

# Svojstva i primjena polimera i kompozitivnih materijala pri izradi dijelova poljoprivredne tehnike

---

**Brčić, Dinko**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2019**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:*

**Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek /  
Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:151:457978>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-29**



Sveučilište Josipa Jurja  
Strossmayera u Osijeku

**Fakultet  
agrobiotehničkih  
znanosti Osijek**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Agrobiotechnical  
Sciences Osijek - Repository of the Faculty of  
Agrobiotechnical Sciences Osijek](#)



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Dinko Brčić  
Preddiplomski sveučilišni studij Poljoprivreda  
Studij Mehanizacija

**Svojstva i primjena polimera i kompozitnih materijala pri izradi  
dijelova poljoprivredne tehnike**

Završni rad

Osijek, 2019.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Dinko Brčić  
Preddiplomski sveučilišni studij Poljoprivreda  
Studij Mehanizacija

**Svojstva i primjena polimera i kompozitnih materijala pri izradi  
dijelova poljoprivredne tehnike**

Završni rad

Povjerenstvo za ocjenu završnog rada:  
1. Ivan Vidaković, mag.ing.mech, mentor  
2. Prof.dr.sc Goran Heffer  
3. Doc.dr.sc Vjekoslav Tadić

Osijek, 2019.

## **TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA**

---

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera  
Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek  
Preddiplomski sveučilišni studij Poljoprivreda, smjer Mehanizacija

Završni rad

Dinko Brčić

### **Svojstva i primjena polimernih i kompozitnih materijala pri izradi dijelova poljoprivredne tehnike**

**Sažetak:** Od davnina su se materijali kao što su kamen i drvo koristili u poljoprivredi, te su se od njih izrađivali razni dijelovi poljoprivredne tehnike koji su čovjeku kroz prošlost pomagali u obavljanju poslova. Poljoprivredna tehnika je izrađena od raznih materijala, ali u današnje vrijeme posebno se ističu polimerni i kompozitni materijali. Polimerni materijali se tako danas pronalaze u izradi raznih dijelova poljoprivredne tehnike kao što su spremnici, ručice, sjedala, krovovi, brtve i razni drugi dijelovi poljoprivredne tehnike. Zbog svojih dobrih svojstava i praktičnosti, polimeri su nezamjenjivi dio poljoprivredne tehnike. Unatoč rasprostranjenosti polimernih materijala, u izradi poljoprivredne tehnike javljaju se novi materijali, puno boljih svojstava, a to su kompoziti. Kako bi se što bolje upoznali s kompozitnim materijalima i njihovoj ulozi u poljoprivredi, potrebno je shvatiti što su kompoziti, koja je njihova važnost, kakva su njihova svojstva, te ono najvažnije, a to je izvedba u radu. Kompoziti se tako danas koriste pri izradi ležajeva, provodnika za sjeme, grana traktorskih prskalica, spremnika za gorivo i sl. Polimerni i kompozitni materijali dobivaju se, obrađuju i spajaju raznim tehnologijama obrade i spajanja materijala, kao što je: tokarenje, piljenje, bušenje, laserska obrada, zavarivanje.

Ključne riječi: materijali, polimeri, kompoziti, svojstva, poljoprivredna tehnika

44 stranice, 4 tablice, 32 grafikona, dijagrama i slika, 59 literaturnih navoda

Završni rad je pohranjen u Knjižnici agrobiotehničkih znanosti Osijek i u digitalnom repozitoriju završnih i diplomskih radova Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek.

## **BASIC DOCUMENTATION CARD**

---

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek  
Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek  
Undergraduate university study Agriculture, course Mechanization

BSc Thesis

Dinko Brčić

### **Properties and application of polymeric and composite materials in the produce of agricultural machinery**

**Summary:** Since ancient times, materials such as stone and wood have been used in agriculture, and various parts of agricultural technology has been made from them, which has helped man through his past to perform his jobs. Agricultural technology is made out of various materials, but nowadays polymer and composite materials are especially emphasized. Polymeric materials can be nowadays found in the production of various parts of agricultural machinery such as tanks, handles, seats, roofs, seals and various other parts of agricultural machinery. Due to their good properties and practicality, polymers are an indispensable part of agricultural technology. Despite the prevalence of polymeric materials, new materials with much better properties, namely composites, are emerging in agricultural engineering. In order to become more familiar with composite materials and their role in agriculture, it is necessary to understand what composites are, what is their importance, what are their properties, and what is the most important thing and that is their performance at work. Composites are now used in the manufacture of bearings, seed conductors, tractor sprayer branches, fuel tanks, etc. Polymeric and composite materials are obtained and processed by various types of material processing, such as: turning, sawing, drilling, laser processing and welding.

Key words: materials, polymers, composites, properties, agricultural machinery

44 pages, 4 tables, 32 figures, 59 references

BSc Thesis is archived in Library of Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek and in digital repository of Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek.

Sadržaj:

1. UVOD.....	1
2. KLASIFIKACIJA MATERIJALA.....	3
3. POLIMERNI MATERIJALI.....	6
3.1. Klasifikacija polimernih materijala.....	8
3.2. Podjela polimernih materijala s obzirom na ponašanje pri visokim temperaturama.....	9
4. KOMPOZITNI MATERIJALI.....	12
4.1. Matrice materijala.....	14
4.2. Kompoziti ojačani vlaknima.....	16
4.3. Kompoziti ojačani česticama.....	17
5. SVOJSTVA POLIMERNIH I KOMPOZITNIH MATERIJALA.....	18
5.1. Svojstva NBR-a i HNBR-a.....	18
5.2. Svojstva PVC-a.....	20
5.3. Svojstva ABS-a.....	21
5.4. Svojstva bakelita.....	22
5.5. Svojstva stakloplastike.....	23
5.6. Ugljična vlakna (karbonska vlakna) i epoxy smola.....	24
5.7. Volframov karbid.....	25
5.8. Silicijev karbid.....	26
5.9. Beton ojačan polipropilenskim vlaknima.....	27
6. PRIMJENA POLIMERNIH I KOMPOZITNIH MATERIJALA U POLJOPRIVREDI.....	28
7. OBRADA I SPAJANJE POLIMERNIH I KOMPOZITNIH MATERIJALA.....	36
7.1. Tokarenje polimera.....	37
7.2. Piljenje polimera.....	37
7.3. Laserska obrada polimera.....	37
7.4. Strojna obrada kompozita - bušenje.....	38
7.4.1. Oprema.....	38
7.5. Zavarivanje polimera.....	38

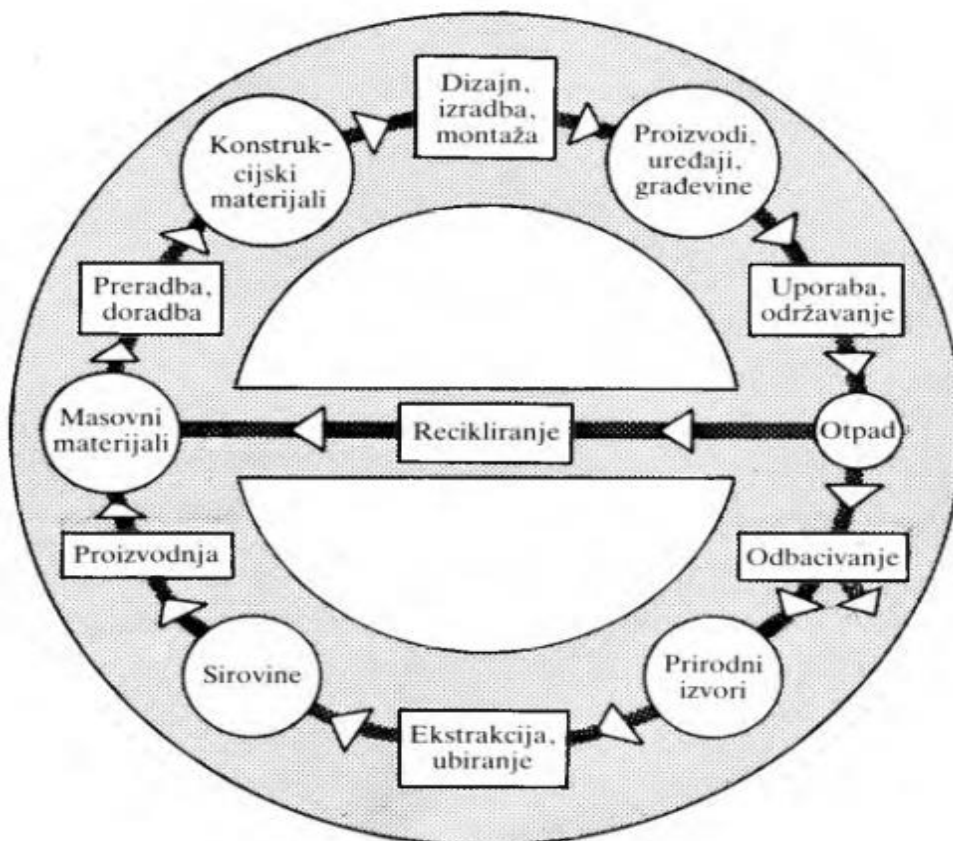
7.6. Lijepljenje polimera.....	39
7.7. Robotizirano indukcijsko zavarivanje kompozita.....	40
8. ZAKLJUČAK.....	40
9. POPIS LITERATURE.....	44

## 1. UVOD

Hrvatska tehnička enciklopedija navodi da su tehnički materijali tvari (supstancije) tehnički uporabljive u čvrstom stanju. Općenito, materijal je svaka tehnički uporabljiva tvar u bilo kojem agregatnom stanju, uključujući i stanje plazme, i za bilo koju uporabu. Tako široko prihvaćen pojam materijala uključuje, npr., masti i ulja, goriva i tehničke plinove (ukapljene i stlačene). Kombinacijom povijesnih i praktičnih razloga pojam materijala sužen je na tvari koje se u uporabi bitno kemijski ne mijenjaju, odnosno ne konzumiraju se; tako su isključena goriva, sirovine za kemijsku industriju, industrijske kemikalije, hrana i lijekovi. Nadalje, budući da je današnja znanost o materijalima svoja osnovna znanstvena načela i metode preuzela od fizike čvrstog stanja, pojam materijala redovno je sužen na materijale u čvrstom stanju. Kada se to želi naglasiti, upotrebljava se pojam tehnički materijali. Čak i u tom suženom smislu, čvrstim se stanjem opisuje samo krajnja, uporabna pojavnost materijala, jer su u postupcima tvorbe (sinteze), preradbe, obradbe i doradbe mnogi tehnički materijali u kapljevitom, pa i u plinovitom stanju. Stroga definicija tehničkih materijala nije nužna, a nije ni mudra u ovoj ranoj fazi formiranja znanosti o materijalima kao samostalne, interdisciplinarnе vrste znanosti, inženjerstva i tehnologije. Ne treba stoga čuditi da se u današnjim udžbenicima, priručnicima i enciklopedijama posvećenima tehničkim materijalima nalaze nuklearna goriva (ali ne i goriva općenito), neke kapljevine (koje se upotrebljavaju u prvom redu zbog svojih fizikalnih svojstava, npr. živa), pa i plinovi helij i dušik (<http://tehnika.lzmk.hr>)

Napredak u proizvodnji i uporabi materijala uvijek je bitno određivao napredak i uspon društva i uvijek je bio zadatkom visokog prioriteta. Materijali uvjetuju tehnike praktički svih ljudskih aktivnosti, a uvjetuju i konkurentnost sadašnjih i novih tehnoloških postupaka. Pronalazak, izum i prilagodba materijala snažno su utjecali na razvoj civilizacija; upravo se zato rana razdoblja povijesti često identificiraju s materijalom (kamen, bronca, željezo), koji je bio odlučan za promjene u čovjekovim mogućnostima da se hrani, odijeva, gradi i ratuje. Ilustrativan primjer je luk u građevinarstvu. Stare civilizacije nisu raspolagale građevnim materijalima dovoljne vlačne (rastezne) čvrstoće, ali su imale keramiku, uključujući prirodni kamen, dakle materijale velike tlačne čvrstoće. Riješenje za noseće konstrukcije bio je luk: izgledom ugodan, a materijal u njemu opterećen tlačno. Drugi su primjeri svemirski letovi: postojali su u detaljnim proračunima, a pedesetak godina prije nego što su novi materijali omogućili izradbu svemirskih letjelica. Povijest civilizacije zrcali se u povijesti materijala: složenost, raznovrsnost ukupne količine materijala u stalnom je porastu, od relativno neznatne

proizvodnje artefakata kamenog doba, preko rastućih zahtjeva brončanog i željeznog doba izuzetnog ubrzanja industrijskom revolucijom, do današnjih neslučenih razmjera. Masivnu ekspanziju u obujmu pratila je diversifikacija materijala: kada se god pojedinim konvencionalnim materijalima naiđe na granice uporabljivosti, pojavljuju se novi materijali. Više je novih materijala ušlo u uporabu u posljednjih pedeset godina nego u svim prethodnim stoljećima. U današnjim industrijski razvijenim zemljama potrošnja željeza, čelika, olova i bakra dostigla je razinu zasićenja u krivulji brzine porasta s vremenom, dok je potrošnja relativno novih materijala kao što su aluminij, plastike i kompoziti u brzom porastu. U posljednjih pedesetak godina takve se tradicije lome; sve je više tekstilnih proizvoda od sintetskih, kemijskih vlakana; namještaj se izrađuje od plastike, metala i kompozita; staklene boce zamjenjuju se plastičnim, metalnim i papirnatim materijalima; polimeri i keramike te kompoziti od polimera, keramike i metala imaju sve veći udio u automobilima (<http://tehnika.lzmk.hr>).



Slika 1. Tipični životni ciklus materijala

(Izvor: <http://tehnika.lzmk.hr>)



## 2. KLASIFIKACIJA MATERIJALA

Prema Gabrić i sur. (2012.) čvrsti materijali (krutine) uobičajeno se dijele u tri osnovne grupe:

- metale,
- keramike,
- polimere.

Ova podjela temelji se prije svega na kemijskom sastavu i atomskoj strukturi. Većina materijala pripada jednoj od navedenih grupa iako postoje i materijali koji su kombinacija više grupa (hibridi).

Postoje još tri važne skupine inženjerskih materijala:

- kompoziti,
- poluvodiči,
- biomaterijali.

Kompoziti se sastoje od kombinacije dva ili više različitih materijala. Poluvodiči se koriste zbog svojih karakterističnih električnih obilježja. Biomaterijali se ugrađuju u ljudsko tijelo.

### **Metali**

Metali su obično kombinacija metalnih kemijskih elemenata. Oni imaju veliki broj slobodnih elektrona, tj. elektrona koji nisu vezani za određene atome. Mnoga svojstva metala mogu se izravno pripisati njima. Metali su vrlo dobri vodiči električne i toplinske energije, neprozirni su, polirane metalne površine imaju sjajan izgled. Vrlo su čvrsti, ali i deformabilni, što je razlog njihove široke primjene u konstrukcijske svrhe.

### **Keramike**

Keramike su spojevi između metalnih i nemetalnih elemenata: najčešće su to oksidi, nitridi ili karbidi. Širok raspon materijala koji upada unutar ove grupe uključuje keramike koje se sastoje od gline, cementa i stakla. Ovi materijali su obično izolatori te su otporniji na visoke temperature i agresivne medije od metala i polimera. S obzirom na mehanička svojstva, keramike su tvrde i čvrste, ali vrlo krhke.

## **Polimeri**

Skupina polimera uključuje plastike i gume. Većina polimera organski su kemijski spojevi temeljeni na ugljiku, vodiku, i drugim nemetalima. Sačinjeni su od dugih međusobnopovezanih molekularnih lanaca. Obično imaju nisku gustoću te mogu biti izuzetno fleksibilni.

## **Kompoziti**

Kompozitni materijali se sastoje od dva ili više materijala. Dizajnirani su kako bi se postigla kombinacija najboljih svojstava pojedinih konstituenata. U širokoj primjeni je stakloplastika u kojoj se staklena vlakna nalaze u matrici iz polimernog materijala. Stakloplastike dobivaju čvrstoću od staklenih vlakana, a fleksibilnost od polimerne matrice. Mnogi novi materijali su upravo iz skupine kompozita.

## **Poluvodiči**

Poluvodiči imaju električna svojstva koja se nalaze između električnih vodiča i izolatora. Električna svojstva ovih materijala vrlo su osjetljiva i na najmanju prisutnost stranih atoma (nečistoća) u strukturi. Poluvodiči su omogućili razvoj integriranih sklopova koji su doveli do revolucionarnog razvoja elektronike i računalne industrije.

## **Biomaterijali**

Od biomaterijala se izrađuju komponente koje se ugrađuju u ljudsko tijelo kao zamjena oboljelih ili oštećenih dijelova tijela. Ovi materijali ne smiju proizvoditi otrovne tvari i moraju biti kompatibilni s tkivom (ne smiju uzrokovati štetne biološke reakcije). Svi gore navedeni materijali: metali, keramike, polimeri, kompoziti, i poluvodiči mogu se koristiti kao biomaterijali.

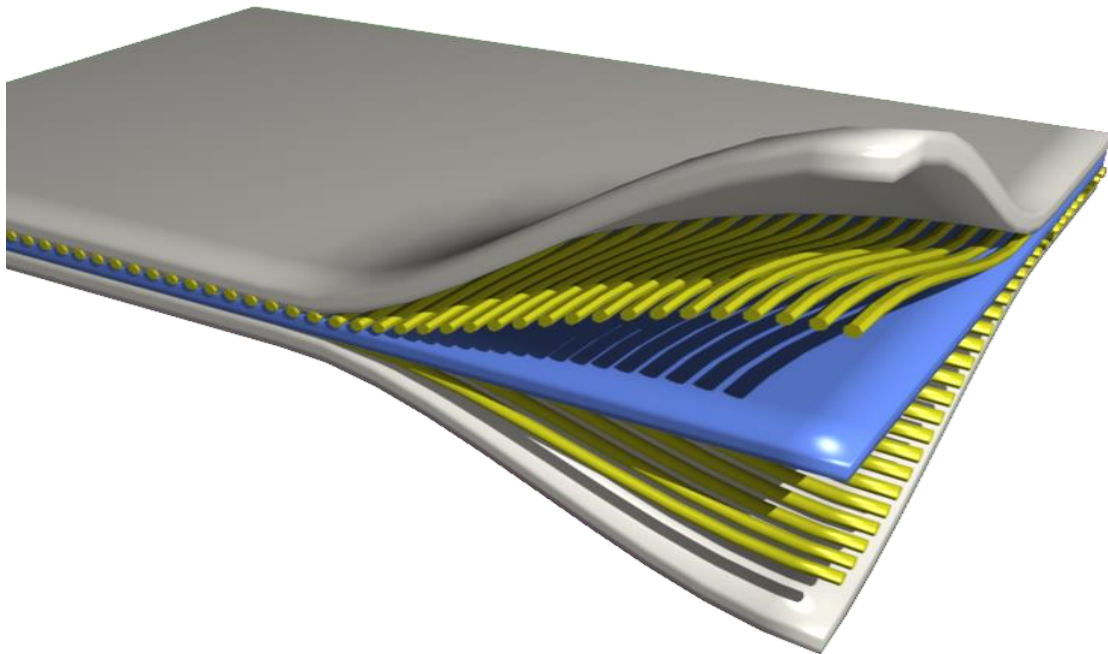
## **Napredni materijali**

Materijali koji se koriste za aplikacije visoke tehnologije (high-tech materijali) ponekad se nazivaju napredni materijali. Pod visokom tehnologijom podrazumijevamo uređaje ili proizvode koji funkcioniraju pomoću relativno kompliciranih i sofisticiranih načela (npr. elektronička opreme, računala, optički sustavi, zrakoplovi i vojna raketna tehnika). Napredni materijali su obično ili tradicionalni materijali čija su svojstva poboljšana ili novorazvijeni materijali visoke učinkovitosti. Mogu biti iz bilo koje grupe materijala (metali, keramike, polimeri) i obično imaju visoku cijenu.



Slika 2. Prikaz različitih vrsta materijala

(Izvor: <https://www.pbs.org>)

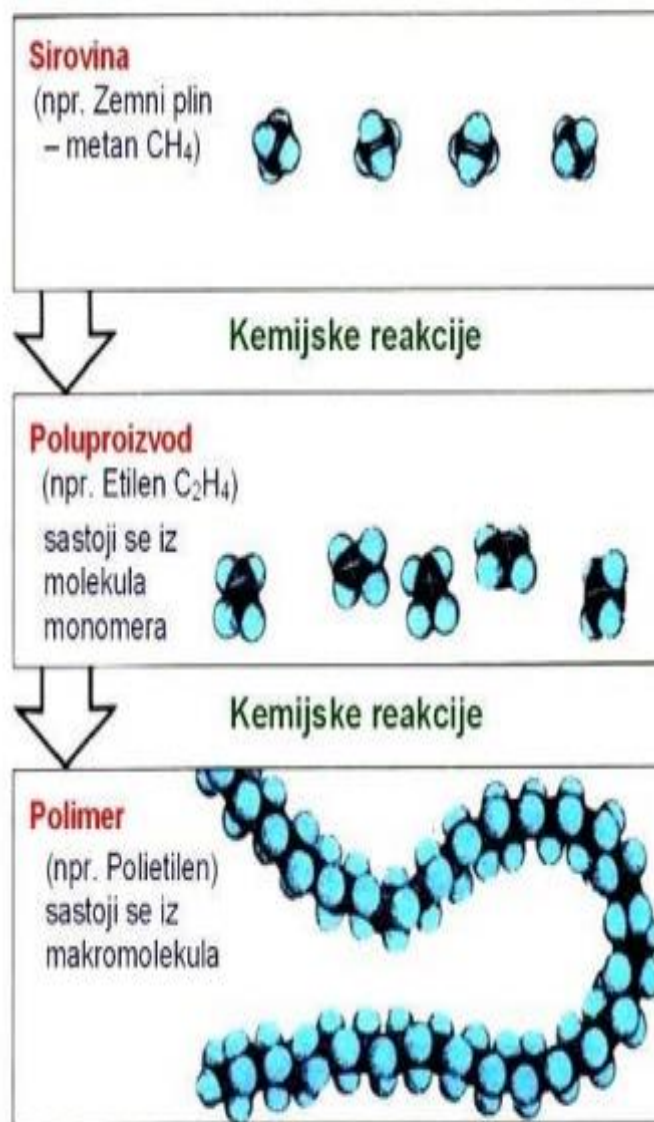


Slika 3. Prikaz kompozitnog materijala

(Izvor: <https://hr.wikipedia.org>)

### 3. POLIMERNI MATERIJALI

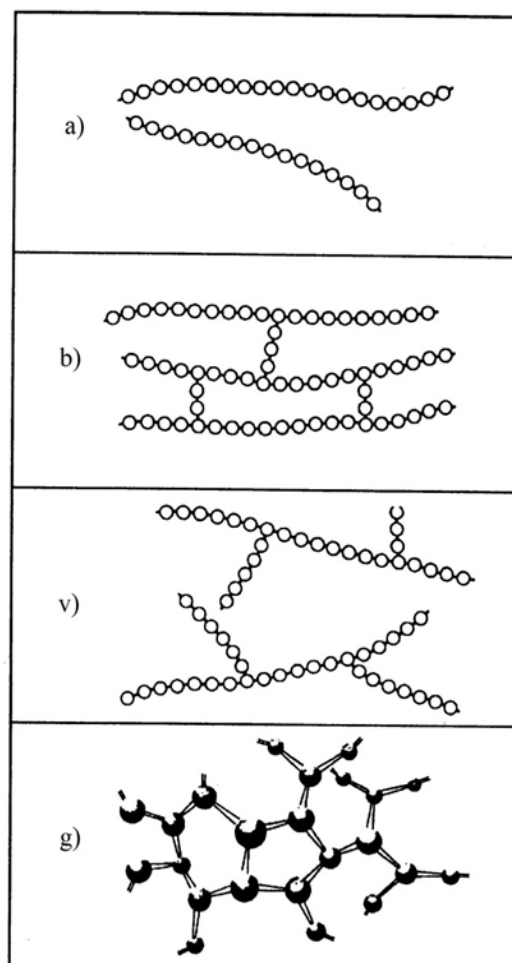
Amić (2008.) navodi da su polimeri velike molekule, makromolekule, koje izgrađuju male strukturne jedinice, monomeri. Te male strukturne jedinice pravilno se ponavljaju u strukturi polimera. Prirodni polimeri su npr. proteini i ugljikohidrati. Sintetički polimeri kao npr. umjetna vlakna, filmovi, smole, plastične mase i sintetička guma i dr. čine više od polovice spojeva koje proizvede kemijska industrija. Primjena im je praktično neograničena. Neki od njih provode električnu struju, neki su jači od čelika, a vrlo lagani: stoga se rabe u avionskoj i automobilskoj industriji.



Slika 4. Shema procesa nastanka polimera

(Izvor: Bilić, 2018.)

Polimerima se nazivaju sve prirodne i sintetske tvari i materijali kod kojih je osnovni sastojak sustav makromolekula. Makromolekula se sastoji od velikog broja ponavljajućih strukturnih jedinica koje se zovu meri. Monomer je tvar od koje se jednom od reakcija polimerizacije pravi polimerizat koji predstavlja jedinstvenu sirovinu za proizvodnju polimernih proizvoda. Polimeri se javljaju isključivo u dva agregatna stanja, a to su čvrsto i kapljevito (kapljasto) stanje, ali nikada plinovito. Strukturne jedinice polimera (meri) su u interakciji pa je polimere moguće nazvati i kondenziranim sustavom makromolekula. Stupanj polimerizacije je broj mera koji čini polimernu molekulu. Što je viši stupanj, to su uporabna svojstva polimera bolja. (<https://www.forum.hr>)



Šematski prikaz: a) linearni polimer; b) poprečno povezani polimer; v) razgranati polimer; g) umreženi polimer

Slika 5. Strukturni prikaz polimera

(Izvor: <https://ironlady003.wordpress.com>)

### 3.1. Klasifikacija polimernih materijala

#### Prirodni (biopolimeri) polimeri

- Celuloza – polisaharid,
- Škrob – polisaharid,
- Keratin – polipeptid.

#### Polusintetski polimeri

- Kemijski modificirani,
- Iz celuloze: celulozoid, acetatna svila,
- Iz bjelančevina (kazein iz mlijeka): umjetna rogovina.

#### Organski sintetski polimeri

Dobiveni kemijskom sintezom (polimerizacijom) iz jednostavnih organski spojeva, npr. PVC [poli(vinil- klorid)], PP (polipropilen) i sl.

#### Anorganski sintetski polimeri

Dobiveni kemijskom sintezom (polimerizacijom) iz jednostavnih organskih spojeva i anorganskih spojeva, a lanac makromolekule nije iz ugljikovih atoma, npr. silikoni (ulja za podmazivanje). (<http://brod.sfsb.hr>)



Slika 6. Prirodni polimer – kaučuk

(Izvor: <http://www.privrednamreza.com>)

### 3.2. Podjela polimernih materijala s obzirom na ponašanje pri visokim temperaturama

#### Termoplasti (plastomeri)

Kraut (1988.) navodi da su termoplasti (plastomeri) umjetne tvari od polimera koje imaju međusobno fizikalno vezane makromolekule. Po stanju su više ili manje viskozne tekućine. Mogu biti amorfne ili djelomično kristalaste. Pri temperaturi okoliša su tvrdi, a pri zagrijavanju omekšavaju. Lako se mogu oblikovati i zavarivati. Redovno su topivi u posebnim organskim otapalima. Njihovi se otpaci lako regeneriraju i ponovno upotrebljavaju.

#### Duromeri (duroplasti)








Trodimenzionalne, netaljive i netopljive polimerne tvari, umrežene strukture koja nastaje tijekom prerade. Pri dovoljno visokim temperaturama razgrađuju se zbog kidanja primarnih kemijskih veza. Amorfni su. (<http://studentski.hr>)

#### Elastomeri (elasti)

Prema Krautu (1988.) elastomeri su umjetne tvari od polimera, koje imaju međusobno slabo vezane makromolekule. Dobivaju se iz termoplasta vulkanizacijom (tj. kemijskim postupkom umreživanja). Uvijek su amorfni. Pri temperaturi okoline su mekani i elastični. Već i najmanja naprezanja izazivaju velika elastična produljenja.

#### Elastoplastomeri (termoplastična guma)

Tvari koje se pri sobnoj temperaturi ponašaju poput elastomera, a pri povišenim temperaturama poput plastomera, što omogućava njihovu preradu i doradu. (<http://studentski.hr>)

Vrste polimera	PLASTOMERI				ELASTOMERI		DUROMERI
	amorfni		kristalasti		elasto-plastomeri	umreženi	
Struktura	linearna	granata	linearna		rahlo umrežena		prostorno umrežena
shematski prikaz strukture							
strukturna sredenost	amorfna		djelomice kristalna, izotropna	djelomice kristalna, anizotropna	amorfna do slabo sredena		amorfna

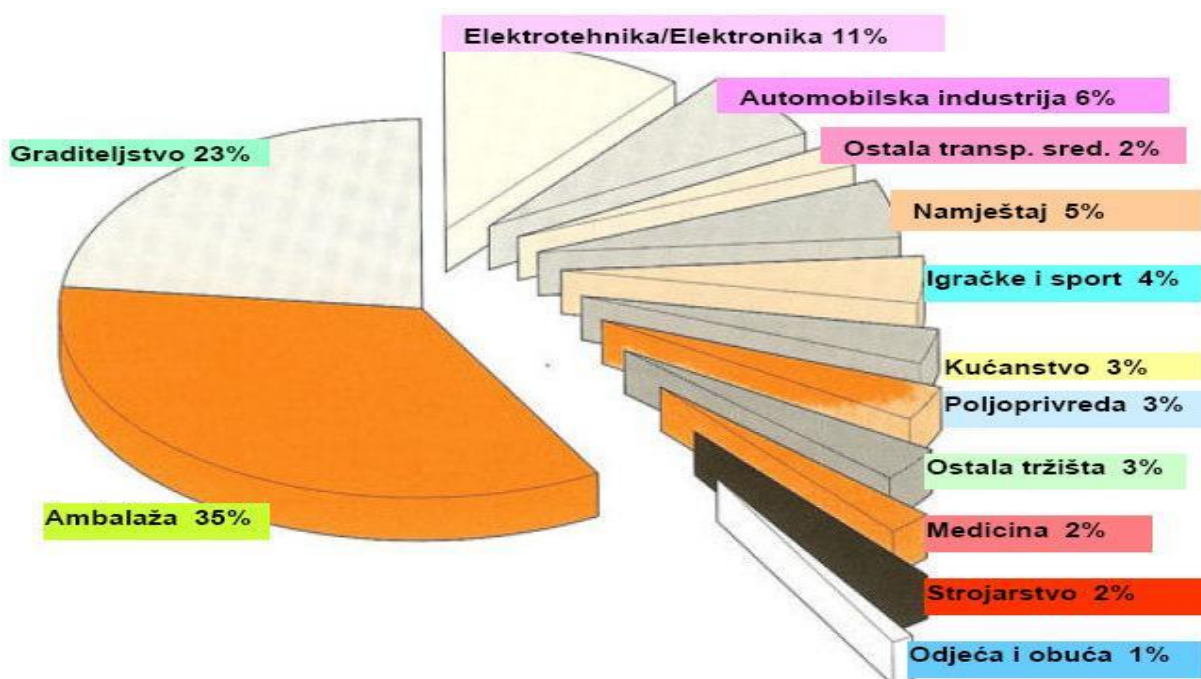
Slika 7. Prikaz sintetskih polimera

(Izvor: <http://brod.sfsb.hr>)

Oznaka	Naziv na hrvatskom	Vrsta*	Oznaka	Naziv na hrvatskom	Vrsta*
ABS	akrilonitril/butadien/stiren	P	PIB	poliizobutilen	P
BR	butadienski kaučuk	E	PMMA	poli(metil-metakrilat) ( <i>pleksiglas</i> )	P
CA	celulozni acetat	P	POM	poli(oksimetilen)	P
CN	celulozni nitrat ( <i>celuloid</i> )	P	PP	polipropilen	P
CR	polikloroprenski kaučuk	E	PPO	poli(fenilen oksid)	P
EP	epoksidna smola	D	PPS	poli(fenil-sulfid)	P
NBR	akrilonitril/butadien kaučuk	E	PS	polistiren (polistirol)	P
NR	prirodni kaučuk	E	PSU	polisulfon	P
PA	poliamid ( <i>najlon</i> )	P	PTFE	poli(tetrafluor-etilen) ( <i>teflon</i> )	P
PBT	poli(butilen-tereftalat)	P	PUR	poliuretan ( <i>linearni</i> )	EP
PC	polikarbonat	P	PVC	poli(vinil-klorid)	P
PE	polietilen	P	PVDF	poli(viniliden-fluorid)	P
PEEK	poli(eter-eter-keton)	P	SAN	poli(stiren/akrilonitril)	P
PET	poli(etilen-tereftalat)	P	SBR	stiren-butadien kaučuk	E
PF	fenol-formaldehidna smola ( <i>bakelit</i> )	D	TPUR	poliuretan ( <i>elastoplastomerni</i> )	EP
PI	poliimid	P	UP	nezasićena poliesterska smola	D

Slika 8. Oznake, nazivi i vrste pojedinih polimera

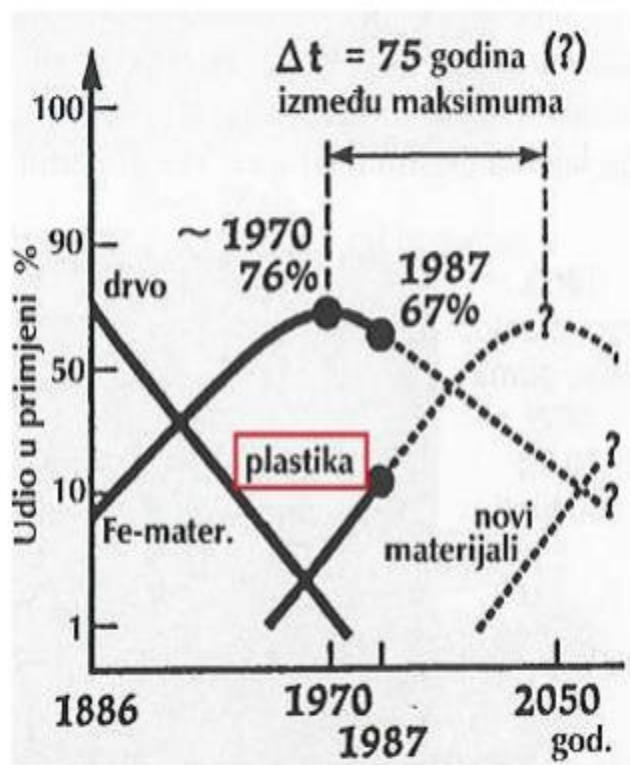
(Izvor: <https://docplayer.gr>)



Slika 9. Područja primjene polimernih materijala

(Izvor: <https://docplayer.gr>)





Slika 10. Krivulja u razvoju i primjeni materijala

(Izvor: Fudurić, 2016.)

Slika 10. prikazuje krivulju razvoja i primjenu materijala po S krivulji, te se može uočiti da približno svakih 75 godina pojedine skupine materijala doživljavaju maksimum proizvodnje i primjene. Materijali na bazi željeza imali su maksimum proizvodnje i korištenja oko 1970. godine, a nakon toga nastupila je stagnacija. (Fudurić, 2016.)

## 4. KOMPOZITNI MATERIJALI

Prema Gabrić i sur. (2012.) kompozitni materijali predstavljaju strukture kod kojih se jako razlikuju pojedine faze, koje mogu biti metali, nemetali, kemijski i intermetalni spojevi.

Osnovna je odlika kompozita da u principu postoje dvije faze:

- matrica,
- dodatak.

Ove faze imaju bitno različita mehanička svojstva. Matrica je mekša i služi kao punilo za postizanje stabilnosti oblika tvrde faze. Dodatak u manjoj količini je čvrsta i tvrđa faza.

Prema matrici dijelimo ih na:

- metalne,
- keramičke,
- polimerne.

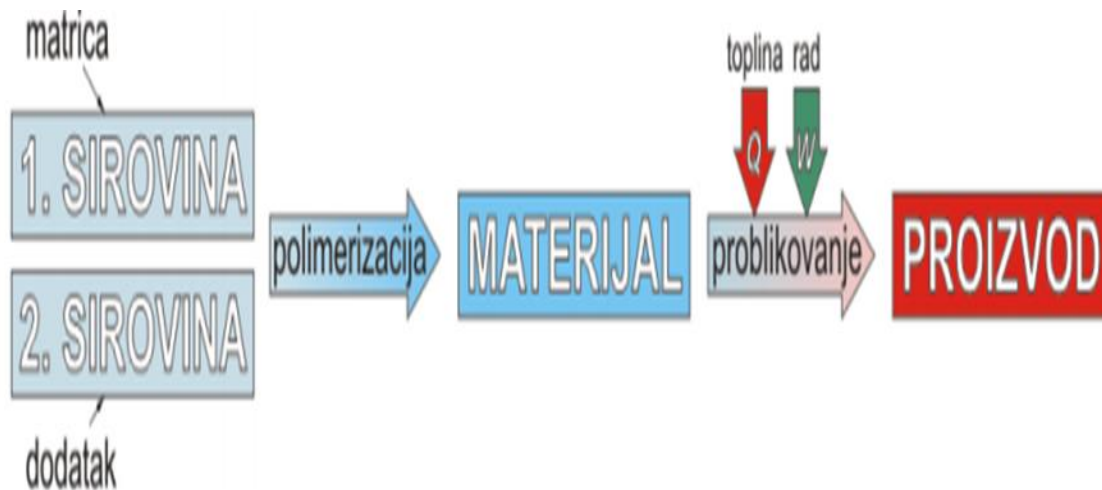
Krizbergs i sur. (2016.) navode da tipični kompozitni materijali uključuju:

- kompozitne materijale u građevinarstvu, kao što su cement, beton,
- vlaknima ojačane polimere,
- kompozite metala,
- keramičke kompozite.

Kompozitni materijali se koriste u stomatologiji, građevini, poljoprivredi, proizvodnji automobila, a oni najnapredniji kompoziti se koriste i u proizvodnji svemirske tehnologije. Od kompozita se traži da posjeduju bolja svojstva i da pruže bolju izvedbu od dosadašnjih materijala koji se koriste, te su zbog toga kompozitni materijali vrlo traženi, te bi u budućnosti mogli u potpunosti zamijeniti veliku većinu dosad korištenih materijala.

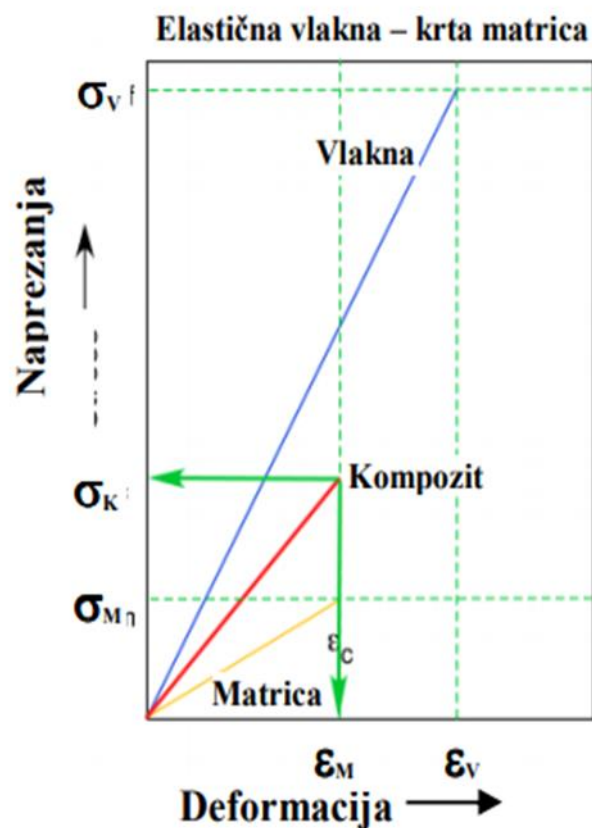
Tablica 1. Usporedba troškova i svojstava komercijalnih kompozitnih materijala od aluminija, čelika i drveta. (Izvor: Krizbergs i sur, 2016.)

Svojstva i cijena	Stakloplastika i poliester	Granitne smole	Drvo (duglazija)	Aluminijske ploče 6061 T-6	Čelične ploče
Cijena mat. (€/kg)	4.00–6.00	18.00-40.00	1.60	9.00-20.00	1.00-2.00
Čvrstoća, (MPa)	207	414	17	241	414
Elastičnost, (GPa)	8.3	55	12.4	69	207
Gustoća (g/cm <sup>3</sup> )	1.53	1.81	0.52	2.7	7.8



Slika 11. Blok shema izrade proizvoda od kompozita

(Izvor: <http://www.ss-tehnicka-ri.skole.hr>)

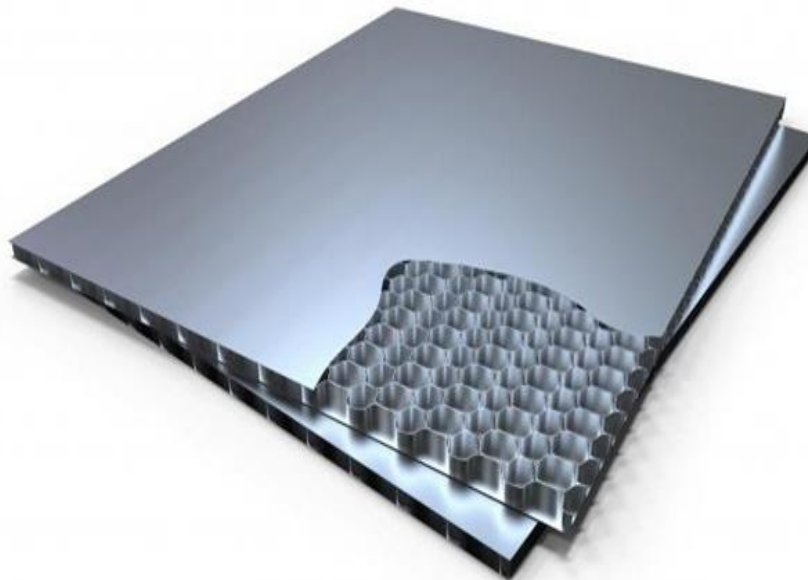


Slika 12. Dijagram  $\sigma - \epsilon$  za kompozitni materijal s čvrstim vlaknima u mekoj matrici

(Izvor: Gabrić i sur, 2012.)

#### 4.1. Matrice materijala

Prema Krizbergs i sur. (2016.), da bi se iskoristila visoka čvrstoća i elastičnost vlakana u monolitnom kompozitnom materijalu koji je pogodan za inženjersku primjenu, vlakna su vezana s matičnim materijalom čija je čvrstoća i elastičnost, naravno, mnogo niža od čvrstoće i elastičnosti vlakana (inače vlakna ne bi bila potrebna). Matični materijali daju konačni oblik kompozitnoj strukturi i reguliraju parametre u procesu proizvodnje. Do nedavno, kompoziti su promatrani kao polimerni materijali u koje su dodane mrežaste strukture raznih ojačanja. Danas se mrežasta komponenta naziva matrica, tako da ove vrste kompozita sada zovemo PMCs ili polimerne matrice kompozita; oni zauzimaju svoje mjesto uz dvije vrste kompozita razvijene u novije vrijeme - MMCS, metalna matrica kompozita i CMC, keramička matrica kompozita. Iako ove tri vrste kompozita imaju neke značajne razlike, one su slične u svojoj općoj naravi. Svaka ima polimernu, metalnu ili keramičku matricu. Ojačanja koja se koriste unutar matrica mogu varirati, ali isti materijali se mogu koristiti sa svakom od matrica. Kompoziti se razlikuju od legure, polimera, i keramičkih spojeva po tome što su matrica i pojačanje odvojeni jedno od drugog.. Pojačanja koja se koriste variraju od kratkih ili sjeckanih vlakana, viskera, niti i žica. Diskontinuirana pojačanja povećavaju mehaničku čvrstoću, ali nisu učinkovita kao kontinuirana pojačanja koja imaju mogućnost prijenosa ili redistributivnosti opterećenja kroz kompozit.



Slika 13. Kompozitni materijal

(Izvor: <https://hr.deborahnormansoprano.com>)

Tablica 2. Odnos materijala, matrice i pojačivača  
(Izvor: <https://nastavnimaterijalvtsz.files.wordpress.com>)

		MATRICA			
		Metalna	Polimerna	Keramička	Ugljična
Pojačivači	Metalni	metalno-metalni	polimerno-metalni	keramičko-metalni	ugljično-metalni
	Polimerni	metalno-polimerni	polimerno-polimerni	keramičko-polimerni	ugljično-polimerni
	Keramički	metalno-keramički	polimerno-keramički	keramičko-keramički	ugljično-keramički
	Ugljični	metalno-ugljični	polimerno-ugljični	keramičko-ugljični	ugljično-ugljični

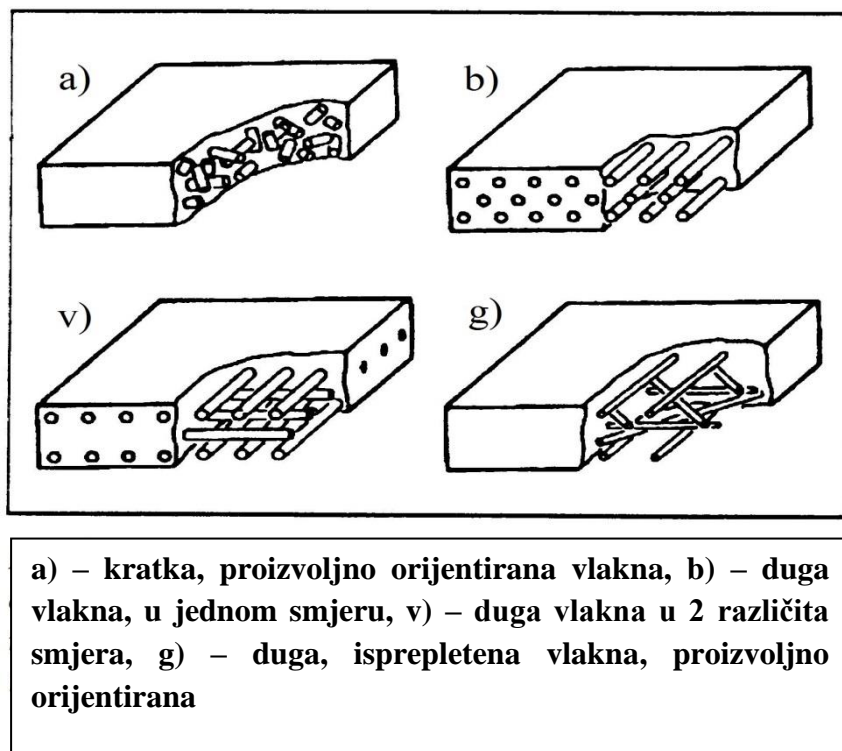


Slika 14. Kompoziti prema dodatku

(Izvor: <https://nastavnimaterijalvtsz.files.wordpress.com>)

## 4.2. Kompoziti ojačani vlaknima

Meić Sidić (2015.) navodi da vlaknima ojačani kompoziti sastoje se od matrice i ojačala uglavnom vlaknastog oblika. Sadrže vlakna relativno visoke krutosti i čvrstoće koja su povezana sa žilavom i duktilnom smolom. Ovisno o rasporedu vlakana variraju svojstva kompozita. Za vlakna u izradi kompozita danas se koriste raznolike vrste vlakana kao što su staklena, ugljična ili aramidna vlakna. Svojstva staklenih vlakana kao što su mehanička i tehnička svojstva, mala težina, nezapaljivost i ograničenost prema gorivosti pogodna su za uporabu kompozita u zrakoplovstvu. Ugljična vlakna najčešće predstavljaju ojačanje polimernih kompozita visokom specifičnom čvrstoćom i krutošću, visokim modulom elastičnosti te otpornošću na visoke temperature. S najvišom specifičnom čvrstoćom od svih komercijalno dostupnih ojačala aramidna vlakna su također jako zastupljena u primjeni u zrakoplovstvu. Uz ove vlaknaste materijale kao ojačalo kompozita koriste se i vlakna na bazi bora koja su izrazite tvrdoće te se uglavnom koriste u zrakoplovnoj industriji kao jeftiniji materijal od kompozita s ugljičnim vlaknima. Uz vlakna na bazi bora u uporabi su i sicilij-karbidna vlakna najčešće korištena za ojačavanje oplata na zrakoplovima koja su izrađena od titanskih i aluminijskih materijala.



Slika 15. Kompoziti ojačani vlaknima

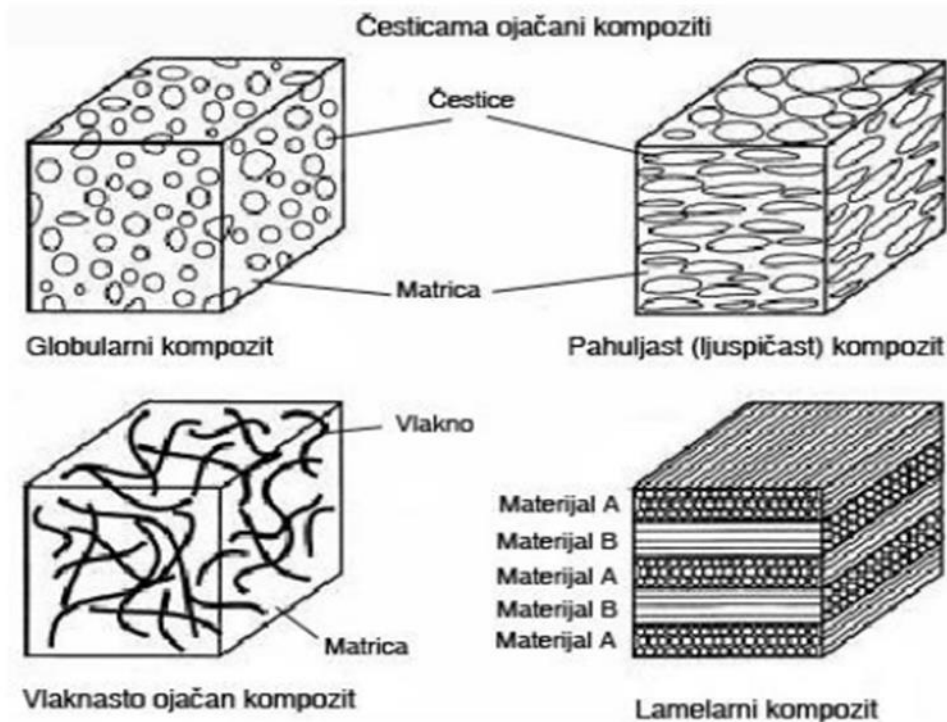
(Izvor: <https://ironlady003.files.wordpress.com>)

### 4.3. Kompoziti ojačani česticama

Kao što samo ime govori kod ove vrste kompozita ojačavalo je u obliku čestica. Ojačanje česticama povisuje otpornost materijala (matrice) na distorziju, a ta otpornost ovisi o načinu disperzije čestica unutar matrice. S obzirom na veličinu čestica i način na čestice utječu na svojstva kompozita dijele se na:

1. Kompoziti s disperzijom – čestice manje od  $0,1\mu\text{m}$ ,
2. kompozite s (velikim) česticama – čestice veće od  $0,1\mu\text{m}$ . (Leljak, 2015.)

Čestice su najčešće od oksida, nitrida i karbida, kao npr:  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (aluminijev oksid), SiC (silicijev karbid), WC (volframov karbid) itd. (<https://nastavnimaterijalvtsz.files.wordpress.com>)

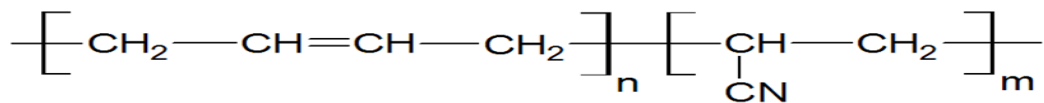


Slika 16. Česticama ojačani kompoziti

(Izvor: <https://nastavnimaterijalvtsz.files.wordpress.com>)

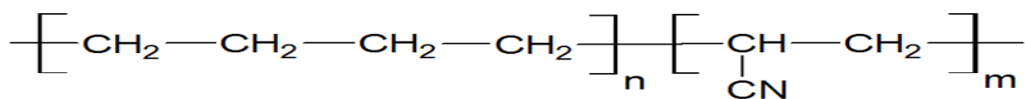
## 5. SVOJSTVA POLIMERNIH I KOMPOZITNIH MATERIJALA

### 5.1. Svojstva NBR-a i HNBR-a



Slika 11. Kemijska formula NBR-a

(Izvor: <https://polymerdatabase.com>)



Slika 12. Kemijska formula HNBR-a

(Izvor: <https://polymerdatabase.com>)

Nitrilni kaučuk (tablica 3.) sa visokim sadržajem nitrila ima veću otpornost na aromatske ugljikovodike, a nitrilni kaučuk sa nižim sadržajem nitrila ima manju otpornost na aromatske ugljikovodike i bolju otpornost na niske temperature (<https://polymerdatabase.com>).

- Visoki razina nitrila: > 45% nitrila,
- Srednja razina nitrila: 30 – 45%,
- Niska razina nitrila: < 30%.

Nitrilni kaučuk je jedinstveni elastomer. Proizvodi se polimerizacijom butadiena sa 15 do 45% akrilonitrila, kao vruća ili hladna guma. NBR s visokim sadržajem akrilonitrila ima bolju otpornost na abrazivna djelovanja i ulja, dok vrste s niskim sadržajem akrilonitrila imaju bolju fleksibilnost i otpornost na niske temperature. NBR se koristi tamo gdje je potrebna iznimna otpornost na ulje. Najčešće se primjenjuje za brtvljenja dijafragme, crijeva za dovod goriva, izradu košuljica i cijevi, kableske izolacije i sl. Uobičajeni tipovi imaju raspon radne temperature od -25 °C do + 100 °C. Neki materijali s niskim sadržajem akrilonitrila pogodni su za temperature do -50°C, a i do +150°C. (<https://polymerdatabase.com>)

Hydrogenirani nitrilni kaučuk (tablica 4.) ima odličnu čvrstoću, otpornost na istezanje, te otpornost na abrazivno djelovanje raznih medija. Kao i kod nitril kaučuka svojstva HNBR-a se mogu mijenjati povećavanjem ili smanjivanjem razine nitrila. Visoko nitrilni HNBR



elastomeri imaju bolju otpornost na mineralna ulja, dok su HNBR-ovi ojačani peroksidom ili sumporom puno otporniji na visoke temperature. Kao i NBR, HNBR je elastomer. Može se proizvesti iz uobičajene nitrilne gume hidrogenacijom nezasićenih veza u butadienskim jedinicama polimera. Ova vrsta polimera ima izvrsnu otpornost na djelovanje ulja i goriva, ali i iznimnu otpornost na mnoge kemikalije, te vrlo dobro dinamička svojstva pri visokim temperaturama. Odličan su izbor za područja primjene gdje je potrebna istodobna otpornost na toplinu i agresivne medije. Primjenjuje se za brtvljenje ulja, goriva. (<https://polymerdatabase.com>)

Tablica 3. Glavna svojstva NBR-a (Izvor: <https://polymerdatabase.com>)

<b>GLAVNA SVOJSTVA NBR-A</b>	
Temperature °C	-25 / 100
Otpornost na kompresiju	Dobro
Fizička svojstva	Dobro
Abrazivna otpornost	Dobro / izvrsno
Otpornost na goriva i plinove	Dobro
Otpornost na vremenske uvjete	Loše
Otpornost na tekućine	Dobro
Otpornost na ozon	Loše
Otpornost na mineralna ulja	Izvrsno
Kemijska svojstva / kemijska otpornost	Osrednje
Otpornost na plamen	Loše
Toplinska otpornost	Osrednje

Tablica 4. Glavna svojstva HNBR-a (Izvor: <https://polymerdatabase.com>)

<b>GLAVNA SVOJSTVA HNBR-A</b>	
Temperature °C	-25 / 160
Otpornost na kompresiju	Dobro
Fizička svojstva	Dobro
Abrazivna otpornost	Dobro
Otpornost na goriva i plinove	Dobro
Otpornost na vremenske uvjete	Izvrsno
Otpornost na tekućine	Izvrsno
Otpornost na ozon	Izvrsno
Otpornost na mineralna ulja	Izvrsno
Kemijska svojstva / kemijska otpornost	Izvrsno
Otpornost na plamen	Loše
Toplinska otpornost	Izvrsno

## 5.2. Svojstva PVC-a

PVC je termoplastičan materijal što znači da se može topiti ponovno i ponovno (nešto kao recikliranje). Na određenoj temperaturi prelaze u talinu, a hlađenjem u čvrstu formu. Kako bi dobili PVC potrebna je nafta i razne soli, klorin proizveden elektrolizom natrijevog klorida. Otporan na abraziju, lagane težine te odlične mehaničke tvrdoće i čvrstoće su njegova odlika te njegova tehnička predanost za upotrebu u konstrukcijama i građevinarstvu. PVC se lagano reže, oblikuje te se može spajati i variti u mnogo oblika. Upravo te karakteristike su ga dovele do nezamjenjivosti u proizvodnji vrata, prozora. PVC ima otpornost na kemijsko truljenje, degradaciju, udarce i abraziju, koroziju. Kao sam proizvod je iznimno cijenjen kod mnogih korisnika koji ga upotrebljavaju za vanjsku upotrebu. (<http://www.nekretnineprodaja.com>)

Svojstva PVC-a mogu se mijenjati ugradnjom drugih monomera tijekom polimerizacije, npr. vinil-acetata ili viniliden-klorida, a i dodatkom mnogobrojnih stabilizatora, omekšavala (plastifikatora) i punila. Tako je poznato više od stotinu modifikacija PVC-a u širokom rasponu svojstava, od tvrdoga i žilavoga do mekanoga i elastomernoga materijala, među kojima su kruti i savitljivi poli(vinil-kloridi) dvije temeljne vrste. Zahvaljujući širokoj primjeni potrošnja mu stalno raste i danas je veća od  $37 \times 10^6$  t. PVC može trajati i preko 40 godina. (<https://hr.wikipedia.org>)

U gotovom obliku, PVC je sposoban izdržati velike temperaturne razlike: od  $-50$  do  $60$  °C. (<https://hr.puntomarinero.com>)



Slika 11. PVC (poli(vinil-klorid))

(Izvor: <https://www.indiamart.com>)

### 5.3. Svojstva ABS-a

ABS je neproziran termoplastični i amorfni polimer. Termoplastični materijal pri određenoj temperaturi prelazi u tekuće stanje. Ova vrsta materijala može se zagrijavati do točke taljenja, zatim ohladiti pa ponovo taliti bez značajne degradacije samog materijala. ABS ima jaku otpornost na korozivne kemikalije i na fizičke utjecaje. Raznim kombinacijama u sastavu ABS-a može se modificirati otpornost na udarce, žilavost i toplinska otpornost. Ima nisku temperaturnu točku tališta što ga čini posebno jednostavnim u procesu brizganja ili 3D printanja. ABS je vrlo strukturalno čvrst, zbog čega se koristi u proizvodnji stvari kao što su zaštitna kućišta i ambalaža. Ako je potreban jeftin, jak, krut materijal, otporan na vanjske utjecaje, ABS je dobar izbor. (<https://www.plastikainfo.com>)

Najvažnija svojstva ABS-a su otpornost na udarce i tvrdoća. Stiren monomer daje ABS-u dobru mogućnost prerade, akrilonitril mu daje krutost, otpornost na toplinu i kemikalije, dok butadien čini proizvod tvrdim i otpornijim čak i pri niskim temperaturama. Promijena u proporcijama komponenata ABS-a i dodavanje pojedinih aditiva može dovesti do različitih tipova sa specifičnim svojstvima. ABS je otporan na vodene rastvore kiselina, alkale, koncentriranu klorovodoničnu i fosforu kiselinu, alkohole i životinjske, biljne i mineralne masti, ali mu šteti koncentrirana sumporna i dušična kiselina. (<https://www.resinex.hr>)



Slika 12. ABS (akrilonitril butadien stiren)

(Izvor: <http://ba.gl-plastic.com>)

#### 5.4. Bakelit

Bakelit je polimerni materijal, sintetska smola dobivena kondenzacijom fenola i formaldehida. Bakelit je nazvan po Leu Hendriku Baekelandu, belgijsko-američkom kemičaru koji ga je izumio 1907. Sam naziv bakelit poslije se proširio i na druge fenolne umjetne smole, tako da danas predstavlja puno širi pojam. Zagrijane smole lako se oblikuju prešanjem u kalupima. Zbog dobrih izolacijskih i mehaničkih svojstava upotreba bakelita se jako proširila, posebno u elektronici i elektrotehnici. (<http://www.enciklopedija.hr>)

Bakelit je termostabilni polimer kod kojeg je fenolna smola osnovni materijal izrade. Bakelit je trajan, čvrst materijal koji se ne rastvara pod utjecajem dugotrajnog zagrijavanja. Bakelit je izvrstan provodnik topline, a njegova površina je otporna na trošenje. Ima visoku otpornost na korozivne kemikalije, a jedine iznimke su dušična i sumporna kiselina. Kao i svaki materijal, bakelit isto ima svoje nedostatke. Prije svega, važno je napomenuti gustoću i krhkost materijala. (<https://nsokote.ru>)



Slika 13. Bakelit

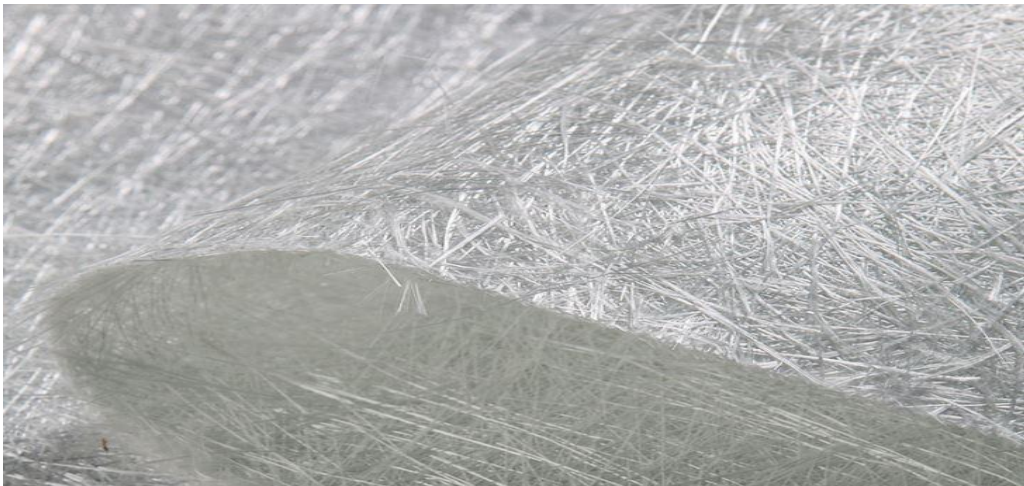
(Izvor: <https://nbfjshyxs.en.made-in-china.com>)

## 5.5. Stakloplastika

Složeni materijal od staklenih niti međusobno povezanih sintetskom smolom. Zbog dobrih mehaničkih svojstava (čvrstoće i elastičnosti) i otpornosti na kemijske utjecaje uvelike se primjenjuje kao zamjena za druge materijale (drvo, staklo, metal) u mnogim proizvodnim granama (brodogradnji, procesnoj industriji, izradbi športske opreme i dr). (<http://www.enciklopedija.hr>)

Glavne odlike stakloplastike su:

- visoka čvrstoća i krutost,
- mala težina,
- postojanost na koroziju i povišenu temperaturu,
- kemijska postojanost,
- otpornost na vremenske utjecaje,
- dobra električna svojstva,
- visoki modul rastezljivosti,
- jednostavna proizvodnja,
- velike mogućnosti prigušenja vibracije,
- relativno niska cijena proizvodnje. (Strupar, 2016.)



Slika 13. Stakloplastika

(Izvor: <http://ba.petgeogrids.com>)

## 5.6. Ugljična vlakna (karbonska vlakna) i epoxy smola

Prema Krizbergs i sur. (2016.) karbonska vlakna su jaka, tvrda i lagana. Ugljična vlakna su materijal izbora za primjenu u uvjetima gdje se zahtjeva lagan materijal visokih performansi, kao što su komponente letjelica, borbenih zrakoplova i trkaćih automobila. Kompozitni materijali su građeni od kombinacije očvršćenja (vlakana) i matrice (smole), ovakve kombinacije vlakana i matrica omogućavaju značajke materijala koje su superiorne u odnosu na bilo koji od nekompozitnih materijala. U kompozitnom materijalu, vlakna nose većinu opterećenja, te su glavna odrednica svojstva materijala. Smola olakšava prijenos opterećenja između vlakana, sprječava izvijanje vlakna i spaja materijal. Karbonska vlakna su izrađena od organskog polimera poliakrilonitrila. Materijal je izdužen u vlakna i zagrijava se pod opterećenjem na visokoj temperaturi (+1000°C). Dvodimenzionalni kristali ugljik-ugljik (grafit) se formiraju kada se eliminira vodik. Lanac ugljik-ugljik ima izuzetno jake molekularne veze (dijamant je trodimenzionalni ugljik-ugljik kristal), a to je ono što daje vlakna vrhunskih mehaničkih svojstava. Povijesno gledano, ugljični kompoziti su vrlo skupi, što ograničava njihovu uporabu samo za posebne namjene. Međutim, u proteklih 15 godina, proizvodni proces je poboljšán, a proizvodnja povećána pa se cijena ugljičnih kompozita stalno snižava. Danas je primjena ugljičnih kompozita ekonomski održiva za razne namjene, kao što su sportska oprema, dijelovi plovila, vozila i industrijski strojevi visokih performansi.

Epoxy smola je dvokomponentna prozirna smola za premazivanje, laminiranje i ugradnju. Koristi se za popravak, povezivanje i premazivanje poroznih i glatkih površina, za zasićene slojeva i kalupa, za izradu vodootpornih slojeva, za popravke na brodovima i autima itd. (<https://www.bauhaus.hr>)



Slika 14. Epoxy smola

(Izvor: <https://www.indiamart.com>)

## 5.7. Volframov karbid

Kožuh (2010.) navodi da volfram kao legirajući element pripada skupini karbidotvoraca. Legiranjem čelika volframom sprječava se rast zrna, a time se posredno utječe i na povišenje žilavosti čelika. Budući da stvara karbide izrazito otporne na trošenje volfram predstavlja nužni legirajući element za brzorezne čelike.

Volfram je tvrd, sjajan, srebrno-bijeli metal s najvišim talištem (3410°C), najnižim tlakom vlastitih para i najvećom čvrstoćom na vlak (sve do temperature 1650°C) od svih metala. Iz volframa se izrađuje ferovolfram, legura koja se upotrebljava u metalurgiji za dobivanje čvrstih volframovih čelika koji se odlikuju izuzetnom antikorozičnošću na visokim temperaturama. Koriste se za izradu oplata visokotemperaturnih peći, električnih grijača i brojnih raketnih elemenata, posebno mlaznica u svemirskoj tehnologiji. Poznati čelici za brzorezne alate, Haselloy i Stellite, legirani su volframom. Volframov karbid, WC, jedna je od najtvrdih tvari i glavnih proizvoda na bazi volframa, a koristi se za izradu brzoreznih alata ili kao nanos na alatima iz tvrdog sinter-metala te za alate koji se upotrebljavaju u naftnoj industriji i rudarstvu - za najkritičnije dijelove (vrhove bušilica i rudarskih drobilica). Karbid ima tvrdoću 9.5 na Mohsovoj ljestvici od 10 (za dijamant) i talište pri 2860°C. (<http://www.pse.pbf.hr>)



Slika 15. Volframov karbid

(Izvor: <https://www.amazon.in>)

## 5.8. Silicijev karbid

Kožuh (2010.) navodi da se silicij često koristi kao sredstvo za dezoksidaciju, te kao legirajući element koji povisuje čvrstoću, otpornost prema trošenju i granicu razvlačenja (npr. čelici za izradu opruga). Budući da silicij izrazito povisuje otpornost prema djelovanju topline neizbježan je legirajući element koji se dodaje vatrootpornim čelicima (do 2,5%).

Silicijev karbid (SiC) ili karborund, trgovačko ime za silicijev karbid, je kristalna tvar sa strukturom sličnom dijamantnoj, vrlo velike tvrdoće, poluvodičkih svojstava, velike toplinske (termičke) i kemijske otpornosti. Karborund se dobiva zagrijavanjem kremena (kvarca) s koksom u električnoj peći i koristi se kao abraziv (prah, pasta, sloj na papiru), vatrostalni materijal (talište oko 2830 °C), dio (element) za električna grijaća tijela i u poluvodičkoj tehnici. (<http://www.enciklopedija.hr>)



Slika 16. Silicijev karbid

(Izvor: <http://www.hplapidary.com>)



## 5.9. Beton ojačan polipropilenskim vlaknima (PP vlakna)

Beton ojačan polipropilenskim vlaknima se može primjenjivati u raznim slučajevima. Polipropilenska vlakna (monofilament) dodaju se betonu u tijeku proizvodnje. Tisuće pojedinačnih vlakana ravnomjerno se rasporede u betonu tijekom postupka miješanja, stvarajući tako strukturu poput matrice. Polipropilenska vlakna pomažu pri sprječavanju nastanka pukotina u betonu, te je povećana trajnost. (<https://www.arhitekti-hka.hr>)



Slika 17. Traktorski uteg (beton ojačan PP – vlaknima) sa čeličnim okvirom

(Izvor: <https://www.njuskalo.hr>)



Slika 18. Polipropilenska vlakna

(Izvor: <http://bitpromet.hr>)

## 6. PRIMJENA POLIMERNIH I KOMPOZITNIH MATERIJALA U POLJOPRIVREDI

Korištenje polimera u poljoprivredi je vrlo rasprostranjeno. Polimeri se u poljoprivredi koriste za proizvodnju najvećih stvari kao što su plastenici spremnici sustavi za navodnjavanje pa sve do onih najmanjih kao što su radne rukavice ili ambalaže pesticida. Zbog svojih dobrih svojstava i zbog svoje praktičnosti polimeri su vrlo brzo pronašli svoje mjesto u poljoprivredi. Danas na svakome poljoprivrednom gospodarstvu pronalazimo polimernu ambalažu, spremnike, izolacije, odjeću i opremu, te su polimeri sastavni dio života svakog poljoprivrednika. U posljednjih 50 godina korištenje polimera se nevjerojatno proširilo, te su neki materijali kao prirodna guma, drvo, kamen otišli u zaborav. Polimeri kao što su PVC, HDPE (polietilen visoke gustoće), polipropilenska vlakna, polikarbonati, HNBR, NBR svoje mjesto pronašli su i u poljoprivrednoj proizvodnji, te se u današnje doba masovno proizvode.

Kompoziti se u poljoprivredi koriste u proizvodnji najboljih strojeva i uređaja. Sve češće se mogu primijetiti dijelovi poljoprivredne tehnike proizvedeni od kompozitnih materijala. Silicijev i volframov karbid, karbonska vlakna su samo neki od raznih kompozita koji se koriste u proizvodnji ili poboljšavanju poljoprivredne tehnike. S prolaskom vremena poljoprivredni dijelovi izrađeni od kompozita će biti sve češća pojava, te će kao i polimeri zamijeniti donedavno „nezamjenjive“ materijale.

Od polimernih i kompozitnih materijala se izrađuju sustavi za navodnjavanje, folije za malčiranje, plastenici, grane traktorskih prskalica, ležajevi, spremnici, cijevi i sl.

### Plastenici



Slika 19. Polietilenski plastenik

(Izvor: Brčić, 2019.)



Slika 20. Polietilenski platenik (ulaz)

(Izvor: Brčić, 2019.)

### Sustav za navodnjavanje



Slika 21. Kap ko kap sustav

(Izvor: Brčić, 2019.)



Slika 22. Kap po kap sustav

(Izvor: Brčić, 2019.)



Slika 23. Regulator tlaka u sustavu za navodnjavanje (ABS)

(Izvor: <https://agrorain.en.made-in-china.com>)

## Spremnici



Slika 23. Spremnik za vodu – PVC, HDPE i dr.

(Izvor: Brčić, 2019.)



Slika 24. Kućište (spremnik) za sjeme (ABS)

(Izvor: <https://www.alibaba.com>)



Slika 25. Traktorski spremnik goriva (stakloplastika)

(Izvor: <https://www.ebay.com/>)

## Folija za malčiranje



Slika 24. Malč folija – polipropilen

(Izvor: Brčić, 2019.)

## Grana traktorske prskalice



Slika 25. Grana traktorske prskalice – karbonska vlakna i epoxy

(<https://www.compositesworld.com>)

## Brtve ulja



Slika 25. HNBR brtva ulja

(Izvor: <https://hroilseal.en.made-in-china.com>)



Slika 26. NBR brtva koljenastog vratila

(Izvor: <http://www.svks-rubberseal.com/>)

## Traktorski krov



Slika 27. Traktorski krov (PVC)

(Izvor: <https://www.indiamart.com>)

## Ručice



Slika 28. Ručice (bakelit)

(Izvor: <https://www.amazon.in>)



## Ležaj



Slika 29. Kuglični ležaj (silicijev karbid)

(Izvor: <https://www.vxb.com>)

## Provodna cijev ulagača sjemena



Slika 30. Provodna cijev ulagača sjemena (presvlaka volframovog karbida)

(Izvor: <https://www.tractorpartsasap.com>)

## Traktorski utezi



Slika 31. Traktorski uteg (beton ojačan PP vlaknima sa čeličnim okvirom)

(Izvor: <https://www.njuskalo.hr>)

## **7. OBRADA I SPAJANJE POLIMERNIH I KOMPOZITNIH MATERIJALA**

### **7.1. Tokarenje polimera**

Postupak tokarenja u osnovi je isti kao kod obrade metala. Razlikuju se veličine kutova alata i brzine obrade. Razlog preciznog tokarenja polimernih materijala je sprečavanje progiba. Preporučaju se mali posmaci kako ne bi došlo do prekomjernog zagrijavanja, te brzine rezanja do 180 m/min. Prilikom obrade duromera ne treba očekivati glatku završnu obradu. Procedura za obradu duromera slična je obradi mesinga, samo što je trošenje alata puno ekstremnije. Maziva se rijetko koriste, ali zračne mlaznice u zoni obrade mogu pomoći pri provodnosti topline. Odvojene čestice se preporuča otkloniti usisnim crijevima u zoni rezanja. (Barić, 2012).

### **7.2. Piljenje polimera**

Za piljenje polimera obično se koriste kružne i tračne pile. Preporuča se obavezno hlađenje. Brzine rezanja i posmaci variraju od materijala do materijala. Pile moraju biti održavane vrlo oštroma, posebno kod obrade duromera. Preporučaju se pile od karbida. Odvojene čestice se preporuča otkloniti usisnim crijevima u zoni rezanja. (Barić, 2012.).

### **7.3. Laserska obrada polimera**

Barić (2012.) navodi da ovaj relativno novi tip obrade je jako praktičan za većinu plastomera. Princip na kojemu radi je trenutno isparavanje materijala sa minimalnom disipacijom topline izvan preciznog područja na koje se usmjeravaju zrake. Laserskim zrakama se mogu načiniti rezni utori širine samo 0,1 mm ili glatko odrezani rubovi. Postupak je posebno pogodan za bušenje vrlo finih provrta ili rupa i za izrezivanje izradaka nepravilnog oblika s pomoću numerički upravljanih obradnih strojeva. Duromerni materijali pri takvoj izloženosti imaju tendenciju pougljičenja, pa su puno manje pogodni za takvu vrstu obrade. Sa zdravstvenog motrišta postupak je vrlo prihvatljiv.

## 7.4. Strojna obrada kompozita – bušenje

Bušenje kompozitnih materijala razlikuje se od bušenja u metalnim konstrukcijama. Različite vrste svrdla, veće brzine karakteriziraju bušenje kompozita. Konstrukcije izrađene od karbonskih vlakana i epoksidnih smola, zahtijevaju posebne bušilice zbog svojih specifičnih svojstava. Aramidna vlakna nisu tako teško obradljiva kao ugljik, ali je potrebna posebna stručnost rukovatelja strojem obzirom da su ova vlakna sklona pucanju. (Krizbergs i sur, 2016.)

### 7.4.1 Oprema

Za bušenje rupa u kompozitnim materijalima koriste se pneumatski strojevi sa brzinama do 20.000 okretaja u minuti. Opće pravilo za bušenje kompozita je koristiti veliku brzinu i nizak tlak. Oprema za bušenje sa dobrom kontrolom snage daje bolju kvalitetu provrta. Glave za vođenje svrdla su preporučljive, posebno za deblje laminate. (Krizbergs i sur, 2016.)



Slika 32. Alati za bušenje i rezanje kompozita

(Krizbergs i sur, 2016.)

## 7.5. Zavarivanje polimera (plastomera)

Zavarivanje plastomera temelji se na njihovom svojstvu taljivosti u koje se dovode zagrijavanjem na temperaturi većoj od temperature tečišta (približno 200°C). Na toj temperaturi oslabljuju se molekularne veze. Nakon spajanja i hlađenja veze ponovo ojačaju, pa se materijal vraća u staklasto stanje. Mora se paziti da temperatura ne prekorači temperaturu razgradnje plastomera koja iznosi oko 250°C. Zavarivački pištolji mogu biti električni ili plinski. Postoje i napredniji postupci zavarivanja pomoću ultrazvuka i visokofrekventnih struja. Zavarivanje može biti sa ili bez dodatnog materijala. Kvalitetu zavarenog spoja dodatno poboljšavamo stiskanjem pomoću alata. (<https://blog.dnevnik.hr>)

## **7.6. Lijepljenje polimera (plastomera)**

Ljepilo povezuje spojene dijelove površinskim prijanjanjem (temelji se na sili adhezije) i unutrašnjom čvrstoćom (temelji se na sili kohezije). Suvremena ljepila imaju dobra vezivna svojstva, pa je taj postupak vrlo raširen način spajanja polimera. Potrebno je oba dijela tanko namazati i čvrsto stisnuti (poželjno s alatom). Za spajanje polimera koristi se acetonsko i cijanoakrilatno (trenutno vezujuće ljepilo). (<https://blog.dnevnik.hr>)

## **7.7. Robotizirano induksijsko zavarivanje kompozita**

Komponente u zrakoplovnoj i transportnoj industriji često su napravljene od termoplastičnih polimernih kompozita ojačanih vlaknima. Te komponente često zahtijevaju proizvodnju velikih, složenih struktura koje se obično sastoje od potkonstrukcija, koje su često napravljene od različitih materijala. U mnogim slučajevima proizvodnja složenih konstrukcija je skupa i stoga postoji velika potražnja za isplativom proizvodnjom i automatizacijom. Robotizirano induksijsko zavarivanje je proces spajanja koji zadovoljava ove potrebe. Prilagođen je industrijskim robotima, omogućavajući vrlo fleksibilnu automatiziranu proizvodnju za kontinuirane ili točkaste zavare. Mogu se zavariti slične i različite kombinacije materijala poput kompozita i metala. Proces je spojen na različite geometrije, uključujući trodimenzionalne zakrivljene strukture. Spoj se proizvodi uzastopno, omogućujući zavarivanje različitih geometrija spojeva i dijelova bez korištenja alata specifičnih za sastavne dijelove. U slučaju izmjena dizajna ili varijacija proizvoda, reprogramiranja upravljačkog softvera odgovarajući uređaji olakšavaju brzu prilagodbu promjena. (<http://www.jeccomposites.com>)

## 8. ZAKLJUČAK

Polimerni materijali su već odavno preuzeli vodeće mjesto među najrasprostranjenijim materijalima. Danas su prisutni u svakog segmentu ljudskog života, te je vrlo teško zamisliti život bez polimera, naročito u poljoprivredi. Polimerni materijali su prolaskom vremena i napretkom tehnologije postali jeftini i lako dostupni. Materijali kao što su drvo, kamen, glina i sl. polako gube svoje mjesto i upotrebu, te ih zamjenjuju polimerni i kompozitni materijali. Polimerni materijali svojom kvalitetom i dostupnošću su polako, ali sigurno bacili u zaborav malo prije navedene materijale.

S druge strane, kompozitni materijali su prije samo pola stoljeća bili nepoznat pojam u svim djelatnostima, naročito u poljoprivredi. Kompozitni materijali su danas sveprisutni te se koriste u proizvodnji novih i naprednih strojeva, te u izradi dijelova poljoprivredne tehnike. Volframov i silicijev karbid, karbonska vlakna, stakloplastika, nanokompoziti samo su neki od primjera kompozitnih materijala i prolaskom vremena vjerojatno će se otkrivati materijali nevjerojatnih svojstava koji će pružati odličnu izvedbu u radu. U ljudskom duhu je dobro utkana želja za otkrivanjem i istraživanjem nepoznatoga, tako da bi polimerni i kompozitni materijali u bliskoj budućnosti mogli biti zamijenjeni nekim boljim, izdržljivijim, naprednijim materijalima.

## 8. POPIS LITERATURE

1. Amić D. (2008.): Organska kemija: za studente agronomske struke, str. 84.
2. Barić I. (2012.): Obrada polimernih materijala odvajanjem čestica, Završni rad. Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje.
3. Bilić J. (2018.): Primjena polimernih materijala u izradi cijevi za navodnjavanje. Završni rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti.
4. Fudurić A. (2016.): Svojstva i primjena polimernih materijala i njihova uporaba u Hrvatskoj. Završni rad, Veleučilište u Karlovcu.
5. Gabrić I.; Šitić S. (2012.): Materijali I. Sveučilište u Splitu. Sveučilišni odjel za stručne studije. Studij: konstrukcijsko strojarstvo. Split, str 11-12.  
([https://bib.irb.hr/datoteka/665498.MATERIJALI\\_1\\_skripta\\_listopad\\_2013.pdf](https://bib.irb.hr/datoteka/665498.MATERIJALI_1_skripta_listopad_2013.pdf))  
(20.06.2019.)
6. <http://ba.gl-plastic.com/info/the-advantages-and-disadvantages-of-abs-plasti-20070551.html> (09.08.2019.)
7. <http://ba.petgeogrids.com/fiberglass-reinforcements/combo-mat/e-glass-fiberglass-chopped-strand-mat-100g.html> (15.08.2019.)
8. <http://bitpromet.hr/2017/07/vlakna-polipropilenska/> (20.08.2019.)
9. <http://brod.sfsb.hr/~ikladar/Materijali%20I/Podjela%20polimeria.pdf> (25.7.2019.)
10. <http://studentski.hr/system/materials/9/ada642f58f51231d5edad4fdd6edbe3a9c38c613.zip?439380764> (25.7.2019.)
11. [http://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/tehnicki\\_materijali.pdf](http://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/tehnicki_materijali.pdf) (15.7.2019.)
12. <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=19428> (13.08.2019.)
13. <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=5354> (12.08.2019.)
14. <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=55955> (16.08.2019.)
15. <http://www.hplapidary.com/en/highland-park-lapidary-6090-ungraded-silicon-carbide-pre-polish-grit-10-lbs> (16.08.2019.)
16. <http://www.jeccomposites.com/knowledge/international-composites-news/induction-welding-automated-joining-process-composites> (26.08.2019.)
17. <http://www.nekretnineprodaja.com/gradnja-materijali/PVC-materijal.php> (03.08.2019.)

18. <http://www.plastika-haluzan.hr/ekstruzija/> (26.08.2019.)
19. <http://www.pse.pbf.hr/hrvatski/elementi/w/spojevi.html> (16.08.2019.)
20. [http://www.ss-tehnicka-ri.skole.hr/dokumenti?dm\\_document\\_id=415&dm\\_dnl=1](http://www.ss-tehnicka-ri.skole.hr/dokumenti?dm_document_id=415&dm_dnl=1) (26.7.2019.)
21. <http://www.svks-rubberseal.com/oil-seals/nbr-oil-seal/oil-seal-used-for-farm-machinery-tractor.html> (20.08.2019.)
22. <http://agrorain.en.made-in-china.com/product/LKOJYFgCpwVZ/China-ABS-Material-Low-Flow-Pressure-Regulator-for-Agriculture-Garden-Irrigation.html> (09.08.2019.)
23. <https://blog.dnevnik.hr/tehnickakultura/2010/10/1628291542/savijanje-lijepljenje-i-zavarivanje-plastike-8r-tema-22.html> (27.08.2019.)
24. <https://docplayer.gr/61608778-Materijali-i-polimeri-prof-dr-sc-ivica-kladaric.html> (25.7.2019.)
25. <https://hr.deborahnormansoprano.com/biznes/3892-kompozitnye-materialy-chto-eto-takoe-svoystva-proizvodstvo-i-primenenie.html> (26.7.2019.)
26. <https://hr.puntomarinero.com/pvc-what-is-it-polyvinyl/> (05.08.2019.)
27. <https://hr.wikipedia.org/wiki/Kompozit> (22.7.2019.)
28. [https://hr.wikipedia.org/wiki/Poli\(vinil-klorid\)](https://hr.wikipedia.org/wiki/Poli(vinil-klorid)) (08.08.2019.)
29. <https://hroilseal.en.made-in-china.com/product/pvKJMjscnGri/China-NBR-Tg-Oil-Seal-14-26-7-Customized.html> (22.08.2019.)
30. <https://ironlady003.files.wordpress.com/2014/05/3-001-1jpg.jpg> (01.08.2019.)
31. <https://ironlady003.wordpress.com/2014/05/05/plasticni-materijali/> (16.7.2019.)
32. [https://nastavnimaterijalvtz.files.wordpress.com/2018/12/predavanje\\_\\_kompozitni\\_materijali.pdf](https://nastavnimaterijalvtz.files.wordpress.com/2018/12/predavanje__kompozitni_materijali.pdf) (30.7.2019.)
33. <https://nbfjshyxs.en.made-in-china.com> (12.08.2019.)
34. <https://nsokote.ru/kućnost-u-kući/85235-bakelit-kakav-je-ovaj-materijal-koja-su-njegova.html> (12.08.2019.)
35. <https://polymerdatabase.com/Elastomers/HNBR.html> (03.08.2019.)
36. <https://polymerdatabase.com/Elastomers/NBR.html> (03.08.2019.)



37. [https://www.alibaba.com/product-detail/Custom-plastic-seed-box-for-agricultural\\_60538527223.html?spm=a2700.7724857.normalList.22.66b02fbexE4neb](https://www.alibaba.com/product-detail/Custom-plastic-seed-box-for-agricultural_60538527223.html?spm=a2700.7724857.normalList.22.66b02fbexE4neb) (22.08.2019.)
38. <https://www.amazon.com/uxcell-Female-Thread-Bakelite-Machine/dp/B0711Y6LFL> (22.08.2019.)
39. <https://www.amazon.in/BFC-TUNGSTEN-CARBIDE-POWDER-Microns/dp/B07C974N9G> (16.08.2019)
40. <https://www.arhitekti-hka.hr/hr/baza-proizvoda/proizvod/fiberton-pp---beton-ojacan-polipropilenskim-vlaknima,96,506.html> (17.08.2019.)
41. <https://www.bauhaus.hr/smola-epoxy-500-g.html> (15.08.2019.)
42. <https://www.bearingscanada.com/6803-Full-Ceramic-Bearing-17x26x5-Silicon-Carbide-p/6803-ceramic-17265-carbide-sic.htm> (25.08.2019.)
43. <https://www.compositesworld.com/blog/post/reaping-the-benefits-composites-use-grows-in-agricultural-equipment> (25.08.2019)
44. <https://www.ebay.com/p/John-Deere-AL24219-Compact-Utility-Tractor-Fiberglass-Fuel-Tank/20033161487> (22.08.2019.)
45. <https://www.forum.hr/showthread.php?t=980753> (16.7.2019.)
46. <https://www.indiamart.com/proddetail/pvc-plastic-tractor-hood-20342277597.html> (22.08.2019.)
47. <https://www.indiamart.com/proddetail/pvc-raw-material-14214446197.html> (08.08.2019.)
48. <https://www.njuskalo.hr/poljoprivreda-ostalo/uteg-traktor-500-2500kg-oglas-18406799> (17.08.2019.)
49. <https://www.pbs.org/wgbh/nova/article/materials-changed-history/> (15.7.2019.)
50. <https://www.plastikainfo.com/tehnologija/materijali-abs-akrilonitril-butadien-stiren-acrylonitrile-butadiene-styrene> (09.08.2019.)
51. <https://www.privrednamreza.com/Prirodni-kaucuk-i-lateks-NOVZA-> (24.7.2019)
52. <https://www.resinex.hr/polimer-vrste/abs.html> (09.08.2019.)
53. <https://www.tractorpartsasap.com/seed-boot-lh-tungsten-coated-new-john-deere-119970.html> (25.08.2019.)

54. Kožuh S. (2010.): Specijalni čelici (skripta). Sveučilište u Zagrebu. Metalurški fakultet. Sisak, str. 12-13.

([https://www.simet.unizg.hr/hr/nastava/predavanja/diplomski-sveucilisni-studij-metalurgija/2-godina-diplomskog-studija/specijalni-celici/at\\_download/file](https://www.simet.unizg.hr/hr/nastava/predavanja/diplomski-sveucilisni-studij-metalurgija/2-godina-diplomskog-studija/specijalni-celici/at_download/file)) (13.7.2019.)

55. Kraut B. (1988.): Strojarski priručnik: deveto hrvatsko ili srpsko izdanje potpuno prerađeno i dopunjeno. ([http://161.53.66.8/shared/PRIRUCNICI-1/Kraut-Strojarski\\_prirucnik\\_1987.pdf](http://161.53.66.8/shared/PRIRUCNICI-1/Kraut-Strojarski_prirucnik_1987.pdf)) (08.07.2019.), str. 476.

56. Krizbergs J.; Gutakovskis V. (2016.): Erasmus. Nastavni materijal. Kompozitni materijali. (<http://www.hup.hr>) (10.7.2019.), str. 4, 5, 6.

57. Leljak V. (2015.): Primjena polimernih kompozita u sportovima na vodi. Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje.

58. Meić Sidić A. (2015.): Primjena kompozitnih materijala u zrakoplovnim konstrukcijama. Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti.

59. Strupar L. (2016.): Recikliranje stakloplastike. Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet.