

**ZNANSTVENA PRILOGA
SCIENCE SUPPLEMENT**

UREDNIK/EDITOR:

**prim. prof. dr. Marjan Bilban,
dr. med.**

**Prim. prof. dr. Marjan Bilban,
dr. med., spec. MDPŠ**
ZVD Zavod za varstvo pri delu d. d.
Chengdujska cesta 25
1260 Ljubljana Polje
in
Katedra za javno zdravje, Medicinska
fakulteta Univerze v Ljubljani
Vrazov trg 2
1000 Ljubljana

Vsebina - Contents

NANODELCI

POVZETEK

Nanotehnologija je manipulacija snovi na atomski in molekularni ravni. Na splošno nanotehnologija uporablja materiale, naprave in druge objekte, ki imajo vsaj eno dimenzijo velikosti od 1 do 100 nanometrov. Večina aplikacij je omejena na uporabo t. i. prve generacije pasivnih nanomaterialov v kremah za zaščito pred soncem, kozmetiki, različnih površinskih premazih za pohištvo, tkaninah ipd. Ker je nanotehnologija področje, ki je še v zgodnjem razvoju, še vedno teče razprava o tem, kakšen bo obseg njene koristi za človeštvo in kakšen vpliv – pozitiven ali negativen – ima na zdravje. Izredno majhne velikosti delcev nanomaterialov spremlja znano dejstvo, da jih človeško telo hitreje privzame v notranje okolje kot velike delce. Nerazgradljivi ali počasi razgradljivi nanodelci preobremenjujejo fagocite, kar vodi do vnetja. Delci se lahko akumulirajo v tkivih in ovirajo normalno delovanje organov. Zdajšnje metodologije ocenjevanja tveganj niso primerne za ocenjevanje nevarnosti, povezanih z nanodelci. Prejeti odmerek mora biti namreč izražen kot količina nanodelcev in/ali njihova skupna površina, ne pa zgolj kot mejna masna vrednost, vnesena v telo posameznika. Z zelo raznolikimi možnimi aplikacijami, ki nižajo proizvodno ceno izdelkov, lajšajo delo in med drugim tudi omogočajo boljšo zdravstveno preventivo ter zdravljenje bolnih ljudi in živali, je nanotehnologija ključna tehnologija za prihodnost. Ocenjuje se, da je v svetu proizvajalcem izdelkov na voljo več kot 1500 različnih nanotehnoloških proizvodov ter da novi proizvodi prihajajo na trg s hitrostjo od 3 do 4 na teden.

Ključne besede: nanodelci, nanotehnologija, ocena tveganja, zdravstveni vplivi, zdravstvena preventiva

NANOPARTICLES

ABSTRACT

The term "nanotechnology" refers to the manipulation of substances at atomic or molecular levels. In general terms, nanotechnology uses materials, machines and other objects, at least one of whose dimensions is on the order of 1 to 100 nanometers. Their current application is mostly limited to the use of first-generation, passive nanomaterials in sunscreen lotions, other cosmetic preparations, various surface coatings for furniture or fabrics, etc. As the field of nanotechnology is still in its infancy, the extent of its benefits for humanity and the nature of its positive or negative effects on our health remain inconclusive. The extremely small size of nanoparticles is accompanied by the well-known fact that the human body incorporates them into its internal environment much more readily than it does with larger particles. Nondegradable or poorly degradable nanoparticles can overwhelm phagocytes, which leads to inflammation. Particles may also accumulate in tissues and interfere with normal function of organs. Current methods of risk assessment are unsuitable for the evaluation of risks posed by nanoparticles. That is to say, they must be modified so that the received dose is expressed as the number of nanoparticles and/or their total surface area, not just as the threshold value of their total mass. With its myriad potential applications that bring down manufacturing costs of various products, that simplify work procedures and improve preventive healthcare and the treatment of sick people and animals, nanotechnology is a key technology of the future. It is estimated that manufacturers of various products currently have at their disposal in excess of 1500 different pieces of nanotechnology, with new products being put on the market at a rate of 3 to 4 every week.

Keywords: nanoparticles, nanotechnology, effects on our health, risk assessment preventive healthcare

Nanodelci

Uvod

Nanodelci so drobni skupki materiala, ki so manjši od 100 nanometrov. Milijarda nanometrov sestavlja en meter in tisoč nanometrov je mikron. Desetinka mikrona je meja, pod katero se delec imenuje nanodelec in je enaka 100 nanometrom. Delec mora biti vsaj v eni dimenziji dovolj droben. To je razsežnostna meja, pri kateri se značilnosti nanomateriala bistveno razlikujejo od značilnosti masivnejšega materiala. Nanostrukture so lahko plastovitih oblik, v obliki nanocevk in nanovlaknen ter kot trirazsežnostni nanodelci.

Čeprav se izraz nanodelci uporablja šele zadnjih nekaj desetletij, je njihova uporaba veliko starejša. Kitajci in Rimljani so nanodelce (morda zgolj naključno) uporabljali v keramiki. Z analizo znamenite Lycurgusove čaše so ugotovili, da spreminja barvo zaradi vsebnosti 40 nm velikih delcev iz zlata in srebra. Tudi saje, ki jih že desetletja uporabljajo v gumarski industriji, so nanodelci. Skorajda že pozabljeni diski za shranjevanje podatkov in kasete (video in avdio) so narejeni iz magnetnih nanodelcev. To so bile le posamične uporabe nanodelcev, zato se o tem ni govorilo kot o nanotehnologiji. Izraz se je začel uporabljati po letu 1981, ko so izumili rasterski elektronski mikroskop na tunelski efekt in druge tehnike, s katerimi je bilo mogoče opazovati atome in nanodelce ter z njimi operirati.

Tudi delci, ki sestavljajo tanke plasti, ali tanki igličati kristali ali nitke spadajo v pisano družino nanodelcev. Kolikšen je pravzaprav nanometer? Tako velika je na primer gruča nekaj atomov ali pa debelina človeškega lasu, ki smo ga po dolgem razcepili na 80.000 nitk. Molekula DNA ima premer 2 nm, virusi približno 150 nm, rdeča krvnička že 7 mikronov, človeški las približno 80 mikronov, bolha je velika že 1 milimeter in jo že vidimo s prostim očesom.

Velikost nanodelcev je pomembna zato, ker delci velikosti 70 nm prodrejo v pljučne mešičke, delci velikosti 50 nm v

celico in delci velikosti 30 nm v celično jedro.

Lastnosti nanomaterialov se zaradi izredno majhnih dimenzij in nekaterih lastnosti razlikujejo od lastnosti običajnih (masivnejših) materialov:

- velika površina v primerjavi z enako veliko maso makroskopskega materiala;
- zmanjšanje napak v materialu;
- kvantni efekti obvladujejo obnašanje snovi;
- elektromagnetne lastnosti, optične, mehanske, strukturne in kemične ...

Nanodelce lahko razvrstimo po njihovi sestavi na kovinske (Au, Ag, Ni ...), anorganske (CdS, SiO₂, feriti, nanocevke iz MoS₂ in sorodne, gline, montmorilonit, drugi aluminosilikati) in organske (saje, razplaščeni grafit, ogljikove nanocevke, fulereni, celulozna in hitinska vlakna).

Pri razbijanju delcev na nanodelce se izredno poveča njihova površina. Skoraj vsi atomi ali molekule so pri nanodelcih na površini. Ker je s tem večina delcev postavljena v drugačno okolje, imajo tudi drugačne lastnosti. Spremenijo se jim tako kemijske kot tudi mehanske, optične in magnetne lastnosti. Nekateri materiali tako postanejo izredno trdi, trdni, žilavi, izredno se jim lahko poveča kemijska reaktivnost. Tako ima na primer nanokristalinični baker petkrat večjo trdoto od običajnega, nanokroglice iz silicijevega dioksida velikosti 40 do 100 nm pa se po trdoti uvrščajo med diamant in safir.

Nanodelce pridobivamo na različne načine. Najenostavnejši način je izkop in čiščenje naravnih nanomaterialov. To so predvsem gline, ki so sestavljene iz plastovitih mineralov (običajno silikatov), mineral halloysite pa obstaja tudi v obliki nanocevk. Drugi postopki pa so še sol-gel sinteza, uporaba plazme, kemijsko napajanje ipd.

Oblika nanodelcev natančno določa njegovo površino in na tej površini so proste kemijske vezi in električni naboji,

Klasifikacija nanomaterialov glede na različne parametre:

	Klasifikacija	Primer
Dimenzija	3 dimenzije manj kot 100 nm 2 dimenziji manj kot 100 nm (tretja dimenzija več) 1 dimenzija manj kot 100 nm (druga in tretja dimenzija več)	Delci, kvantne pike, votle kroglice Cevke, vlakna, žice, ploščice Filmi, prevleke
Fazna sestava	Enofazne trdne snovi Večfazne trdne snovi Večfazni sistemi	Kristali, amorfni delci in plasti Kompoziti, obloženi delci Koloidi, aerogeli, magnetne tekočine (ferrofluid)
Proizvodni procesi	Reakcije plinov Reakcije tekočin Mehanski postopki	Sinteza plamena, kondenzacija Sol-gel, padavine, hidrotermalne obdelave Plastične deformacije

ki vplivajo na fizikalne in kemijske lastnosti delca. Vlakno ali nitka je delec z dolžino, ki presega tri premere v prečni smeri. Vlakno, ki je ožje od 3 nm, lahko prodre v alveolarni predel pljuč, vlakna, daljša od 15 nm, pa so predolga, da bi jih makrofagi lahko odstranili. Enostenske ali večstenske ogljikove nanocevice povzročajo bolezenske spremembe v pljuči na poskusnih živalih – tvorbo skupkov makrofagov in celic povrhnjic ter pojav fibroze (brazgotinjenja); pride do sproščanja citokinov in vnetij, oksidativnega stresa in citotoksičnosti (nanodelci sprožijo nastanek reaktivnih kisikovih spojin in oksidativnega stresa; signalne poti, ki se aktivirajo kot odgovor na oksidativni stres, promovirajo nastanek fibroze).

Precej večje nitke umetnih in naravnih tekstilnih vlaken (svile) po velikosti sicer ne spadajo več med tipične nanodelce, vseeno pa povzročajo podobne bolezenske spremembe, če z vdihavanjem zaidejo na alveolarno področje pljuč. Ker je tehnologija napredovala, danes že pletejo umetna tekstilna vlakna iz ogljikovih nanocev s premeri manj kot 100 nm.

Oblika nanodelcev tudi določa njegovo aerodinamičnost, ki je pomembna za njihovo uhajanje v ozračje in potovanje po zraku ter telesnih tekočinah. Majhni okrogli delci se v tekočini ali plinu gibljejo hitro in lahko prehajajo skozi pore filtra ter trkajo med seboj in z molekulami medija, v katerem se gibljejo. Nitkasti delci imajo običajno večjo maso, zato so bolj podvrženi sedimentaciji, lažje jih je prestreči s filtri, lažje se tudi ujamejo med srečanji in se pri tem združujejo (lahko se združijo v povratne snope, kroglaste skupke ...). Na te procese vplivata tudi kemijska sestava delcev in električna nabitost oziroma polarlost. Tanki lističi materiala, ki jih prav tako uvrščamo med nanodelce, če so tanjši od 100 nm, se običajno gubajo ali zvijajo pod vplivom trkov okoliških molekul. Ko se lističi prilepijo na podlago, jih je zelo težko odstraniti. To sposobnost so že v davni preteklosti uporabljali za pozlato, v zadnjem času pa v mazivih (volframov disulfid ali molibdenov disulfid), ki na površini orodij ali komponent kot luske pokrijejo površino in hkrati kovino zaščitijo pred korozijo. Podoben (čeprav dekorativni) efekt ima sljuda (mineral, ki je sestavljen iz silikatov kalija, magnezija in aluminija; ima dobre izolacijske lastnosti, dobro mehansko trdnost in kemično obstojnost), ki se uporablja kot dodatek v nekaterih zobnih kremah ali kot tanki lističi bizmuta v ličilih. Različne debeline lističev in njihovih nanosov povzročajo optične efekte interference, ko so posamezne barve v vpadni in odbiti svetlobi med seboj okrepijo. Bolj okrogli nanodelci se v alveolarnem obmo-

čju lažje izognejo makrofagom, zato ne povzročajo toliko vnetnih procesov kot nitkasti delci. Nekateri nanodelci se že rutinsko uporabljajo v medicinski diagnostiki in koristimo njihovo fluorescenco (polprevodniške spojine, kot so kadmijev selenid, telurid, indijev arzenit, galijev nitrid, ki se vežejo na protitelesa in omogočajo vezavo na določeno vrsto celic).

V čem pa se nanodelci razlikuje od večjih delcev, na primer nad 200 nm? Manjši ko je delec, večja je njegova površina glede na njegov volumen. Delec zlata, ki v premeru meri 8 nm, ima 7 odstotkov vseh atomov na površini. Ti atomi nimajo vseh sosedov, zato so kemijsko aktivni. Delec, ki ga zmanjšamo na velikost nm, pa ima kar 58 odstotkov vseh atomov na površini, kemijska aktivnost postane zelo velika, kar prispeva k njihovemu medsebojnemu združevanju v večje skupke. Pri tem se specifične kemijske in fizikalne lastnosti izgubijo in zato proizvajalci poskušajo površino nanodelcev namensko oksidirati ali nanesti nanjo tanko prevleko iz druge spojine ter tako preprečiti medsebojno združevanje nanodelcev. Prav zato se namenski nanodelci razlikujejo od nenamenskih, ki nastanejo pri reakcijah kot nezaželen produkt (na primer pri izgorevanju dizelskih goriv, pri kajenju, brušenju, mletju, spajkanju).

Razdelitev nanodelcev

V grobem lahko nanomateriale razdelimo na nanodelce, nanostrukturne materiale in nanokompozite. Nanodelci se lahko uporabljajo kot polnilo za pripravo polimernih nanokompozitov, lahko pa tudi samostojno kot katalizatorji, v analitske, medicinske in druge namene. Med nanostrukturne materiale lahko uvrstimo množico kemijsko in fizikalno urejenih materialov, katerih strukture so reda velikosti nekaj nm, na primer nanoporozne materiale, blok kopolimere, nanostrukturne prevleke, nanorešetke in tekoče kristale.

Glede na izvor lahko nanodelce razdelimo na:

- inženirske (kozmetika, hrana, detergenti, tekstilije ...),
- naravne (erozije, prah, virusi ...),
- namensko proizvedene (izgorevanje fosilnih goriv, industrijska proizvodnja, izpuhi motorjev ...).

Najbolj znan naravni vir nanodelcev so gozdni požari, izbruhi vulkanov, virusi, biogeni magnetidi (anorganski materiali, ki jih najdemo v bakterijah, mehkužcih, ribah, ptičih). Nastajajo pri cvrtju hrane, varjenju, obdelavi rud, so produkt sežiga v termoelektrarnah in letalskih motorjih ... V enem kubičnem centimetru zraka v učilnici je v povprečju od 100.000 do 400.000 nanodelcev; pri varjenju nasta-

ne v enem kubičnem centimetru zraka kar 4 milijone nanodelcev, podobno tudi pri brušenju. V kubičnem centimetru izdihanega zraka kadilca je več kot 100 milijonov nanodelcev. Človeškim očem so nevidni. Opazimo jih lahko le s t. i. presevnim elektronskim mikroskopom, katerega najvišja meja ločljivosti je okoli 0,12 nm.

Uporaba nanodelcev

Njihova praktična uporabnost sega na vsa področja človekovega dela in ustvarjanja, od gradbeništva, fizike, kemije, ekologije do medicine in farmacije. Magnetni nanodelci se v medicini uporabljajo v diagnostiki, antibakterijski za zdravljenje bakterijskih infekcij; kot sestavni del kompozitov jih najdemo v celi vrsti zdravil. Nanodelci iz kovinskih oksidov se uporabljajo za kompozitne materiale, polprevodnike, fotokemične aktivne površine, premaze, delčke v elektroniki in kot pigment v brisalcih za črnilo. V večjih količinah se trenutno uporabljajo nanodelci iz ogljika, kremena in titanovega oksida. Večina aplikacij je omejenih na uporabo t. i. prve generacije pasivnih nanomaterialov, na primer titanovega dioksida in cinkovega oksida v kremah za sončenje, kozmetiki in v različnih površinskih premazih za pohištvo (titanov dioksid tudi v nekaterih živilskih izdelkih), ogljikovi alotropi se uporabljajo za proizvodnjo prototipov samolepilnega traku, srebro v embalaži za hrano, v oblačilih, dezinfekcijskih sredstvih in gospodinjstvih aparatih, cerijev oksid kot katalizator v gorivih ... Novi materiali teniškim žogicam in kroglam za bowling podaljšujejo življenjsko dobo, žogicam za golf pa omogočajo letenje neravnost. Tkanine za izdelavo hlač in nogavic, prežete z nanodelci, so bolj trpežne in hkrati poleti zagotavljajo boljše ohlajanje telesa kot tradicionalne biotične in sintetične tkanine. Povoji, v katere so vneseni srebrni nanodelci, omogočajo vreznam in drugim ranam hitrejše celjenje. Tudi neprebojne tkanine so proizvod nanotehnologije. Narejene so iz nanocevk, ki se pod pritiskom krogle prožno deformirajo in na nanonivoju počasi ustavijo kroglo.

V človeško telo lahko nanodelci prehajajo skozi dihala, kožo in prebavila. Na več načinov lahko pridejo v krvni obtok, ki jih raznese po celem telesu. Preko kože prihajajo v telo z natiranjem kože s preparati z nanodelci, preko vidnih ali nevidnih poškodb kože in tudi zaradi hoje po kontaminiranih tleh. Aktivnosti (delovne ali športne), ki so povezane z večjim dihalnim volumnom in višjo frekvenco dihanja, predstavljajo večje tveganje za vnos nanodelcev v telo (prah v delovnem ali bivalnem okolju, izpušni sistemi, smog, zaprti ali slabo pre-

zračeni prostori ...). Nanodelci iz krvnega obtoka ali po živčnih poteh zaidejo tudi v možgane. Organi, ki so najbolj prizadeti zaradi vdora nanodelcev, pa so jetra, vranica, ledvice in bezgavke. Za titanov oksid z velikostjo do 30 nm so ameriški znanstveniki že dokazali, da so celice mikroglije, ki ščitijo nevrone v možganih, zaradi prisotnosti nanodelcev začele sproščati radikale, ki so sestavni del t. i. oksidativnega stresa, prikritega povzročitelja Parkinsonove in Alzheimerjeve bolezni.

Primeri nanotehnologije v prehrani:

- nanosrebro uporabljajo zaradi njegove antibakterijske aktivnosti v embalaži za hrano, v hladilnikih, lončkih za otroško hrano in čaj, kuhinjski posodi;
- nanodelci silicijevega oksida so dodani polimernim kompozitom, da povečajo njihovo gostoto in preprečijo prepustnost plastike za kisik ter tako podaljšajo obstojnost hrane;
- nanokroglice škroba z velikostjo od 0 do 150 nm so dodane lepilu za embalažo, da s svojo kar 400-krat večjo površino od običajnega škroba za pripravo zahtevajo manj vode in ustrezen krajši čas za sušenje;
- olju za cvrtje se dodajo nanokeramični delci, ki preprečujejo toplotno zgoščevanje v olju in zmanjšujejo nastajanje neprijetnih vonjav – olje tako ostane sveže in uporabno dlje časa;
- živila z dodanimi nanokapsulami, ki služijo kot nosilci za vitamine, minerale, esencialne maščobne kisline (omega 3), antioksidante, koencim Q10, da izboljšajo njihovo biorazpoložljivost;
- nanodelci železa so zaradi povečane reaktivnosti in biološke koristnosti dodani visokoenergijskim pijačam;
- aluminijevi silikati se uporabljajo za preprečitev zlepljanja v procesu predelave hrane v prašni obliki;
- povoskanje jabolk, ki tako ne izgubijo vlage in dalj čas ohranijo sočnost in obliko (Nanoprevleka je debela do 5 nm in povsem prosojna za človekov vid. Take prevleke se lahko nanašajo poleg sadja tudi na meso, sire, zelenjavo, s čimer se prepreči izguba vlage in zmanjša vpliv ozračja. Te prevleke so tudi nosilke barve, okusa, vsebujejo antioksidante, encime in tako podaljšujejo življenjsko dobo izdelka, tudi potem ko je bila vidna embalaža že odprta.);
- nanosenzorji za hitro odkrivanje toksinov (strupov, virusov, bakterij in drugih mikroorganizmov za uporabo v vseh fazah proizvodnje živil in pri pakiranju; predvideni so tudi za uporabo v hladilnikih, da bi nas opozorili na pokvarjena živila);

- nanodelci v žvečilnih gumijih kot nosilci snovi za čiščenje zob, ki jih zokusom ne zaznamo ...

Poleg načrtno dodanih nanodelcev pa se v prehrani znajde veliko teh delcev kot posledica obrabe orodij pri predelavi hrane in zaradi onesnaženja okolja med predelavo. Mletje, rezanje, stiskanje, uporaba posod, iz katerih se izločajo drobni nanodelci, sušenje v dimu in pri visoki temperaturi so le nekateri postopki, pri katerih pride do vstopa nanodelcev v živila. Povsod, kjer pride do mehanske obrabe orodja, se sproščajo drobni nanodelci kovine ali drugega materiala, iz katerega je orodje narejeno. Tudi vsi premikajoči se deli gospodinskih strojkov, sesalnikov, sušilnikov itn. prispevajo svoj delež k onesnaženosti ozračja in posredno tudi hrane z nanodelci.

Nanotehnologija je na pohodu tudi v medicini. Nanorobote, ki so šele v raziskovalno razvojni fazi, bi preprosto vbrizgali v kri in ti bi sami našli obolela mesta, postavili diagnozo, pozdravili okvaro in potem še nadzorovali, da se bolezen ne bi ponovila. Razvoj nanodelcev kot nosilcev zdravilnih učinkovin ali kot senzorjev sprememb v organizmu spada v uresničljiv del teh sanj.

Nanodelci so zaradi izjemne majhnosti zelo uporabni v onkologiji, še zlasti pri diagnostiki, saj povečajo kontrast na slikah tumorjev, posnetih z MR ali RTG-slikanjem. Za zgodnje odkrivanje raka so v razvoju senzorji, ki delujejo na osnovi nanomaterialov. Gre za drobne nitke ali cevke, ki se zaradi vezave na določene molekule upognejo. Z merjenjem tega upogiba bi bilo mogoče odkriti rakave spremembe že na celični ravni.

Zdravljenje tumorja najpogosteje obsega kirurško zdravljenje, radioterapijo in sistemsko zdravljenje s kemoterapijo, ki vključuje citostatike, hormonska in biološka zdravila. Glavna slabost zdravljenja s citostatiki so neželeni učinki zaradi citotoksičnega delovanja na hitro deleče se celice zdravih tkiv. Med njihove neželene učinke prištevamo slabost in bruhanje, izgubo teka, zaprtje, drisko, vnetje sluznic, izgubo las, sekundarne novotvorbe, nevtropenijo z novim tveganjem za okužbe in toksične učinke na pljuča, jetra, srce in spolne organe. Z uporabo nanodostavnih sistemov, ki pasivno in/ali aktivno ciljajo tumorske celice, se temu lahko izognemo. S tem lahko varujemo učinkovino pred prezgodnjo razgradnjo, preprečujemo prezgodnje medsebojno delovanje učinkovin z okoljem, izboljšamo prodiranje učinkovine v določeno (na primer tumorsko) tkivo, omogočamo nadziranje sproščanja učinkovin in izboljšamo dostavo učinkovin v celice. Glavni namen je torej selektivna dostava protitumorskih učinkovin tumorskim celicam, s čimer se zmanjša verje-

tnost resnih neželenih stranskih učinkov in izboljša učinkovitost zdravljenja.

Nanotehnologija se je v Sloveniji najprej uveljavila pri kremah za sončenje, goreteksu in podobnih tkaninah, samočistilnem steklu in fasadah, baterijah in superkondenzatorjih, zdravilih s kontroliranim in ciljanim sproščanjem učinkovine, biomedicinskih izdelkih za diagnostiko, polprevodniških tehnologijah ter optičnih napravah. V zadnjih letih se je uporaba razširila tudi v biomedicini, industriji premazov (samočistilni fasadni premazi, UV-zaščita pri lesnih premazih, antikorozijski premazi ...) in barv, polimernih (fasadnih ...) izdelkih, čistilih, izolacijskih materialih in kozmetiki.

Eno od komercialno uspešnih nanotehnoloških področij so zaščitni premazi, ki vsebujejo nanodelce ali pa tvorijo površino, ki je nanostrukturirana (urejena na nanometrskem nivoju). Nanopremazi imajo posebne lastnosti, ki jih brez nanotehnologije ne moremo doseči: odporni so proti rezanju, so samočistilni oziroma omogočajo bistveno lažje čiščenje. Premazi so lahko klasični (barve, laki), lahko pa so le prevleke nanometrskih dimenzij, ki jih z očesom ne opazimo. Uporabljajo se za zaščito različnih površin: od betonskih tlakovcev do trupov jaht, pred umazanijo, bakterijami, mehanskimi poškodbami ipd. Nanopremaze lahko ločimo na premaze, ki so enostavni za čiščenje, in samočistilne premaze, ki se ločijo na premaze z lotus efektom in UV-samočistilne premaze. Površina premaza z lotus efektom je na videz gladka, v bistvu pa je izredno drobno hrapava. Umazanija se zato prime le na vrhove, katerih skupna površina je veliko manjša kot površina umazanije. Zato je zelo šibko vezana in jo lahko spere dež.

Hidrofobni in oleofobni (odbojni) premazi: voda in olje se zaradi odbojnega učinka na nanozaščitene površine oblikujeta v kapljice; stična površina je zelo majhna, prav tako tudi privlačne sile med umazanijo in površino, zato za čiščenje take površine zadostuje že vlažna krpa ali tlačni čistilec. Detergenti običajno niso potrebni.

Hidrofilni nanopremazi (privlačijo vodo) so samočistilni premazi za steklo in nekateri protizameglitveni premazi. Vsebujejo nanodelce titanovega ali aluminijevega oksida, ki naredita površino hidrofobno. Nanopremazi s titanovim oksidom s pomočjo UV-svetlobe razkrajajo umazanijo. Dež, ki pade na zaščiteno steklo, pa se razlije v tanek film, pride pod umazanijo in jo odplakne.

Nanoporozni materiali so organski in anorganski materiali s porami premera do 100 nm. Glede na obliko ločimo nanoporozne membrane in materiale. Nanoporozne

membrane se uporabljajo za ločevanje kemikalij, čiščenje vode in ločevanje proteinov.

Zoeloti so anorganski nanoporozni materiali, ki se uporabljajo že desetletja, predvsem pri predelavi nafte. Dimenzije por so med 0,3 do 50 nm. Velikosti por so primerljive z velikostjo molekul in služijo kot sita za njihovo separacijo. Uporabljamo jih pri sintezni kemiji za ločevanje reaktantov od produktov glede na njihovo velikost in obliko.

Najnovejše področje v raziskavah nanoporoznih materialov predstavljajo anorgansko-organski hibridni materiali, kjer so organske molekule sestavni del anorganskih ogrodij. Z ustrežno izbiro organskih molekul lahko vplivamo na velikost por.

Aerogeli so visokoporozni materiali, katerih gostota je lahko tudi le 4-krat višja kot gostota zraka. Najbolj znani so aerogeni na osnovi silicijevega dioksida. So odličen toplotni izolator, njihova uporaba pa je omejena zaradi njihove krhkosti.

Ogljikova nanopena je sestavljena iz skupkov ogljikovih atomov, ki so med seboj povezani v šibko tridimenzionalno mrežo. Gostota ogljikove nanopene je le nekajkrat višja od gostote zraka. Je električni izolator in ima feromagnetne lastnosti.

Aktivno oglje je star nanomaterial, ki se uporablja za absorpcijo strupov in drugih kemikalij. Znanstveniki so uspeli izdelati aktivno oglje z velikostjo por 8 oziroma 10 nm, katerega sposobnost absorpcije je 10-krat večja od klasičnega aktivnega oglja.

Kompoziti so materiali, sestavljeni iz vsaj dveh materialov, od katerih eden predstavlja kontinuirno fazo ali matrico, drug pa je v njej bolj ali manj homogeno porazdeljen in ga imenujemo polnilo ali armirno sredstvo. Polimerni nanokompoziti se že uveljavljajo predvsem v avtomobilski industriji, izdelavi embalaže in premazov. Izdelki iz nanokompozitov niso le lažji, pač pa imajo pogosto tudi bistveno boljše lastnosti (mehanske, termične ...) od izdelkov, narejenih iz običajnih materialov.

Folije, ki jih uporabljamo za pakiranje živil, so narejene vsaj iz treh in vse do devetih plasti različnih polimerov. Vsaka plast ima svojo funkcijo (potrebne mehanske lastnosti, preprečevanje difuzije kisika, ogljikovega dioksida ...). Postopek izdelave take folije je dokaj zapleten, prav tako tudi recikliranje.

Nanodelci železa so pomembni v nanomedicinskem razvoju, ker je mogoče nanje vplivati z magnetnim poljem na daljavo in jih tako uporabljati kot orodje znotraj organizma. Lahko jih pokrijemo s spojinami, ki delec markirajo, ali pa s takimi, ki delec vežejo samo na določene

ne celice v telesu, na primer na tumorske celice. Nanodelci železovega oksida se uporabljajo tudi v genski terapiji ali pri slikanju z jedrsko magnetno resonanco kot kontrastno sredstvo.

Antimikrobni učinki srebra so znani že stoletja. Zaradi zelo močne strupenosti srebra na zelo širok spekter mikroorganizmov nanodelci srebra s še povečano kemijsko aktivnostjo v primerjavi z masivnim srebrom spadajo med trenutno najpomembnejše nanotehnološke antimikrobne snovi. Nanosrebro se uporablja za zdravljenje opeklin in kroničnih poškodb kože ter dermatoloških obolenj, pri katerih koža nima več naravnih obrambnih mehanizmov za boj z bakterijami.

Nanotekstil – umetna ali naravna vlakna, impregnirana z nanodelci srebra, je bil razvit za potrebe medicine, postal pa je privlačen prodajni material za športna in vojaška oblačila, za antibakterijske prevleke, dodajajo ga tudi v barve in kozmetiko. Nanosrebro je učinkovito pri zdravljenju aidsa (nanodelci živega srebra od 1 do 10 nm napadejo HIV in preprečijo učinkovanje virusa na celice gostiteljske). Nanodelci srebra velikosti od 15 do 30 nm imajo tudi izrazit učinek na delovanje mitohondrijev in celovitost membrane. Dokazali so močno povečano sproščanje reaktivnih oksidacijskih radikalov, zato je oksidativni stres najverjetnejša razlaga strupenosti nanosrebra.

Ogljikove nanocevke so odkrili 1991. leta. V poznejših letih je bila nanotehnologija na tem področju izjemno inovativna in uspešna. Poudarek je na razvoju materialov, ki bi bili 10-krat močnejši kot jeklo, toda bistveno lažji, z izjemno natezno trdnostjo in izjemnimi električnimi, mehanskimi in toplotnimi lastnostmi.

Titanov dioksid je najbolj vsestransko uporaben nanomaterial zaradi svoje antimikrobne aktivnosti in fotokatalitične sposobnosti za zaščito pred UV-sevanjem. Lahko je dodan hrani kot belilno sredstvo in za podaljševanje obstojnosti hrane zaradi svojih antibakterijskih lastnosti. Dodan je v premaze bombonov, za loščenje sadja, dodajajo ga v fermentirano mleko, je zgoščevalec v zdravilih in dodatek v moki. Uporaben je v sončnih celicah, v samočistilnih oknih, za čiščenje vode. Nanodelci titanovega oksida so močni oksidanti organskih molekul in povzročajo nastanek prostih radikalov. Že pred desetletjem so odkrili, da kreme za sončenje, ki vsebujejo nanodelce, lahko povzročajo tvorbo hidroksilnih ionov, ki lahko poškodujejo DNA in vodijo do nastanka kožnega raka. V mikronski velikosti titanov oksid ni aktiven in je torej uvrščen med varne materiale za prehrano ljudi. Že 200 nm veliki delci titanovega oksida pa lahko vplivajo na imunski sistem in pospe-

šujejo nastanek vnetja. Tako kot povečano število astmatičnih obolenj opozarja na slabšo kakovost zraka, tako vse več ljudi oboleva za Chronovo boleznijo (ulcerozni kolitis), kar bi bilo lahko povezano z dodatkom v hrani. Na podlagi raziskav so v NIOSH znižali priporočeno mejno vrednost za titanov dioksid v zraku z 10 mg/m³ na skoraj sedemkrat nižjo vrednost (1,5 mg/m³ za fine delce 100 do 1000 nm) in na stokrat nižjo raven (0,1 mg/m³) za nanodelce. V raziskavah na živalih so ugotovili dolgotrajna vnetja in poškodbo pljučnih celic, tveganje pljučnega raka pa ostaja še odprto vprašanje.

Cink in cinkov oksid uporabljajo v pigmentih, medicinski diagnostiki, v kremah za sončenje, kozmetiki, katalizi in metalurgiji. Nekaj cinka je nujno tudi v organizmu sesalcev za delovanje encimov, sintezo DNA, rast in delitev celic, razvoj možganov itd., zato je to tudi običajna sestavina prehranskih dodatkov. Pomanjkanje cinka povzroča zaostajanje v rasti, dovzetnost za infekcije, kožne bolezni, počasnejše celjenje ran itd. Izpostavljenost nanodelcem cinka je na laboratorijskih živalih (zaužitje nanocinka z velikostjo od 40 do 70 nm) pokazala resne prebavne težave, zaostajanje v rasti, hudo slabokrvnost, okvaro srca, jeter, ledvic ...

Silicijev dioksid je v obliki nanodelcev dodan v gumenih izdelkih, loščilih, papirnatih izdelkih, zdravilih, kozmetiki, v nekaterih živilih in embalaži. Izpostavljeni delavci lahko vdihavajo nanodelce silicijevega dioksida tako med proizvodnjo omenjenih izdelkov, skladiščenjem, transportom kot tudi med uporabo. Nanodelci silicijevega dioksida lahko povzročijo bolezen dihal in srca, še posebej pa so dovzetni starejši. Ugotovili so tudi kazalce oksidativnega stresa, citotoksičnost, pojav reaktivnih radikalov, oksidacijo lipidov, poškodbe celičnih membran ipd. Nanodelce silicijevega dioksida sumijo tudi kot pospeševalce nastanka degenerativnih nevroloških bolezni (napake pri tvorbi proteinov).

Namensko proizvedeni nanodelci nastajajo pri gorenju, v motorjih z notranjim izgorevanjem, še posebej v dizelskih motorjih in tudi kot nezaželen stranski produkt pri industrijski proizvodnji, pri mletju, brušenju, varjenju, v gradbeništvu, kemijski industriji, razpršilnih tehnologijah ipd.

Pri gorenju vseh goriv, ki vsebujejo ogljik, del ogljika ostane neoksidiran in se združuje v delce velikosti okrog 10 nm, ki se združujejo v večje delce, okrog 100 nm, ki se izločajo v okolje okrog mesta kurjenja. Nalagajo se v pljuča in povzročajo zasluzenje pljuč zaradi povečane aktivnosti makrofagov. Ti delci lahko pridejo tudi v krvni obtok in s tem vplivajo na bolezen srca in ožilja. Pri tem je treba še posebej izpostaviti obremenitev dihal pri kadilcih in pasivnem kajenju,

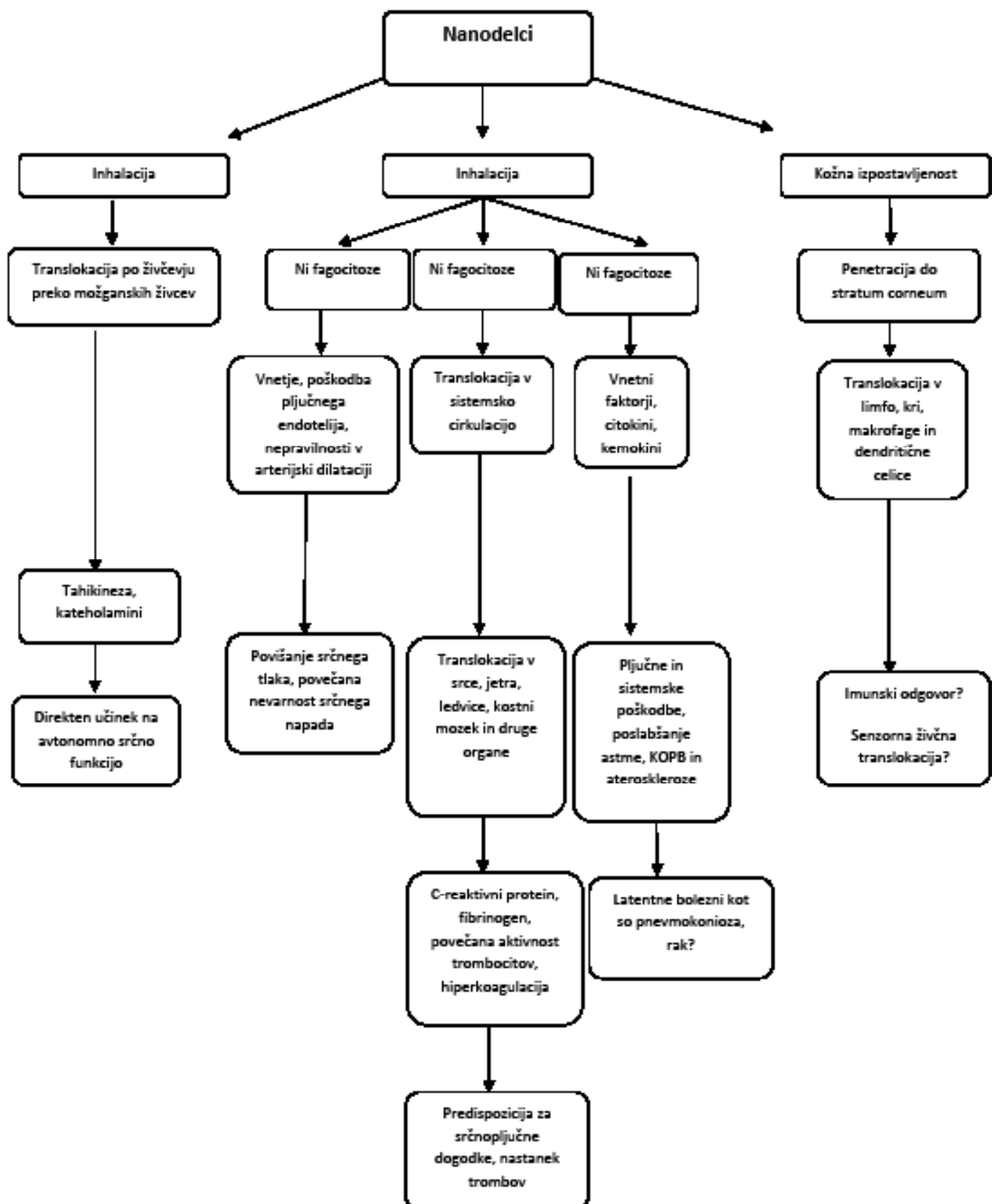
kjer je predvsem velika obremenitev z najmanjšimi nanodelci, ki kemijsko reagirajo s pljučnim tkivom, povzročajo držanje, vnetje in nastanek tumorjev.

Poleg gorenja je največji onesnaževalec ozračja z nanodelci promet. Večina delcev v izpuhu avtomobilov ima velikost manj kot 100 nm, velik del celo manj kot 10 nm. Vdihavanje zelo drobnega prahu silicijevega dioksida (SiO₂) ali azbesta, premogovega prahu itn. lahko povzroči oksidativni stres, vnetje, fibrozo, respiratorno insuficienco in kronično pljučno srce.

Negativni vplivi nanodelcev na zdravje

Celične študije so pokazale veliko pomembnost površine delcev v majhnem območju velikosti – od 10 do 50 nm, katerih končna posledica je bilo pulmonalno vnetje. Raziskave so potrdile, da imajo nanodelci v povezavi z drugimi spojinami vpliv na sintezo reaktivnih kisikovih spojin in vnetja, sposobnost prehajanja v druge organske sisteme in povzročanje oksidativnega stresa, vpliv na makrofage in epitelijske celice preko genske ekspresije proinflammatoryh genov, citokinov, adhezijskih molekul in vplivom na posamezne encime. Raziskave in vitro in in vivo so dokazale vpliv različnih nanodelcev na sintezo reaktivnih kisikovih spojin, ki so najpomembnejši dejavnik pri nastanku vnetja in toksičnosti. Več raziskovalcev je v in vivo poskusih na miših in podganah odkrilo povezavo med nanodelci in pljučnimi patološkimi odgovori, kot so povečano število nevtrofilcev v pljučih, hemoragično pljučno vnetje, granulomatozne lezije, fibroza, zmanjšana pljučna funkcija in smrt. V zadnjem obdobju so raziskave nanodelcev pokazale, da prihaja do translokacije teh delcev tudi v druge sisteme, kot so cirkulatorni, in organe (jetra, srce, možgani). Četudi natančni mehanizmi translokacije niso poznani, pa je delno dokazano, da nanodelci prehajajo v pljučni intersticij, tam ostajajo dalj časa in imajo večji potencial za prenos na ekstrapulmonalna mesta. Dokazani so tudi potencial nevronskega privzema in translokacije inhaliranih nanodelcev in patogenov v možgane. Pri tem prenosu je najpomembnejši olfaktorni živec (predvsem zaradi majhne razdalje).

Pljuča so glavni tarčni sistem okoljskega zračnega onesnaženja, še posebej pri otrocih, astmatičnih bolnikih in odraslih z zmanjšano telesno odpornostjo. Velikost, struktura površja in kemična sestava nanodelcev imajo pomembno vlogo pri ogrožanju zdravja. Povečano število respiratornih simptomov, poslabšanje pljučne funkcije, povečano število respiratornih infekcij, kronične obstruktivne pljučne bolezni (KOPB) in povečana umrljivost



vost so dobro dokumentirane posledice zračnega onesnaženja z nanodelci. Pri bolnikih z astmo in KOPB je eksacerbacija, ki jo povzroča pljučna infekcija, najpomembnejši mehanizem toksičnega delovanja nanodelcev. Raziskave so pokazale, da izpostavljenost nanodelcem pripomore k pljučnemu vnetju, del nanodelcev pa se preko sistemske cirkulacije prenese še v druge telesne organe: jetra, srce, vranica in možgane.

Zadnje raziskave so pokazale patofiziološke spremembe ob izpostavljenosti nanodelcem, povezane s kardiovaskularnimi boleznimi: s spremembami srčne frekvence, povišanim krvnim tlakom, aritmijami in sprožitvijo miokardnega infarkta, pride pa tudi do pljučnih in sistemskih infekcij, pospešene ateroskleroze in spremenjene avtonomne srčne funkcije. Pomembni so tudi delci, manjši od 250 nm, ki lahko nastanejo tudi z združevanjem »klasičnih« nanodelcev velikosti 100 nm.

Dokazali so, da samo povečanje za $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ delcev velikosti 250 nm pripelje do od 8- do 18-odstotnega povečanja smrtnosti zaradi ishemične srčne bolezni oziroma malignih motenj srčnega ritma in srčnega zastoja. Zakaj pride do teh tveganj? Prva hipoteza nakazuje, da so fini nanodelci sposobni stimulirati nevrone v pljučih, ki vplivajo na centralni živčni sistem in srčno avtonomno funkcijo. Druga hipoteza razlaga o vstopu inhaliranih nanodelcev v sistemske cirkulacije in tako dostop do tarčnih organov, v katerih sprožijo vnetje, sproščanje citokinov, reaktivnih kisikovih spojin, C-reaktivnega proteina, in tako sprožijo srčne dogodke. Tretja hipoteza predvideva nastanek akutnega vnetja v pljučih ob inhalaciji nanodelcev, ki sproži sekrecijo citokinov, kemokinov, reaktivnih kisikovih spojin in transkripcijskih faktorjev. Ti faktorji nato vplivajo na druge faktorje, ki še promovirajo vnetje v pljučih, kar na koncu pripelje do srčnih težav.

Koža je največji človeški organ, ki telo ščiti pred zunanjimi vplivi. Polarne in nepolarne snovi lahko prehajajo preko paracelularne poti, pod vplivom fotomehanskega sevanja pa tudi večje makromolekule. Delci, večji od 100 nm, težko prehajajo skozi nepoškodovano kožo, izjema je mehansko poškodovana, raztegnjena, popraskana in poškodovana koža. Na živalskih modelih so dokazali, da delci velikosti med 50 in 100 nm (berilium) prehajajo stratum corneum (poroženelo plast) in povzročijo celični imunski odgovor. Prav tako je bil dokazan prenos mikrodelcev TiO_2 , prisotnih v kremah za sončenje, v stratum corneum in lasne mešičke. Delci, ki pridejo v dermis, lahko tako potujejo v limfatični sistem preko

makrofagov in dendritičnih celic. Nadaljnja translokacija v druge organe v tem času še ni potrjena z raziskavami, je pa zelo verjetno možna.

Ocena tveganja v nanotehnologiji

Ocena tveganja pri nanotehnologiji je sestavljena iz 4 korakov:

- prepoznavanje nevarnosti,
- opis nevarnosti,
- ocena izpostavljenosti in
- opredelitev tveganja.

Pri prepoznavanju nevarnosti so pomembni podatki o karakteristikah delcev (oblika, premer, površina, lastnosti, topnost v vodi, kemijska sestava), emisijah (obseg proizvodnje, tok materialov, potencialni izpust – odpad), učinkih na zdravje (na poskusnih živalih oziroma človeku) in učinkih na okolje (obstojnost, kopičenje preko prehranjevalne verige, transport).

Pri opisovanju nevarnosti so pomembne epidemiološke študije in vivo (v živem organizmu) in in vitro (v epruveti).

Vpliv nanotehnologije na zdravje ljudi lahko razdelimo na dva vidika:

- potencial za nanotehnološke novosti in koristi, ki bi ga od tega imele medicinske aplikacije nanotehnologije za preprečevanje in zdravljenje bolezni,
- morebitna nevarnost za zdravje, ki jo predstavlja izpostavljenost nanomaterialom.

Obnašanje nanodelcev je odvisno od njihove reaktivnosti, velikosti, oblike in površinskega stika z okoliškim tkivom. Znanstveniki sklepajo, da bi lahko ti delci povzročili preobremenitev fagocitov, kar bi sprožilo stresne reakcije, ki vodijo do vnetja. Med drugim bi kronično vnetje oslabilo obrambo telesa pred drugimi povzročitelji bolezni, povzročalo nadomeščanje tkiv z manjvrednim tkivom itd. Poleg reakcij pa bi se nerazgradljivi ali počasi razgradljivi nanodelci tudi akumulirali v tkivih in ovirali normalno delovanje organov. Druga skrb za zdravje je zmožnost nanodelcev, da interferirajo z biološkimi procesi v telesu. Zaradi svoje velike površine nanodelci ob izpostavljenosti tkivom in telesnim tekočinam na svojo površino zelo hitro adsorbirajo nekatere makromolekule, s katerimi se srečajo. Tako na primer lahko vplivajo na mehanizme, ki regulirajo delovanje encimov in drugih proteinov. Druge lastnosti nanomaterialov, ki vplivajo na njihovo toksičnost, vključujejo kemično sestavo, površinsko strukturo, površinski naboj, agregacijo in topnost ter prisotnost ali odsotnost funkcionalnih skupin. Veliko šte-

vilo spremenljivk, ki vplivajo na toksičnost, pomeni, da je težko posploševati zdravstvena tveganja, povezana z izpostavljenostjo nanomaterialom. Zato mora biti vsak nov nanomaterial individualno ocenjen, pri čemer je treba upoštevati vse prej izpostavljene lastnosti ocenjevanega nanomateriala.

Regulativni okviri za kemikalije so navadno definirani v obliki mejnih vrednosti, podanih v enotah mase. To pa za nanotehnologijo ni primerno, kajti v tem primeru so zaradi njihove teže in velikosti (definirane tako, da pri vnosu določene količine snovi še ni negativnih posledic za zdravje posameznika) najverjetneje presežene. Vzrok je tako v odsotnosti učinkovitih merilnih tehnik za odkrivanje vnosa nanodelcev v telo kot tudi v veliko večji kontaktni površini s tkivom, kadar je snov v obliki nanodelcev, kljub isti masnovolumski količini snovi.

Ocena izpostavljenosti se osredotoča na poti in načine izpostavljenosti (preko dihal, prebavil ali kože), okoljski nadzor (biološki privzem) in poklicni nadzor (izpostavljenost delavcev).

V nanotehnologiji se uporablja metoda NANO LCRA (ocena tveganja življenjskega cikla). Temelji na prilagodljivem upravljanju in na novem vrednotenju odločitev z novimi informacijami in vključuje ponovni pregled sistema. Prilagodljivo upravljanje pomeni najboljše odločanje glede na dosegljive informacije in zagotavlja posodobitev teh odločitev, ko so na voljo novi podatki. Koraki sistema NANO-LCRA:

1. opisati življenjski cikel izdelka;
2. zbrati podatke o materialih in oceniti potencialne nevarnosti v vsaki fazi življenjskega cikla;
3. opraviti kakovostno oceno izpostavljenosti za snovi v vsaki fazi življenjskega cikla;
4. identificirati faze življenjskega cikla, ko lahko pride do izpostavljenosti;
5. ovrednotiti potencialno strupenost ali nestrupenost za človeka pri ključnih fazah življenjskega cikla;
6. opraviti analizo potencialnega tveganja za izbrane faze življenjskega cikla;
7. identificirati ključne negotovosti in podatkovne vrzeli;
8. razviti strategijo za zmanjševanje tveganja in naslednje korake;
9. zbrati dodatne informacije;
10. ponovitev postopka.

Ključno je, da tak sistem omogoča pregledovanje in opredelitev ključnih zdravstvenih in okoljskih vprašanj, ki se jih lahko uporabi v zgodnji fazi razvoja tehnologije, ko

je informacij za oceno tveganja malo. Zato je prva naloga sistema opredelitev, katere informacije so najbolj pomembne za dobre odločitve.

Izpostavljenost tveganjem zaradi nanotehnologije je predvsem v:

- gradbeništvu (izdelki, ki izboljšujejo obrabno odpornost, togost, uporaba v pigmentih, izolirni materiali);
- zdravstvu (nova zdravila, biokompatibilni materiali);
- energetiki (povečana učinkovitost pretvorbe energije, bolj ekonomična razsvetljava);
- avtomobilski in letalski industriji (močnejši in lažji materiali, dodatki goriv, premazi, odporni na praske in umazanijo);
- kemični industriji (katalizatorji, adhezivne tehnike vezave, zmanjševanje korozivnosti, samočistilne anti-statične površine, toplotna izolacija, izjemno trda in odporna rezalna orodja);
- elektroniki in komunikaciji (optični oziroma optoelektronski elementi, vključno z laserji, žepne elektronske knjižnice, ultra hitri kompaktni računalniki);
- tekstilni industriji itd.

Preventivne aktivnosti

Če se želimo izogniti nanodelcem ogljika v stanovanju, ne smemo prižigati sveč (emisija nanodelcev ogljika, velikost od 20 do 30 nm), izogibajmo se odprtih kurišč, kresovanj, ognjemetov ... Seveda pa je tveganje zaradi izpostavljenosti nanodelcem še bistveno večje, če smo v prostoru s kadicem (pa četudi je minilo že nekaj dni, ko ni kadil v tem prostoru). Tudi uporaba sesalnikov brez dobrih filtrov je lahko problematična, ker s sesalnikom dodatno pospešujemo dvig nanodelcev v ozračje in povečujemo delež nanodelcev v ozračju stanovanja, če na primer hladilni zrak motorja sesalnika ni filtriran. V delovnem okolju se moramo ustrezno zavarovati pri suhem brušenju kamna, rezanju betona, spajkanju in brušenju v industrijski proizvodnji. Prav tako so lahko nevarne tekstilne dejavnosti, kjer je veliko mikro- in nanovlaken. Vožnja s kolesom za tovornjakom je z energijskega stališča zagotovo smiselna zaradi zavetrja, vendar zelo problematična zaradi vdihavanja nanodelcev, ki jih dizelski motor spušča v ozračje.

Učinkovito je pogosto zračenje bivalnih in delovnih prostorov, ki je učinkovitejše kot običajne klimatske naprave, ki zrak filtrirajo, a ji najdrobnejši delci uidejo. Prav tako je boljše brisanje prahu z mokro krpo, pa tudi čiščenje lovilcev prahu (zaves, preprog, oblaženjenega pohištva) na moker način.

V delovnem okolju je treba skrbeti, da do sproščanja nanodelcev sploh ne pride. Reaktorske posode morajo biti v neposrednem tesnem spoju s posodami za transport oziroma se prelaganje izvaja v t. i. čisti sobi ob uporabi polne zaščite delavca. Pri tem je treba zagotoviti dovod čistega zraka in antistatično obleko pod nadtlakom. Laboratorijski in drugi proizvodni prostori, v katerih lahko pride do sproščanja nanodelcev, morajo biti opremljeni s prhami, da se ob morebitnem izpustu lahko opere ves prostor (prostor mora biti tudi ustrezno obložen, da je pranje učinkovito); vodni medij z nanoodpadki se obravnava kot nevaren kemijski odpad.

Kadar bi lahko prišli nanodelci v področje dihal, je treba uporabljati obrazne pol- ali četrtmaske (pokrijejo le nos in usta). Kljub temu se za masko lahko ustvari podtlak pri vdihu, kar je moteče za uporabnika in hkrati tudi omogoča vdor nanodelcev s strani. Oznake filtrov so različne.

Uporablja se lahko oznaka HEPA (High Efficiency Particulate Air Filter) ali oznaka EN 149 (evropski standard 149). Oznaka P100 pomeni, da filter zadrži 99,97 odstotka nanodelcev z velikostjo več kot 300 nm, oznaka P95 pa pomeni 95-odstotno učinkovitost filtra za nanodelce velikosti 300 nm.

Pri raziskavah nanodelcev, njihovi sintezi in ravnanju z njimi se zato priporoča:

- prelaganje nanodelcev v obliki suhega prahu mora potekati v digestoriju (prah prelagamo in ne pretresamo);
- UZ-kopeli nanodelcev v tekočih medijih morajo potekati v zaprtih posodah;
- pri prelaganju ali čiščenju moramo uporabljati polmaske in zaščito za oči ali celotno masko s filtrom P3 ter gumijaste rokavice in delovno obleko;
- posodo ali morebitni raztros je treba očistiti z mokro

USPOSABLJANJE OPERATERJEV SOLARIJEV

ZVD d.d. je s strani Ministrstva za zdravje - Uprave RS za varstvo pred sevanji pooblaščen za izvajanje usposabljanja osebja v solarijih; št. pooblastila: 1234-1/2010-3

Program seminarja:

Skladno z 18. členom Pravilnika o minimalnih sanitarno zdravstvenih pogojih za opravljanje dejavnosti higienske nege in drugih podobnih dejavnosti (Uradni list RS, št.: 104/2009) so na usposabljanju podrobno razložene vsebine o:

- delovanju solarijev,
- UV sevanju,
- bioloških učinkih,
- zdravstvenih tveganjih,
- tipih kože,
- dozah izpostavljenosti.



Z NAMI JE VARNEJE

Kontaktne osebe:

Tom Zickero T: 01 585 51 63 M: 041 674 007
Andraž Tancek T: 01 585 51 96 M: 051 671 809

E: tom.zickero@zvd.si
E: andraz.tancek@zvd.si

ZVD

ZVD Zavod za varstvo pri delu d.d.

Chengdujska cesta 25
1260 Ljubljana Polje
T: 01 585 51 00
F: 01 585 51 01
W: www.zvd.si
E: info@zvd.si

krpo ali vakuumskim sesalnikom, ki je opremljen s filtrom HEPA;

- v prostorih, v katerih delamo z nanomateriali, ni dovoljeno shranjevati hrane ali pijače;
- po delu je potrebno prhanje, delovna obleka vedno ostaja v službi;
- pred jedjo si vedno umijemo roke;
- po delu je treba z mokro krpo očistiti vse delovne površine in jih posesati z vakuumskim sesalnikom s filtrom HEPA;
- posode z nanodelci imamo zaprte v jasno označenih posodah in jih odpiramo le v digestoriju;
- delavci v industrijski proizvodnji nanomaterialov morajo biti celovito zaščiteni z neporoznimi in električno prevodnimi delovnimi oblekami z nadtlakom, celobraznimi maskami in virom čistega zraka za dihanje, z dvojnimi rokavicami; operaterji v proizvodnji morajo biti ločeni (s stekleno steno) od ostalih delov proizvodnje. Tovarna mora biti opremljena z detektorji nanodelcev na vseh ključnih pozicijah, delovna mesta nanotehnologije morajo biti jasno označena in dostop dovoljen le ustrezno seznanjenim in zavarovanim delavcem.

Literatura

Anon. Center for Disease Control. Progress Toward Safe Nanotechnology in the Workplace. Dostopno na: <http://www.cdc.gov/niosh/docs/2007-123/pdfs/2007-123.pdf> (30. 11. 2012).

Babič, A. Varnost nanotehnologije, diplomsko delo UL FFKT, Varstvo pri delu in požarna varnost, Ljubljana 2012.

Brook, R. D., Franklin, B., Cascio, W., Hong, Y., Howard, G., Lipsett, M. et al. Air pollution and cardiovascular disease: a statement for healthcare professionals from the Expert Panel on Population and Prevention Science of the American Heart Association. *Circulation*. 2004; 109(21): 2655–2671.

Cavalcanti, A., Shirinzadeh, B., Freitas, R. A.; Kretlx, L. C. Medical nanorobot Architecture based on Nanobioelectronics. *Recent Patents on nanotechnology* 2007; 1(1): 1–10.

Center for Disease Control. Approaches to Safe Nanotechnology. Dostopno na: <http://www.cdc.gov/niosh/docs/2009-125/pdfs/2009-125.pdf> (30. 11. 2012).

Clarkson, A. J., Buckingham, D. A., Rogers, A. J., Blackman, A. G., Clark, C. R. Nanostructured Ceramics in medical

Devices: Applications and Prospects. 2004, *JOM* 65 (10): 38–43

Donaldson, K., Stone, V., Tran, C. L., Kreyling, W., Borm, P. J. Nanotoxicology. *Occup Environ Med*. 2004b; 61(9): 727–728.

EU-OSHA. Workplace exposure to nanoparticles. Dostopno na: http://osha.europa.eu/en/publications/literature_reviews/workplace_exposure_to_nanoparticles (30. 11. 2012).

European Agency for Safety and Health at Work. Risk perception and risk communication with regard to nanomaterials in the workplace. Dostopno na: http://osha.europa.eu/en/publications/literature_reviews/risk-perception-and-risk-communication-with-regard-to-nanomaterials-in-the-workplace (30. 11. 2012).

European Commission. Industrial application of nanomaterials. Dostopno na: <http://www.zukuenftigetechnologien.de/11.pdf> (30. 11. 2012).

European Commission. Nanotehnologija: Inovacije za jutrišnji svet nanotehnologije. Dostopno na: http://ec.europa.eu/research/industrial_technologies/pdf/nano-brochure/nano_brochure_sl.pdf (30. 11. 2012).

European Parliament. Science and Technology Options Assessment. NanoSafety – Risk Governance of Manufactured Nanoparticles. Dostopno na: [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/divers/join/2012/482685/IPOL-JOIN_DV\(2012\)482685_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/divers/join/2012/482685/IPOL-JOIN_DV(2012)482685_EN.pdf) (30. 11. 2012).

Gold, D. R., Litonjua, A. A., Schwartz, J., Verrier, M., Milstein, R., Larson, A. et al. Cardiovascular vulnerability to particulate pollution [Abstract] *Am J Respir Crit Care Med*. 1998;157: A261.

Gong, H., Jr., Linn, W. S., Clark, K. W., Anderson, K. R., Geller, M. D., Sioutas, C. Respiratory responses to exposures with fine particulates and nitrogen dioxide in the elderly with and without COPD. *Inhal Toxicol*. 2005;17(3): 123–132.

Kreyling, W. G., Semmler, M., Erbe, F., Mayer, P., Takenaka, S., Schulz, H. et al. Translocation of ultrafine insoluble iridium particles from lung epithelium to extrapulmonary organs is size dependent but very low. *J Toxicol Environ Health A*. 2002;65(20): 1513–1530.

Luci, M. Zdravstveni vidiki nanotehnologije – vpliv nanodelcev na zdravje. Seminarska naloga UL MF Medicina dela 2013.

Mirković, B., Turnšek Lah, T., Kos, J. Nanotehnologija pri zdravljenju raka. *Zdrav Vestn*, februar 2010 (79): 146–55.

Nanopremazi – Nanodelci – Nanokompoziti – Nanotehnologija. Dosegljivo na: <http://www.nanosvet>.

com/nanotehnologija/polimeri-nanokompoziti.htm.

Oberdörster, G. Pulmonary effects of inhaled ultrafine particles. *Int Arch Occup Environ Health*. 2001;74(1): 1–8.

Oberdörster, G., Oberdörster, E., Oberdörster, J. Nanotoxicology: an emerging discipline evolving from studies of ultrafine particles. *Environ Health Perspect*. 2005;113: 823–839.

Pope, C. A., III, Burnett, R. T., Thurston, G. D., Thun, M. J., Calle, E. E., Krewski, D. et al. Cardiovascular mortality and long-term exposure to particulate air pollution: epidemiological evidence of general pathophysiological pathways of disease. *Circulation*. 2004;109(1): 71–77.

Remškar, M. (2009). Nanodelci in nanovarnost. Ljubljana: Ministrstvo za zdravje RS. Urad RS za kemikalije. Dosegljivo na: www.kemiskovaren.si (30. 11. 2012).

Remškar, M. (2010). Nevarne pasti nanotehnologije, IJ Stefan, Odsek za fiziko trdne snovi, Ljubljana. Dosegljivo na: http://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:c_nleP95TsJ:www.zrss.si/dokumenti (30. 11. 2012).

Shetty, R. C. Potential pitfalls of nanotechnology in its applications to medicine: immuneincompatibility of nanodevices. *Med Hypotheses* 2005; 65 (5): 998–9.

Stoeger, T., Reinhard, C., Takenaka, S., Schroepel, A., Karg, E., Ritter, B. et al. Instillation of six different ultrafine carbon particles indicates a surface area threshold dose for acute lung inflammation in mice. *Environ Health Perspect*. 2006;114: 328–333.

Tinkle, S. S., Antonini, J. M., Rich, B. A., Roberts, J. R., Salmen, R., DePree et al. Skin as a route of exposure and sensitization in chronic beryllium disease. *Environ Health Perspect*. 2003;111: 1202–1208.

OPTIČNO SEVANJE

in Uredba o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti umetnim optičnim sevanjem (Uradni list RS, št.: 34/2010)

Ponujamo vam paket storitev za obvladovanje optičnega sevanja:

- ocena nevarnosti za posamezna delovna mesta, kjer so prisotni viri umetnih optičnih sevanj,
- izvedba meritev optičnega sevanja na delovnih mestih, kjer je to smiselno in potrebno,
- označevanja naprav z opozorilnimi znaki za nevarnost optičnega sevanja (SIST EN 12198),
- izdelava oz. revizija ocene tveganja na delovnem mestu z opredeljenim tveganjem zaradi prisotnosti umetnih optičnih sevanj,
- izvedba strokovnega usposabljanja za delavce, ki delajo na delovnih mestih v prisotnosti umetnih virov optičnega sevanja,
- preventivni in periodični zdravstveni pregledi za delavce, ki delajo v okolju s povečanim tveganjem.

Kontaktne osebe:

Tom Zickero T: 01 585 51 63 M: 041 674 007
Andraž Tancek T: 01 585 51 96 M: 051 671 809

ZVD

ZVD Zavod za varstvo pri delu d.d.

Chengdujska cesta 25
1260 Ljubljana Polje
T: 01 585 51 00
F: 01 585 51 01
W: www.zvd.si
E: info@zvd.si



Z NAMI JE VARNEJE

E: tom.zickero@zvd.si
E: andraz.tancek@zvd.si