

## Ekološki aspekti primjene nanomaterijala-nanoekologija

Zvezdana Jerković\*, prof. dr. sc. Gordana Pavlović\*\* (mentor)

*\*Studentica na Tekstilno tehnološkom fakultetu*

*\*\* Zavod za primijenjenu kemiju, Tekstilno tehnološki fakultet, Sveučilište u Zagrebu,  
Prilaz baruna Filipovića 28a, Zagreb 10000.  
e-mail: gordana.pavlovic@ttf.hr*

---

### Sažetak:

Ovim završnim radom obuhvaćena je nanotehnologija kao rastuća tehnologija u svijetu te razvoj nanomaterijala. Cilj je prikazati primjenu nanomaterijala u različitim područjima s ekološkog aspekta s naglaskom na utjecaj nanomaterijala na zdravlje čovjeka i okoliš. Također, govori se i o tome gdje se sve već našla i gdje će se naći primjena nanomaterijala kroz nanoproizvode. Obuhvaćen je utjecaj nanočestica na okoliš te određivanje njihove toksičnosti. Velika pažnja posvećena je i utjecaju nanomaterijala i razvoja nanotehnologije na društvo

**Ključne riječi:** nanotehnologija; ekologija; nanočestice; nanoproizvodi

---

### 1. UVOD

Razvojem nanotehnologije postavljaju se brojna etička, pravna, politička pitanja i pitanja sigurnosti, toksičnosti i utjecaja na okoliš. Pitanja kako nanomaterijali utječu na život čovjeka i kako da uz njihovu proizvodnju ne zagađujemo okoliš, analizirana su u ovom radu kao i opći prikaz nanotehnologije. Na ta i sva druga pitanja, nanotehnologija nam može pomoći da ih riješimo uspješnije no ikada. Po tematici ovaj bi se rad mogao podijeliti na tri dijela. U prvome dijelu analiziran je razvoj nanotehnologije i nanomaterijala. U drugome dijelu analiziran je utjecaj nanomaterijala i nanočestica na okoliš dok je u posljednjem dijelu riječ o njihovom utjecaju na društvo. Kao temelj za obradu rada uz ostalu literaturu, korištene su tri knjige; Nano: The Essentials, Understanding Nanoscience and Nanotechnology koju je napisao Pradeep T., zatim Core Concepts in Supramolecular Chemistry and Nanochemistry čiji su autori Steed W.J., Turner R.D., Wallace J.K. i Nanotoxicology, Characterization, Dosing and health effects autora Monteiro-Riviere A.N. i C. Lang Trana. One će poslužiti za obradu srži rada odnosno ekoloških aspekata primjene nanomaterijala u ekologiji i njihov međusobni odnos.

### 2. NANOTEHNOLOGIJA

Prije dvadeset i pet stoljeća grčki filozof Demokrit naučavao je da su sve stvari sazdane od sićušnih, nevidljivih čestica – atoma, tako da bi za njega mogli reći da je praprotac moderne nanotehnologije. Godine 1738. javio se Daniel Bernouli koji je ponovno razmišljao o "Atomskoj teoriji svemira" dok su drugi znanstvenici do tada uporno ignorirali Demokritov koncept. Kada se na kraju 19. stoljeća konačno povjerovalo u njihovo postojanje, atomima su ubrzo proučena njihova svojstva, utvrđeno je da nedjeljivo može biti podijeljeno na još sitnije dijelove [1]. Iako nanotehnologiju smatramo modernom znanošću ona ima svoju dugu povijest. Glazura kojom se presvlačilo keramičko posuđe za kuhanje u biti su nanobakar i nanosrebro, a u tim posudama je hrana ostajala duže svježja. Brodsko drvo se štitilo od gljivica i brzog propadanja premazivanjem posebnom bakrenom emulzijom [2].

Prva znanstvena opažanja malih čestica mogu se pripisati škotskom botaničaru Brownu koji je 1827.g. promatrao neuređeno gibanje čestica cvjetne peludi u tekućini/suspenziji (tzv. Brownovo gibanje). Američki pronalazač George Eastman je 1884.g. izradio prvi "rol" film za kameru gdje je najvažniji dio bio fotoosjetljivi

sloj AgBr nanočestica na filmu. Važna prekretnica za buduća istraživanja nanomaterijala bio je razvoj elektronskog mikroskopa (Ernst Ruska i Max Knoll) [3].

Američki nobelovac i fizičar Richard P. Feynman održao je 1959. godine svoj slavni govor pod nazivom "Na dnu ima još mnogo mjesta" (There's Plenty of Room at the Bottom) u kojem je iznio provokativnu ideju o kreaciji materije *in vitro* i ukazao na budućnost nanomaterijala.

Začetnikom nanotehnologije smatra se Eric K. Drexler, američki inženjer najbolje poznat po popularizaciji potencijala za sada i uglavnom hipotetičke molekularne nanotehnologije.

U potpunosti posvećen stvaranju nove generacije istraživača i traženju istomišljenika, 1992. godine je predstavio svoje ideje pred Američkim kongresom. Nakon tog predstavljanja našlo se dovoljno novca da se započne utrka, koja je na koncu omogućila da novo tisućljeće dočekamo u društvu nanoprocesora i kvantnih računala [1]. Potaknuo je razvoj molekularne nanotehnologije koja se temelji na konceptu kontrole pozicioniranja atoma i ostvarenja samoumnožavanja molekularnih strojeva. Cilj je stvaranje bilo koje željene strukture u skladu sa zakonima fizike i kemije postavljanjem svakog pojedinačnog atoma na odgovarajuće mjesto, a da pritom sve bude i ekonomično [4]. U svojoj knjizi "Strojevi kreacije" (Engines of Creation) predstavlja informacije o obliku stvari koje dolaze [1].

Japanski fizičar Norio Taniguche je 1974. uveo izraz nanotehnologija u svom izvješću „On the basic concept of nanotechnology” u kojem je predložio da se naziv nanotehnologija koristi za sve procese u kojima se pojavljuju objekti manji od jednog mikrometra [3].

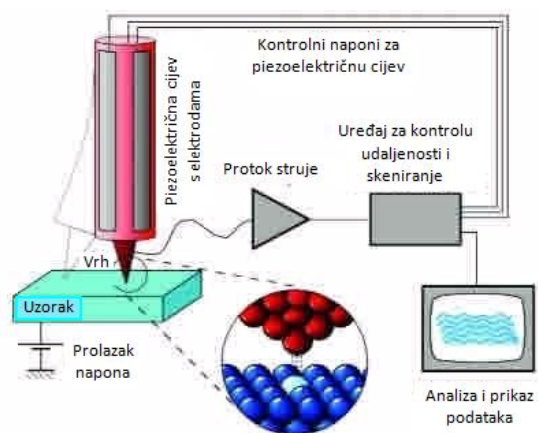
Kao početak znanosti i primjene nanomaterijala možemo smatrati 1981. godinu, kada je H. Gleiter na "Second Riso International Symposium on Metallurgy and Materials Science" u Roskildeu u Danskoj prvi konkretno spomenuo pripremu i potencijalnu važnost jednofaznih ili višefaznih polikristala s veličinom kristalita od 1 do 10 nm. Zanimljivo je da je Gleiterova metoda priređivanja nanomaterijala bila relativno jednostavna. Štrcanjem taljevine kroz usku sapnicu u evakuirani cilindar dobio je sitne čestice pomoću kojih je prešanjem radio tablete (nanomaterijal) koje su se mogle koristiti za razna fizikalna mjerenja, prvenstveno mehanička. Uskoro nakon 1981. godine počeo se koristiti naziv nanokristalni materijali, odnosno nanomaterijali [3].

## 2.2. Pojam nanotehnologije i primjena

Prefiks "nano" potječe iz grčke riječi "nannos" što u prijevodu znači "patuljak, nešto sićušno". Pod "nanotehnologijom" podrazumijeva se istraživanje i manipulacija materijom u sferi ispod 100 nanometra (nm) što znači da se radi o redu veličina molekula i virusa. Nanotehnologija je mogućnost upravljanja materijalima u nano veličini radi stvaranja struktura koje imaju nova svojstva zbog svoje veličine, oblika i sastava. Ovi su oblici manji od 100 nm. Nanometar je milijunti dio metra što je gotovo 100.000 puta manje od presjeka ljudske vlasi i 100 puta manje od veličina koje se danas komercijalno koriste u proizvodnji. Kažu da se nanosvijet nalazi između svijeta vidljivog golim okom i svijeta atoma i molekula. O nanotehnologiji možemo govoriti dokle god govorimo o veličinama manjim od 100 nanometara [5]. Mogli bi ju nazvati i novim načinom oblikovanja tvari. Djeluje na razini nanočestica, odnosno pojedinih molekula. Često se naziva i molekularna nanotehnologija kako bi se naznačilo da se radi o stvaranju naprava, strojeva i materijala atom po atom, molekula po molekula [4].

Razvojem skenirajućih mikroskopa STM-a (scanning tunneling microscope) i AFM-a (atomic force microscope) omogućeno je, ne samo promatranje pojedinačnih atoma na površinama, nego i manipulacija ili praćenje kretanja pojedinih atoma. Uz elektronski mikroskop, STM i AFM glavni su instrumenti za istraživanje i izgradnju nanostrukture.

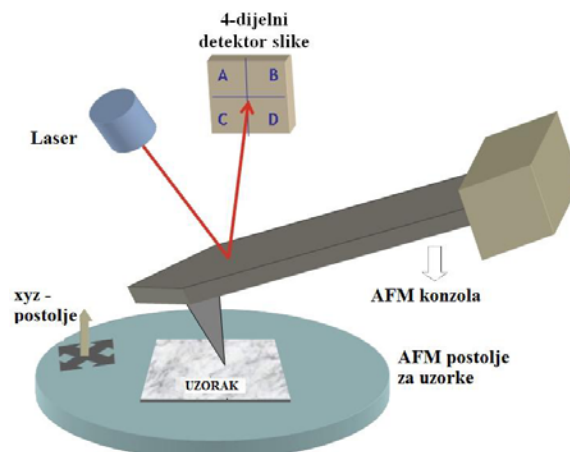
STM je gotovo nezaobilazna tehnika u svim istraživanjima u kojima je potrebno odrediti strukturu površine na atomskoj skali i ona daje sliku rasporeda atoma u realnom prostoru. Koristi električnu struju, koja protječe kada vrlo oštar vrh prede preko površine. Oštri metalni vrh završava samo jednim atomom (slika 1) [6].



Sl.1. Shematski prikaz rada STM-a [6]

AFM je instrument namijenjen promatranju površina, ne nužno vodljivih. Mjeri silu koja djeluje između mikroskopa i materijala, za razliku od STM-a koji mjeri struju vodljivih materijala i njihovih površina. Radi na principu gramofonske ploče, vrh od keramike kreće se po površini materijala. Kada je vrh odmaknut od površine ili privučen, on odgurne ploču i laserska zraka mjeri kut skretanja. AFM daje profil udubljenja i ispupčenja na površini. Šiljak AFM-a se može upotrijebiti za fizičko pomicanje nanočestica po površini i njihovo slaganje u cjeline [7]. Što je vrh oštrije, to je bolja rezolucija (slika 2) [6]. Glavna

razlika između STM-a i AFM-a je i u tome što prvi koristi struju između uzorka i vrha, a drugi mehanički grebe po vrhu i pri tome se troši.



Sl.2. Prikaz rada AFM-a [7]

„Bilo kuda, nano svuda!“ [8]. Nanotehnologija jedna je od najnovijih tehnologija koja je našla svoju primjenu u raznim granama industrije. To je tehnologija budućnosti, koja pokriva područja fizike, kemije, biologije i informatike i razvija se diljem svijeta zadivljujućom brzinom. [5].

Primjena nanotehnologije:

- ❖ Energetika
- ❖ Medicina
- ❖ Autoindustrija (nanoboje)
- ❖ Prehrambena industrija
- ❖ Tekstilna industrija
- ❖ Vojna industrija
- ❖ Farmaceutska industrija
- ❖ Građevina
- ❖ Informatička tehnologija
- ❖ Očuvanje okoliša
- ❖ Razni potrošački proizvodi (kozmetika, optika, poljoprivreda).

Nanotehnologijom je moguće dobiti nove, jače, lakše i jeftinije materijale, moguće je povećanje nutricionističke vrijednosti hrane, usporavanje procesa starenja, efikasnije liječenje te pročišćavanje vode i zraka. Prednosti nanotehnologije su preciznost, učinkovitost, manje otpada, proizvodnja materijala s posebnom namjenom i mnoge druge. Njena najveća i glavna prednost i fascinantna odlika je ujedno i njena najveća mana odnosno opasnost, a to je veličina čestica kojima se bavi. Kao takva područje je intenzivnih istraživanja.

### 2.3. Nanomaterijali

Svi materijali sastoje se od čestica bilo kristalnih bilo amorfnih i sadrže veliki broj atoma. Standardni materijali sadrže čestice reda veličine od 100  $\mu\text{m}$  do nekoliko milimetara dok nanomaterijali imaju čestice reda veličine 1 do 100 nm. Kao takvi fasciniraju znanstvenike i pokazuju bitno drugačija svojstva kada su smanjeni u nano veličine. Tako na primjer točka taljenja čestica zlata opada s veličinom čestica ispod 5 nm [6].

Primjerice, inertni materijali poput platine postaju katalizatori, stabilni materijali poput aluminija postaju zapaljivi, čvrsti materijal poput zlata na sobnoj temperaturi u nano veličini postaje tekućina, a izolatori postaju vodiči kao što je slučaj kod silikona [4]. Nanomaterijali pokazuju zanimljiva mehanička i fizička svojstva; poboljšanje mehaničkih svojstava, veći toplinski kapacitet i električnu otpornost u usporedbi s klasičnim materijalima.

Definicija nanomaterijala koju je prihvatila Europska Komisija 18. listopada 2011. godine glasi: „Nanomaterijali su prirodni, slučajno dobiveni ili proizvedeni materijali koji sadrže čestice ili u vezanom stanju ili kao agregat ili aglomerat, kod kojih jedna ili više vanjskih dimenzija spada u red veličine od jednog do 100 nanometara.” [9].

### 2.3.1. Povijesni osvrt

Svjesna primjena nanomaterijala u znanosti i tehnologiji relativno je kratkog vijeka iz jednostavnog razloga što znanstvenici prije nisu imali tehnologiju za tako male veličine, dok nesvjesna primjena nanomaterijala datira nekoliko tisućljeća unatrag kada su naši preci počeli koristiti prve materijale po principu „probe i pogreške“ i uz taj princip smo previše vezani danas. Tako su se uočavala razna i različita svojstva pojedinih materijala, počevši od kamena, bakra i drveta. Prvi podaci o primjeni bakra sežu oko 10.000 godina unatrag i već tada se znalo da bakar postaje kovanjem čvršći, a naknadnim grijanjem opet mekši. Kasnije se slučajnim dodavanjem kositra bakru uočilo da je takva smjesa mnogo povoljnija i bezopasnija, imala je niže talište od bakra, a osim toga bila je čvršća i manje lomljiva nego slitina s arsenom, a proizvodnja je postala neovisna o nalazištima. Tako su se kroz godine uočavala razna fizička i mehanička svojstva metala, od željeza, zlata, platine, čelika do raznih slitina (čija istraživanja počinju u drugoj polovici 19. stoljeća) koja su bila ovisna o slučajnim dodatcima, primjesama, postupcima kojima su ih tretirali (taljenje, grijanje, kovanje, lijevanje, sagorijevanje), nalazištima itd. Već početkom 20. st. proizvodnja materijala je bila jako razvijena.

Kroz povijest materijali su definirali ne samo tehnološki stupanj razvoja, nego i političko-socijalne prilike:

- ❖ kameno doba (4.000 - 3.000 god.pr.Kr.): sakupljanje materijala (kosti, kamen, drvo...) i primitivna obrada – jednostavnost
- ❖ brončano doba (bronca je slitina Cu-Sn): proizvodnja, početak civilizacije (Egipat, Mezopotamija), drevne boje za kosu, premazi, lončarstvo, staklarstvo
- ❖ željezno doba (od 1.000 ili 1.500 god.pr.Kr): početak razvijenog društva, Fe glavni materijal, dostupan mnogima, razvoj obrtništva i trgovine, osvajački ratovi
- ❖ usavršavanje proizvodnje čelika (~1830.): željeznice, industrijska revolucija
- ❖ doba kemije (prijelaz 19.-20.st.): eksplozivi, prve plastike
- ❖ poluvodiči (2. pol. 20. st.): informacijska revolucija
- ❖ supravodiči (2. pol. 20. st.): jaka magnetska polja, rješavanje problema energije u budućnosti
- ❖ napredni magnetski materijali (kraj 20.st.): „Druga informatička revolucija“
- ❖ biotehnologija
- ❖ (bio)medicina
- ❖ Nanoznanosti (21.st.): kvalitativno novi načini korištenja materijala [10].

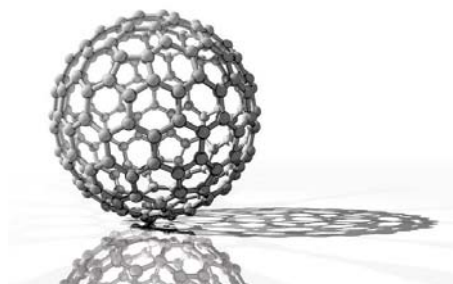
### 2.3.2. Nanostrukture

Nanomaterijali se temelje uglavnom na ugljiku, C. Ugljik, poslije vodika, tvori više spojeva nego svi ostali kemijski elementi zajedno. Razlog tome je što se ugljikovi atomi u spojevima mogu međusobno povezivati jednostrukim, dvostrukim i trostrukim kovalentnim vezama na različite načine u dugačke lance i prstenove [11]. Nadalje, odgovoran je za stvaranje najrazličitijih spojeva. Javlja se u više alotropskih modifikacija: kao amorfni ugljik, dijamant i grafit, a najnovije dopune ovoga popisa su fuleren, grafen i nanocjevčica. Grafit je najmekši poznati mineral, a dijamant najtvrdi (slika 3) [9].



Sl. 3. Dijamant i grafit [11]

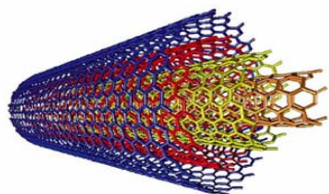
Grupa znanstvenika sa Sveučilišta Rice 1985. god. otkrivaju molekulu  $C_{60}$ . Ta molekula ugljika nalik je nogometnoj lopti i nazvana je u čast arhitekta Fullera Buckminstera koji je dizajnirao geodetsku kupolu koja je najstabilniji i najpoznatiji fuleren  $C_{60}$  (nazivaju ju “Bucky-balls”) (slika 4) [9,11].



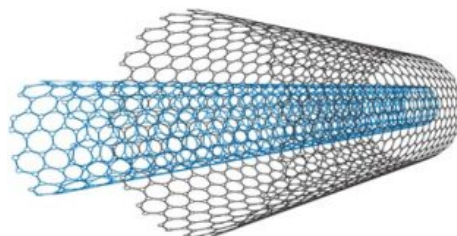
Sl.4. “Bucky-balls” [12]

Znanstvenici su potom otkrili da, ovisno o broju ugljikovih atoma, mogu postojati strukture s više, ali i manje atoma ugljika: 60, 70, 72, 74, dvije varijante po 76 atoma, a postoji i 5 varijanti sa po 78 atoma. Fuleren se počeo masovno proizvoditi nakon što su 1990. godine znanstvenici Kratschmer i Huffman otkrili metodu dobivanja pomoću električnog luka [9]. Godinu nakon toga japanski znanstvenik Sumio Ijima, koristeći se slikom dobivenom elektronskim mikroskopom, otkriva višestjenčane nanocjevčice ugljika. Bile su to MWCNT (“multi-wall carbon nanotube”) (slika 5) i DWCNT (“double-wall carbon nanotube”) (slika 6). Dvije godine kasnije uspjela je i sinteza najjednostavnije, jednostjenčane nanocjevčice koja se na višim temperaturama ponaša superplastično (produljenje do čak 280%), uz istodobno stanjivanje do oko 15 puta (slika 7) [9]. Otporne su i nakon jakog deformiranja vraćaju se u prvobitno stanje.

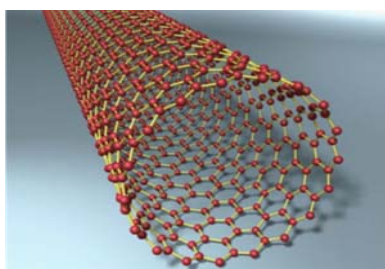
Nanocjevčice su zapravo savijeni grafen u cijev, kojeg su znanstvenici sintetizirali 2004. godine. Grafen je alotrop ugljika sa strukturom ravne tanke pločice grafita s povezanim ugljikovim atomima u molekuli. Kod njega su uočena izvanredna svojstva. Odličan je vodič električne struje, topline, proziran je, ima vrlo visoko talište i jedan je do sada najtvrdih i najlakših materijala, a 2007. godine pokazalo se da se ponaša i kao poluvodič. Usporedbe radi, grafen je 300 puta veće čvrstoće u odnosu na čelik.



Sl.5. Višestjenčana ugljikova nanocjevčica [6]



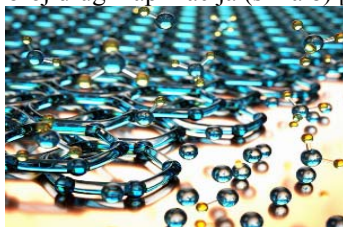
Sl.6. Dvostjenčana ugljikova nanocjevčica [13]



Sl.7. Jednostjenčana ugljikova nanocjevčica [6]

Nanocjevčice pokazuju uočljivo različita svojstva od masivnih uzoraka sličnog kemijskog sastava, a posebno transportna i magnetska svojstva. Jedan od većih problema primjene nanocjevčica bio je u nemogućnosti proizvodnje većih duljina, ali danas se proizvode od raznih materijala i duljine iznad 100  $\mu\text{m}$ . Osim njih danas se uspješno proizvode i nanožice drugih materijala kao GaN, SiO<sub>2</sub> i Si, promjera 5 do 1000 nm i duljine 1 do 5000  $\mu\text{m}$ . Najveći problemi za širu primjenu su u kontroli proizvodnje nanožica, u nejednolikoj strukturi, u dopiranju i u povezivanju sa silicijem [14].

K. S. Kim je početkom 2009. godine sa svojim suradnicima, uspio proizvesti tanku foliju grafena koja se može savijati, a da se pritom uopće ne utječe na optička i vodljiva svojstva. Ima veliku primjenu kod izrade ekrana za mobitele i televizijskih prijemnika te bezbroj drugih aplikacija (slika 8) [9].



Sl.8. Model grafena [15]

### 2.3.3. Proizvodnja nanomaterijala

Pojam nanotehnike podrazumijeva kreiranje funkcionalnih materijala, uređaja i sustava kontroliranjem oblika i veličina na nanometarskoj razini te pojavu novih svojstava i fenomena dobivenih na toj razini. Područje nanotehnike može se podijeliti na tri dijela. Prvoj skupini pripadaju *nanomaterijali*. To su jednodimenzionalni ili višekomponentni materijali kod kojih je barem jedna dimenzija komponente u rasponu između 0,1 i 100 nm. Toj skupini pripadaju nanočestice, nanovlakna i nanocjevčice, nanokompoziti i nanostrukturirane površine. Drugu skupinu čine *nanoalati*. To su alati i tehnike za sintezu nanomaterijala, manipuliranje atomima i proizvodnju struktura za uređaje te za mjerenja i karakterizaciju materijala i uređaja na nanoskali. Treći dio pripada *nanouređajima*. To su naprave na nanoskali važne u mikroelektronici i optoelektronici [8].

Pojedini materijali kao što su čestice čađe proizvode se već niz godina te se primjenjuju u kozmetici i u novije vrijeme u raznim prašcima u industriji mikroelektronike. Novi nanomaterijali za različite namjene se često proizvode na laboratorijskoj razini. Procjena globalne proizvodnje različitih nanomaterijala i naprava dana je u tablici 1. [8].

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

Tab.1: Procjena globalne proizvodnje različitih nanomaterijala i naprava [8]

Pet glavnih faza u nanotehnologiji predložio je Mihail Roco, jedan od arhitekata Nacionalne nanotehnološke inicijative Sjedinjenih Američkih Država. Prvotno je predložio četiri faze nanotehnologije koje imaju svoju paralelu u tehničkom progresu tokom Industrijske revolucije, a naknadno je dodao i peti korak koji je konvergencija tri najrevolucionarnije tehnologije. Faze su:

1. Pasivne nanostrukture - nanodjelci i električnu i toplinsku provodljivost, nanocijevi koji osiguravaju dodatnu snagu,

- otpornost i/ili druge osobine koje se pojavljuju iz njihovih struktura.
2. Aktivni nanouređaji - nanostrukture koje mijenjaju stanje u cilju transformacije energije, informacije i/ili izvode korisne funkcije.
3. Kompleksne nanomašine - sklapanje različitih nanouređaja u nanosistem da bi se ostvarile složene funkcije.
4. Sistemi sačinjeni od nanosistema/produktivni nanosistemi - oni će biti kompleksni nanosistemi koji proizvode atomski precizne dijelove drugih nanosistema.
5. Info/bio/nano konvergencija - s obzirom da je svaki živi organizam sačinjen od atoma i informacija.

Dva postupka proizvodnje nanomaterijala su:

- ❖ bottom-up - kondenzacija inernim plinom, elektrodepozicija i magnetronsko rasprašenje; gradnja nanomaterijala sastavljanjem njegovih manjih, prethodno pripremljenih gradivnih blokova (elemenata).
- ❖ top-down – sinteza nanomaterijala, čestica ili nanokristala (nanoskopska čestica koja sadrži od nekoliko stotina do nekoliko desetaka tisuća atoma koji su uređeni u kristalnu strukturu) iz makroskopskog komada nestrukturiranog materijala, premazivanje materijala ako je krut i rezanje značajke u premaz. Zatim litografija, mehaničko mljevenje, kristalizacija iz amorfne faze, intenzivna plastična deformacija masivnih uzoraka te posebne kemijske metode (sol-gel) [16].

Veličina površina i međupovršina u nanomaterijalima je ključna. Smanjenjem veličine čestica raste omjer između broja atoma na površini i onih u masi (volumenu) pa nanočestice mogu biti mnogo reaktivnije i djelotvornije [8].

S obzirom da mnoga fizička svojstva materijala (čvrstoća, elastičnost, plastičnost, difuzija, toplinski kapacitet, koeficijent toplinskog rastezanja, "meki" magnetizam, apsorpcija...) ovise i o međusobnom slaganju atoma u strukturi, nameće se činjenica da bi nanomaterijali morali imati različita svojstva u usporedbi s "klasičnim" polikristalnim materijalima istog kemijskog sastava. Kako su se fizička svojstva nanomaterijala pokazala superiornima u odnosu na polikristalne materijale, ne iznenađuje veliki interes za istraživanje i tehnološku primjenu nanomaterijala. Posljednjih godina praktički nema materijala koji se ne proizvodi ili istražuje i u krajnjem slučaju čak primjenjuje u nanostrukturnom stanju: metali, slitine, spojevi; oksidi, karbidi, nitridi, polimeri, fulereni, kompozitni materijali... [17].

## 2.4. Nanočestice

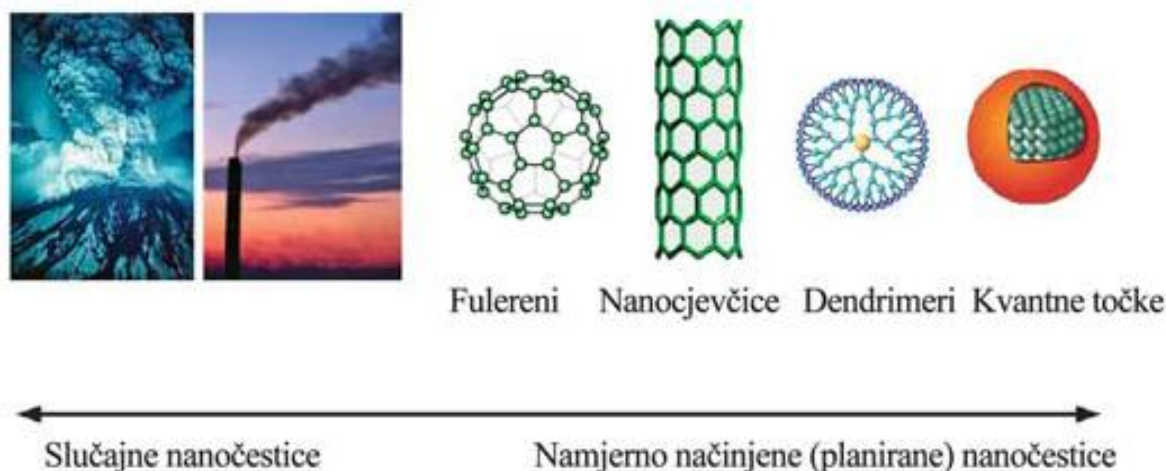
Nadalje, nanostrukture ili nanomaterijali su materijali koji sadrže nanočestice kojima je barem jedna dimenzija u nanopodručju. Nanočestice su općenito „superfine“ čestice veličine od 1 nm do 1 mikrona, odnosno umanjene čestice nekog elementa koje su zadržale sva svojstva nekog elementa, ali i poprimile neka posebna svojstva. Dodatkom istih materijalima poboljšavaju se čvrstoća, tvrdoća te druga mehanička svojstva. Velika primjena nanočestica javlja se kada se promjenom veličine nanočestica mijenjaju magnetska, optička, električna svojstva materijala [8]. Zbog velike površine i malog promjera, koji su ujedno i preduvjet za biološku aktivnost nanočestica, vrlo su reaktivne i mogu pokazivati jedinstvenu bioraspodjelu određenu veličinom. Prema podrijetlu, odnosno nastanku, nanočestice se mogu podijeliti u dvije skupine:

- ❖ Namjerno načinjene (tehničke, planirane, krojene) nanočestice
- ❖ Slučajne (nenamjerno načinjene) nanočestice (slika 9) [8].

Sva svojstva koja čine nanočestice poželjnima i jedinstvenima, mogu biti i štetna. Istovremeno izazivaju veliko zanimanje u industrijskoj i biomedicinskoj primjeni i zabrinutost glede sigurnosti.

### 2.4.1. Nanozaštita

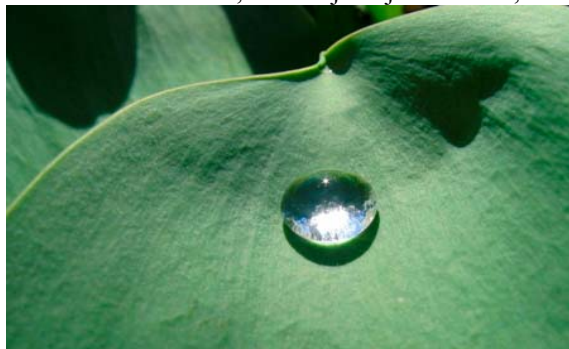
Nano površinska zaštita sastoji se od nanočestica s komponentama koje se čvrsto povezuju s površinom i s drugim komponentama te daju željeni učinak. Te se čestice vrlo inteligentno raspoređuju za vrijeme nanošenja zaštite (faza 1). Vezane komponente putuju na površinu dok nevezane, one slobodne, odlaze u zrak (faza 2). Takva „samostalna organizacija“ stvara ultratanki staklasti sloj koji s površinom stvara homogenu vezu i jamči izuzetnu trajnost (faza 3). Površina je time zaštićena od utjecaja okoliša [5].



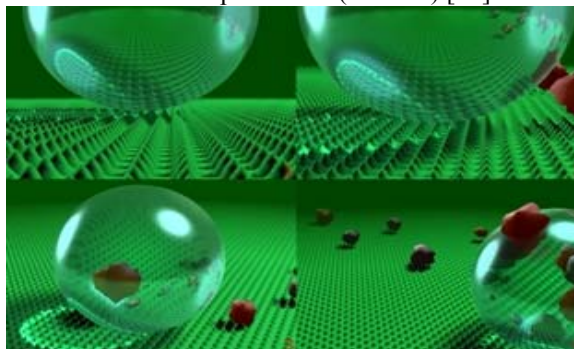
Sl.9. Primjeri namjerno načinjenih i slučajnih nanočestica [8]

### 2.4.2. Lotus efekt

Prirodni lotus efekt je složeni proces i nemoguće ga je kopirati. Prirodni list lotusa raste i sam se čisti kroz svoje pore. Iako je osjetljiv na mehanička oštećenja, priroda to s vremenom obnovi kroz rast lista, što moderna tehnologija ne može. Lotus efekt ili superhidrofobnost se odnosi na svojstvo samočišćenja koje je rezultat visokog odbijanja vode kao što je pokazao list lotusa. Tekućina iz ove biljke ima takvo sredstvo da se na nju ne lijepi nikakva prašina (slika 10). Kapljice vode pokupe čestice prljavštine, što smanjuje prijanjanje kapljica na tu površinu i na taj način se lako čisti s površine. Nakon što se otkrilo da svojstva samočišćenja dolaze iz fizikalno-kemijskih svojstava superhidrofobnih površina, a ne iz specifičnih kemijskih svojstava površine lista, nanoproizvodi preslikavaju pozitivna svojstva lotus lista u segmentu zaštite i moguće ga je kombinirati sa dodatnim efektima, kao što je trajnost zaštite, čvrstoća i 100%-tna transparentnost (slika 11) [18].



Sl.10. Prirodni lotus efekt [5]



Sl.11. Nano lotus efekt [19]

### 2.5. Pregled postojećih, novootkrivenih i budućih nanoproizvoda i primjena nanomaterijala u različitim oblastima

Lista proizvoda koji uključuju neku vrstu nanomaterijala i koji su već dostupni u bogatijim zemljama:

- ❖ kreme za sunčanje i kozmetika - titan dioksid ( $\text{TiO}_2$ ) i cink oksid ( $\text{ZnO}$ ) na nanorazini su prozirni za vidljivu svjetlost, a odbijaju ili apsorbiraju ultraljubičastu svjetlost (nevidljive kreme za sunčanje)
- ❖ vlakna za odjeću, madrace, meke igračke sve se više izrađuju na nanorazini, a proizvodi mogu biti vodonepropusni, prozračni ili promijenjeni na način koji je potreban
- ❖ General Motors (GM) koristi nanomaterijal pomiješan s plastikom (nanokompozit) kako bi smanjio težinu vozila i s tim potrošnju goriva
- ❖ primjena zeolita u pročišćivanju nafte donijela je uštedu od 8 milijardi dolara SAD-u
- ❖ 2003. IBM je uveo novu generaciju PC-ovih tvrdih diskova koji koriste sendvič od materijala debelih svega nekoliko atoma



- ❖ nanočestice sastavljene od kalcijevog fosfata i proteina koriste se kao blokatori u tankim kanalima zubi kako se ne bi osjećala bol od hladne hrane.
- ❖ sredstva za mršavljenje, proizvodi za njegu kože i tijela, štapovi za golf, odjeća, presvlake za madrace, sredstva za čišćenje itd.
- ❖ nano-flasteri - ubrzavaju proces zacjeljivanja
- ❖ nano-sredstva za čišćenje
- ❖ jakne od vodootpornog nano-materijala [6].

Na tržištu nema proizvoda koji bi se mogli uspoređivati s “nano” po učinkovitosti. Nano proizvodi uz pomoć moderne tehnologije posjeduju jedinstvena svojstva. Razlika je u tome što se za svaku površinu razvija proizvod namijenjen upravo toj površini (npr. za staklo proizvod s nano česticama stakla, a za drvo s česticama drveta itd.). Isto tako, “nano” proizvodi imaju veću trajnost od postojećih proizvoda za zaštitu.

Istraživači su već kreirali nanometarske tranzistore, diode, releje, logička vrata, spojne vodove od organskih molekula, ugljikovih nanocijevi i poluvodičkih nanocijevi. Već su proizvedeni prvi svijetleći uređaji i displeji. S obzirom na svojstva, nanocijevčice će biti upotrebljene za vođenje struje i kao vodiči topline. Memorije s velikim gustoćama pohrane podataka rješavati će se nanotehnologijom.

Primjena nanotehnologije u energetici ne očituje se samo u štednji energije, nego i u proizvodnji aditiva koji povećavaju učinkovitost motora, čvršćim bušilicama može se doseći do dubljih zaliha, nanotehnološkim primjesama može se iskoristiti i nečista sirovina blata, mulja i sl. Fotoćelije temeljene na nanomaterijalima već se koriste. Istraživači u američkom Nacionalnom laboratoriju za obnovljive izvore energije dokazali su kako su solarne ćelije bazirane na nanotehnologiji značajno bolje od konvencionalnih [20].

Tim stručnjaka predvođen profesorom Arthurom Nozikom pronašao je kako nanokristali, nazivani i kvantne točke, proizvode tri elektrona od jednog visokoenergetskog fotona svjetlosti. U dosad dostupnim ćelijama stvarao se jedan elektron dok se ostatak pretvarao u toplinu. Solarne ćelije bazirane na nanotehnologiji mogle bi tako teoretski prevesti više od 65% sunčeve energije u električnu energiju. Najefikasnije danas dostupne ćelije pretvaraju oko 33% sunčeve energije u električnu energiju. Profesor Nozik je projekt započeo 2000. godine kada je predvidio kako bi kvantne točke mogle povećati efikasnost. Otkriven je i način kako se može poboljšati učinkovitost vodika utjerivanjem u nanopore, gdje se može pospremiti pod manjim tlakom. Takvi rezervoari mogu poslužiti da automobil prijeđe do 8000 km. Međutim, najznačajniji doprinos očekuje se u vodikovim ćelijama, no jedini ekonomski isplativ način dobivanja vodika danas je iz ugljikovodika tj. fosilnih goriva, jer je elektroliza iz vode jako skupa. Ako bi nanotehnologijom bila poboljšana učinkovitost do zadovoljavajuće mjere, to bi bio najznačajniji doprinos energetici [20].

Znanstvenici s Državnog sveučilišta u Sjevernoj Karolini stvorili su od poluvodičkog materijala germanij sulfida (GeS) strukture nalik cvijetu koje imaju izuzetno tanke latice s ogromnim površinama. Taj GeS cvijet pokazuje se kao potencijalno značajan tehnološki iskorak prema sljedećoj generaciji uređaja za pohranu energije i solarnih ćelija (slika 12).



Sl.12. GeS cvijet [21]

Struktura GeS cvijeta može dovesti do povećanja kapaciteta za superkondenzatore, koji se također koriste za pohranu energije. Njegova atomska struktura omogućuje da vrlo dobro upija Sunčevu energiju i pretvara ju u korisnu električnu energiju. To ga čini privlačnim za korištenje u solarnim ćelijama [21].

U informacijskoj tehnologiji stalno smanjenje dimenzija čipova i povećanje gustoće pakiranja dovelo je već do nanotehnoloških granica. Hewlett Packard je 2002. stvorio krug sa 64-bitnom memorijom sastavljenom od molekularnih prekidača. Daljnji razvoj će dovesti do samih fizičkih granica. Kada tranzistor postane premalen, kvantni učinci curenja (engl. *leaking*) elektrona neće se moći zanemariti, nego će predstavljati problem, jer se neće moći odrediti je li tranzistor u uključenom ili isključenom stanju. Mooreov zakon se zasada održava istinitim, no postoji i drugi zakon, koji je manje poznat. On kaže da se cijena izgradnje postrojenja za izradu čipova udvostručuje svake 3 godine. Mnogi eksperti predviđaju da će se postići ravnoteža između prvog i drugog Mooreovog zakona prije 2015. godine kada će postrojenje koštati 200 milijardi dolara. Područje informacijske tehnologije uz medicinu je područje gdje se očekuje najjači utjecaj nanotehnologije [20].

Asembleri će graditi molekularne strukture prateći instrukcije računala. Asembler će osiguravati trodimenzionalnu poziciju i potpunu orijentacijsku kontrolu nad molekularnim komponentama dodavajući ih na rastuću kompleksnu molekularnu

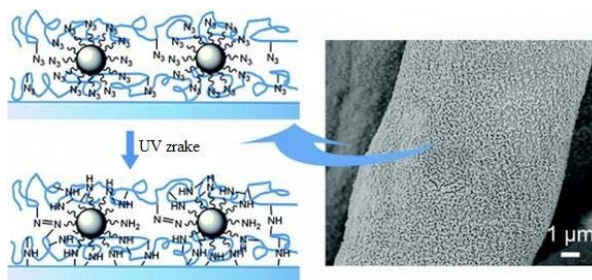
strukturu. Asembleri će biti sposobni graditi više različitih kemijskih struktura, a ne samo jednu vrstu. Imat će sposobnost samorepliciranja i moći će ga se programirati da proizvede biljune svojih kopija. (“Gray Goo”)

Primjena nanotehnoloških inovacija u naoružanju ima ključnu ulogu te se mnogo investira u nacionalnu sigurnost i obranu. Česta pojava u cijelome svijetu je nastojanje država da steknu moćnije instrumente osiguranja, nacionalni integritet i interese. Ta pojava je danas dobila na važnosti. Prva svjetska sila bit će ona koja prva ovlada nano-oružjem. Upotreba nano-projektiranih materijala za naoružanje više nije fikcija nego je postala stvarnost. Izravna veza između nanotehnologije i balističkih ispitivanja plaši ljude kao i potencijalna zlouporaba nanotehnološkog oružja. Ne može se isključiti mogućnost da bi se primjena nanomaterijala u vojne svrhe kasnije mogla koristiti u civilne svrhe [22].

Nova tehnologija nanoboja koje sadrže anorganske silikonske čestice povezane organskim polimerom sprječava ogrebotine u autoindustriji. Za razliku od običnih boja, koje se sastoje od organskih molekula s dugačkim lancima ugljika, nanoboje sadrže anorganske čestice povezane organskim polimerom. Te je anorganske čestice nanotehnologijom moguće tako gusto povezati da površina laka postaje vrlo tvrda i otporna na ogrebotine. Nanoboje su i višestruko otpornije na koroziju od klasičnih boja [5].

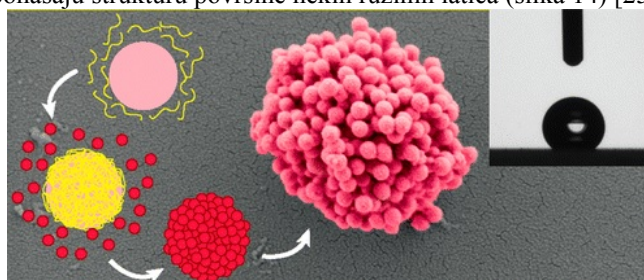
Primjena nanočestica u tekstilnoj industriji danas je izrazito česta. Različite nanočestice s različitim primjenama se vrlo složenim postupcima dodaju u vlakna ili na površinu tekstilnog predmeta. Izabrane nanočestice se dodaju kao baktericidna sredstva, sredstva za samočišćenje, sredstva za zaštitu od UV zračenja, sredstva za zaštitu od prokišnjavanja itd. [23].

Nedavno je proizveden zaštitni nano pokrov namijenjen apliciranju na vlakna iz kojih se izrađuje tkanina s ciljem proizvodnje vodootporne odjeće. Miješanjem više slojeva nanočestica došlo se do pokrivača za pamučna vlakna, koja su se osim vodootpornosti pokazala i otpornim na mrlje, a materijal je stabiliziran izlaganjem UV zrakama. Pokrov neće buduću odjeću činiti samo otpornom na mrlje, nego će ih “napadati”, aktivno uklanjajući prljavštinu, štiteći pritom tekstilna vlakna koja se nalaze ispod njega (slika 13) [24].



SI.13. Nano-pokrov [24]

Novootkriveni materijal tzv. nanostrukturalna “ljepljiva vrpca” za kapljice vode koji koristi tzv. “malina čestice”, koje su naziv dobile zbog svog izgleda te imaju sposobnost učiniti vrlo male kapljice na površini nepokretnima, a to je značajno dostignuće s bezbroj mogućih primjena. Malina čestice mogu zarobiti sitne kapljice vode i spriječiti ih od sklizanja po površini, čak i kada je ona okrenuta naopako. One oponašaju strukturu površine nekih ružinih latica (slika 14) [25].



SI.14. Malina čestice [25]

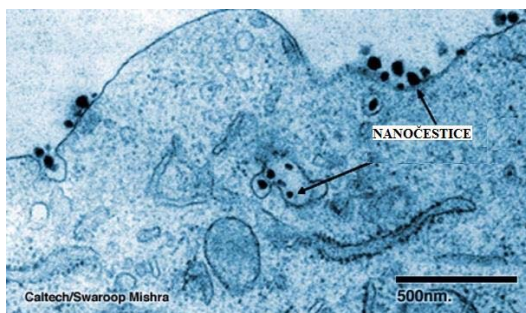
### 2.5.1. Nanobiologija

Nanobiologija je primjena nanotehnologije s biološkim i biomimetičkim ("sakupljanje dobrih konstrukcijskih rješenja iz prirode") problemima i korištenje bioloških entiteta u nanotehnologiji. Glavna razlika između prirode i ljudskog dizajna minijaturnih elemenata je ta što priroda nema ravne površine iz kojih bi izgrađivala objekte. Prirodne površine su zakrivljene i imaju zaobljene kutove, kao na primjer, proteini i biološke stanice.

Biomolekularna elektronika koristi stvarne biološke molekule u dizajnu nanotehnoloških uređaja. Prirodna samospoznaja i auto-montaža ponašanja bioloških komponenata imaju potencijal da biomolekularne uređaje učine jeftinima i jednostavnima za izradu. Atraktivni pristup je korištenje prirodnih ili dizajniranih proteina koji se mogu koristiti za nizove nanostrojeva [26].

Nanobiologija može pružiti bolju metodologiju za medicinsku dijagnostiku i terapiju i bolje alate za biokemijske analize. Pravci nanobiologije vidjeti će se u različitim područjima, od biotehnologije, mikrobiologije, proteomike (interdisciplinarna znanost koja povezuje biologiju, kemiju i računarstvo, bavi se izučavanjem proteina, tzv. "Nanobiotehnologija") do medicinskih znanosti [22].

Medicina je posebno zanimljiva jer postoji više mogućih primjena. Tako će objekti anorganskih materijala i nanometarske veličine, moći poslužiti u biomedicinskim istraživanjima, dijagnozama i terapiji (nanoroboti). Biološki testovi koji mjere ponašanje ili aktivnosti odabranih supstancija postaju brži, osjetljiviji i fleksibilniji ako se određeni djelići nanometarske veličine uključe da funkcioniraju kao oznake ili etikete do nanostrukture koje bi mogle biti upotrebljene za dostavu lijeka (*drug delivery*) upravo tamo gdje je potreban, izbjegavajući štetne popratne efekte koji su često rezultat jakih lijekova, kao kod kemoterapije (slika 15) [5].



Sl.15. Mikroskopski prikaz nanočestica na stanici tumora [27]

Liječnici već neko vrijeme koriste markere (*dyes*) za označavanje virusa i bakterija koje treba identificirati ili nadzirati. Ideja je jednostavna, da se antitijela koja će se vezati na ciljanu ćeliju markiraju tako da fluorescentno zrače pod svjetlošću određene valne duljine, osim ako su markeri toksični, pa to predstavlja problem. Mjerenjem fluorescencije mjeri se razina infekcije [20]. Superparamagnetske nanočestice su čestice koje privlači magnetsko polje, no nakon uklanjanja polja ne pokazuju rezidualni magnetizam. Nanočestice od željezovog oksida s promjerom od 5 do 100 nm koriste se za selektivne magnetske bioseparacije. Superparamagnetske nanočestice od željezovog oksida koriste se za transport lijekova i gena u unutrašnjost stanica. Ciljano dostavljanje lijekova, bioaktivnih molekula ili DNA-vektora ovisno je o vanjskoj elektromagnetskoj sili koja ubrzava i usmjeruje putovanje čestica prema ciljnom tkivu [28].

Otkriće nanodijamanata korisno je kao temelj za budućnost nanotehnologije u stomatologiji, ortopedskoj medicini te svim ostalim domenama medicine. Nanodijamanti su nusprodukt konvencionalnog rudarstva i rafinerijskih procesa, veličine od otprilike 4 do 5 nanometara u promjeru i oblika male nogometne lopte. Tim znanstvenika otkrio je da korištenje nanodijamanata za dostavljanje proteina koji potiče rast kostiju i kojeg su do tada injektirali umetanjem spužve kroz invazivnu operaciju, može potencijalno biti puno efektivnije od konvencionalnih pristupa. Istraživanje je otkrilo da se nanodijamanti brzo vežu za morfogenetičke proteine i faktor rasta fibroblasta, što demonstrira mogućnost da bi proteini mogli biti dodavani koristeći samo jedno sredstvo [29].

### 2.5.2. Nanomaterijali i ekologija

Čovjek je mnogo naučio iz prirode, ipak svatko zna da puno više toga treba biti učinjeno kako bi se približili prirodi. Na primjer, nitko nije dosegao učinkovitost fotosinteze u spremanju energije. Nitko ne može olakšati prijenos energije (ili prijenos elektrona) tako učinkovito kao biomolekula. Niti jedna tvornica ne radi pročišćavanje vode i skladištenje učinkovitije od stabla kokosa ili lubenice.

Sve ove funkcije obavljaju se u prirodi i to se događa od pamtvijeka i precizno svaki put. Konvencionalna mudrost kaže da je ono što se događa u tvornici visoka tehnologija. Tehnologija pretvara primitivno, neupotrebljive materijale u moderne, korisne materijale. No, tehnologija ima mnogo veći utjecaj na prirodu pogotovo što se složenosti tehnologije tiče. Utjecaj tehnologije se povećava zajedno s napretkom civilizacije i očituje se na svim prirodnim resursima, vode, zraka i svega što nas okružuje. Naravno, ono što je razvijeno nije visoka tehnologija u potpunosti. Tijekom raznih prirodnih procesa, može se proizvesti mnogo drugih vrsta otpada kao što su dim, kompleksni organski spojevi i dušikovi oksidi. Tehnologije koje su razvijene mnogo su manje učinkovite od onih koje djeluju u prirodi. No, što je najvažnije, koristi koje su iz procesa i strojeva razvijene od strane ljudi su neusklađene s ogromnim količinama resursa koje su korištene za taj razvoj.

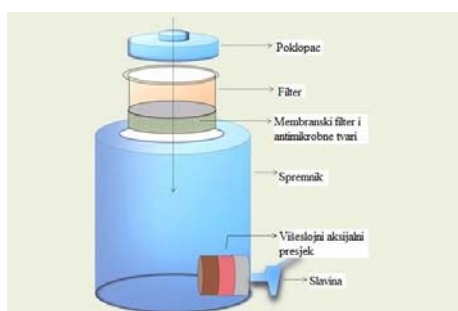
Svaka proizvodnja postignuta biološkim procesima izuzetno je složena, ali vrlo jeftina u realnim uvjetima. Nanotehnologija olakšava stvaranje svih umjetnih proizvoda, pokušavajući imitirati prirodne procese [22].

Primjenom nanomaterijala pri detekciji zagađivača u okolišu i njihovu uklanjanju te u projektiranju čišćih industrijskih procesa može se poboljšati i stanje u okolišu [8]. Često su upravo nanotvari u prirodi i prirodne pojave inspiracija za umjetnu

proizvodnju inovativnih nanotvari. Zbog toga mnogi znanstvenici vjeruju kako znanost o nanomaterijalima ne predstavlja revoluciju već evoluciju postojećih znanstvenih disciplina.

Znanstvenici s indijskog Instituta za tehnologiju Madras razvili su novi prijenosni sustav za pročišćavanje vode koji se temelji na filtraciji uz pomoć nanočestica (slika 16) [30]. Znanstvenici naglašavaju kako je pristup čistoj i pitkoj vodi još uvijek veliki problem. Čineći je dostupnom svima, spasilo bi se otprilike 2 milijuna života godišnje. Ovom se tehnikom može dobiti 10 litara pitke vode u samo sat vremena. Najveći izazov bio je dovođenje iona srebra u vodu bez uporabe električne energije. Kako bi se zadovoljili međunarodni sigurnosni standardi, morao se upotrijebiti minimalni broj iona srebra. Druge nanočestice koristile su se kako bi se stvorili drugi materijali koji služe kao filteri; ubijajući mikrobe, eliminirajući biološki otrov i isisavajući teške metale iz vode.

Proces filtracije podijeljen je u dvije faze. U prvoj se fazi procesa ubijaju bakterije i ostali opasni mikroorganizmi, dok se u drugoj apsorbiraju teški metali poput arsena i olova [30].



Sl.16. Prototip filtracijskog sustava [31]

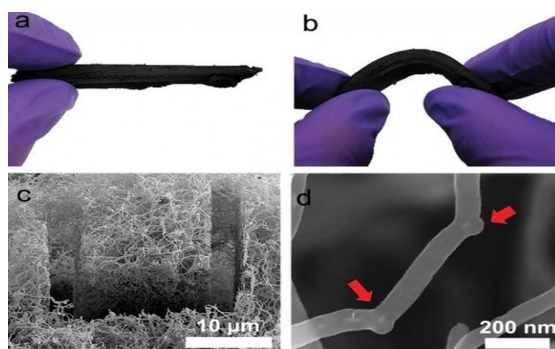
Pročišćavanje vode temeljeno na nanotehnologiji još se uvijek nije pokazalo štetno, bilo za ljudsko zdravlje ili za okoliš, no znanstvenici ipak dijele općeprihvaćeno stajalište o poduzimanju daljnjih istraživanja o biološkim interakcijama nanočestica [32].

Uz pomoć računalnih simulacija u znanstvenom laboratoriju Oak Ridge National Laboratory američkog Ministarstva energetike istraživački tim je postigao rast velikih nakupina nanocijevčica pomoću selektivne zamjene atoma bora u, inače čistim, ugljikovim rešetkama. Dakle, razvili su ugljikovu spužvu od nanocijevčica, koja može upiti naftu iz vode s dosad neviđenom učinkovitošću. Proveli su simulacije na superračunalima, da istraže kako bi dodavanje atoma bora moglo utjecati na strukturu ugljikovih nanocijevčica, imajući na umu da se drugačiji atomi ne moraju nužno uklopiti i biti dio navedene strukture jer kad se taj drugi atom stavi unutar heksagonalne rešetke mreža se poremeti. Simulacije i eksperimenti su pokazali da se dodavanjem bora potiče formiranje tzv. "lakatnih" spojeva koji pomažu da nanocijevčice izrastu u trodimenzionalnu mrežu. Razlog tomu je što bor ima različiti broj valentnih elektrona što rezultira promjenama u zakrivljenosti koje aktiviraju različite vrste rasta (slika 17). Tako materijal postaje jači po tri dimenzije, umjesto da je jak samo po jednoj dimenziji duž osi cijevi. Daljnji eksperimenti su pokazali da je taj materijal, koji je vidljiv ljudskom oku, vrlo učinkovit u upijanju nafte u zagađenoj morskoj vodi jer privlači ulje, a odbija vodu. Apsorbirati će količinu nafte i do 100 puta veću od svoje mase [33].

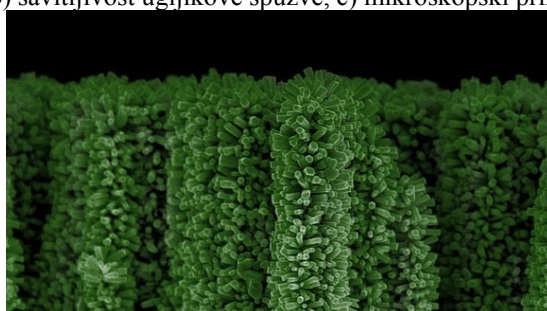
Inženjeri Sveučilišta Kalifornije iz San Diega stvorili su šumu sačinjenu od sitnih nano-drveća kako bi na čist način skupljali solarnu energiju bez korištenja fosilnih goriva koja generiraju vodikovo gorivo. Te nano-žice koje nalikuju na malena drveća se stvaraju od prirodnih materijala kao što su; silikon, cinkov dioksid i predstavljaju jeftin način za masovnu proizvodnju goriva (slika 18) [34].

### 2.5.3. Zelena nanotehnologija

Pojam "zelena nanotehnologija" čini paradoks sam po sebi jer dovodi u pitanje i prirodu i ekosustav, jer kontrola i manipulacija materijalima na svojoj osnovnoj razini dovodi do stvaranja novih stvari koje ne postoje u području prirode. Budući da se pojam "zeleni" odnosi prije svega na zaštitu okoliša i na evolucijski proces, nanoznanosti i tehnologije nisu u suprotnosti sa "zeleni". "Zelena nanotehnologija" ima potencijala igrati ključnu ulogu u borbi protiv svjetski gorućih problema okoliša.



Sl.17. a) ugljikova spužva, b) savitljivost ugljikove spužve, c) mikroskopski prikaz, d) "lakatni" spojevi [33]



Sl.18. Šuma sačinjena od sitnih nano-drveća [34]

Bionanotehnologija, npr., ima širok spektar mogućnosti za ublažavanje negativnih učinaka degradacije okoliša, bez obzira na uzroke i izvore. Ona konkretno može pružiti održiva rješenja za tlo, zrak i zagađenje vode, te neodrživo iskorištavanje prirodnih resursa. Ova rješenja uključuju podršku čistijim metodama proizvodnje, pružanje alternativnih i obnovljivih izvora energije i smanjene unosa u proces proizvodnje i pročišćavanja vode. Zelena nanotehnologija još je jedan preventivni pristup odgovornog kretanja prema naprijed. Ima dva cilja: proizvodnju nanomaterijala i proizvoda bez štete za okoliš ili zdravlje ljudi; i proizvodnju nanoprodukata koji pružaju rješenja za izazove zaštite okoliša. Zelena nanotehnologija se ne može usredotočiti na samo jedan aspekt životnog ciklusa nanomaterijala ili nanoprodukata, ali treba uzeti u obzir puni sustav; od ekstrakcije sirovina i prijevoza do proizvodnje i prestanka njihovog korištenja, odnosno recikliranja, ponovne uporabe, ponovne proizvodnje i konačnog odlaganja.

Sučelje bio i nanotehnologije ne stvara samo pozitivne rezultate. Potencijalne rizike konvergencije znanosti o životu, nanoznanosti i tehnologije treba riješiti i razumjeti. Prijetnje mogu proizaći iz povećane kemijske reaktivnosti materijala na nano ljestvici, toksičnosti nanočestica i još nepoznatih nuspojava atomskih i molekularnih projektiranih materijala. Oslobođanje atomskih i molekularnih projektiranih tvari u biosferi postavlja dodatne probleme ljudskim bićima i prirodi, jer se rezultati ispitivanja dobiveni u laboratoriju mogu razlikovati od onih u otvorenom okruženju. Još je uvijek nepoznato kako će ljudi i okolina odgovoriti s obzirom na distribuciju i akumulaciju novih materijala. Životni ciklus proizvoda koji sadrže nanočestice je teško utvrditi, jer se proces degradacije nanomaterijala i komponenata može samo procijeniti. Opasnosti identificirane s obzirom na zdravlje uglavnom se odnose na apsorpciju nanočestica u ljudskom tijelu i njihovu distribuciju i rizik od nakupljanja u organima. Također je nepoznato, kako će ljudski (i životinjski) metabolizam reagirati na unos nano projektirane hrane i nanočestica, koje se jednom uvedu u ekosustav, ući će i u prehrambeni lanac.

To zahtijeva istraživanje mogućih negativnih utjecaja bionanotehnologije i transparentnost u rezultatima u pogledu vjerodostojnosti i uvjerljivosti zelene nanotehnologije. Međutim, nedavni rezultati ukazuju na to da prednosti daleko nadmašuju rizike [22].

## 2.6. Nanotoksikologija i utjecaj nanočestica na ljudsko zdravlje

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

Na počecima širokog korištenja azbesta prije stotinjak godina nitko nije niti pomišljao da bi moglo biti štetnih učinaka tog tako inertnog materijala. To iskustvo mnogi stručnjaci imaju na umu, posebno sada, u trenutku dramatičnog porasta korištenja nanočestica svih mogućih vrsta na svakom mogućem mjestu, od kozmetike do građevinarstva ili medicine [4]. Uzme li se u obzir isto tako i mobilna tehnologija; zdravstveni rizik povezan s uporabom mobilnih uređaja pojavio se godinama nakon početka njihovog korištenja, a čak niti danas taj rizik nije u potpunosti razjašnjen. Unatoč tome ljudi ih svakodnevno koriste. Sigurnost nanotehnologije u središtu je pažnje već nekoliko godina, zahvaljujući nekolicini organizacija civilnog društva i nacionalnim znanstvenim institucijama koje ukazuju na sigurnosne probleme i koje su zatražile rano djelovanje kako bi se osigurao odgovoran razvoj nanotehnologije.

Toksikologija nanomaterijala je važan čimbenik u određivanju utjecaja nanomaterijala ili proizvoda tijekom njegovog životnog ciklusa. Toksikologija čestica, nanotoksikologija, obuhvaća istraživanja djelovanja ultrafinih čestica i mineralnih vlakana nanometarskih veličina (npr. azbest) na ljudsko zdravlje. Istraživanja mogu biti epidemiološka ili eksperimentalna na životinjama. Nanočestice mogu ući u tijelo udisanjem, gutanjem, preko kože i parenteralno (apliciranje lijeka mimoilazeći probavni trakt, tako da se lijek unese direktno u tkiva pomoću prikladnih ljekovitih oblika). Do izloženosti nanočesticama može doći tijekom njihova razvoja, proizvodnje, uporabe i odlaganja [8].

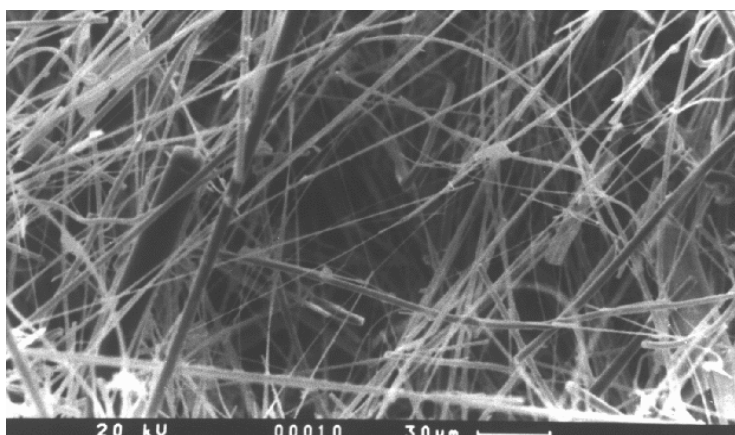
Posljednjih godina raste broj istraživanja vezanih za štetne učinke nanomaterijala na žive organizme, iako je problem u tome što se velike svote ulažu u razvoj nanotehnologije, a iznosi namijenjeni za istraživanje na području sigurnosti su višestruko manji. Tako je npr. američka vlada u proračunu za 2006. namijenila 1,1 milijardu dolara za istraživanja na području nanotehnologije, od čega je samo 37 milijuna dolara predviđeno za istraživanje sigurnosti [8,20]. O opasnostima nanotehnologije za zdravlje, sigurnost i okoliš, malo se zna, a rizik je velik i prilično zabrinjava mnoge znanstvenike. Zato predstavnici industrija i prvenstveno organizacija za zaštitu okoliša traže od vlasti u visokorazvijenim zemljama veća ulaganja u istraživanja sigurnosti primjene nanotehnologije, uz poseban naglasak na utvrđivanje jedinstvenih smjernica o procjeni potencijalnih opasnosti.

Toksikolozi još uvijek nemaju standardizirane metode ispitivanja opasnih svojstava nanočestica, ali prema klasičnoj toksikologiji vlakana, za predviđanje plućne toksičnosti vlakana važna je bioperzistencija i duljina vlakana, a između ostaloga i oblik čestice i kemijski sastav. Kod toksikoloških istraživanja važno je naznačiti sve eksperimentalne uvjete koji mogu utjecati na interpretaciju rezultata (npr. uporaba dispergenata/površinski aktivnih tvari radi održavanja nanorazine i povećanja topljivosti). Isto tako, da bi se izbjegao utjecaj slučajnih nanočestica, istraživanja se provode u zatvorenom sustavu. Mala razina izloženosti nanometarskim ugljikovim nanočesticama (CNT) i česticama čađe u zraku ujedno može značiti i veću izloženost preko kože ili oralnu izloženost (preko ruku ili stavljanjem stvari u usta). Posebno zabrinjava kretanje inhaliranih nanočestica iz pluća prema krvotoku i drugim organima [8].

Zbog ozloglašnosti azbestnih mineralnih vlakana (slika 19) koja uzrokuju teške bolesti pluća postoji zabrinutost da bi i nova, konstrukcijska nanovlakna mogla imati sličan učinak. Novo je istraživanje proveo prof. Ken Donaldson, profesor respiratorne toksikologije na britanskom sveučilištu "University of Edinburgh", u čijem je središtu interesa bila dužina pri kojoj sitna nanovlakna postaju štetna za pluća. Nanovlakna mogu biti izrađena od različitih materijala, uključujući ugljik, a manja su oko tisuću puta od širine ljudske kose te mogu dospjeti u pluća kada se udahnu. To može dovesti do raka (mezoteliom), za koji je poznato da nastaje udisanjem azbestnih vlakana, koja su slična nanovlaknima. Znalo se da duga vlakna, u usporedbi s kraćima, mogu uzrokovati tumore, ali do sada se nije znala točna dužina potrebna da bi se to dogodilo. Poznavanje duljine preko kojih vlakna mogu izazvati bolest važno je kako bi se osiguralo da se u budućnosti proizvode sigurnija, kao i da se pomognu razumjeti sadašnji rizici od azbesta i drugih vlakana. Studija je pokazala da na plućne stanice mogu utjecati samo vlakna dulja od pet tisućinki milimetra, a kraća od pet tisućinki milimetra se ne mogu zaglaviti i uzrokovati bolest [35].

Izloženost preko kože izaziva veliku pozornost zbog povećanog korištenja nanočestica za odjeću postojanih boja, u kozmetici, zaštitnim sredstvima pri sunčanju itd. Prema nekim izvorima, ultrafine čestice  $\text{TiO}_2$  (10 - 60 nm) iz zaštitnih sredstava za sunčanje ne prodiru dublje u kožu, već se talože u površinskom dijelu kože (stratum corneum). Do sada još nije poznato koje su posljedice u slučaju oštećenja i bolesti kože. No prikupljeni znanstveni dokazi ukazuju na to da nanočestice ne prodiru u kožu. Općenito govoreći, zasada ne postoje dokazi da su potrošački proizvodi s nanotvarima štetni za korisnike. Ipak, toksičnost tvari na nanorazini i dalje se nastavlja provjeravati, posebno za one proizvode koji dolaze u izravan dodir s tijelom [37]. Neka novija istraživanja ukazuju na štetnost srebra tretiranog na nano-razini i fatalni učinak srebrnih nano čestica na mikroorganizme. S druge strane, brojna istraživanja ukazuju na suprotno i naglašavaju brojne pozitivne učinke korištenja nano tretiranih materijala [5].

U prehrambenom sustavu u tijeku je istraživanje i razvoj u korištenju nanotehnologije u bezbroj aspekata obrade hrane. Od farmi gdje se koriste gnojiva i pesticidi koji sadrže nanočestice i široki izbor prehrambenih dodataka koji sadrže nanosrebro do kuhinje gdje se priprema hrana u posudu i na daskama za rezanje koje koriste antimikrobnu nanosrebrnu tehnologiju i zatim se hrana sprema u hladnjake koji su presvučeni nanosrebrom. Također, kada se pakira hrana kako bi se stavila u hladnjak ili uzela sa sobom na posao, veliki broj spremnika za hranu i omota u svojoj proizvodnji uključuje nanotehnologiju, iako postoji opasnost da nanočestice pređu s pakiranja u samu hranu [20].



Sl. 19. Mikroskopska slika azbestnih vlakana [36]

Nije dobro da nanotehnologija napreduje divovskim koracima, a nanotoksikologija stoji na mjestu. Iako nema podataka o štetnosti nanomaterijala, pravo na sumnju postoji. Činjenica je da ne postoje MDK (maksimalno dopuštene koncentracije) za nanočestice u bilo kojem materijalu, od sredstava za sunčanje do lijekova. Tada niti podaci o povišenim koncentracijama istih ili bilo kojeg metala u primjeni ne znače puno [4].

### 2.6.1. Ekotoksikologija

Mnoge trenutne i namijenjene uporabe nanočestica u skladu su s prirodom, uključujući sanaciju (uklanjanje štetnih tvari iz kontaminirane vode ili tla). Velike količine nanočestica koriste se, kao na primjer, kod propusnih reaktivnih barijera i kontrole rasta algi u vodenim sustavima. Rast nanotehnologije će dovesti do povećanog slučajnog ispuštanja nanočestica u okoliš i važno je da se ukupni učinci i rizici novijih nanočestica ispuštenih u okoliš zabilježavaju. Do sada je provedeno vrlo malo radova kako bi se utvrdila sudbina nanočestica u vodenim i kopnenim staništima i njihovih učinaka na biotu u tim okruženjima, a još manje na potencijalnu ekotoksičnost. Utjecaj na okoliš nanočestica je ključno područje istraživanja budući da će mnoge nanočestice dospjeti u okoliš preko otpadnih voda iz domaće i industrijske uporabe nanočestica. Postoji niz preporuka, u Europi i SAD-u, za donošenje opreza u razvoj nanodruštva i nanotehnologije, pogotovo za uporabu slobodnih nanočestica. Nanočestice se ispuštaju u okoliš putem zraka, vode ili tla što znači da imaju pristup širokom rasponu vrsta od mikroorganizama kao što su bakterije i alge, do složenijih organizama, uključujući kopnene i vodene kraljevnjake. Očito, štetni učinci na bilo koji organizam u ekosustavu mogu dovesti do značajnih posljedica za ostatak ekosustava na različite načine, uključujući i utjecaj na hranidbeni lanac i mijenjanje interakcije između različitih vrsta. Zbog tih razloga važno je procijeniti sudbinu i distribuciju nanočestica koje su puštene u okoliš kako bi se utvrdilo koja okruženja i vrste su najviše izložene, a što posljedice mogu biti. Nanočesticama su poboljšane strukturne, kemijske, magnetska, optička i električna svojstva. Sudbina i distribucija nanočestica u okoliš su vrlo ovisne o ovim svojstvima, uključujući njihovu hidrofobnost i površinski naboj. Osim utvrđivanja sudbine i distribucije nanočestica u okolišu, također je bitno procijeniti njihovu potencijalnu toksičnost za široki raspon vrsta. Nekolicina studija počele su se pojavljivati u tom području, kao i za određivanje fitotoksičnosti i utjecaja na bezkraljevnjake i kraljevnjake. Razumijevanje mehanizma toksičnosti će pomoći u utvrđivanju sigurnosne granice puštanja novih nanočestica kao i dizajn sigurnije nanočestice u budućnosti. Toksikološke studije su temelj za zaštitu zdravlja ljudi i okoliša koje se odnose na nanotehnologiju [38].

### 2.6.2. Nanozagadenje

Nanozagadenje je zagadenje okoliša proizvodima nanotehnologije. Danas je to uglavnom futuristički koncept posebno s obzirom na količine nanostrukturiranih materijala koji se proizvode, premda postoje studije koje ukazuju na toksičnost određenih materijala strukturiranih na nanoskali [4]. Znanstvenici se pitaju imaju li nanotvari u nanotehnološkim proizvodima štetan utjecaj na okoliš kada dospiju na odlagalište otpada i može li taj otpad tijekom razgradnje štetno utjecati na životinje i biljke. Također razmatraju postoje li problemi prilikom pranja predmeta kao što je odjeća koja sadrži nanomaterijale. Neke civilne organizacije vjeruju da se potrošački proizvodi koji sadrže nanomaterijale ne bi smjeli prodavati dok se na ta pitanja ne nađu zadovoljavajući odgovori. Drugi ipak vjeruju da u našem okolišu, prirodi i onečišćenju već postoji mnogo prirodnih nanočestica koje nisu potpuna novost. Ali čak i ako je potrebno provoditi još istraživanja o sigurnosti, ne bi se trebalo postaviti previše prepreka za napredak ovog područja istraživanja [37]. Po dosadašnjim istraživanjima nano proizvodi ne oslobađaju nikakve opasne tvari u otpadnoj vodi i okoliš, iz čega se može zaključiti da je većina proizvoda sigurna i bezopasna. Sastoje se od vode i alkohola kao transportnog sredstva za nanočestice koje ispare u zraku i ujedno ne oštećuju ozonski omotač [5].

## 2.7. "Nano" društvo

Znanost, tehnologija i društvo suštinski su povezani i karakterizira ih uzajamna međuovisnost. Kako je tehnologija čvrsto ukorijenjena u društvu, ne može se promatrati u izolaciji. Napredak postignut u znanstvenom i tehnološkom znanju u bilo kojoj disciplini ili grani neminovno može dovesti do promjena u društvenim odnosima [22].

U posljednjih nekoliko desetljeća naši su se životi drastično promijenili od tehnologije danas do nanotehnologije sutra. Nanotehnologija je imala važnu ulogu u „smanjivanju dimenzija“ s vremenom i poboljšavanju učinkovitosti i multifunkcionalnosti uređaja, naprava, materijala, sustava itd. Moglo bi se reći da se inženjeri i znanstvenici bave pretežito tehničkim aspektom nanotehnologije, ne vodeći toliko računa o tome kako će ti izumi utjecati na promjenu načina života ljudi i kako će ih ljudi prihvatiti. Psihijatri, psiholozi i sociolozi, s posebnom pažnjom prate mogućnosti nanotehnologije da bi bili u stanju pretpostaviti teoretske posljedice na pojedinca i/ili društvo u cjelini. Oni proučavaju koliko današnja tehnologija utječe na promjene u ponašanju ljudi i pokušavaju razviti ideje i pretpostavke o tome kako će se pojava nanotehnologije odraziti na čovjeka [39].

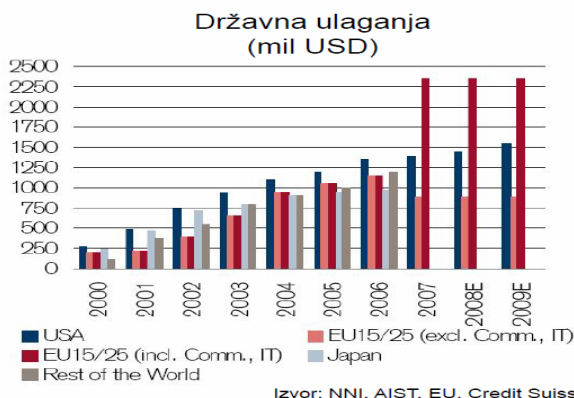
### 2.7.1. Tržište nanotehnologije

Nanotehnologija na tržištu ima potencijal transformirati i preoblikovati sve gospodarske sektore, od primarnog do tercijarnog. Često zagovarana pretpostavka da će nanoznanosti promijeniti svijet mora proizaći iz osnovne pretpostavke koja kaže da će nove inovacije na nanometarskoj ljestvici imati značajan utjecaj na produktivnost. Kao posljedice brzo rastuće tehnologije na nanoljestvici vidjeti će se rast novih industrija i pad onih konvencionalnih tehnologija iz prošlosti. Nanocarstvo će postati pokretačka snaga nanotržišta. Može se pretpostaviti da će u godinama koje dolaze, ovaj relativno novi ekonomski fenomen, doprinijeti povećanju globalnog bruto domaćeg proizvoda (BDP) na projekcije pouzdane globalne ekonomske institucije poput Svjetske banke (WB) i Međunarodnog monetarnog fonda (MMF). Usporedba gospodarskih rezultata nanoindustrije i poslovanja s razvojem nacionalnog i globalnog BDP-a mogla bi otkriti eventualne korelacije između njih i dati odgovor na pitanje o tome doprinosi li nanotehnologija doista gospodarskom rastu u kvantitativnom smislu. Budući da su nanoposlovi još uvijek u povojima, čak i u razvijenom svijetu, teško je procijeniti moguće ekonomske učinke koje će imati zemlje u razvoju.

Glavni pokretači razvitka nanotehnologije su:

- ❖ rast stanovništva
- ❖ želja za boljom kvalitetom života
- ❖ porast potrošnje energije i vode
- ❖ potreba za većom sigurnošću [40].

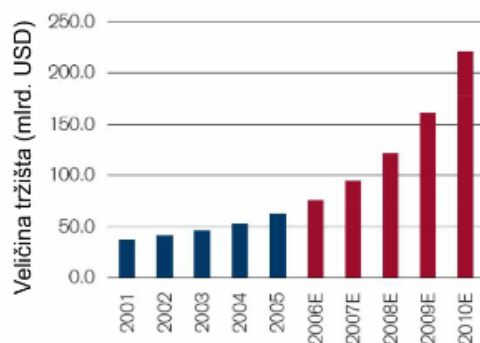
Pentagon izdvaja 300 milijuna dolara godišnje za nanotehnološka istraživanja. NASA za te namjene izdvaja 42 milijuna dolara godišnje. U Kini se u nanotehnologiju godišnje ulaže preko 3 milijarde dolara, u Južnoj Koreji 2 milijarde, a u svemu predvodi USA (slika 20) [20].



Sl.20. Državna ulaganja u mil. dolara u nanotehnologiju [5]

Godišnji rast nanotehnologije je preko 25% (slika 21). Očekuje se od nanotehnologije da će strateški prioriteti biti: energija, zdravlje, informatika i komunikacije te da će biti oko 2 milijuna novih radnih mjesta u 2015. godini u svijetu [40].





Izvor: GIA, Credit Suisse

Sl.21. Godišnji rast nanotehnologije [40]

### 3. ZAKLJUČAK

Nanotehnologija je ključna djelatnost 21. stoljeća čije velike rezultate tek očekujemo u budućnosti, u svijetu raznih oblasti i znanstvenih grana, iako već danas imamo mnogobrojne. Činjenica je da su upravo primjenom nanotehnologije svojstva materije znatno poboljšana, materijali poprimaju nazamisliva svojstva, proizvodi su kvalitetniji, duže traju te troše znatno manje energije. Praktički im nedostaje samo jedna dimenzija, a to je nepoznanica da li i kako sve to utječe na zdravlje čovjeka i okoliš koji nas okružuje. Za nanoznanost, kao i za druge znanosti, od velikog je značaja imati što jasnije i preciznije, određene i definirane temeljne pojmove i saznanja kako bi rezultati bili utemeljeni i kako bi se daljnji napredak imao na čemu bazirati. Daljnjim studijama potrebno je nastaviti istraživanja kako bi se smanjili mogući upitni rizici u bilo kojem području ispitivanja nanotehnologije. Nanomaterijali i nanočestice stvaraju dovoljno neistražene utjecaje u okolišu i svakako treba ostati „budan“ i biti oprezan. No s ekološkog aspekta ne bi se trebalo postaviti previše prepreka napretku ovog područja jer se uvelike realiziraju poboljšanja koja pridonose napretku i boljitku na području ekologije. Nanotehnologija se u širem smislu te riječi kreće malim koracima, ali nezaustavljivo. Imati sreću (ili nesreću) biti svjedok najradikalnijih promjena, u gotovo svim sferama ljudskog života u povijesti je od velikog značaja. Iz analizirane literature vidljivo je kako nanotehnologija još nije dovoljno istražena pa tako ni utjecaj nanomaterijala i nanočestica na čovjeka i čitav ekosustav. Na temelju dosadašnjih postignuća vidljiva je njihova upotreba u svakodnevnom životu. Kako istraživanja napreduju sve manje se uočavaju nedostaci dok se prednosti gomilaju, iako će mjesta za sumnju još dugo biti. Nanotehnologija kao pojam danas predstavlja nepoznanicu i kod ljudi izaziva čuđenje. Neki je doživljavaju kao znanstvenu fantastiku, dok su drugi svjesni da fikcija postaje stvarnost i da je već među nama. Napredak u znanju o nanotehnologiji dovodi do promjena u društvenim strujama i bitno je osvijestiti čovjeka o napretku i razvitku te još nedovoljno istražene i brzorastuće znanosti uz sve njene nedostatke i prednosti.

„Bilo ono dobro ili loše, najveće znanstveno otkriće u povijesti tek se treba dogoditi“ K.Eric Drexler

### 4. LITERATURA

- [1] Čizmek A.: Nanotehnologija, dostupno na: <http://www.hrvatski-vojnici.hr/hrvatski-vojnici/2682009/nano.asp>, pristupljeno 05.11.2014.
- [2] Nanotehnologija u službi zdravlja, dostupno na: <http://www.val-znanje.com/index.php/tekstovi/zdravlje-i-lijecenje/273-nanotehnologija-u-sluzbi-zdravlja>, pristupljeno 24.11.2014.
- [3] Fizika nanomaterijala: Povijest nanomaterijala, dostupno na: <http://www.phy.pmf.unizg.hr/~atonejc/1%20NNUvod.pdf>, pristupljeno 31.10.2014.
- [4] Što je nanotehnologija?, dostupno na: [http://www.ffri.hr/~ibonifacic/index\\_files/Page1050.htm](http://www.ffri.hr/~ibonifacic/index_files/Page1050.htm), pristupljeno 30.11.2014.
- [5] Pavić A.: Nanotehnologija, seminarski rad, Sveučilište u Rijeci, Nastavni centar Bjelovar, Bjelovar 2012.
- [6] Nanotehnologija, dostupno na: <http://www.google.hr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CCYQFjAB&url=http%3A%2F%2Fdata.sfb.rs%2Fsfftp%2Fmilanka.djiporovic%2FNANOTEHNOLOGIJE%2FNanotehnologija%25201.pptx&ei=Wyp-VPSNIsGR7AaS4IGICA&usq=AFOjCNGueLFMdIEUI8MWIoc80ugi1xTOFg&bvm=bv.80642063.d.ZGU>, pristupljeno 15.11.2014.
- [7] Nanotehnologija: ATM, dostupno na: <http://hr.wikipedia.org/wiki/Razgovor%3ANanotehnologija>, pristupljeno 01.12.2014.
- [8] Ivanković M.: Nanomaterijali i nanoproizvodi - mogućnosti i rizici. Kategorizirani radovi: Polimeri 32(2011)1:23-28, dostupno na: [http://www.google.hr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CBsQFjAA&url=http%3A%2F%2Fhrcak.srce.hr%2Ffile%2F101713&ei=\\_IF9VID8GbkD7ga3IYG4Cg&usq=AFOjCNGiVf-SHQO3hAV31v9Nhocj9HzKCA&bvm=bv.80642063.d.ZGU](http://www.google.hr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CBsQFjAA&url=http%3A%2F%2Fhrcak.srce.hr%2Ffile%2F101713&ei=_IF9VID8GbkD7ga3IYG4Cg&usq=AFOjCNGiVf-SHQO3hAV31v9Nhocj9HzKCA&bvm=bv.80642063.d.ZGU), pristupljeno 07.10.2014.
- [9] mr.sc.Prister V.: Nanomaterijali: Izazovi suvremene znanosti, dostupno na: <http://www.eho.com.hr/news/nanomaterijali/6120.aspx>, pristupljeno 29.11.2014.
- [10] Fizika nanomaterijala, dostupno na: [http://www.phy.pmf.unizg.hr/~dpajic/buksa/nanomaterijali/01\\_uvod\\_03102013.pdf](http://www.phy.pmf.unizg.hr/~dpajic/buksa/nanomaterijali/01_uvod_03102013.pdf), pristupljeno 1.12.2014.

- [11] Ugljik, dostupno na: <http://hr.wikipedia.org/wiki/Ugljik>, pristupljeno 29.11. 2014.
- [12] Prikaz fullerena C<sub>60</sub>, dostupno na: <http://www.businessweek.com/news/2012-06-21/carbon-buckyball-solar-panels-absorb-more-light-mit-says>, pristupljeno 30.11.2014.
- [13] Prikaz dvostjenčane nanocjevčice, dostupno na: [http://www.nature.com/nmat/journal/v6/n5/fig\\_tab/nmat1898\\_F2.html](http://www.nature.com/nmat/journal/v6/n5/fig_tab/nmat1898_F2.html), pristupljeno 30.11.2014.
- [14] Posebni, novi nanomaterijali i njihova svojstva, dostupno na: <http://www.phy.pmf.unizg.hr/~atonejc/10%20NN%20Posebni%20novi%20materijali%20i%20svojstva.pdf>, pristupljeno 23.11.2014.
- [15] Model grafena, dostupno na: <http://hr.wikipedia.org/wiki/Grafen>, pristupljeno 1.12.2014.
- [16] Fizička svojstva nanomaterijala, dostupno na: [http://www.phy.pmf.unizg.hr/~dpajic/buksa/nanomaterijali/05\\_mehanicaislicnafizicka\\_svojstva\\_nanomaterijala\\_12112013.pdf](http://www.phy.pmf.unizg.hr/~dpajic/buksa/nanomaterijali/05_mehanicaislicnafizicka_svojstva_nanomaterijala_12112013.pdf), pristupljeno 22.11.2014.
- [17] Nanostruktura, dostupno na: [http://www.phy.pmf.unizg.hr/~dpajic/buksa/nanomaterijali/02\\_nanostruktura\\_10102013.pdf](http://www.phy.pmf.unizg.hr/~dpajic/buksa/nanomaterijali/02_nanostruktura_10102013.pdf), pristupljeno 22.11.2014.
- [18] Lotus efekt, dostupno na: [http://en.wikipedia.org/wiki/Lotus\\_effect](http://en.wikipedia.org/wiki/Lotus_effect), pristupljeno 27.11.2014.
- [19] Nano lotus efekt, dostupno na: <http://www.groegerohg.de/umbauen/wand-und-farbe/stolotusan-die-fassadenfarbe-mit-lotus-effekt>, pristupljeno 30.11.2014.
- [20] Nanotehnologija, dostupno na: <http://hr.wikipedia.org/wiki/Razgovor%3ANanotehnologija>, pristupljeno 16.11.2014.
- [21] "Nanocjevčice" za skladištenje energije i nove solarne ćelije, dostupno na: <http://znanost.geek.hr/clanak/nanocjevce-za-skladistenje-energije-i-nove-solarne-celije/>, pristupljeno 20.11.2014.
- [22] Pradeep, T.: Social Implications of Nanoscience and Nanotechnology (in Developing Countries), Nano: The Essentials, Understanding Nanoscience and Nanotechnology, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, Pradeep T., ISBN 0-07-154830-0, New Delhi, 2007., str. 3-9, 114, 263, 280, 351-356, 360, 368
- [23] Otrovi EURO dresovi, dostupno na: [http://www.otrovno.com/news\\_25.html](http://www.otrovno.com/news_25.html), pristupljeno 23.11.2014
- [24] Nano pokrov štiti odjeću od vode i prljavštine, dostupno na: <http://znanost.geek.hr/clanak/nano-pokrov-stiti-odjecu-od-vode-i-prljavstine/#ixzz3KxGcSClp>, pristupljeno 22.11.2014.
- [25] Nanostruktura "ljepljiva vrpca" za kapljice vode, dostupno na: <http://znanost.geek.hr/clanak/nanostruktura-ljepljiva-vrpca-za-kapljice-vode/>, pristupljeno 28.11.2014.
- [26] Steed, W.J., Turner, R.D., Wallace, J.K.: Core Concepts in Supramolecular Chemistry and Nanochemistry, John Wiley & Sons, ISBN-13:978-0-470-85866-0, England, 2007., str. 284-285
- [27] Mikroskopski prikaz nanočestica na stanici raka, dostupno na: <http://www.vidi.hr/Lifestyle/Dr-Michio-Kaku-Hrvatska-ima-sansu-za-buducnost>, pristupljeno 05.11.2014.
- [28] Superparamagnetske čestice, dostupno na: <http://www.belupo.hr/Default.aspx?sid=9204>, pristupljeno 01.12.2014
- [29] Nanodijamanti kao budućnost dentalnih umetaka, dostupno na: <http://znanost.geek.hr/clanak/nanodijamanti-kaobuducnost-dentalnih-umetaka/>, pristupljeno 28.11.2014.
- [30] <http://www.scientificamerican.com/article/cheap-nanotech-filter-water/>  
Znanstvenici razvili novi prijenosni sustav pročišćavanja vode, dostupno na: <http://znanost.geek.hr/clanak/znanstvenici-razvili-novi-prijenosni-sustav-prociscavanja-vode/>, pristupljeno 29.11.2014.
- [31] Prototip filtracijskog sustava, dostupno na: <http://www.scientificamerican.com/article/cheap-nanotech-filter-water/>, pristupljeno 29.11.2014.
- [32] Nanotehnologija u službi pročišćavanja vode, dostupno na: <http://znanost.geek.hr/clanak/nanotehnologija-u-sluzbi-prociscavanja-vode/>, pristupljeno 28.11.2014.
- [33] Nano spužva najbolja u čišćenju nafte, dostupno na: <http://znanost.geek.hr/clanak/nano-spuzva-najbolja-za-ciscenje-nafte/>, pristupljeno 30.11.2014.
- [34] Nano drveće pretvara solarnu energiju u vodu i vodikovo gorivo!, dostupno na: <http://znanost.geek.hr/clanak/nano-drvece-pretvara-solarnu-energiju-u-vodu-i-hidrogensko-gorivo/>, pristupljeno 30.11.2014.
- [35] Određen zdravstveni rizik nanovlakana, dostupno na: <http://znanost.geek.hr/clanak/odreden-zdravstveni-rizik-nanovlakana/>, pristupljeno 28.11.2014.
- [36] Mikroskopski prikaz azbestnih vlakana, dostupno na: <http://bentoncleanair.org/index.php/asbestos/asbestos-questions/>, pristupljeno 28.11.2014.
- [37] Što je nanotehnologija?: Kako bi tehnologija mogla promijeniti naš život?, dostupno na: <http://nanopinion.eu/hr/about-nano/%C5%A1-je-bilo>, pristupljeno 01.12.2014.
- [38] Monteiro-Riviere, A.N., Lang Tran, C.: Nanotoxicology, Characterization, Dosing and health effects, Informa Health Care USA, ISBN-10:1-4200-4514-8, New York, 2007., str. 407-410, 414, 421-422
- [39] Nanotehnologija: Suočavanje s tehnološkim šokom, dostupno na: <http://ilicv.on.neobee.net/NanoTech.htm>, pristupljeno 02.12.2014.
- [40] prof.dr.sc. Car S.: Obnovljivi izvori energije: Tehnologije i razvoj gospodarstva, dostupno na: [http://www.ieee.hr/download/repository/Obnovljivi\\_izvori\\_FER%5B1%5D.pdf](http://www.ieee.hr/download/repository/Obnovljivi_izvori_FER%5B1%5D.pdf), pristupljeno 02.12.2014.