

Primjena hibridnih materijala u elektrotehnici

Šamija, Filip

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:764385>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-12**

Repository / Repozitorij:

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

Sveučilišni studij

**Primjena hibridnih materijala u elektrotehnici
Završni rad**

Filip Šamija

Osijek, 2024.godina

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**Obrazac Z1P: Obrazac za ocjenu završnog rada na sveučilišnom prijediplomskom studiju****Ocjena završnog rada na sveučilišnom prijediplomskom studiju**

Ime i prezime pristupnika:	Filip Šamija
Studij, smjer:	Sveučilišni prijediplomski studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija
Mat. br. pristupnika, god.	4585, 24.07.2018.
JMBAG:	0165078189
Mentor:	doc. dr. sc. Goran Rozing
Sumentor:	
Sumentor iz tvrtke:	
Naslov završnog rada:	Primjena hibridnih materijala u elektrotehnici
Znanstvena grana završnog rada:	Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)
Zadatak završnog rada:	
Datum prijedloga ocjene završnog rada od strane mentora:	18.09.2024.
Prijedlog ocjene završnog rada od strane mentora:	Dobar (3)
Datum potvrde ocjene završnog rada od strane Odbora:	30.09.2024.
Ocjena završnog rada nakon obrane:	Dobar (3)
Datum potvrde mentora o predaji konačne verzije završnog rada čime je pristupnik završio sveučilišni prijediplomski studij:	02.10.2024.

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA **OSIJEK****IZJAVA O IZVORNOSTI RADA**

Osijek, 02.10.2024.

Ime i prezime Pristupnika:	Filip Šamija
Studij:	Sveučilišni prijediplomski studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija
Mat. br. Pristupnika, godina upisa:	4585, 24.07.2018.
Turnitin podudaranje [%]:	8

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Primjena hibridnih materijala u elektrotehnici**

izrađen pod vodstvom mentora doc. dr. sc. Goran Rozing

i sumentora

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija.

Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis pristupnika:

SADRŽAJ

1. Uvod	1
1.1. Zadatak završnog rada	1
2. Povijesni razvoj hibridnih materijala	2
3. Podjela hibridnih materijala	6
3.1. Svojstva hibridnih materijala	9
3.1.1. Fizikalna svojstva	10
3.1.2. Kemijska svojstva	10
3.1.3. Biološka svojstva.....	12
3.2. Metodološki koncepti u oblikovanju anorgansko-organskih hibridnih materijala	13
3.2.1. Sol-gel hibridni materijali	14
4. Vrste i primjena hibridnih materijala	15
4.2. Hibridni premazi	17
4.3 Hibridi za optičke primjene	17
4.3. Hibridi u elektroničkim primjenama	18
4.4. Primjena hibridnih materijala na bazi grafena	18
5. Pravci razvoja hibridnih materijala	25
6. Recikliranje hibridnih materijala	28
7. Zaključak	31
Literatura	33
Sažetak	35
Abstract	35

1. Uvod

Kako bi se ispunili određeni zahtjevi za svojstva materijala, često se kombiniraju različite vrste materijala tvoreći kompozitne i hibridne materijale. Hibridni materijali su materijali koji kombiniraju najbolja svojstva različitih materijala kako bi se postigla željena svojstva i karakteristike. Razvoj tehnologije i rastuće potrebe za efikasnijim, izdržljivijim i održivijim materijalima usloveli su sve veću primjenu hibridnih materijala u različitim granama industrije, uključujući elektrotehniku. Hibridni materijali, koji kombiniraju karakteristike različitih komponenti, nude jedinstvena svojstva koja su često nedostižna konvencionalnim materijalima. Ovi materijali često se koriste u različitim komponentama elektrotehničkih uređaja za optimizaciju električnih, magnetskih, toplinskih i mehaničkih svojstava. Neki od poboljšanih svojstava su mehanička čvrstoća, otpornost na koroziju, električna vodljivost i toplinska stabilnost. U suvremenim elektroničkim uređajima i energetske sistemima, upotreba hibridnih materijala omogućava značajna poboljšanja u karakteristikama, pouzdanosti i efikasnosti. Na primjer, kombinacija polimera sa metalima ili keramike sa kompozitima omogućava razvoj komponenti sa specifičnim svojstvima koja se prilagođavaju zahtjevima u elektrotehnici. Ovi materijali omogućavaju inovacije u području energetske skladišta, električnih vozila, pametnih mreža i drugih naprednih tehnoloških rješenja. Navedene stvari su vrlo bitne u elektrotehnici pa možemo zaključiti kako su hibridni materijali od velike važnosti za rad i razvoj u elektrotehnici. Iako su hibridni materijali u razvoju već skoro cijelo stoljeće, i dalje postoji prostora, ali i potrebe za njihovim daljnjim razvojem.

1.1. Zadatak završnog rada

U ovom završnom radu potrebno je prikazati povijesni razvoj hibridnih materijala i ukazati na važnost njihove primjene u tehničkoj praksi te njihovu podjelu s obzirom na tehnička svojstva. Također, cilj je napraviti pregled najzastupljenijih hibridnih materijala, prvenstveno njihovu primjenu u elektrotehnici kao i pravce njihova razvoja i recikliranja.

2. Povijesni razvoj hibridnih materijala

Zbog nesavršenih svojstava prirodnih materijala oduvijek je postojala potreba za boljim svojstvima materijala, što je navelo ljude da eksperimentiraju sa kombiniranjem različitih vrsta materijala tako tvoreći kompozitne i hibridne materijale. Ne možemo biti sigurni kada su točno nastali hibridni materijali, ali znamo da su ljudi kombinirali organske i anorganske materijale još u antičkom svijetu. Tada je pokretačka sila bila stvaranje novih šarenih boja miješanjem raznih organskih i anorganskih materijala. U starom Egiptu i Mezopotamiji, ljudi su koristili mješavinu slame i blata za pravljenje cigli. Slama je bila dodana kako bi ojačala strukturu cigle i spriječila njeno puknuće tijekom sušenja. Ovakva vrsta jednostavnog kompozitnog materijala stoljećima je korištena za izgradnju kuća. Bronca je hibridni materijal koji je razvijen 2000 godina prije Krista, a koristi se i danas. To je materijal koji se dobiva legurom bakra i kositra. U prapovijesnim vremenima se koristio za izradu oruđa, oklopa, nakita i posuđa, a danas se najviše koristi za umjetničke odljeve. Slika 1. prikazuje brončani oklop star preko 2000 godina.



Slika 1. Brončani oklop [1]

Damascirani čelik je kompozitni metalni materijal nastao spajanjem više ploča ili traka od čelika i željeza. Koristio se za izradu noževa i mačeva zbog velike otpornosti na lomljenje, lakoće brušenja oštrice, ali i savitljivosti.



Slika 2. Nož izrađen od damasciranog čelika [2]

Dakle, hibridni materijali su davno osmišljeni i korišteni, međutim, tek na kraju 20. i početkom 21. stoljeća su nova otkrića u znanosti o materijalima, znanstvenicima pokazale nove mogućnosti u hibridnim materijalima na razini nanotehnologije.

Jedan od najvažnijih procesa u proizvodnji hibridnih materijala je sol-gel proces razvijen 1930-ih godina koristeći silicijeve alkoksidge kao prethodnike iz kojih će silicijev dioksid biti proizveden. Ovaj proces sličan je organskoj polimerizaciji koja počinje od molekularnih prekursora koji rezultiraju rasutim materijalom. Suprotno mnogim drugim postupcima koji se koriste u proizvodnji anorganskih materijala, ovo je jedan od prvih procesa u kojima su primijenjeni ambijentalni uvjeti za proizvodnju keramike [3].

Od 1960-ih do 1980-ih godina razvoj je usredotočen na kombinaciju polimera s drugim materijalima poput keramike ili metala. Primjeri uključuju ojačane polimere, stakloplastiku i vlaknima ojačani kompoziti.

Metalno-matrični (MMC) kompoziti razvijani su u razdoblju od 1980. do 1990. godine. MMC su materijali koji kombiniraju metalnu matricu s ojačanjima poput čestica, vlakana ili pločica keramike. Koriste se u automobilskoj i avio industriji, energetici i obradi materijala zbog svoje poboljšane čvrstoće i otpornosti na trošenje.

U razdoblju od 1990. do 2000. godine fokus je prebačen na razvoj polimerno-keramičkih kompozita. Kombiniranjem polimerne matrice s keramičkim ojačanjima dobiveni su novi, snažniji hibridni materijali koji kombiniraju prednosti polimera, poput fleksibilnosti i obradivosti, s prednostima keramike, kao što su čvrstoća, tvrdoća i otpornost na visoke temperature. Ovi materijali su pokazali otpornost na trošenje, veliku čvrstoću i lakoću što ih čini savršenim za proizvodnju balističkih štitova i pancirnih prsluka u službi vojske i policije. Fiberglas je također popularan polimerno-keramički kompozit. Sastoji se od staklenih vlakana ugrađenih u polimernu matricu. U fiberglasu se kombinira čvrstoća i otpornost na kidanje staklenih vlakana sa fleksibilnošću i malom gustoćom polimera.



Slika 3. Pancirni prsluk [4]

S razvojem nanotehnologije, hibridni materijali su napredovali na nano razini. Rezultat toga su nanokompoziti, koji su u razvoju od ranih 2000-ih godina do danas. Nanokompoziti se sastoje od nanoskala ojačanja raspršenih u matrici. Ovi materijali pokazuju izvanredna svojstva, kao što su povećana čvrstoća, otpornost na toplinu i električnu vodljivost. Primjenjuju se u područjima poput elektronike, medicinske dijagnostike, energetike i mnogih drugih. Njihov razvoj još nije gotov, ali sa sigurnošću možemo reći da će daljnjim razvojem nanokompoziti igrati veliku ulogu u našim životima u budućnosti.

Razvoj hibridnih materijala je kontinuiran i konstantno se istražuju novi načini kombiniranja različitih materijala kako bi se postigla bolja svojstva. Hibridni materijali imaju široku primjenu u raznim industrijama i nastavljaju se istraživati kako bi se iskoristile njihove prednosti u različitim područjima.

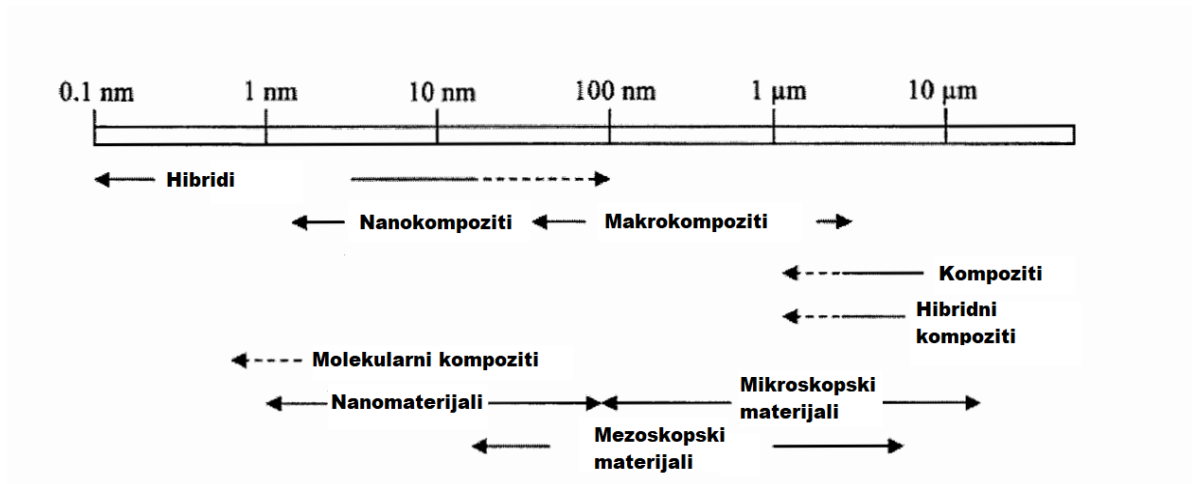
3. Podjela hibridnih materijala

Kompozitni materijali se definiraju kao višefazni materijali kod kojih je kontinuirana faza (matrica) okružena sa jednom ili više diskontinuiranih faza (punilo), te izraženom granicom među njima, pri tome diskontinuirana faza ne može biti plinska, tj. pjene se ne smatraju kompozitnim materijalom. Hibridni materijali su također višefazni materijali koji spajaju svojstva različitih vrsta materijala, a razlikuju se od kompozitnih u tome što nemaju jasnu granicu između faza i često kontinuiranom strukturom. Hibridni materijali pokazuju fazno razdvajanje praktički na molekularnoj razini. Organsko-anorganski hibridi su sačinjeni od metal-oksidne i organske ili polimerne faze, a njihov sastav može biti većinski anorganskog kserogela modificiranog manjim organskim skupinama ili nanokompozita s polimernom maticom koji sadržavaju anorganske nanodomene [5].

Postoji mnogo načina podjele hibridnih materijala, jedan od njih je:

- Kompoziti: Mješavina materijala koja se sastoji od matrice i disperzije na mikronskoj razini
- Nanokompoziti: Mješavina sličnih vrsta materijala na sub-mikronskoj razini
- Hibridi: Mješavina materijala različitih vrsta na submikronskoj razini
- Nanohibridi: Mješavina različitih vrsta materijala s kemijskim vezama među njihovim materijalima na atomskoj ili molekularnoj razini

Razlika između hibrida i nanohibrida nije uvijek očita pa pod nanokompozite često ubrajamo i hibride i nanohibride [6].

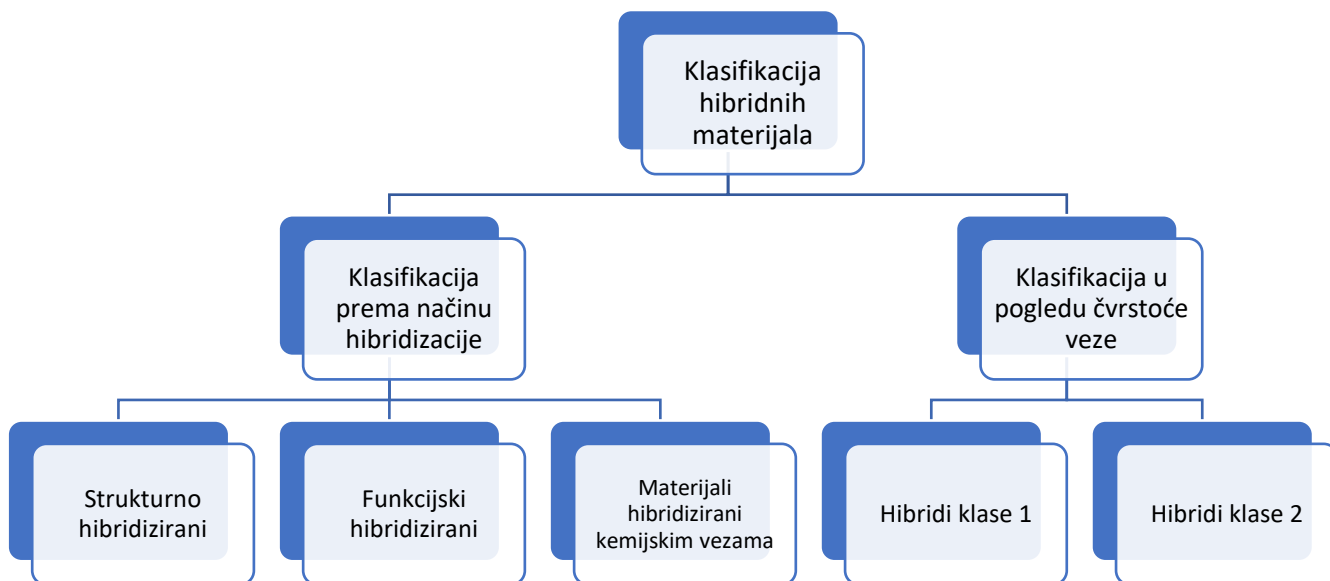


Slika 4. Podjela hibridnih materijala prema razinama skale [7]

Hibridne materijale također možemo definirati kao kombinaciju dva ili više materijala u predodređenoj geometriji i skali za optimalne inženjerske svrhe. Prema tome, možemo ih podijeliti i prema načinu hibridizacije:

- Strukturno-hibridizirani materijali
- Materijali hibridizirani kemijskim vezama
- Funkcijski-hibridizirani materijali

Neke hibridne materijale ne možemo svrstati u samo jednu od ovih skupina jer imaju svojstva i materijala hibridiziranih kemijskim vezama i funkcijski hibridiziranih materijala [7].



Slika 5. Podjela hibridnih materijala prema načinu hibridizacije i čvrstoći veze [2].

Hibridi klase 1 nemaju kemijske veze između komponenti, već samo slabu interakciju (van der Waalsova, vodikova, elektrostatička) dok hibridi klase 2 imaju kemijske veze sa jakim međudjelovanjima (kovalentne veze).

Hibridni materijali mogu nastati modifikacijom anorganskih materijala organskim molekulama i, obrnuto, modifikacijom organske matrice anorganskim sastojcima. Prema tome, možemo ih podijeliti na:

- Anorganski materijali modificirani organskim molekulama, koji se mogu dalje podijeliti na anorganske strukture modificirane organskim molekulama i koloidne čestice stabilizirane organskim molekulama.
- Organski materijali modificirani anorganskim molekulama



Slika 6. Razlike organskih i anorganskih materijala [2]

Kombinacijom organskih i anorganskih materijala nastaju nove, složene vrste materijala kod kojih kemijske veze organskih i anorganskih molekula donose izuzetna optička, električna i toplinska svojstva. Ovisno koja su nam svojstva potrebna, kombiniramo organske i anorganske materijale kako bismo dobili željena svojstva materijala. Mogućnosti za kreiranje novih materijala su gotovo beskonačne. Također, postoji i mogućnost kreiranja multifunkcionalnih hibrida [10].

3.1. Svojstva hibridnih materijala

Svojstva hibridnih materijala ovise o dizajnu, sastavu i procesima proizvodnje. Neka od tih svojstava su: mehanička čvrstoća, električna provodljivost, toplinska stabilnost i optička svojstva. Kombinacije materijala mogu biti različite i mogu se prilagođavati kako bi se postigla željena kombinacija svojstava za određenu primjenu. Na primjer, ako želimo materijal sa većom čvrstoćom ili otpornošću na abrazijsko trošenje, tada se anorganske nanočestice spajaju u polimernu matricu. Budući da se građa materijala obavlja na molekularnoj razini, finim ugađanjem možemo razviti materijal sa točno onim svojstvima koji su nam potrebni. Često se u industriji koriste i tanki premazi napravljeni od hibridnih materijala koji proizvodu daju veću otpornost na abrazijsko trošenje.

3.1.1. Fizikalna svojstva

Hibridni materijali mogu imati poboljšanu prekidnu čvrstoću i otpornost na lom koja se postiže kombinacijom krutih i elastičnih materijala. Ovo omogućava stvaranje materijala koji su istovremeno čvrsti i otporni na lom.

Hibridni materijali mogu pokazivati veću razinu otpornosti na visoke temperature i termalni šok. To se postiže kombinacijom materijala sa različitim koeficijentima toplinskog rastezanja te se tako smanjuju deformacije uslijed termalnih ciklusa i održavaju strukturni integritet materijala.

Hibridni materijali mogu kombinirati električnu provodljivost jednog materijala sa fleksibilnošću nekog drugog materijala. Time se dobivaju fleksibilni vodiči koji se često koriste u izradi elektroničkih uređaja.

Optička svojstva, koja hibridni materijali posjeduju, kombiniraju različita optička svojstva, kao što su transparentnost, indeks refrakcije i apsorpcija svjetlosti su optička svojstva koja mogu biti poboljšana kombinacijom različitih materijala. To omogućava razvoj materijala sa specifičnim optičkim svojstvima, poput materijala sa poboljšanom svjetlosnom provodljivošću ili materijala sa promjenjivim optičkim osobinama. Raznim kombinacijama organskih i anorganskih komponenata možemo ostvariti pasivna optička svojstva koja se ne mijenjaju u ovisnosti o vanjskim utjecajima, ili aktivna svojstva kao npr. fotokromatska (promjena boje tijekom izlaganja svjetlosti), elektrokromatska (promjena boje materijala kada dođe u kontakt sa strujom).

Hibridni materijali mogu kombinirati otpornost na koroziju jednog materijala sa drugim mehaničkim ili termičkim osobinama drugog materijala. Ovo je posebno važno u industriji gdje se materijali izlažu agresivnim kemikalijama ili vlažnim prostorima.

3.1.2. Kemijska svojstva

Kemijska svojstva hibridnih materijala također ovise o sastavu i kombinaciji materijala koji se koriste. Kemijska svojstva koja se poboljšavaju pomoću hibridnih materijala uključuju kemijsku otpornost, reaktivnost, adsorpciju i apsorpciju, biokompatibilnost i degradaciju.

Kemijska reaktivnost hibridnih materijala određuje njihovu sposobnost da reagiraju s drugim tvarima, poput kemikalija, vode ili plinova te ono može utjecati na njihovu stabilnost.

Kemijska stabilnost hibridnih materijala pod utjecajem temperature, vlage, kiselina, lužina i drugih uvjeta okoline igra ključnu ulogu u njihovoj primjeni. Materijali se često modificiraju kako bi se poboljšala njihova kemijska stabilnost.

Kemijska otpornost hibridnih materijala na koroziju može biti posebno važna ako su izloženi agresivnim kemijskim sredinama. Metal-polimer hibridi i materijali s metalnim komponentama često se tretiraju kako bi se poboljšala njihova otpornost na koroziju.

Hibridni materijali se mogu kemijski funkcionalizirati ili modificirati kako bi se postigle određene kemijske interakcije, na primjer, kako bi se poboljšala adhezija stanica, dodala svojstva otpuštanja tvari ili promijenila površinska svojstva.

Neke primjene zahtijevaju kemijski inertne materijale koji ne reagiraju s okolinom ili biološkim tkivima. Ovo svojstvo je posebno važno kod medicinskih implantata kako bi se izbjegle neželjene reakcije tijela.

Materijali mogu pokazivati fotokemijska svojstva kao reakciju na svjetlost. Ovo se može iskoristiti za primjene kao što su fotokataliza, fotopromjena svojstava ili optičke aplikacije.

Kemijske karakteristike površine hibridnih materijala igraju ključnu ulogu u njihovim interakcijama s okolinom, adhezijom stanica i drugim biološkim ili tehničkim procesima.

Hibridni materijali koji sadrže različite komponente mogu otpuštati tvari u okolinu, kao što su lijekovi, katalizatori ili drugi biološki aktivni spojevi.

Hibridni materijali mogu biti oblikovani kako bi selektivno reagirali s određenim tvarima, molekulama ili ionima. Ovo svojstvo naziva se kemijska selektivnost te ima primjene u detektorima i senzorima.

Kemijska svojstva površine mogu odrediti ravnotežu između hidrofobnih (vodeno odbojnih) i hidrofilnih (vodeno propusnih) svojstava materijala, što utječe na njihovu interakciju s vodom i drugim tekućinama.

Hibridni materijali mogu imati poboljšanu otpornost na kemijska sredstva ili koroziju zahvaljujući kombinaciji materijala s visokom kemijskom stabilnošću. Na primjer, hibridni materijali koji kombiniraju keramičke i polimerne komponente mogu biti otporniji na koroziju nego čisti polimeri.

Poboljšane sposobnosti adsorpcije (pripijanje) ili apsorpcije (upijanje) različitih molekula ili plinova su još jedna od karakteristika hibridnih materijala. Kombinacija različitih materijala može stvoriti porozne strukture ili specifične kemijske skupine koje omogućavaju selektivno vezivanje određenih tvari.

3.1.3. Biološka svojstva

Postoje razni načini na koje možemo utjecati na biološka svojstva hibridnih materijala. Najčešće se to postiže kombiniranjem organskih i anorganskih tvari kako bismo postigli specifične zahtjeve za materijale. Biološka svojstva koja su bitna kod hibridnih materijala su: biokompatibilnost, biodegradabilnost, interakciju s proteinima, upijanje tekućina, otpornost na infekcije itd.

Biokompatibilnost se odnosi na sposobnost materijala da suzbija imunološki odgovor organizma i minimizira štetne reakcije prilikom kontakta s tkivima. Hibridni materijali mogu biti prilagođeni kako bi se postigla biokompatibilnost, što je važno za primjenu u medicinskim uređajima i implantatima.

Određeni hibridni materijali mogu biti podešeni da se razgrađuju u prisustvu biološkog okruženja, što je korisno za privremene implantate i uređaje za otpuštanje lijekova. Biodegradabilnost može smanjiti potrebu za drugim kirurškim postupcima za uklanjanje materijala.

U tkivnom inženjerstvu se koriste hibridni materijali kako bi se stvorili materijali koji podržavaju rast stanica i integraciju s okolnim tkivima. To je bitno za stvaranje uspješnih implantata i zamjenskih tkiva.

Hibridni materijali se mogu modificirati kako bi kontrolirano otpuštali biološki aktivne tvari, kao što su lijekovi, hormoni ili faktori rasta. Ovo je posebno važno za uređaje s terapijskim ili dijagnostičkim funkcijama.

Nadalje, hibridni materijali mogu reagirati s proteinima u biološkim okruženjima, što može utjecati na njihovu stabilnost, adsorpciju proteina, i sposobnost komunikacije s okolnim stanicama.

Biološki materijali često dolaze u kontakt s različitim tekućinama u tijelu. Sposobnost hibridnih materijala da upijaju ili otpuštaju tekućine može biti korisna za različite primjene, kao što su dijagnostika i kontrolirano otpuštanje lijekova.

Osim toga, hibridni materijali se mogu funkcionalizirati s antimikrobnim svojstvima kako bi se spriječila kolonizacija bakterija ili drugih mikroorganizama na površini materijala. To je važno za medicinske implantate i uređaje.

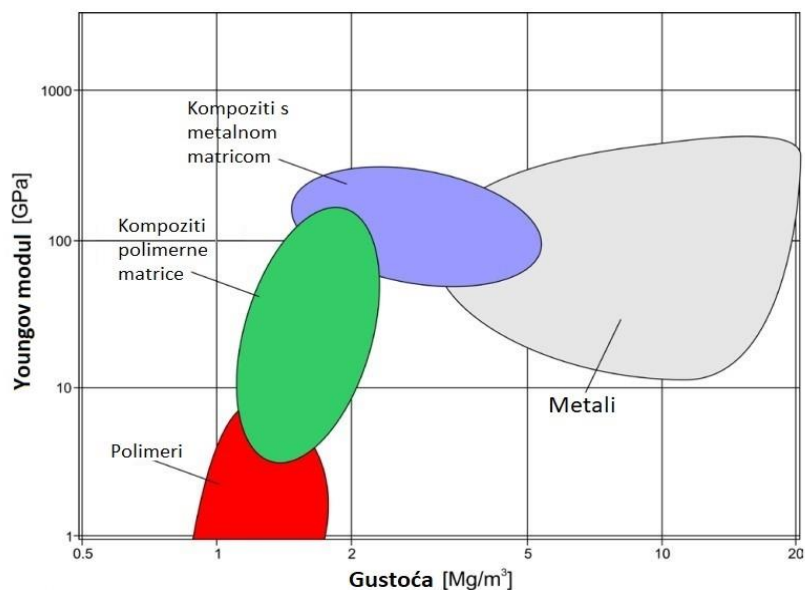
Neke vrste hibridnih materijala mogu biti funkcionalizirane kako bi prepoznale specifične biološke molekule, kao što su proteini ili DNA. To je korisno za dijagnostiku, detekciju bolesti i interakciju s biološkim sustavima.

Hibridni materijali se mogu koristiti za upravljano otpuštanje bioloških stimulansa kao što su faktori rasta ili signalne molekule koje potiču određene biološke reakcije.

Svi ovi aspekti bioloških svojstava igraju ključnu ulogu u razvoju hibridnih materijala za primjenu u medicini, tkivnom inženjeringu, dijagnostici, biotehnologiji i drugim područjima gdje je interakcija s biološkim sustavima ključna.

3.2. Metodološki koncepti u oblikovanju anorgansko-organskih hibridnih materijala

Suvremeni materijali u našem svakodnevnom životu, kao što su staklo ili polimerni kompoziti ojačani ugljičnim vlaknima, odgovaraju našem trenutnom shvaćanju korisnog spajanja dvaju različitih materijala koji stvaraju novi spoj s nadmoćnim svojstvima u usporedbi s karakteristikama čistih komponenata. Grafički, specifična svojstva takvih kombinacija materijala mogu se izraziti dijagramima u kojima se različite karakteristike materijala povezuju međusobno. Ovi takozvani Ashbyjevi dijagrami jasno pokazuju kako novi kompozitni ili hibridni materijali mogu popuniti praznine u svojstvima materijala koje se ne mogu ispuniti tradicionalnim materijalima [11].



Slika 7. Ashbyjevi dijagrami [8]

3.2.1. Sol-gel hibridni materijali

Sol-gel materijali na bazi silicija su jedni su od najčešće istraživanih vrsta anorgansko-organskih hibridnih materijala [8]. Sol-gel proces počinje kada molekularni spojevi međusobno reagiraju kako bi se na kraju povezali jakim kemijskim vezama. Prednost ovog procesa je to što do reakcije dolazi u tekućem okruženju smanjujući difuzijske probleme koji prevladavaju u procesima čvrstog stanja. U procesima čvrstog stanja najčešće je potrebna visoka temperatura i dugo vrijeme reakcije. Zbog svega navedenog, ovaj postupak je pogodan za formiranje raznih materijala kod kojih se organski materijali pričvršćuju u matricu anorganskih materijala.

Hibridi na bazi polimera su jedni od najčešće korištenih hibridnih materijala nastalih sol-gel procesom. U anorgansko-organskim hibridnim materijalima organske komponente su male organske molekule ili makromolekularni spojevi. Ova vrsta hibridnih materijala se može oblikovati sol-gel postupkom u prisutnosti polimera sa ili bez kemijskog vezivanja dviju komponenti. Osim toga, i anorganske komponente mogu se ugraditi u polimer poput molekularnih elemenata [8].

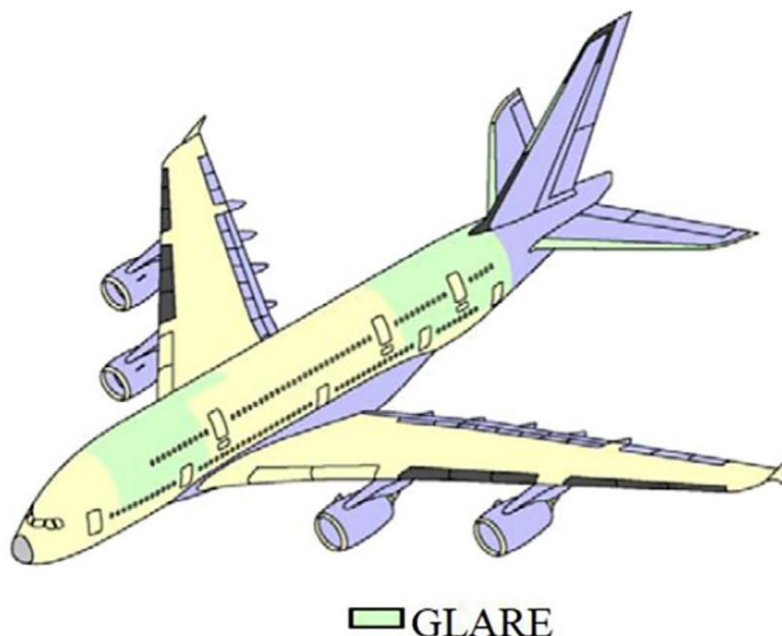
Budući da se sol-gel proces odvija pri blagim uvjetima, postoji opcija dodavanja dodatnih molekula tijekom reakcije te tako nastaju materijali prilagođene poroznosti. U strukturiranju materijala baziranih na sol-gelu jedan od najvažnijih pristupa strukturiranju je kooperativno samosastavljanje molekula surfaktanata, što se koristi za kontroliranu formaciju poroznih materijala [8].

4. Vrste i primjena hibridnih materijala

Hibridni materijali imaju mnoge primjene u različitim industrijama zbog svojih izvrsnih svojstava i mogućnosti prilagodbe.

U automobilskoj industriji hibridni materijali se koriste za smanjenje mase vozila i poboljšanje energetske učinkovitosti. Primjerice, vlaknom ojačana plastika (FRP) ili metalno-matrični kompoziti (MMC) koriste se za izradu karoserije, šasije i drugih dijelova vozila. To dovodi do smanjenja potrošnje goriva i emisija CO₂, veće čvrstoće karoserije, a samim time raste i sigurnost putnika vozila.

U zrakoplovnoj industriji, hibridni materijali igraju ključnu ulogu zbog svoje male mase, ali velike čvrstoće. Kompoziti od staklenih ili ugljičnih vlakana kombinirani s epoksidnim smolama koriste se za izradu trupa zrakoplova, krila i unutarnjih dijelova. Hibridni materijali poboljšavaju čvrstoću, smanjuju težinu i povećavaju otpornost na umor. Jedan od tih materijala je GLARE (Glass Laminate Aluminum Reinforced Epoxy – stakleni laminat ojačan aluminijem) se koristi u Airbus A380 za izradu gornjeg sloja trupa. GLARE se dobiva naizmjeničnim kombiniranjem slojeva aluminija i epoksidnog ljepila ojačanog vlaknima. Ti slojevi se spajaju posebnim ljepilima tvoreći materijal koji kombinira svojstva aluminija (čvrstoća i krutost) i kompozita na bazi epoksija (trajnost i žilavost) [2].



Slika 8. Dijelovi Airbus A380 napravljeni od GLARE materijala [3]

Hibridni materijali imaju primjenu u medicini zbog svojih biokompatibilnih svojstava i mogućnosti prilagodbe. Primjerice, polimerno-keramički ili metalno-polimerni kompoziti koriste se za izradu implantata, proteza i kirurških alata. Ovi materijali pružaju kombinaciju mehaničke čvrstoće, fleksibilnosti i kompatibilnosti s tkivom.

4.1 Hibridni kompoziti u elektrotehnici

Neki od kompozitnih materijala koji se koriste u elektrotehnici su polimerno-keramički kompoziti, metalno-polimerni kompoziti i metalno-keramički kompoziti i polimerno-metalni kompoziti.

Polimerno-keramički kompoziti (PCC) kombiniraju polimernu matricu s keramičkim ojačanjima. Koriste se zbog dobrih električnih izolacijskih svojstava, a istovremeno pružaju mehaničku fleksibilnost. Koriste se u izradi električnih izolatora, kućišta za elektroniku i električnih komponenti.

Metalno-polimerni kompoziti (MPC) nastaju kombiniranjem metalnih matrica s polimernim ojačanjima. MPC materijali imaju dobru električnu vodljivost i mehaničku čvrstoću. Koriste se u izradi električnih kontakata, priključaka, vodova i elektromagnetskih komponenata.

Kombiniranjem metalne matrice sa keramičkim ojačanjima nastaju metalno-keramički kompoziti (MCC). MCC materijali imaju dobru toplinsku vodljivost i mehaničku čvrstoću te se koriste u izradi hladnjaka, toplinskih raspršivača, ležajeva i drugih dijelova s visokim zahtjevima za toplinsku vodljivost.

Polimerno-metalni kompoziti (PMC) kombiniraju polimernu matricu s metalnim ojačanjima. Ovi materijali su dobra kombinacija mehaničke fleksibilnosti polimera (plastike) i električne vodljivosti metala. Ovisno o izabranim metalima, PMC materijali mogu pokazati i povećanu otpornost na koroziju te povećanu. Služe za izradu fleksibilnih električnih vodova, elektromagnetskih zaslona i senzora, antistatičkih materijala, PCB pločica itd.

4.2. Hibridni premazi

Jedna od mnogih prednosti anorgansko-organskih hibridnih materijala je njihova modularna konstrukcija i prilično jednostavna tehnologija obrade. To otvara višestruke mogućnosti u konstruiranju materijala po mjeri za različite primjene.

Rezultat toga je proizvodnja prozirnih filmova, što ih čini idealnima da se koriste kao premazi. Nadalje, mogu se koristiti na različitim podlogama (keramika, metali, polimeri, itd.) te imaju nisku temperaturu obrade ($<150^{\circ}\text{C}$) tako da su savršeni za suvremene zahtjeve premazivanja u elektroničkoj industriji.

Korištenjem različitih komponenata u izradi premaza možemo proizvesti premaze za različite zadaće. Za bolje vlaženje i prijanjanje premaza na podlogu se koriste organske skupine, a mogu se dodatno umrežiti i zračenjem UV svjetlom.

Posljednjih godina fokus je prebačen na razvoj premaza otpornih na koroziju zbog nedavnog ponovnog interesa za korištenje metala i legura na bazi magnezija i aluminijske u industriji. Za automobilsku, zrakoplovnu i elektroničku industriju je posebno bitan razvoj laganih premaza, a metoda sol-gel premaza omogućuje proizvodnju kako aktivnih tako i pasivnih premaza otpornih na koroziju [11].

4.3 Hibridi za optičke primjene

Postoji veliki interes i potencijal za nove materijale za opto-elektroničke uređaje jer se pomoću anorgansko-organskih hibrida može postići veća transparentnost i fleksibilnost u usporedbi sa klasičnim staklom.

Moguće je kombinirati materijale tako da se njihova kemijska i fizikalna svojstva prilagođavaju određenim zahtjevima, npr. optičkim svojstvima za primjenu na pločicama poput mikrooptičkih uređaja ili električnih vodova za provođenje elektromagnetske energije na visokim frekvencijama.

Fotodetektor, nelinearni optički materijali, fotokromatski materijali i materijali sa visokim indeksom loma također su neki od primjera optičkih uređaja proizvedenih pomoću anorgansko-organskih hibridnih materijala.



Slika 9. Fotodetektor [12]

4.3. Hibridi u elektroničkim primjenama

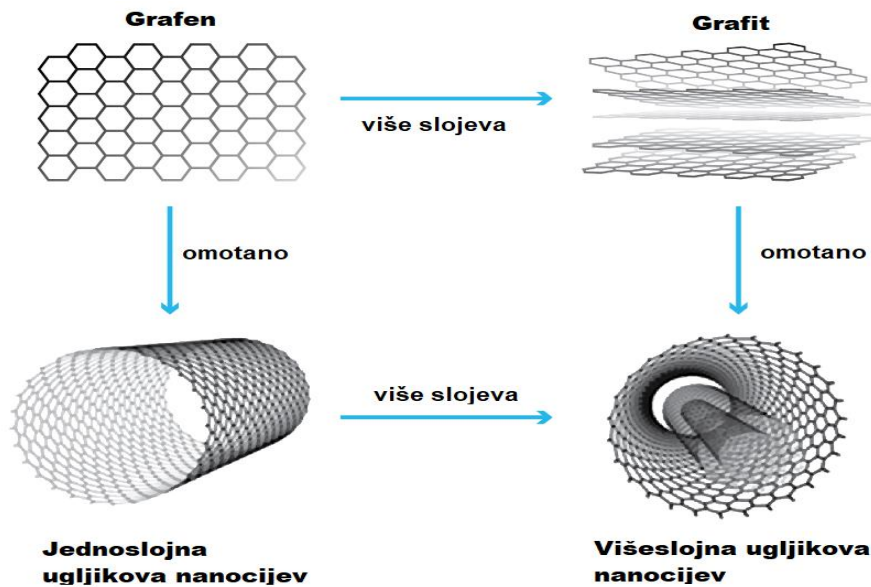
Hibridni materijali su posebno prikladni za primjenu u elektronici zbog njihove sposobnosti da se visoko pročiste putem kemijskih metoda. To znači da se nečistoće koje bi inače negativno utjecale na elektroničke karakteristike, smanjuju na minimum, što rezultira manjim gubicima u elektroničkim uređajima.

Litografski alati ili fotootporni materijali su značajno napredovali u elektronici, stoga je potrebno uvođenje novih vrsta materijala koji će ih moći zamijeniti u budućnosti.

4.4. Primjena hibridnih materijala na bazi grafena

Grafen je dvodimenzionalni sloj ugljika sa izuzetnim električnim, toplinskim i mehaničkim svojstvima. Osim ekstenzivnog istraživanja korištenja grafena u elektronici i elektrotehnici, zadnjih godina se otkrio potencijal u izradi optoelektroničkih uređaja na bazi grafena. Njegova snažna fotoluminiscencija, zračenje iz grafena, emisija polja elektrona te interakcija sa svjetlošću ga čini obećavajućim materijalom za optičke uređaje u budućnosti [5].

Kombinacija grafena s drugim materijalima, poput polimera ili keramike, stvara grafenske kompozite. Korisni su za izradu senzora, električnih elektroda, tankih filmova i kondenzatora.



Slika 10. Prikaz razlike grafena i višeslojnih nanocijevi [13]

Polimerni materijali često se koriste kao izolatori, ali mogu služiti i kao vodiči električne energije. Jedan takav materijal je inherentno vodljivi polimer (ICP). Razvijani su do 1977. godine i imaju mogućnost provođenja struje te se mogu ponašati kao aktuatori.

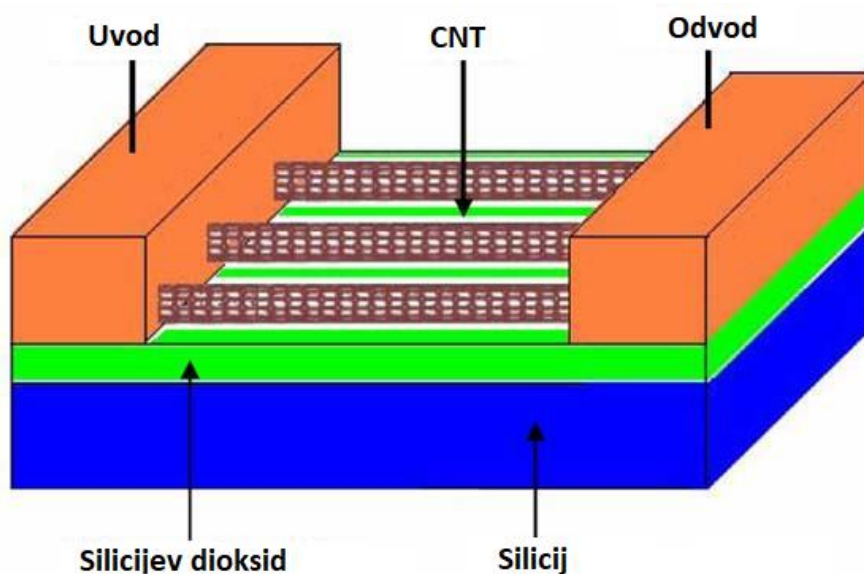
Polimerni nanokompoziti s ojačanjima ugljičnih nanomaterijala se opsežno istražuju zbog svojih izvanrednih karakteristika, uključujući mehanička, električna i toplinska svojstva. Konkretno, nanomaterijali mogu ponuditi izvrsna strukturalna i funkcionalna svojstva polimera te ih se tako može modificirati za razne primjene. Najveći potencijal u nanokompozitima je razvoj elektroničkih komponenata, mikrobaterija i štitova za elektromagnetsko zračenje.

Superkondenzatori su jedna od primjena grafenskih hibrida. Poliacetilen, polipirol, polianilen i politeolon su vrste ICP materijala koji su bitni u elektrotehnici, a koriste se za proizvodnju superkondenzatora. Superkondenzatori su uređaji za pohranu električne energije nove generacije. Imaju odličnu stabilnost ciklusa punjenja i pražnjenja te mogućnost brzog i jeftinog punjenja baterije.



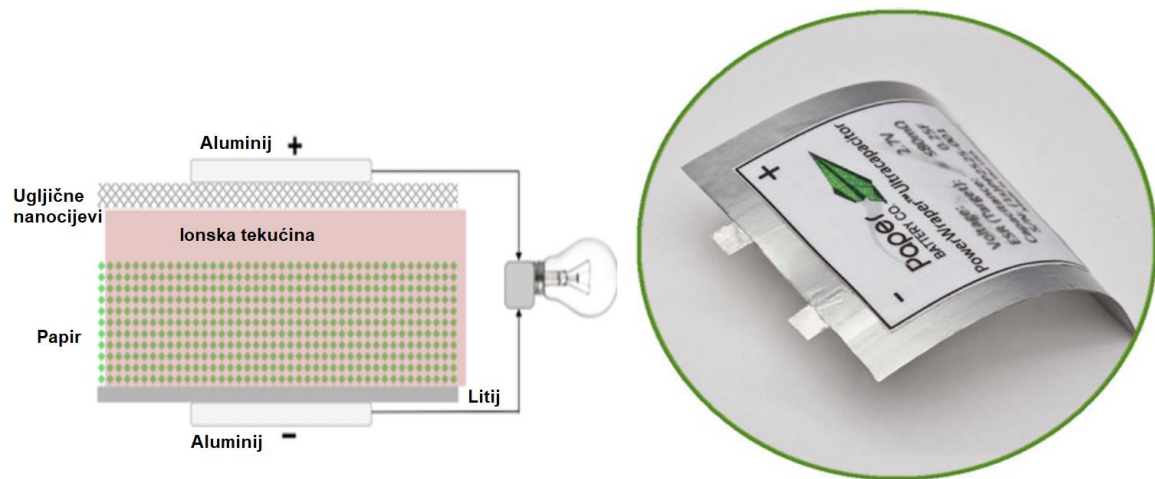
Slika 11. Superkondenzatori [14]

U tranzistorima se koriste nanocijevi, te se takvi tranzistori CNTFET (Carbon nanotube field effect transistor) (Tranzistor s efektom polja od ugljikovih nanocijevčica), a koriste se za digitalno prebacivanje pri sobnoj temperaturi te u sustavima upravljanja toplinom u električnim krugovima. Zasad ne postoji tehnologija za njihovu masovnu proizvodnju, ali bi u budućnosti mogli igrati veliku ulogu u elektrotehnici. Pomoću čistih nanocijevi su napravljeni kraći vodiči koji imaju veću specifičnu provodljivost čak i od bakrenih i aluminijskih žica. One predstavljaju nemetalne nanocijevčice sa najvećom sposobnošću za prolaskom struje, dok kao kompozit sa bakrom imaju sto puta veću provodljivost od samog bakra [2].



Slika 12. CNTFET tranzistor [15]

Kombiniranjem ugljičnih nanocijevi sa celulozom tankom poput papira dobivaju se papirnate baterije. Prednost ovakvih baterija je to što su tanke i fleksibilne pa se mogu omotati oko nekog objekta. Također, papir je biorazgradiv i dostupan je u velikim količinama što proces proizvodnje čini bržim i jeftinijim. Imaju duži vijek trajanja u usporedbi sa običnim baterijama i ne pregrijevaju se.



Slika 13. Papirnata baterija [16]

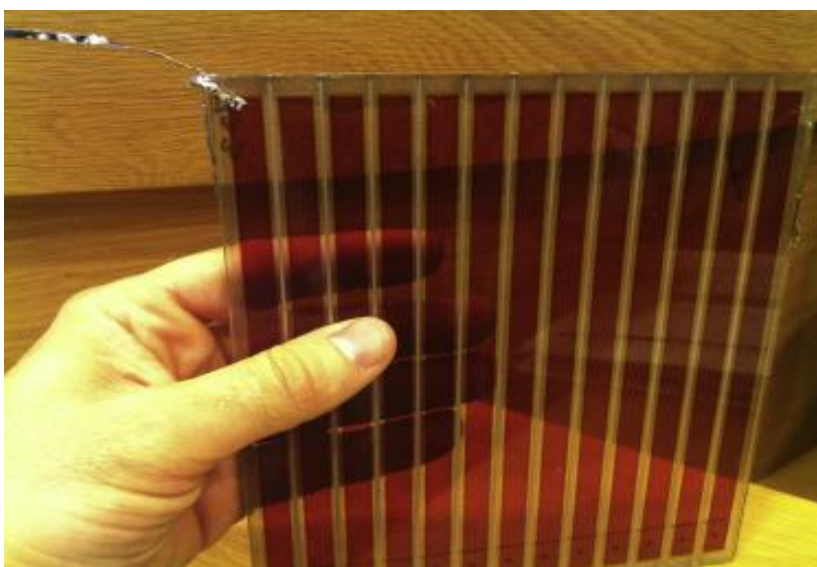
Široka primjena elektroničkih komponenata u svijetu je dovela do elektromagnetskog zagađenja. Elektromagnetska interferencija (EMI) predstavlja problem, jer može poremetiti rad elektroničkih naprava, ali i loše utjecati na ljudsko zdravlje. Stoga se u zrakoplovnoj i automobilskoj industriji, kao i u proizvodnji raznih elektroničkih uređaja koriste štitovi za elektromagnetsko zračenje. Materijali koji se za tu svrhu najčešće koriste su metali te ugljični materijali u raznim oblicima kao npr. crni acetilen, ugljične nanocijevi (CNT) i grafit/grafen (GNP). Problem nastaje kada dodavanjem štitova protiv elektromagnetskih zračenja dobijemo i dodatnu neželjenu masu proizvoda, ali i skuplji proces proizvodnje. Vodljivi polimeri se često koriste u proizvodnji elektromagnetskih štitova zbog niske cijene i male težine, ali i lake obrade. Čisti polimeri nemaju dobra svojstva za zaštitu od zračenja pa se kombiniraju sa vodljivim nanopunilima [17].



Slika 14. Štit protiv elektromagnetskih zračenja [18]

Jednoslojne ugljične nanocijevi koriste se i u solarnim ćelijama, jer imaju veliku sposobnost upijanja UV zračenja. Termoelektrični solarni paneli su jedni od uređaja u kojima je korištenje ugljičnih nanocijevi omogućilo istovremeno pretvaranje sunčeve i toplinske energije u električnu.

Hibridni solarni paneli su osmišljeni s ciljem iskorištavanja prednosti različitih materijala kako bi se prevladali nedostaci konvencionalnih solarnih panela, čime se postiže veća energetska učinkovitost i ekonomska isplativost. Znanstvenici i istraživači nastavljaju istraživati nove kombinacije i hibridne arhitekture kako bi unaprijedili područje fotonaponske tehnologije i povećali učinkovitost tehnologija za pretvaranje solarne energije.



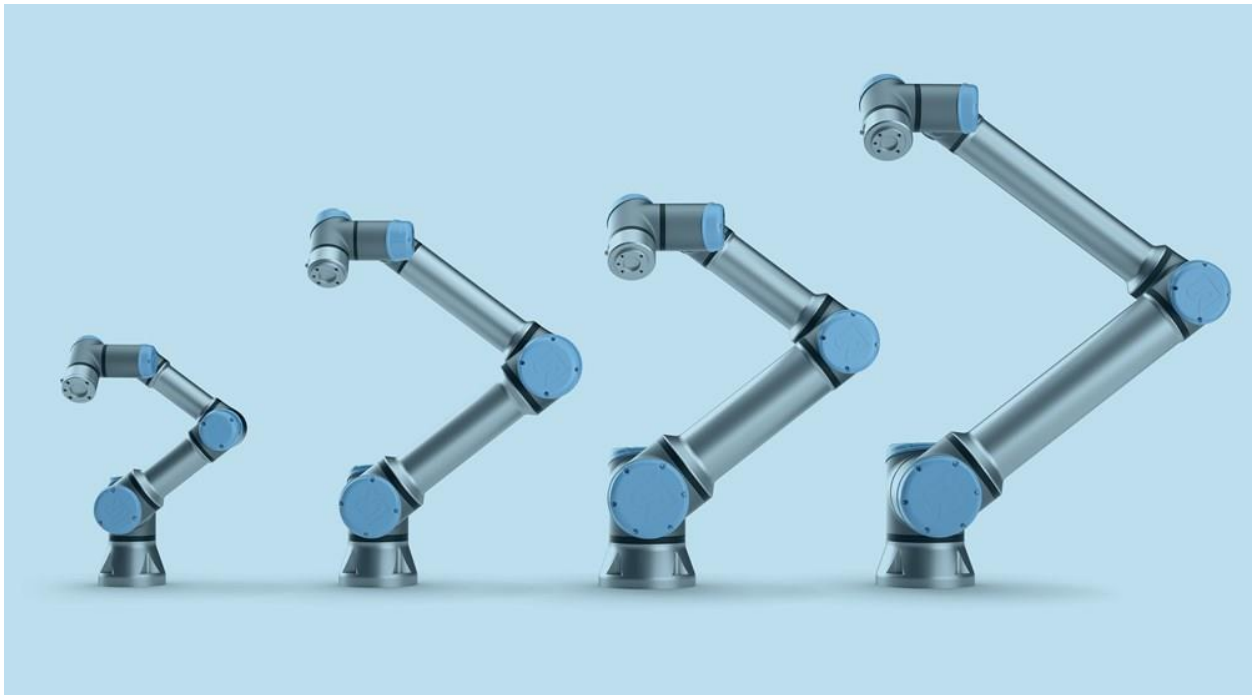
Slika 15. Solarna ćelija napravljena od hibridnih materijala [19]

Grafenski kompoziti primjenjuju se u izradi tankih filmova, senzora, električnih elektroda i fleksibilnih zaslona zbog svojih izvanrednih električnih svojstava. Grafen, kao osnovni element ovih materijala, karakterizira visoka vodljivost električne struje, iznimna transparentnost te izuzetna fleksibilnost. Njihova upotreba neprestano raste kako se istraživanja i tehnologije razvijaju, stvarajući prilike za inovacije i unaprjeđenja u različitim granama industrije. Fleksibilni zasloni, koji često koriste grafenske kompozite, predstavljaju revolucionaran napredak u tehnologiji prikaza. Ovi zasloni omogućavaju stvaranje tankih, savitljivih ekrana koji se mogu prilagoditi različitim oblicima i veličinama. Fleksibilni zasloni su vrlo lagani, što ih čini idealnim za prijenosne uređaje kao što su pametni telefoni, tableti i pametni satovi. U zadnjim godinama sve se više razvija polje nanofotonike. Uvijek postoji potreba za novim, boljim izvorima svjetlosti na nanometričnoj skali. Svjetlosni uređaji na bazi grafena, poput OLED (Organic Light Emitting Diode) (Organska svjetleća dioda) i QLED (Quantum Dot Light Emitting Diode) (Kvantna svjetleća dioda) zaslona, mogu postati platforma za fleksibilne, tanke i izdržljive izvore svjetlosti. Trenutno njihov razvoj nije došao dovoljno daleko da bi se mogli masovno proizvoditi, ali u budućnosti će zasigurno igrati veliku ulogu u proizvodnji rasvjetnih uređaja. Slika 18. predstavlja fleksibilni zaslon izrađen pomoću OLED tehnologije [5].



Slika 16. Fleksibilni zaslon [20]

U aktuatorima, bez obzira na to radi li se o mikroskopskoj ili makroskopskoj skali, često se daje prednost korištenju nanocijevi zbog njihovih izvanrednih mehaničkih i električnih svojstava. Nanocijevi mogu poslužiti za detekciju i provođenje električne struje, a njihova integracija u izradu aktuatora rezultira uređajima koji imaju znatno brži odziv u usporedbi s konvencionalnim aktuatorima. Aktuatori igraju ključnu ulogu u mnogim tehničkim sustavima i uređajima, omogućujući promjenu fizičkog stanja ili izvođenje određenih mehaničkih radnji na temelju primijenjenih signala ili pobuda. Njihova primjena proteže se na razna područja, uključujući robotiku, automobilsku i zrakoplovnu industriju te u proizvodnji medicinskih uređaja. Kontinuirani napredak u razvoju aktuatora pridonosi unaprjeđenju karakteristika i funkcionalnosti mnogih modernih tehnoloških sustava.



Slika 17. Robotska ruka s ugrađenim aktuatorima [21]

5. Pravci razvoja hibridnih materijala

Pravci razvoja hibridnih materijala obuhvaćaju širok spektar istraživanja i inovacija. To uključuje razvoj materijala s poboljšanim mehaničkim, električnim, magnetskim, termičkim, optičkim ili kemijskim svojstvima. Primjeri uključuju hibridne materijale s visokom čvrstoćom, elastičnošću, provodljivošću ili sposobnošću samoizlječenja.

Polimerni nanokompoziti sa ojačanjima ugljičnih materijala se opsežno ispituju zbog njihovih izvanrednih mehaničkih, toplinskih i električnih svojstava. Korištenje ovakvih materijala otvara mogućnost za proizvodnju polimera koji se mogu prilagođavati za razne primjene u različitim područjima. Nanokompoziti će u budućnosti imati veliku ulogu u razvoju i proizvodnji elektroničkih komponenata, mikrobaterija, elektroničkih sklopova i elektromagnetske zaštite.

Kako se povećava važnost očuvanja prirode i okoliša tako je porasla i želja, odnosno potreba za okolišno prihvatljivijim materijalima. Znanstvenici razvijaju hibridne materijale smanjene ekološke i energetske potrošnje te se njima planira zamijeniti tradicionalne materijale koji su štetni za okoliš, a pružaju lošija svojstva od novonastalih hibridnih materijala. Također, bitan je razvoj materijala sa obnovljivim, recikliranim ili biorazgradivim komponentama. Primjeri uključuju hibridne materijale na bazi biomase, polimerne mreže smanjene emisije i materijale s niskim udjelom teških metala.

Hibridni materijali imaju velik potencijal u biomedicinskim primjenama. U zadnje vrijeme se također aktivno razvijaju polimerno-bjelančevinski hibridi, ponajviše radi prevladavanja manjka bjelančevina (enzima) zbog čega im je primjena u medicini ograničena. Za stvaranje ovakve vrste hibrida potrebno je veliko znanje o organskoj kemiji i biokemiji, međutim još nije dostignuta dovoljna razina znanja da bi se mogli proizvoditi. Razvijaju se materijali koji kombiniraju biokompatibilne polimere, keramiku i metale radi poboljšane interakcije s tkivom, regeneracije [9].



Slika 18. Implantati na bazi hibridnih materijala [22]

Postoje hibridni materijali koji imaju mogućnost reakcije na promjene u okolini. To su inteligentni hibridni materijali koji se sastoje od materijala koji reagiraju na temperaturu, svjetlost ili pH-vrijednost te samozacjeljujući materijali. Autonomni sustavi, senzori, aktuatori i adaptivne strukture su jedne od mnogih mogućih načina upotrebe ovih materijala. U budućnosti će se koristiti pametna tehnologija i AI (umjetna inteligencija) u osobnoj zaštitnoj opremi koja će pratiti stanje osobe koja ju nosi i komunicirati s njom. Time se može pratiti psihičko i fizičko stanje osobe u stvarnom vremenu. Razvija se i odjeća sa većom balističkom zaštitom, otpornosti na udarce i ubode, protupožarna odijela te odijela s antifungalnim i antibakterijskim svojstvima.

Neke zemlje su započele razvoj egzoskeleta i zaštitnih odijela za vojne svrhe. Korištenjem samozacjeljujućih hibridnih materijala, dobivaju se odijela koja imaju mogućnost samostalnog popravka nakon oštećenja. Osim toga, takva odijela imat će sposobnost detekcije ozljeda te oslobađanje lijekova potrebnih za oporavak vojnika.



Slika 19. Vojni egzoskelet [23]

U energetici nove vrste hibridnih materijala imaju veliki potencijal, jer mogu biti ključni u ulozi razvoja naprednih energetske sustava. To uključuje materijale za solarnu energiju, baterije, gorivne ćelije i termoelektrične pretvarače. Hibridni materijali mogu poboljšati energetske učinkovitost, gustoću energije i održivost takvih sustava [24]. U automobilske industrije će hibridni materijali u skoroj budućnosti imati veliku važnost zbog mogućnosti proizvodnje baterija za električne automobile kojima će pouzdanost, ali i domet biti povećan.

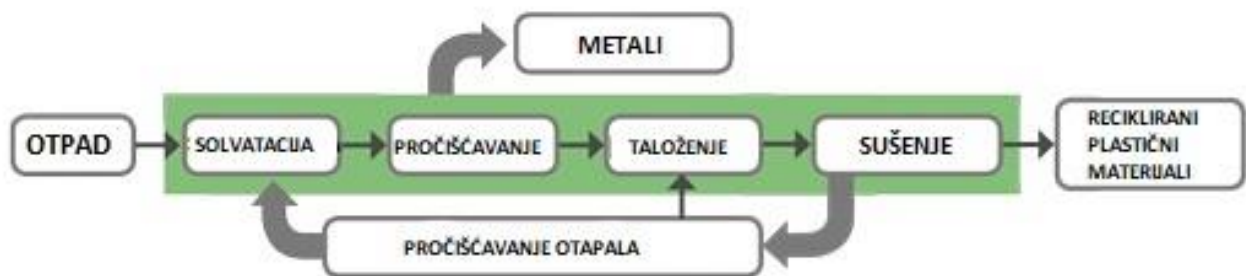
Napredak u ovim pravcima razvoja hibridnih materijala ima potencijal za transformaciju različitih industrija, od automobilske i elektroničke do medicine, proizvodnje električne energije i mnogih drugih. Hibridni materijali nude raznolike kombinacije svojstava koje se mogu prilagoditi specifičnim aplikacijama i stvoriti inovativna rješenja za buduće izazove.

6. Recikliranje hibridnih materijala

Recikliranje hibridnih materijala može predstavljati veliki izazov zbog njihove složenosti te zbog činjenice da su hibridni materijali kombinacija različitih materijala. Najčešće su to kombinacije komponenti kao što su polimeri, metali, keramika ili staklo. Postupak recikliranja hibridnih materijala može uključivati različite korake ovisno o vrsti materijala i željenom rezultatu.

Neke od metoda recikliranja hibridnih materijala su razdvajanje komponenata, toplinska obrada, te primjena kemijskih i mehaničkih postupaka recikliranja.

Razdvajanjem na komponente hibridni materijali se mogu razgraditi i razdvojiti na svoje komponente kako bi se olakšalo njihovo recikliranje tako što se različiti materijali pojedinačno recikliraju. Ovaj postupak može uključivati kemijske procese, termičku obradu ili mehaničko razbijanje materijala kako bi se odvojile različite komponente.



Slika 20. Proces recikliranja hibridnih materijala razdvajanjem na pojedine komponente [25]

Toplinska obrada, poput pirolize ili termičke razgradnje, može se koristiti za razgradnju hibridnih materijala na manje složene komponente ili za dobivanje korisnih produkata kao što su gorivo ili neke vrste plinova.

Kemijskim procesima se hibridni materijali mogu razgraditi na molekularnoj razini. U te kemijske procese spada upotreba otapala, kiselina ili drugih kemijskih sredstava kako bi se odvojile i regenerirale komponente materijala.

Mehaničke metode, poput drobljenja, usitnjavanja ili mljevenja, mogu se koristiti za fizičko razdvajanje i obradu hibridnih materijala. Ove metode mogu rezultirati sitnijim česticama materijala koje se mogu dalje obraditi ili koristiti u drugim aplikacijama. Na primjer, plastika se može reciklirati u granulat koji se može koristiti za proizvodnju novih plastičnih proizvoda.

Recikliranje hibridnih materijala je složen proces koji zahtijeva posebne tehnike i tehnologije. Uz to, ekonomska održivost recikliranja hibridnih materijala može varirati ovisno o dostupnosti postrojenja za recikliranje, tržišnoj vrijednosti recikliranih materijala i drugim čimbenicima. Zanimljiva je i opcija recikliranja elektroničkog otpada u svrhu pravljenja hibridnih materijala i obratno. Odnosno, recikliranjem elektroničkog otpada možemo proizvoditi hibridne materijale puno boljih značajki od materijala iz samog otpada, dok recikliranjem hibridnih materijala možemo proizvoditi nove elektroničke komponente koje će biti kvalitetnije i pouzdanije.

Stoga je važno poticati istraživanje i razvoj tehnologija za recikliranje hibridnih materijala kako bi se smanjio njihov utjecaj na okoliš i maksimalno iskoristile njihove vrijedne komponente. Također je važno educirati i poticati proizvođače i potrošače da svjesno pristupaju prilikom recikliranja hibridnih materijala kako bi se postigao održiviji pristup korištenju i zbrinjavanju ovih materijala. Unaprijed osmišljeni dizajn proizvoda može olakšati recikliranje hibridnih materijala. Inženjeri mogu uzeti u obzir lakše razdvajanje komponenata koje čine završni proizvod i odabrati materijale koji su jednostavniji za recikliranje.



Slika 21. Nike Flyknit tenisice pogodne za jednostavno recikliranje [26]

Primjer recikliranja hibridnih materijala može uključivati ponovnu upotrebu stakleno-plastičnih kompozita koji se često koriste u automobilskoj industriji. Nakon rastavljanja vozila, stakloplastični kompoziti mogu se reciklirati kako bi se staklena vlakna izdvojila i ponovno koristila u proizvodnji novih kompozita. Ovaj proces smanjuje potrebu za novim sirovinama i doprinosi održivosti u automobilskoj industriji.

7. Zaključak

U ovom radu istražena je primjena hibridnih materijala u elektrotehnici, s posebnim naglaskom na njihov rastući značaj u razvoju naprednih tehnologija. Hibridni materijali, koji kombiniraju različite vrste materijala kako bi postigli poboljšane karakteristike, postaju sve važniji u industriji zbog svojih jedinstvenih svojstava koja omogućuju bolje značajke u odnosu na konvencionalne materijale.

Prvo i najvažnije, analiza je pokazala da hibridni materijali mogu značajno doprinijeti smanjenju težine i povećanju čvrstoće komponenti, što je ključno za razvoj modernih elektroničkih uređaja. Na primjer, uporaba kompozitnih materijala koji kombiniraju metalne i nemetalne komponente omogućava postizanje visokog omjera čvrstoće i težine, što je od posebne važnosti u aplikacijama kao što su električni automobili i zrakoplovna industrija. Ovi materijali ne samo da povećavaju učinkovitost sustava, već i smanjuju potrošnju energije, što doprinosi globalnim naporima u smanjenju ugljičnog zagađenja, a samim time i zaštiti okoliša.

Osim toga, istraživanje je ukazalo na važnost hibridnih materijala u razvoju naprednih senzorskih sustava. Kombinacija različitih materijala omogućuje stvaranje senzora visoke osjetljivosti i pouzdanosti, koji su ključni za praćenje i kontrolu u raznim elektroničkim i elektroenergetskim sustavima. Primjeri uključuju senzore temeljene na piezoelektričnim hibridnim materijalima, koji se koriste za detekciju vibracija i promjena tlaka, te senzore koji kombiniraju provodljive polimere i metalne nanostrukture za precizno mjerenje električnih signala.

Također, važan aspekt primjene hibridnih materijala u elektrotehnici je njihova uloga u razvoju novih vrsta baterija i kondenzatora. Integracija različitih materijala u elektrode omogućuje značajno povećanje kapaciteta i brzine punjenja, što je od ključne važnosti za unapređenje karakteristika prijenosnih elektroničkih uređaja i električnih vozila. Hibridne baterije, koje kombiniraju različite kemijske sastave, predstavljaju potencijalno rješenje za dugoročne energetske izazove, omogućujući stabilniju i učinkovitiju pohranu energije. U radu smo mogli vidjeti i inovativne papirne baterije.

Unatoč brojnim prednostima, primjena hibridnih materijala suočava se i s izazovima, kao što su kompleksnost proizvodnog procesa i visoki troškovi. Razvoj novih tehnologija za sintezu i obradu hibridnih materijala ključan je za njihovu širu primjenu. Međutim, ovi izazovi se postupno savladavaju kroz inovacije u procesima proizvodnje i reciklaže, čime se smanjuju troškovi i poboljšava ekološka održivost.

Zaključno, hibridni materijali predstavljaju budućnost elektrotehnike, otvarajući nove mogućnosti za razvoj učinkovitijih, pouzdanijih i ekološki prihvatljivijih elektroničkih uređaja. Njihova primjena omogućuje ne samo tehnička poboljšanja, već i doprinos održivom razvoju kroz smanjenje energetske potrošnje i otpada. Iako postoje izazovi u njihovoj implementaciji, trenutni trendovi i napredak u istraživanju ukazuju na to da će hibridni materijali postati integralni dio budućih elektrotehničkih inovacija.

Daljnja istraživanja i razvoj u ovom području bit će ključni za potpuno iskorištavanje potencijala hibridnih materijala, posebno u kontekstu globalnih promjena i potreba za održivim tehnološkim rješenjima. Kroz integraciju hibridnih materijala u širok spektar elektrotehničkih aplikacija, moguće je postići značajan napredak u efikasnosti, svojstvima i ekološkoj prihvatljivosti modernih tehnologija.

Literatura

- [1] <https://www.metmuseum.org/art/collection/search/256134>
- [2] <https://www.fordemilitaryantiques.com/articles/2019/4/4/is-it-wootz>
- [3] Partha Pratim Das, Vijay Chaudhary: Advancement in hybrid materials, its applications and future challenges: A review, 2021.
- [4] <https://www.hardshell.ae/wpcproduct/tactical-vest-guardian/> Pristup ostvaren 12.08.2024.
- [5] Makoto Nanko: Definitions and categories of hybrid materials, 2009.
- [6] Huibin Cheng, Changlin Cao, Qinghai Zhang, Yangtao Wang, Yanru Liu, Baoquan Huang, Xiao-Li Sun, Yiyu Guo, Lireng Xiao, Qinghua Chen, and Qingrong Qian: Enhancement of Electromagnetic Interference Shielding Performance and Wear Resistance of the UHMWPE/PP Blend by Constructing a Segregated Hybrid Conductive Carbon Black– Polymer Network, 2020.
- [7] Sithiprumnea Dul, Luiz Gustavo Ecco, Alessandro Pegoretti, Luca Fambri: Graphene/Carbon Nanotube Hybrid Nanocomposites: Effect of Compression Molding and Fused Filament Fabrication on Properties, 2020.
- [8] Guido Kiekelbick: Introduction to Hybrid Materials, 2007.
- [9] Guido Kiekelbick: Hybrid Materials - Past, Present and Future, 2014.
- [10] Muhammad Junaid, M. H. Md Khir, Gunawan Witjaksono, Zaka Ullah, Nelson Tansu, Mohamed Shuaib Mohamed Saheed, Pradeep Kumar, Lee Hing Wah, Saeed Ahmed Magsi, Muhammad Aadil Siddiqui - A Review on Graphene-Based Light Emitting Functional Devices, 2020.
- [11] Guido Kiekelbick: Hybrid Materials: Synthesis, Characterization, and Applications, 2006.
- [12] <https://iviter.pl/encyklopedia/fotodetektor> Pristup ostvaren 15.06.2024.
- [13] https://tuball.com/pages/single-walled-carbon-nanotubes?gclid=CjwKCAjw2bmLBhBREiwAZ6ugo4ZATWdOvvE2MHAM3A-NXAnHVftjStuQBE5m6CBXYaERhnaYphMxphoCZuUQA_vD_BwE Pristup ostvaren 03.06.2024.

- [14] <https://www.azonano.com/news.aspx?newsID=39661> Pristup ostvaren 10.09.2024.
- [15] <https://miscircuitos.com/field-effect-transistors-based-carbon-nanotubes-cntfets/> Pristup ostvaren 21.06.2024.
- [16] <https://thinkrobotics.medium.com/paper-battery-de81cad4e0c0> Pristup ostvaren 21.06.2024.
- [17] Sithiprumnea Dul, Luiz Gustavo Ecco, Alessandro Pegoretti, Luca Fambri - Graphene/Carbon Nanotube Hybrid Nanocomposites: Effect of Compression Molding and Fused Filament Fabrication on Properties, 2020.
- [18] <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/emi-shielding-to-reduce-radiated-emissions-electronic-designs/> Pristup ostvaren 21.06.2024.
- [19] <https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/hybrid-solar-cells> Pristup ostvaren 19.06.2024.
- [20] <https://www.inavateonthenet.net/features/article/commercial-production-of-large-format-flexible-displays-coming-soon> Pristup ostvaren 17.06.2024.
- [21] <https://www.universal-robots.com/in/blog/types-of-robotic-arms/> Pristup ostvaren 18.06.2024.
- [22] <https://www.apolonija.hr/zubni-implantati/all-on-4-most-na-implantatima/> Pristup ostvaren 18.06.2024.
- [23] <https://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-6106797/Russia-started-test-Robocop-exo-skeleton-armour.html> Pristup ostvaren 21.06.2024.
- [24] Clement Sanchez, Kenneth J. Shea, Susumu Kitagawa: Recent progress in hybrid materials science, 2011.
- [25] <https://www.ivv.fraunhofer.de/en/recycling-environment/recycling-of-plastic-composites/forcycle.html> Pristup ostvaren 11.03.2024.
- [26] <https://www.thefashionlaw.com/flyknit-a-1-billion-shoe-and-a-worldwide-legal-war/> Pristup ostvaren 10.07.2024.

Sažetak

Hibridni materijali u elektrotehnici

Ovaj završni rad istražuje hibridne materijale te njihovu primjenu u elektrotehnici. Analizira se povijesni razvoj hibridnih materijala, ključna svojstva te njihova podjela. Poseban naglasak stavljen je na grafenske hibride i njihovu primjenu u suvremenoj tehnologiji. Osim primjene istražuju se mogućnosti recikliranja i održivost ovih materijala. U zaključku se ističe značaj hibridnih materijala za budući tehnološki napredak.

Abstract

Hybrid materials in electrical engineering

This final thesis investigates hybrid materials and their application in electrical engineering. The historical development of hybrid materials, the key properties of their division are analyzed. Special emphasis is placed on graphic hybrids and their application in modern technology. In addition to the application, the possibilities of recycling and sustainability of these materials are being investigated. In conclusion, the importance of hybrid materials for future technological progress is emphasized.

Životopis

Filip Šamija rođen je 28. travnja 1999. u Slavonskom Brodu. Nakon završetka osnovne škole, 2014. godine upisuje Tehničku školu u Slavonskom Brodu, smjer elektrotehika. Nakon završetka srednje škole, upisuje preddiplomski studij elektrotehnike na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija te se na drugoj godini opredjeljuje na izborni blok elektroenergetike.

U Osijeku, 16. rujna, 2024. godine

- Filip Šamija