

# Nanočestice i utjecaj na zdravlje

---

**Kuzmec, Katarina**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2017**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Chemical Engineering and Technology / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:149:787511>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-24**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Chemical Engineering and Technology University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE  
SVEUČILIŠNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ

KATARINA KUZMEC

# ZAVRŠNI RAD

Zagreb, rujan 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE  
SVEUČILIŠNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ

KATARINA KUZMEC

# NANOČESTICE I UTJECAJ NA ZDRAVLJE

ZAVRŠNI RAD

Voditelj rada: prof. dr. sc. Mirela Leskovic

Članovi ispitnog povjerenstva:

Prof. dr. sc. Mirela Leskovic, Fakultet kemijskog inženjerstva  
i tehnologije, Sveučilišta u Zagrebu

Dr. sc. Zrinka Buhin Šturlić, poslijedoktorand, Fakultet kemijskog inženjerstva  
i tehnologije, Sveučilišta u Zagrebu

Dr. sc. Vesna Očelić Bulatović, Fakultet kemijskog inženjerstva i  
tehnologije, Sveučilišta u Zagrebu

Zagreb, rujan 2017.

*Zahvaljujem se svojoj mentorici, prof. dr. sc. Mireli Leskovic, na njezinom stručnom vodstvu, konstruktivnim savjetima i nezamjenjivoj pomoći tijekom izrade ovog rada, te svojoj obitelji i prijateljima na nesebičnoj podršci tijekom školovanja.*

## SAŽETAK

Nanotehnologija je grana inženjerstva koja se bavi proizvodnjom jednodimenzijskih predmeta manjih od 100 nm. Nanomaterijali su materijali s vanjskim dimenzijama ili unutarnjim strukturama mjereni u nanometrima te imaju različita svojstva i ponašanje u odnosu na grublje materijale sličnog kemijskog sastava. Nanočestice su dio nanomaterijala odnosno čestice promjera između 1 i 100 nm. Upravo zbog svoje male veličine, mogu predstavljati prijetnju ljudskom zdravlju i okolišu. Pod prijetnjama, misli se najprije na toksičnost nanočestica, a time se bavi nanotoksikologija. To je znanost o toksičnosti nanomaterijala te spada i u podgranu bionanoznanosti koja se bavi proučavanjem i primjenom toksičnosti istih. Cilj ovog rada je uvidjeti moguće štetne utjecaje nanočestica na ljudsko zdravlje i okoliš te kako spriječiti neželjene posljedice.

Ključne riječi: nanotehnologija, nanomaterijali, nanočestice, nanotoksikologija, zdravlje

## ABSTRACT

Nanotechnology is a branch of engineering for fabrication one-dimensional objects smaller than 100 nm. Nanomaterials are materials with external dimensions or internal structures measured in nanometers and have different properties and behavior compared to bigger materials of a similar chemical composition. Nanoparticles are a part of nanomaterials or particles having a diameter of between 1 and 100 nm. Because of their small size, they can be a threat to human health and the environment. The term threat means the toxicity of nanoparticles, thus dealing with nanotoxicology. That is a science of toxicity of nanomaterials and is also branch of bionanoscience which deals with the study and application of toxicity of them. The aim of this paper is to find possible adverse impacts of nanoparticles on human health and the environment and how to prevent unwanted consequences.

Key words: nanotechnology, nanomaterials, nanoparticles, nanotoxicology, health

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2. OPĆI DIO.....</b>	<b>2</b>
<b>2.1 Povijest nanotehnologije .....</b>	<b>2</b>
<b>2.2 Svojstva i vrste nanočestica .....</b>	<b>3</b>
<b>2.3 Primjena nanočestica .....</b>	<b>7</b>
<b>2.3.1 Svakodnevna upotreba.....</b>	<b>7</b>
<b>2.3.2 Elektronika i informatika .....</b>	<b>8</b>
<b>2.3.3 Medicina i liječenje.....</b>	<b>9</b>
<b>2.3.4 Energetika .....</b>	<b>9</b>
<b>2.3.5 Okoliš.....</b>	<b>10</b>
<b>2.3.6 Budućnost nanotehnologije.....</b>	<b>11</b>
<b>3. PREGLEDNI DIO .....</b>	<b>13</b>
<b>3.1 Utjecaj nanočestica na okoliš.....</b>	<b>13</b>
<b>3.2 Utjecaj nanočestica na ljudsko zdravlje .....</b>	<b>15</b>
<b>3.2.1 Nanotoksikologija .....</b>	<b>15</b>
<b>3.2.2 Metode procjene zdravstvenih posljedica .....</b>	<b>19</b>
<b>3.2.3 Putevi unosa .....</b>	<b>20</b>
<b>3.2.4 Utjecaj vrste nanočestica na ljudsko zdravlje.....</b>	<b>23</b>
<b>3.3 Izloženost radnika nanomaterijalima .....</b>	<b>32</b>
<b>4. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>36</b>
<b>5. LITERATURA .....</b>	<b>37</b>

## 1. UVOD

Ubrzanim razvojem modernog doba, mnoge tehnologije preselile su se iz istraživačkih laboratorija u industriju i svakodnevni život. Jedna od njih je i nanotehnologija, grana inženjerstva koja se bavi proizvodnjom jednodimenzijskih predmeta manjih od 100 nm [1]. Nanomaterijali čine temeljni instrument nanotehnologije, a pod tim pojmom smatraju se materijali s vanjskim dimenzijama ili unutarnjim strukturama mjereni u nanometrima te imaju različita svojstva i ponašanje u odnosu na grublje materijale sličnog kemijskog sastava [2,3]. Glavni problem korištenja nanomaterijala su njegovi sastavni dijelovi – nanočestice. Zbog svoje male veličine od 1 do 100 nm, mogu predstavljati prijetnju ljudskom zdravlju i okolišu. Kada se veličina neke čestice smanji na nanorazinu, njena osnovna fizikalna i kemijska svojstva, kao što su: talište, fluorescencija, električna vodljivost, magnetska permeabilnost i kemijska reaktivnost, mogu se promijeniti te rezultirati u potpunosti novim svojstvima [4]. Zbog svega navedenog, potrebno je provesti brojna istraživanja vezana uz utjecaj tih nanočestica na ljudsko zdravlje kao i na okoliš, kako bi se znalo koje točno opasnosti one kriju te kako spriječiti neželjene posljedice.



## 2. OPĆI DIO

### 2.1 Povijest nanotehnologije

Iako se nanočestice povezuju s modernom znanosti, poznate su i korištene od davnina. Rani primjeri primjene nanomaterijala vežu se uz obrtnike, koji su koristili visoke temperature da bi dobili materijale s novim karakteristikama. Poznati primjer je Likurgov pehar iz 4. stoljeća [5]. Koloidno zlato i srebro u staklu omogućuju da izgleda neprozirno zeleno kada svjetlo dolazi izvana, ali je prozirne crvene boje kada svjetlost sija iz unutrašnjosti pehara. Vitraj prozori na europskim katedralama iz srednjeg vijeka svoje bogate boje duguju nanočesticama zlatnog klorida i ostalih metalnih oksida i klorida.



Slika 1. Likurgov pehar [5]

Nanotehnologiji kakvom je danas poznajemo prethodila su mnoga otkrića: Brownovo gibanje, transmisijski i pretražni elektronski mikroskop, pretražni tunelirajući mikroskop, otkriće Buckminster fullerena, karbonskih nanocijevi... [5]

Škotski botaničar Brown je jedan od prvih znanstvenika koji je pratio gibanja malih čestica. Godine 1827. promatrao je neuređeno gibanje čestica cvjetne peludi u tekućini/suspenciji (tzv. Brownovo gibanje). Prvi „rol“ film za kameru koji se sastoji od sloja AgBr nanočestica izradio je George Eastman 1884. godine, a za daljnji napredak u istraživanju nanočestica iznimno je važno bilo otkriće elektronskog mikroskopa. Prvi transmisijski elektronski mikroskop konstruirao je njemački fizičar Ernst Ruska 1931. godine, a prvi pretražni elektronski mikroskop nekoliko godina poslije Max Knoll [6].

Osamdesete godine dvadesetog stoljeća donijele su otkrića pretražnog tunelirajućeg mikroskopa, fullerena, mikroskopa atomske sile, pa i prvu knjigu o nanotehnologiji (Eric K. Drexler „Engines of Creation“, 1986.) koji su bili ključni za daljnji napredak nanotehnologije i njenu praktičnu primjenu. 1990-ih godina počele su djelovati prve nanotehnologijske tvrtke, a

prvi proizvodi bazirani na nanotehnologiji na tržištu se počinju pojavljivati početkom 21. stoljeća.

## 2.2 Svojstva i vrste nanočestica

Kada se veličina neke čestice smanji na nanorazinu, njena osnovna fizikalna i kemijska svojstva mogu se promijeniti te rezultirati u potpunosti novim svojstvima. Na primjer, čestice titanijevog dioksida manje od 50 nm gube bijelu boju i postaju prozirne. Neke druge vrste čestica koje su poznate po električki izolacijskim svojstvima mogu postati vodljive na nanorazini ili se topljivost čestica može povećati proporcionalno smanjenju veličine [4]. Ponašanje i svojstva čestica na nanorazini uvjetovana su tzv. kvantnim učinkom. Svojstva čestica na nanorazini kao što su talište, fluorescencija, električna vodljivost, magnetska permeabilnost i kemijska reaktivnost mijenjaju se kao funkcija veličine čestice. Osim toga, nanomaterijali imaju daleko veću površinu od iste mase materijala na višim razinama. Jedna od prednosti povećane površine je i povećana reaktivnost, čime nanomaterijali čine bolje katalizatore. Nadalje, upravo zbog veće površine, nanostrukturirane membrane su bolji kandidati za obradu vode i desalinaciju [7].

Ponašanje nanočestica je slično ponašanju pare ili plina. Difuzija zrakom je glavna metoda prijenosa čestica manjih od 100 nm, a i njihovo raspršivanje i prijenos je mnogo brži nego kod većih čestica, pa se zbog toga čestice nanometarskih veličina često nalaze jako udaljene od mjesta njihova nastanka.

Čestice suspendirane u aerosolima zbog difuzije i Brownovog gibanja podvrgnute su mnogobrojnim sudarima koji dovode do njihove aglomeracije ili koagulacije. Koagulacija vrlo malih čestica dovodi do stvaranja većih čestica pri nižim koncentracijama, čime se česticama povećava promjer. Materijali sličnog kemijskog sastava, ali različite veličine mogu imati različit utjecaj na ljudsko zdravlje. Osnovna svojstva koja bi se trebala uključiti u sva toksikološka istraživanja, da bi ona bila relevantna, su: veličina čestica, raspodjela čestica, specifična površina, kristalna struktura, površinska reaktivnost, površinski sastav i čistoća [4].

Još uvijek traju rasprave, kako na razini Organizacije za ekonomsku suradnju i razvoj (eng. *Organisation for Economic Cooperation and Development, OECD*) tako i na razini Međunarodne organizacije za standardizaciju (eng. *International Organisation for*

*Standardization, ISO*) razini o karakteristikama nanočestica koje je potrebno promatrati i mjeriti. Glavni parametri koje treba pratiti s obzirom na sigurnost su sljedeća fizička i kemijska svojstva:

- Veličina, oblik, specifična površina
- Stanje aglomeracije/agregacije
- Raspodjela veličine čestica
- Površinska morfologija/topografija
- Struktura
- Topljivost

Kemijska svojstva:

- Strukturna formula/molekulna struktura
- Sastav nanomaterijala (uključujući stupanj čistoće, poznate nečistoće ili aditivi)
- Identitet faze
- Kemijska površina (sastav, naboj, reaktivna mjesta, fizikalna struktura, fotokatalitička svojstva, zeta potencijal)
- Hidrofilnost/lipofilnost

Nanočestice se mogu podijeliti u 4 veće skupine: metalne nanočestice, nanočestice oksida, sulfidne nanočestice i ostale nanočestice [8].

### **1. Nanočestice metala**

U ovu skupinu nanočestica ubrajaju se nanočestice zlata, srebra, legura te ostalih metala. Nanočestice zlata imaju bogatu povijest primjene koja datira još iz vremena starog Rima kada su korištene u dekorativne svrhe, a već su se prije nekoliko stoljeća koristile za liječenje raznih bolesti. Nanočestice srebra pokazuju veliku antimikrobnu djelotvornost protiv gram pozitivnih i gram negativnih bakterija te visokootpornih štapićastih bakterija. Nanočestice različitih legura se sve više primjenjuju u katalizi, elektronici, kao optički materijali te premazi. Nanočestice teških metala mogu se sintetizirati pomoću mikroorganizama, što je znatno povoljnije za okoliš nego sinteza kemijskim putem, ali su onda te čestice štetne za same mikroorganizme.

## **2. Nanočestice oksida**

Mogu se podijeliti na one koje imaju magnetni moment i one koje ga nemaju. Magnetne nanočestice su relativno nova skupina materijala koje zbog svoje jedinstvene mikrostrukture i određenih svojstava poput paramagnetičnosti i velike privlačne sile, pokazuju mogućnost primjene u biomedicini. Magnetne nanočestice kao što su npr.  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  i  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  su poznate kao biokompatibilne. U posljednje vrijeme aktivno se provode istraživanja ciljanog liječenja raka (magnetska hipertermija), usmjerene dostave lijeka, genske terapije, DNA analize i snimanja magnetskom rezonancijom. Nemagnetične nanočestice oksida koje se proučavaju u posljednje vrijeme uključuju  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Sb}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{BaTiO}_3$  i  $\text{ZrO}_2$ .

## **3. Sulfidne nanočestice**

Ova skupina nanočestica počela je privlačiti veliku pažnju zbog svojih zanimljivih i novih elektronskih i optičkih svojstava. Pokazuju mogućnost primjene kao fluorescentni biomarkeri i sredstva za obilježavanje stanica.

## **4. Ostale nanočestice**

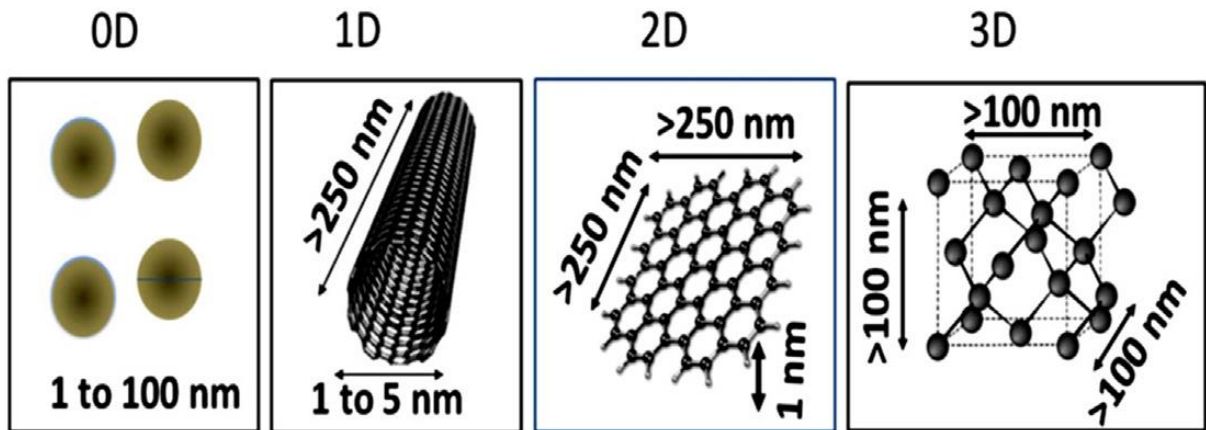
Ovoj skupini pripadaju sve ostale nanočestice, od kojih veliki broj njih može biti sintetiziran i biološkim putem [8].

Prema podrijetlu, nanočestice se mogu podijeliti na namjerno načinjene (tehničke, planirane) koje su stvorene radi iskorištavanja njihovih karakteristika svojstvenih nanorazini i slučajne (nenamjerno načinjene) koje mogu potjecati iz antropogenih (izgaranje goriva, rudarstvo) i prirodnih izvora (šumski požari, erupcije vulkana, munje itd.). Neke nanočestice mogu pokazivati pripadnost i jednoj i drugoj skupini (npr. fuleren) [9].

Različite nanostrukture mogu imati različit utjecaj na zdravlje ljudi i okoliš, pa prema tome se mogu promatrati dvije skupine. Prvoj skupini pripadaju tzv. fiksne nanočestice. To su nanokompoziti, nanostrukturirane površine i nanokomponente kod kojih su nanočestice uključene u materijal. U drugu skupinu se ubrajaju slobodne nanočestice koje se mogu pojaviti kao samostalne prilikom primjene ili u određenim fazama proizvodnje. Pritom postoji opće mišljenje da veću pažnju treba posvetiti slobodnim nanočesticama kao potencijalno opasnijima [9].

Ako se promatra dimenzija nanočestica, onda one postoje kao nulto-dimenzionalne (0D), jedno-dimenzionalne (1D), dvodimenzionalne (2D) i trodimenzionalne (3D) čestice. 0D nanočestice, kao što su nanosfere i nanoklasti, su manje od 100 nm na svim dimenzijama (Slika 2). 1D nanočestice, kao što su nanocijevi, nanofori i nanovlakna su manje od 100 nm u

najmanje jednoj dimenziji. 2D nanočestice su filmovi (grafen, molibden disulfid) debljine manje od 100 nm. 3D nanomaterijali su veći od 100 nm u svim dimenzijama [10].



Slika 2. Vrste nanočestica prema dimenziji: 0D, 1D, 2D i 3D [10]

## **2.3 Primjena nanočestica**

Nakon više od 20 godina istraživanja na području nanotehnologije pojavile su se neke očekivane i neočekivane primjene koje su od velike koristi ljudima. Omogućeno je prilagođavanje strukture materijala na izrazito malim razinama, što uvelike može promijeniti svojstva materijala i povećati opseg njihovog korištenja. Mnoga svojstva koja je moguće prilagođavati uključuju čvrstoću, izdržljivost, reaktivnost, poroznost, električnu vodljivost i sl. Nanotehnologija je omogućila poboljšanje mnogih područja u industriji i tehnologiji: računarstvo, medicina, tehnologija, energija, transport, okoliš, hrana i sl., a taj popis s vremenom sve brže raste. U nastavku će biti spomenute samo neke od primjena nanotehnologije.

### **2.3.1 Svakodnevna upotreba**

Trenutno se na tržištu nalaze mnogobrojni proizvodi za svakodnevnu upotrebu koji se temelje na materijalima i procesima na nanorazini.

- Aditivi ili površinski tretmani na tkaninama koji omogućavaju manji gubitak topline tijela ili manja gužvanja odjeće, obojenja ili rast bakterija.
- Zahvaljujući prozirnim filmovima na nanorazini koji se navlače na stakla naočala, ekrane monitora i kamere, smanjeno je skupljanje nečistoća na njima, mogu postati vodootporni, nepropusni za infracrveno ili ultraljubičasto svjetlo, zamagljenje, mikroorganizme, ogrebotine i sl.
- U „pametne tkanine“ se ugrađuju senzori i elektronika na nanorazini kako bi se kroz odjeću moglo pratiti zdravlje tijela, pokreti, bolje prikupljati sunčevu energiju.
- Smanjenje mase automobila, kamiona, brodova, zrakoplova i svemirskih letjelica dovodi do značajne uštede goriva. Nanočestični aditivi u polimernim kompozitnim materijalima se koriste za izradu bejzbol palica, teniskih reketi, bicikla, kaciga za motocikle, automobilskih dijelova, i sl. čineći ih laganim, izdržljivim i elastičnim.
- Nanobiotehnologija enzima se bavi istraživanjima koja imaju za cilj pretvoriti celulozu iz drvnih sječki, kukuruznih stabljika, višegodišnjih trava i sl. u etanol za gorivo. Celulozni nanomaterijali su pokazali potencijalne primjene u elektronici, građevinarstvu, ambalaži, hrani, energiji, zdravstvu, automobilskoj industriji te u

vojne svrhe. Predviđa se da će celulozni nanomaterijali biti jeftiniji od mnogih drugih nanomaterijala te da će, među mnogobrojnim ostalim karakteristikama, pokazivati dobar omjer čvrstoće i težine.

- Nanočestice se sve više koriste u katalizi za ubrzavanje kemijskih reakcija. Na taj način se smanjuje količina katalizatora potrebnog za dobivanje željenih rezultata, štedi novac i smanjuje količina onečišćujućih tvari u okolišu. To je posebno značajno za industriju prerade nafte i automobilsku industriju.
- Vrhunski proizvodi za kućanstvo se izrađuju od nanomaterijala: sredstva za uklanjanje mrlja i odmašćivanje, pročišćivači zraka i filtri, antibakterijska sredstva, specijalizirane boje sa svojstvom samočišćenja koje ne dozvoljavaju prljanje prašine i ostalih prljavština.
- Nanomaterijali se također sve više koriste u proizvodima za osobnu higijenu. Nanočestice titanijeva dioksida i cinkovog oksida se već godinama koriste u kremama za sunčanje kao zaštita od ultraljubičastog zračenja, a da pritom ne ostavljaju nikakve tragove na koži [11].

### **2.3.2 Elektronika i informatika**

- Tranzistori, osnovne sklopke koji čine moderna računala, su postali sve manji i manji zahvaljujući nanotehnologiji. Na prijelazu između 20. i 21. stoljeća tipični tranzistor je bio veličine 130 do 250 nanometara. Intel je 2014. godine izradio prvi 14-nanometraski tranzistor, IBM je 2015. načinio prvi 7-nanometarski tranzistor, a Lawrence Berkeley National Lab je već 2016. objavio prvi 1-nanometarski tranzistor. Manji, brži i bolji tranzistori znače da bi uskoro čitava memorija računala mogla biti pohranjena na jedan mali čip.
- Već neko vrijeme su na tržištu monitori i televizori koji se koriste kvantnim točkicama za postizanje visoke razlučivosti, što im omogućuje bolju sliku, življe boje i bolju energetska učinkovitost.
- Ostali računalni i elektronički proizvodi uključuju flash memorijske čipove za pametne telefone i diskove, ultrazvučna slušna pomagala, antibakterijski i antimikrobni premazi na klavijaturama i kućištima mobitela, fleksibilni zasloni za čitače e-knjiga itd. [11].

### 2.3.3 Medicina i liječenje

- Nanočestice zlata se već koriste kao sonde za otkrivanje ciljanih sekvencija nukleinskih kiselina, a također se klinički ispituju kao potencijalni materijal za tretiranje raka i drugih bolesti
- Bolje slike i dijagnostički alati omogućeni nanotehnologijom otvaraju put za ranu dijagnozu, više individualiziranih mogućnosti liječenja i bolju terapijsku stopu uspjeha.
- Nanotehnologija se proučava i za dijagnozu i liječenje ateroskleroze, odnosno nakupljanja plaka u arterijama. U jednom je istraživanju stvorena nanočestica koja oponaša "dobar" kolesterol u tijelu, poznat kao HDL (lipoprotein visoke gustoće), koji pomaže smanjiti plak.
- Znanstvenici i istraživači rade na brojnim terapeutima koji imaju sposobnost da nanočestice enkapsuliraju ili na neki drugi način pomognu u isporuci lijekova izravno na stanice raka te na taj način smanje rizik od oštećenja zdravog tkiva. Na taj način bi se promijenio način na koji se dosada liječio rak i dramatično smanjio toksični učinak kemoterapije.
- Nanomedicinska istraživanja istražuju načine na koje nanotehnologija može poboljšati cjepiva, uključujući isporuku cjepiva bez upotrebe igala [11].

### 2.3.4 Energetika

Da bi se maksimalno zaštitio okoliš, a pritom zadovoljili sve veći zahtjevi energije u svijetu, razvijaju se novi, čisti, obnovljivi izvori energije. Nanotehnologija se primjenjuje u tradicionalnim izvorima energije kako bi se smanjila potrošnja energije, a samim tim i opterećenje na okoliš.

- Nanomaterijali omogućuju bolju katalizu čime se poboljšava učinkovitost proizvodnje goriva iz sirove nafte. Osim toga, zbog smanjenog trenja i veće učinkovitosti smanjuje se i potrošnja goriva u vozilima i elektranama.



- Nanotehnologija se primjenjuje pri ekstrakciji nafte i plina kroz upotrebu nanotehnologijskih ventila za podizanje plina u *offshore* operacijama ili uporabu nanočestica za otkrivanje mikroskopskih lomova naftovoda.
- Radi se na istraživanjima "čišćenja" ugljikovih nanocjevčica i membrana za odvajanje ugljikovog dioksida iz ispušnih plinova.
- Nanomaterijali se mogu ugraditi u solarne ploče kako bi se sunčeva svjetlost učinkovitije pretvorila u električnu energiju. Takve solarne ćelije mogu biti jeftinije za proizvodnju i lakše se mogu instalirati, budući da mogu koristiti proizvodne postupke slične printanju i mogu biti izrađene u obliku fleksibilnih valjaka umjesto ploča čime će postati dostupnije široj javnosti.
- Nanotehnologija se već koristi za razvoj mnogih novih vrsta baterija koje se brže pune, učinkovitije su, lakše, imaju veću snagu i dulje traju.
- Lopatice vjetrenjača se izrađuju od ugljikovih nanocijevi koje sadrže epokside. Takve lopatice su duže, jače i lakše od ostalih materijala pa se time povećava dobitak električne energije [11].

### 2.3.5 Okoliš

Osim mnogobrojnih načina na koje nanotehnologija može pomoći u poboljšanju energetske učinkovitosti, postoji i mnogo načina na koje može pomoći otkriti i smanjiti onečišćenja okoliša:

- Bržom i jeftinom procjenom te novim metodama pročišćavanja vode, nanotehnologija bi mogla pridonijeti zadovoljavanju svjetskih potreba za pitkom vodom.
- Razvijena je tankoslojna membrana s nanoporama za učinkovitu desalinizaciju. Ova molibdenska disulfidna membrana ( $\text{MoS}_2$ ) učinkovitija je dva do pet puta više nego trenutni konvencionalni filtri.
- Istražuju se nove metode i nanomaterijali kako bi se kemijskim reakcijama pročistile industrijske vode koje dospijevaju u podzemne vodotokove. Na taj način bi se smanjili troškovi pročišćavanja vode jer ne bi bilo potrebe za pumpanjem vode iz podzemlja.
- Razvijen je „papirnati ručnik“ od sitnih nanovlakana kalijeva mangan oksida koji ima sposobnost da upije dvadeset puta veću masu ulja od svoje mase.

- Nanotehnologija je omogućila senzore koji mogu otkriti i identificirati kemijske ili biološke agense u zraku i tlu s mnogo većom preciznošću nego prije [11].

### **2.3.6 Budućnost nanotehnologije**

U skoroj budućnosti se očekuje veliki napredak nanotehnologije koji će znatno proširiti spektar primjene. Sve se više proizvode dijelovi za automobile od polimernih nanokompozita, pojavljuju se baterije na punjenje sa većom snagom, gume koje imaju veći otpor kotrljanju, senzori i elektronski dijelovi veće učinkovitosti, a niže cijene, tzv. pametni solarni paneli s tankim filmom, aditivi za goriva i poboljšani katalizatori za ispušni sustav automobila. Svi ovi novi sustavi donose poboljšanja i inovacije dosadašnjim tradicionalnim materijalima i njihovim primjenama. Senzori i uređaji ove moderne tehnologije bi u skoroj budućnosti mogli pružiti siguran, kontinuiran i jeftin monitoring strukturalne cjelokupnosti mostova, tunela, tračnica, parkirališta i sl., a takvi komunikacijski uređaji bi omogućili bolji transport i promet čime bi se moglo prilagoditi putovanje i promet svih putnika i vozača na cesti izbjegavajući sudare, kolone, gužve i sl. [11]

Tablica 1. Primjeri primjene nanotehnologije [12]

<i>PODRUČJE</i>	<i>PRIMJENA</i>
<i>Vozila</i>	Lagana konstrukcija, katalizatori, senzori, gume, boja, vjetrobran i premazi karoserije
<i>Građevina</i>	Materijali, izolacija, usporivači gorenja, površinski premazi, malter
<i>Elektronika</i>	Zasloni, memorija podataka, optička vlakna, laserske diode, filteri, vodljivi premazi, antistatički premazi, tranzistori
<i>Inženjerstvo</i>	Zaštitne prevlake za alate i strojeve, ležajevi bez maziva
<i>Hrana i piće</i>	Ambalaža, senzori za rok trajanja, aditivi, bistrenje sokova
<i>Medicina</i>	Sustavi za isporuku lijekova, brzi sustavi za testiranja, proteze i implantati, antimikrobni agensi, dijagnostički sustavi unutar tijela
<i>Tkanine</i>	Premazi za površine, „pametna odjeća“ (protiv gužvanja, otporna na mrlje, sa kontrolom temperature)
<i>Kemija</i>	Punila za boje, kompozitni materijali, adhezivi, magnetične tekućine
<i>Kozmetika</i>	Kreme za sunčanje, ruževi, kreme za kožu, paste za zube
<i>Energija</i>	Osvjetljenje, gorive ćelije, baterije, solarne ćelije, kondenzatori
<i>Okoliš</i>	Okolišni monitoring, remedijacija tla i podzemne vode, senzori za izlaganje otrovima, katalizatori za goriva, zelena kemija
<i>Domaćinstvo</i>	Keramičke prevlake za pegle, odstranjivači mrlja, sredstva za čišćenje stakla, keramike, metala
<i>Sport</i>	Vosak za skije, teniske reketi, golf palice, teniske loptice, premazi protiv prljavštine za plovila, prevlake protiv magljenja za naočale
<i>Vojska</i>	Neutralizacijski materijali za kemijsko oružje, zaštita od metaka

### 3. PREGLEDNI DIO

#### 3.1 Utjecaj nanočestica na okoliš

Utjecaj nanomaterijala na okoliš i njihovo ponašanje u okolišu ovisi o vrsti, obliku i fizikalno-kemijskim svojstvima dotičnog nanomaterijala kao i o prijemnom okolišu. Na prijenos nanomaterijala i distribuciju u okolišu utječu brojni čimbenici kao što su Brownovo gibanje, inercija, gravitacija, toplinski utjecaji, pH, ionizacija i prisutnost/odsutnost prirodne organske tvari. Sadašnje znanje ukazuje na to da najvjerojatnije postoje nanomaterijali povezani sa sedimentima i tlima u okolišu. Međutim, slobodni raspršeni oblici materijala su od posebne važnosti. Kako bi se procijenila moguća prisutnost slobodnih nanomaterijala u okolišu, potrebno je poboljšati znanje o scenarijima oslobađanja, kao i znanje o scenarijima izloženosti u kojima se mogu naći i različitim procesima koji djeluju na nanomaterijale u okolišu. Izloženost okoliša i čovjeka nanočesticama ponajviše ovisi o njihovoj koncentraciji. Upravo uzorkovanje i količina doze prilikom ispitivanja i procjene izloženosti predstavljaju veliki problem. Još jedan od nedostataka sigurne procjene utjecaja nanočestica je što se većina *in vitro* i *in vivo* studija odnosi na kratkoročna izlaganja nanočesticama, a utjecaj može biti veći prilikom dugoročnog izlaganja nanočesticama.

Nanočestice u okoliš mogu dospjeti i nenamjerno. Proces sinteze nanočestica često uključuju mnoge procese poput miješanja, centrifugiranja i filtracije da bi se uklonile nečistoće i neizreagirani prekursori. Procjenjuje se da će oko 0-2% nanočestica dospjeti u okoliš tijekom proizvodnje. Otpadna voda od ovih procesa može biti ispuštena izravno u prirodne sustave i praškaste nanočestice mogu dospjeti u zrak kroz otvore. Neke druge aktivnosti, poput kontrole uzoraka, curenja iz napukle ambalaže ili nesreće prilikom transporta također mogu uzrokovati nenamjerno ispuštanje čestica [13].

Kako bi se razvilo potpuno razumijevanje potencijalnih rizika koje predstavljaju nanomaterijali, potrebna su ispitivanja njihovog prometa u okolišu i sudbine u zraku, tlu i vodi. Iako trenutni nedostatak kvantitativnih podataka o izloženosti sprječava naknadno predviđanje sudbine okoliša, a time i koncentraciju, baza znanja na ovom području i dalje raste i brzo se razvija, a dosta se razmatra i ekstrapolacija dokaza iz laboratorijskih studija i znanja dobivenih od industrijski proizvedenih kemikalija.

Znanost o aerosolima na kojoj se temelji većina znanja o nanočesticama u zraku je dobro utemeljeno i dokumentirano znanstveno polje. Međutim, postoje neka glavna pitanja koja treba riješiti kad se govori o ponašanju, prijenosu i sudbini nanočestica koje se prenose zrakom. Na primjer, razvijanje metoda za precizno uzorkovanje ili praćenje nanomaterijala u zraku, razjašnjenje učinka različitih morfoloških čestica (nanočestice i njihovi aglomerati) i prevladavanje pitanja razlikovanja nanočestica i nekih pozadinskih događaja u zraku [14]. Sudbina proizvedenih nanočestica u zraku je određena s tri glavna faktora: (1) vrijeme u kojem nanočestice ostaju u zraku, (2) njihova interakcija s drugim česticama ili molekulama u atmosferi i (3) udaljenost koju mogu prijeći u zraku. Općenito se smatra da manje čestice ( $d < 100$  nm) imaju kraće vrijeme zadržavanja u zraku, za razliku od čestica srednje veličine ( $100 \text{ nm} < d < 200$  nm), jer brže aglomeriraju i potom se talože na tlo. Mnoge nanočestice su fotoaktivne, ali još uvijek nije poznato jesu li osjetljive na fotodegradaciju u atmosferi [12].

Aglomeracija je proces kojim se čestice "koaguliraju" ili "drže zajedno" kako bi formirale veća tijela (iako se i dalje mogu nalaziti na nanoskali). U osnovi je nusproizvod višestrukih sudara čestica tijekom difuzije. Stopa aglomeracije prvenstveno je regulirana mobilnošću čestica i koncentracijom, od kojih se oboje povećavaju kako se veličina čestica smanjuje. Dakle, nanočestice "aerosolizirane" nastoje brzo aglomerirati, čak i pri niskoj koncentraciji mase. Dakle, praćenje i mjerenje koncentracije nanočestičnih dijelova u zraku vrlo je teško, osim ako se mjerenja ne poduzimaju blizu emisije izvora.

Općenito se očekuje da će raspršene nanočestice u vodi djelovati u skladu s dobro opisanim i shvaćenim fenomenima koloidne znanosti te da će koloidne suspenzije nanomaterijala biti nestabilne. Na primjer, nakon sudara, čestice se mogu međusobno približiti dovoljno blizu slabim Van der Waalsovima silama koje postanu dominantnije od odbojnih elektrostatskih sila i steričkih smetnji. Slijedom toga, čestice mogu prijanjati jedna na drugu, a zatim se istaložiti zbog gravitacije. U skladu s tim, pokazalo se da suspenzije raspršenih nanomaterijala mogu biti stabilne samo u uskom rasponu dobro definiranih okolišnih uvjeta.

Na nanočestice i njihovu sudbinu mogu utjecati čimbenici poput pH, ionske jakosti i prisutnosti prirodne organske tvari nakon puštanja u vodu. U morskoj vodi koja ima visok pH i ionsku jakost, električni dvostruki slojevi koloidnih čestica mnogo su manji nego u slatkoj vodi, što omogućuje međusobno približavanje čestica, proces koji obično dovodi do povećane

agregacije. Površinska svojstva nanomaterijala su vrlo važna za njihovo ponašanje, a time i za njihovu pokretljivost u vodenim i zemljanim sustavima.

Unutar tla i sedimentnih sustava očekuje se da će se nanomaterijali pridržavati krutih tvari. Stoga su potrebna temeljna znanja o ponašanju određenih nanomaterijala u tlu te je potrebno ne samo procjenjivati njihov potencijalni utjecaj na okoliš nego i razviti nanomaterijale posebno usmjerene na primjenu u tlu, kao što je primjerice za sanaciju onečišćenja [14].

## **3.2 Utjecaj nanočestica na ljudsko zdravlje**

### **3.2.1 Nanotoksikologija**

Nanotoksikologija je znanost o toksičnosti nanomaterijala te spada u podgranu bionanoznanosti koja se bavi proučavanjem i primjenom toksičnosti nanomaterijala. Nanomaterijali, čak i oni sačinjeni od inertnih materijala (npr. zlato), postaju iznimno aktivni na nanometarskim veličinama. Nanotoksikološka proučavanja namijenjena su otkrivanju jesu li i u kojoj mjeri nanomaterijali prijetnja za okoliš ili ljude [3].

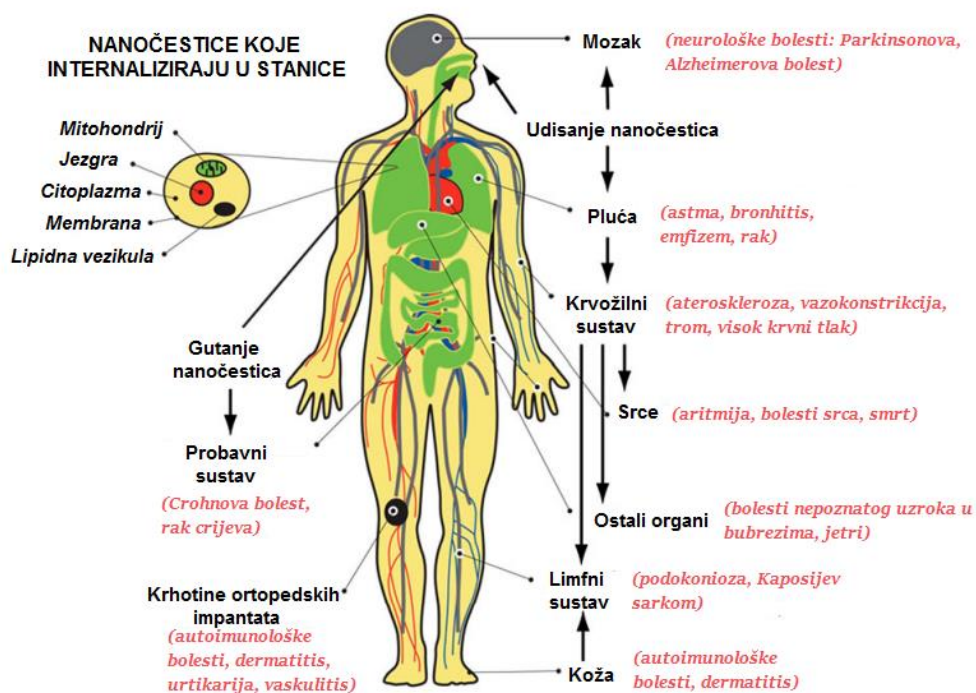
Nanotoksikologija je podznanost toksikologije čestica. Odnosi se na toksikologiju nanočestica (čestice promjera manjeg od 100 nm) za koje se vjeruje da imaju neuobičajen toksični učinak, koji se ne pojavljuje kod većih čestica. Nanočestice se mogu podijeliti na one nastale izgaranjem (čađa), na proizvedene nanočestice (npr. karbonske nanocijevi) i prirodno nastale iz vulkanskih erupcija, atmosferskih reakcija, itd. Uobičajene nanočestice koje su predmet proučavanja su titan dioksid, aluminij oksid, cink oksid, čađa i karbonske nanocijevi te „nano-C<sub>60</sub>“. Nanočestice imaju mnogo veću površinu u odnosu na masu te u nekim slučajevima mogu izazvati veće upale (npr. plućno tkivo). Zatim, čini se da neke nanočestice imaju sposobnost premještanja s mjesta taloženja na druga mjesta kao što su krv i mozak. To je rezultiralo velikom promjenom uvida u toksikologiju čestica, umjesto ograničenosti na pluća, toksikologija nanočestica proučava mozak, krv, jetra, kožu i crijeva [3].

Za neke čestice vrijedi, što im je manja veličina, veći je omjer površine i volumena te je veća kemijska reaktivnost i biološka aktivnost. Velika kemijska reaktivnost nanomaterijala dovodi do povećane proizvodnje reaktivnih vrsta kisika (eng. *reactive oxygen species, ROS*), uključujući slobodne radikale. Njihovo nastajanje otkriveno je u širokom rasponu

nanomaterijala uključujući fuleren, karbonske nanocijevi i nanočestice metalnih oksida. Nastajanje reaktivnih vrsta kisika i slobodnih radikala je primarni mehanizam toksičnosti nanočestica koji može rezultirati oksidacijskim stresom, upalama te oštećenjem proteina, membrana i DNK [3].

Zbog njihove vrlo male veličine, nanomaterijali lako ulaze u ljudsko tijelo za razliku od čestica veće veličine. Kako se te nanočestice ponašaju u tijelu još je uvijek veliko pitanje na koje treba pronaći odgovor. Ponašanje nanočestica je funkcija njihove veličine, oblika i reaktivnosti površine sa okolnim tkivom. U osnovi, veliki broj čestica mogao bi preopteretiti fagocite (stanice koje gutaju te uništavaju strane materije) u tijelu, dakle pokreću reakcije stresa koje dovode do upala i slabije obrane tijela protiv patogena. Uz pitanje što se događa ako se nedegradirajuća ili sporo degradirajuća nanočestica nakuplja u tjelesnim organima, dodatna briga je i potencijalna interakcija ili ometanje, miješanje s biološkim procesima unutar tijela. Zbog njihove velike površine, nanočestice će, ukoliko su izložene tkivu ili tekućinama, odmah adsorbirati na površinu neke makromolekule sa kojima se susretnu. To bi moglo, primjerice, utjecati na mehanizam regulacije enzima i ostalih proteina [3].

Nanomaterijali imaju sposobnost prolaska kroz biološke membrane i pristupne stanice, tkiva i organe kroz koje čestice veće veličine inače ne mogu proći. Nanomaterijali mogu ući u krvotok kroz udisanje ili gutanje. Neki nanomaterijali mogu prodrijeti kroz kožu. Oštećena koža je neučinkovita barijera čestica; akne, ekcemi, posjekotine od brijanja ili ozbiljnije opekline mogu ubrzati unos nanomaterijala kroz kožu. Jednom kada dospiju u krvotok, nanomaterijali mogu putovati po cijelom tijelu te ih mogu preuzeti organi i tkiva, uključujući mozak, srce, jetra, bubrezi, slezena, koštana srž i živčani sustav. Nanomaterijali su se pokazali toksičnim za ljudsko tkivo i stanice, a kao posljedice javljaju se povećani oksidacijski stres, proizvodnja upalnih citokina te smrt stanica. Za razliku od većih čestica, nanomaterijale mogu preuzeti i mitohondriji te stanična jezgra. Razna istraživanja, pokazala su potencijal nanomaterijala za izazivanje mutacija na DNK i poticanje većih oštećenja struktura na mitohondrijima, koje zatim rezultiraju smrću stanica. Na slici 3. prikazane su bolesti izazvane izlaganjem nanočesticama. [15]



Slika 3. Bolesti koje nastaju pri izlaganju nanočesticama [15]

Nanočestice na bazi metala su istaknuta vrsta sintetiziranih nanočestica zbog njihove funkcije kao poluvodiča, elektroluminiscentnosti i termoelektričnih materijala. U biomedicini, te antibakterijske nanočestice korištene su u sustavu dostave lijekova te danas nalaze primjenu u područjima koja su prethodno bila nedostupna. Međutim, raznim istraživanjima dokazano je da mnoge nanočestice metala te metalnih oksida imaju štetan učinak na stanice s kojima dođu u kontakt uključujući lom DNK i oksidaciju, mutaciju, smanjenje stanica sposobnih za život, deformiranu morfologiju, induciranu apoptozu (stanična smrt koja ne dovodi organizam u opasnost) i nekrozu (odumiranje stanica smrtonosno za organizam) te smanjenu proliferaciju (ubrzano stvaranje novih stanica) [3].

Primarni pokazatelj štetnih utjecaja nanočestica je sposobnost stanica za život koje je određeno stanjem i izloženosti površine stanične membrane. Oko 60% stanica izloženih nanočesticama metala, u slučaju bakrovih oksida, postalo je neodrživo [3].

Razrjeđenjem, pozitivni naboji metalnih iona često doživljavaju elektrostatsku privlačnost prema staničnoj membrani obližnjih stanica, pokrivajući membranu te sprečavaju propuštanje potrebnih hranjivih tvari i otpada. Smanjenjem izloženosti membrane za transport i komunikaciju, stanice često postaju neaktivne. Otkriveno je da nanočestice izazivaju



apoptozu u određenim stanicama prvenstveno zbog oštećenja na mitohondrijima i oksidacijskog stresa dobivenog od stranih elektrostatskih reakcija nanočestica [3].

Mnoge metode, od komet testa do testa mutacije gena (hipoksantin-fosforibozil transferaza - HPRT), otkrile su da nanočestice na bazi metala remete DNK i njen proces replikacije u raznim stanicama. Oštećenja na DNK često rezultiraju mutiranim stanicama i kolonijama [3].

Nanočestice su u primjeni prekrivene premazima i ponekad dobivaju pozitivne ili negativne naboje ovisno o namjeni. Istraživanja su dokazala da i ti vanjski čimbenici imaju utjecaj na stupanj toksičnosti nanočestica. Dokazano je da pozitivan naboj pojačava i uzrokuje stanična oštećenja više od negativnog naboja [3].

Vrlo malo pažnje posvećeno je prema potencijalu imunogeničnosti nanostrukture. One mogu aktivirati imunološki sustav, izazvati upale, imunološke reakcije, alergije ili čak utjecati na imunološke stanice na štetan ili koristan način (imunosupresija kod autoimunih bolesti, poboljšanje imunoloških reakcija na cjepiva). Potrebno je provesti više istraživanja na ovu temu kako bi se otkrili potencijalni štetni ili korisni utjecaji nanostrukture na imunološki sustav. U usporedbi sa uobičajenim farmaceutskim agensima, nanostrukture su veće veličine i imunološke stanice, posebno fagociti, prepoznaju ih te pokušavaju uništiti [3].

Veličina je dakle ključan faktor za otkrivanje potencijala toksičnosti čestica. Naravno, nije jedini važan faktor. Ostala svojstva nanomaterijala koja utječu na toksičnost uključuju kemijski sastav, oblik, strukturu i naboj površine, agregaciju i topljivost te postojanje ili odsustvo funkcionalnih skupina ostalih tvari. Veliki broj varijabli, koje utječu na toksičnost, znači da je teško precizirati o zdravstvenim rizicima povezanim s izloženosti nanomaterijalima – svaki novi nanomaterijal mora biti procijenjen zasebno te sva svojstva materijala moraju biti uzeta u obzir [3].

U usporedbi s uobičajenim toksikološkim istraživanjima, područje nanotoksikologije pati od manjka jednostavnih karakterizacija potencijalnih onečišćivala, jer je nanoskalu teško obuhvatiti. Biološki sustav sam po sebi još uvijek nije u potpunosti poznat. Metode mikroskopiranja, SEM (pretražna elektronska mikroskopija), TEM (transmisijska elektronska mikroskopija) i AFM (mikroskopija atomskih sila) daju vizualni uvid u nano-svijet. Daljnja nanotoksikološka istraživanja zahtijevat će precizniju karakterizaciju specifičnosti danih nanoelementa: veličina, kemijski sastav, detaljniji oblik, razina agregacije, itd. Prije svega,

ove značajke trebale bi biti određene ne samo na nanokomponentama prije njihova uvođenja u životno okruženje već i na (uglavnom vodeno) biološko okruženje [3].

Javlja se potreba za novim metodologijama, bržem pristupu prisutnim nanočesticama te njihovoj reaktivnosti u komercijalnim, ekološkim i biološkim uzorcima budući da trenutne tehnike otkrivanja zahtijevaju skupe i kompleksne analitičke instrumente. Nedavno je bilo nekoliko pokušaja rješavanja ovih problema razvijanjem i istraživanjem osjetljivih, jednostavnih i prenosivih kolorimetrijskih testova detekcije koji procjenjuju reaktivnost površine nanočestica te se mogu koristiti za otkrivanje prisutnosti nanočestica u ekološkom i biološkom relevantnom uzorku [3].

### **3.2.2 Metode procjene zdravstvenih posljedica**

Europska komisija i Organizacija za ekonomsku suradnju i razvoj (OECD) su izdale metode za procjenu toksikoloških svojstava kao što su akutna i kronična toksičnost, reproduktivna toksičnost, genotoksičnost ili kancerogenost, a metode su razvijene općenito za sve kemikalije. Metode ispitivanja mogu se podijeliti u četiri skupine [4]:

1. epidemiološka istraživanja
2. *in vivo* testiranja na životinjama
3. *in vitro* testiranja
4. metode za određivanje fizikalno-kemijskih svojstava

Postojeće metodologije pružaju osnovu za određivanje opasnosti nanočestica, međutim njihova prikladnost i valjanost je još uvijek glavna tema rasprave. Na rezultate može utjecati mnogo toga: način pripreme uzorka, način uzorkovanja, priprema uzorka za ispitivanje i sl.

#### **Epidemiološka istraživanja**

Epidemiološka istraživanja nude uvid u štetne učinke kemikalija ispitujući ih direktno na ljudima, izbjegavajući na taj način netočne podatke do kojih može doći ekstrapolacijom podataka dobivenih istraživanjima na životinjama. Iz dosadašnjih istraživanja, dolazi se do zaključaka da se treba usmjeriti na preventivne mjere zaštite ljudi izloženosti nanočesticama

te da bi bilo korisno za buduća istraživanja prikupiti dosadašnje informacije u registar izloženosti.

### ***In vivo* testiranja na životinjama**

Ova testiranja omogućuju točniju procjenu zdravstvenih utjecaja na organizam. *In vivo* metodom se određuje utjecaj na životinju nakon oralne, dermalne i inhalacijske izloženosti određenoj kemikaliji te se mogu odrediti međuizloženosti unutar čitavog organizma. Kada se radi o životinjskim vrstama, štakori su se pokazali najosjetljivijima, dok su miševi i hrčci otporniji na utjecaje nanočestica te mogu davati lažno negativne rezultate [1].

### ***In vitro* testiranja**

Ova ispitivanja obavljaju se na stanicama ili biološkim molekulama izvan njihovog prirodnog okruženja te služe prvenstveno za procjenu reakcija na razini stanice. Mogu se odnositi i na lokalne štetne učinke na kožu i oči, permeaciju kože i genotoksičnost. Međutim, nisu pogodna za ispitivanje kronične toksičnosti i karcinogenosti.

### **Metode određivanja fizikalno-kemijskih svojstava**

Većina nanočestica koje se često koriste nalaze se u čvrstom agregatnom stanju i imaju dosta nisku topljivost. Njihova fizikalno-kemijska svojstva znatno utječu na njihovu toksičnost, pa se stoga predlaže određivanje sljedećih svojstava: morfologija, veličina, površina, topljivost, aglomeracija, masa, volumen, koncentracija čestica itd. Još uvijek nije poznato koji od ovih parametara mogu dati najbolje informacije o toksičnosti nanočestica. U ovom slučaju su nužni daljnji razvoj i standardizacija [4].

## **3.2.3 Putevi unosa**

### ***3.2.3.1 Probavni sustav***

U probavni sustav nanočestice mogu dospjeti iz kontaminirane hrane i pića, gutanja čestica ili prijenosom čestica s ruku u usta. Prema podacima, apsorpcija nanočestica iz probavnog sustava ovisi o njihovim površinskim svojstvima i veličini [9]. Što je čestica manja, lakše se apsorbira, pa se tako najlakše apsorbiraju čestice od 50 do 10 nm, dok čestice veće od 1  $\mu\text{m}$  ne mogu proći u krvotok.

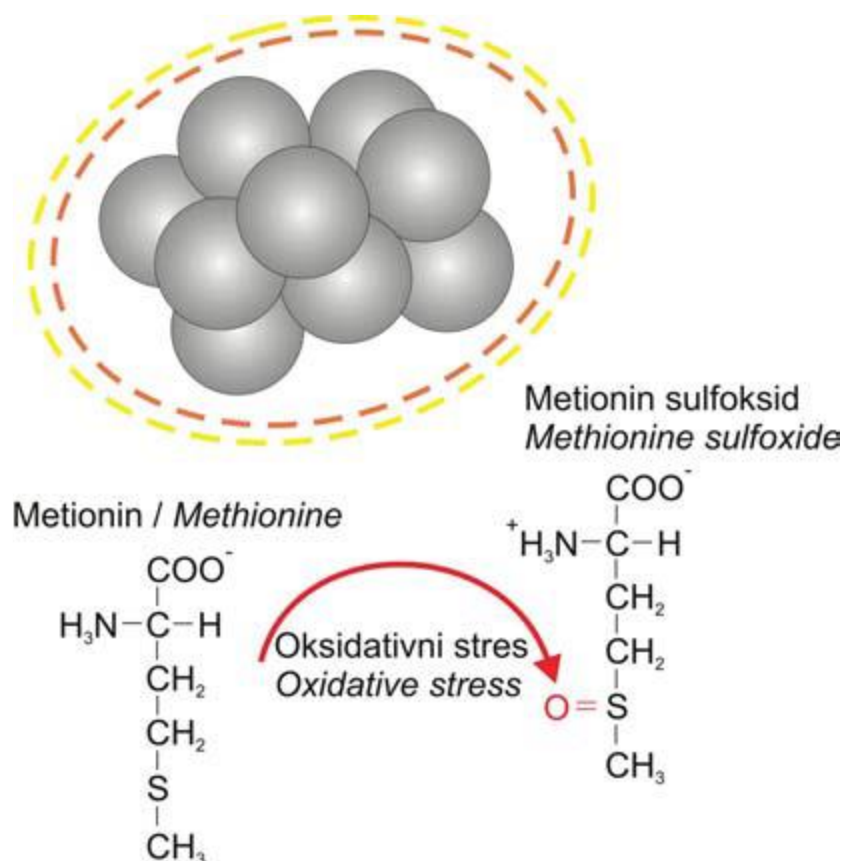
U probavnom sustavu se nanočestice apsorbiraju uglavnom preko enterocita (stanice tankog crijeva) i Peyerovih ploča (nakupine limfnih čvorića u sluznici i podsluznici tankog

crijeva). Sluz koja prekriva crijeva može zarobiti nanočestice, ali još uvijek nije sa sigurnošću utvrđeno onemogućava li to apsorpciju ili sprječava izlučivanje [1].

### ***3.2.3.2 Udisanje***

Postoji vrlo malo podataka i istraživanja koja se bave toksičnošću i utjecajem nanočestica iz zraka na ljudsko zdravlje. Veliki problem kod ovakvih istraživanja predstavljaju slobodne nanočestice. U industriji se nanočestice mogu pojaviti u različitim procesima proizvodnje, ali ne moraju nužno biti štetnije od makročestica. Nanočestice iz zraka u ljudsko tijelo mogu dospjeti preko kože ili dišnim putevima, odakle kroz krvotok mogu dospjeti do ostalih organa [9]. Opće pravilo je što je čestica manja dublje može prodrijeti u dišni sustav, a njeno prodiranje osim o veličini ovisi i o masi i njenoj inerciji.

Prilikom udisanja nanočestica može doći do oksidativnog stresa, a zatim i inflamacije (upale) uz oslobađanje odgovarajućih činitelja. Prodiranjem čestica u krvožilni sustav može doći do translokacije u druge organe. Znanstvenici posebno upozoravaju na štetne učinke na kardiovaskularni i živčani sustav. Pretpostavlja se da kod kardiovaskularnog sustava može doći do sljedećih posljedica: poremećaj vegetativne ravnoteže, vazokonstrikcije, srčane aritmije, sistematske inflamacije, endotelijalne disfunkcije te u konačnici do infarkta ili koronarne bolesti [16]. Osim toga, vrsta same čestice također utječe na zdravlje. Neka istraživanja pokazuju da manganove nanočestice štetno djeluju na živčane stanice (gubljenje aktivnosti, oksidacijski stres, dopaminska deplecija) [9]. Zatim, ugljikove nanocijevi su za organizam toksičnije od crnog ugljena i kvarca zbog njihovog svojstva brže aglomeracije. Prodor čestica ovisi i o samom stanju organizma. Ukoliko je osoba koja je izložena nanončesticama npr. pušač, njen obrambeni mehanizam je oštećen te to dovodi do dubljeg prodora čestica u plućima [1].



Slika 4. Prikaz mehanizma oksidativnog stresa stvaranjem sulfoksida metionina [16]

### 3.2.3.3 Koža

Nanočestice se u posljednje vrijeme uvelike primjenjuju u kozmetici, sredstvima za zaštitu od UV zračenja, odjeći za postojanost boje, te zbog tog potječe zabrinutost za utjecaj preko kože. Nisu svi slojevi kože jednako propusni, pa apsorpcija nanočestica kroz kožu ovisi o mogućnosti difuzije kroz te slojeve. Netaknuta koža je uglavnom otporna na prodor većine nanočestica (osim onih najsitnijih: <5-10 nm), ali su rane moguć put prijenosa [1].

### 3.2.3.4 Distribucija

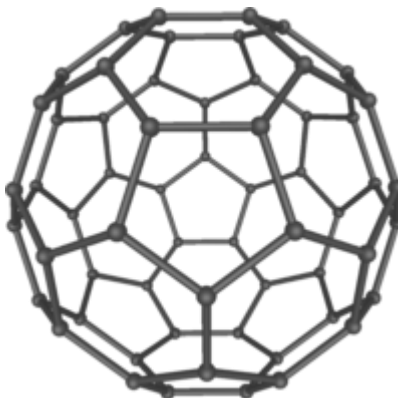
Nanočestice, ovisno o putu ulaska u tijelo, mogu dospjeti u krvotok. Posljedica toga mogu biti upale krvnih žila, a krvotokom se mogu dalje prenijeti do unutarnjih organa (jetra, bubrezi, želudac, itd.). Na tim mjestima potom uglavnom dolazi do upale, ali u slučaju dužeg izlaganja nanočesticama, može doći i do prestanka funkcije organa.

Veliki broj nanočestica se iz tijela izlučuje putem urina, ali su neka istraživanja dokazala da se mogu izlučiti i putem žuči [1].

### 3.2.4 Utjecaj vrste nanočestica na ljudsko zdravlje

#### 3.2.4.1 Fuleren

Fuleren je sferičan „kavez“ koji sadrži između 28 do više od 100 atoma ugljika. Najčešće proučavan oblik, prvi put sintetiziran 1985. i sadrži 60 ugljikovih atoma ( $C_{60}$ ). To je šuplja kugla koja podsjeća na nogometnu loptu, a sastavljena je od međusobno povezanih ugljikovih peterokuta i šesterokuta (prikazan na slici 5). Fuleren spada u grupu materijala sa specifičnim fizikalnim svojstvima. Može biti podvrgnut visokim tlakovima te povratiti svoj izvorni oblik nakon prestanka djelovanja tlaka. Kada se ne mijenjaju, te molekule se ne kombiniraju jedna s drugom. Međutim, kada se proizvodi fuleren, određeni atomi ugljika mogu se zamijeniti s drugim atomima i tvoriti vezive molekule te tako proizvesti tvrd, ali elastičan materijal. Kemijski sastav površine može se modificirati i mogu se dodati različiti organski lanci ili mogu biti uključeni u ugljikove nanocijevi. Budući da je fuleren prazne strukture s dimenzijama sličnim nekoliko biološki aktivnih molekula, može biti ispunjen različitim tvarima te tako može naći primjenu u medicini. Među mnogobrojnim biomedicinskim primjenama, predviđenim za fuleren, pokazano je da fuleren može biti odličan senzor slobodnih radikala. Kemijski modificirani fuleren također je predviđen kao prijenosnik u dostavi lijekova kao neuroprotektivan, antivirusni, antibakterijski, antitumorni i antioksidantni agens [17].



Slika 5. Fuleren [17]

Provedeno je nekoliko istraživanja toksičnosti fulerena. Iako nije uočen kancerogeni utjecaj nakon aplikacije na koži kod miševa, nekoliko toksičnih utjecaja ipak je otkriveno prilikom gutanja i ubrizgavanja kod štakora. Injekcija fulerena u trbušnu šupljinu, poremetila je razmnožavanje kod miševa (smrtnost, deformacija, itd).

Tablica 2. Sažeti prikaz utjecaja fulerena na ljudski ( $\Delta$ ) i životinjski ( $\bullet$ ) organizam preko puteva izloženosti

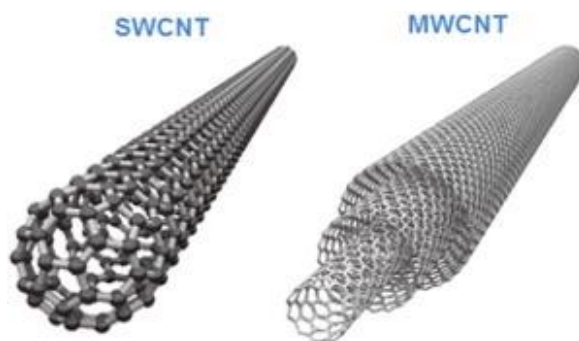
UTJECAJ	PUTEVI			
	UDISANJE	KOŽA	GUTANJE	OSTALI
Toksikokinetika			$\Delta$	$\Delta \bullet$
Iritacije				
Sistemska				
Akutni			$\Delta$	$\Delta$
Srednji				
Kronični				
Neurološki				
Imunološki				$\Delta$
Razvoj				$\Delta$
Razmnožavanje				
Genotoksičnost				$\Delta$
Rak		$\Delta$		

Pored toga, postojeće informacije u vezi utjecaja fulerena na zdravlje, ostaju vrlo ograničene, kao što je prikazano u tablici 2. Suprotni rezultati dobiveni su ispitivanjem genotoksičnosti stanica životinja koje nisu sisavci. Glavna izloženost zaposlenika je preko pluća, ali tablica 2. otkriva odsutnost informacija vezanih uz apsorpciju udisanjem te odsutnost podataka kod ljudi. Citotoksičnost, potaknuta  $C_{60}$  fulerenom, javlja se uglavnom zbog modifikacija molekularne površine. Izgleda da bi citotoksičan mogao biti samo modificirani fuleren [17].

#### 3.2.4.2 Ugljikove nanocijevi

Ugljikove nanocijevi su novi kristalasti oblik ugljikovih molekula. Ovi šuplji cilindri mogu imati vrlo mali promjer od 0,7 nm te doseći nekoliko milimetara u duljinu. Svaki kraj može biti otvoren ili zatvoren polovinom molekule fulerena. Te nanocijevi mogu imati jedan sloj (kao slamčica), a poznatije su kao *SWCNT* (eng. *Single – Walled Carbon NanoTubes*)

odnosno jednozidne ugljikove nanocijevi ili više slojne, *MWCNT* (eng. *Multi – Walled Carbon NanoTubes*) višezidne ugljikove nanocijevi, koaksijalnih cilindara. Razlika u građi vidljiva je na slici 6. Višeslojne ugljikove nanocijevi mogu doseći dijametar od 20 nm. Vrlo su kemijski i termički stabilne. Smatra se da 20 x 200 nm nanočestice može imati 100 puta veću površinu od sferičnih nanočestica promjera 20 nm. To može predstavljati značajan čimbenik kod toksičnosti nanocijevi. Ugljikove nanocijevi imaju veliku sklonost aglomeraciji te bi to moglo značajno smanjiti ukupnu površinu sposobnu za međudjelovanje s tjelesnim stanicama. Nanocijevi se koriste u pripremi ortopedskih protetika, kao implantati, biosenzori za otkrivanje enzima i proteina, u antitumorskim terapijama, u inženjerstvu tkiva te kao materijal za potporu rasta kostiju koji olakšava liječenje fraktura [17].



Slika 6. Razlika u građi između SWCNT (jednozidne karbonske nanocijevi) i MWCNT (višezidne karbonske nanocijevi)

Istraživanja su pokazala da izloženost nerafiniranim jednozidnim ugljičnim česticama (SWCNT) može dovesti do povećane toksičnosti u plućima kod radnika zbog oksidativnog stresa, što je ustvari povezano sa željezom koji je vezan sa SWCNT. Dva provedena istraživanja pokazala su da testirane vrste SWCNT imaju sposobnost izazivanja granuloma kod miševa i štakora nakon akutne izloženosti. Nakon samo jedne izloženosti intratrahealnim usađivanjem, počelo je stvaranje plućnih granuloma kod miševa i štakora. To stvaranje proučavano je nakon izloženosti nekoliko agensa podrijetlom s radnog mjesta, posebno metala te kod određenih bolesti (tuberkuloza, sarkoidoza,...). Prema nekim istraživanjima, ugljikove nanočestice slične su vlaknima azbesta. U suprotnosti s nanočesticama, toksičnost ugljikovih nanočestica povećava se s njihovom aglomeracijom. Ti aglomerati nalikuju na vlakna azbesta prema izgledu i toksičnosti. S toksikološkog stajališta, ugljikove nanočestice su vlakna te je njihova toksičnost povezana s njihovom otpornošću u plućima. Dakako, izloženost udisanjem ugljikovih nanočestica u industrijskom okruženju je vrlo mala s obzirom



na njihovu sklonost aglomeriranju s aerodinamičkim promjerom iznad praga respirabilnosti (< 5 µm). Jedno istraživanje pokazalo je da dugotrajna izloženost mezotelijalne obloge tjelesne šupljine višezidnim ugljičnim nanočesticama (MWCNT), rezultira u sličnom azbestnom patogenom ponašanju, uključujući sirove ugljikove nanočestice i rafinirane ugljikove nanočestice. Željezo je također pronađeno u amfiboličnim vlaknima azbesta, zauzimalo je otprilike 30% njihove težine.

Tablica 3. Sažeti prikaz utjecaja ugljikovih nanočestica na ljudski (Δ) i životinjski (●) organizam preko putova izloženosti

UTJECAJ	SWCNT				MWCNT			
	PUTEVI				PUTEVI			
	Udisaj	Koža	Gutanje	Ostalo	Udisaj	Koža	Gutanje	Ostalo
Toksikokinetika			●	● Δ	●			Δ
Iritacije		● Δ						
Sistemska								
Akutni	●			●	●			
Srednji								
Kronični								
Neurološki								
Imunološki		Δ		Δ				
Razvoj								
Razmnožavanje								
Genotoksičnost				Δ				
Rak								

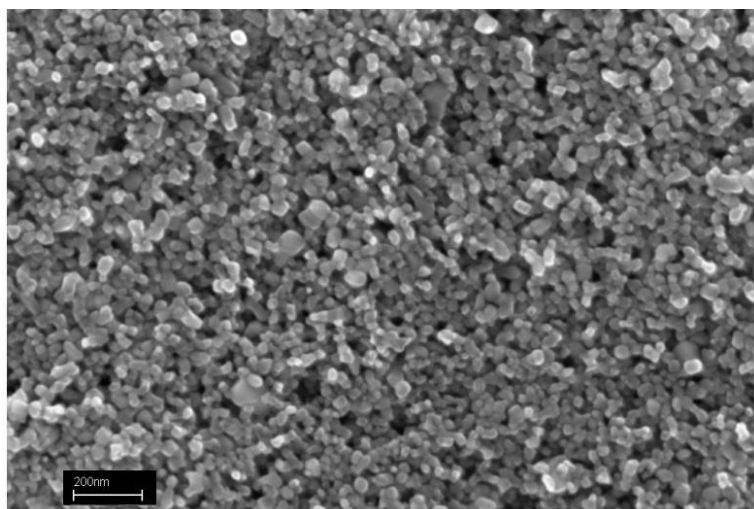
Promatranjem je dokazano da prekomjerne količine željeza ubrzavaju rast neoplastičnih stanica te se, kod ljudi i životinja, primarna neoplazma razvija na mjestima s bogatim naslagama željeza. Također se spominje da je visoka izloženost željeznim materijalima u radnom okruženju povezana s povećanim rizikom od raka pluća kod radnika. Ugljikove nanočestice imaju veću toksičnost za pluća nego ugljen ili ultrafini kvarc. Također je dokazano da bionerazgradive ugljikove čestice brže prolaze kroz alveolni zid te se smještaju u živo tkivo. Tablica 3. prikazuje utjecaj ugljikovih nanočestica na ljudski i životinjski organizam [17].

### 3.2.4.3 Anorganske nanočestice

Netopljive anorganske nanočestice mogu biti sastavljene od čistih metala ili raznovrsnih anorganskih produkata ili legura. Samo ih njihove nanometarske dimenzije

odvajaju od istih produkata obično pronađenih kod većih čestica. Međutim, preciznije je reći zbog njihovih posebnih svojstava vezanih uz njihovu nanometarsku veličinu na koju su te čestice proizvedene. Na toj veličini, oni prikazuju mehanička, električna i ostala svojstva koja ne postoje kod čestica većih dimenzija [17].

Među anorganskim nanočesticama,  $\text{TiO}_2$  (titanijev dioksid) je najviše proučavan te je prikazan na slici 7 [17].



Slika 7. Nanočestice titanijeva dioksida (x 200 nm)

Istraživanja  $\text{TiO}_2$  na koži u različitim formulacijama krema za sunčanje nije pokazalo nikakvu apsorpciju izvan dermisa (na zdravoj koži) kod ljudi. Nisu pronađena nikakva istraživanja na koži koja bi mogla imati veze s radnom okolinom. Dakako, istraživanje kristalita srebrnih nanočestica u terapijskoj primjeni, dokazalo je mogućnost citotoksičnosti kod ozljeđene kože ili kod rastućih ljudskih fibroblasta ili keratinocita. Proučavanje translokacije čestica čađe (promjer 14 nm) usađivanjem kroz dušnik, pokazalo je da se nanočestice nakupljaju u praznim mjestima između alveolnih epitelnih stanica s prolaskom u krvotok, mogući rezultat je smanjenje citoplazme zbog podražaja stvorenog od nanočestica posredovanog vezanjem s alveolnim epitelnim stanicama, nakon čega slijedi povremeno prodiranje nanočestica u membranu alveola. Istraživanje koje se bavilo disanjem štakora s namjerom dokazivanja uloge veličine čestica nađenih u onečišćenom zraku, pronađeno je da znakovi toksičnosti u plućima i plućnoj apsorpciji čestica topljivog  $\text{CdCl}_2$  je bila veća za nanočestice nego kod finih ili grubih čestica. Usporedno istraživanje drugih finih i ultrafinih čestica također je pokazalo da utjecaji iste tvari na pluća, kao upale, fibroza i rak su veći smanjenjem dimenzija čestica. Neki autori ističu da nanočestice mogu izbjeći alveolne

makrofage te mogu ući u međuprostor, najosjetljivije mjesto dišnog sustava. Također je pronađeno i povećanje upala pluća kod štakora nakon udisanja nanočestičnog oblika TiO<sub>2</sub> u odnosu na mikročestice. Probavljene čestice manje od 20 μm mogu proći kroz crijevnu barijeru te ući u krvotok. Određene nanočestice i mikročestice pronađene su u crijevnom zidu te su čini se povezane s upalnim bolestima crijeva i rakom crijeva [17].

Tablica 4. Sažeti prikaz utjecaja anorganskih nanočestica na ljudski (Δ) i životinjski (●) organizam preko puteva izloženosti

UTJECAJ	PUTEVI			
	UDISANJE	KOŽA	GUTANJE	OSTALI
Toksikokinetika	● Δ	Δ	●	● Δ
Iritacije				
Sistemske				
Akutne	● Δ		●	●
Srednje	● Δ		●	●
Kronične	● Δ			
Neurološke				
Imunološke				
Razvoj				
Razmnožavanje				●
Genotoksičnost	●	●		●
Rak	● Δ	● Δ		●

#### 3.2.4.4 Organske nanočestice

Organske nanočestice su materijali u kojem su aktivne biološke supstance zarobljene, uklopljene ili apsorbirane na površini. Koriste se u prijenosu i optimalnom ciljanju lijekova [17].

Istraživanja su provedena na različitim vrstama nanočestica: polimernim nanočesticama, koloidnim nanočesticama i sferičnim lipidnim nanočesticama. Rezultati testiranja primjene u obliku lijekova su vrlo obećavajući, ali podatci su nedovoljni u vezi njihove toksičnosti na radnom mjestu. U tablici 5. prikazani su utjecaji organskih nanočestica na ljudski i životinjski organizam [17].

Tablica 5. Sažeti prikaz utjecaja organskih nanočestica na ljudski ( $\Delta$ ) i životinjski ( $\bullet$ ) organizam preko puteva izloženosti

UTJECAJ	PUTEVI			
	UDISANJE	KOŽA	GUTANJE	OSTALI
Toksikokinetika		•	•	•
Iritacije				•
Sistemski				
Akutni	•			•
Srednji				
Kronični				
Neurološki				
Imunološki				•
Razvoj				•
Razmnožavanje				
Genotoksičnost				•
Rak				

### 3.2.4.5 Nanokapsule, nanosfere i nanoljuske te razgranate molekule

Nanokapsule, nanosfere i nanoljuske mogu biti sastavljene od širokog izbora netopljivih organskih polimera. Neke od tih struktura razvijene su kako bi bili sposobni za integraciju s ostalim tvarima, često lijekovima. Površina tih nanočestica također može biti modificirana za interakciju posebno s određenim dijelovima tijela. Zbog njihove nanometarske dimenzije te čestice mogu cirkulirati u živim organizmima te tako poslužiti kao nositelj lijekova ili popraviti određene stanice. Također se razgranate molekule koriste i kao agensi u dijagnosticiranju te proizvodnji nanocijevi i nanokapsula [17].

Od iznimne je važnosti razviti nanomaterijale s niskom razinom toksičnosti ili s vrlo specifičnim svojstvima (npr. ciljanje organa ili tumorskih stanica, zaobilazanje gornjeg dijela probavnog trakta, prolazak ili ne prolazak kroz krvno-moždanu barijeru,...). Premazivanjem tih nanomaterijala može se promijeniti njihov naboj, sklonost prema ulju ili vodi ili fiziološka stabilnost. Naravno to također ovisi o vrsti premaza i razvoju primjene u biomedicini. Tablica 6. prikazuje sažeto utjecaje nanokapsula, nanosfera i nanoljuski te razgranatih molekula na ljudski i životinjski organizam [17].

Tablica 6. Sažeti prikaz utjecaja nanokapsula, nanosfera i nanoljuski te razgranatih molekula na ljudski ( $\Delta$ ) i životinjski ( $\bullet$ ) organizam preko puteva izloženosti

UTJECAJ	PUTEVI			
	UDISANJE	KOŽA	GUTANJE	OSTALI
Toksikokinetika				$\bullet$
Iritacije				
Sistemski				
Akutni	$\bullet$			
Srednji				
Kronični				
Neurološki				
Imunološki				
Razvoj				
Razmnožavanje				
Genotoksičnost				
Rak				

#### 3.2.4.6 Kvantne točke

Kvantne točke (ili nanokristali) su heterogene nanočestice koje se sastoje od koloidnih jezgri okruženih s jednom ili više površinskih slojeva. Njihova veličina seže od 2 do 100 nm. Jezgre kvantnih točaka mogu se sastojati, između ostalog, od poluvodiča, plemenitih metala ili magnetskih prijelaznih metala. Broj atoma u kvantnim točkicama, koji seže od 1 000 do 100 000, ne čini ih niti proširenim krutinama niti molekulskim cjelinama. Glavna istraživanja usmjerena su na poluvodičke kvantne točke koje pokazuju karakteristične kvantne učinke ovisno o dimenzijama [17].

Toksičnost određenih kvantnih točaka može biti povezana s otpuštanjem citotoksičnih iona, oksidativnim mehanizmom i ostalim manje razjašnjenim fenomenima. Neka istraživanja su potvrdila da je citotoksičnost kvantnih točaka uzrokovana fotolizom ili oksidacijom. Naime, dokazano je veće smanjenje održivih stanica jetre kod štakora nakon izlaganja UV radijaciji ili zraku. Kadmij i selenij su najčešće korišteni sastojci kvantnih točaka te su prepoznati kao uzroci akutne i kronične toksičnosti kod kralježnjaka. Također je toksičnost kvantnih točaka povezana sa stabilnošću površinskog premaza. Komercijalne kvantne točke sjedinjene s proteinima su veće od nepremazanih i nesjedinjenih CdTe ili CdSe kvantnih točaka te se smatraju netoksičnima pri koncentraciji između 20 i 40 nmol. U tablici 7. sažeto su prikazani utjecaji kvantnih točaka na ljudski i životinjski organizam [17].

Tablica 7. sažeti prikaz utjecaja kvantnih točaka na ljudski ( $\Delta$ ) i životinjski ( $\bullet$ ) organizam preko puteva izloženosti

UTJECAJ	PUTEVI			
	UDISANJE	KOŽA	GUTANJE	OSTALI
Toksikokinetika		•		•
Iritacije				
Sistemski				
Akutni				
Srednji				
Kronični				
Neurološki				
Imunološki				
Razvoj				•
Razmnožavanje				
Genotoksičnost				•
Rak				

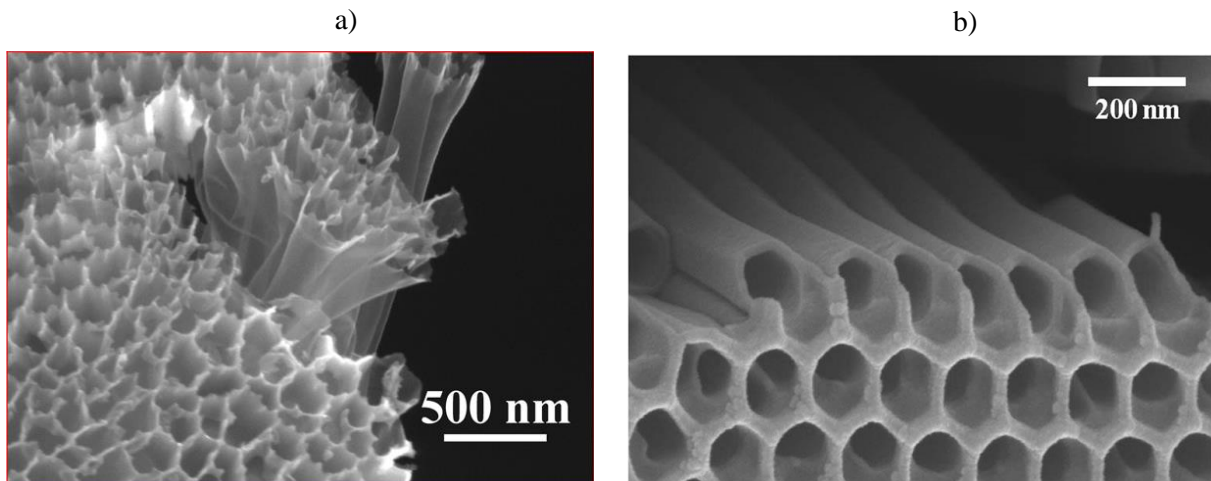
### 3.3 Izloženost radnika nanomaterijalima

Napredak znanosti doveo je do sve veće upotrebe nanomaterijala te je samim tim sve više ljudi na svojim radnim mjestima izloženo njima. Neka od radnih mjesta na kojima su prisutni nanomaterijali su: kemijski i farmaceutski laboratoriji, proizvodni pogoni, bolnice te gradilišta. Ukoliko radnik nije siguran koristi li nanomaterijale na svom radnom mjestu uvijek može i trebao bi pitati svog poslodavca. Poslodavac tada provjerava prisutnost nevezanih inženjerskih nanomaterijala koje koriste s proizvođačima kemikalija i materijala. Potencijal nanomaterijala, kao opasnost za ljudsko zdravlje ili sigurnost, veći je ukoliko se ti materijali lako raspršuju (prašak, sprej ili kapljice), nisu izolirani ili adekvatno spremljeni [4].

Na radnom mjestu, gdje su radnici izloženi nanomaterijalima, poslodavac je dužan pružiti informacije te educirati svoje radnike. Edukacije bi trebale uključivati sljedeće:

- upoznavanje s vrstom nanomaterijala koji se koriste te jasno naglašavanje u kojim procesima se oni koriste,
- rezultate bilo kakvih provedenih procjena izloženosti,
- upoznavanje s inženjerskim i administrativnim kontrolama te osobnom zaštitnom opremom kao mjerama za smanjenje izloženosti,
- upotreba i ograničenje osobne zaštitne opreme,
- hitne mjere koje je potrebno poduzeti u slučaju prolijevanja ili ispuštanja nanomaterijala [4].

Pojedine nanočestice mogu biti opasnije od većih čestica iste tvari. Zbog toga za njih postoje radna ograničenja njihovoj izloženosti, npr. masena koncentracija ugljikovih nanocijevi i ugljikovih nanovlakana ne smije biti veća od  $1,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  unutar 8h, a za nanočestice titanijevog dioksida  $0,3 \text{ mg}/\text{m}^3$  (za čestice titanijeva dioksida veće od 100 nm, ograničenje je  $2,4 \text{ mg}/\text{m}^3$ ). Zasad ne postoje ograničenja izloženosti za mnoge nanomaterijale, stoga poslodavac treba smanjiti izloženost radnika koristeći mjere kontrole opasnosti i najbolju praksu [4].



Slika 8. Mikroskopski prikaz a) ugljikovih nanocijevi (x 500 nm) i b) titanijevog dioksida (x 200 nm)

Poslodavci trebaju provoditi procjene izloženosti radnika nanomaterijalima kako bi otkrili potrebne mjere provjera te za određivanje djelotvornosti korištenih provjera za smanjenje izloženosti. Te procjene uključuju:

- identifikaciju i opisivanje procesa te radnih zadataka u kojima bi radnici mogli biti izloženi nanomaterijalima,
- utvrđivanje fizikalnog stanja nanomaterijala (prašak, sprej, kapljice),
- utvrđivanje smjerova izloženosti (npr. udisanje, kontakt s kožom ili gutanje) čestica, emulzija, suspenzija ili otopina nanomaterijala
- određivanje najpogodnije metode uzimanja uzoraka za otkrivanje količine, koncentracija u zraku, trajanja te učestalosti izloženosti radnika nanomaterijalima,
- utvrđivanje potrebnih dodatnih kontrola prema rezultatima procjena izloženosti i ocjeni efikasnosti već provedenih provjera. Poslodavci trebaju usvojiti najefikasnije provjere dostupne za ograničenja izloženosti radnika [4].

Istraživanja i upotreba nanomaterijala kontinuirano raste, postepeno se još otkrivaju potencijalni zdravstveni utjecaji i granice izloženosti za njih. Poslodavci su dužni koristiti kombinaciju sljedećih mjera te najbolju praksu za provjeru potencijalnih izloženosti:

#### **Inženjerske kontrole**

- rad s nanomaterijalima u prostorima s osiguranom ventilacijom (npr. pretinac za rukavice, laboratorijska napa, procesna komora prikazana na slici 9.) opremljenim visoko –učinkovitim filterima za zrak,



- ukoliko se proces ne može provesti u zatvorenim uvjetima, potrebno je pružiti lokalnu ispušnu ventilaciju (npr. napa, zatvoreni poklopac) opremljenu s filterima dizajniranim za hvatanje kontaminiranog zraka na mjestu stvaranja ili ispusta [4]

### **Administrativne kontrole**

- osigurati mjesto za pranje ruku te informacije koje potiču upotrebu dobre higijenske prakse,
- uspostaviti postupke rješavanja izlivanja nanomaterijala i dekontaminacije površine za smanjenje izloženosti radnika (npr. zabraniti suho metenje ili upotrebu komprimiranog zraka za čišćenje prašine koja sadrži nanomaterijale, upotrebu mokrih maramica i usisivača opremljenih filterima) [4]

### **Zaštitna oprema**

- osigurati radnicima prikladnu zaštitnu opremu: respiratore, rukavice i zaštitnu odjeću, [4]

### **Medicinski pregled i praćenje**

- obaviti dostupne medicinske preglede te praćenja radnika izloženih nanomaterijalima ukoliko je potrebno [4]



Slika 9. Procesna komora za rad s nanočesticama

Radnici također imaju prava na koja se mogu pozvati ukoliko rukuju s nanomaterijalima:

- uvjeti rada koji ne predstavljaju rizik od ozbiljne štete,
- podnijeti povjerljivu primjedbu za provedbu inspekcije radnog mjesta,
- primati informacije te pohađati edukacije o opasnostima i mjerama prevencije štete koji se primjenjuju na njihovom radnom mjestu. Svaka edukacija mora biti odrađena na njihovom jeziku te rječnikom koji oni razumiju.
- postavljati pitanja te se informirati,
- primati kopije zapisa vezanih uz ozljedu na radu ili bolesti koje se javljaju na njihovo radnom mjestu,
- primati kopije rezultata testova obavljenih praćenja [4]

## 4. ZAKLJUČAK

Nanotehnologija se smatra ključnom znanosti 21.-og stoljeća, a nanomaterijali su postali iznimno popularni kako u svakodnevnoj tako i u znanstvenoj primjeni. O njima se bave mnoga istraživanja te se izdaju mnogobrojne knjige i časopisi. Činjenica je da nanočestice i nanoznanost pružaju fascinantne mogućnosti koje su nekada bile gotovo nezamislive: memorija cijelog računala na malom čipu, tkanine otporne na mrlje, stakla otporna na prašinu... Nanočestice se koriste u područjima u kojima konvencionalni materijali ne mogu konkurirati iz više razloga. Za industrijsku je primjenu osim svojstava bitna i cijena, a nanomaterijali su uglavnom skuplji nego konvencionalni materijali. Osim toga, daljnji napredak nanotehnologije koči jedna nepoznanica: utječu li i kako utječu nanočestice na zdravlje ljudi i okoliš koji nas okružuje. Za rješavanje tih pitanja nisu dovoljna dosadašnja znanja o materijalima jer je utvrđeno da se čestice na nanorazini ponašaju drugačije nego iste čestice na makrorazini. Nužno je uskladiti znanja stručnjaka i ostvariti komunikaciju među njima da bi se kvalitetnije istražila toksičnost nanočestica, utjecaj na ljude i okoliš, izloženost, ali i da bi se riješila neka etička pitanja poput: tko snosi odgovornost prilikom nesreća, prilikom donošenja odluka, kako se problemi mogu riješiti na međunarodnoj razini itd. Napredak nanotehnologije se ne može zaustaviti niti izbjeći, može se očekivati da će stručnjaci nanotehnologije u budućnosti biti tražena radna snaga, ali se može informirati i educirati javnost te osigurati kvalitetu življenja i pritom osvijestiti čovjeka o napretku i razvoju uz sve prednosti i nedostatke nanotehnologije.

## 5. LITERATURA

- [1] Okanović, E., Profesionalna izloženost nanočesticama kao zdravstveni rizik, Diplomski rad, Medicinski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 2014.
- [2] Lovestam G., Rauscher H., Roeben G., Sokull Klutgen B., Gibson N., Putaud J.P., Stamm H., Consideration on a Definition of Nanomaterial for Regulatory Purposes, European Union, Luksemburg, 2010.
- [3] Wikipedia, Nanotoxicology. Dostupno na: <https://en.wikipedia.org/wiki/Nanotoxicology> (pristup 25.08.2017.)
- [4] Europska agencija za sigurnost i zdravlje na radu, Workplace exposure to nanoparticles, European risk observatory, Literary Review, 2009. Dostupno na: [https://osha.europa.eu/hr/tools-and-publications/publications/literature\\_reviews/workplace\\_exposure\\_to\\_nanoparticles/view](https://osha.europa.eu/hr/tools-and-publications/publications/literature_reviews/workplace_exposure_to_nanoparticles/view)
- [5] National Nanotechnology Initiative, Nanotechnology Timeline. Dostupno na: <https://www.nano.gov/timeline> (pristup 22.08.2017.)
- [6] Fizika nanomaterijala: povijest nanomaterijala. Dostupno na: <http://www.phy.pmf.unizg.hr/~atonejc/1%20NNUvod.pdf> (pristup 23.08.2017.)
- [7] National Nanotechnology Initiative, What's So Special about the Nanoscale? Dostupno na: <https://www.nano.gov/nanotech-101/special> (pristup 23.08.2017.)
- [8] Li, X., Xu, H., Chen, Z.S., Chen, G., Biosynthesis of Nanoparticles by Microorganisms and Their Applications, Journal of Nanomaterials, Volume 2011 (2011)
- [9] Ivanković, M., Nanomaterijali i nanoproizvodi – mogućnosti i rizici, Polimeri 32 (2011) 1, 23-28
- [10] Singh, A. K., Engineered Nanoparticles: Structure, Properties and Mechanisms of Toxicity, Elsevier Inc., Academic Press, 2016.
- [11] National Nanotechnology Initiative, Benefits and Applications. Dostupno na: <https://www.nano.gov/you/nanotechnology-benefits> (pristup 22.08.2017.)
- [12] Hristozov, D., Malsch, I., Hazards and Risks of Engineered Nanoparticles for the Environment and Human Health, Sustainability 2009, 1 (4), 1161-1194

- [13] Liu, J., Jiang, G., Silver Nanoparticles in the Environment, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2015, str. 63
- [14] ENRHES, Engineered Nanoparticles: Review of Health and Environmental Safety, 2009. <http://nmi.jrc.ec.europa.eu/project/ENRHES.htm>
- [15] Buzea, C., Pacheco, I. I., Robbie, K., Nanomaterials and nanoparticles: Sources and toxicity, Biointerphases 2, MR17 (2007)
- [16] Plavšić, F., Nanotoksikologija, Polimeri 29 (2008) 2, 96-98
- [17] Ostguy C., Lapointe G., Menard L., Trottier M., Studies and Research Projects, REPORT R-589 Health Effects of Nanoparticles, Quebec 2008.

