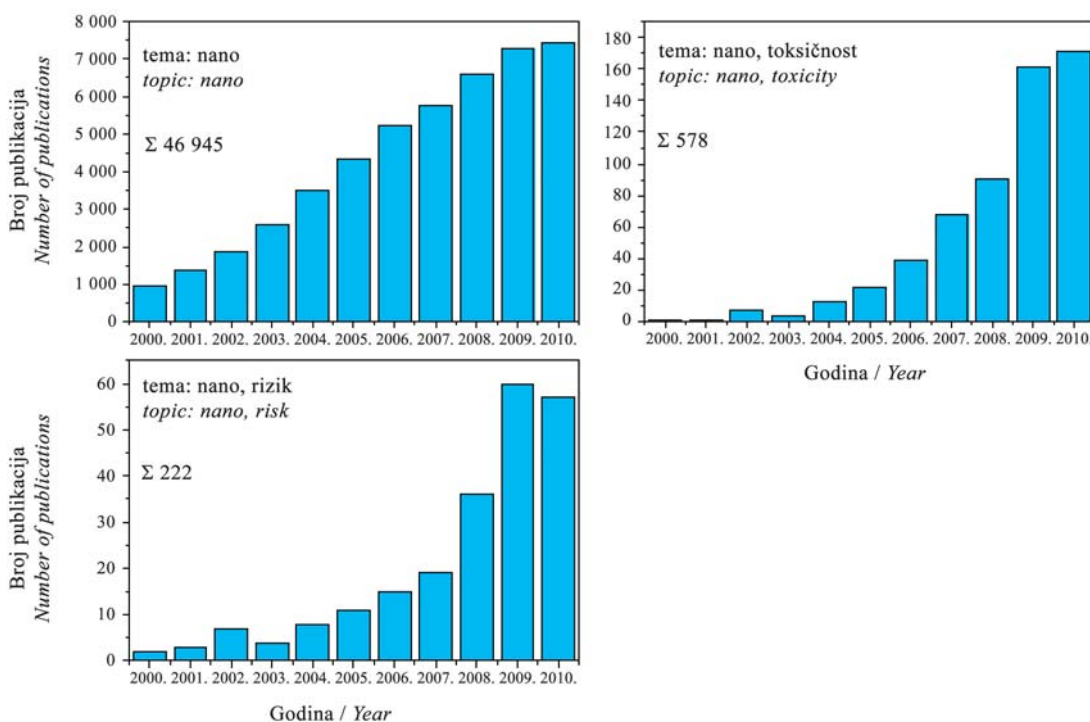
Epidemiološka i toksikološka istraživanja – problemi i dvojbe / Epidemiological and toxicological studies – problems and doubts

Posljednjih godina raste broj istraživanja vezanih za štetne učinke nanomaterijala na žive organizme. Na slici 2 prikazan je broj *nano*-publikacija dobiven pretraživanjem baze *ISI Web of Knowledge* za teme (ključne riječi): *nano*; *nano*, *toksičnost* i *nano*, *rizik*.

Podaci o nanorizicima dolaze uglavnom iz epidemioloških istraživanja incidentnih nanočestica. Broj eksperimentalnih istraživanja utjecaja namjerno i nenamjerno proizvedenih nanočestica na životinjama ili *in vitro* vrlo je ograničen. Epidemiološka istraživanja podupiru povezanost između čestica kao zagađivala zraka i bolesti pluća, kardiovaskularnoga i središnjega živčanog sustava. Treba, međutim, naglasiti da u epidemiološkim studijama nikad nije mjereno udio isključivo čestica nanometarskih veličina, pa zbog toga nije bilo moguće odvojiti učinak nanočestica od učinka većih čestica na zdravlje.

Kod toksikoloških istraživanja važno je naznačiti sve eksperimentalne uvjete koji mogu utjecati na interpretaciju rezultata (npr. uporaba dispergenata/površinski aktivnih tvari radi održavanja nanorazine i povećanja topljivosti). U jednom istraživanju¹⁴ npr. povezivani su fulereni s izazivanjem oksidacijskog stresa u mozgu riba. Kasnija istraživanja^{15,16} pokazala su da se glavina oksidacijskog stresa može pripisati preostalom otapalu tetrahidrofuranu. U mnogo slučajeva toksičnost povezivana s nanočesticama pripisana je zagađivalima koja su se adsorbirala tijekom dobivanja ili transporta. Budući da konstrukcijski nanomaterijali nastaju kontroliranim procesom proizvodnje, eventualno prisutna toksična zagađivala mogu se ukloniti iz gotovog proizvoda. Npr. nepročišćene, željezom bogate CNT pokazale su veću sposobnost izazivanja oksidacijskog stresa u makrofagima u usporedbi s pročišćenim CNT sa smanjenim sadržajem željeza.¹⁷ Pokazalo se i da površinske prevlake mogu bitno utjecati na toksičnost nanočestica. Npr. kvantne točke prevučene polietilen-glikolom pokazale su se netoksičnima, dok su one s aminskom ili karboksilnom površinom bile citotoksične.¹⁸

Nanočestice nisu nužno toksičnije od većih čestica istog materijala. Usađivanje čestica TiO₂ različitih veličina i oblika rezultiralo je, nakon 24-satnog izlaganja, jednako jakim upalama pluća i oštećenjima tkiva.¹⁹ U većini istraživanja plućne toksičnosti kod životinja primijenjeno je intratrahealno usađivanje. Ono ne mora biti odgovarajući model u procjeni toksičnosti za čovjeka. Nadalje, upotrijebljene doze u studijama plućne



SLIKA 2 – Broj publikacija za navedene teme (ključne riječi) dobiven pretraživanjem baze *Web of Science*²⁰
 FIGURE 2 – Number of publications for indicated topics (key words) extracted from *Web of Science*²⁰

toksičnosti bile su vrlo visoke. Obično se takvi uvjeti opisuju pojmom *preopterećenje pluća*. Takvi uvjeti kod štakora, ali ne i kod miševa i hrčaka, izazivaju upalu pluća i fibrozu te nastanak tumora.

Kronična inhalacija TiO_2 čestica mikrometarskih veličina rezultirala je kod štakora tumorima na plućima²⁰. Epidemiološka istraživanja stope smrtnosti radnika u proizvodnji TiO_2 nisu pokazala povećan rizik za rak pluća ili bilo koji drugi uzrok smrti²¹.

Toksičnost nanovlakana / Toxicity of nanofibers

Zbog ozloglašenosti azbestnih mineralnih vlakana koja uzrokuju teške bolesti pluća (fibroza, rak) postoji zabrinutost da bi i nova, konstrukcijska nanovlakna mogla imati sličan učinak. Posebnu pozornost pritom su pobudile ugljikove nanocjevčice. Prema klasičnoj toksikologiji vlakana, za predviđanje plućne toksičnosti vlakana važna je bioperzistencija i duljina vlakana. Alveolarni makrofagi ne mogu lako ukloniti dugačka vlakna pa ona dulje ostaju u plućima te mogu izazvati upalu pluća. Eksperimentalna istraživanja na glodavcima pokazala su da CNT mogu izazvati upalu pluća, fibrozu, pa čak i smrt²²⁻²⁵. U nekim istraživanjima, međutim, uzrok smrti pripisan je mehaničkom začepjenju dišnih putova zbog prevelikih primijenjenih doza. Treba nadalje istaknuti da su u pojedinim istraživanjima CNT dozirane nefiziološkom intratrahealnom inhalacijom ili faringealnom aspiracijom (usisavanjem) te da su barem djelomično bile u obliku agregiranih snopova koji se u normalnim uvjetima ne bi mogli udahnuti.

Prema nekim istraživanjima^{23,26} provedenima na životinjama, nanočestice čađe, za razliku od CNT, nisu se pokazale toksičnima. Bez obzira na potencijalnu opasnost od CNT da izazovu oboljenja pluća, preliminarnu procjenu rizika predviđaju malu izloženost inhalacijom.

Izloženost nanočesticama u zraku / Inhalation exposure to nanoparticles

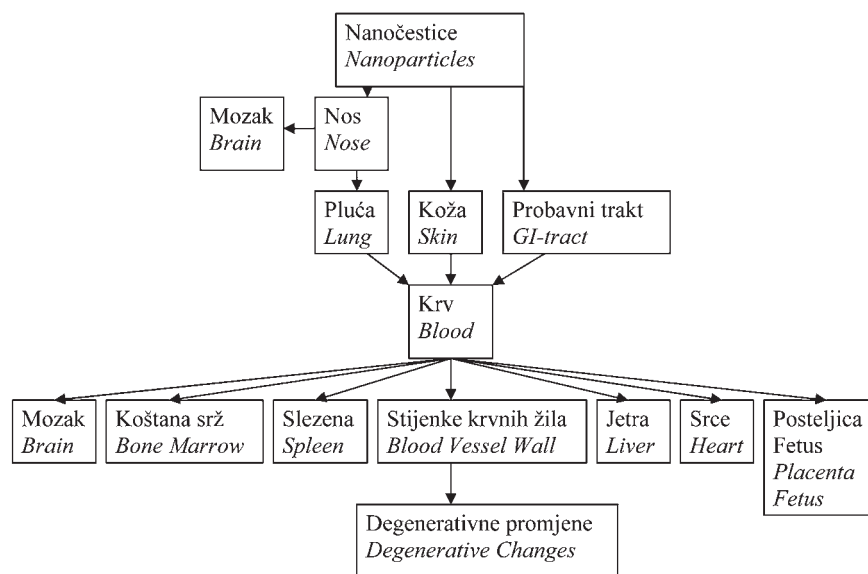
Vrlo malo istraživanja bavilo se profesionalnom izloženosti nanočesticama u zraku. Otegotni faktor u takvim istraživanjima je visoka razina *pozadinskih*, incidentalnih, nenamjerno proizvedenih nanočestica⁹. Tako je npr. u postrojenjima za obradu metala razina metalnih čestica u zraku bila manja od razine uzgrednih nanočestica u ispušnim plinovima iz peći.²⁷

Da bi izbjegli utjecaj slučajnih nanočestica, Maynard i sur.²⁸ provodili su istraživanja u zatvorenom sustavu. Našli su da je masena koncentracija ugljikovih nanocjevčica u simuliranom proizvodnom okruženju ispod $53 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Većina čestica sastojala se od aglomerata promjera većih od $1 \mu\text{m}$. Za usporedbu, razina incidentalnih čestica koje su ulazile u promatran prostor bio je $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Slični rezultati dobiveni su i u postrojenjima za proizvodnju čađe. Koncentracija čestica čađe nanometarskih veličina bila je nemjerljiva tijekom proizvodnje, ali su zapažene čestice mikrometarskih veličina. Nanočestice su potjecale od viličara i ispuštanja grijalice na plin. Mala razina izloženosti nanometarskim ugljikovim nanočesticama (CNT) i česticama čađe u zraku objašnjena je tendencijom nanočestica aglomeriranju i taloženju. To, međutim, ujedno može značiti veću izloženost preko kože ili oralnu izloženost (preko ruku ili stvari u usta).

Posebno zabrinjava kretanje inhaliranih nanočestica iz pluća prema krvotoku i drugim organima (slika 3)²⁹. Neka istraživanja³⁰ upućuju na to da CNT izazivaju agregaciju trombocita *in vitro* i povećavaju trombozu *in vivo*. Ipak, rezultati istraživanja translokacije nanočestica iz pluća u druge organe nisu jednoznačna; neki rezultati upućuju na translokaciju, a neki ne. Kreyling i sur.³¹ pokazali su da je manje od 1 % dane doze čestica iridija (80- i 15 nm) translociralo iz pluća štakora u jetra, slezenu, srce i mozak, s tim što je translokacija bila izraženija za čestice manjih veličina. U svojim istraživanjima Brown i sur.³² nisu opazili translokaciju ugljikovih nanočestica (60 nm) obilježenih tehnecijem 99m u druge organe. Na temelju dosad dostupnih podataka zaključuje se da dišni sustav predstavlja znatnu zapreku za sustavnu izloženost nekim nanočesticama.

Neuronska translokacija / Neuronal translocation

Sposobnost inhaliranih nanočestica da translociraju iz nazalnog epitela u centar za njih potvrđena je u nekoliko istraživanja na štakorima^{14,33}. Inhaliranje čestica manganova oksida (30 nm) ili ^{13}C (35 nm) rezultiralo je povišenjem razine Mn ili C u centru za njih. Neki istraživači, međutim, upozoravaju da povišena razina Mn može biti rezultat i disocijacije MnO_2 , odnosno transporta Mn-iona. Isto tako upitno je mogu li se rezultati dobiveni na štakorima koristiti (zbog fizioloških i anatomskih razlika) za procjenu izloženosti ljudi.



SLIKA 3 – Putovi ulaska nanočestica²⁹

FIGURE 3 – Uptake routes for nanoparticles²⁹

Važno je naglasiti da je neuronska translokacija preko nazalnih neurona potencijalna ruta nanočestica do središnjega živčanog sustava. Neka *in vitro* istraživanja³⁴ pokazala su da manganove nanočestice mogu štetno djelovati na živčane stanice (gubljenje aktivnosti, oksidacijski stres, dopaminska deplecija). Iako nakupljanje inhaliranih nanočestica u središnjem živčanom sustavu još nije dokazano kod ljudi, pretpostavlja se da je neuronska i cirkulacijska translokacija inhaliranih incidentnih nanočestica koje onečišćuju zrak uključena u etiologiju neurodegenerativnih bolesti središnjega živčanog sustava. Za izravnu potvrdu tih pretpostavki potrebno su daljnja istraživanja.

Izloženost preko kože / Dermal exposure

Izloženost preko kože izaziva veliku pozornost zbog povećanog korištenja nanočestica za odjeću postojanih boja, u kozmetici, zaštitnim sredstvima pri sunčanju. Pritom treba još jedanput naglasiti tendenciju aglomeriranih čestica iz zraka da se talože na površinama te teškoće sprječavanja kontakta kože i istaloženih čestica. Prema nekim izvorima^{35,36}, ultrafine čestice TiO₂ (10 - 60 nm) iz zaštitnih sredstava za sunčanje ne prodiru dublje u kožu, već se talože u površinskom dijelu kože (stratum corneum). Ne zna se, međutim, koje su posljedice u slučaju oštećenja i bolesti kože.

Istraživanja s kvantnim točkama³⁷ pokazala su njihovo ograničeno prodiranje u kožu, manji dio prošao je kroz epidermu i akumulirao se u dermi. Prodiranje je ovisilo o veličini, obliku i površinskom naboju kvantnih točaka. Kuglaste čestice pokazale su veće prodiranje u usporedbi s većim elipsoidnim česticama. Ograničeno prodiranje kroz kožu zamijećeno je i za nanometarske čestice željeznog oksida i željeza (Baroli i sur.³⁸).

Iako još nema znanstvene potvrde, može se očekivati da će oštećena koža biti lošija barijera za određene nanočestice u usporedbi sa zdravom, neoštećenom kožom.

Izloženost preko probavnoga (gastrointestinalnog) sustava Gastrointestinal exposure

Podrijetlo nanočestica u probavnom sustavu može biti kontaminirana hrana i voda, gutanje inhaliranih čestica ili prijenos čestica s ruku u usta. Dosad provedena istraživanja^{31,39} većinom upućuju na malu oralnu apsorpciju nanočestica (¹⁴C-radio obilježenih fullerena i ¹⁹²Ir nanočestica na štakorima). Raspoloživi podaci sugeriraju da apsorpcija nanočestica iz probavnog sustava ovisi o veličini i površinskim obilježjima. Manje, hidrofobne i neutralne čestice pokazuju povećanu apsorpciju, pretežno u limfnom sustavu.

Sigurno rukovanje nanomaterijalima i nanoproizvodima / Safe handling of nanomaterials and nanoproducts

Kako rizik za ljudsko zdravlje i okoliš smanjiti na najmanju moguću mjeru? Znanstvenici savjetuju da se sve dok ne postoji više podataka o rizicima uporabe pojedinih nanomaterijala i nanoproizvoda, njima rukuje kao opasnim i štetnim tvarima (iako se u budućnosti mogu pokazati bezopasnim). U najnovijoj literaturi⁴⁰ navode se i smjernice za sigurno rukovanje, uporabu i odlaganje nanočestica. Smjernice se zasnivaju na postojećim propisima o radu s opasnim tvarima, što podrazumijeva održavanje dobre profesionalne higijene (dobra ventilacija, zatvorene reakcijske posude i spremišta, zaštitna obuća i odjeća) te niz administrativnih mjera (skraćanje radnog vremena, zabrana odlaganja i konzumiranja hrane u radnom prostoru, čišćenje prostorija usisavačima opremljenima visoko učinkovitim filtrima i dr.).

Zaključak / Conclusion

Nanomaterijali i nanoproizvodi uz golem tržišni potencijal donose i nove rizike pa njihova proizvodnja i primjena zahtijevaju procjenu sigurnosti i razumijevanje utjecaja na okoliš i ljudsko zdravlje. Iako broj

istraživanja vezanih za štetne učinke nanomaterijala na žive organizme posljednjih godina raste, razumijevanje i preveniranje rizika još nemaju prioritet u kompetitivnom svijetu financiranja istraživanja. Umjesto podupiranja ekstremnih stajališta, jednih koji u nanomaterijalima ne vide nikakvu opasnost za zdravlje i drugih (katastrofičara) koji u nanotehnici vide golem rizik i traže prestanak razvojnih aktivnosti, treba nastaviti istraživanja utjecaja nanočestica na ljudsko zdravlje i okoliš. Zajednički cilj znanstvenika koji razvijaju nove materijale i toksikologa su zeleni nanomaterijali s kooptimiranim svojstvima, koji bi bili i funkcionalni i minimalno bi utjecali na zdravlje i okoliš. Sve dok ne postoji više podataka o rizicima uporabe pojedinih nanomaterijala i nanoproizvoda, njima treba oprezno rukovati.

Zahvala / Acknowledgement

Rad je proizašao iz znanstvenog projekta Biokeramički, polimerni i kompozitni nanostrukturirani materijali, provedenoga uz potporu Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa Republike Hrvatske. Autorica zahvaljuje Ministarstvu na potpori.

LITERATURA / REFERENCES

1. *Nanotechnology: A Realistic Market Assessment*, Report Code: NANO31D, BCC Research, July 2010.
2. *Nanotechnology Risks-The Real Issues*, nanoRISK (newsletter), 1(2006)1, 1-7.
3. Borm, P. J. A. et al.: *The potential risks of nanomaterials: a review carried out for ECETOC*, Particle and Fibre Toxicology, 3(2006), 1-35.
4. Ivanković, M.: *Polimerni nanokompoziti*, Polimeri, 28(2007)3, 156-167.
5. *Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties*, Royal Society and Royal Academy of Engineering, 2004.
6. Lomer, M. C. E., Thompson, R. P. H., Powell, J. J.: *Fine and ultrafine particles of the diet: influence on the mucosal immune response and association with Crohn's disease*, Proceedings of the Nutrition Society, 61(2002), 123-130.
7. Utell, M. J., Frampton, M. W.: *Acute health effects of ambient air pollution: The ultrafine particle hypothesis*, Journal of Aerosol Medicine, 13(2000), 355-359.
8. Warheit, D. B. et al.: *Health effects related to nanoparticle exposures: Environmental, health and safety considerations for assessing hazards and risks*, Pharmacology & Therapeutics, 120(2008)1, 35-42.
9. Stern, S. T., McNeil, S. E.: *Nanotechnology safety concerns revisited*, Toxicological Sciences, 101(2008)1, 4-21.
10. Čatić, I.: *Nanotehnika - poveznica dviju čovjekovih tehnika*, Zavod za molekularnu medicinu Instituta R. Bošković, 17. siječnja 2002.
11. Plavšić, F.: *Nanotoksikologija*, Polimeri, 29(2008)2, 96-98.
12. Haramina, T.: *Rizici uporabe nanočestica*, Polimeri, 29(2008)2, 115.
13. Grozdanov, A.: *Personal experience regarding nanoosis*, 29(2008)3, 161-163.
14. Oberdorster, E.: *Manufactured nanomaterials (Fullerenes, C-60) induce oxidative stress in the brain of juvenile largemouth bass*, Environmental Health Perspectives, 112(2004)10, 1058-1062.
15. Andrievsky, G., Klochkov, V., Derevyanchenko, L.: *Is the C-60 fullerene molecule toxic?!*, Fullerenes Nanotubes and Carbon Nanostructures, 13(2005)4, 363-376.
16. Zhu, S. Q., Oberdorster, E., Haasch, M. L.: *Toxicity of an engineered nanoparticle (fullerene, C-60) in two aquatic species, Daphnia and fathead minnow*, Marine Environmental Research, 62(2006), S5-S9.
17. Kagan, V. E. et al.: *Direct and indirect effects of single walled carbon nanotubes on RAW 264.7 macrophages: Role of iron*, Toxicology Letters, 165(2006)1, 88-100.
18. Ryman-Rasmussen, J. P., Riviere, J. E., Monteiro-Riviere, N. A.: *Surface coatings determine cytotoxicity and irritation potential of quantum dot nanoparticles in epidermal keratinocytes*, Journal of Investigative Dermatology, 127(2007)1, 143-153.
19. Warheit, D. B. et al.: *Pulmonary instillation studies with nanoscale TiO₂ rods and dots in rats: Toxicity is not dependent upon particle size and surface area*, Toxicological Sciences, 91(2006)1, 227-236.

20. Lee, K. P., Trochimowicz, H. J., Reinhardt, C. F.: *Pulmonary Response of Rats Exposed to Titanium-Dioxide (TiO₂) By Inhalation for 2 Years*, Toxicology and Applied Pharmacology, 79(1985)2, 179-192.
21. Boffetta, P. et al.: *Mortality among workers employed in the titanium dioxide production industry in Europe*, Cancer Causes & Control, 15(2004)7, 697-706.
22. Carrero-Sanchez, J. C. et al.: *Biocompatibility and toxicological studies of carbon nanotubes doped with nitrogen*, Nano Letters, 6(2006)8, 1609-1616.
23. Lam, C. W. et al.: *Pulmonary toxicity of single-wall carbon nanotubes in mice 7 and 90 days after intratracheal instillation*, Toxicological Sciences, 77(2004)1, 126-134.
24. Muller, J. et al.: *Respiratory toxicity of multi-wall carbon nanotubes*, Toxicology and Applied Pharmacology, 207(2005)3, 221-231.
25. Warheit, D. B. et al.: *Comparative pulmonary toxicity assessment of single-wall carbon nanotubes in rats*, Toxicological Sciences, 77(2004)1, 117-125.
26. Shvedova, A. A. et al.: *Unusual inflammatory and fibrogenic pulmonary responses to single-walled carbon nanotubes in mice*, American Journal of Physiology - Lung Cellular and Molecular Physiology, 289(2005), L698-L708.
27. Peters, T. M. et al.: *The mapping of fine and ultrafine particle concentrations in an engine machining and assembly facility*, Annals of Occupational Hygiene, 50(2006)3, 249-257.
28. Maynard, A. D. et al.: *Exposure to carbon nanotube material: Aerosol release during the handling of unrefined single-walled carbon nanotube material*, Journal of Toxicology and Environmental Health-Part A, 67(2004)1, 87-107.
29. Karlaganis, G.: *Nanoparticles and their potential threats to health*, UNITAR Nano Workshop at SAICM Regional Meeting, Lodz, 11. 12. 2009.
30. Radomski, A. et al.: *Nanoparticle-induced platelet aggregation and vascular thrombosis*, British Journal of Pharmacology, 146(2005)6, 882-893.
31. Kreyling, W. G. et al.: *Translocation of ultrafine insoluble iridium particles from lung epithelium to extrapulmonary organs is size dependent but very low*, Journal of Toxicology and Environmental Health-Part A, 65(2002)20, 1513-1530.
32. Brown, J. S., Zeman, K. L., Bennett, W. D.: *Ultrafine particle deposition and clearance in the healthy and obstructed lung*, American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, 166(2002)9, 1240-1247.
33. Elder, A. et al.: *Translocation of inhaled ultrafine manganese oxide particles to the central nervous system*, Environmental Health Perspectives, 114(2006)8, 1172-1178.
34. Hussain, S. M. et al.: *The interaction of manganese nanoparticles with PC-12 cells induces dopamine depletion*, Toxicological Sciences, 92(2006)2, 456-463.
35. Gamer, A. O., Leibold, E., Van Ravenzwaay, B.: *The in vitro absorption of microfine zinc oxide and titanium dioxide through porcine skin*, Toxicology in Vitro, 20(2006)3, 301-307.
36. Mavon, A. et al.: *In vitro percutaneous absorption and in vivo stratum corneum distribution of an organic and a mineral sunscreen*, Skin Pharmacology and Physiology, 20(2007)1, 10-20.
37. Ryman-Rasmussen, J. P., Riviere, J. E., Monteiro-Riviere, N. A.: *Penetration of intact skin by quantum dots with diverse physicochemical properties*, Toxicological Sciences, 91(2006)1, 159-165.
38. Baroli, B. et al.: *Penetration of metallic nanoparticles in human full-thickness skin*, Journal of Investigative Dermatology, 127(2007)7, 1701-1712.
39. Yamago, S. et al.: *In-Vivo Biological Behavior of a Water-Miscible Fullerene - C-14 Labeling, Absorption, Distribution, Excretion and Acute Toxicity*, Chemistry & Biology, 2(1995)6, 385-389.
40. Amoabediny, G. H. et al.: *Guidelines for safe handling, use and disposal of nanoparticles*, Journal of Physics: Conference Series, 170(2009)1, 1-12.

DOPIŠIVANJE / CONTACT

Prof. dr. sc. Marica Ivanković
Sveučilište u Zagrebu
Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije
Marulićev trg 19
HR-10001 Zagreb, Hrvatska / Croatia
E-pošta / E-mail: mivank@fkit.hr

Vijesti

Priredili: Igor ČATIĆ i Tvrтко VUKUŠIĆ

Ispuna za kabele, poboljšana upijanja vode

Proizvođač *GarnTec* razvio je kord, trgovačkog naziva *POWERCORD*, bubriv u vodi, sastavljen od sintetskih bubrivih niti, papira, bubrivog polimera i netkanoga tehničkog tekstila. Kord se komercijalno proizvodi u nevodljivoj i poluvodljivoj varijanti, vanjskog promjera od 8 do 30 mm, ugrađuje se kao bubriva ispuna u jezgri kabela i time sprječava uzdužno prodiranje vode u kabele.

www.garntec.de

Kabelske smjese za korejsko i europsko tržište

Unience, vodeći korejski proizvođač bezhalogenih, teškogorivih kabelskih smjesa (e. *halogen free flame retardant*, HFFR) nudi različite kabelske neumrežive i umrežive kabelske smjese za europsko tržište.

Za brodske kabele tvrtka *Unience* proizvodi HFFR kabelske olefinske smjese indeksa kisika

$LOI \leq 40$, s malom količinom dima pri gorenju, trgovačkog naziva *EXTIGEN Olefin*. Za svjetlovodne kabele i automobilske vodove proizvodi HFFR kabelske poliuretanske smjese indeksa kisika $LOI \leq 33$, naziva *EXTIGEN TPU*. Osim HFFR elastoplastomernih kabelskih smjesa na bazi SEBS/SEPS-a, naziva *EXTIGEN TPE*, za plašteve visokonaponskih kabela proizvodi i kabelske smjese naziva *HITIGEN* na osnovi polietilena srednje i polietilena visoke gustoće. *HITIGEN* smjese mogu sadržavati i posebne dodatke, koji povećavaju otpornost PE-MD i PE-HD plaštevskih smjesa na glodavce i termite. Za niskonaponske kabele proizvodi i umrežive izolacijske kabelske smjese, naziva *XL-Tigen*.

www.unience.co.kr

Lamborghini s kompozitnim dijelovima ojačanim ugljikovim vlaknima

Vrlo perspektivno područje razvoja osobnih vozila je pravljenje kompozitnih dijelova oja-

čanih ugljikovim vlaknima. Na sajmu u Parizu početkom listopada takvo je vozilo prikazala talijanska tvrtka *Lamborghini*, a razvila ga je zajedno s *Advanced Composites Research Center* (Bologna), *Advanced Composite Structure Laboratory* (Seattle) te u kooperaciji s *Washington University* i *Boeingom*. Automobil omogućuje jednostavniju vožnju, energijsku učinkovitost i niže opterećenje okoliša.



Lamborghini s kompozitnim dijelovima ojačanim ugljikovim vlaknima

Macplasonline