

# Primjena nanomaterijala u energetici

---

Mujkanović, Dino

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

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:149:945026>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-17**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE  
SVEUČILIŠNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ

Dino Mujkanović

# ZAVRŠNI RAD

Zagreb, rujan 2016.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE  
SVEUČILIŠNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ

Dino Mujkanović  
PRIMJENA NANOMATERIJALA U ENERGETICI  
ZAVRŠNI RAD

Voditelj rada: doc. dr. sc. Domagoj Vrsaljko

Članovi ispitnog povjerenstva:  
Doc. dr. sc. Domagoj Vrsaljko  
Dr. sc. Zana Hajdari Gretić  
Izv. prof. dr. sc. Vanja Kosar

Zagreb, rujan 2016.

## **Sažetak**

Cilj ovog preglednog rada je prikazati trenutne i potencijalne primjene nanotehnologije u energetici bilo to na izravan ili neizravan način. Prije navođenja primjena, utjecaja i karakteristika nanomaterijala definiran je pojam nanotehnologije te njen cilj. Sedam najznačajnijih polja s istraživačkim i razvojnim aktivnostima su: nanokompoziti, nanoelektrode, nanoprevlake, ugljikovi nanomaterijali, tiskana elektronika, nanokatalizatori te nanofluidi. Uvidom u način korištenja nanomaterijala nađeno je da su prisutni izravni (solarne ćelije, gorivni članci, litij-ionske baterije, fosilna goriva, vjetrogregati) i neizravni utjecaji (zgradarstvo, osvjetljenje, auto-dijelovi) dobivanja ili štednje energije. Potencijali nanomaterijala odnosno nanotehnologije su vidljivi iz velikog broja publicirane literature u zadnjih 20 godina. Iako se već veliki broj nanomaterijala koristi danas u energetske svrhe, da bi se taj broj povećao potrebno je svladati probleme kao što su skupa, spora i komplicirana proizvodnja, male učinkovitosti, nepoznavanje mogućih opasnosti, nedovoljno financijskih sredstava te otpor javnosti.

Ključne riječi: nanomaterijali, primjena, energetika

**Abstract**

The aim of this study was to present the current and the potential uses of nanotechnology in energetics in direct and indirect way. Before citing the uses, influences and characteristics of the nanomaterials, the term and the goal of nanotechnology were defined. Seven of the most significant research and development field: nanocomposites, nanoelectrodes, nanocoatings, carbon nanomaterials, printed electronics, nanocatalysts and nanofluids. By examining the usage of nanomaterials it was noted that there are direct and indirect influences, direct being solar cells, fuel cells, lithium-ion batteries, fossil fuels and wind turbines amongst others and indirect were lighting, auto parts, buildings for harvesting or saving energy. Potentials of nanomaterials or nanotechnology are obvious from the amount of publications in the last 20 years. Although a big number of nanomaterials is already in use for energy purposes, for that number to rise it is necessary to overcome such obstacles as slow, costly and complicated manufacturing, small efficiencies, not knowing the potential hazards, insufficient funding and resistance of the public.

Key words: nanomaterials, application, energetics

# SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. OPĆI DIO .....	3
3. PREGLEDNI DIO .....	4
3.1. IZRAVNI UTJECAJI .....	4
3.1.1. Nanokompoziti .....	4
3.1.2. Nanoelektrode .....	5
3.1.3. Nanoprevlake.....	6
3.1.4. Ugljikovi nanomaterijali.....	7
3.1.5. Tiskana elektronika .....	10
3.1.6. Nanokatalizatori .....	11
3.1.7. Nanofluidi.....	13
3.2. NEIZRAVNI UTJECAJI.....	13
3.2.1. Zgradarstvo.....	13
3.2.2. Automobilska i zrakoplovna industrija .....	14
3.2.3. Osvjetljenje.....	15
3.2.4. Prevlake .....	15
4. RASPRAVA.....	17
4.1. POTENCIJALI I ZAPREKE KORIŠTENJA NANOMATERIJALA .....	17
4.1.1. Statistike i predviđanja za upotrebu nanomaterijala.....	17
4.1.2. Zapreke u primjeni nanomaterijala.....	19
5. ZAKLJUČAK .....	21
6. LITERATURA.....	22
7. ŽIVOTOPIS .....	27

## 1. UVOD

Početak 20. stoljeća označila su revolucionarna otkrića u znanstvenom području, koja su doprinjela ubrzanom napretku industrije i tehnologije. Kvantna teorija i teorija relativnosti nedvojbeno su glavni faktori zaslužni za ostavljanje zastarjelih klasičnih zakona fizike te usmjeravanje znanstvenika prema modernijim principima i načelima kvantne mehanike koja se do danas smatraju važećim te se i dalje proučavaju.

Skok u znanosti gotovo uvijek ima utjecaja na razvoj te optimiranje tehnologije, pa su tako industrije implementirale novostečena znanja radi poboljšanja kvalitete rada i proizvoda. Razvojem elektronskog mikroskopa, zbog kojeg je Louis de Broglie dobio Nobelovu nagradu 1929. godine, omogućio je znanstvenicima bolji uvid u nanoskalu, obzirom na to da se granica razlučivosti takvog mikroskopa kreće između 0,1 i 0,2 nm.

Pionirom nanotehnologije smatra se američki inženjer Kim Eric Drexler koji tokom kasnih 70-ih godina razvija ideju molekularne nanotehnologije. Termin nanotehnologija je skovao 1974. profesor Norio Taniguchi kako bi opisao preciznu proizvodnju materijala nanometarskom preciznošću.

Mnoge rasprave i diskusije su vođene oko pozitivnih i negativnih aspekata razvoja nanotehnologije. S jedne strane, nanotehnologija ima potencijal da napravi mnoge nove materijale i uređaje sa širokim spektrom primjene u medicini, elektronici, biomaterijalima i proizvodnji energije, dok se s druge strane postavljaju pitanja koja se postavljaju prilikom svakog uvođenja nove tehnologije uključujući brigu o utjecaju na zdravlje ljudi i utjecaj na okoliš te ekonomski utjecaj.

Idealan scenarij korištenja nanotehnologije u svrhe koje imaju pozitivan utjecaj na okoliš ostvaruje se inkorporacijom nanotehnologije u područje obnovljivih izvora energije. Poznato je da je najveći nedostatak obnovljivih izvora energije nemogućnost skladištenja, a upravo tu nanotehnologija nudi različita rješenja. Osim skladištenja energije, nanotehnologija se u energetici koristi i kod solarnih ćelija, katalize i termoelektričnih materijala. Funkcionalni nanomaterijali poput nanokompozita, nanoprevlaka i vlakana imaju bolja mehanička, tribološka i korozivna svojstva od ostalih materijala i zato su konkurentna na tržištu te se koriste u području energetike. Korištenje nanomaterijala u energetici može biti na izravan ili neizravan način. Primjer izravnog utjecaja nanomaterijala može se uočiti u proizvodnji, skladištenju, distribuciji te potrošnji. Što se tiče proizvodnje, koriste se

nanostrukturirani slojevi za fotovoltaičke i solarne termalne kolektore . Tankoslojne solarne ćelije i slojevi za toplinsku zaštitu turbine također su primjeri korištenja nanomaterijala u proizvodnji.

Kao i sve druge nove tehnologije, nanotehnologiju se gleda s određenom mjerom opreza iz razloga što nije još dovoljno istražena, stoga će cilj ovoga rada biti pobliže upoznavanje s pozitivnim aspektima nanotehnologije u smislu njezine primjene i velikom doprinosu energetici koja je trenutno vrlo aktualna svjetska tema te popularno znanstveno područje.



## 2. OPĆI DIO

Nanotehnologijom se ne nazivaju proizvodi ni procesi, već opisi otkrića o svojstvima materijala na nanodimenziji ( $10^{-9}$  m) u intervalu od 1 – 100 nm, stoga se ona ne može smatrati ni znanstvenom disciplinom niti specifičnim područjem primjene [1].

Nanotehnologija se bazira na konceptu da se svojstva nekog materijala mogu poboljšati utjecajući na svojstva i strukturu tog materijala na supramolekularnoj razini [2].

Cilj nanotehnologije je da prilagodi i konstruira nanodimenzijske strukture sa predodređenim funkcionalnostima poput mehaničkih, geometrijskih i kemijskih svojstava čestica ili površina materijala koji bi bili korišteni u proizvodima ili procesima. Mnoge primjene nanotehnologije su još u povojima i fazama ispitivanja, no neke su se već našle na tržištu, a to su primjerice: nanočestice titanijevog dioksida u kremama za sunčanje čija je zadaća da ublaže utjecaj UV-zraka na kožu, nanočestice u autolakovima koji su otporni na ogrebotine te nanokoncima kojim se poboljšavaju sustavi filtracije [3].

### 3. PREGLEDNI DIO

#### 3.1. IZRAVNI UTJECAJI

Bibliometrijskom analizom Internacionalne Elektrotehničke Komisije (engl.: International Electrotechnical Commission, IEC) u suradnji s Fraunhofer Institutom za istraživanje sustava i inovacija (Fraunhofer ISI) utvrđeno je sedam najznačajnijih polja sa značajnim istraživačkim i razvojnim aktivnostima vezanim uz primjenu nanotehnologije u energetskom sektoru: nanokompoziti, nanoelektrode, nanoprevlake, ugljikovi nanomaterijali, tiskana elektronika, nanokatalizatori te nanofluidi [4].

##### 3.1.1. Nanokompoziti

Nanokompoziti su vrsta materijala dobivena integriranjem nanočestica veličine do 100 nanometara u makroskopski uzorak nekog materijala. S veoma malim udjelom nanočestica (otprilike 5 %) mogu se znatno poboljšati svojstva kompozitnog materijala [5].

Nanokompoziti se mogu svrstati po svojoj strukturi u: kompozite sa naizmjeničnim slojevima nanodimenzija, kompozite s filamentima promjera na nanoskali integriranih u svojoj matrici te kompozite s nanočesticama [6]. Vrstu kompozita biramo na osnovu svojstva koje želimo poboljšati kao što su apsorpcija svjetlosti, električna provodnost, mehanička čvrstoća.

Sektor solarne energije može biti polje primjene nanokompozita u vidu nanostrukturiranih solarnih ćelija, ali i onih temeljenih na siliciju gdje bi se nanokompozit koji u sebi sadrži nanocjevčice koristio za zahvaćanje šireg spektra svjetlosti te pružao bolji transport elektrona čime se podiže fotovoltaička učinkovitost [7,8]. Nažalost, učinkovitost ćelija sa nanokompozitima još nije dovoljno visoka kako bi se izašlo sa njima na tržište te su također prisutni i problemi s otporom na toplinu te koroziju [9]

Kristali nanometarske veličine su jedna od mogućnosti unapređenja solarnih ćelija zbog njihovih sjajnih optičkih svojstava. Razlog tome su kvantni efekti koji se javljaju uslijed veoma sitnih dimenzija. Upravo dimenzije su one koje mogu određivati fizikalna svojstva nanokristala, a budući da je dimenzije lako kontrolirati u procesu nastajanja nanokristala, to daje znanstvenicima mogućnost dizajniranja svojstava nanokristalnih poluvodiča i optimiranja istih. Jedno od svojstava je širina Sunčevog spektra koja se može upiti i konvertirati u električnu energiju. Sunce odašilje čitavi niz valnih duljina od kojih se samo dio u poluvodičima u tipičnim solarnim ćelijama može pretvoriti u električnu energiju. Kako bi se

taj udio povećao materijali se dodaju tako da svaki materijal apsorbira pojedini dio spektra. Kod nanokristalnih kompozita to se postiže jednostavnim podešavanjem veličine kristala.

Također, nanokristali mogu i apsorbirati puno više Sunčeve svjetlosti od tradicionalnih poluvodiča. Koeficijent apsorpcije nanokristala olovovog sulfida koje su koristili istraživači na ETH Zurich u svom radu je bio nekoliko redova veličine veći od silicijskih poluvodiča u uobičajenim solarnim ćelijama što znači da je mala količina nanokristala potrebna za proizvodnju vrlo tankih i fleksibilnih ćelija.

Učinkovitost takvih vrsta ćelija je zasad na 9 % što još nije dovoljno za komercijalnu upotrebu za koju je potrebno otprilike 15 % [10].

U polju skladištenja energije nanokompoziti bi se mogli koristiti u tankim, fleksibilnim uređajima za pohranu energije kao što su superkondenzatori, litijum-ionske baterije i hibridni uređaji [11, 12].

Svoju primjenu mogu naći i u fotokatalizi za dobivanje goriva kao što su vodik i metanol [7]. Još jedno područje je sektor energije vjetra gdje su nanokompozitni materijali male težine korišteni kao krila na vjetroagregatima [11].

### 3.1.2. Nanoelektrode

Nanoelektrode imaju mogućnost znatnog utjecaja na polje skladištenja energije poput baterija i superkondenzatora te na solarne ćelije. Ono što ih čini zanimljivima je što nude čitavi niz dobrih svojstava među kojima su: veliki omjer površine prema volumenu što dovodi do boljeg kontakta između elektroda i elektrolita i veće gustoće energije, brži transport elektrona, iona i molekula što rezultira većom električnom provodnošću, kraći difuzijski putevi koji znače bolje izvedbe ciklusa punjenja i pražnjenja te bolja strukturna stabilnost/čvrstoća kojom se povećava fleksibilnost za promjene volumena koje se javljaju prilikom punjenja i pražnjenja. Nedostaci postoje u vidu nanočestica koje se mogu aglomerirati čime snižavaju kapacitet i termodinamičku stabilnost. Također, tu je i mogućnost javljanja nepoželjnih sekundarnih reakcija koje dovode do ireverzibilnosti, a time i do kraćeg životnog vijeka [13-17].

#### *Litij-ionske baterije*

Ubrzani rast bežične tehnologije poput one u pametnim telefonima, tabletima, prijenosnim računalima je najveći razlog moguće primjene nanotehnologije u litijским baterijama u vidu nanocjevčica koje se mogu integrirati u elektrode.

Litij-ionske baterije su trenutno najbolja vrsta punjivih baterija manjih dimenzija, a karakterizira ih relativno visoka voltaža, energetska gustoća i dugi životni vijek. Nanotehnologija bi omogućila povećanje kapaciteta baterije, gustoću pohranjene energije, gustoću snage, broj ciklusa te sigurnost [15-17].

Litij-ionske baterije su veoma praktično rješenje za velik broj primjena pohrane energiju bilo u prijenosnim uređajima, vozilima ili jednostavno stacionarnim oblicima spremanja energije u kombinaciji sa nekim obnovljivim izvorom energije kao što su solarni paneli koji proizvode električnu energiju. Iz tog razloga su potrebna istraživanja u nanotehnologiji kako bi se poboljšala svojstva koja, trenutno kakva su, neće moći držati korak sa novim tehnologijama [17-19]

### *Solarne ćelije*

Nanoelektrode se mogu primjenjivati i u fotovoltaičima, gdje materijali poput metalno-oksidnih nanočestica, ugljikovih nanocjevčica i grafena imaju potencijala zamjeniti indijev kositar oksid (ITO) koji se koristi kao prozirna elektroda. ITO je iznimno koristan budući da može služiti i kao provodni materijal u solarnim ćelijama i ravnim ekranima u elektronici, no indij je rijedak element stoga industrija intenzivno traga za njegovom zamjenom [20].

#### 3.1.3. Nanoprevlake

Nanoprevlake su tanki filmovi nanodimenzija ili prevlake debljine ili unutarnje strukture od 100 nm ili manje [21]

Korisni su pri solarno-termalnim uređajima gdje smanjuju odašiljanje topline, dok se termalno sprejane prevlake (aluminij/titanij nanokeramika, volframov karbid, kromov oksid i itrijem stabiliziran cirkon) naširoko koriste kako bi se povećala otpornost na habanje, eroziju i koroziju, a pritom održavajući duktilnost (nanočestice titanijeva dioksida, silicijeve nanošipke) na solarnim panelima.

Kod solarnih ćelija primjena je uglavnom na ćelijama s fotosjetljivim pigmentima (engl.: *Dye-sensitized solar cells*, DSSC) u vidu transparentnih elektroda koje sadrže ugljikove nanocijevi ili grafen [21]. Antirefleksivne prevlake su pogotovo korisne u solarnim fotovoltaičkim ćelijama zbog sposobnosti smanjenja refleksije s 40 % na svega 1 % [22]

Na Sveučilištu u Buffalu inženjeri su položili sloj debljine jedne molekule molibdenovog disulfida ( $\text{MoS}_2$ ), tzv. 2D materijal, na optičku nanošupljinu aluminijevog oksida i aluminija

(nanošupljine su raspoređena zrcala koja omogućavaju zrakama svjetlosti da kruže zatvorenim putanjama kao, primjerice, kod lasera i optičkih vlakana). Sloj molibden disulfida povećava apsorpciju svjetla valne duljine 450 nm na 70 % što povećava i energiju dostupnu za konverziju, time i potencijalno povećavajući sveukupnu učinkovitost solarne ćelije. Takav sustav bi se mogao koristiti za izradu učinkovitijih i fleksibilnijih solarnih ćelija te možda i za dobivanje vodika kao goriva razdvajajući vodu efikasnije nego dosad. Problem kod solarnih panela koji koriste ultratanke poluvodiče jest što ne upijaju onoliko svjetlosti koliko i konvencionalni poluvodiči veće debljine, što znači da postoji ovisnost sposobnosti apsorpcije ultratankog poluvodiča i njegove debljine. Sustav nanošupljina zajedno s 2D slojem bi mogao to promijeniti [23].

#### 3.1.4. Ugljikovi nanomaterijali

Nanomaterijali izgrađeni isključivo od ugljika su jedno od najoboeavajućih polja nanotehnologije u energetskom sektoru. Ovisno o njihovoj geometriji zovu se grafen (heksagonalni kristalni sloj), fuleren (sfera, poliedralna struktura od pentagona i heksagona), ugljikove nanocijevi te za razliku od alotropskih modifikacija ugljika dijamanta i grafita posjeduju metalna i poluvodička svojstva [24].

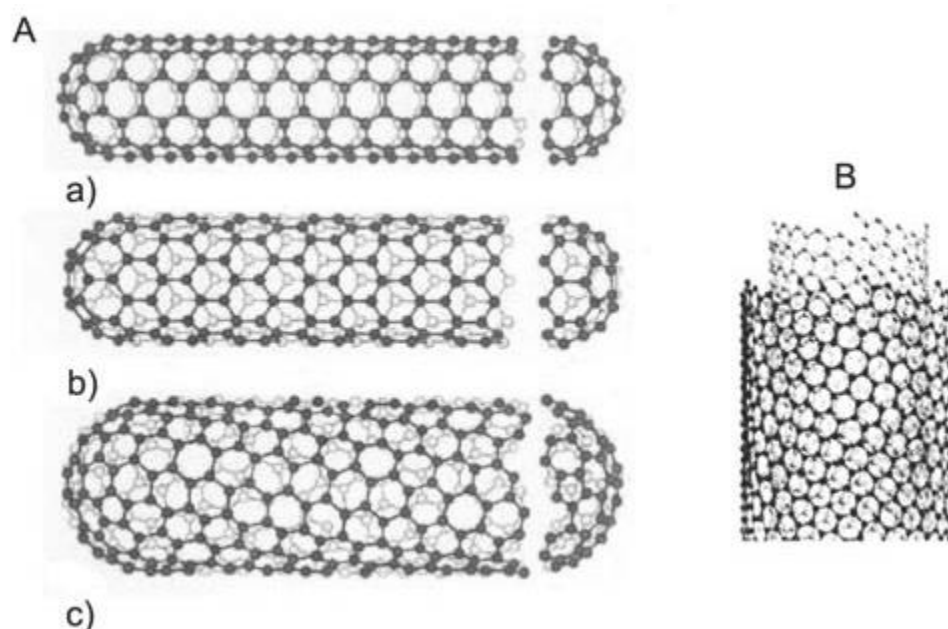
##### *Grafen*

Grafen je dvodimenzionalni heksagonalni kristal iznimnih svojstava. Otprilike je 100 puta čvršći od najjačeg čelika, odlično provodi struju i toplinu, gotovo je transparentan te se može kombinirati s ostalim materijalima. Upravo zbog tih karakteristika potencijalna primjena grafena je jedno od uzbudljivijih područja nanotehnologije [25]

LED žarulja oblika žarne niti prevučena grafenom je osmišljena međusobnom suradnjom National Graphene instituta na Sveučilištu u Manchesteru, tvrtke BGT Materials i Graphene Lighting start up-a. Obećava učinkovitiju električnu i toplinsku provodnost što rezultira 10 posto nižom potrošnjom energije, veću dugotrajnost od tradicionalnih LED žarulja, bolje oslobađanje topline, jeftiniju proizvodnju, samim time i nižu cijenu na tržištu pritom koristeći održive komponente [26]. Očekivalo se da će žarulje na tržište izaći krajem 2015. godine, no došlo je do razmirica oko intelektualnog vlasništva i mjesta proizvodnje čime je proizvodnja žarulja zasad još uvijek neriješena [27].

## Ugljikove nanocijevi

Ugljikove nanocijevi (engl.: *Carbon nanotubes*, CNTs) su alotropske modifikacije ugljika cilindrične strukture promjera 0,6 do 1,8 nm, a duljine do 1 mm te su, kao i grafen, jedan od materijala sa izvrsnim svojstvima što i ne bi trebalo čuditi budući da ih možemo zamisliti kao „list“ grafena savinutog u cilindar. Skoro su duplo tvrđe od dijamanta, a elastičnost im je veća od metala il ugljičnih vlakana. Električna vodljivost se procjenjuje na jednu milijardu ampere po centimetru kvadratnom (bakar, kojeg se smatra izuzetno dobrim vodičem, izgori pri milijun A / cm<sup>2</sup>) [28]. Razlikujemo ugljikove nanocijevi sa jednom stijenkom (engl.: *Single-wall carbon nanotubes*, SWCNTs) i one sa više stijenki (engl.: *Multi-wall carbon nanotubes*, MWCNTs) kao što je prikazano na slici 1.



Slika 1. A - shematski prikaz zamotavanja heksagonskih grafenskih listova u nanocijevi različitih morfologija: a) stolica, b) cik-cak c) kiralna; B - shematski prikaz višestijene nanocijevi [28].

Iako veoma svestrane, najočitiije svojstvo ugljikovih nanocijevi je njihova električna provodnost stoga je logično pretpostaviti da bi im upotreba mogla biti tamo gdje je mogući prijenos struje kao što su električni kablovi i dalekovodi gdje bi se ostvarili manji gubici struje, a to bi zahtijevalo znatan napredak u načinu dobivanja odnosno proizvodnje CNT vlakana homogene strukture. Sjajna električna vodljivost nije jedino što bi se trebalo gledati za iskoristiti kod CNT. Kompoziti na osnovi CNT mogu poslužiti kao materijal za izradu vjetroenergetskih krila koje bi time bile istovremeno čvrste, lagane (time štedile na energiji) te

zaštićene od udara munja koje su krivac za više od 10 % kvarova kod vjetroagregata. Polimerni kompoziti su isto zanimljivi jer svega 1 % CNT koje bi takav kompozit sadržavao je dovoljno da bi se stvorila mreža nanocijevi koja bi provodila struju u materijalu. Takvi materijali bi mogli jednog dana i pružati elektromagnetsku zaštitu kontrolne elektronike u vjetroagregatima [application of nanotechnology in the energy sector, str.40]. Litij-ionske baterije su također moguće polje primjene gdje bi nanocijevi bile dio nanoporoznog materijala koji bi pomogao u povećanju kapaciteta naboja na katodi i anodi [29].

Tvrtke poput Motorole su već razvile ekrane sa CNT tehnologijom. Američka tvrtka Unidym Inc. razvija tanke transparentne vodljive filmove koji bi mogli naći primjenu u ekranima na dodir, LCD ekranima i tankoslojnim solarnim ćelijama. Tinta koja sadrži CNT naziva Invisicon je proizvod američke tvrtke Eikos Inc., a omogućuje proizvodnju prozirnih vodljivih prevlaka koje bi se zatim mogle naći u raznim ekranima i fotovoltaičnim ćelijama.

Wuxi Suntech Power, jedan od najvećih proizvođača solarnih panela, u suradnji sa Taiwan Carbon Nanotube Technology Corporation (TCNT) su proizveli prvi u svijetu jeftini i pouzdani okvir solarnog panela napravljenog od ugljikovih nanocijevi. Okvir, kompozit ugljika i staklenih vlakana teži duplo manje od tradicionalnih aluminijskih okvira. Uz to, također posjeduje osobita svojstva među kojima su antikoroziivnost te eliminira potencijalni problem degradacije koji je već dugo problem kod fotovoltaičkih panela. Okvir je prošao i test mehaničkog opterećenja pod 5400 Pa pri  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Usprkos izjavam Suntecha da je novi okvir prošao standardna industrijska testiranja, datum za proizvodnju i izlazak na tržište nije dan [30].

Prema rezultatima istraživanja tvrtke MarketsandMarkets svjetsko tržište ugljikovih nanocijevi u 2015. godini je iznosilo 2,26 mlrd američkih dolara, što je povećanje od 45 % od 2009. godine, a do 2020. godine se očekuje da će brojka iznositi oko 5,64 mlrd američkih dolara [31]. Takav ubrzani rast je dokaz da je polje ugljikovih nanocijevi jedno od najobećavajućih i najuzbudljivijih polja nanotehnologije.

### *Fulereni*

Fuleren kao molekula je otkrivena 1985. godine od strane Richarda Smalleya, Roberta Curla i Harry Krota, za što su nagrađeni Nobelovom nagradom 1996. godine. Fuleren se može smatrati prekretnicom u nanotehnologiji budući da je njegovo otkriće započelo intenzivne znanstvene i političke diskusije o koristima nanotehnologije čime se popularnost toga polja znatno povećala.

Zasad fulereni nisu pronašli svoje mjesto u komercijalnoj upotrebi, no istraživanja pokazuju da bi mogli, zbog svog elektronskog afiniteta, poslužiti kao elektron akceptori u fuleren-polimernim solarnim ćelijama.

### 3.1.5. Tiskana elektronika

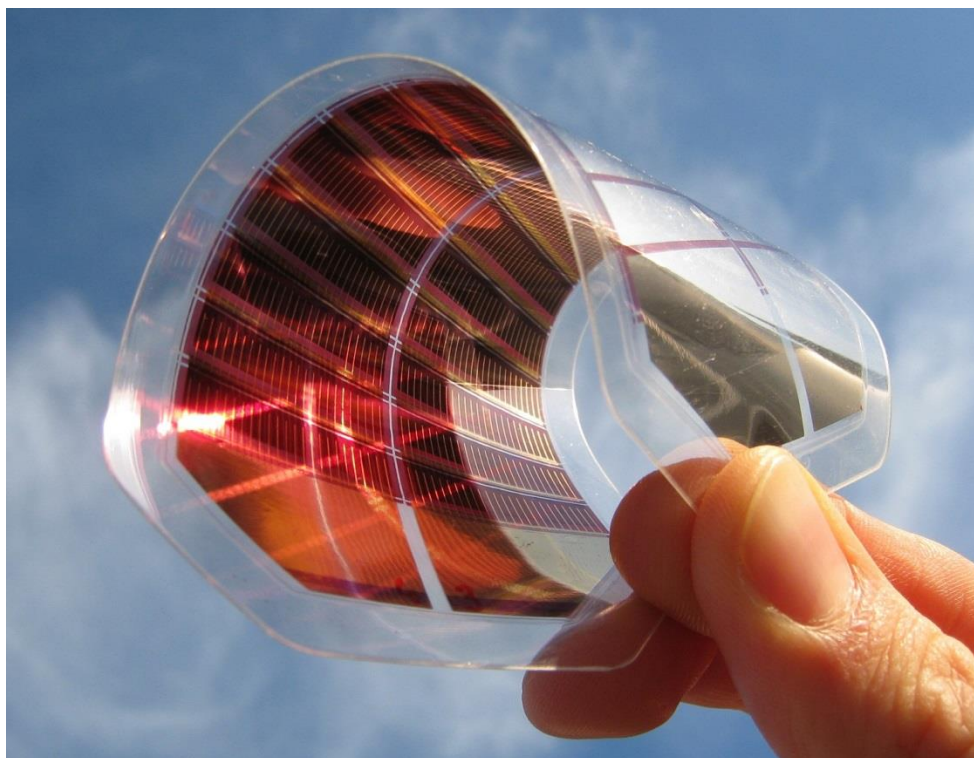
Tiskana elektronika su električni uređaji dobiveni tiskanjem tinte na razne podloge poput papira, stakla i plastike. U tintama se najčešće koriste nanočestice srebra, bakra i organske čestice (još uvijek u razvojnoj fazi). Sitotisak, fleksotisak (fleksografija), bakrotisak, offset tisak, duboki tisak i inkjet su samo neke od tehnike koje se koriste prilikom proizvodnje tiskane elektronike.

Proizvodi tiskane elektronike su tanki, fleksibilni, jeftini i male težine što čini njihovu primjenu veoma raznovrsnom. Optički i skriveni kodovi (1D barkodovi, 2D barkodovi, digitalni vodeni žigovi), elektronski kodovi, optika (mikro leće), zasloni (OLED, LCD), senzori i indikatori (temperatura, vlaga, kisik, kemijske komponente) su samo neki od proizvoda u kojima možemo naći tiskanu elektroniku [32].

Veliki naponi i investicije se ulažu kako bi tiskana elektronika doprinjela energetsom sektoru. Primjeri su organski vodiči i metali koji bi se koristili kao transparentne elektrode umjesto ITO-a u zaslonima ili fotovoltaičkim ćelijama. Baterije za jednokratnu upotrebu i fotovoltaičke ćelije su također primjeri primjene tiskane elektronike. Iako takve fotovoltaičke ćelije nemaju visoku razinu efikasnosti (otprilike manje od 10 %) kao one od silicija, fleksibilnošću, jednostavnom izradom i vrlo jeftinom proizvodnjom mogle bi im konkurirati na tržištu u budućnosti. Upravo te karakteristike su one koje istraživači smatraju da će biti razlog velike rasprostranjenosti takvih fotovoltaičkih ćelija, ponajprije na zgradama gdje im njihova fleksibilnost omogućava da se prilagode različitim oblicima zgrade.

Potencijalna upotreba bi mogla biti i ona gdje se takve ćelije nalaze na odjeći i torbama čime bi se mogli puniti prijenosni uređaji poput mobitela, prijenosnih računala i ostalih elektroničkih uređaja koji ne zahtijevaju veliku količinu energije [33]. Izgled jedne takve ćelije je prikazan na slici 2.

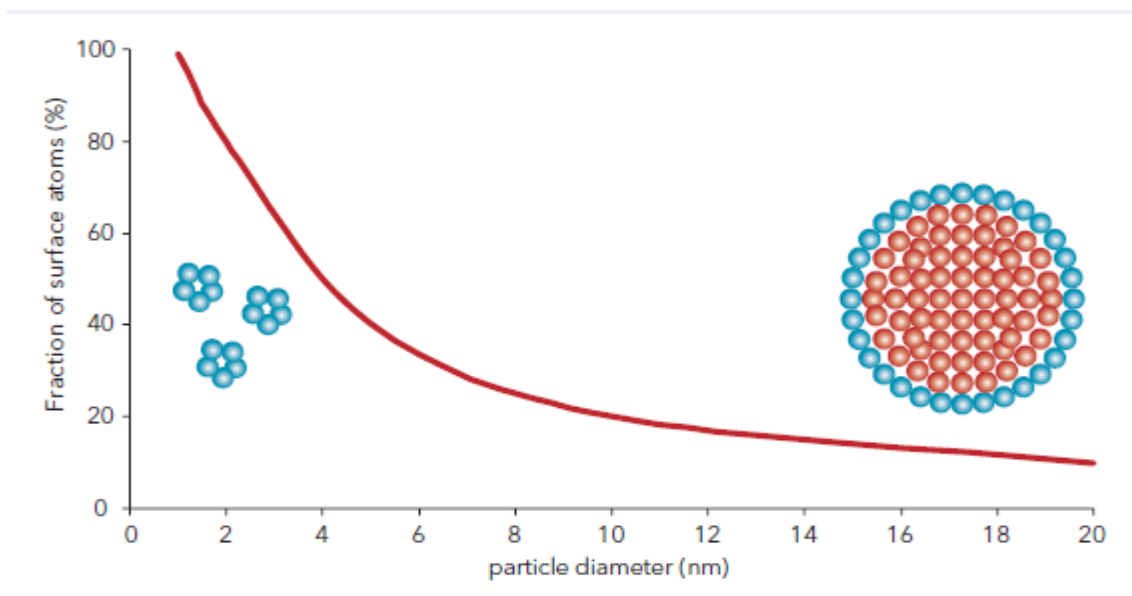




Slika 2. Tiskana solarna ćelija [34].

### 3.1.6. Nanokatalizatori

Katalizatori su tvari koje ubrzavaju kemijske reakcije bez da se nakon reakcije sami promijene. Glavno obilježje nanokatalizatora je njihova velika specifična površina. Povećanjem površine odnosno broja atoma katalizatora koji bi reagirali sa supstratom povećava se i brzina kemijske reakcije. Jedan od načina da se to postigne je smanjenje promjera čestica kao što je prikazano na slici 3. Ono što nanotehnologija omogućava je da se katalizatori dizajniraju na takav način da postignu savršenu selektivnost u katalitičkim reakcijama [35].



Slika 3. Prikaz zavisnosti broja atoma o promjeru čestice [36].

U motorima s unutarnjim izgaranjem nanotehnologija kroz bolju katalizu poboljšava učinkovitost potrošnje goriva u vozilima i elektranama tako što čini da gorivo cjelovitije izgara što znači da se domet poveća uz istu količinu goriva [37].

U naftnoj i plinskoj industriji nanokatalizatori imaju niz svrha kao što su: katalitičko kreiranje, čišćenje izljeva nafte, desulfurizacija, likvefakcija ugljena te proizvodnja biodizela i etanola. Poboljšava i svojstva trenja i toplinsku stabilnost nafte i plina, umanjuje štetan utjecaj na okoliš tako što reducira sadržaj sumpora i oktana.

Nanokatalizatori se koriste za proizvodnju kompaktnih gorivnih članaka s pojačanom izdržljivošću. Uz to nanočestice platine se koriste za proizvodnju vodika koji se kasnije koristi u gorivnim člancima.

Iako su se nanokatalizatori već ustalili na tržištu kao jedna od najznačajnijih nanotehnologija, postoje zapreke koje ih koče da bi ostvarili svoj puni potencijal. Neželjeni nusprodukti koji nastaju zbog nestabilnosti nanokatalizatora su jedan od tih problema stoga bolja aktivnost i stabilnost su karakteristike koje bi se trebale istražiti i razviti. Drugi problem su aglomerati koji nastaju zbog nehomogene distribucije u reaktivnoj otopini te proizvodnja i kontrola nad određenom veličinom nanočestica. Bolja selektivnost i životni vijek katalizatora su također polja koja je potrebno optimirati [38].

### 3.1.7. Nanofluidi

Nanofluidi su suspenzije nanometarskih materijala (nanočestice, nanovlakna, nanocijevi, nanožice) u tekućini. Uloga im je povećanje toplinske vodljivosti i difuzivnosti, viskoziteta, koeficijenta konvektivnog prijenosa topline i apsorpcije svjetlosti. Proces koji se najčešće koristi za stvaranje nanofluida je onaj u kojem se prah nanočestica dispergira u tekućini nakon što je pomiješan s tenzidima koji sprečavaju aglomeraciju nanočestica iako usavršavanja moraju biti provedena i u ovom procesu budući da neki tenzidi mogu promijeniti svojstva nanočestica, a preostale nečistoće narušiti funkcionalnost fluida [39].

Područje nanofluida tek je u začetku, stoga njihova upotreba nije toliko raširena. Glavna primjena je u solarnim termalnim kolektorima kao što su elektrane s koncentriranom solarnom energijom (engl.: *Concentrated solar power*, CSP) u kojima nanofluidi koji sadrže nanočestice bakra, bakrovog oksida, aluminijskog oksida, cinkovog oksida, titanijskog dioksida, srebra, nikla ili ugljikovih nanostrukture (primjerice grafita, fulerena, ugljikovih nanocijevi s jednom stijenkom i s više stijenki, grafena) pojačava apsorpciju sunčeva zračenja tako što ga raspršuje u fluidu. Od navedenih nanočestica ugljikove nanocijevi se čine najpogodnijima zbog dobre toplinske vodljivosti (zabilježeno je povećanje od 14,8 % toplinske vodljivosti). U fotobioreaktorima gdje se alge koriste u proizvodnji vodika ili izobutanola nanočestice osiguravaju veću svjetlosnu gustoću algama [40,41].

## 3.2. NEIZRAVNI UTJECAJI

### 3.2.1. Zgradarstvo

Zgrade, stambene i komercijalne, su jedne od najvećih potrošača energije u svijetu. Primjerice, u 2015. godini u SAD-u su zgrade potrošile oko 40 % ukupne američke energije [42]. Jasno je da bi se isplatilo uložiti u tehnologiju koja bi to smanjila. Toplinska izolacija koja uključuje nanoporoznu termalnu izolaciju poput nanospužvi ili nanopjena, prikazanih na slici 4., koje minimiziraju konvektivni prijenos topline čak i pri malim debljinama izolacijskog materijala[43].



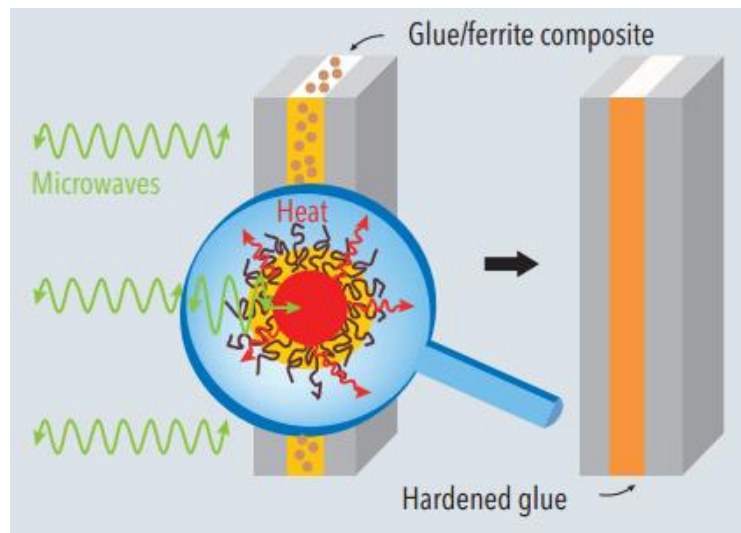
Slika 4. Nanoporozna polimerna pjena (desna slika, povećanje pomoću elektronskog mikroskopa) koja ima veliki potencijal u toplinskoj izolaciji [44]

### 3.2.2. Automobilaska i zrakoplovna industrija

Nanokompoziti plastike ili metala s ugljikovim nanocijevima koji bi služili kao materijali manjih težina, a istih dobrih svojstava kao i današnji konstrukcijski materijali bi doprinijeli smanjenju potrošnje goriva kako u vozilima tako i u zrakoplovima.

Nanoprevlake odlične toplinske otpornosti na motorima zrakoplova bi omogućile više temperature, odnosno bolje sagorijevanje goriva što znači da bi se rute mogle preletiti uz manje goriva.

Ljepila koja se koriste za spajanje dijelova automobila se ne stvrdnjavaju na sobnoj temperaturi. Dodatni utrošak energije u vidu topline (temperature 180 °C) se mora primijeniti, a njegov iznos je visok budući da se i spajani dijelovi zagrijavaju. Jedno od rješenja da se smanji količina korištene energije je selektivno zagrijavanje sloja ljepila mikrovalnim zračenjem. Način na koji se to radi jest taj da se ljepilo dopira nanoferitima (željezovim oksidima), česticama promjera 10 nm, koji služe kao „antene“ za elektromagnetsko zračenje. Ovaj proces, prikazan na slici 5. se zove „ljepljenje na zapovijed“. Čestice prime elektromagnetsko zračenje te ga emitiraju kao toplinu u ljepilo zagrijavajući ga jednoliko. Također ne postoji opasnost od pregrijavanja. Proces koristi znatno manje energije i traje kraće od klasičnog [45].



Slika 5. Prikaz „ljepljenja na zapovijed“[45]

U modernim automobilima 10 do 15 % potrošnje goriva se gubi radi trenja koje se pojavljuje između ne samo cilindra i klipa već i ventila, osovina, ležajeva i ostalih elemenata. Prevlaka nanokristaliničnih materijala nanosena na plašt cilindra smanjuje abraziju i trenje čime se dovodi do uštede goriva[45].

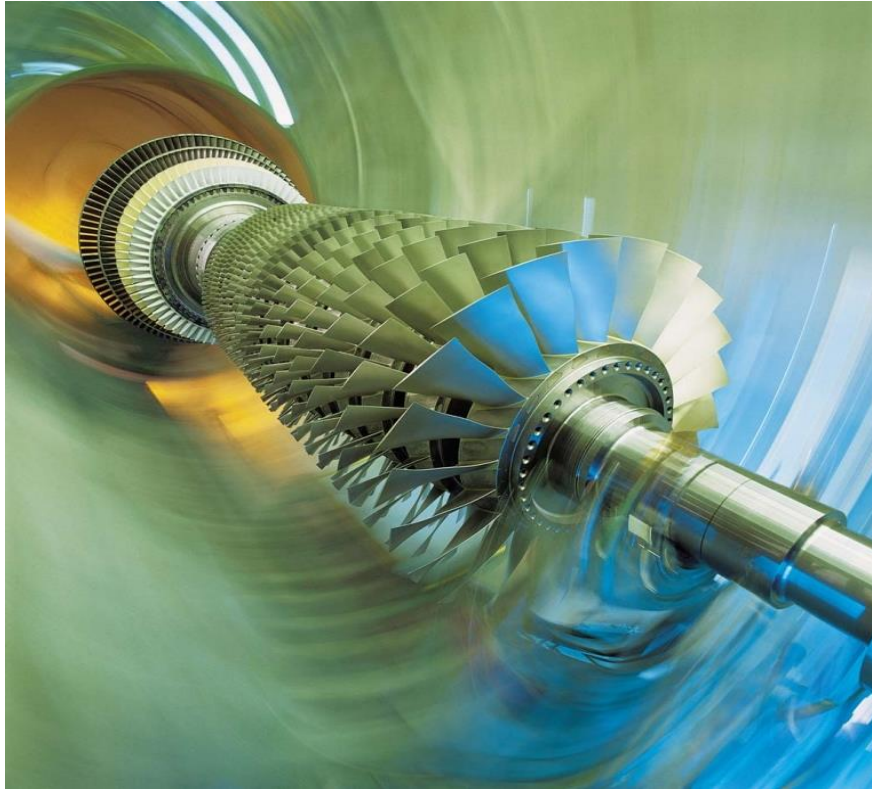
### 3.2.3. Osvjetljenje

OLED (engl.: *Organic light-emitting diodes*) zaslone, nanostrukturirani polimerni filmovi, su prisutni u elektronici gdje se koriste kao zaslone za televizore, prijenosna računala, pametne telefone, digitalne kamere i ostale uređaje, pružaju uz svjetlije slike i šire kutove gledanja, manju težinu i nižu potrošnju energije [37].

### 3.2.4. Prevlake

Kao i kod motora zrakoplova elektrane bi postigle veću učinkovitost da rade na višoj temperaturi, no to zahtijeva turbine koje su otporne na visoke temperature. Nanoprevlake postavljene preko lopatica turbina kao na turbini sa slike 6. bi mogle riješiti taj problem te bi pružale i dodatnu zaštitu od korozije [46]





Slika 6. Parna turbina sa nanoprevlakom[47]

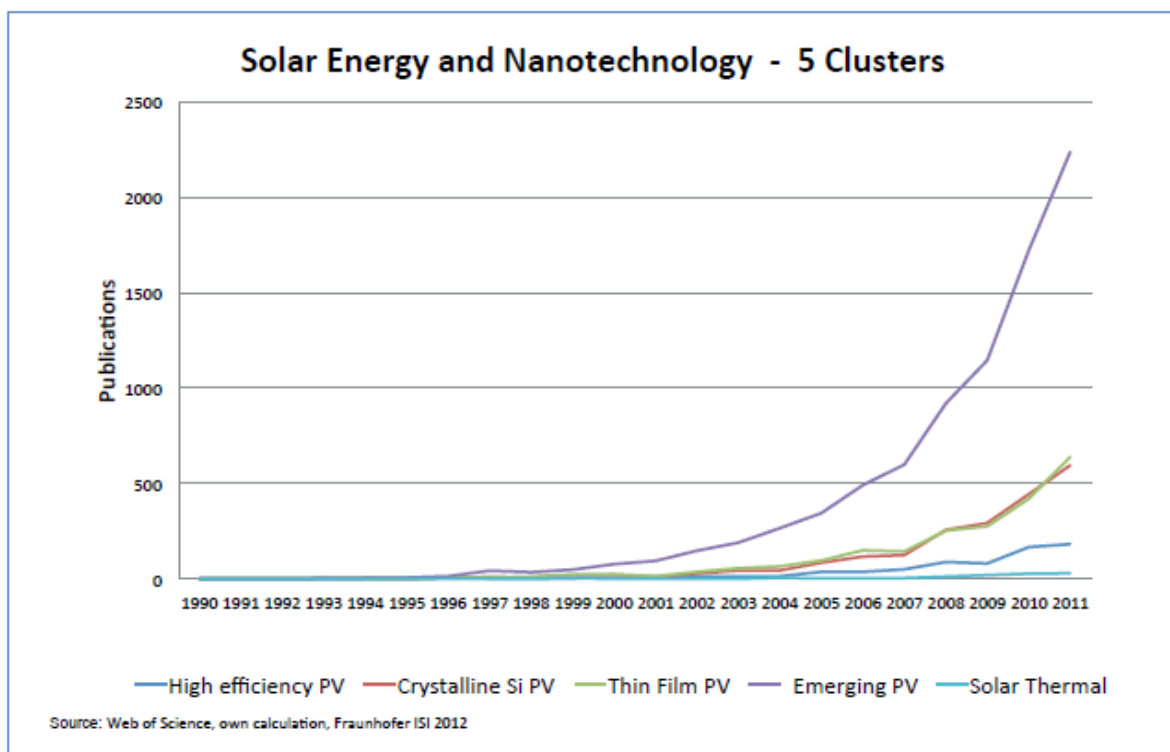
Efekti koji se javljaju na nanodimenzijskoj razini su uzrok kemijskih svojstava kao što je hidrofobnost i neprijanjanje nečistoća, tzv. lotos efekt [2]. Prevlake poput one koje su znanstvenici iz američkog laboratorija ORNL (Oak Ridge National Laboratory) proizveli stavlja se na površinu fotovoltaičkih ćelija gdje podiže efikasnost ćelije za 3 do 6 %. Osim antirefleksivnosti sloj se može prilagoditi da bude hidrofoban čime se štedi voda, a time i energija i novac [48].

## 4. RASPRAVA

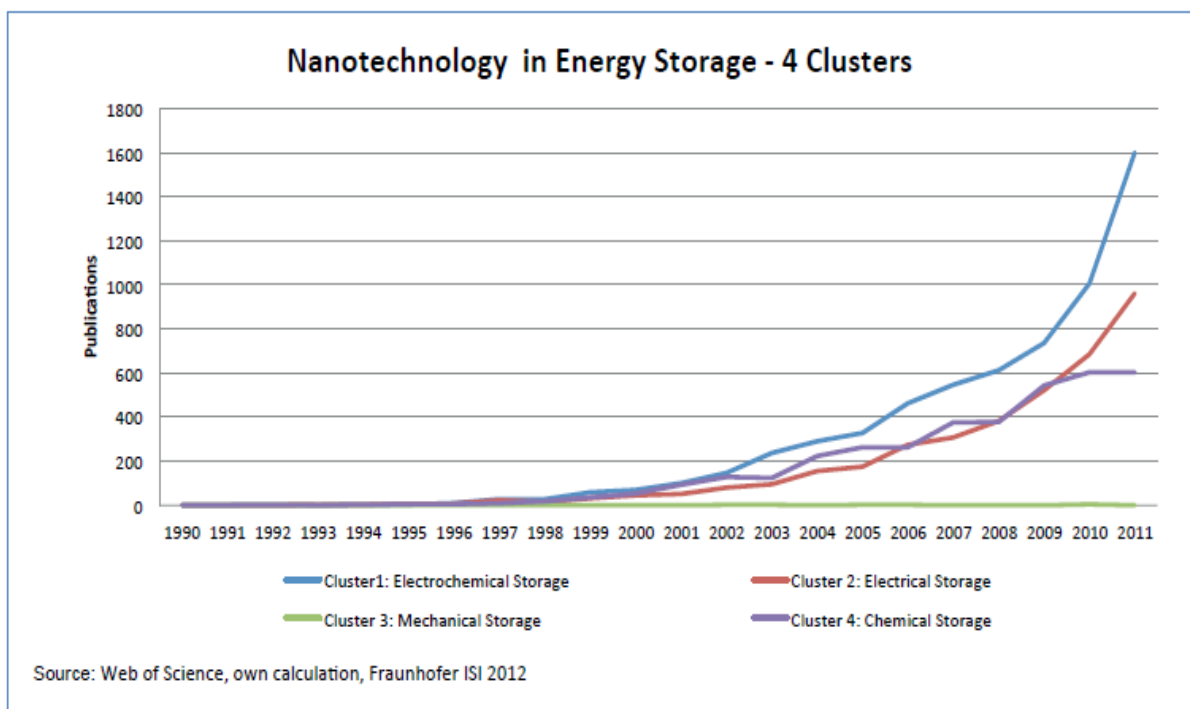
### 4.1. POTENCIJALI I ZAPREKE KORIŠTENJA NANOMATERIJALA

#### 4.1.1. Statistike i predviđanja za upotrebu nanomaterijala

Na slici 7. se vidi da sredinom i krajem 90-ih, u vrijeme prvih otkrivenih nanomaterijala poput ugljikovih nanocijevi, solarne, odnosno fotovoltaičke ćelije su među prvim tehnologijama u koje se nanotehnologija inkorporirala. Iz velikog broja publikacija vidi se da istraživači vide stvarni potencijal u solarnim ćelijama potpomognutima nanomaterijalima. Veliki broj publikacija o novim fotovoltaicima pokazuje kako nanotehnologija ima sposobnost stvaranja potpuno novih proizvoda i procesa, no isto tako, respektabilan broj publikacija o fotovoltaicima s kristalnim silicijem i tankim filmovima ukazuje i na činjenicu nanotehnologija ima mogućnost poboljšati i već postojeće tehnologije/proizvode.



Slika 7. Prikaz broja publikacija u području 5 klastera vezanih uz solarnu energiju i nanotehnologiju [49].

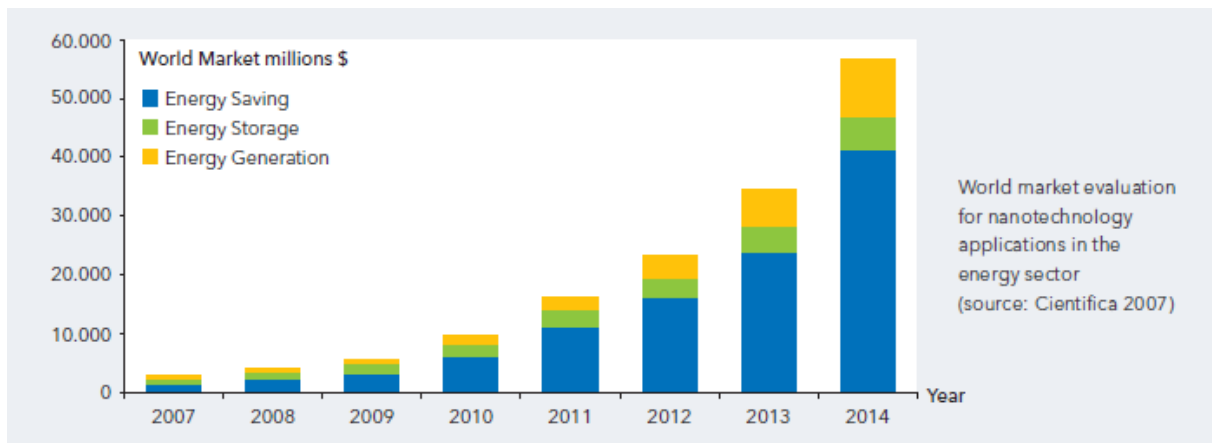


Slika 8. Prikaz broj publikacija u području 4 klastera vezanih uz pohranu energije i nanotehnologije [49]

Na slici 8. može se vidjeti da broj publikacija vezanih uz pohranu energije i nanotehnologiju raste brzinom vrlo sličnom onoj kod solarne energije i nanotehnologije. Dakle, istraživači su istovremeno shvatili univerzalnost primjena nanotehnologije. Također se može uočiti da je najveći rast u području elektrokemijske pohrane, a daleko najmanji rast u području mehaničke pohrane energije.

Slika 9. pokazuje nagli rast tržišne vrijednosti nanotehnologije u ulozi uštede energije. To ne bi trebalo iznenađivati budući da mnogi nanotehnološki materijali kao što su nanokompoziti služe kao lagani i čvrsti konstrukcijski materijali, ali i imaju ulogu izolacijskih materijala čime se jako smanjuje potreba za grijanjem i hlađenjem. Osim toga, nanokatalizatori za učinkovitije sagorijevanje goriva služe ili pomažu pri štednji goriva, odnosno energije.





Slika 9. Prikaz tržišne vrijednosti primjene nanotehnologije u poljima uštede energije, pohrane energije i proizvodnje energije na svjetskom tržištu [50]

#### 4.1.2. Zapreke u primjeni nanomaterijala

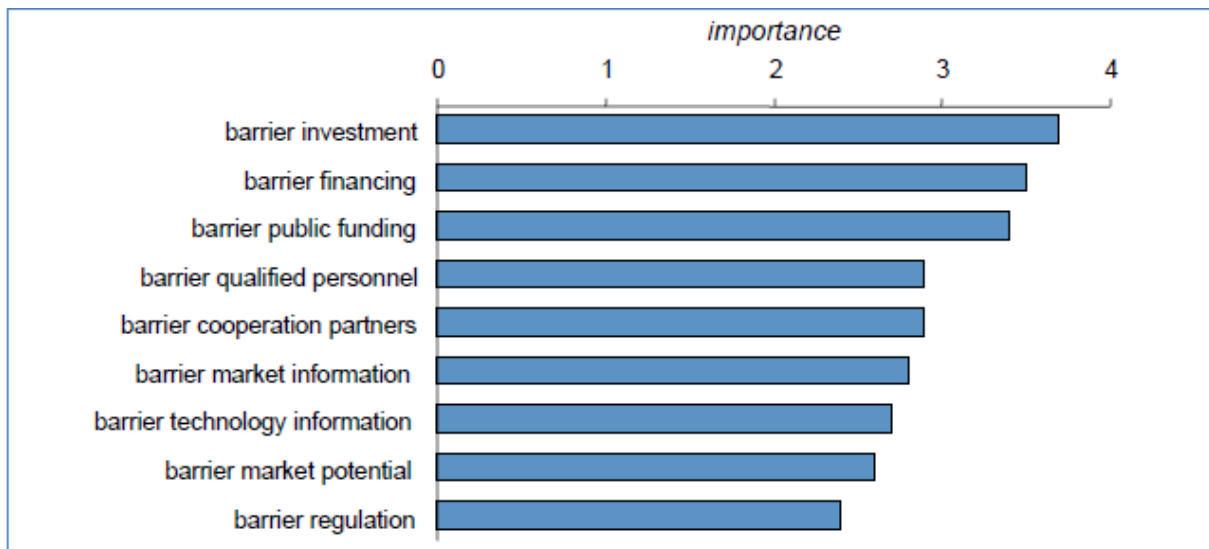
Budući da je nanotehnologija relativno nova pojava u svijetu znanosti njezini utjecaji na okoliš i zdravlje ljudi se i dalje istražuju. Proces procjene sigurnosti je temeljit, stoga i spor.

Nepovjerenje od strane javnosti u vezi mogućih implikacija na okoliš i zdravlje ljudi – „strah od nepoznatog“.

Ekonomski aspekt je također važan budući da se u velikom broju slučajeva koristi skupa oprema i zahtjevni uvjeti rada (primjerice ultračiste sobe) što ne čini financiranje nanotehnologije privlačnim [28].

Osim troškova rada i privlačenja investicija koji su najveći problemi veliki izazov je i proizvodnja većih količina materijala zbog težine održavanja stabilnosti procesa koji utječu na kvalitetu proizvoda [51]

Na slici 10. su prema važnosti poredane prepreke koje se javljaju u primjeni nanotehnologije poput npr. nedostatka ulaganja i financiranja te kvalificiranog osoblja i partnera za suradnju. Istraživanje je provedeno u Njemačkoj na 107 tvrtki koje se bave nanotehnologijom.



Slika 10. Prepreke primjeni nanotehnologije poredane prema važnosti [52].

## **5. ZAKLJUČAK**

Očekuje se da će nanotehnologija prodrijeti u sve sektore industrije, uvelike utječući na živote ljudi. Razlog tome je širina mogućih primjena nanotehnologije u područjima ljudskog djelovanja kao što su: medicina, konstrukcijski materijali, elektronika, remedijacija i desalinacija vode i možda ono najbitnije - energetika.

Gledajući potencijalne primjene nanotehnologije i načine na koje poboljšava već postojeće proizvode i procese može se slobodno konstatirati da će nanotehnologija biti jedna od sila pokretača u znanosti 21. stoljeća. Da bi se zadovoljile buduće energetske potrebe, snizio utjecaj globalnog zatopljenja veći poticaj se treba dati čistim, sigurnim, obnovljivim izvorima energije u kojima je upravo nanotehnologija ona koja može poboljšati izvedbu.

Međutim, da bi se to dogodilo, nužno je osigurati veća sredstva, bolju informiranost javnosti, veću sigurnost proizvoda, procesa i materijala te jednostavniju i jeftiniju proizvodnju.

## 6. LITERATURA

- [1] Daniel Heubach, Severin Beucker, Claus Lang-Koetz: Uses of Nanotechnology in Environmental Technology in Hessen: Innovation Potentials for Companies, HA Hessen-Agentur, 2007, p. 8
- [2] Daniel Heubach, Severin Beucker, Claus Lang-Koetz: Uses of Nanotechnology in Environmental Technology in Hessen: Innovation Potentials for Companies, HA Hessen-Agentur, 2007, p. 6 - 8
- [3] Daniel Heubach, Severin Beucker, Claus Lang-Koetz: Uses of Nanotechnology in Environmental Technology in Hessen: Innovation Potentials for Companies, HA Hessen-Agentur, 2007, p. 4
- [4] Ralph Seitz, Björn P. Moller, Axel Thielmann, Andreas Sauer, Michael Meister, Mickael Pero, Oliver Kleine, Clemens Rohde, Antje Bierwisch, Meike de Vries, Victoria Kayser: Nanotechnology in the sectors of solar energy and energy storage, Technology Report, 2014, p.33
- [5] Frost & Sullivan. Nanocomposites- Opportunity Analysis. 2008.
- [6] Aljibari, H. S. S., et al. Technical overview for characterization trends on the field of nanocomposite with their applications. European Journal of Scientific Research. 2012, Vol. 70, 1, pp. 159-168.
- [7] Cheng, Zhengdong. Solar Nanocomposite Materials.[book auth.] Abbass Hashim. [ed.] InTech. Advances in Nanocomposite Technology. 2011, 1, pp. 3-46.
- [8] Kamat, Prashant. Meeting the clean energy demand: Nanostructure Architectures for Solar conversion. Journal of Physics and Chemistry. 2007, Vol. 111, 7, pp. 2834-2860
- [9] Schüler, A. Nanocomposite coatings for solar energy conversion: Large opportunities for small structures. Swiss Federal Institute of Technology EPFL. 2011.
- [10] Deniz Bozyigit, Weyde M. M. Lin, Nuri Yazdani, Olesya Yarema & Vanessa Wood: A quantitative model for charge carrier transport, trapping and recombination in nanocrystal-based solar cells, *Nature Communications* **6**, 27 January 2015
- [11] Pushparaj, V. L. Flexible energy storage devices based on nanocomposite papers. 2007

- [12] Ducharme, S. Nano-composites: An inside-out approach to storing electrostatic energy. Research Papers in Physics and Astronomy, University of Nebraska. Lincoln: University of Nebraska, 2009.
- [13] Yeh, Joanne I. and Shi, Haibin. Nanoelectrodes for biological measurements. WIREs Nanomedicine and Nanobiotechnology. 2010, Vol. 2, 2, pp. 176-188
- [14] Arrigan, Damien W. M. Nanoelectrodes, nanoelectrode arrays and their applications. The Analyst. 2004, Vol. 129, 12, pp. 1157-1165.
- [15] Wang, Ying and Cao, Guozhang. Nanostructured Materials for Advanced Li-ion Rechargeable Batteries. IEEE Nanotechnology Magazine. 2009, Vol. 3, 2, pp. 14-20.
- [16] Guo, Yu-Guo, Hu, Jin-Song and Wan, Li-Jun. Nanostructured Materials for Electrochemical Energy Conversion and Storage Devices. Advanced Materials. 2008, Vol. 20, 15, pp. 2878-2887.
- [17] Song, Min-Kyu, et al. Nanostructured electrodes for lithium-ion and lithium-air batteries: the latest developments, challenges, and perspectives. Materials Science and Engineering: R. 2011, Vol. 72, 11, pp. 203-252.
- [18] Ji, Liwen, et al. Recent developments in nanostructured anode materials for rechargeable lithium-ion batteries. Energy and Environmental Science. 2011, Vol. 4, 8, pp. 2682-2699.
- [19] Liu, Yumin, Cao, Feng, Chen, Bolei, Zhao, Xingzhong, Suib, Steven L., Chan, Helen L. W., Yuan, Jikang. High performance of  $\text{LiNi}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}\text{O}_2$  positive electrode boosted by ordered three-dimensional nanostructures. Journal of Power Sources. 2012, Vol. 206, 5, pp. 230-235.
- [20] Ralph Seitz, Björn P. Moller, Axel Thielmann, Andreas Sauer, Michael Meister, Mickael Pero, Oliver Kleine, Clemens Rohde, Antje Bierwisch, Meike de Vries, Victoria Kayser: Nanotechnology in the sectors of solar energy and energy storage, Technology Report, 2014, p.37
- [21] McWilliams, Andrew. Nanotechnology: A Realistic Market Assessment, NAN031D. s.l.: BBC Research, 2010.
- [22] Verschuuren, Marc A. Nano-imprint technology for developing anti-reflective coatings. [ed.] Philips Corporate Technologies. Advanced coatings and surface, Technology alert. 2012.

- [23] <http://www.electronics-eetimes.com/news/nanocavity-materials-may-improve-ultrathin-solar-panels> (pristup svibanj 2016.)
- [24] Kamat, Prashant. Carbon Nanomaterials: Building Blocks in Energy Conversion Devices. The Electrochemical Society Interface. 2006
- [25] Kinaret, Jari, et al. Graphene Flagship – Publishable Flagship Proposal Report Deliverable 6.3. [Online] 2012. [Cited: September 14, 2012.] [www.graphene-flagship.eu](http://www.graphene-flagship.eu)
- [26] <http://www.bbc.com/news/science-environment-32100071> (pristup travanj 2015.)
- [27] <http://spectrum.ieee.org/nanoclast/semiconductors/nanotechnology/uks-national-graphene-institute-in-revolt-after-china-tech-grab> (pristup svibanj 2016.)
- [28] Ante Jukić, Nanotehnologija i primjena nanomaterijala, kolegij Obnovljivi izvori energije, Zavod za tehnologiju nafte i petrokemiju, FKIT, 2008
- [29] Ralph Seitz, Björn P. Moller, Axel Thielmann, Andreas Sauer, Michael Meister, Mickael Pero, Oliver Kleine, Clemens Rohde, Antje Bierwisch, Meike de Vries, Victoria Kayser: Nanotechnology in the sectors of solar energy and energy storage, Technology Report, 2014, p.46-48
- [30] <https://cleantechnica.com/2015/04/28/composite-nanotube-pv-module-frame-expected-reduce-electricity-costs/> (pristup rujan 2016)
- [31] <http://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/carbon-nanotubes-139.html>
- [32] Modrić Mara, Puceković Nikolina: Tiskana elektronika, Seminarski rad, Sveučilište u Zagrebu, Grafički fakultet, 2013
- [33] Frost & Sullivan. World printed electronics Market. 2010.
- [34] <http://inhabitat.com/paper-thin-printed-solar-cells-could-provide-power-for-1-3-billion/> (pristup rujan 2016)
- [35] Ralph Seitz, Björn P. Moller, Axel Thielmann, Andreas Sauer, Michael Meister, Mickael Pero, Oliver Kleine, Clemens Rohde, Antje Bierwisch, Meike de Vries, Victoria Kayser: Nanotechnology in the sectors of solar energy and energy storage, Technology Report, 2014, p.10

- [36] Luther W. Application of Nano-Technologies in the Energy Sector. Germany: Hessian Ministry of Economy, Transport, Urban and Regional Development, 2008, p.10
- [37] <http://www.nano.gov/you/nanotechnology-benefits> (pristup rujan 2016)
- [38] Nanocatalysts–Application impact analysis. www.frost.com. [Online] 2008. <http://www.frost.com/prod/servlet/report-brochure.pag?id=D16D-01-00-00-00>.
- [39] Yu, Wei and Xie, Huaqing. A Review on Nanofluids: Preparation, Stability, Mechanisms, and Applications.[ed.] Hindawi Publishing Corporation. Journal of Nanomaterials. 2011, Volume 2012.
- [40] Yu, Wei and Xie, Huaqing. A Review on Nanofluids: Preparation, Stability, Mechanisms, and Applications. [ed.] Hindawi Publishing Corporation. Journal of Nanomaterials. 2011, Volume 2012.
- [41] Yu, Wei and Xie, Huaqing. A Review on Nanofluids: Preparation, Stability, Mechanisms, and Applications. [ed.] Hindawi Publishing Corporation. Journal of Nanomaterials. 2011, Volume 2012.
- [42] <http://www.eia.gov/tools/faqs/faq.cfm?id=86&t=1>, (pristup rujan 2016.)
- [43] Ralph Seitz, Björn P. Moller, Axel Thielmann, Andreas Sauer, Michael Meister, Mickael Pero, Oliver Kleine, Clemens Rohde, Antje Bierwisch, Meike de Vries, Victoria Kayser: Nanotechnology in the sectors of solar energy and energy storage, Technology Report, 2014, p. 11
- [44] Luther W. Application of Nano-Technologies in the Energy Sector. Germany: Hessian Ministry of Economy, Transport, Urban and Regional Development, 2008, str. 52
- [45] Matthias Werner: Nanotechnologies in Automobiles: Innovation Potentials in Hesse for the Automotive Industry and Its Subcontractors, Hessian ministry of economics, transport, urban and regional development, 2008
- [46] ] Luther W. Application of Nano-Technologies in the Energy Sector. Germany: Hessian Ministry of Economy, Transport, Urban and Regional Development, 2008, str. 26
- [47] <http://energy.gov/articles/innovative-nanocoatings-unlock-potential-major-energy-and-cost-savings-airline-industry> (pristup rujan 2016)

[48] <https://cleantechnica.com/2015/05/16/efficient-solar-panels-thanks-eye-moth-leaf-lotus/>  
(pristup svibanj 2015.)

[49] Ralph Seitz, Björn P. Moller, Axel Thielmann, Andreas Sauer, Michael Meister, Mickael Pero, Oliver Kleine, Clemens Rohde, Antje Bierwisch, Meike de Vries, Victoria Kayser: Nanotechnology in the sectors of solar energy and energy storage, Technology Report, 2014, p. 26

[50] ] Luther W. Application of Nano-Technologies in the Energy Sector. Germany: Hessian Ministry of Economy, Transport, Urban and Regional Development, 2008, str. 33

[51] Ralph Seitz, Björn P. Moller, Axel Thielmann, Andreas Sauer, Michael Meister, Mickael Pero, Oliver Kleine, Clemens Rohde, Antje Bierwisch, Meike de Vries, Victoria Kayser: Nanotechnology in the sectors of solar energy and energy storage, Technology Report, 2014, p. 52-53

[52] Ralph Seitz, Björn P. Moller, Axel Thielmann, Andreas Sauer, Michael Meister, Mickael Pero, Oliver Kleine, Clemens Rohde, Antje Bierwisch, Meike de Vries, Victoria Kayser: Nanotechnology in the sectors of solar energy and energy storage, Technology Report, 2014, p. 53



## 7. ŽIVOTOPIS

Dino Mujkanović rođen je 21. prosinca 1992. godine u Zagrebu gdje pohađa osnovnu školu Matije Gupca, a zatim i Prvu gimnaziju. Upisuje Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, studij Ekoinženjerstva gdje otkriva zanimanje za energetiku, točnije obnovljive izvore energije. Iz tog razloga pridružuje se studentskoj udruzi SUPEUS (Studentska udruga za promicanje energetske učinkovitosti i savjetovanje) čiji je redovni član. U slobodno vrijeme se bavi nogometom i fitnessom.