

# Mogućnost primjene jednogodišnjih izbojaka drva voćkarica kao punila za drvno-plastične kompozite

---

Šlegl, Mihaela

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Forestry / Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:108:635709>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-30**



Repository / Repozitorij:

[University of Zagreb Faculty of Forestry and Wood Technology](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
ŠUMARSKI FAKULTET  
DRVNOTEHNOLOŠKI ODSJEK**

**PREDDIPLOMSKI STUDIJ  
DRVNA TEHNOLOGIJA**

**MIHAELA ŠLEGL**

**MOGUĆNOST PRIMJENE JEDNOGODIŠNJIH IZBOJAKA DRVA  
VOČKARICA KAO PUNILA ZA DRVNO-PLASTIČNE KOMPOZITE**

**ZAVRŠNI RAD**

**ZAGREB, RUJAN 2020.**

## PODACI O ZAVRŠNOM RADU


<b>AUTOR:</b>	Mihaela Šlegl 24.10.1998., Bjelovar 0068232559
<b>NASLOV:</b>	Mogućnost primjene jednogodišnjih izbojaka drva voćkarica kao punila za drvno-plastične kompozite
<b>TITLE:</b>	Possibility of using one-year shoots of fruit trees as fillers for wood-plastic composites
<b>PREDMET:</b>	Ploče od usitnjenog drva
<b>MENTOR:</b>	Doc. dr. sc. Nikola Španić
<b>IZRADU RADA JE POMOGAO:</b>	-
<b>RAD JE IZRAĐEN:</b>	Sveučilište u Zagrebu - Šumarski fakultet Zavod za tehnologije materijala
<b>AKAD. GOD.:</b>	2019./2020.
<b>DATUM OBRANE:</b>	04.09.2020.
<b>RAD SADRŽI:</b>	Stranica: 26 Slika: 23 Tablica: 10 Navoda literature: 4
<b>SAŽETAK:</b>	<p>U ovom završnom radu ispitana je mogućnost izrade drvno-plastičnih kompozita uslojavanjem primjenom, za tu namjenu, neuobičajene drvne, točnije jednogodišnjih izbojaka drva voćkarica. U radu je opisan postupak pripreme sirovine, proces izrade kompozita i navedeni su rezultati ispitivanja njihovih fizikalno-mehaničkih svojstava. Rezultati ovog istraživanja pokazali su da se metodom uslojavanja mogu proizvesti kompoziti izrazito dobrih fizikalnih i mehaničkih svojstava. Osim toga, razvidno je kako na fizikalna svojstva prvenstveno utječe granulacija čestica punila. Nadalje, istraživanje je dokazalo kako furnir kao materijal za oplemenjivanje ponajprije utječe na mehanička svojstva kompozitnog materijala.</p>

## **PREDGOVOR**

Prvenstveno zahvaljujem mentoru doc. dr. sc. Nikoli Španiću na posvećenom vremenu, pomoći u eksperimentalnom radu te savjetovanju u izvršavanju ovog završnog rada.

Također, veliku zahvalu posvećujem svojoj obitelji, dečku i prijateljima koji su vjerovali u mene, ohrabivali me i poticali.

*Autorica*

	<b>IZJAVA</b>  <b>O IZVORNOSTI RADA</b>	<b>OB ŠF 05 07</b>
		Revizija: 1
		Datum: 04.09.2020.

„Izjavljujem da je moj *završni rad* izvorni rezultat mojega rada te da se u izradi istoga nisam koristila drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni“.

---

*vlastoručni potpis*

*Mihaela Šlegl*

U Zagrebu, 04. rujna 2020.

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>2. CILJ RADA</b> .....	2
<b>3. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA</b> .....	3
<b>3.1. Lagane drvno-plastične kompozitne ploče: mogućnost proizvodnje i svojstva</b> ....	3
<b>3.2. Utjecaj različitih vrsta materijala za oblaganje na svojstva ravnih prešanih drvno-plastičnih kompozitnih ploča</b> .....	3
<b>3.3. Karakterizacija mehaničkih svojstava polimera ojačanih vlaknima drvno-plastičnog kompozita izrađenog primjenom kontinuirane preše s dva remena</b> .....	4
<b>4. MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA</b> .....	5
<b>4.1. Osnovna sirovina</b> .....	5
<b>4.2. Izrada drvno-plastičnih kompozita</b> .....	6
<b>4.3. Karakterizacija kompozita</b> .....	9
<b>4.3.1. Određivanje fizikalnih svojstva</b> .....	10
4.3.1.1. Određivanje gustoće .....	11
4.3.1.2. Određivanje sadržaja vode.....	11
4.3.1.3. Određivanje debljinskog bubrenja, apsolutnog i relativnog upijanja vode.....	12
<b>4.3.2. Određivanje mehaničkih svojstava</b> .....	13
4.3.2.1. Određivanje savojne čvrstoće .....	13
4.3.2.2. Određivanje modula elastičnosti savojne čvrstoće.....	14
<b>5. REZULTATI I DISKUSIJA</b> .....	15
<b>5.1. Debljina</b> .....	15
<b>5.2. Gustoća</b> .....	16
<b>5.4. Debljinsko bubrenje</b> .....	18
<b>5.5. Apsolutno upijanje vode</b> .....	19
<b>5.6. Relativno upijanje vode</b> .....	20
<b>5.7. Savojna čvrstoća, paralelno</b> .....	21
<b>5.8. Savojna čvrstoća, okomito</b> .....	22
<b>5.9. Modul elastičnosti savojne čvrstoće, paralelno</b> .....	23

<b>5.10. Modul elastičnosti savojne čvrstoće, okomito .....</b>	<b>24</b>
<b>6. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>25</b>
<b>7. LITERATURA .....</b>	<b>26</b>

## 1. UVOD

Drvno-plastični kompoziti (WPC, od engl. Wood plastic composites) su univerzalni materijali s visokim modulom elastičnosti i visokim modulom loma, a otporni su i na vodu. Iz tog razloga, mogu se koristiti u raznim gospodarskim sektorima te se mogu proizvesti različitim metodama poput ekstrudiranja, injekcijskog i kompresijskog prešanja (Klyosov, 2007). Djelomično zapostavljen način izrade kompozita je i onaj uslojavanjem, kod kojeg se koriste principi izrade gotovo identični onima kod proizvodnje furnirskih ploča. Na taj se način mogu proizvesti kompoziti koji su ujedno i površinski oplemenjeni prirodnim i/ili sintetskim materijalom, bez potrebe za daljnjom obradom u smislu podizanja estetike površine.

Neovisno o načinu proizvodnje drvno-plastični kompoziti mogu se izraditi iz izvorne (namjenske) drvne i polimerne sirovine, ali i iz reciklirane sirovine, odnosno manje vrijednih drvnih (drvenastih) sirovina koje se u pravilu koriste u energetske svrhe. Reciklirani drvni i polimerni materijali kao osnova za izradu drvno-plastičnih kompozita jeftiniji su i samim time je ekonomska isplativost korištenja takvih materijala veća iako su takvi materijali često nižih svojstava u odnosu na izvorne čiste materijale (Španić i sur., 2010).



## 2. CILJ RADA

Cilj ovog eksperimentalnog rada je izrada i karakterizacija kompozita s polistirenskom osnovom punjenom usitnjenim drvom izbojaka drva voćkarica, metodom uslojavanja. Drvno-plastični kompoziti se komercijalno proizvode ekstruzijski (istiskivanjem) ili injekcijskim prešanjem, dok je metoda uslojavanjem zanemarena te je iz tog razloga baš ova metoda upotrijebljena za ovaj eksperimentalni rad. Na izrađenim kompozitima ispitana su slijedeća svojstva: gustoća, sadržaj vode, debljinsko bubrenje, apsolutno i relativno upijanje vode, savojna čvrstoća te modul elastičnosti savojne čvrstoće.

Ciljevi istraživanja i razvoja ovog drvno plastičnog kompozita realizirani su kroz nekoliko međusobno povezanih faza:

- otapanje polistirena u toluenu,
- dodavanje drvnog brašna jednogodišnjih izbojaka drva jabuke u otopinu (dvije granulacije:  $>0,8$  i  $<0,8$  mm),
- izrada WPC ploče (ploča izrađena od polimera i prirodnog punila),
- krojenje ploča na dimenzije uzoraka  $160 \times 25 \times d$  mm za ispitivanje savojne čvrstoće i modula elastičnosti,
- krojenje ploča na dimenzije uzoraka  $25 \times 25 \times d$  mm za ispitivanje gustoće, sadržaja vode i debljinskog bubrenja,
- mjerenje dimenzija i mase uzoraka potrebnih za izračun gustoće, sadržaja vode, debljinskog bubrenja i savojne čvrstoće,
- sušenje uzoraka u sušioniku,
- potapanje uzoraka u vodu,
- ispitivanje debljinskog bubrenja, apsolutnog i relativnog upijanja vode te sadržaja vode uzoraka nakon sušenja i potapanja u vodu,
- statistička obrada i analiziranje dobivenih podataka,
- donošenje zaključaka o svojstvima drvno-plastičnog kompozita.

### **3. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA**

#### **3.1. Lagane drvno-plastične kompozitne ploče: mogućnost proizvodnje i svojstva**

Tema istraživanja autora Lyutyy i sur. (2017) mogućnost je proizvodnje lakih drvno-plastičnih kompozita proizvedenih dodatkom ekspaniranog polistirena i ispitivanje njihova svojstva. Za izradu jednoslojnih laganih drvno-plastičnih kompozita (nelaminiranih i laminiranih) autori su upotrijebili usitnjeni reciklirani polietilen niske gustoće (rLDPE), drvene čestice (WP) i ekspanirani polistiren (EPS). Istraživanjem su određena slijedeća svojstva laganih drvno-plastičnih kompozita: savojna čvrstoća (MOR), modul elastičnosti (MOE), vlačna čvrstoća okomito na površinu ploče (IB) i debljinsko bubrenje nakon uranjanja ploča u vodu u trajanju 2 sata (TS/2 h) i 24 sata (TS/24 h). Utvrđeno je da udio EPS-a i gustoća ploča, kao i proces laminiranja imaju značajan utjecaj na svojstva laganih drvno-plastičnih kompozita. Tako je utvrđeno da upotreba ekspaniranog polistirena omogućuje proizvodnju laganih drvno-plastičnih kompozita u rasponu gustoće 500-700 kg/m<sup>3</sup>, što je gotovo dvostruko manje od gustoće konvencionalnih drvno-plastičnih kompozita. Naime, konvencionalni drvno-plastični kompoziti (WPC) obično se proizvode s gustoćom od približno 800-1000 kg/m<sup>3</sup>. Rezultati ovog istraživanja pokazali su da savojna čvrstoća, modul elastičnosti i vlačna čvrstoća nelaminiranih laganih drvno-plastičnih kompozita udovoljavaju zahtjevima (za lagane ploče iverice) standarda EN 16386 (tip LP1) i ANSI A208.1 (tip LD-1 i LD-2). Savojna čvrstoća i modul elastičnosti laminiranih laganih drvno-plastičnih kompozita udovoljavaju zahtjevima norme ISO 13894-2.

#### **3.2. Utjecaj različitih vrsta materijala za oblaganje na svojstva ravnih prešanih drvno-plastičnih kompozitnih ploča**

Rad autora Bekhta i sur. (2014) predstavlja rezultate istraživanja utjecaja različitih vrsta materijala za oblaganje na svojstva ravnih prešanih drvno-plastičnih kompozitnih (WPC) ploča. Za oblaganje ploča korišteni su ljušteni brezov furnir, rezani hrastov furnir, fenolom impregnirani papir, polietilenska (PE) folija i reciklirani polietilen (RPE). Oblaganje drvno-plastičnih kompozita s jedne ili s obje strane obavljeno je istodobno s prešanjem ploča. Pri proizvodnji ploča nisu upotrebljavana sredstva za kondenzaciju. Utvrđeno je da su svojstva ravnih

prešanih drvno-plastičnih kompozita poboljšana oblaganjem bilo kojim navedenim ispitivanim materijalom. Najveće vrijednosti savojne čvrstoće zabilježene su kod drvno-plastičnih kompozita obloženih ljuštenim brezovim furnirom. Ove su vrijednosti bile veće u smjeru paralelno sa smjerom vlaknaca furnira nego okomito na njihov smjer. Najveća otpornost na vodu zabilježena je kod ploča obloženih polietilenskom folijom i recikliranim polietilenskim slojem. Oblaganje drvno-plastičnog kompozita prirodnim furnirom utječe na smanjenje otpornosti na vodu. Osim toga, otpornost na vodu drvno-plastičnih kompozita obloženih s jedne strane prirodnim furnirom bila je veća nego kod drvno-plastičnih kompozita obloženih prirodnim furnirom s obje strane. Dvostrano oblaganje drvno-plastičnih kompozita fenolnim impregniranim papirom, polietilenskom folijom i recikliranim polietilenskim slojem pridonosi smanjenju apsorpcije vode i debljinskog bubrenja.

### **3.3. Karakterizacija mehaničkih svojstava polimera ojačanih vlaknima drvno-plastičnog kompozita izrađenog primjenom kontinuirane preše s dva remena**

Autori Tamrakar i sur. (2012) ispitali su mogućnost izrade drvno-plastičnog kompozita, ojačanog predizrađenim listovima polimera ojačanog staklenim vlaknima, primjenom kontinuirane preše s dva remena. Pri tom su se listovi ojačanih polimera postavljeni s obje strane predmješanih i ekstrudiranih granula drvno-plastičnog kompozita sjedinili tijekom procesa proizvodnje i formirali konačnu debljinu/strukturu kompozita. Poslijedično, to je rezultiralo povećanom produktivnošću i smanjenim lošim toplinskim naprezanjima karakterističnim za dvo-stupanjski proces izrade ojačanih WPC materijala, konvencionalnim prešanjem. Važan napredak ostvaren je i u pogledu mehaničkih svojstava tako izrađenih kompozita, napose u pogledu savojne i vlačne čvrstoće. Čak i s dodatkom samo jednog sloja polimera ojačanog vlaknima na obje strane osnovne sirovine (granula), modul elastičnosti povećan je za faktor 2,6; a savojna čvrstoća za faktor 3,8. Nadalje, autori su zaključili da su savojna i vlačna svojstva drvno-plastičnog materijala korištenog u ovom radu superiorna svojstvima ekstruzijom izrađenog drvno-plastičnog materijala

## 4. MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA

### 4.1. Osnovna sirovina

#### 4.1.1. Jednogodišnji izbojci drva voćkarica

Kao osnovna sirovina korišteni su jednogodišnji izbojci drva voćkarica, u ovom slučaju to su izbojci jabuke. Jabuka je listopadno stablo iz porodice ruža koje naraste i do 12 metara visine te time spada u III. klasu (stabla visine 10-20 m). Sirovina je pripremljena na način da se, nakon rezanja sa stabla, izbojci ručno prikraćuju kako bi se prvenstveno lakše i jednoličnije osušili u sušioniku. Sušenje se odvijalo na  $103\pm 2^{\circ}\text{C}$  kroz 24 sata te se nakon toga ostavilo u sušioniku još 6 dana pri temperaturi od  $30^{\circ}\text{C}$ . Nakon sušenja, jednogodišnji izbojci jabuke bili su spremni za grubo mljevenje što se izvodilo na reznom mlinu Retsch SM 300. Nakon grubog mljevenja slijedilo je i završno usitnjavanje koje se provodilo na reznom mlinu Retsch ZM 200. Tako pripremljeno drvno brašno bilo je potrebno prosijati kako bi dobili određene granulacije. Prosijavanje se vršilo na situ s otvorom od 0,8 mm te su se tako dobile dvije granulacije drvnog brašna ( $>0,8$  mm i  $<0,8$  mm) (sl. 1).



*Slika 1. Drvno brašno granulacije  $>0,8$  mm (lijevo) i granulacije  $<0,8$  mm (desno)*

#### 4.1.2. Polistiren

Osim jednogodišnjih izbojaka jabuke, kao osnovna sirovina koristio se i polistiren koji se dobiva radikalnom polimerizacijom stirena (sl. 2). Polistiren je polimerni materijal koji zbog svoje raznolikosti u primjeni, lake preradljivosti i relativno niske cijene zauzima četvrto mjesto u ukupnoj svjetskoj potrošnji plastomera. Svojstva su mu visoka čvrstoća (46-55 MPa), niska elastičnost (isteže se 3-4%), dobra toplinska postojanost, dobra električna izolacijska

svojstva, otpornost na kiseline i lužine, velika optička prozirnost i mnoga druga. Veliki nedostaci polistirena su lomljivost i niska udarna žilavost.



*Slika 2. Polistiren u granulama*

## **4.2. Izrada drvno-plastičnih kompozita**

Ispitivanje je provedeno na višeslojnim drvno-plastičnim kompozitima koji su izrađeni od polimera i drvnog brašna postupkom uslojavanja i prešanja. Izrađene su dvije skupine drvno-plastičnih kompozita. Jedna od skupina uzoraka izrađena je primjenom drvnog brašna krupnije granulacije ( $>0,8$  mm), dok je druga skupina izrađena primjenom drvnog brašna sitnije granulacije ( $<0,8$  mm).

Prije prešanja, potrebno je bilo napraviti individualne listove smjese polistirena i drvnog punila, odnosno listove čistog polimera. Takvi listovi, zajedno s ljuštenim furnirom topole, korišteni su za izradu konačnog drvno-plastičnog kompozita, napravljenog uslojavanjem i prešanjem. Postupak izrade listova za prešanje sastojao se od nekoliko faza. Prva faza bila je otapanje 4 g polistirena u 100 ml toluena što se odvijalo pomoću multipozicijske mješalice IKA RO 10 pri  $500 \text{ min}^{-1}$  (sl. 3), uz alternativu primjenom mješalice IKA C-MAG HS 7 pri 1000 okretaja/minuti i temperaturi od  $70^\circ\text{C}$  (sl. 4). Primjenom povišene temperature ubrzano je otapanje polistirena i samim time skraćen proces pripreme listova čistog polimera. Kada se polistiren u cijelosti otopio, otopina se izlila u keramičke tanjuriće i ostavila na ambijentalnom tlaku i temperaturi kako bi otapalo u potpunosti isparilo te kako bi se formirao list čistog polimera.

Druga faza je slična prvoj, samo što se u otopinu polistirena i toluena dodavalo drvno brašno nastalo mljevenjem jednogodišnjih izbojaka drva voćkarica, u ovom slučaju drva jabuke. Isto je dodavano u duplo manjoj količini nego što se dodavao

polistiren, odnosno otprilike 2 g (sl. 5). Pripremljena otopina također je lijevana u keramički tanjurić i ostavljena na ambijentalnom tlaku i temperaturi kako bi otapalo u potpunosti isparilo te kako bi se formirao list polimera pomiješanog s drvnim brašnom (sl. 6).



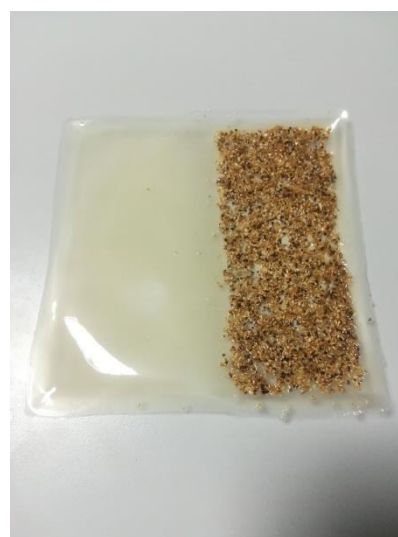
**Slika 3.** Otopanje polistirena u toluenu uz pomoć multipozicijske mješalice IKA RO 10



**Slika 4.** Otopanje polistirena u toluenu uz pomoć mješalice IKA C-MAG HS 7



**Slika 5.** Otopanje polistirena u toluenu s drvnim brašnom



**Slika 6.** Otopina polistirena i toluena s drvnim brašnom u krutom stanju

Prije prešanja, listovi su složeni u adekvatan kalup (sl. 7) prema sljedećem redoslijedu:

1. Furnir topole orijentiran u smjeru paralelno s vlakancima



2. Čisti polimer
3. Polimer pomiješan s drvnim brašnom
4. Polimer pomiješan s drvnim brašnom
5. Polimer pomiješan s drvnim brašnom
6. Čisti polimer
7. Furnir topole orijentiran u smjeru okomito na vlakanca



**Slika 7.** Listovi u adekvatnom kalupu

Kada su listovi posloženi, kalup se umetnuo u vruću prešu (sl. 8) i kompozit je formiran prešanjem pri tlaku od 0,5 N/mm<sup>2</sup> i temperaturi od 140°C kroz 8 minuta. Nakon vrućeg prešanja uslijedilo je hladno prešanje (sl. 9) pod tlakom od 5 N/mm<sup>2</sup> kroz 5 minuta.



**Slika 8.** Postupak vrućeg prešanja



**Slika 9.** Postupak hladnog prešanja

### 4.3. Karakterizacija kompozita

Izrađenim kompozitima utvrđena su fizikalna i mehanička svojstva. Pritom su uzorci pripremljeni krojenjem na kružnoj pili podijeljeni u više skupina. Konkretno, uzorci korišteni za ispitivanje savojne čvrstoće i modula elastičnosti (sl. 10) podijeljeni su u četiri skupine:

1. Uzorci kompozita izrađeni primjenom krupnijeg drvnog brašna krojeni tako da je smjer vlaknaca vanjskih listova furnira orijentiran u smjeru duljine uzoraka.
2. Uzorci kompozita izrađeni primjenom krupnijeg drvnog brašna krojeni tako da je smjer vlaknaca vanjskih listova furnira orijentiran okomito na smjer duljine uzoraka.
3. Uzorci kompozita izrađeni primjenom sitnijeg drvnog brašna krojeni tako da je smjer vlaknaca vanjskih listova furnira orijentiran u smjeru duljine uzoraka.
4. Uzorci kompozita izrađeni primjenom sitnijeg drvnog brašna krojeni tako da je smjer vlaknaca vanjskih listova furnira orijentiran okomito na smjer duljine uzoraka.

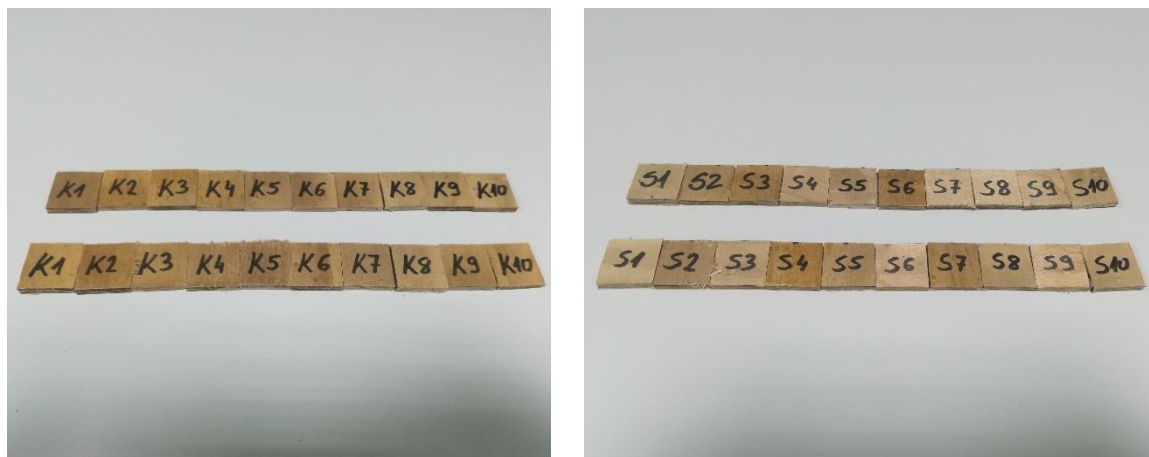
Dimenzije uzoraka u sve četiri skupine bile su 160×25 mm.



*Slika 10. Uzorci drvo-plastičnog kompozita za ispitivanje savojne čvrstoće i modula elastičnosti*

Ispitani uzorci korišteni za određivanje fizikalnih svojstava također su podijeljeni u više skupina. Točnije, podijeljeni su u dvije skupine po 20 uzoraka za ispitivanje gustoće i sadržaja vode (suhi uzorci), te debljinskog bubrenja i apsolutnog i relativnog upijanja vode (mokri uzorci). Prema istoj analogiji pripremljeni su uzorci kompozita dimenzija 25×25 mm izrađeni s krupnijim i sa sitnijim drvnim brašnom (sl. 11).

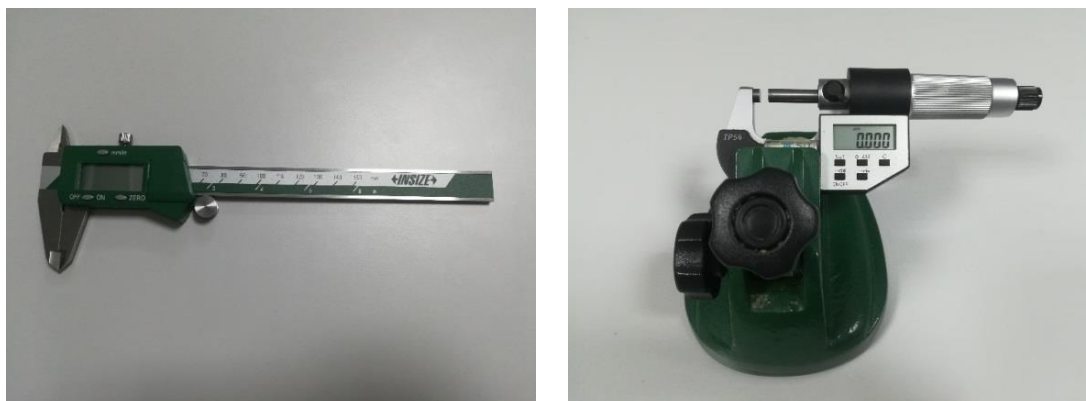




*Slika 11. Uzorci drvno-plastičnog kompozita za ispitivanje fizikalnih svojstva*

#### **4.3.1. Određivanje fizikalnih svojstva**

Od fizikalnih svojstava su izmjerene dimenzije, gustoća, debljinsko bubrenje te apsolutno i relativno upijanje vode. Kod određivanja dimenzija (i ostalih fizikalnih i mehaničkih svojstava) potrebno je najprije izmjeriti dimenzije uzoraka. Za mjerenje duljine i širine pritom je korišteno digitalno pomično mjerilo, kojim je omogućeno mjerenje s točnošću od desetinke milimetra (sl. 12).



*Slika 12. Digitalna mjerila korištena za određivanje dimenzija uzoraka*

Debljina kompozita mjerena je digitalnim mikrometrom (sl. 12), čije su obje dodirne plohe paralelne i ravne, okruglog oblika i točno određenog promjera. Mikrometrom je omogućeno mjerenje s točnošću od stotinke milimetra.

#### 4.3.1.1. Određivanje gustoće

Gustoća je određena na kondicioniranim uzorcima. Ispitano je 20 uzoraka kvadratnog oblika dimenzija 25×25 mm. Svakom pojedinom ispitnom uzorku izmjerena je masa preciznom vagom s točnošću od 0,01 g. Masa uzoraka je mjerena po kondicioniranju. Uz masu, izmjerene su dimenzije i izračunata je gustoća koja se izražava kao omjer mase i volumena kompozita. Gustoća kompozita je aritmetička sredina gustoće svih ispitanih uzoraka. Gustoća je računana prema sljedećoj formuli:

$$\rho = \frac{m_u}{V} \quad [1]$$

gdje je:

$\rho$  – gustoća (g/cm<sup>3</sup>)  
 $m_u$  – masa uzorka (g)  
 $V$  – volumen uzorka (cm<sup>3</sup>)

#### 4.3.1.2. Određivanje sadržaja vode

Gravimetrijskom metodom, odnosno, metodom vaganja određen je sadržaj vode. Za mjerenje sadržaja vode koristili su se također uzorci dimenzija 25×25 mm. Cilj ispitivanja bio je utvrditi količinu vode u kompozitu u trenutku ispitivanja. Postupak gravimetrijske metode odvija se po principu da se najprije izmjeri masa ispitnih uzoraka na vagi s dopuštenim odstupanjem od ±0,05 g te se zatim ti isti uzorci stavljaju u sušionik i suše pri konstantnoj temperaturi od 103±2°C dok sva voda ne ispari iz uzorka, odnosno, do konstantne mase. Nakon 24 sata, ispitni uzorci se vade iz sušionika te im se ponovno mjeri masa. Sadržaj vode u uzorcima izražava se kao relativna vlažnost i izračunava se na osnovi razlike mase uzoraka u zrakosuhom i apsolutno suhom stanju prema sljedećoj formuli:

$$u_r = \frac{m_u - m_0}{m_0} \times 100 \quad [2]$$

gdje je:

$u_r$  – relativna vlažnost (%)  
 $m_u$  – masa klimatiziranog uzorka prije sušenja (g)  
 $m_0$  – masa klimatiziranog uzorka nakon sušenja (g)

#### 4.3.1.3. Određivanje debljinskog bubrenja, apsolutnog i relativnog upijanja vode

Debljinsko bubrenje i upijanje vode utvrđuju se zbog spoznaje o ponašanju kompozitnih materijala pri promjenama vlage zraka ili direktnog utjecaja vode, u uvjetima uporabe. Određivanje debljinskog bubrenja odvijalo se potapanjem 20 uzoraka dimenzija 25×25 mm u vodu kroz određeno vrijeme (24 h). Prije ispitivanja, uzorci su klimatizirani i izmjerena im je masa i debljina. Klimatizirani uzorci u vodu su potopljani u vodoravnom položaju, što je osigurano primjenom adekvatnog kaveza. Pri potapanju pazilo se da se uzorci međusobno ne dodiruju i da nisu preklopljeni jedan preko drugoga. Razina vode iznad uzoraka bila je oko 25 mm. Nakon propisana vremena ispitni uzorci izvađeni su iz vode i kratko ocijeđeni od viška vode. Uzorci su zatim vagani i određene su im dimenzije (debljina) nakon izlaganja djelovanju vode. Debljinsko bubrenje izračunato je kao razlika debljine ispitnog uzorka nakon klimatizacije (prije tretmana) i njegove debljine nakon potapanja u vodu. Izražava se s točnošću od 0,1 mm, a računa se prema formuli:

$$Q - 24 = \frac{d_o - d_u}{d_u} \times 100 \quad [3]$$

gdje je:

*Q-24* – debljinsko bubrenje nakon 24 sata izlaganja (%)

*d<sub>o</sub>* – debljina ispitnog uzorka nakon tretmana (mm)

*d<sub>u</sub>* – debljina klimatiziranog ispitnog uzorka (mm)

Apsolutno upijanje vode je odnos mase ispitnog uzorka nakon tretmana u vodi i mase klimatiziranog uzorka prije tretmana. Rezultat se izražava s točnošću od 0,1 g, a izračunava se prema sljedećoj formuli:

$$U_a = m_v - m_u \quad [4]$$

gdje je:

*U<sub>a</sub>* – apsolutno upijanje vode (g)

*m<sub>v</sub>* – masa ispitnog uzorka nakon izlaganja (g)

*m<sub>u</sub>* – masa ispitnog uzorka prije izlaganja (g)

Relativno upijanje vode odnos je apsolutnog upijanja vode i mase ispitnog uzorka prije tretmana. Relativno upijanje vode računa se prema formuli:

$$U_r = \frac{m_v - m_u}{m_u} \times 100 \quad [5]$$

gdje je:

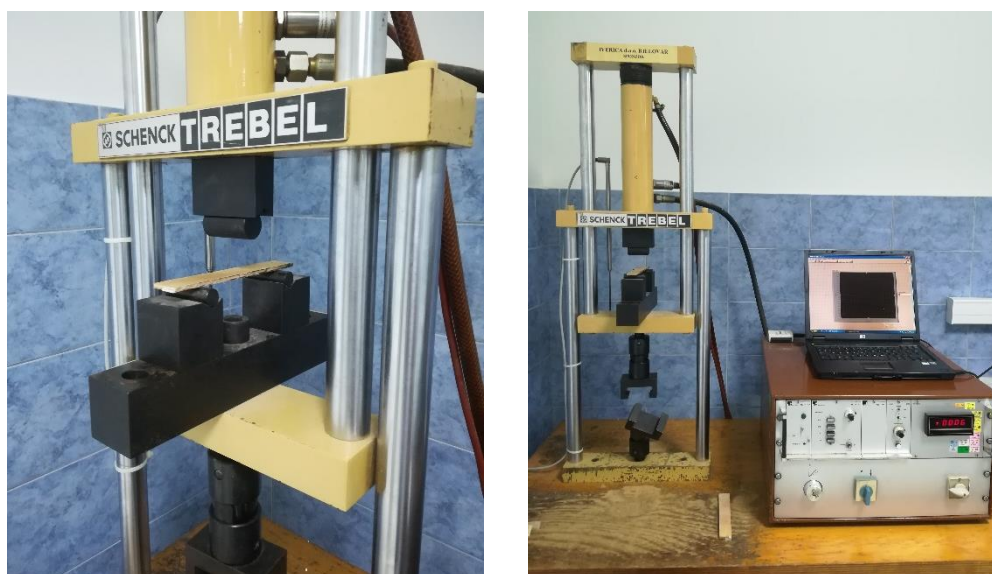
$U_r$  – relativno upijanje vode (%)

$m_v$  – masa ispitnog uzorka nakon izlaganja (g)

$m_u$  – masa ispitnog uzorka prije izlaganja (g)

#### 4.3.2. Određivanje mehaničkih svojstava

Od mehaničkih svojstava ispitivala se savojna čvrstoća i modul elastičnosti savojne čvrstoće koji su određeni na kidalici (sl. 13) u Laboratoriju za drvene ploče Šumarskog fakulteta. Uzorci za ispitivanje savojne čvrstoće i modula elastičnosti bili su dimenzija 160×25 mm



Slika 13. Kidalica za ispitivanje savojne čvrstoće i modula elastičnosti savojne čvrstoće

##### 4.3.2.1. Određivanje savojne čvrstoće

Prilikom ispitivanja, uzorak se stavljao na dva oslonca ispitnog uređaja (kidalice), a brzina opterećenja, odnosno primicanja traverze s uzorkom prema vertikalnom pritiskivaču, podešena je tako da lom nastupi u vremenu od oko jedne minute. Za vrijeme opterećivanja, sila djeluje na sredini mjerne duljine po cijeloj širini ispitnog uzorka. Na osnovi tako izmjerene sile i ranije izmjerenih dimenzija ispitnih uzoraka odredila se savojna čvrstoća; po formuli:

$$\sigma_s = \frac{3 \times F \times l}{2 \times b \times d^2} \quad [6]$$

gdje je:

$\sigma_s$  – savojna čvrstoća (MPa)  
 $F$  – maksimalna pritisna sila (N)  
 $l$  – razmak između oslonaca (mm)  
 $b$  – širina ispitnog uzorka (mm)  
 $d$  – debljina ispitnog uzorka (mm)

#### 4.3.2.2. Određivanje modula elastičnosti savojne čvrstoće

Modul elastičnosti savojne čvrstoće odnos je normalnog naprezanja u poprečnom presjeku ispitnog uzorka, u području proporcionalnosti i odgovarajućeg pojedinačnog progiba. Određivanje modula elastičnosti izvršeno je paralelno s ispitivanjem savojne čvrstoće, na istim uzorcima. Pritom se za registraciju progiba koristio, na kidalicu postavljeni induktivni davač pomak. Kidalica i davač pomaka informacije u realnom vremenu šalju na računalo opremljeno adekvatnim programom (National Instruments LabView, ver. 10) koji generira zapis porasta sile i pomaka. Na osnovi tako dobivenih podataka, primjenom računalnog programa MATLAB R2010b proračunat je modul elastičnosti. Pritom je korišten princip određivanja istovjetan onome koji se koristi za drvne ploče, a prema kojem se ispitni uzorak počinje naprezati pri 10 % maksimalnog opterećenja, a nakon 40% maksimalnog opterećenja prelazi u zonu plastičnosti i dolazi do zaostalih trajnih deformacija. Modul elastičnosti ( $E_s$ ) izračunao se prema formuli:

$$E_s = \frac{(F_2 - F_1) \times l^3}{4 \times b \times d^3 \times (a_2 - a_1)} \quad [7]$$

gdje je:

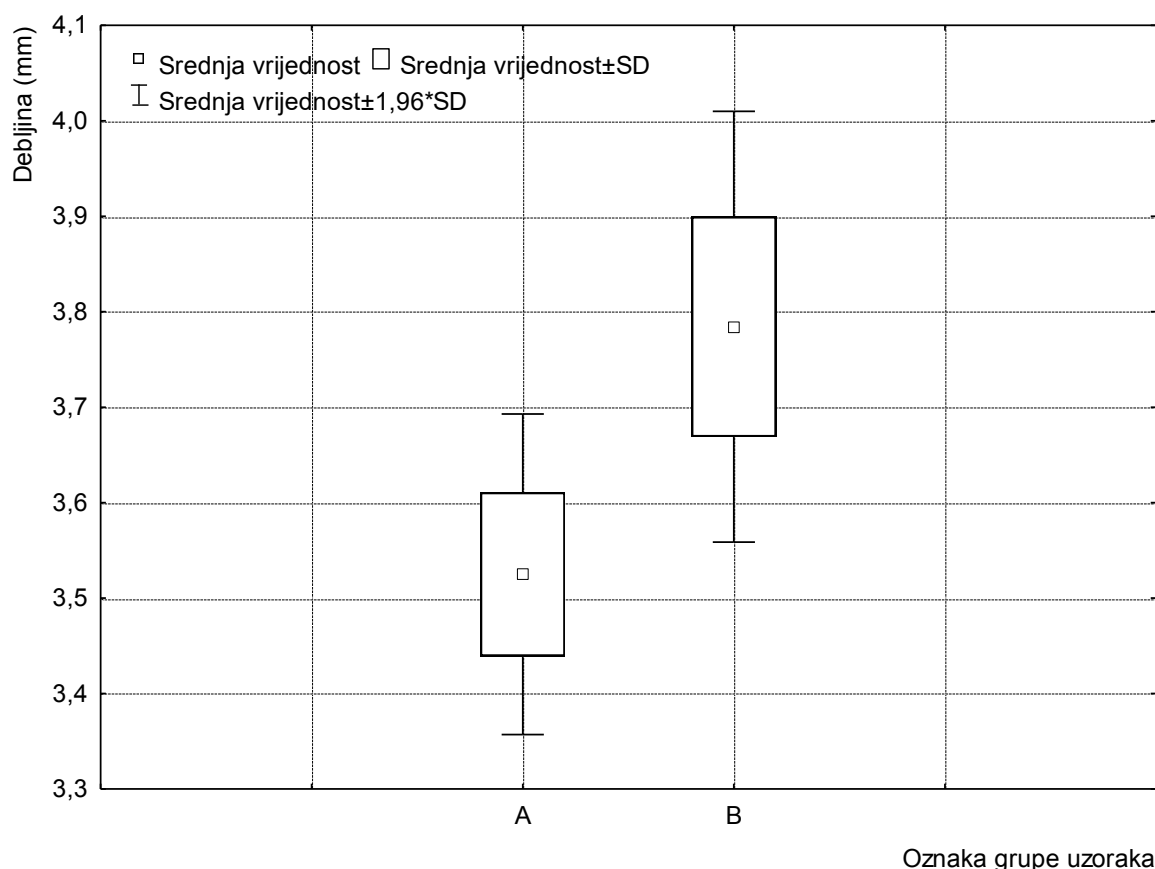
$E_s$  – modul elastičnosti savojne čvrstoće (MPa)  
 $(F_2 - F_1)$  – porast sile na pravocrtnom dijelu krivulje; Hookeova dijagrama (MPa)  
 $l$  – razmak između oslonaca (mm)  
 $b$  – širina ispitnog uzorka (mm)  
 $d$  – debljina ispitnog uzorka (mm)  
 $(a_2 - a_1)$  – povećanje progiba na sredini duljine ispitnog uzorka (mm)

## 5. REZULTATI I DISKUSIJA

### 5.1. Debljina

Tablica 1. Vrijednosti debljine ispitnih uzoraka drvno-plastičnog kompozita

Oznaka grupe uzoraka	Broj uzoraka (n)	Aritmetička sredina (mm)	Minimum (mm)	Maksimum (mm)	Standardna devijacija
A	10	3,524	3,363	3,622	0,085
B	10	3,784	3,560	3,927	0,115



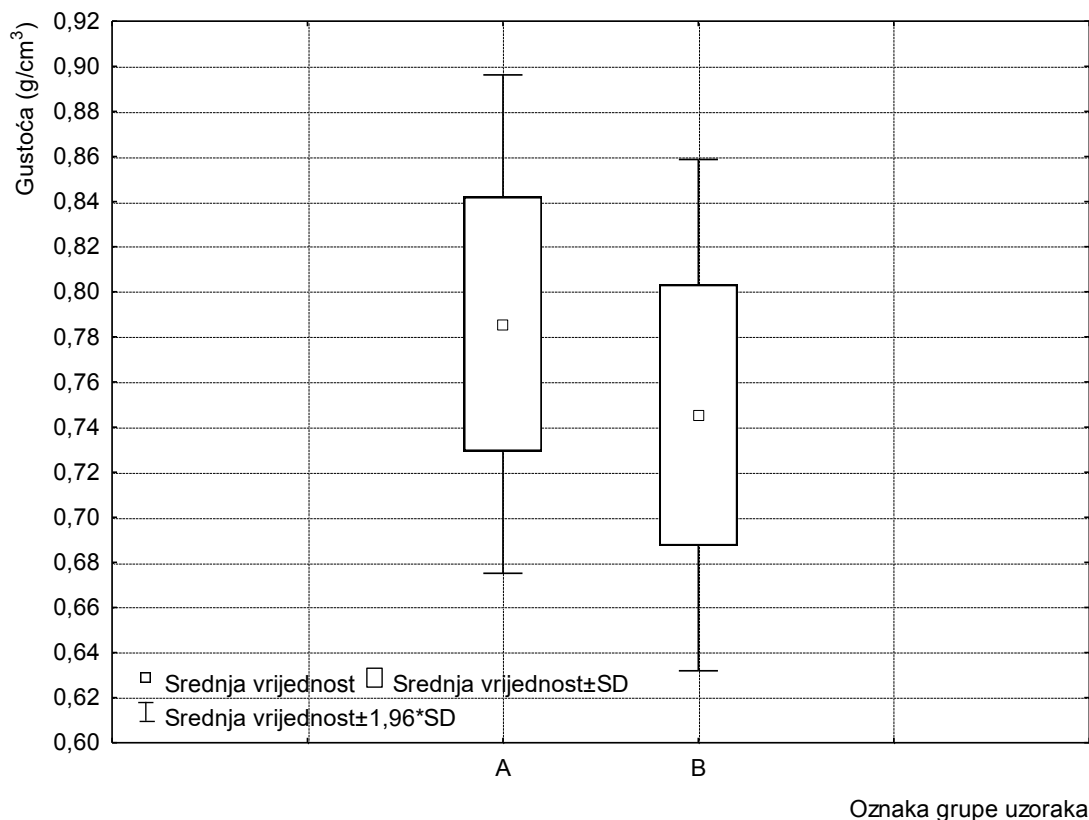
Slika 14. Grafički prikaz debljine pojedinih grupa uzoraka eksperimentalnih drvno-plastičnih kompozita

Grupa uzoraka A, koja označava kompozit sa sitnijom granulacijom punila (<0,8 mm), imala je manju debljinu od grupe uzoraka B, koji označavaju kompozit sa krupnijom granulacijom punila (>0,8 mm). Iako, prema aritmetičkoj sredini razlika nije prevelika, iznosi svega 0,26 mm. Vjerojatno je to posljedica veće mogućnosti sabijanja sitnijeg punila prilikom prešanja, što automatski rezultira manjom tolerancijom debljine kompozita u slučaju uzoraka grupe A.

## 5.2. Gustoća

Tablica 2. Vrijednosti gustoće ispitnih uzoraka drvno-plastičnog kompozita

Oznaka grupe uzoraka	Broj uzoraka (n)	Aritmetička sredina (g/cm <sup>3</sup> )	Minimum (g/cm <sup>3</sup> )	Maksimum (g/cm <sup>3</sup> )	Standardna devijacija
A	10	0,785	0,699	0,890	0,056
B	10	0,745	0,675	0,882	0,057



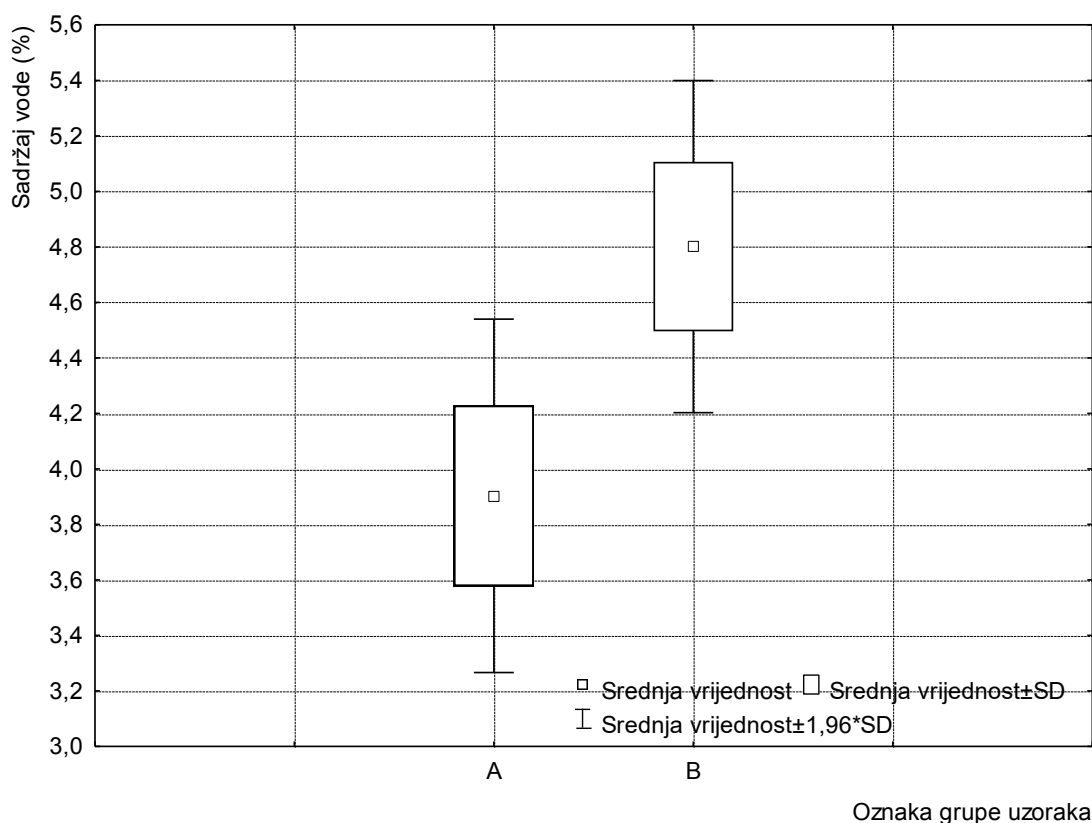
Slika 15. Grafički prikaz gustoće pojedinih grupa uzoraka eksperimentalnih drvno-plastičnih kompozita

Ispitivanje gustoće ispitnih uzoraka pokazalo je da su srednje vrijednosti veoma slične, no ipak je gustoća nešto veća kod grupe uzoraka A, koja označava kompozit sa sitnijom granulacijom punila (<0,8 mm). Zbog tanjeg sloja i zbijenosti čestica se i očekivalo da će uzorak sa sitnijim drvnim brašnom imati veću gustoću. Uz to, s obzirom da je debljina bila veća kod grupe uzoraka B, također je logično da je gustoća grupe uzoraka A veća jer su debljina i gustoća uzoraka u obrnuto proporcionalnom odnosu.

### 5.3. Sadržaj vode

Tablica 1. Vrijednosti sadržaja vode ispitnih uzoraka drvno-plastičnog kompozita

Oznaka grupe uzoraka	Broj uzoraka (n)	Aritmetička sredina (%)	Minimum (%)	Maksimum (%)	Standardna devijacija
A	10	3,90	3,50	4,46	0,32
B	10	4,80	4,29	5,30	0,30



Slika 16. Grafički prikaz sadržaja vode pojedinih grupa uzoraka eksperimentalnih drvno-plastičnih kompozita

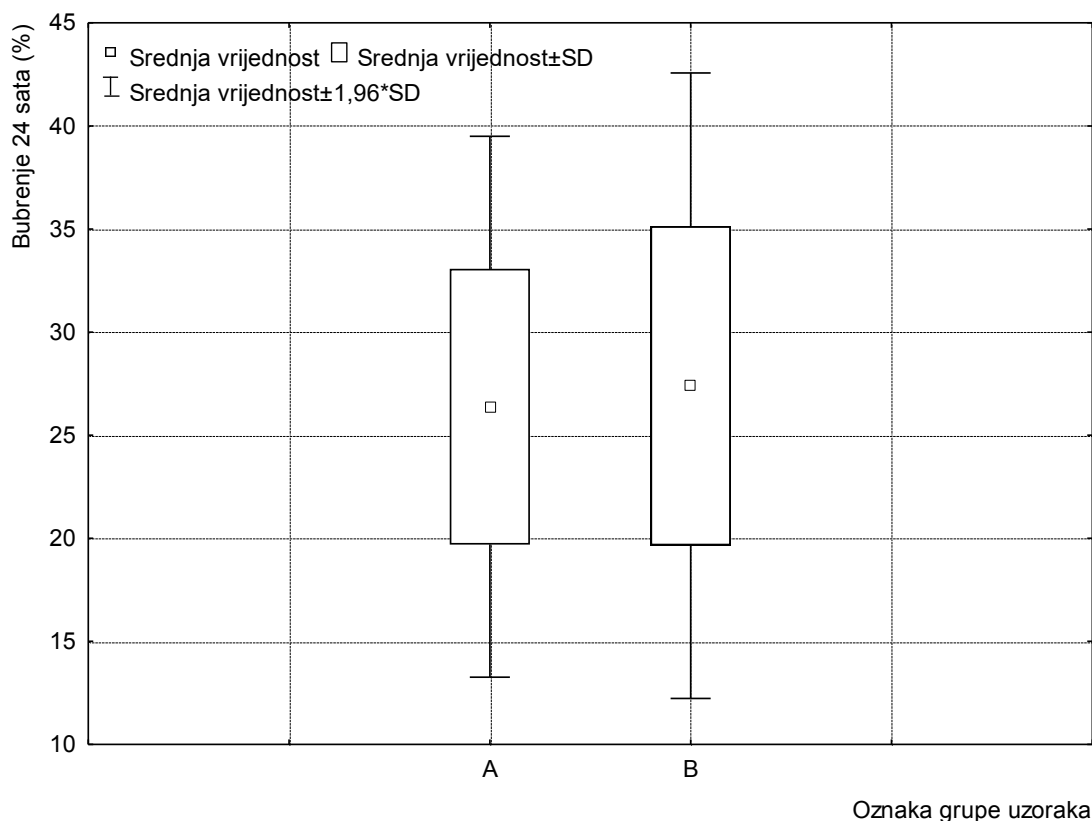
Nakon 24 sata sušenja u sušioniku pri konstantnoj temperaturi od  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ , ispitni uzorci se vade iz sušionika. Prije i poslije tretmana u sušioniku, na osnovi razlika u zrakosuhom i apsolutno suhom stanju rezultati pokazuju da su vrijednosti sadržaja vode veći kod grupe uzoraka B, koji označavaju kompozit s krupnijom granulacijom punila ( $>0,8$  mm). No, budući da je razlika vrlo mala ( $<1$  %), može se govoriti o dobro provedenom procesu sušenja drvene sirovine i njene pohrane nakon usitnjavanja i prosijevanja. Mala razlika pritom je najvjerojatnije posljedica individualne strukture pojedine čestice punila, budući da se nije radila selekcija pojedinih dijelova izbojaka i punilo sadrži koru, liko i ksilem prepun provodnih elemenata (isključivo juvenilno drvo).



## 5.4. Debljinsko bubrenje

Tablica 2. Vrijednosti debljinskog bubrenja ispitanih uzoraka drvno-plastičnog kompozita

Oznaka grupe uzoraka	Broj uzoraka (n)	Aritmetička sredina (%)	Minimum (%)	Maksimum (%)	Standardna devijacija
A	10	26,38	21,24	41,93	6,69
B	10	27,39	16,86	39,58	7,73



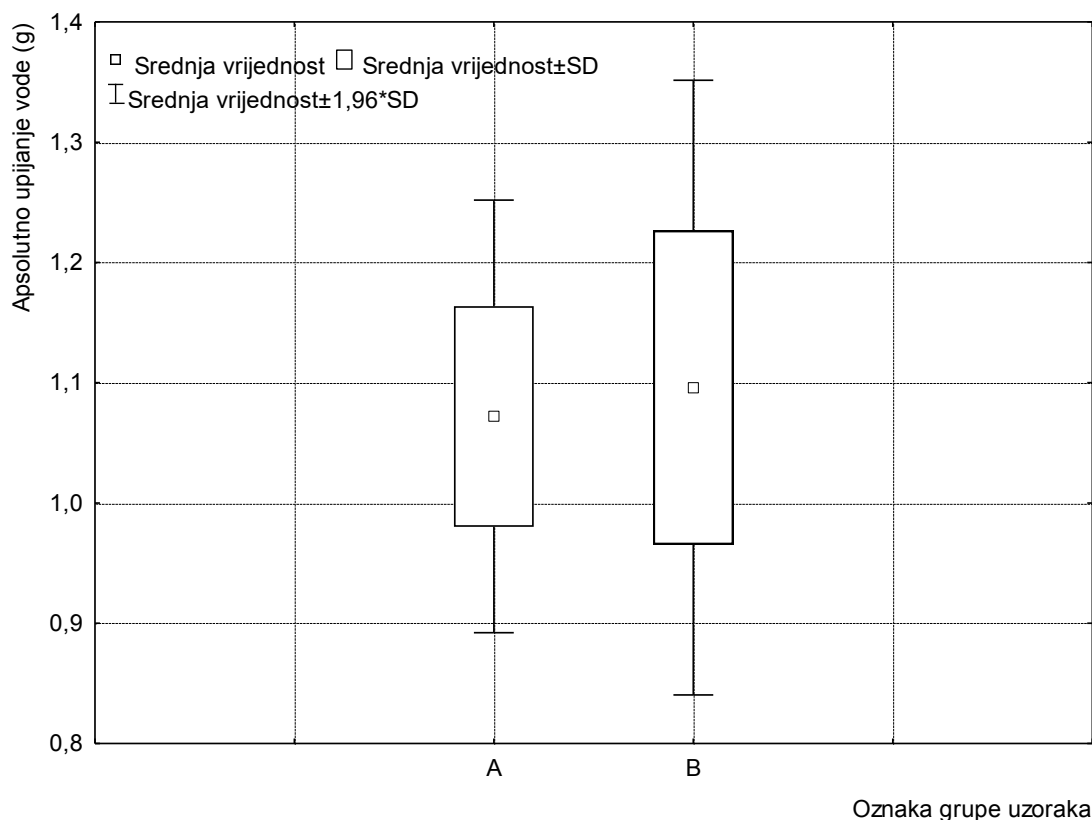
Slika 17. Grafički prikaz debljinskog bubrenja pojedinih grupa uzoraka eksperimentalnih drvno-plastičnih kompozita

Nakon izlaganja drvno-plastičnog kompozita djelovanju vode kroz 24 sata, uzorcima se određivala debljina. Rezultati ispitivanja pokazuju da su srednje vrijednosti debljinskog bubrenja slične. Iako vrlo mala razlika, ipak se pokazalo da je bubrenje veće kod grupe uzoraka B, koja označava kompozit s krupnijom granulacijom punila (>0,8 mm). Slično kao i u slučaju sadržaja vode, ova razlika može se pripisati česticama punila, odnosno zbijenosti kompozita, te većoj ili manjoj količini čistog polimera koji je taljenjem u preši djelomično ušao u strukturu furnira i popunio sve šupljine u strukturi kompozita. Točnije, većoj ili manjoj kompaktnosti kako kompozita, tako i sloja između kompozitne smjese i lista furnira, te samoga furnira koji je neminovno ugušćen djelovanjem povišenog tlaka pri prešanju.

## 5.5. Apsolutno upijanje vode

Tablica 3. Vrijednosti apsolutnog upijanja vode ispitnih uzoraka drvno-plastičnog kompozita

Oznaka grupe uzoraka	Broj uzoraka (n)	Aritmetička sredina (g)	Minimum (g)	Maksimum (g)	Standardna devijacija
A	10	1,07	0,92	1,23	0,09
B	10	1,09	0,93	1,32	0,13



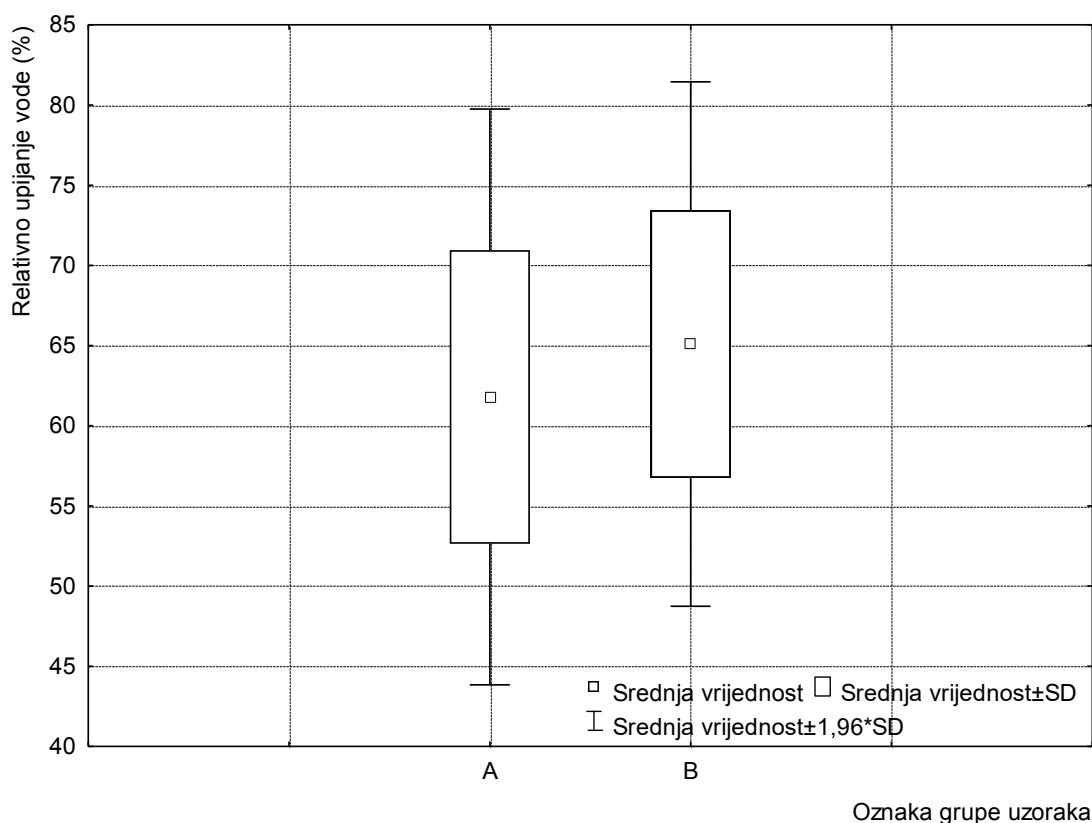
Slika 18. Grafički prikaz apsolutnog upijanja vode pojedinih grupa uzoraka eksperimentalnih drvno-plastičnih kompozita

Vrijednosti apsolutnog upijanja vode dobiveni su razlikom masa ispitnog uzoraka prije i poslije potapanja u vodi. Ispitivanje je pokazalo da su vrijednosti apsolutnog upijanja vode skoro isti kod obje grupe uzoraka, no ipak, neznatno veće apsolutno upijanje vode pokazala je grupa uzoraka B, koja označava kompozit s krupnijom granulacijom punila ( $>0,8$  mm). Usporedbom grafičkih prikaza vrijednosti apsolutnog upijanja (sl. 18) i debljinskog bubrenja (sl. 17), moguće je primjetiti velike podudarnosti tendencije promjena vrijednosti o dva ispitana slučaja; što je i očekivano. No, zanimljivo bi bilo ispitati i čistu kompozitnu smjesu (bez furnira) i utvrditi utjecaj furnira na navedena svojstva.

## 5.6. Relativno upijanje vode

Tablica 4. Vrijednosti relativnog upijanja vode ispitnih uzoraka drvno-plastičnog kompozita

Oznaka grupe uzoraka	Broj uzoraka (n)	Aritmetička sredina (%)	Minimum (%)	Maksimum (%)	Standardna devijacija
A	10	61,79	51,69	79,47	9,16
B	10	65,09	53,33	80,63	8,34



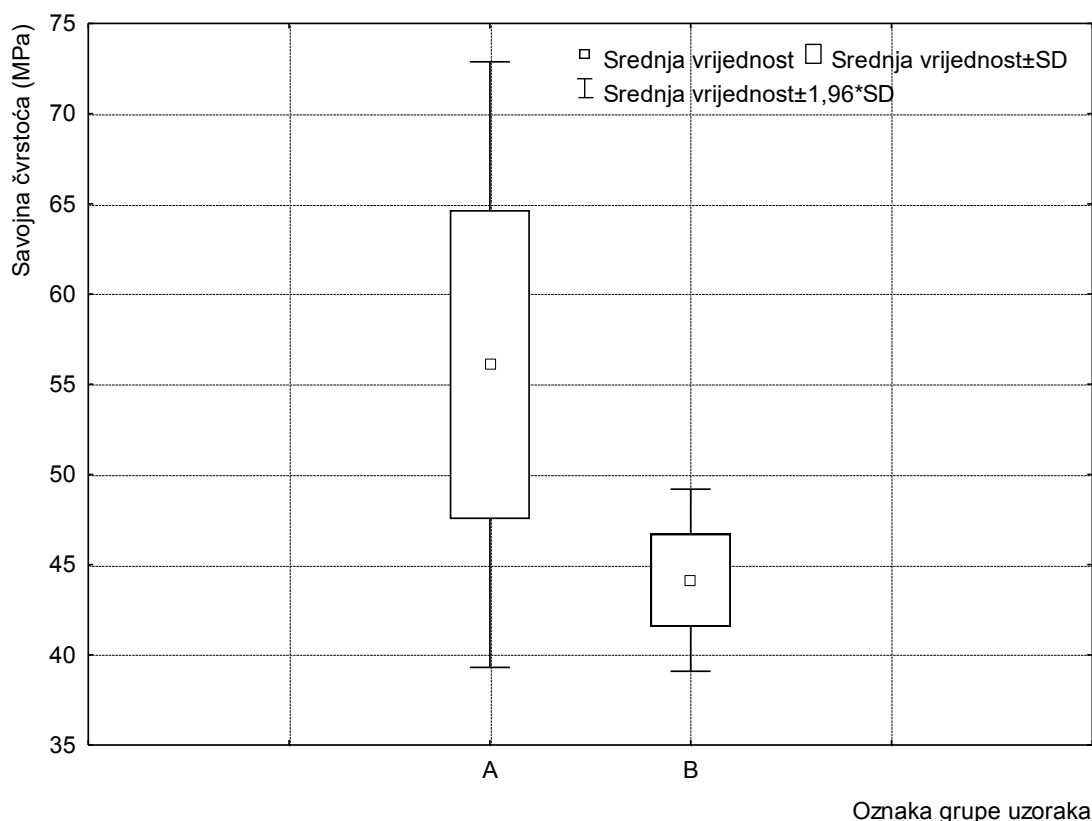
Slika 19. Grafički prikaz relativnog upijanja vode pojedinih grupa uzoraka eksperimentalnih drvno-plastičnih kompozita

Kako pokazuju rezultati, vrijednosti relativnog i apsolutnog upijanja vode su u istom omjeru, odnosno, i u ovom slučaju upijanje je veće kod grupe uzoraka B, odnosno kompozita s krupnijom granulacijom punila (>0,8 mm). Ipak, postavlja se pitanje utjecaja materijala za oplemenjivanje na rezultate ispitivanja tzv. „mokrih“ uzoraka, točnije onih koji su se potapali u vodu. Ovakvi rezultati svakako ostavljaju dosta prostora za budući rad, u kojem se treba fokusirati kako na tehnološki proces izrade kompozita, tako i na utjecaj materijala za oplemenjivanje na svojstva kompozita.

## 5.7. Savojna čvrstoća, paralelno

**Tablica 5.** Vrijednosti savojne čvrstoće ispitnih uzoraka drvo-plastičnog kompozita (paralelno sa smjerom vlakana furnira)

Oznaka grupe uzoraka	Broj uzoraka (n)	Aritmetička sredina (MPa)	Minimum (MPa)	Maksimum (MPa)	Standardna devijacija
A	6	56,09	43,51	67,40	8,56
B	6	44,13	41,12	47,74	2,57



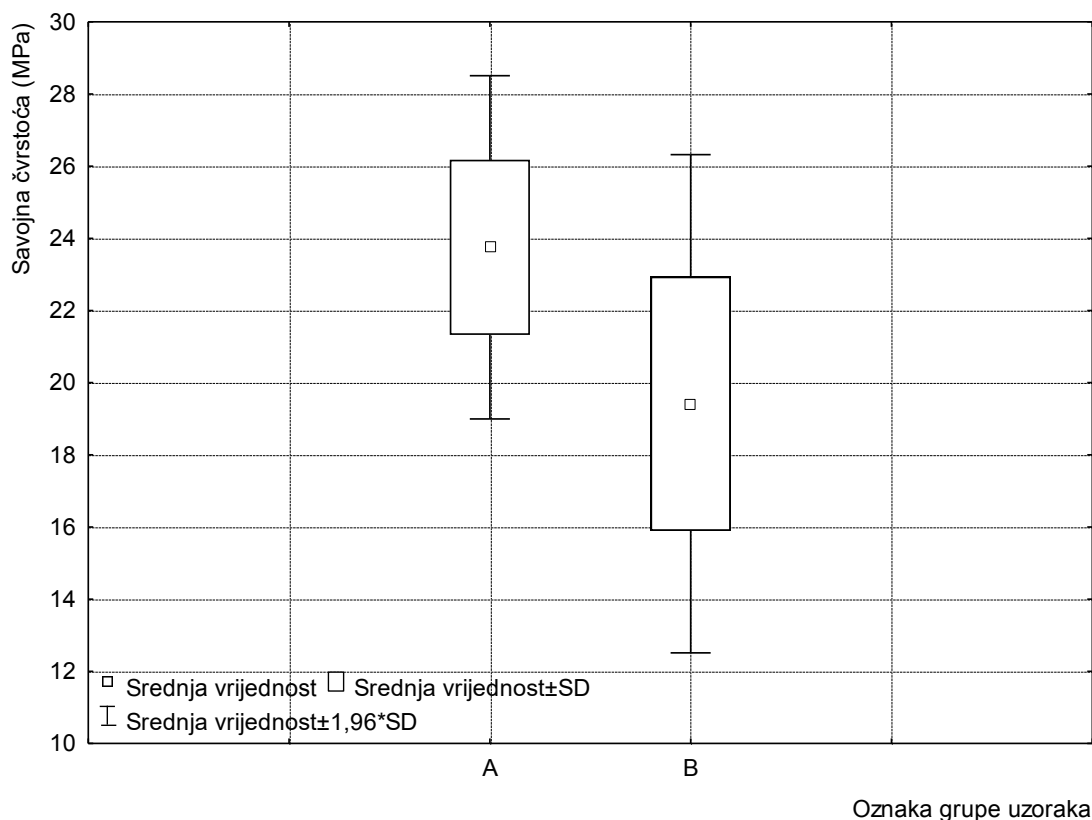
**Slika 20.** Grafički prikaz savojne čvrstoće pojedinih grupa uzoraka eksperimentalnih drvo-plastičnih kompozita (paralelno sa smjerom vlakana furnira)

Ispitivanje savojne čvrstoće obavljeno je na uzorcima drvo-plastičnih kompozita sa sitnijim i krupnijim drvnim brašnom iskrojenim u dva smjera – smjeru paralelnom sa smjerom drvnih vlakana na furniru lica i okomito na taj smjer. U slučaju ispitivanja uzoraka iskrojenih u smjeru paralelno sa vlakancima, rezultati su pokazali da je srednja vrijednost savojne čvrstoće na grupi uzoraka A koja je izrađena od sitnijeg punila (<0,8 mm) veća nego na uzorku izrađenog od krupnijeg punila (>0,8 mm). Ovi rezultati ukazuju na to da je u procesu lijevanja smjese polimera i drvnog brašna te kasnijeg prešanja kompozita, u slučaju kompozita izrađenih primjenom sitnijeg drvnog brašna, ostvarena bolja veza na relaciji polimer-punilo.

## 5.8. Savojna čvrstoća, okomito

**Tablica 6.** Vrijednosti savojne čvrstoće ispitnih uzoraka drvo-plastičnog kompozita (okomito na smjer vlaknaca furnira)

Oznaka grupe uzoraka	Broj uzoraka (n)	Aritmetička sredina (MPa)	Minimum (MPa)	Maksimum (MPa)	Standardna devijacija
A	6	23,75	20,39	27,24	2,42
B	6	19,41	13,92	22,30	3,52



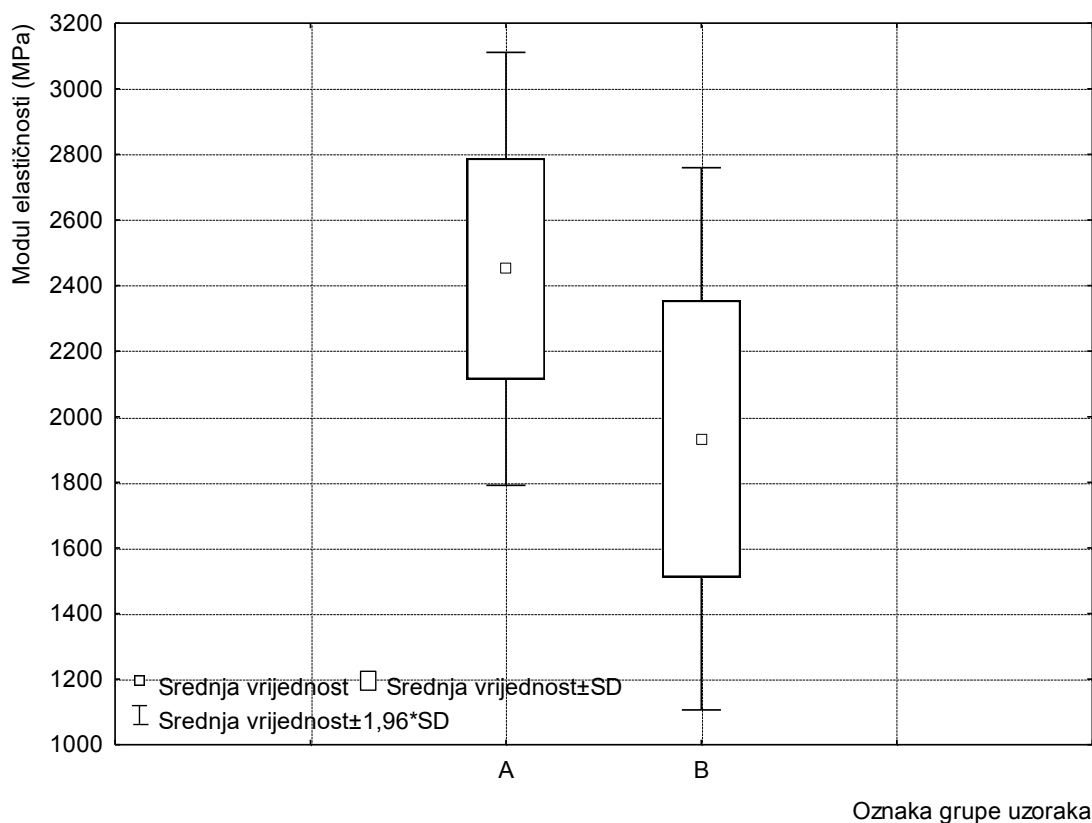
**Slika 21.** Grafički prikaz savojne čvrstoće pojedinih grupa uzoraka eksperimentalnih drvo-plastičnih kompozita (okomito na smjer vlaknaca furnira)

U slučaju ispitivanja savojne čvrstoće na ispitnim uzorcima drvo-plastičnih kompozita, ispitanih u smjeru okomito na smjer vlaknaca furnira, također se pokazalo da je srednja vrijednost veća kod grupe uzoraka A koja je izrađena od sitnije granulacije punila (<0,8 mm). Gledajući zbirne rezultate ispitivanja savojne čvrstoće (u oba smjera) može se zaključiti kako su navedene vrijednosti prilično visoke, što se prije svega može pripisati utjecaju materijala za oplemenjivanja. Svakako bi bilo zanimljivo napraviti kompozite i primjenom nekih drugih materijala (npr. tanji listovi furnira, furniri drugih vrsta drva, sintetske folije, akrili, itd.) za površinske slojeve i odrediti koliki je taj utjecaj zapravo.

## 5.9. Modul elastičnosti savojne čvrstoće, paralelno

**Tablica 7.** Vrijednosti modula elastičnosti savojne čvrstoće ispitnih uzoraka drvno-plastičnog kompozita (paralelno sa smjerom vlaknaca furnira)

Oznaka grupe uzoraka	Broj uzoraka (n)	Aritmetička sredina (MPa)	Minimum (MPa)	Maksimum (MPa)	Standardna devijacija
A	6	2451,1	1813,0	2696,9	336,7
B	6	1932,7	1245,9	2403,2	421,7



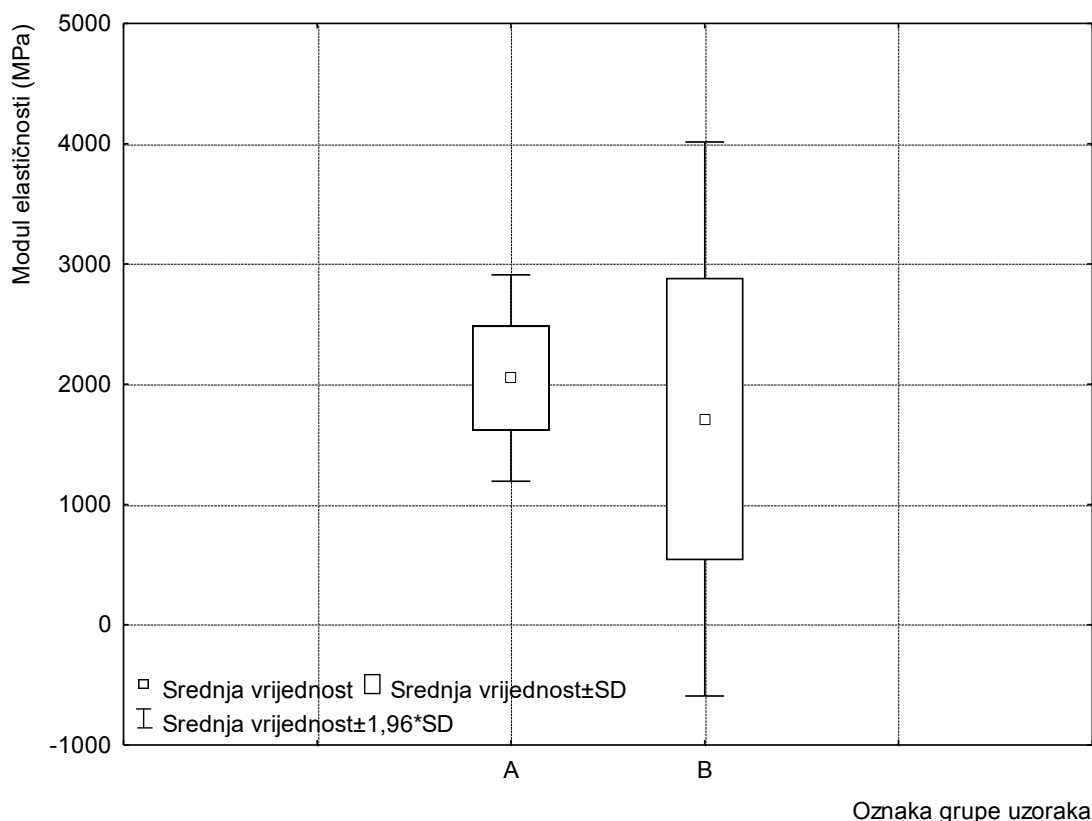
**Slika 22.** Grafički prikaz modula elastičnosti savojne čvrstoće pojedinih grupa uzoraka eksperimentalnih drvno-plastičnih kompozita (paralelno sa smjerom vlaknaca furnira)

Kod uzoraka koji su s donje strane (vlačne strane pri ispitivanju) imali furnir orijentiran u smjeru širine uzorka, odnosno, gdje je sila direktno djelovala na furnir koji je bio postavljen u smjeru duljine uzoraka, veća srednja vrijednost modula elastičnosti dobivena je kod grupe uzoraka A koja označava kompozit sa sitnijim punilom (<0,8 mm). Visoke vrijednosti modula elastičnosti u oba slučaja mogu se povezati sa savojnim svojstvima obloženih furnira, dok se razlika može pripisati boljoj/lošijoj kohezijsko-adhezijskoj čvrstoći središnjeg sloja iz polimera s dodatkom drvnog brašna.

## 5.10. Modul elastičnosti savojne čvrstoće, okomito

**Tablica 8.** Vrijednosti modula elastičnosti savojne čvrstoće ispitnih uzoraka drvno-plastičnog kompozita (okomito na smjer vlaknaca furnira)

Oznaka grupe uzoraka	Broj uzoraka (n)	Aritmetička sredina (MPa)	Minimum (MPa)	Maksimum (MPa)	Standardna devijacija
A	6	2051,5	1528,8	2755,5	437,7
B	6	1711,2	842,9	3744,0	1175,1



**Slika 23.** Grafički prikaz modula elastičnosti savojne čvrstoće pojedinih grupa uzoraka eksperimentalnih drvno-plastičnih kompozita (okomito na smjer vlaknaca furnira)

I u ovom slučaju, kao i kod savojne čvrstoće, model elastičnosti okomito na vlakanca i model elastičnosti paralelno s vlakancima imaju isti omjer, odnosno, i u ovom slučaju modul elastičnosti veći je kod grupe uzoraka A koji je izrađen primjenom sitnijeg drvnog brašna (<0,8 mm). Visoke vrijednosti pritom se svakako mogu pripisati utjecaju materijala za oplemenjivanje površine.

## 6. ZAKLJUČAK

Na osnovi ranije prikazanih rezultata provedenog istraživanja mogu se donijeti sljedeći zaključci:

- drvno-plastične kompozite moguće je izraditi primjenom jednogodišnjih izbojaka drva voćkarica kao punila,
- drvno-plastične kompozite moguće je izraditi metodom uslojavanja,
- granulacija čestica punila većim dijelom utječe na fizikalna svojstva, nego na mehanička,
- smjerovi drvnih vlaknaca na furniru koji služi za oplemenjivanje kompozita značajno utječu na vrijednosti mehaničkih svojstava,
- mehanička svojstva drvno-plastičnih kompozita pod koja spadaju savojna čvrstoća i modul elastičnosti savojne čvrstoće izrazito su visoka,
- gustoća ispitanih drvno-plastičnih kompozita niža je od gustoće komercijalnih drvno-plastičnih kompozita izrađenih ekstruzijom ( $\approx 1,0 \text{ g/cm}^3$ ).



## 7. LITERATURA

1. Bekhta, P.; Lyutyy P.; Ortynska G., 2016: Effects of Different Kinds of Coating Materials on Properties of Flat Pressed WPC Panels. *Drvna industrija* 67(2): 113-118.
2. Klyosov, A. A., 2007: *Wood-Plastic Composites*, John Wiley & Sons, Inc., New York.
3. Lyutyy P.; Bekhta, P.; Ortynska G., 2018: Lightweight Flat Pressed Wood Plastic Composites: Possibility of Manufacture and Properties. *Drvna industrija* 69(1): 55-62.
4. Španić N.; Jambrekić, V.; Antonović, A., 2010: Basic Materials for Manufacturing Wood-Plastic Composites. *Drvna industrija* 61(4): 259-269.
5. Tamrakar, S., Shaler, S. M., Lopez-Anido, R. A., Gardner, D. J., West, C. H., Han, Y., Edgar, R., 2012: Mechanical Property Characterization of Fiber-Reinforced Polymer Wood-Polypropylene Composite Panels Manufactured Using a Double Belt Pressing Technology. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 24(9): 1193-1200.