

# Svojstva polimernog kompozita s ojačalima od prirodnih vlakana

---

Šimičić, Marko

Undergraduate thesis / Završni rad

2010

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:066736>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-10-15**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



# 1. UVOD

Kompoziti su materijali dobiveni spajanjem dvaju ili više materijala sa različitim svojstvima s ciljem dobivanja takvih svojstava kakva ne posjeduje niti jedan materijal (komponenta) za sebe. Sastoje se od osnovnog materijala (matrice) i dodatnog materijala (ojačavala i/ili punila). [1]

Matrice koje se koriste u kompozitima mogu biti polimerne, keramičke ili metalne. Ojačala se mogu podijeliti prema obliku (vlakna ili čestice), prema rasporedu (kontinuirana i diskontinuirana) i prema materijalu (metalna, staklena, prirodna i dr.). Vlakna se dijele na vlakna, viskere i žice. Postoje slojeviti kompoziti i sendvič konstrukcije. S obzirom na svojstva matrice imaju manji modul rastezljivosti dok ojačala imaju i do 50 puta veću čvrstoću i 20 do 150 veću krutost. Kompoziti imaju više specifične čvrstoće i specifične module elastičnosti u odnosu na tradicionalne materijale, što omogućuje smanjenje težine. To pak rezultira s porastom efikasnosti strukture, smanjenjem troškova energije i materijala. Dodatne prednosti kompozita su i otpornost na umor i koroziju, niski troškovi proizvodnje, mogućnost podešavanja toplinskih karakteristika (toplinska istežljivost i vodljivost), prigušivanje vibracija, te fleksibilnost konstrukcije. Doba suvremenih kompozita započelo je oko 1960. s razvojem borovih vlakana, koja su osim visoke specifične čvrstoće nudila i visoku specifičnu krutost. Daljnji razvitak raznih vrsta vlakana bio je popraćen i razvojem tehnologije matričnih smola. Posljednjih godina istraživanja u svijetu su se usmjerila na pronalaženje i izradu novih tipova kompozita koji su jeftiniji, lakše se prerađuju i recikliraju, manje zagađuju okoliš i kod kojih je izvor sirovina neovisan o naftnim derivatima. Riječ je o kompozitima koji sadrže prirodna ojačala kao što su to juta, kenaf, konoplja, lan, pamuk i sl. Za takvu vrstu kompozita se upotrebljavaju polimerne matrice. U ovom radu napravit će se uzorci i ispitati mehanička svojstva kompozita od poliesterske (UP) matrice i ojačala od prirodnih vlakana (jute) kako bi se pokazalo na mogućnosti takvih kompozita koji se mogu reciklirati i proizvoditi a da se pri tome ne zagađuje okoliš . Više o njima biti će opisano u slijedećim točkama.

## 2. KOMPOZITI OJAČANI PRIRODNIM VLAKNIMA

Proizvodnja sirovina, materijala i proizvoda, njihova uporaba i odlaganje imaju značajan gospodarski i ekološki utjecaj. Iskoristivost sirovina i ekološka prihvatljivost može se povećati zatvaranjem kruga, tj. stvaranjem oporabljivoga i trajnoga proizvoda, ali isto tako i korištenjem obnovljivih izvora sirovina. Zbog toga je upotreba prirodnih vlakana u kompozitima u neprestanom rastu. Prilikom razvoja bilo koje industrijske grane potrebno je imati na umu dugoročnu dostupnost sirovina. Kako bi se osigurala trajna opskrba prirodnim vlaknima, nužno je poticati razvoj poljoprivredne proizvodnje i zdravih ekosustava. Takva poljoprivreda označava ravnotežu između očuvanja prirodnih dobara i njihova korištenja, kako na lokalnomu tako i na globalnomu planu. To pretpostavlja trajni uzgoj biljaka s vlaknima, skrb o korištenju poljoprivrednih dobara i očuvanje ekosustava, zapošljavanje siromašnog stanovništva te preusmjerenje sadnje biljnog materijala za ojačalo a ne za opijate.[2]

### 2.1. Prirodna vlakna

Postoji velik broj biljnih kultura koje su pogodne za dobivanje prirodnih vlakana pogodnih za primjenu kao ojačala. Treba ih sve uzeti u obzir prilikom promišljanja o uzgoju jer svaka od njih ima određene prednosti pred drugom. Bitna je i potražnja za pojedinim vlaknima na tržištu. Najčešće se rabe drvena vlakna (bor, jasen, hrast), vlakna agave, ljuske riže i kukuruz, konoplja, juta, slama (pšenica, ječam, zob, raž, lan), stabljike ( sorgum, pamuk), šećerna trska, bambus. [2], [3]

#### 2.1.1. Pamuk

**Pamuk** je grmolika biljka iz porodice *Gossypium* koja se uzgaja uglavnom u SAD-u, Indiji, Pakistanu, Brazilu i Egiptu, Turskoj, Rusiji... Duljina vlakana je 2 do 5 cm, a promjer 5 do 20 mm. Nakon sijanja pamuku je potrebno 3 do 4 mjeseca da procvjeta, a nakon cvjetanja od samo 10 sati, treba 2-3 mjeseca da sjeme sazrije. Jednu trećinu mase cvijeta čine pamučna vlakna, a ostatak sjeme. Branje se obavlja ručno ili strojno, a zatim se pamuk odvaja od sjemena i dalje obrađuje. Ručno obrani pamuk je čistiji od strojno obranog pamuka. Jedna biljka daje 125..500, a izuzetno do 1250 g pamuka. Poput drugih oblika celuloze i pamuk je

otporan na kemijska djelovanja. Ipak, razrađeni su različiti postupci za poboljšavanje svojstava pamučnih vlakana. Svojstva pamučnog vlakna mijenjaju ukoliko se obradi koncentriranom vodenom otopinom natrijeve lužine pri 18 °C. Naime, povećanjem broja hidroksilnih skupina mijenja se kristalična struktura: poboljšava se čvrstoća, površinska svojstva i podložnost bojenju. Postupak se naziva **mercerizacija** i često se primjenjuje u obradi pamuka. [4]



Slika 2.1. Cvijet pamuka [4]



Slika 2.2. Dobivanje pamuka [5]

### 2.1.2. Lan

**Laneno vlakno** ne dobiva se iz ploda već iz omotača stabljike biljne vrste *Linum usitatissimum* koja može narasti do 80 cm visine. Iz sjemenki se dobiva laneno ulje koje služi za impregnaciju drva i u proizvodnji bojila i lakova. Stabljike se moče u vodi 3 do 6 tjedana, što uzrokuje oksidacijsku razgradnju lignina. Drvenasta tvar odvaja se od celuloznih vlakana koji se doraduju. Iz 100 kg suhe stabljike dobije se oko 12 kg lanenog vlakna. Lan se uzgaja u Rusiji, Ukrajini, Poljskoj, Njemačkoj, Francuskoj, Belgiji... [4]



Slika 2.3. Lan [4]

### 2.1.3. Konoplja

Vlakna konoplje se dobivaju iz liko vlakana biljke *Cannabis sativa*. Konoplja je višestruko upotrebljiva tkanina koja se može upotrebljavati za izradu tekstila, kućanskog namještaja, papira, u građevinarstvu i automobilske industriji. Kompozit izrađen s 20 masenih % vlakna konoplje ima rasteznu čvrstoću od 35 Mpa i rastezni modul od 4,4 GPA. Značajna prednost kompozita s vlaknima konoplje nad drvom je što se različito orijentiranim vlaknima mogu postići dobra svojstva u svim smjerovima (kvaziizotropnost) što nije slučaj u drva. [6]



Slika 2.4. Konoplja [4]

#### 2.1.4. Juta

**Juta** (*Corchorus capsularis*) je slična konoplji. Ima visoki sadržaj lignina u stabljici. Uzgaja se u Pakistanu, Bangladešu i u okolini Kaspijskog jezera. Upotrebljava se za izradu vreća, prostirki, a nekad se upotrebljavala i kao punilo za linoleum. Osim navedenih vlakana u manjoj mjeri iskorištavaju se neka „egzotična“ vlakna: ramija, žuka, kopriva, manila, sisal (iz lišća agave), rafija, kokosovo vlakno. [4]



Slika 2.5. Juta [4]

Prirodna vlakna se mogu prema porijeklu podijeliti na:

- liko,
- plod,
- lišće,
- sjeme

Najčešću uporabu imaju vlakna od lika i lišća. Primjeri liko vlakana su konoplja, juta, lan, rami, kenaf. Vlakna od lišća se dobivaju iz agave i banane. Prirodna vlakna kao što su lan, konoplja ili juta su konkurencija staklenim vlaknima zbog ekološke prihvatljivosti i povoljne cijene.

Prednosti prirodnih vlakana:

- dobivaju se iz obnovljivih izvora,
- niske su gustoće,
- nisu abrazivna,
- lako se oporabljaju,
- biorazgradiva su,
- lako su dostupna u velikim količinama,
- imaju dobra akustička i izolacijska svojstva,
- mali je utrošak energije potreban za preradbu,
- niske su cijene

Tablica 1. Popis glavnih mogućih svjetskih izvora prirodnih vlakana [2]

<b>Izvor prirodnih vlakana</b>	<b>Svijet (tona osušene tvari)</b>
Drvo	1 750 000 000
Slama (pšenica, riža, ječam, zob, raž, lan, trava)	1 145 000 000
Stabljika (kukuruz, sorgum, pamuk)	970 000 000
Šećerna trska	75 000 000
Trska	30 000 000
Bambus	30 000 000
Sortirani pamuk	15 000 000
Srčika (juta, kenaf, konoplja)	8 000 000
Papirus	5 000 000
Liko (juta, kenaf, konoplja)	2 900 000
Pamuk pročišćen	1 000 000
Esparto trava	500 000
List (američka agava, manila, henequen)	480 000
Sabai trava	200 000
<b>UKUPNO</b>	<b>4 033 080 000</b>

Tablica 2. Svojstva nekih vrsta prirodnih vlakana [2]

<b>Vlakno</b>	<b>Gustoća g/cm<sup>3</sup></b>	<b>Rastezni modul GPa</b>	<b>Rastezna čvrstoća MPa</b>
Lan	1,5	100	1100
Indijska konoplja	4,45	2,5 - 13	460 - 530
Američka agava	1,45	9,4 - 15,8	570 - 640
Konoplja	1,48	-	690
E – staklo	2,54	76	150



Tablica 3. Dimenzije nekih vrsta prirodnih vlakana [2]

<b>Dimenzije vlakana, mm</b>		
<b>Tip vlakna</b>	<b>Prosječna duljina</b>	<b>Debljina</b>
Pamuk	10 – 60	0,02
Lan	5 – 60	0,012 - 0,027
Konoplja	5 – 55	0,025 - 0,050
Manilska konoplja	2,5 – 12	0,025 - 0,040
Bambus	1,5 – 4	0,025 - 0,040
Esparta (Alfa)	0,5 – 2	0,013
Slama od žita	1 – 3,4	0,023
Indijska konoplja	1,5 – 5	0,02
Listopadno drvo	1 – 1,8	0,03
Četinjače	3,5 – 5	0,025

## 2.2. Svojstva i primjena kompozita s prirodnim vlaknima

### Svojstva

U odnosu na ostale kompozite, za primjenu kompozita s prirodnim vlaknima postoje neka ograničenja. Prvo se ograničenje odnosi na niže temperature preradbe. Granična temperatura razgradnje prirodnih vlakana kreće se oko 200 °C, iako je moguće postići i više temperature, ali kroz kraće vrijeme. To je ujedno i ograničenje za moguće uporabive plastomere. Izbor je uglavnom sveden na polipropilen (PP), poli(vinil-klorid) (PVC), polietilen (PE) i polistiren (PS). No, treba naglasiti da ovi plastomeri čine približno 70 % ukupne proizvodnje polimera, pa troše i značajne količine punila i ojačala. Drugo ograničenje je upijanje vode prirodnih vlakana, njihova higroskopnost. Upijanje vode može uzrokovati bubrenje vlakana što pak uzrokuje slabu dimenzijsku stabilnost. Kad je vlakno omotano polimerom upijanje je vode najmanje. Nemoguće je potpuno ukloniti upijanje vode bez primjene skupe površinske zaštite kompozita, no moguće ga je smanjiti, primjerice, kemijskom promjenom hidroksilnih grupa

prisutnih u vlaknu što, naravno, povisuje cijenu. Dobro prianjanje vlakna s matricom također smanjuje upijanje vode. Ova ograničenja treba uzeti u obzir prilikom odabira i primjene ovih kompozita. [2]

Celulozna vlakna / punila mogu biti razvrstana u tri razreda, ovisno o njihovu ponašanju u polimernoj matrici:

- Drvni i ostali biljni otpad ubraja se u skupinu punila koja povećavaju rastezni i savojni modul elastičnosti ali malo utječu na čvrstoću kompozita.
- Drvna vlakna i reciklirani papir imaju veći utjecaj na rast modula elastičnosti. Pritom povećavaju i čvrstoću kompozita, uz upotrebu veziva koja poboljšavaju prijenos naprezanja s matrice na vlakno.
- Prirodna vlakna od biljaka (kenaf, juta, lan i sl.) vrlo su učinkoviti dodaci. Rastezni i savojni modul elastičnosti je kod tih kompozita značajno viši nego kod kompozita s drvnim vlaknima, osobito ako se uzme u obzir omjer povišenja modula elastičnosti i gustoće kompozita. Taj je omjer u razini s kompozitima ojačanim staklenim vlaknima. [2]

## **Primjena**

Primjena kompozita s prirodnim vlaknima:

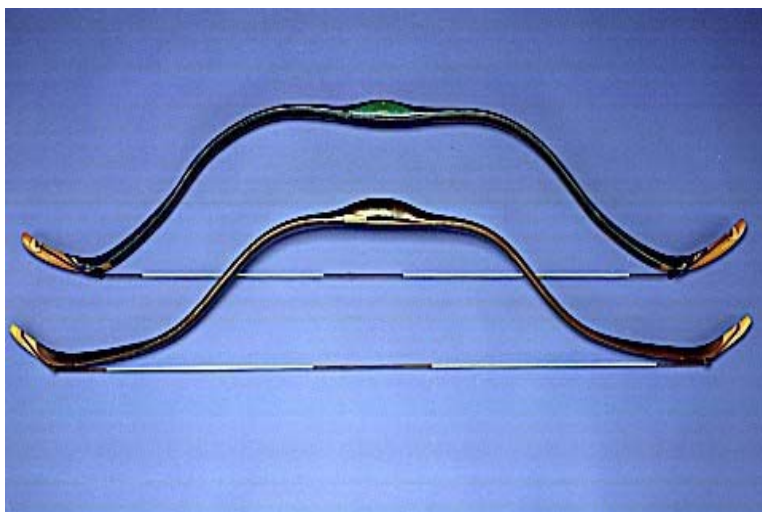
- automobilska industrija,
- brodogradnja,
- medicina,
- izrada sportskih rekvizita,
- građevinarstvo,
- izrada namještaja,
- ručna izrada košara, vreća i slično



Slika 2.6. Krov automobila načinjen od vlakana lana [5]



Slika 2.7. Bicikl napravljen od vlakana lana i ugljika [7]



Slika 2.8. Luk napravljen od kompozita ojačanim prirodnim vlaknima [5]



Slika 2.9. Dijelovi automobila izrađeni od kompozita ojačanog prirodnim vlaknima [5]



Slika 2.10. Kostur čamca izrađen od prirodnih vlakana i polimerne smjese [5]

### **2.3. Postupci proizvodnje kompozita s prirodnim vlaknima**

U industriji polimera kao dodatak polimerima pretežno se rabio talk, kalcijev karbonat, tinjac te staklena i ugljična vlakna. Godišnje se trošilo oko 2,5 milijuna tona tih dodataka i ojačavala. Postojao je svojevrsni otpor prerađivača prema uporabi drvenih i prirodnih vlakana, kao što su kenaf ili lan, ponajviše zbog njihove velike gustoće, niske toplinske postojanosti i sklonosti prema upijanju vode, te neprikladnosti opreme za preradbu kompozita s prirodnim vlaknima. Do značajne je promjene došlo zadnjih desetak godina. Veće je poznavanje svojstava drva i ostalih izvora prirodnih vlakana u industriji polimera, razvijena je nova oprema za preradbu polimera ojačanih prirodnim vlaknima, a postoje i bolja veziva i

prijanjala. Sve je to povećalo interes industrije polimera za preradbu tih kompozita. I u drvnjoj se industriji također promijenio pristup. Povećana trajnost proizvoda od drvno-plastomernih kompozita uz minimalno održavanje čini ih naročito zanimljivim u građevinarstvu kao zamjena za drvenu granu. Preradba plastomernih kompozita ojačanih prirodnim vlaknima obično se provodi u dva koraka. Prvo se sastojci smješavaju, a zatim se od smjese oblikuje pripremak ili konačni proizvod. Smješavanje komponenata može se obaviti kontinuirano u ekstruderu, s time da se drvo može dodati zajedno s plastomerom ili u plastomernu taljevinu. Moguće je cikličko smješavanje komponenata u miješalicama, ali se mogu pojaviti odstupanja u kvaliteti od šarže do šarže. Za proizvodnju plastomernih kompozita primjenjuje se ekstrudiranje, injekcijsko prešanje, kalandriranje, toplo oblikovanje i pultrudiranje. Za proizvodnju plastomernih kompozita najviše se primjenjuje ekstrudiranje, i to za razne pune i šuplje profile. Postoje razni tipovi ekstrudera za preradbu drvno-plastomernih kompozita. To može biti ekstruder s jednim pužnim vijkom ili ekstruder s dva pužna vijka. Osi ekstrudera s dva pužna vijka mogu biti paralelne ili pod kutom. U nekim postupcima primjenjuju se ekstruderi u tandemu: prvi za smješavanje, a drugi za protiskivanje taljevine. Voda iz vlakana koja čini njihovu mokrinu odstranjuje se u ekstruderu tijekom preradbe. Injekcijsko se prešanje primjenjuje rjeđe, i to za oblikovanje proizvoda složenijih oblika. Sastojci se prvo smješavaju, a zatim se od smjese oblikuje pripremak ili konačni proizvod. Osim smješavanja u miješalici, smješavanje se može provesti ekstrudiranjem nakon čega se pravi granulati. Tako pripremljen granulati injekcijski se preša. Prednosti ekstrudiranja u odnosu na injekcijsko prešanje su manja osjetljivost na mokrinu materijala i dobivanje gotovog proizvoda u jednom koraku jer se smješavanje komponenata može obaviti u istom ekstruderu kojim se oblikuje profil. No to zahtijeva ekstruder s dva pužna vijka da bi se osiguralo smješavanje, a njegova cijena je viša od jednopužnoga. Također se primjenjuje kalandriranje s toplim oblikovanjem i pultrudiranje, ali u znatno manjem opsegu. Kalandriranjem se najčešće proizvode ploče koje se koriste za oblaganje u građevinarstvu. Pultrudiranjem se proizvode razni puni profili provlačenjem kroz matricu. Šuplji profili ograničenih duljina mogu se proizvesti namatanjem na jezgru s posmikom. [2]

## **2.4. Drvno – plastomerni kompoziti**

Drvno-plastomerni kompoziti (DPK) relativno su nova skupina materijala koja je započela svoj razvoj preko Atlantika, ali u zadnje vrijeme se i u Europi pokazuje veliko zanimanje za taj materijal. Taj pojam pokriva iznimno široko područje kompozita koji primjenjuju polimere od polipropilena do poli(vinil-klorida), i veziva/punila od drvnoga brašna ili drvnih vlakana. Ti novi materijali proširuju koncepciju drvenih kompozita od čiste iverice u nova područja i, što je još važnije, u novu generaciju kvalitetnih proizvoda. Prva generacija drvnih kompozita bila je kombinacija recikliranoga drvnoga brašna ili piljevine i veziva na bazi duromera. Ti su materijali bili sasvim dobri za nezahtjevne primjene. Nova generacija drvno-plastomernih kompozita, osim što se brzo razvila, dovela je do kompozita koji imaju dobra mehanička svojstva, visoku dimenzijsku stabilnost i mogu se oblikovati u složene oblike. Oni su čvrsti, stabilni i mogu se ekstrudirati ili injekcijski prešati u uskim tolerancijama. Najuobičajeniji kompoziti toga tipa proizvode se smješavanjem drvnoga brašna i plastomera, a dobiveni se materijal može prerađivati postupcima koji su tipični za polimer, iako materijal ima svojstva i drva i polimera. Drvo može biti u obliku piljevine ili kao stari drveni otpad, što znači da nije potrebno trošiti dodatne drvene resurse za proizvodnju ovoga kompozita, već se može koristiti otpadno drvo koje bi se u najboljem slučaju spalilo, ako ne i bacilo. Tako ono postaje sirovina što je očiti dokaz da recikliranje može biti unosno i okolišno pogodno. Polimerni materijali također mogu biti reciklirani, na primjer PE vrećice, iako se kod zahtjevnije primjene treba izbjegavati te se upotrebljava novi polimerni materijal. U drvno-plastomernim kompozitima je uporaba dostigla svoj cilj – od otpada proizvoda kratkoga životnoga vijeka radi se dugovječni proizvod. Drvno-plastomerni kompoziti su proizvodi koji ne zahtijevaju daljnju obradu. Postojani su na vremenske uvjete, vodu i plijesan te se primjenjuju i na otvorenomu prostoru gdje bi samo drvo bilo neprikladno. [2]

### **2.4.1. Prednosti i nedostaci**

Prednosti:

- koriste jeftine i lako nabavljive sirovine,
- cijenom su konkurentni i drvu i plastomerima,
- lako se proizvode primjenom već postojećih tehnika proizvodnje,
- proizvodi mogu biti raznoliki i veličinom i oblikom,

- ne zahtijevaju površinsku zaštitu poput drva,
- smanjena je cijena održavanja u odnosu na drvo,
- mogu se spajati čavlima i obranivati postupcima za obradbu drva

Nedostaci:

- imaju veću gustoću od plastomera i drva,
- cijena montaže je veća u odnosu na drvo,
- za proizvodnju je potrebna veća količina energije u odnosu na drvo,
- niže su čvrstoće u odnosu na drvo

Jedan od razloga razvoja drvno-plastomernih kompozita je ekološko motrište. Pritisци na industriju u pogledu oporablјivosti i održivog razvoja svakodnevno rastu. Zbog toga postoji jasna potreba za produžetkom životnoga vijeka materijala kao što je drvo. Ovakvo iskorištavanje materijala, na koje se gleda kao da je otpad, daje potporu načelima održivoga razvoja. Proizvođačima polimernih materijala jasno je da moraju što manje ovisiti o petrokemijskoj industriji zbog stalnoga rasta cijena nafte. Drvna industrija također ima potrebu povećati iskoristivost resursa i uporabiti otpad koji se neminovno javlja. Dolaskom DPK-a dobrotа iskorištenja drva povećala se za 40 % u odnosu na starije metode uporabe. [2]

DPK pridonosi okolišu i na sljedeće načine:

- ima mali postotak otpada (koji je lako oporablјiv)
- ne sadrži formaldehide ili hlapljive organske sastojke
- oporablјivi je proizvod (može se samljeti te ponovo upotrijebiti)
- kao otpad nije opasan i može se odlagati s ostalim otpadom [2]



Slika 2.11. Granule polietilena, drveno brašno i granula DPK-a [6]

#### 2.4.2. Svojstva i primjena drvno-plastomernih kompozita

Drvno-plastomerni kompoziti su materijali koji, slično kao polimerni materijali, imaju mnogo sastojaka. Osnovnoj mješavini drva i plastomera dodaju se dodaci za poboljšanje preradljivosti i promjenu svojstava proizvoda. Tipična sirovina je fino drveno brašno (veličina čestica 0,25 – 0,5 mm) koja se smješava s plastomerom i dodacima. Drvno-plastomerni kompoziti imaju svojstva obaju materijala. Imaju krutost i čvrstoću između vrijednosti polimera i drva, ali općenito veću gustoću i od drva i od polimera. Svojstva DPK-a izravna su posljedica njegove strukture: oni su prisan spoj čestica drva i plastomera pri čemu plastomer obavija drvo tankim omotačem. Niska higroskopnost DPK-a (upijanje vode od približno 0,7 % u usporedbi sa 17 % ravnotežne mokrine kod jelovine na otvorenomu prostoru u ljetnim mjesecima), izravan je rezultat strukture. Vodu može upiti samo drvo u vanjskomu dijelu koje je u dodiru s okolinom, ali se ne prenosi kroz plastomernu matricu ili se prenosi neznatno. Kao posljedica DPK-i su izrazito postojani na zračnu vlagu, imaju malu promjenu obujma u vodi i ne podliježu napadu kukaca i plijesni. Pigmenti, UV stabilizatori i veziva mogu se dodati u DPK prije preradbe da se poboljšaju određena svojstva. [2]



**Svojstva:**

- dobra krutost i žilavost,
- dimenzijska stabilnost,
- otpornost na trulež i plijesan,
- dobra toplinska svojstva,
- niska higroskopnost

Svojstva DPK-a mogu se prilagoditi zahtjevima proizvoda u uporabi, bilo mijenjajući vrstu drva ili plastomera. DPK bazirani na PE su jeftiniji i mogu se primijeniti pri višim temperaturama nego proizvodi na bazi PVC-a, ali DPK s matricom od PVC-a su pogodniji za završnu obradbu ili bojanje. Također se može promatrati veličina čestica drvnoga brašna, omjer drva i plastomera, postotak veziva i druge tvari koje se može lako promijeniti da bi se ispitao njihov utjecaj na svojstva konačnoga proizvoda. Najčešće se ispituju čvrstoća, bilo savojna ili rastezna, rastezni i savojni moduli, temperatura omekšavanja ili pak dimenzijska stabilnost ovisno o navedenim utjecajima.

**Primjena**

U SAD-u je tržište drvno-plastomernih kompozita krajem prošloga i početkom ovoga stoljeća raslo 100 % godišnje, nešto zbog širenja primjene na nove proizvode, a nešto zbog povećanja potražnje za već postojećim proizvodima. Trenutna primjena DPK-a najveća je u granevinarstvu koje mnogostrano iskorištava svojstva DPK-a. DPK se može koristiti za proizvode u kojima su do sada dominirali drvo ili PVC. [2]

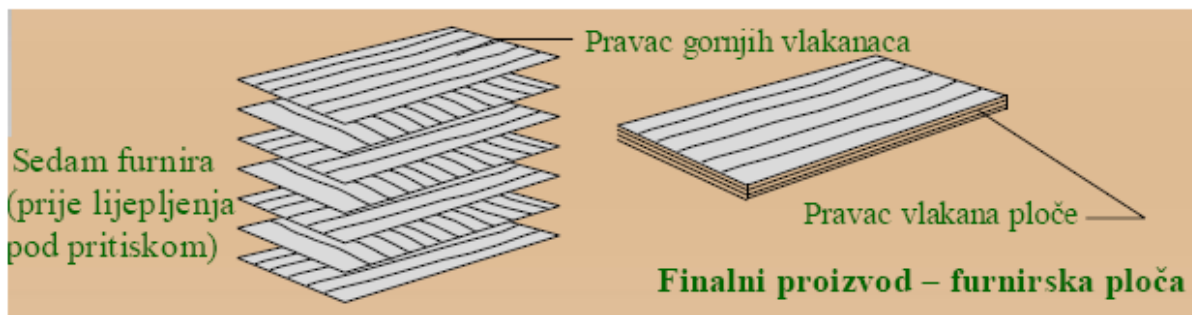
### 3. KOMPOZITNI MATERIJALI NA BAZI DRVA

#### 3.1. Drvene ploče

Drvene ploče su namijenjene za izradu zidnih i stropnih panela, građa za oplata, elemenata za proizvodnju rebara I – profila i sl. Mogu biti ploče iverice, iverice posebnog statusa i načina proizvodnje, ploče vlaknatice i furnirske ploče – poznati proizvodi uključeni i u nove EC normative.

##### 3.1.1. Furnirske ploče (Plywood)

- izrađeni su lijepljenjem furnira pod pritiskom do postignutog oblika,
- vlakanca u furnirima su u suprotnim smjerovima – čvrstoća u dva pravca,
- odabir materijala gornjeg lica ploče uvjetuje konačni izgled (uporaba),
- ljepila moraju zadovoljiti uvjete trajnosti i zaštite okoliša,
- koriste se za panele (dekorativne ili one u sastavu sprega), “platna” – nosive ploče (stropovi, oplata) hrptove složenih presjeka (I – grede, sandučaste grede)



Slika 3.1. Proces dobivanja furnirskih ploča [8]

##### Svojstva:

- visoka mehanička otpornost,
- stabilnost dimenzija za utjecaj vlage,
- fina i zatvorena površina,
- pravilni oblici

### Primjena u graditeljstvu:

- krovni i zidni paneli,
- polaganje i saniranje podova,
- izrada nosača (sastavljeni presjeci)



Slika 3.2. Primjena furnirskih ploča u graditeljstvu [8]

### 3.1.2. Lijepljene ploče s usmjerenim iverjem

To su vlagootporne ploče napravljene od krupnih traka usmjerenog iverja (25x150mm) prešanih visokim tlakom.

#### Svojstva:

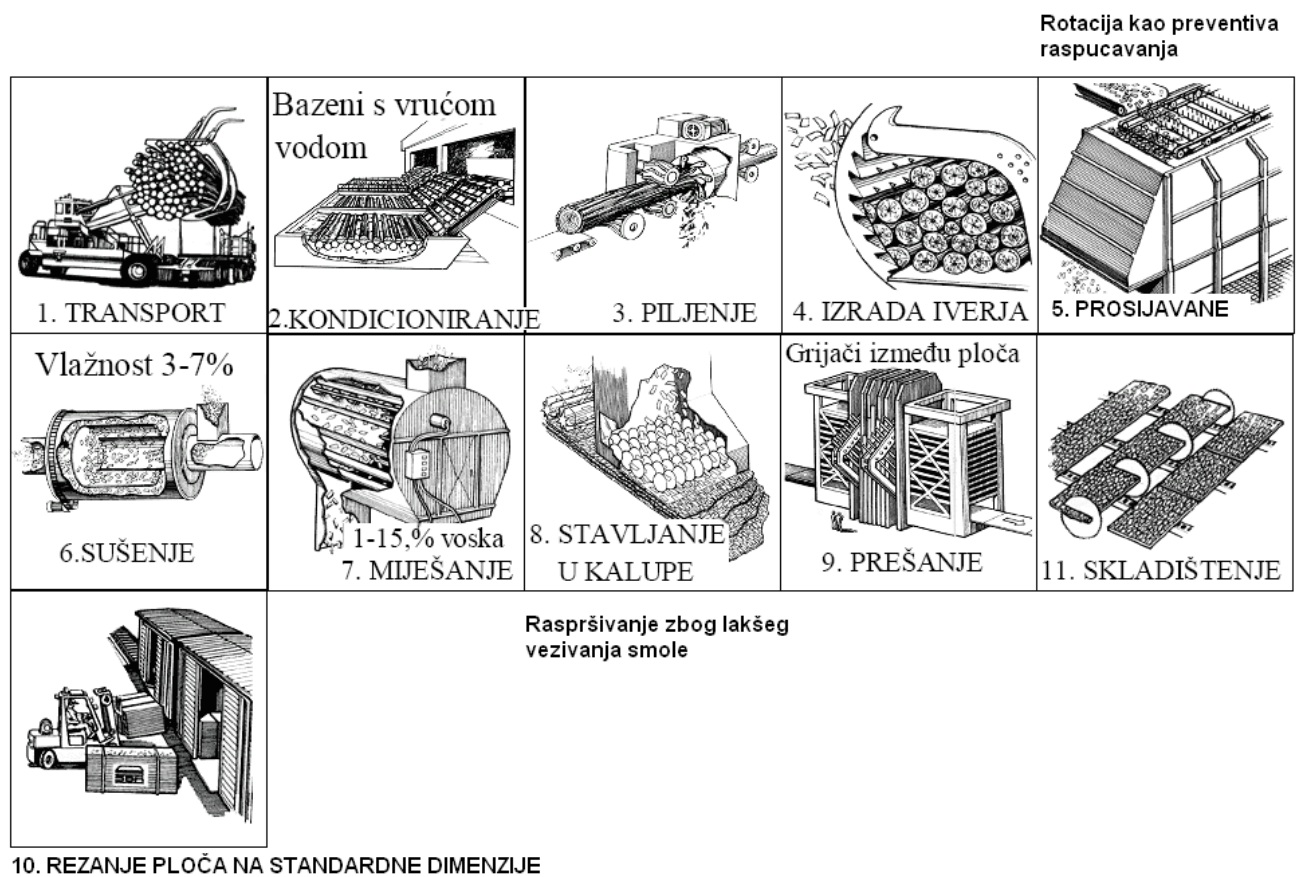
- visoka mehanička otpornost,
- stabilnost dimenzija za utjecaj vlage,
- fina i zatvorena površina,
- pravilni oblici

### Primjena u graditeljstvu:

- krovni i zidni paneli,
- polaganje i saniranje podova,
- oplate za šalovanje,
- izrada nosača (sastavljeni presjeci)

### Proces izrade:

- kondicioniranje drveta,
- rezanje,
- sušenje,
- miješanje,
- oblikovanje,
- finalna obrada i kontrola



Slika 3.3. Proces proizvodnje lijepljenih ploča s usmjerenim iverjem [8]



Slika 3.4. Lijepljene ploče s usmjerenim iverjem kao obloga i vertikalna oplata okvirne konstrukcije drvenih kuća [8]

### **3.2. LVL (Laminated veneer lumber) – tanki lijepljeni laminati furnira**

Drveni materijal od lijepljenih lameliranih furnira. Izrađuju se od tankih slojeva furnira. Veći dio vlakancica furnira usmjeren je u longitudinalnom pravcu (uzdužna os elementa). Mogući su vrlo visoki i dugi elementi. Imaju visoke čvrstoću. [8]

#### **Svojstva:**

- Nosiva su svojstva LVL elemenata ustaljena jer se moguće imperfekcije jednog furnira u nekom poprečnom presjeku minimiziraju nosivim svojstvima svih ostalih furnira istog “paketa” – greške se uklanjaju već pri kontroli furnirskih laminata
- Čvrstoća LVL-a odgovara prosječnoj nosivosti svih furnira uslojenih u jednom proizvodnom paketu, pa LVL nije u tolikoj mjeri osjetljiv na prirodne greške materijala kao što je to piljena građa

- Vatrootpornost LVL elemenata je povećana, a trajnost im je usporediva s trajnošću prirodnog drva
- Tvrdća LVL-a veća je od tvrdoće običnog drva ili lijepljenog lameliranog drva (LLD), ali je čvrstoća LVL-a gotovo dvostruko veća u usporedbi s LLD, a trostruko veća u usporedbi s čvrstoćom piljene građe – osjetno su povećane vrijednosti čvrstoća na savijanje i vlak / tlak u uzdužnom smjeru [8]

### Proizvodnja LVL – a:

- debla se zaparuju u vrućoj vodi 24h,
- građa se reže na duljinu od 2m,
- rotaciono ljuštenje na debljine 3,2 mm,
- kontrola i selekcija te nastavljajanje ploča,
- sušenje ploča toplim zrakom i nanošenje fenolformadelhidnog ljepila,
- prešanje 150 °C



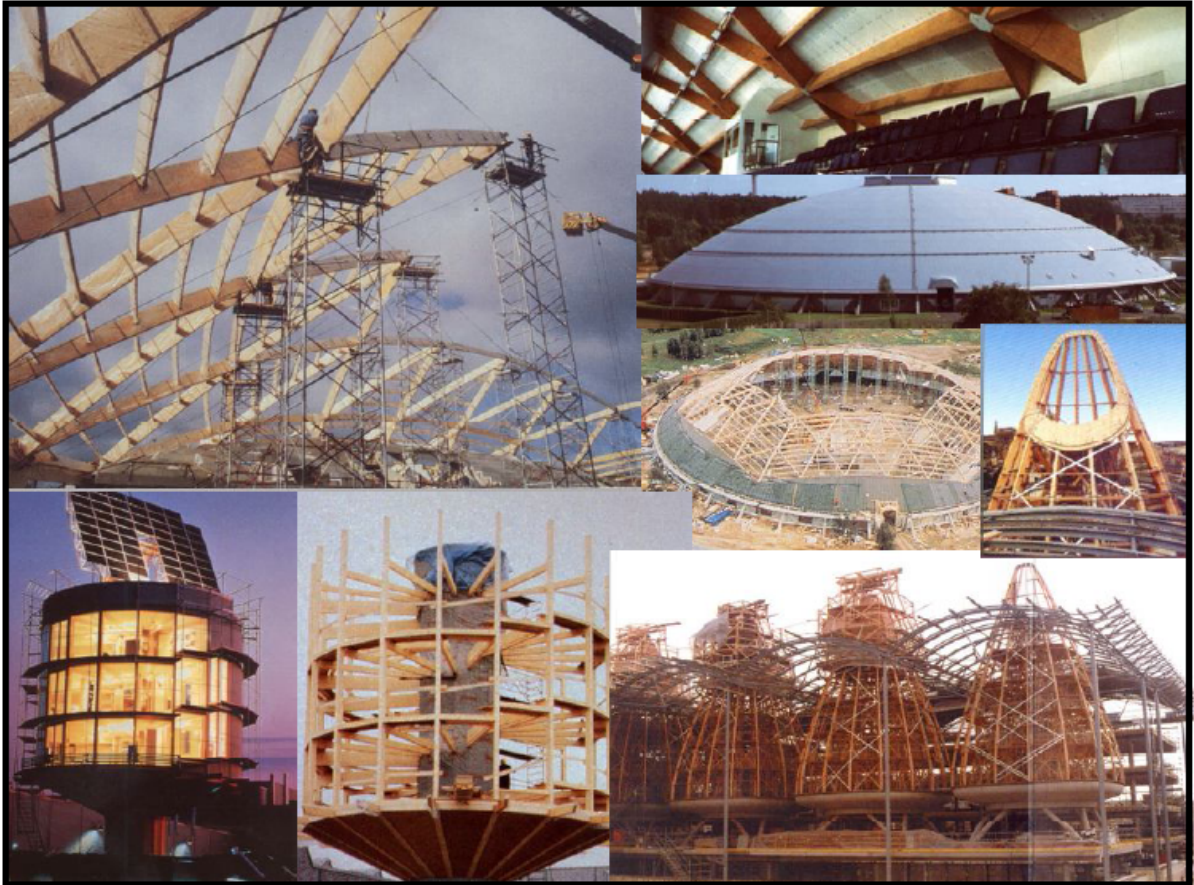
Slika 3.5. Proizvodnja LVL – a [8]



Slika 3.6. Proizvodnja LVL – a [8]

### **Primjena LVL – a u graditeljstvu**

LVL proizvodi mogu biti **pločasti** i **gredni**. Veliku primjenu imaju u novim zgradama, ali i pri sanaciji. Dimenzije pločastih elemenata od LVL-a variraju ovisno o debljini (broj slojeva furnira) – ploče veće debljine i visine presjeka postaju gredni elementi (nosači, stupovi) koji se, zbog svoje velike nosivosti, koriste za veće raspone. LVL je zbog vrlo povoljnog odnosa čvrstoće i vlastite težine, kao i zbog stalnosti dimenzija, iznimno primjenjiv u konstrukcijama kupola i drugih prostornih koncepata. Pločasti elementi LVL-a imaju iznimnu primjenu u proizvodnji (ali i rekonstrukciji) drvenih kuća i rezidencijalnih objekata gdje su posebno djelotvorne u konstrukcijama posmičnih zidova (seizmička otpornost). Koriste se i za oplata, kao i za tipske konstrukcije kolničkih ploča drvenih cestovnih mostova. [8]



Slika 3.7. Primjena LVL – a [8]

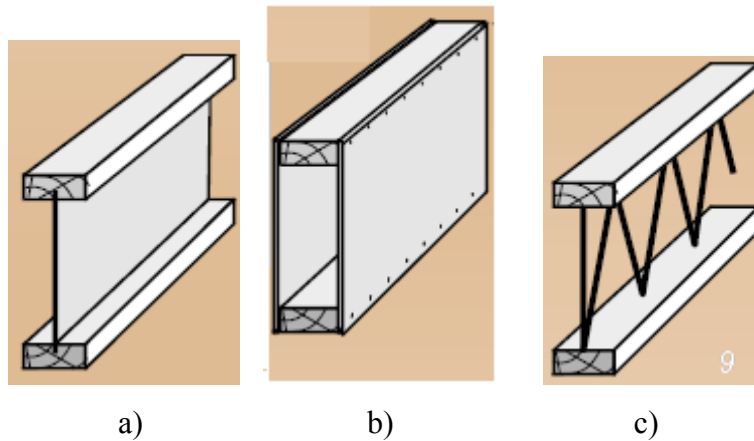
### 3.3. Drugi tvornički proizvodi izrađeni od drva

**I-grede** – drvo/LVL pojasnice, hrptovi od furnirskih ploča, lagani nosači pogodni za srednje raspane stropnih konstrukcija

**Sandučaste grede** – drvo/LVL pojasnice, dva hrpta od furnirskih ploča, nosači pogodni za veće raspane, torziono kruti; mogu se koristiti i kao dekorativni paneli

**Drvene pojasnice i hrbat od čeličnih dijagonala** – lagani nosači, otvoreni hrbat dopušta pristup za servisiranje (hrptovi mogu biti i od laganih cijevi, punih čeličnih profila te korugiranih limova). [8]





Slika 3.8. a) I-greda, b) Sandučaste grede, c) Drvene pojasnice i hrbat od čeličnih dijagonala[8]

Načinom proizvodnje različitih materijala na osnovi drva svojstva početnog materijala mogu se mijenjati i poboljšati. Pojava drvenih pločastih materijala omogućila je prijelaz s drvenih građevinskih elemenata uobičajenog duguljastog oblika štapa na konstrukcijske elementa ravnih površina. Trenutačno je za eksperimentalno dobivene podatke o elastomehaničkim svojstvima brojnih novih materijala na osnovi drva odgovoran isključivo proizvođač (koji je i dužan provesti ispitivanja) u čiju su proizvodnu paletu uključeni. Lijepljeno lamelirano drvo također se može ubrojiti u građevni materijal na osnovi drva jer je prvi korak u proizvodnji LLD – a upravo rezanje drva kao ishodišnog materijala (proizvod piljenja su daske – lamele koje uslojavaju lijepljenjem pod pritiskom, a krajnji proizvod procesa jest novi oblik, ali je zadržan smjer vlaknaca osnovnog materijala). [8]

## 4. EKSPERIMENTALNI RAD

U ovom dijelu rada biti će opisana izrada kompozitnih uzoraka s ojačalom od biljnog podrijetla i ispitivanja njihovih mehaničkih svojstava. Kompoziti se sastoje od poliesterske smole (UP) kao matrice i jute kao prirodnog ojačala. Ovim se je ispitivanjem htjelo pokazati kakvih su svojstava ispitni uzorci koji su ojačani prirodnim vlaknima i njihova usporedba s dosadašnjim korištenim materijalima. Kompoziti koji su ojačani prirodnim vlaknima se u današnje vrijeme upotrebljavaju zato što su jeftiniji, manje zagađuju okoliš, lakše se razgrađuju i recikliraju, ne ovise o oskudnim resursima, potrebno je puno manje energije za njihovu proizvodnju a osim toga praktični su u usporedbi s ostalim materijalima.

### 4.1. Izrada kompozitnih uzoraka

Pri izradi kompozitnih ploča koristila se je UP smola kao matrica i juta kao prirodno ojačalo. Postupak je rađen ručno u kalupu. Postupak se sastojao od nekoliko koraka. Prvi korak je bio izrezivanje jute na osam slojeva dimenzija koje su jednake dimenzijama kalupa i priprema UP smole.



Slika 4.1. Kalup za ručnu izradu kompozita



Slika 4.2. Izrezani slojevi jute



Slika 4.3. Poliesterska smola i dodaci

Drugi korak se je sastojao od mjerenja mase slojeva i priprema UP smole. Kad su se slojevi izvicali i smola dovoljno promiješala s dodacima slijedilo je izrađivanje kompozitnih ploča. Masa slojeva za 1. ploču je iznosila 58,6 g a za 2. ploču 59,3 g.



Slika 4.4 Mjerenje mase slojeva jute



Slika 4.5. Priprema UP smole

Kompozitne ploče su se izrađivale ručno u kalupu. Prvo se je stavio sloj jute, zatim se je nanijela UP smola pomoću kista, pa se je opet stavio sloj jute, pa se je opet nanijela smola i tako se je postupak ponavljao dok se nisu stavila sva četiri sloja jute.



Slika 4.6. Stavljanje sloja jute



Slika 4.7. Nanošenje UP smole

Kada se je na zadnji odnosno četvrti sloj jute nanijela UP smola, na tako složene slojeve se stavlja staklo na koje se stavljaju utezi pomoću kojih će slojevi očvrnuti. Isti postupak radi se i sa drugom pločom. Kompozitne ploče se ostavljaju jedan do dva dana da se osuše.



Slika 4.8. Stavljanje stakla na slojeve jute



Slika 4.9. Stavljanje utega na kompozitnu ploču



4.10. Gotove kompozitne ploče

Masa prve kompozitne ploče iznosi 240 g, a druge 307 g. iz razloga što se je na drugu ploču nanijelo više UP smole u odnosu na prvu ploču. Kad su se napravile ploče slijedi izrada uzoraka (epruveta) za ispitivanje mehaničkih svojstava. Uzorci su se rezali na stroju za rezanje i ručnom pilom. Kada su se izrezali trebalo ih je brusiti brusnim papirom kako bi dobili odgovarajuće dimenzije za slijedeća ispitivanja. Na kraju su se uzorci sušili u termostatu 40 min na temperaturi 60 °C.



Slika 4.11. Sušenje uzoraka u termostatu



Slika 4.12. Rezanje uzoraka iz kompozitnih ploča



Slika 4.13. Rezanje uzoraka ručnom pilom



## 4.2. Ispitivanje mehaničkih svojstava

Nakon izrade uzoraka slijede mehanička ispitivanja. Ispitivat će se vlačna čvrstoća, savojna čvrstoća, modul elastičnosti, žilavost i temperaturna postojanost oblika odnosno toplinsko mehaničko svojstvo duromera (UP smole). Ispitivanja su se izvodila u Laboratoriju za nemetale Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu.

### 4.2.1. Ispitivanje vlačne čvrstoće

Ispitivanje se je izvodilo na kidalici prema normi ISO 527 – 2. Prvo se je uzorak stavio u čeljusti kidalice gdje se je stegnuo. Zatim se je mjerila maksimalna sila u odnosu na površinu presjeka uzorka. Uzorak se je ispitivao sve dok nije došlo do njegovog loma. Na slici 4.15. prikazano je ispitivanje uzorka, a na slici 4.16. prikazan je presjek uzorka nakon ispitivanja. Rezultati ispitivanja prikazani su u tablici 5.



Slika 4.14. Uzorci za ispitivanje



Slika 4.15. Ispitivanje uzoraka na kidalici



Slika 4.16. Presjek uzorka nakon ispitivanja vlačne čvrstoće

Vlačna čvrstoća se računa prema jednadžbi:

$$R_m = \frac{F_{\max}}{b \cdot h} \quad (1)$$

Gdje su:

$R_m$  – vlačna čvrstoća, N/mm<sup>2</sup>

$F_{\max}$  – maksimalna sila, N

$b$  – širina uzorka, mm

$h$  – debljina uzorka mm

Tablica 4. Prikaz dimenzija uzoraka, najvećih sila opterećenja i čvrstoća

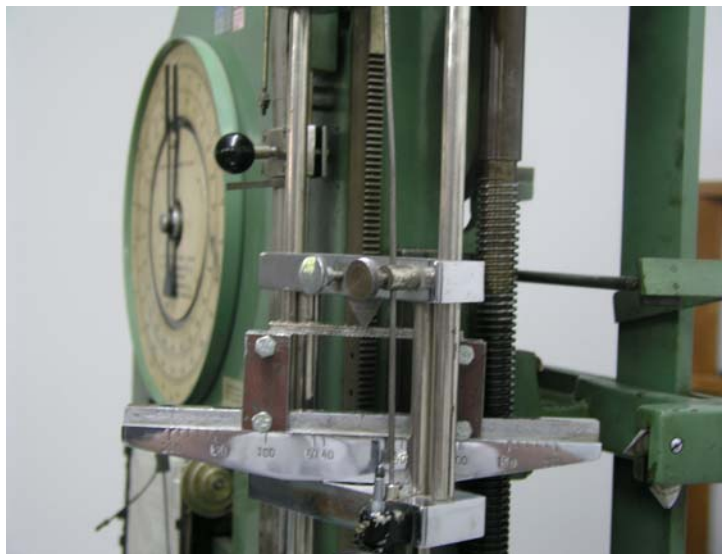
Redni broj	$h$ , mm	$b$ , mm	$F_{\max}$ , N	$R_m$ , N/mm <sup>2</sup>
1	5,2	15,3	1680	21,1
2	4,7	15,4	1460	20,1
3	5,1	15,4	1700	21,6
4	5,2	15,3	1460	18,3
5	5,3	15,3	1740	21,4
6	4,7	15,4	1420	19,61
$\bar{x}$	5	15,3	1576	20,4

Opaska:

Modul elastičnosti se nije mogao izračunati zbog toga što nije došlo do produljenja ispitnog uzorka. To se može objasniti svojstvima materijala ojačala koje je prilikom opterećenja uslijed maksimalne sile puklo bez deformiranja što ukazuje na krhkost materijala.

#### 4.2.2. Ispitivanje savojne čvrstoće

Trotočkasto ispitivanje savojne čvrstoće izvodilo se je na kidalici prema ISO 14125 normi. Širina ispitnog uzorka iznosi 15,3 mm dok debljina iznosi 4,84 mm. Razmak između oslonaca  $L$  je određen normom i iznosi 77,4 mm. Uzorak je postavljen na 2 oslonca i opterećen je silom po sredini. Za svaki uzorak mjerio se odgovarajući progib za sile opterećivanja u rasponu od 6 N do 96 N u koracima od 6 N. Nakon toga uzorak se nastavio opterećivati sve dok nije došlo do loma pri maksimalnoj sili. Slika 4.17. prikazuje trotočkasto savijanje uzorka. Tablica 6. prikazuje rezultate ispitivanja savojne čvrstoće i modula savitljivosti.



Slika 4.17. Trotočkasto savijanje uzorka



Slika 4.18. Uzorci nakon ispitivanja

Savojna čvrstoća računa se prema jednadžbi:

$$R_{ms} = \frac{3 \cdot F_{max} \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2} \quad (2)$$

Gdje su:

$R_{ms}$ - savojna čvrstoća, N/mm<sup>2</sup>

$F_{max}$  – sila opterećenja, N

$L$  – razmak između oslonaca, mm

$b$  – širina ispitnog tijela, mm

$h$  – visina ispitnog tijela, mm

Modul savitljivosti računa se prema jednadžbi:

$$E_s = \frac{F_{max} \cdot L \cdot 3}{4 \cdot f \cdot b \cdot h^3} \quad (3)$$

Gdje su:

$E_s$  - modul savitljivosti, N/mm<sup>2</sup>

$f$  – progib ispitnog tijela, mm

$F/f$  – koeficijent smjera pravca, N/mm

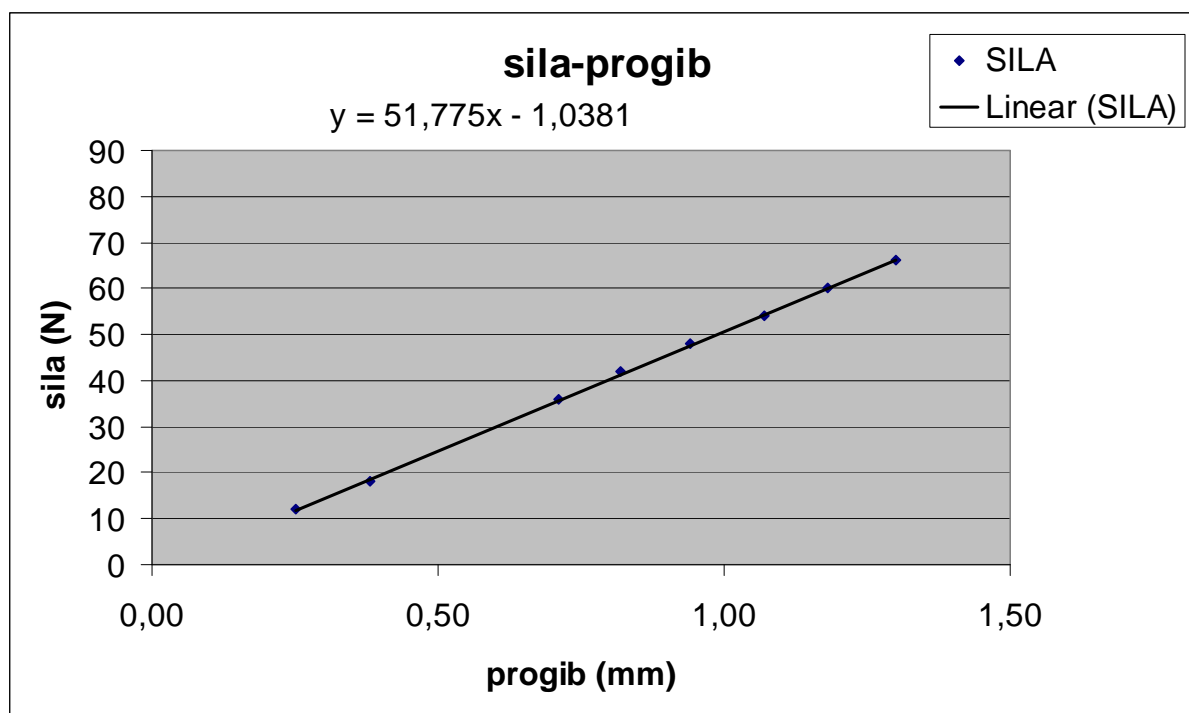
Tablica 5. Prikaz rezultata ispitivanja savojne čvrstoće i modula savitljivosti

Redni broj	$h$ , mm	$b$ , mm	$F/f$ , N/mm	$L$ , mm	$E_s$ , N/mm <sup>2</sup>	$R_{ms}$ , N/mm <sup>2</sup>	$F_{max}$ , N
1	5,1	15,3	51,005	77,4	2917,7	46,1	158
2	4,6	15,3	45,463	77,4	3544,3	59,6	166
3	4,8	15,2	50,075	77,4	3458,5	49,8	150
4	4,6	15,4	45,14	77,4	3496,3	41,4	116
5	5,1	15,2	56,75	77,4	3267,7	50,5	172
$\bar{x}$	4,84	15,3	49,68	77,4	3336,9	49,5	152,4

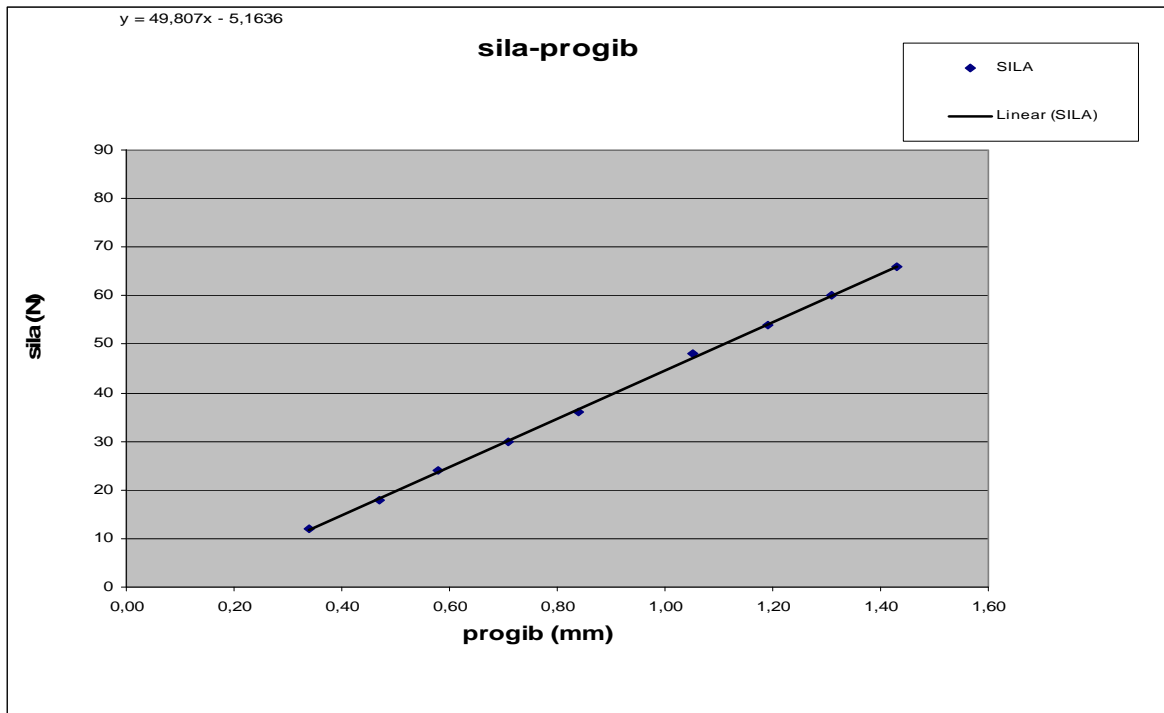
Tablica 6. Prikaz rezultata mjerenja modula savitljivosti polimernog kompozita ojačanog bambusovim vlaknima [9]

Redni broj	$h$ (cm)	$b$ (cm)	$F/f$	$L$ [cm]	$E_s$ [kN/mm <sup>2</sup> ]	$F_{\max}$
1	9,9	15,24	35,791	18,5	3,831	100
2	9,9	15,22	117,721	18,5	12,618	186
3	9,2	15,33	29,885	18,5	3,963	130
4	9,4	15,2	55,118	18,5	6,911	210
5	9,6	15,34	70,627	18,5	8,237	214
					$\Sigma=7,112$	

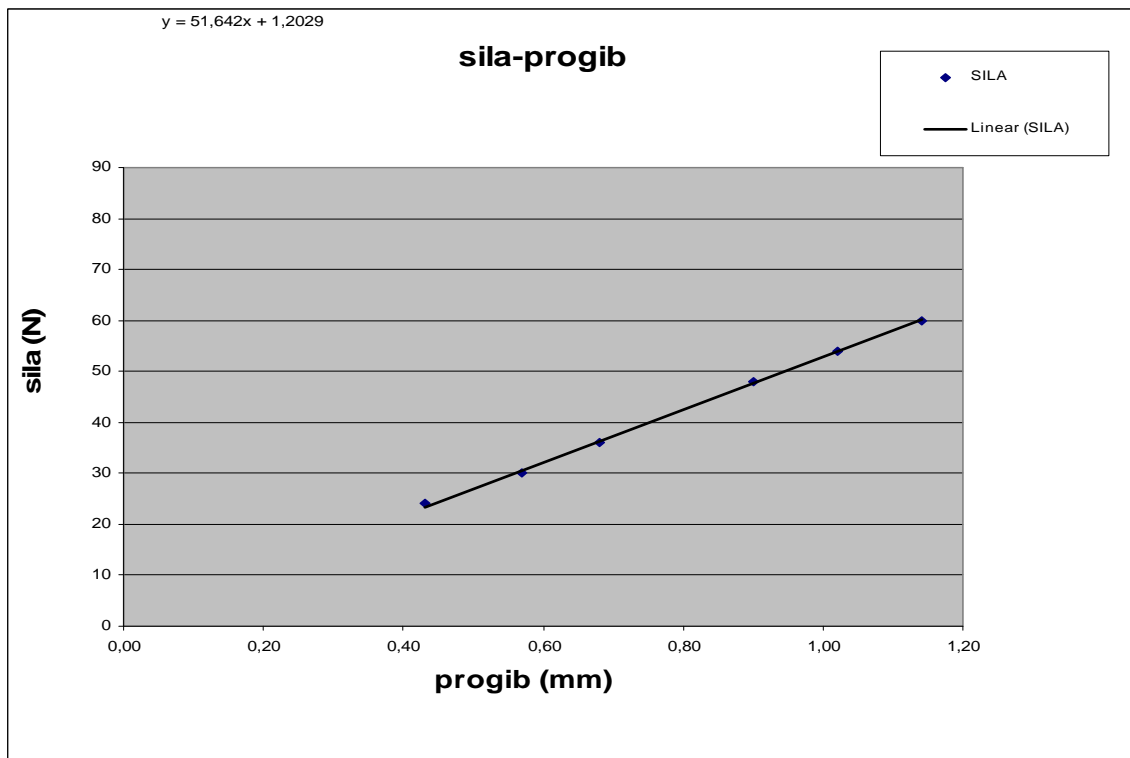
Uspoređujući rezultate ispitivanja modula savitljivosti polimernog kompozita ojačanog jutom i polimernog kompozita ojačanog bambusovim vlaknima ustanovilo se je da polimerni kompozit ojačan jutom ima lošija svojstva u odnosu na kompozit ojačan bambusovim vlaknima. Ovo je moguće objasniti svojstvima vlakana bambusa koje mogu izdržati veće sile od vlakana jute, ali i brojem vlakana u kompozitu koji je bio puno veći od vlakana jute, uključujući i neravnomjerno nanijetu UP smolu. Mogući je razlog tome što se je stavilo manje slojeva jute u kompozit ili što se je neravnomjerno nanijela UP smola.



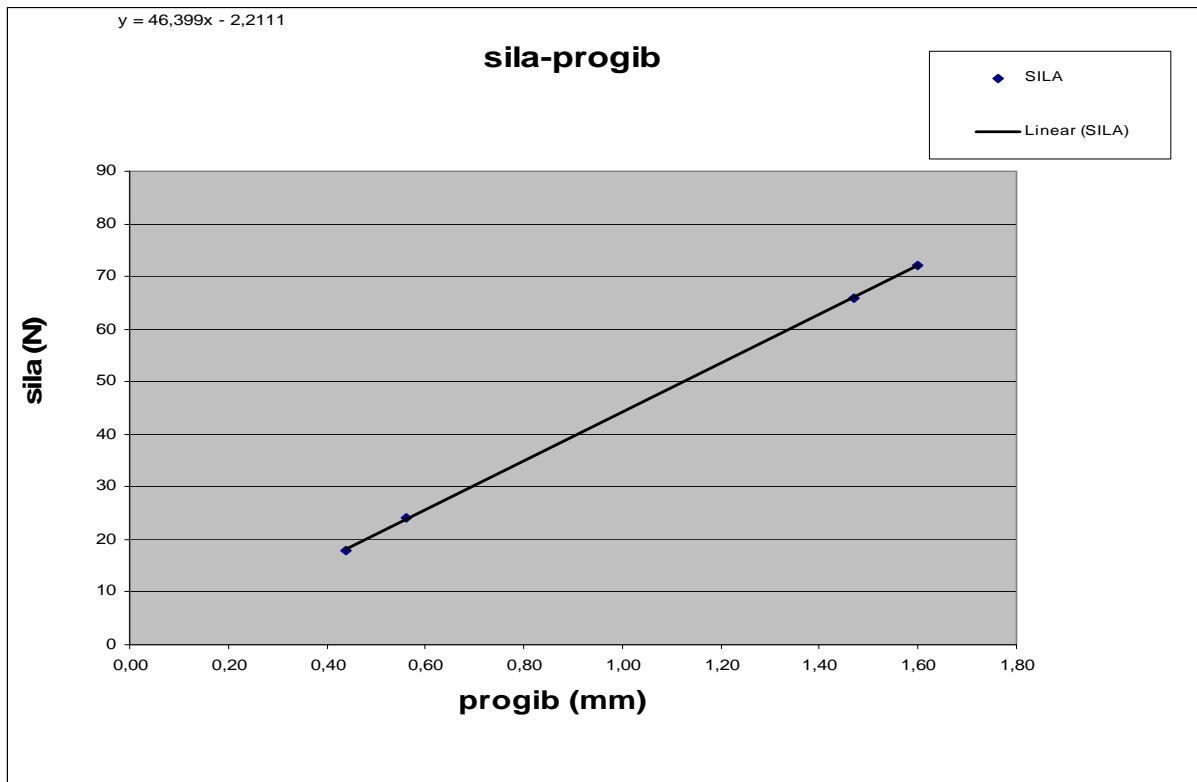
Slika 4.19. Dijagram ovisnosti sile o progibu ispitnog uzorka br. 1



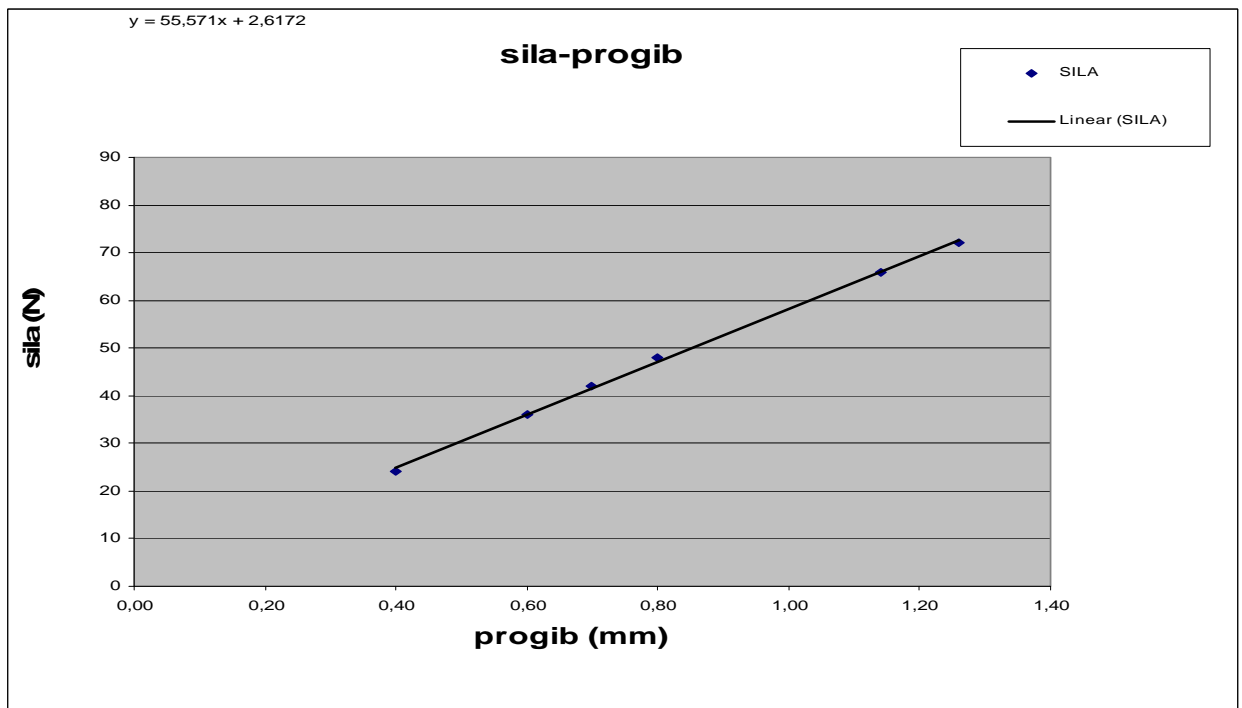
Slika 4.20. Dijagram ovisnosti sile o progibu ispitnog uzorka br. 2



Slika 4.21. Dijagram ovisnosti sile o progibu ispitnog uzorka br. 3



Slika 4.22. Dijagram ovisnosti sile o progibu ispitnog uzorka br. 4

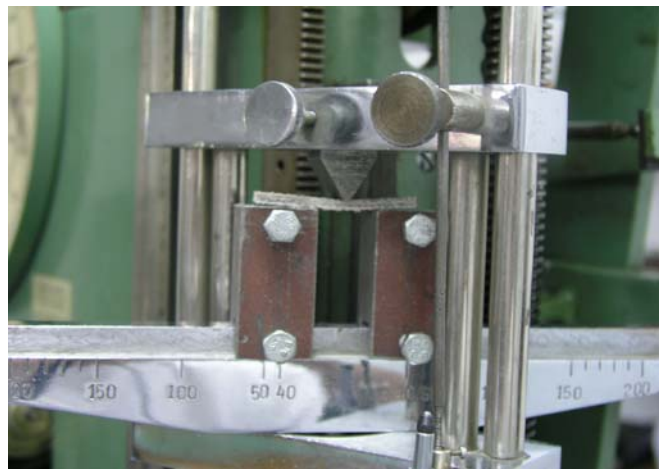


Slika 4.23. Dijagram ovisnosti sile o progibu ispitnog uzorka br. 5



### 4.2.3. Ispitivanje međuslojne čvrstoće

Ispitivanje se provodi prema normi ISO 14130 na kidalici. Uzorak se ispituje metodom savijanja na 3 točke. Debljina  $h$  iznosi 3,63 mm a širina  $b$  iznosi 9,85 mm. Razmak između uzoraka  $L$  je određen normom i iznosi 18,5 mm. Uzorak se postavi na 2 oslonca i opterećuje se silom po sredini. Trajanje ispitivanja je bilo ograničeno lomom uzorka. Slika 4.24. prikazuje ispitivanje međuslojne čvrstoće, a slika 4.25. uzorke nakon ispitivanja. U tablici 7. prikazani su rezultati ispitivanja.



Slika 4.24. Ispitivanje međuslojne čvrstoće uzorka



Slika 4.25. Uzorci nakon ispitivanja

Međuslojna čvrstoća se računa prema jednadžbi:

$$\tau = \frac{3 \cdot F_{\max}}{4 \cdot b \cdot h} \quad (4)$$

Gdje su:

$\tau$  – međuslojna čvrstoća, N/mm<sup>2</sup>

$F_{\max}$  - opterećenje pri lomu, N

$b$  – širina uzorka, mm

$h$  – debljina uzorka, mm

Tablica 7. Rezultati ispitivanja međuslojne čvrstoće

Redni broj	$h$ , mm	$b$ , mm	$F_{\max}$ , N	$\tau$ , N/mm <sup>2</sup>
1	3,60	10,40	342	6,85
2	3,70	10,30	354	6,97
3	3,60	8,50	298	7,30
4	3,70	9,80	270	6,16
5	3,70	9,80	298	6,58
6	3,50	10,30	270	5,62
$\bar{x}$	3,63	9,85	305,3	6,58

Rezultati prikazani u tablici 8. pokazuju da polimerni kompozit ojačan jutom ima slabiju međuslojnu čvrstoću u odnosu na ostale kompozitne materijale kao što su polimerni kompoziti ojačani staklenim ili bambusovim vlaknima. Objašnjenje su za to lošija mehanička svojstva jute u odnosu na druga usporedna ojačala, što upućuje da bi za postizanje sličnih svojstava bio potreban puno veći broj vlakana jute nego bambusovih i staklenih vlakana.

#### 4.2.4. Ispitivanje žilavosti

Ispitivanje se je izvodilo na Charpy – evom batu prema normi ISO 179 – 1. Debljina uzorka  $h$  iznosi 4,4 mm a širina  $b$  9,94 mm. Razmak između oslonaca  $L$  je zadan normom i iznosi 62 mm. Uzorak se postavi na oslonce. Zatim se spušta bat sa određene visine koji udara u epruvetu i lomi je. Mjera za žilavost je količina energije, izražena u Joulima (J),

koja je potrebna da se epruveta prelomi uslijed udarca, a udarna radnja loma računa se prema izrazu:

$$A = \frac{E}{b \cdot h} \quad \text{J/mm}^2 \quad (5)$$

Gdje je:

$E$  - energija loma, J

$h$  - debljina epruvete, mm

$b$  - širina epruvete, mm



Slika 4.26. Charpy – ev bat



Slika 4.27. Uzorci nakon ispitivanja žilavosti

Tablica 8. Iznosi energije loma, udarne radnje loma i veličine poprečnih presjeka uzoraka

Redni broj	$b$ , mm	$h$ , mm	$L$ , mm	Energija loma, J	Udarne radnja loma, J/mm <sup>2</sup>
1	10,1	3,6	62	0,428	0,0117
2	10,2	5,6	62	0,326	0,00570
3	10,2	5,3	62	0,367	0,00678
4	9,7	3,7	62	0,407	0,01136
5	9,5	3,8	62	0,346	0,009603
6	9,6	3,7	62	0,377	0,01062
$\bar{x}$	9,8	4,28	62	0,375	0,00894

Tablica 9. Rezultati ispitivanja žilavosti polimernog kompozita ojačanog bambusovim vlaknima [9]

Redni broj epruvete	Dimenzije epruvete [mm]			Udarne radnja loma	
	b	h	l	kp	J/mm <sup>2</sup> (*)
C1	10,1	8,02	80	1,8	
C2	10,2	8,2	80	1,1	
C3	9,88	8,16	80	4,0	0,0392
C4	9,54	8,04	80	4,1	0,0402
C5	9,82	8,1	80	8,0	
C6	9,98	8,07	80	5,9	0,0579
C7	9,91	8,2	80	4,1	0,0402
C8	9,96	7,98	80	9,5	
C9	9,95	7,97	80	2,6	0,0255

\* 1 J = 9,80665 kp/m

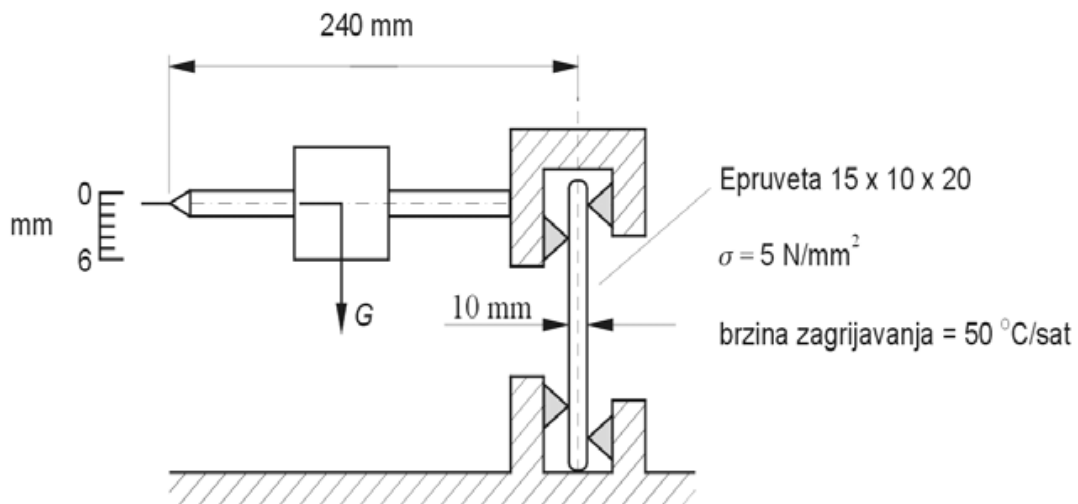
Tablica 10. Ploča 1: Mat stakleni 300g/ m<sup>2</sup>, 4x Češka, smola tix- scot bader (CHROMOS) [9]

Ep	a [mm]	b [mm]	L [mm]	[J]	[J/mm <sup>2</sup> ]
1	10,50	3,00	62	2,76	0,088
2	10,50	3,10	62	2,83	0,087
3	10,50	2,80	62	3,13	0,106
4	10,50	2,80	62	2,35	0,080
5	10,50	2,90	62	2,65	0,087

Uspoređujući rezultate ispitivanja žilavosti polimernog kompozita ojačanog jutom, polimernog kompozita ojačanog bambusovim vlaknima i polimernog kompozita ojačanog staklenim vlaknima uspostavilo se da kompozit ojačan jutom ima slabiju žilavost što se objašnjava slabijim duktilnim svojstvima jute, ali i većim dimenzijama (promjerom) vlakana bambusa i vlakana e – stakla.

#### 4.2.5. Ispitivanje temperaturne postojanosti oblika

Ispitni uzorci (epruvete) koji imaju dimenzije propisane normom opterećuju se u uređaju za ispitivanje toplinskih – mehaničkih svojstava prema normi DIM 53462. Uzorci su opterećeni na savijanje i kao postojanost oblika pri povišenoj temperaturi uzima se ona temperatura kod koje se krak poluge spustio za 6 mm. Zatim se računa prosječna temperatura. Ispitivanje se provodi konstantnim porastom temperature odnosno brzinom zagrijavanja koja iznosi 50 °C/sat.



Slika 4.28. Određivanje temperature postojanosti oblika po Martensu [10]



Slika 4.29. Uređaj za ispitivanje toplinskih – mehaničkih svojstava duromera po Martensu

Tablica 11. Temperature postojanosti oblika polimernog kompozita ojačanog vlaknima jute

Broj uzoraka	Temperatura 1 °C	Temperatura 2 °C
1	62	61
2	67	62
3	69	63
$\bar{x}$	66	62

Rezultati iz tablice 12. prikazuju da se polimerni kompoziti ojačani jutom smiju koristiti u ograničenim temperaturnim područjima. Razlog tome je ako bi se prekoračila temperatura veća od dopuštene, polimerna matrica (UP smola) bi se omekšala te bi kompoziti izgubili postojanost oblika i počeli bi se deformirati.

## 5. ZAKLJUČAK

Polimerni kompoziti ojačanim prirodnim vlaknima su se počeli primjenjivati nedavno. Prvi je imao ideju Henry Ford odnosno inženjeri koji su htjeli upotrijebiti prirodne materijale kao ojačala u kompozitima za izradu automobilskih dijelova. Prednosti takvih materijala su što ne zagađuju okoliš, jeftiniji su, ne ovise o oskudnim resursima, daju se lako reciklirati i prerađivati, moguće ih se kombinirati s drugim materijalima, lako su dostupni, imaju dobra mehanička svojstva i dr.. Nedostaci su im što nisu otporni na vlagu odnosno higroskopnost, na visoke temperature i slično. Primjenjuju se u automobilskoj industriji, u građevinarstvu, industriji polimera, za izradu raznih sportskih rekvizita. Proizvode se različitim postupcima, npr. smješavanjem, ekstrudiranjem, kalandriranjem, pultrudiranjem, injekcijskim prešanjem.

U radu napravljeni su kompozitni uzorci sa poliesterskom (UP) smolom kao matricom i ojačalom od vlakana jute s ciljem ispitivanja mehaničkih svojstava. Izvodila su se slijedeća ispitivanja: vlačno ispitivanje, ispitivanje savojne i međuslojne čvrstoće, ispitivanje modula savitljivosti, ispitivanje žilavosti i ispitivanje temperaturne postojanosti oblika. Prilikom ispitivanja vlačne čvrstoće, modul elastičnosti se nije mogao izračunati zbog toga što nije došlo do produljenja ispitnog uzorka, što pokazuje na krhkost ojačala (jute). Rezultati su pokazali da bi se takav kompozit mogao koristiti pri silama do 1700 N. Nakon ispitivanja savojne čvrstoće i modula savitljivosti te uspoređujući sa kompozitom ojačanog vlaknima bambusa, ustanovilo se je da vlakna bambusa mogu izdržati veće sile u odnosu na vlakna jute. Rezultati ispitivanja međuslojne čvrstoće pokazuju da juta kao ojačalo ima slabija mehanička svojstva u odnosu na vlakna e – stakla i vlakna bambusa. Primjena ispitanog kompozita moguća je do opterećenja silom do 300 N. Ispitivanje udarne radnje ukazuje da juta ima slabiju duktilnost ali i manje dimenzije (promjer) vlakana. Prilikom ispitivanja temperaturne postojanosti oblika pokazalo se je da se matrica (UP smola) deformira pri temperaturama do 60 °C što ograničava upotrebu kompozita do tih temperaturama. Analizirajući rezultate ispitivanja mehaničkih svojstava kompozita može se zaključiti da je moguća primjena proizvoda načinjenih od ovog kompozita na temperaturama do 60 °C i za vlačna opterećenja ne veća od 1700 N, te opterećenja na savijanje do 300 N. Ako bi se željelo koristiti kompozite i za veća opterećenja bilo bi potrebno povećati broj vlakana ojačala. Primjena na višim temperaturama iziskuje promjenu materijala matrice Ovakva vrsta kompozita se može primjenjivati u različitim granama industrije, u brodogradnji, strojarstvu, građevinarstvu i sl.

## LITERATURA

- [1] Filetin, T., Kovačiček, F., Indof, J.: Svojstva i primjena materijala, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2007.
- [2] Maja Rujnić-Sokele, Mladen Šercer, Božo Bujanić, *Utjecaj recikliranja na mehanička svojstva drvno-plastomernog kompozita*, Polimeri 25(2004), 1-2, 12-19
- [3] Tomislav Filetin: Materijali i tehnologijski razvoj, Zagreb, 2002.
- [4] Branka Andričić : Priručnik, Prirodni polimerni materijali, Sveučilište u Splitu, Split, 2008.
- [5] [www.fao.org/es/esc/common/ecg/554/.../Natural\\_Fibre\\_Composites\\_vF.pdf](http://www.fao.org/es/esc/common/ecg/554/.../Natural_Fibre_Composites_vF.pdf)
- [6] Martina Sokolić: Diplomski rad, Određivanje utjecaja djelovanja medija; destilirane i morske vode, na drvno-polimerni kompozit, FSB, Zagreb, 2009.
- [7] JEC Composites Magazine , No 37 , December 2007.
- [8] <http://www.gradri.hr/adminmax/files/class/Materijali%20na%20osnovi%20drva.pdf>
- [9] Krajinović Mario, Seminarski rad iz kolegija Napredne tehnologije materijala, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2009/2010.
- [10] Tomislav Filetin, Franjo Cajner, Đurđica Španiček, Krešimir Grilec, Materijali 2, podloge za vježbe, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2009/2010.