

Mehanička svojstva tekstilnih kompozita

M Omerović, Lejla

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Textile Technology / Sveučilište u Zagrebu, Tekstilno-tehnološki fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:201:091292>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-06**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Textile Technology University of Zagreb - Digital Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
TEKSTILNO – TEHNOLOŠKI FAKULTET

DIPLOMSKI RAD

MEHANIČKA SVOJSTVA TEKSTILNIH KOMPOZITA

LEJLA M OMERVIĆ

Zagreb, rujan 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
TEKSTILNO – TEHNOLOŠKI FAKULTET
ZAVOD ZA TEMELJNE PRIRODNE I TEHNIČKE ZNANOSTI

DIPLOMSKI RAD

Mehanička svojstva tekstilnih kompozita

Prof. dr. sc. Budimir Mijović

Lejla M Omerović 0117228902

Zagreb, rujan 2023.

Temeljna dokumentacijska kartica:

Ovaj rad je izrađen na Zavodu za temeljne prirodne i tehničke znanosti pod mentorstvom prof. dr. sc. Budimira Mijovića.

Broj stranica: 44

Broj slika: 28

Broj tablica: 6

Broj literaturnih izvora: 17

Sastav povjerenstva:

Prof. dr. sc. Zenun Skenderi , predsjednik povjerenstva

Prof. dr. sc. Budimir Mijović, član

Doc. dr. sc. Stana Kovačević, članica

Doc. dr. sc. Antoneta Tomljenović, zamjenica člana

Datum predaje rada: 27.09.2023.

Datum obrane: 28.09.2023.

SAŽETAK:

Tekstilni kompozitni materijali napredni su materijali koji kombiniraju tekstil (kao što su tkani ili netkani materijali) s drugim materijalima, često polimerima ili vlaknima za ojačavanje, kako bi se stvorili materijali s poboljšanim svojstvima i učinkom. Ovi se kompoziti koriste u širokom rasponu primjena u raznim industrijama zbog svoje jedinstvene kombinacije karakteristika, koje mogu uključivati čvrstoću, izdržljivost, laganu težinu, fleksibilnost i toplinsku ili električnu vodljivost.

Mehanička svojstva tekstilnih kompozitnih materijala mogu značajno varirati ovisno o specifičnim korištenim materijalima, proizvodnom procesu i namjeravanoj primjeni.

Vlačna svojstva bitna su mehanička svojstva koja se koriste za procjenu učinkovitosti kompozitnih tekstilnih materijala. Vlačna svojstva opisuju kako se materijal ponaša pod vlačnim silama (povlačenjem ili istezanjem).

Ključne riječi: kompozitni tekstilni materijali, mehanička svojstva, vlačna svojstva kompozita.

SADRŽAJ

SAŽETAK:	II
1. UVOD	1
2. TEORIJSKI DIO	3
2.1. <i>Tekstilni kompozitni materijali i njihova klasifikacija</i>	3
2.1.1. <i>Povijest tekstilnih kompozitnih materijala</i>	6
2.1.2. <i>Proizvodnja tekstilnih kompozitnih materijala</i>	8
2.1.3. <i>Mehanička svojstva</i>	10
2.1.4. <i>Nanotehnologija u tekstilnim kompozitima</i>	12
2.1.5. <i>Bio-bazirani kompoziti</i>	15
3. EKSPERIMENTALNI DIO	19
3.1 <i>Materijal</i>	19
3.2. <i>Mjerna oprema</i>	20
3.3. <i>Priprema uzoraka za mjerenje</i>	22
3.4. <i>Vlačni test</i>	24
4. REZULTATI I RASPRAVA	25
4.1. <i>Rezultati vlačne sile na suhim uzorcima</i>	25
4.2. <i>Rezultati vlačne sile na mokrim uzorcima</i>	32
5. ZAKLJUČAK	40
6. LITERATURA	41
POPIS SLIKA I TABLICA:	43

1. Uvod

Kompozit ili kompozitni materijal građen je od međusobno čvrsto spojenih različitih materijala radi dobivanja novog, drugačijeg materijala, s fizikalnim ili kemijskim svojstvima koja nadmašuju svojstva pojedinačnih dijelova ili sa svojstvima koje ti pojedinačni dijelovi nemaju. Većina kompozita sadrži jedan materijal kao kontinuiranu fazu (matricu), a u nju su uklopljeni odvojeni dijelovi druge faze, koja najčešće ima funkciju ojačala.

Tekstilni kompozitni materijali napredni su materijali koji kombiniraju tekstil (kao što je tkani ili netkani tekstil) s drugim materijalima, često polimerima ili vlaknima za ojačavanje, kako bi se stvorili materijali s poboljšanim svojstvima i učinkom. Ovi se kompoziti materijali koriste u širokom rasponu primjena u raznim industrijama zbog svoje jedinstvene kombinacije karakteristika, koje mogu uključivati čvrstoću, izdržljivost, laganu težinu, fleksibilnost i toplinsku ili električnu vodljivost.

Neki od ključnih aspekata i primjena tekstilnih kompozitnih materijala su:

- Materijali za ojačanje: Tekstilni kompoziti često koriste vlakna kao što su karbonska vlakna, staklena vlakna, aramidna vlakna (npr. kevlar) ili prirodna vlakna (npr. lan ili juta) kao ojačanje. Ova vlakna daju čvrstoću i krutost kompozitu dok istovremeno održavaju fleksibilnost i svojstva lagane tkanine.
- Matrični materijali: Matrični materijal, obično polimerna smola, koja okružuje i povezuje ojačavajuća vlakna zajedno, osiguravajući koheziju i prijenos opterećenja između vlakana. Uobičajeni matrični materijali uključuju epoksid, poliester i termoplastične polimere.
- Tehnike laminiranja: Tekstilni kompozitni materijali često se proizvode pomoću različitih tehnika laminiranja, kao što su ručno polaganje, vakuumsko pakiranje u vrećice, infuzija smole ili stvrdnjavanje u autoklavu, ovisno o specifičnoj primjeni i potrebnim karakteristikama izvedbe.

Mehanička svojstva kompozitnih materijala poput: vlačnih, tlačnih, savitljivosti, čvrstoće i krutosti ovise o različitim čimbenicima, a neki od njih su: sastav materijala, njihovi volumni udjeli i korišteni proizvodni procesi.

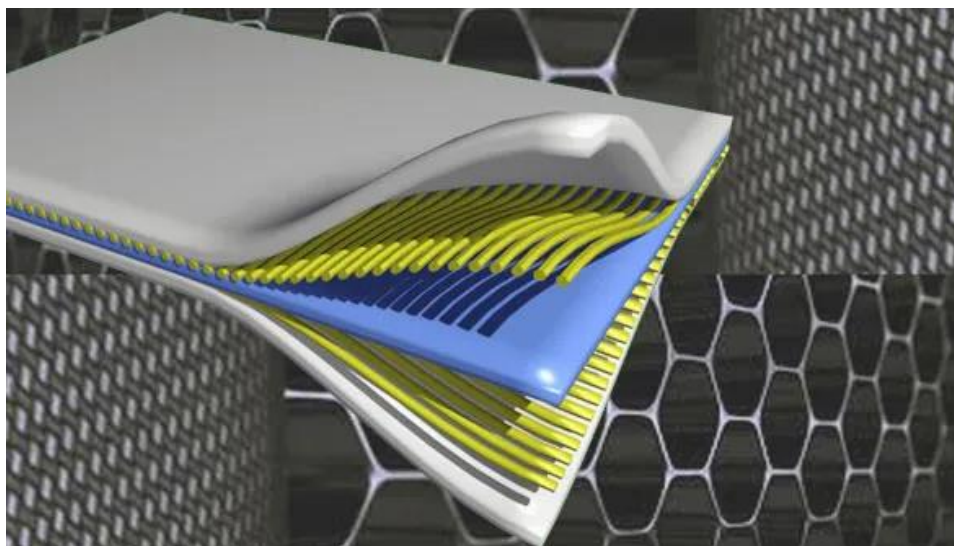
Istraživanje različitih tehnika proizvodnje kompozitnih materijala je veoma bitno. To može uključivati proučavanje procesa poput ručnog postavljanja, namotavanja filameta, kompresijskog kalupljenja i još mnogo toga kako bi se optimizirala mehanička svojstva konačnog proizvoda [1].

2. TEORIJSKI DIO

2.1. Tekstilni kompozitni materijali i njihova klasifikacija

Kompozitni materijali iz dana u dan zamjenjuju konvencionalne materijale zbog svoje male težine, velike čvrstoće, fleksibilnosti dizajna i dugog vijeka trajanja.

Najmanje dva inherentno različita materijala miješaju se kako bi formirali novi materijal koji se naziva kompozitni materijal koji se razlikuje od oba, ali ima bolja svojstva (*Slika 1*). Dva sastojka kompozita nazivaju se matrica i smola (ljepilo ili materijal za ojačanje) [1].



Slika 1. Tekstilni kompozitni materijal [2]

Matrica predstavlja sastojak kompozitnih materijala koji je uglavnom odgovoran za njegova mehanička svojstva. Njegov postotak u kompozitu može biti do 70% volumena. Ljepilo ili smola je sintetski polimer s ciljem vezanja elemenata matrice. Kompozitni materijali mogu se klasificirati i na temelju vrste smole i vrste ojačanja. Na temelju vrste korištene smole, kompozitni materijali mogu se klasificirati u dvije kategorije:

- Termoplastični kompoziti
- Termostabilni kompoziti

Termoplastični kompoziti

Ovo je vrsta kompozitnog materijala s termoplastičnom smolom poput poliestera, HDPE-a itd. Manje se koriste kao visokotehnoški materijali zbog svoje veće viskoznosti koja uzrokuje problem tijekom njihovog prodiranja u armaturu. Za njihovu proizvodnju potrebna je oprema koja može izdržati visoke temperature i tlak koji povećava trošak proizvodnje. Ali imaju i neke prednosti. Na primjer, nisu otrovni i mogu se reciklirati.

Termostabilni kompoziti

U ovim se kompozitima kao smola koriste termo-stvrđnuti polimeri poput epoksida, nezasićenog poliestera i vinil-estera. Oni su najčešće korištena vrsta kompozitnih materijala u automobilskoj, pomorskoj, aeronautičkoj i svemirskoj industriji. Prednost im se daje u odnosu na termoplastične smole zbog njihove manje viskoznosti koja im pomaže da lako prodru u armaturu čak i na sobnoj temperaturi. Oprema za kalupljenje koja se koristi relativno je jeftinija jer nema potrebe za dizanjem do vrlo visoke temperature i tlaka. Njihov nedostatak je to što su toksični, ne mogu se reciklirati, imaju manju dostupnost za vrijeme prodiranja nakon što polimerizacija započne.

Klasifikacija na temelju pojačanja temelji se na ojačanjima koja se koriste tijekom proizvodnje, koji mogu biti u obliku laminata koji se kombiniraju kako bi se dobila određena debljina ili u obliku debelog tkanog platna. Dakle, na temelju armature kompoziti se mogu kategorizirati u dvije kategorije:

- Laminirani kompoziti
- 3-D tkani kompoziti

Laminirani kompoziti

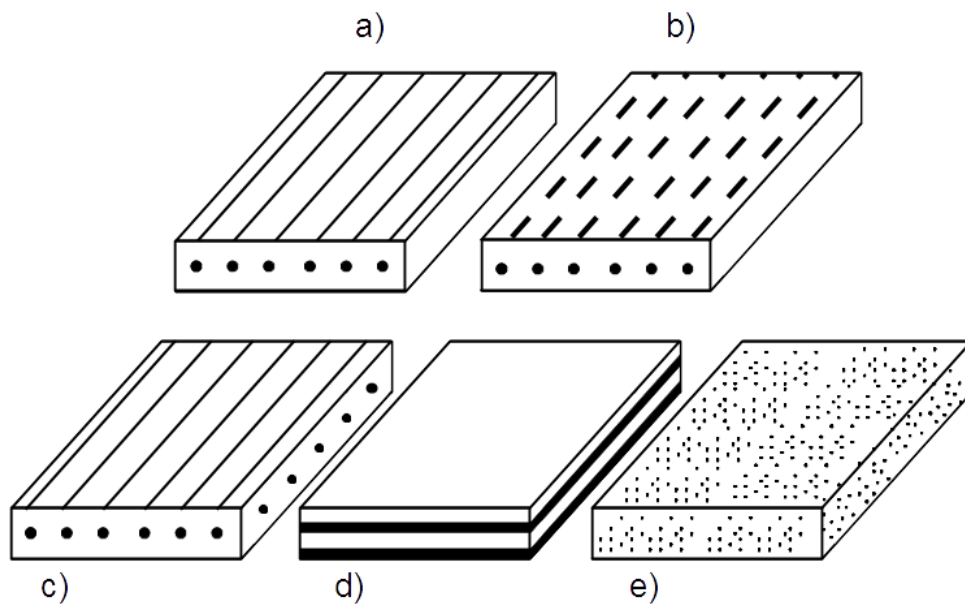
U laminarnim kompozitima slojevi armature složeni su u određenom uzorku kako bi se dobila potrebna svojstva u rezultirajućem kompozitnom komadu. Ti se slojevi nazivaju slojevi ili laminati. Prednosti laminiranih kompozita su relativno dobro definiran položaj vlakana u konačnom kompozitnom komadu, veća čvrstoća, veći omjer vlakana i volumena, a njihovi nedostaci su relativno loši zbog svojstava debljine i problema s deformacijama izazvanih procesom proizvodnje [1] [2].

Laminati se mogu sastojati od materijala za pojačanje koji mogu biti:

- Netkani
- Pleteni
- Ojačani vlaknima
- 2D-tkani

Na *Slici 2* nalazi se grafički primjer laminata ojačanim:

- dugim vlaknima,
- kratkim vlaknima,
- tekstilom,
- slojem drugog materijala,
- disperznim česticama.



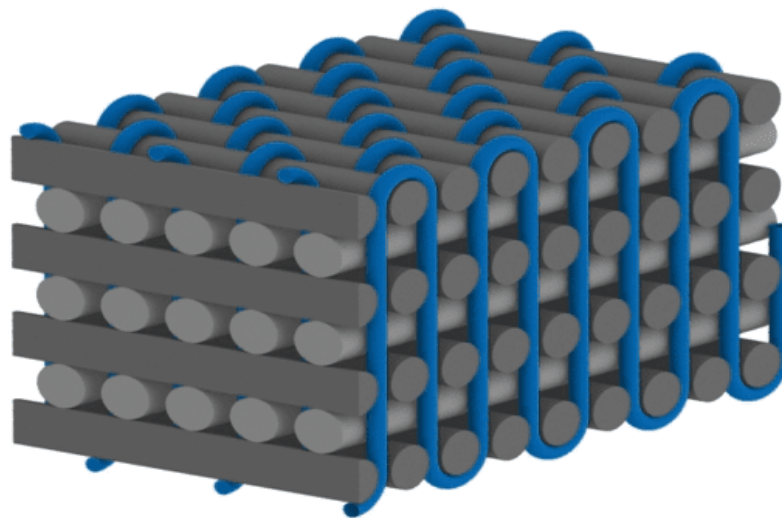
Slika 2. Različito ojačani laminati [3]

3D tkani kompoziti

Ovi kompoziti imaju ojačanje 3D tkane ili 2D+ višeslojne tkanine. Ovi kompoziti imaju puno bolja svojstva debljine u usporedbi s laminiranim kompozitima i nemaju šanse za međuslojno klizanje koje je uobičajeno kod laminiranih kompozita kada su podvrgnuti mehaničkim opterećenjima.

3D tkani kompoziti uvelike se koriste u strukturama koje su izložene jakim vibracijama, npr. rotorima helikoptera (*Slika 3*). Budući da se još uvijek ne razvija stroj koji može proizvesti prave 3D tkane tkanine u komercijalnoj mjeri, 2D+ višeslojne tkanine se u velikoj mjeri koriste kao ojačanja u 3D tkanim tkaninama.

U višeslojnim izvedbama tkanje se izvodi tako da se broj niti iz određenog sloja tkanine koristi za njegovo povezivanje s drugim slojem tkanine i tako dalje. Pokazalo se da su svojstva u ravnini višeslojnih tkanih struktura inferiorna u odnosu na svojstva ekvivalentnih struktura izrađenih od trake, zbog uvijanja vlakana, područja bogatih smolom zbog dizajna tkanja, a moguće i zbog oštećenja snopa vlakana tijekom procesa tkanja. Pokazalo se da ovi geometrijski nedostaci igraju važnu ulogu u procesu loma kompozita ojačanih višeslojnim tkanim izvedbama [3].



Slika 3. 3D kompozitna tkanina [3]

2.1.1. Povijest tekstilnih kompozitnih materijala

Povijest tekstilnih kompozitnih materijala fascinantno je putovanje koje se proteže stoljećima i na kojem se odvija evolucija materijala i tehnika proizvodnje.

Još su drevne civilizacije upotrebljavale prirodna vlakana poput pamuka, lana i vune, a u nastojanju da iz dostupnih materijala izvuku što više, ta vlakna su kombinirali s drugim komponentama kako bi dobili novi materijal koji bi imao nova i poboljšana svojstva.

Tako su mezopotamski graditelji glinu miješali sa slamom, koja je prvo poznato ojačavalo za kompozitne materijale što je prikazano na *Slici 4*. Čamci pleteni od trstike premazivani su katranom radi vodonepropusnosti, a stoljećima kasnije tkanina je impregnirana lanenim uljem za kabanice i jedrilje (voštano platno) [4].



Slika 4. Primjer kompozitnog materijala iz Mezopotamije [4]

Tijekom srednjeg vijeka, europski oružari ugrađivali su slojeve lanene ili svilene tkanine u metalni oklop kako bi poboljšali njegovu otpornost na proboj i raspodijelili udarne sile. Ovaj rani oblik kompozitnog oklopa poboljšao je i zaštitu i fleksibilnost.

U 18. i 19. stoljeću inovacije u proizvodnji tekstila, poput razvoja tkalačkog stana, omogućile su masovnu proizvodnju tekstila. Time su postavljeni temelji za buduću upotrebu tekstila u kompozitima, dok je u 20. stoljeću razvoj sintetičkih vlakana, kao što su najlon i poliester doveo do poboljšanja čvrstoće i izdržljivosti u usporedbi s prirodnim vlaknima.

Potreba za laganim, jakim materijalima tijekom Drugog svjetskog rata dovela je do značajnog napretka u tehnologiji kompozita. Plastični kompoziti ojačani staklom su razvijeni u to vrijeme i korišten u konstrukciji zrakoplova i brodova (*Slika 5*).

U razdoblju nakon Drugog svjetskog rata nastavljaju se istraživanja i razvoj kompozita. Ugljična vlakna, lagani materijal visoke čvrstoće, izumljena su sredinom 20. stoljeća i od tada su postala ključna komponenta u mnogim naprednim kompozitima.

Zrakoplovna industrija opsežno je usvojila kompozite za izradu zrakoplova zbog njihovog visokog omjera čvrstoće i težine.



Slika 5. Primjena kompozitnih materijala u 20. st. [5]

U drugoj polovici 20. stoljeća, automobilska industrija počela je ugrađivati kompozite u dizajn vozila kako bi smanjila težinu i poboljšala učinkovitost goriva. Kompoziti ojačani ugljičnim vlaknima našli su primjenu u automobilima visokih performansi.

Danas se tekstilni kompoziti naširoko koriste u raznim industrijama i nastavljaju se razvijati uz stalna istraživanja novih materijala i proizvodnih metoda [5].

2.1.2. Proizvodnja tekstilnih kompozitnih materijala

Proizvodnja tekstilnih kompozitnih materijala uključuje kombiniranje tekstilnih vlakana s matičnim materijalom kako bi se stvorio materijal koji pokazuje svojstva bolja od onih njegovih pojedinačnih komponenti. Ključni koraci u proizvodnji tekstilnih kompozitnih materijala su:

Izbor materijala

Vrsta tekstilnih vlakana se odabire na temelju željenih svojstava kompozita. Uobičajena vlakna koja se koriste uključuju karbonska vlakna, staklena vlakna, aramid (Kevlar) i prirodna vlakna poput lana ili konoplje. Materijal matrice će spojiti vlakna zajedno i pružiti potporu. Uobičajeni matični materijali uključuju epoksi, poliester, vinil ester i termoplaste poput polipropilena [6].

Priprema tekstilne armature

Tekstilna vlakna su obično u obliku tkanine ili trake. Te materijale ponekad je potrebno prethodno obraditi kako bi se poboljšalo prianjanje na materijal matrice.

Orijentacija i raspored vlakana ključni su za određivanje mehaničkih svojstava kompozita. Različiti uzorci tkanja ili slaganja mogu se koristiti za postizanje specifičnih karakteristika čvrstoće i krutosti.

Priprema matrice

Materijal matrice je obično u tekućem obliku. Priprema se prema specifikacijama proizvođača i često uključuje kombinaciju smole i učvršćivača.

Materijal matrice može sadržavati aditive kao što su punila, plastifikatori ili sredstva za ojačavanje za poboljšanje specifičnih svojstava.

Skupljanje

U ovom se koraku tekstilna armatura postavlja u željenom smjeru i uzorku, zatim se materijal matrice nanosi na armaturu. To se može učiniti različitim metodama, uključujući ručno postavljanje, namotavanje niti ili automatizirane procese poput automatiziranog postavljanja trake (ATL) ili automatiziranog postavljanja vlakana (AFP).

Stvrdnjavanje ili polimerizacija

Nakon što je slaganje završeno, kompozit se podvrgava toplini i pritisku kako bi se očvrstnuo ili polimerizirao materijal matrice.

Proces stvrdnjavanja može varirati ovisno o vrsti materijala matrice koji se koristi.

Naknadna obrada

Nakon stvrđnjavanja, kompozit se može podvrgnuti dodatnim procesima kao što su obrezivanje, strojna obrada ili završna obrada površine kako bi se zadovoljili specifični dimenzionalni i estetski zahtjevi.

Kontrola kvalitete

Mjere kontrole kvalitete ključne su kako bi se osiguralo da konačni kompozit zadovoljava željene specifikacije i standarde. Metode ispitivanja bez razaranja, poput ultrazvučnog ispitivanja ili pregleda rendgenskim zrakama, mogu se koristiti za otkrivanje nedostataka unutar kompozita.

Testiranje i certifikacija

Gotov tekstilni kompozitni materijal podvrgava se različitim ispitivanjima kako bi se potvrdila njegova mehanička, toplinska i kemijska svojstva. Certifikati i odobrenja mogu biti potrebni, posebno u industrijama poput zrakoplovne i automobilske industrije [7].

2.1.3. Mehanička svojstva

Mehanička svojstva tekstilnih kompozitnih materijala mogu značajno varirati ovisno o korištenim materijalima, proizvodnom procesu i namjeravanoj primjeni. Ključna mehanička svojstva tekstilnih kompozitnih materijala su:

Čvrstoća

Čvrstoća tekstilnog kompozitnog materijala je mjera njegove sposobnosti da izdrži primijenjeno opterećenje bez loma ili deformiranja. Može se opisati pomoću vlačne čvrstoće (otpor na istezanje), tlačne čvrstoće (otpor na sabijanje) ili smične čvrstoće (otpor na klizanje slojeva).

Krutost

Krutost se odnosi na to koliko je materijal otporan na deformaciju kada je izložen vanjskoj sili. Kod tekstilnih kompozita, na krutost utječe vrsta i raspored vlakana ili tekstila unutar kompozita.

Modul elastičnosti

Ovo svojstvo mjeri koliko se materijal deformira pod naprezanjem i zatim vraća u svoj izvorni oblik kada se naprezanje ukloni. Veći modul elastičnosti ukazuje na veću krutost.

Otpornost na udarce

Otpornost na udarce mjeri sposobnost kompozita da izdrži iznenadna opterećenja velike brzine bez kvara ili lomljenja. Tekstilno ojačanje često doprinosi poboljšanoj otpornosti na udarce.

Otpornost na zamor

Otpornost na zamor procjenjuje koliko dobro materijal može izdržati ponavljana ciklička opterećenja bez razvoja pukotina ili slabljenja tijekom vremena.

Otpor na puzanje

Puzanje je spora, vremenski ovisna deformacija materijala pod stalnim opterećenjem. Otpornost na puzanje tekstilnih kompozita važna je u primjenama gdje je materijal izložen dugotrajnim opterećenjima.

Gustoća

Gustoća utječe na težinu i uzgon kompozita. Kompoziti manje gustoće često se preferiraju u zrakoplovnoj i automobilskoj industriji radi smanjenja težine.

Toplinska svojstva

Toplinsko širenje, toplinska vodljivost i otpornost na visoke temperature također su važna mehanička svojstva, posebno u primjenama gdje će kompozit biti izložen različitim temperaturnim uvjetima.

Otpornost na kemikalije

Ovisno o matričnom materijalu koji se koristi u kompozitu, može pokazivati različite stupnjeve otpornosti na kemikalije, koroziju i čimbenike okoliša.

Otpornost na habanje

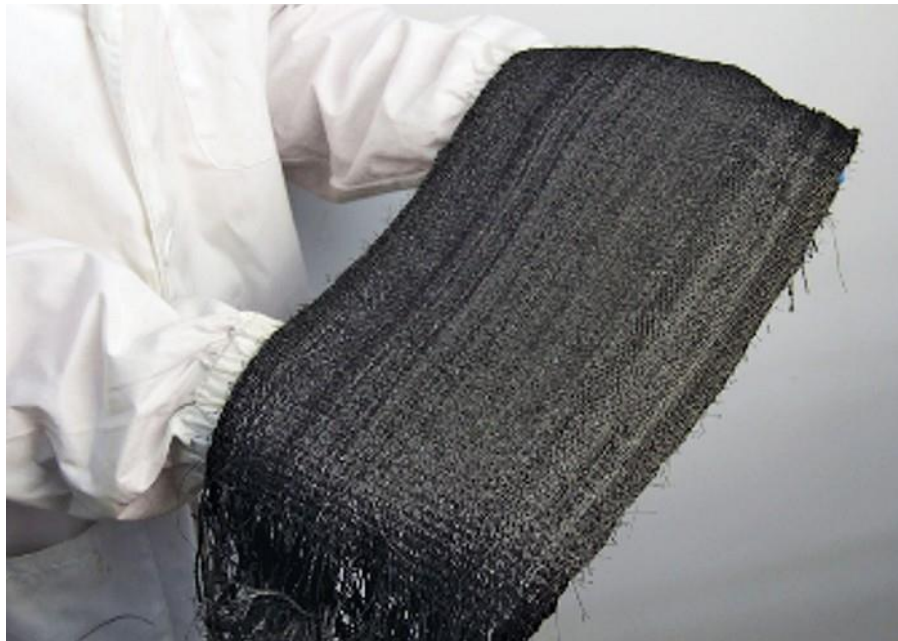
Otpornost na habanje važna je u primjenama gdje je kompozit podložan habanju i trenju, kao što je zaštitna odjeća ili pokretne trake.

Proizvodnja tekstilnih kompozitnih materijala zahtijeva preciznost i stručnost kako bi se osiguralo da konačni proizvod ispunjava predviđene zahtjeve performansi. Izbor materijala, tehnika obrade i kontrola kvalitete ključni su čimbenici u postizanju željenih mehaničkih svojstava kompozita [8].

2.1.4. Nanotehnologija u tekstilnim kompozitima

Nanotehnologija je imala značajan utjecaj na razne industrije, uključujući i tekstilnu. Kada se primijeni na tekstilne kompozite, nanotehnologija nudi nekoliko prednosti, kao što su poboljšana mehanička svojstva, trajnost i funkcionalnost.

Nanočestice kao što su naprimjer ugljikove mogu se ugraditi u tekstilne kompozite kako bi se poboljšala njihova mehanička svojstva. Ove nanočestice mogu povećati vlačnu čvrstoću, krutost i otpornost na udarce, čineći rezultirajuće materijale robusnijim i izdržljivijim. Primjer takvog tekstila možemo vidjeti na *Slici 6*.

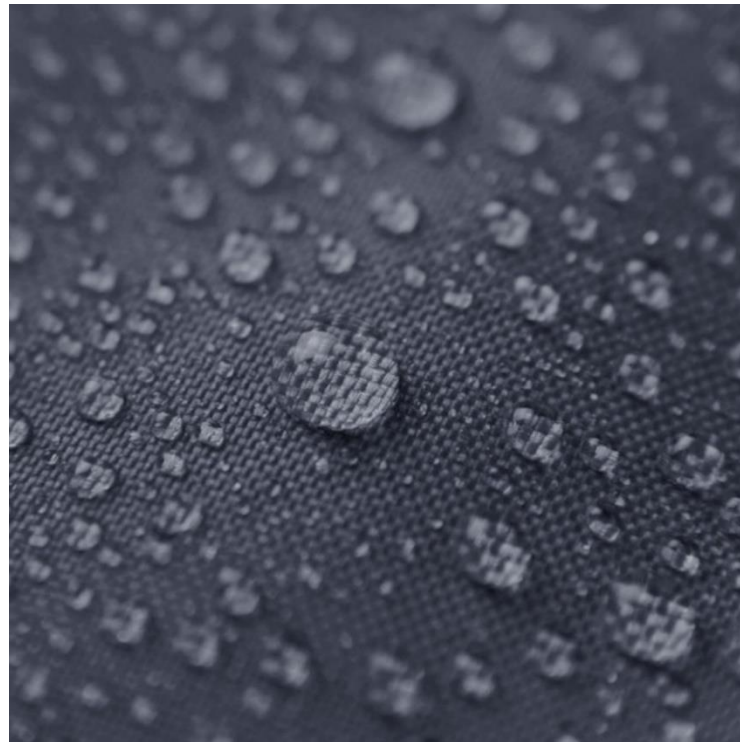


Slika 6. Svileni kompozitni materijal sa svilom i ugljikovim nanočesticama [12]

Nanotehnologija omogućuje razvoj laganih tekstilnih kompozita s visokim omjerom čvrstoće i težine. Ovo je osobito vrijedno u primjenama gdje je smanjenje težine kritično, kao što su zrakoplovna i automobilska industrija [9].

Također nanočestice utječu na poboljšanje svojstva barijere. Na primjer, ugradnja materijala u nanosmjeru može poboljšati vodoodbojnost, otpornost na plamen i kemijsku otpornost tekstila, poboljšati otpornost na toplinu, toplinsku izolaciju i regulaciju temperature u tekstu, čineći ih prikladnima za različita okruženja i klime.

Nanotehnologija omogućuje razvoj tankih, izdržljivih premaza koji se mogu nanijeti na tekstilne kompozite. Ovi premazi mogu pružiti dodatne funkcije kao što su vodootpornost, otpornost na mrlje i jednostavno čišćenje (*Slika 7*).



Slika 7. Nano premaz za postizanje vodoodbojnosti na tkanini [12]

Navedene čestice također mogu pružiti UV-blokirajuća svojstva, štiteći korisnika od štetnog ultraljubičastog zračenja. Ovo je posebno važno kod odjeće za van i za sport.

Ugljikove nanocijevi i grafen poznati su po svojoj izvrsnoj električnoj vodljivosti. Kada se integriraju u tekstilne kompozite, ti se materijali mogu koristiti za izradu vodljivih tekstila za aplikacije poput nosive elektronike, pametnog tekstila i elektromagnetske zaštite.

Nanočestice srebra, na primjer, imaju antimikrobna svojstva. Kada se ugrade u tekstil, mogu stvoriti samočisteće ili antibakterijske tkanine, koje nalaze primjenu u zdravstvu, sportskoj odjeći i osobnoj zaštitnoj opremi (PPE). Primjer pređe s česticama nanosrebra možemo vidjeti na *Slici 8* [12].



Slika 8. Pređa s nanosrebrom. [15]

U tekstilnoj tehnologiji primjenjuju se i nanosenzori koji se mogu ugraditi u tekstilne kompozite kako bi se stvorile tkanine koje mogu osjetiti različite parametre, uključujući temperaturu, vlažnost i napetost. Ovi pametni tekstili imaju primjenu u zdravstvu, sportu i vojsci.

Također nanomaterijali se mogu koristiti za stvaranje tekstilnih kompozita koji mogu prikupljati energiju iz izvora poput sunčevog zračenja ili topline tijela. Ta se energija može koristiti za napajanje elektroničkih uređaja ili senzora.

Integracija nanotehnologije u tekstilne kompozite otvorila je širok raspon mogućnosti za poboljšanje performansi i funkcionalnosti tekstila u raznim industrijama. Kako nanotehnologija napreduje, vjerojatno ćemo u budućnosti vidjeti još inovativnije primjene nanomaterijala u tekstilu i kompozitima [11].

2.1.5. Bio-bazirani kompoziti

Tekstilni kompoziti na biološkoj osnovi napredni su materijali koji kombiniraju prirodna vlakna s polimernim matricama kako bi stvorili održivu i ekološki prihvatljivu alternativu tradicionalnim kompozitnim materijalima. Ovi kompoziti iskorištavaju jedinstvena svojstva vlakana na biološkoj osnovi kao što su lan, konoplja, juta, pamuk i bambus za ojačavanje polimera poput epoksida, poliestera ili smola na biološkoj osnovi. Dobiveni materijali nude niz prednosti i primjena u raznim industrijama.

Jedna od primarnih motivacija za razvoj tekstilnih kompozita na biološkoj osnovi je njihov smanjeni utjecaj na okoliš. Prirodna vlakna su obnovljivi izvori koji zahtijevaju manje energije i proizvode manje emisija stakleničkih plinova tijekom proizvodnje u usporedbi sa sintetičkim vlaknima poput ugljika ili stakla. Upotrebom vlakana na biološkoj osnovi, ovi kompoziti pridonose održivosti i smanjuju ovisnost o materijalima na bazi nafte.

Što se tiče metoda obrade tekstilni kompozitni materijali na biološkoj osnovi mogu se proizvesti različitim metodama, uključujući kompresijsko prešanje, injekcijsko prešanje i prešanje smolom na prirodnoj bazi. Izbor metode obrade ovisi o specifičnoj primjeni i željenim svojstvima kompozita. Ovisno o vrsti prirodnog vlakna koje se koristi, ovi kompoziti mogu pokazivati izvrsna svojstva čvrstoće i krutosti. Na primjer, vlakna lana i konoplje poznata su po svojoj visokoj vlačnoj čvrstoći, što ih čini prikladnima za strukturalne primjene.

Kompoziti na biološkoj osnovi često su lakši od tradicionalnih materijala poput kompozita ojačanih staklom, što ih čini prikladnima za primjene u kojima je smanjenje težine kritično, kao što su automobilska i zrakoplovna industrija.

Tekstilni kompoziti na biološkoj osnovi mogu se prilagoditi specifičnim primjenama prilagođavanjem vrste vlakana, orijentacije i matrice smole. Ova fleksibilnost omogućuje proizvođačima da optimiziraju svojstva materijala za širok raspon namjena.

Neki kompoziti na biološkoj osnovi dizajnirani su tako da budu potpuno biorazgradivi, nudeći rješenje za kraj životnog vijeka koje je ekološki prihvatljivije u usporedbi s

tradicionalnim kompozitima, čije recikliranje može biti izazovno. Važnost biorazgradivosti koja je dio kružnog gospodarstva možemo vidjeti na *Slici 9* [13].



Slika 9. Kružno gospodarstvo u tekstilnoj industriji [13]

Tekstilni kompoziti na biološkoj osnovi mogu se primijeniti u raznim industrijama kao što su:

Automobilska industrija

Ovi se kompoziti koriste za unutarnje komponente, vanjske ploče i strukturne elemente za smanjenje težine vozila i poboljšanje učinkovitosti goriva (*Slika 10*).



Slika 10. Bio-kompoziti za unutrašnjost automobila [14]

Zrakoplovna industrija

U sektoru zrakoplovstva, kompoziti na biološkoj osnovi mogu se koristiti u unutrašnjosti zrakoplova, kao i za ne strukturalne komponente, radi uštede na težini i smanjenja utjecaja na okoliš.

Građevinska industrija

Kompoziti na biološkoj osnovi mogu se koristiti za građevinske materijale, kao što su obloge, krovovi i izolacija, kako bi se poboljšala energetska učinkovitost i održivost u građevinskim projektima. Jedan od primjer bio-kompozita napravljenog od prirodnih vlakana koji se koristi u građevinarstvu možemo vidjeti na *Slici 11*.



Slika 11. Bio-kompoziti u građevinarstvu [14]

Roba široke potrošnje

Kompoziti na biološkoj osnovi koriste se u raznim potrošačkim proizvodima poput namještaja, prtljage i kućišta elektroničkih uređaja kako bi se spojila estetika s ekološkom sviješću.

Unatoč svojim brojnim prednostima, tekstilni kompoziti na biološkoj osnovi također se suočavaju s izazovima, uključujući varijabilnost u kvaliteti vlakana, ograničenu dostupnost nekih vlakana na biološkoj osnovi i potencijalnu zabrinutost u pogledu trajnosti u određenim primjenama. Istraživanje i razvoj nastavljaju se baviti ovim izazovima [14].

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1 Materijal

U radu je korišten Shieldex Bonn (*Slika 12*) koji je visoko vodljivi termički vezan netkani materijal izrađen od 100% poliamida (Nylon 6.6) sa sadržajem srebra od cca. 17 %. Zbog sadržaja srebra ovaj netkani materijal djeluje antimikrobno, električki je i toplinski vodljiv te štiti od elektromagnetskog zračenja. Unatoč svojim antimikrobnim svojstvima, Shieldex Bonn se također koristi za tehničke svrhe u industriji. Osim elektromagnetske zaštite, ovaj tehnički materijal osigurava antistatičku disipaciju i vrlo dobru električnu vodljivost do $< 0,5 \Omega$ [15].

Shieldex Bonn je posebno prikladan za senzore u medicinskoj tehnologiji, zaštitne tapete u zaštiti prostorija ili antistatičko pražnjenje u elektroničkim komponentama.

Također material je usklađen s OEKO-TEX® STANDARD 100, REACH i RoHS.

Učinkovitost zaštite (0,2–2 GHz) Prosječno < 63 dB od 0,2 GHz – 2 GHz

Učinkovitost zaštite (2–5 GHz) Prosječno < 70 dB od 2 GHz – 5 GHz

Učinkovitost zaštite (5–14 GHz) Prosječno < 78 dB od 5 GHz – 14 GHz

Težina $56 \text{ g/m}^2 \pm 15 \%$

Debljina $0,35 \text{ mm} \pm 30 \%$



Slika 12. Shieldex Bonn [15]

3.2. Mjerna oprema

Norma ISO 9073-3, koju je razvila Međunarodna organizacija za standarde (ISO), opisuje metodu ispitivanja za određivanje vlačnih svojstava netkanih tkanina metodom posmične trake. Za mjerenje se koristi dinamometar Statimat M tvrtke Textechno (*Slika 13*). Točnost ovog aparata odgovara klasi 1, s pogreškom zabilježene maksimalne sile $\pm 1\%$.

Sila pri lomljenju materijala općenito je poznata kao vlačna čvrstoća ili krajnja vlačna čvrstoća, što se odnosi na napetost. Produljenje se mjeri primjenom vlačne sile ili rastezanjem materijala na isti način kao što je prethodno opisano i određivanjem promjene duljine u odnosu na izvornu.

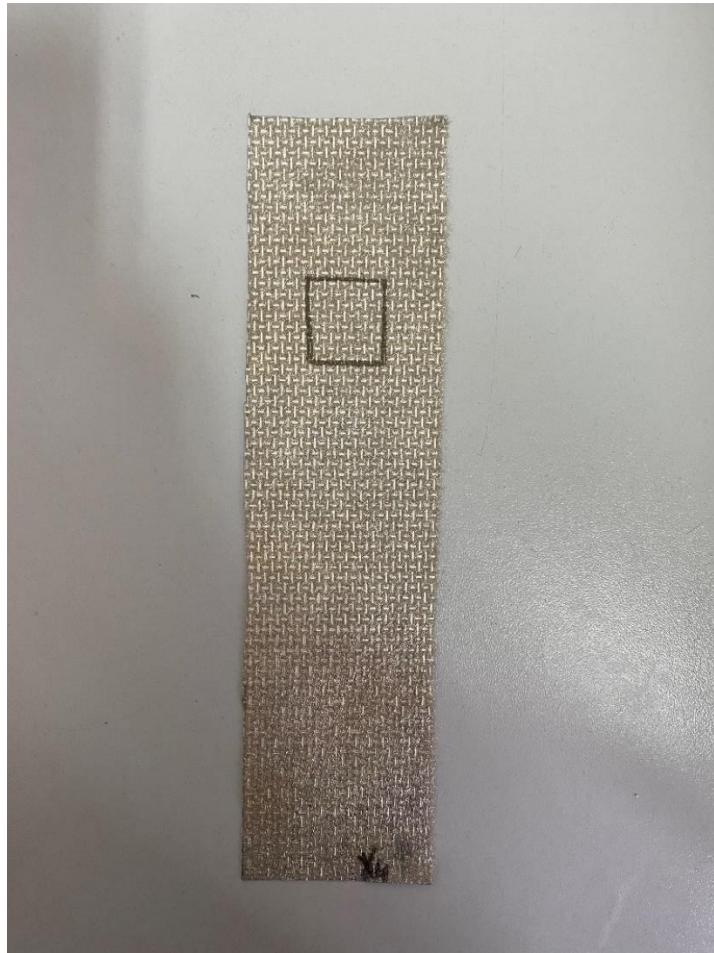
produljenje se mjeri primjenom vlačne sile ili rastezanjem materijala na isti način kao što je prethodno opisano i određivanjem promjene duljine u odnosu na izvornu. Produljenje se izražava kao postotak izvorne duljine. Krajnje produljenje je postotak promjene duljine od izvorne do prekida [16].



Slika 13. Dinamometar

3.3. Priprema uzoraka za mjerenje

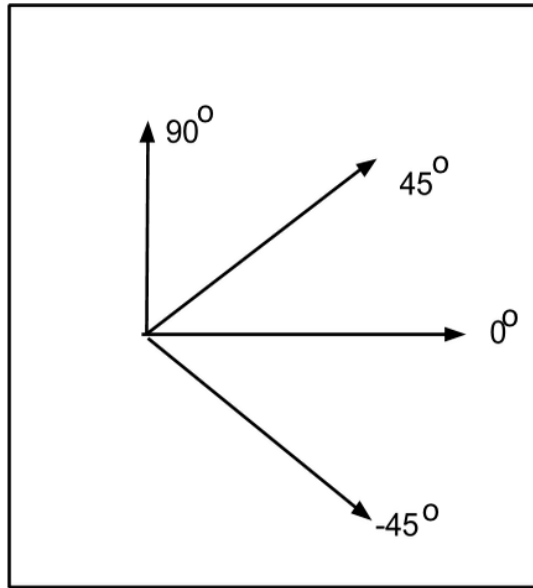
Za mjerenje se pripremaju uzorci u obliku traka dimenzija $50\pm 0,5$ mm x $200\pm 0,5$ mm (*Slika 14*).



Slika 14. Uzorak za mjerenje

Izrezano je po 10 uzoraka u 3 smjera po šablonu sa *Slike 15* sa sljedećim oznakama:

- X smjer 0°
- Y smjer 90°
- Z smjer 45°



Slika 15. Šablon za izradu uzoraka

Po 5 uzoraka u 3 navedena smjera ostavljeno je za ispitivanje vlačne slike u suhom stanju, dok je ostatak uzoraka obrađen u vodenoj otopini kuhinjske soli (NaCl 40g/500ml) **Slika 16**, radi ispitivanja vlačne sile uzoraka u mokrom stanju.



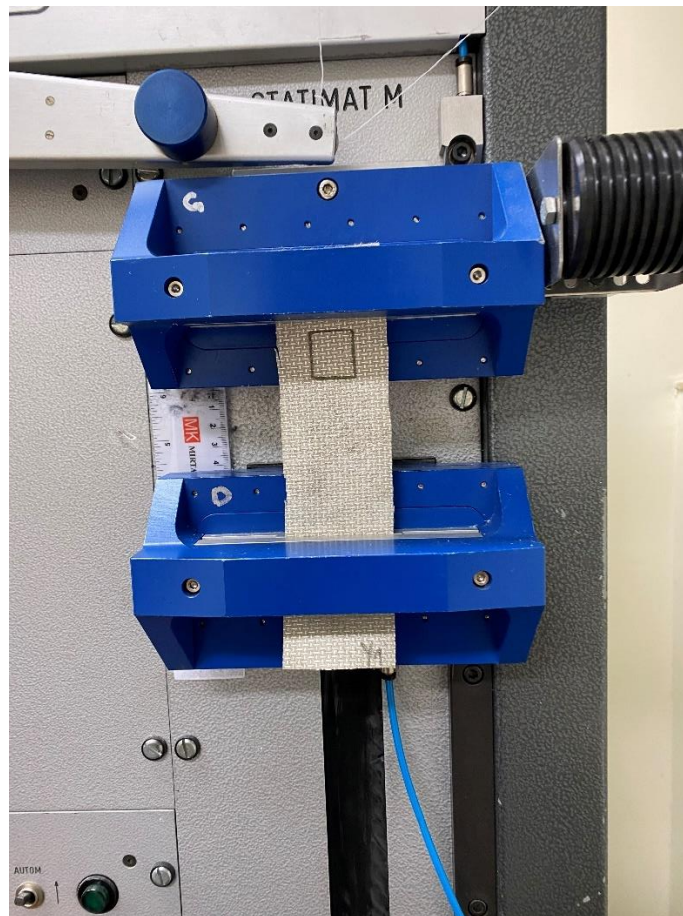
Slika 16. NaCl nakon vaganja

3.4. Vlačni test

Svrha ovog rada je izmjeriti i prikazati ponašanje materijala pri vlačnom naprezanju na dinamometru. Testirano je 15 uzoraka u suhom stanju i 15 uzoraka u mokrom stanju u 3 različita smjera.

- X smjer 0°
- Y smjer 90°
- Z smjer 45°

Tijekom mjerenja, mjerna duljina uređaja za ispitivanje rastezanja postavljena je na 100 ± 1 mm (*Slika 17*). Ispitna brzina postavljena je na 100 mm min-1, te maksimalna sila 1000 N. Atmosfera osigurana za predkondicioniranje i kondicioniranje uzoraka odgovarala je preporukama iz EN 20139 [17].



Slika 17. Vlačni test netkanog kompozitnog materijala

4. REZULTATI I RASPRAVA

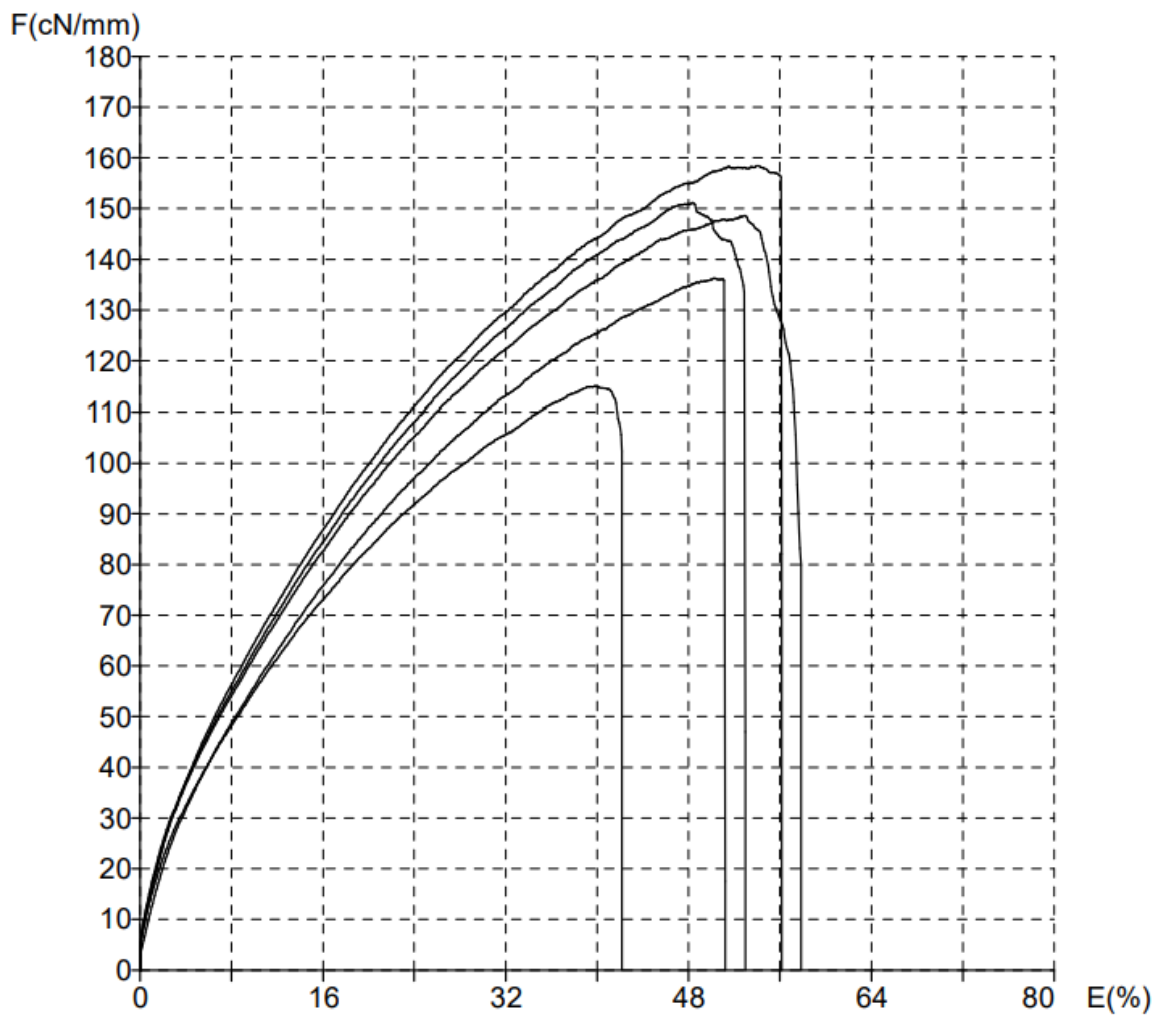
U ovom dijelu rada prikazani su rezultati mjerenja vlačne sile na dinamometru.

4.1. Rezultati vlačne sile na suhim uzorcima

Tablica 1: Rezultati vlačne sile u X smjeru u suhom stanju

Smjer: X suho	Prekidno istezanje %	Prekidna sila N	Čvrstoća cN/mm	Rad do loma N*cm	Vrijeme sec
1.	50,28	136,27	136,27	459,32	30,74
2.	52,96	148,6	148,6	534,49	34,75
3.	39,88	115,15	115,15	306,21	25,34
4.	48,28	151,12	151,12	486,48	31,8
5.	53,96	158,41	158,41	584,93	33,72

Prema rezultatima prikazanim u **Tablici 1** možemo vidjeti da najveću čvrstoću u X smjeru u suhom stanju ima uzorak 5 i ona iznosi 158,41 cN/mm. Najmanju čvrstoću ima uzorak 3 i ona iznosi 115,15 cN/mm. Uzorak 5 također ima i najveće prekidno istežanje koje iznosi 53,96 %, dok najmanje prekidno istežanje ima uzorak 3 i ono iznosi 39,88 %. Rezultati su također grafički prikazani na **Slici 18**.

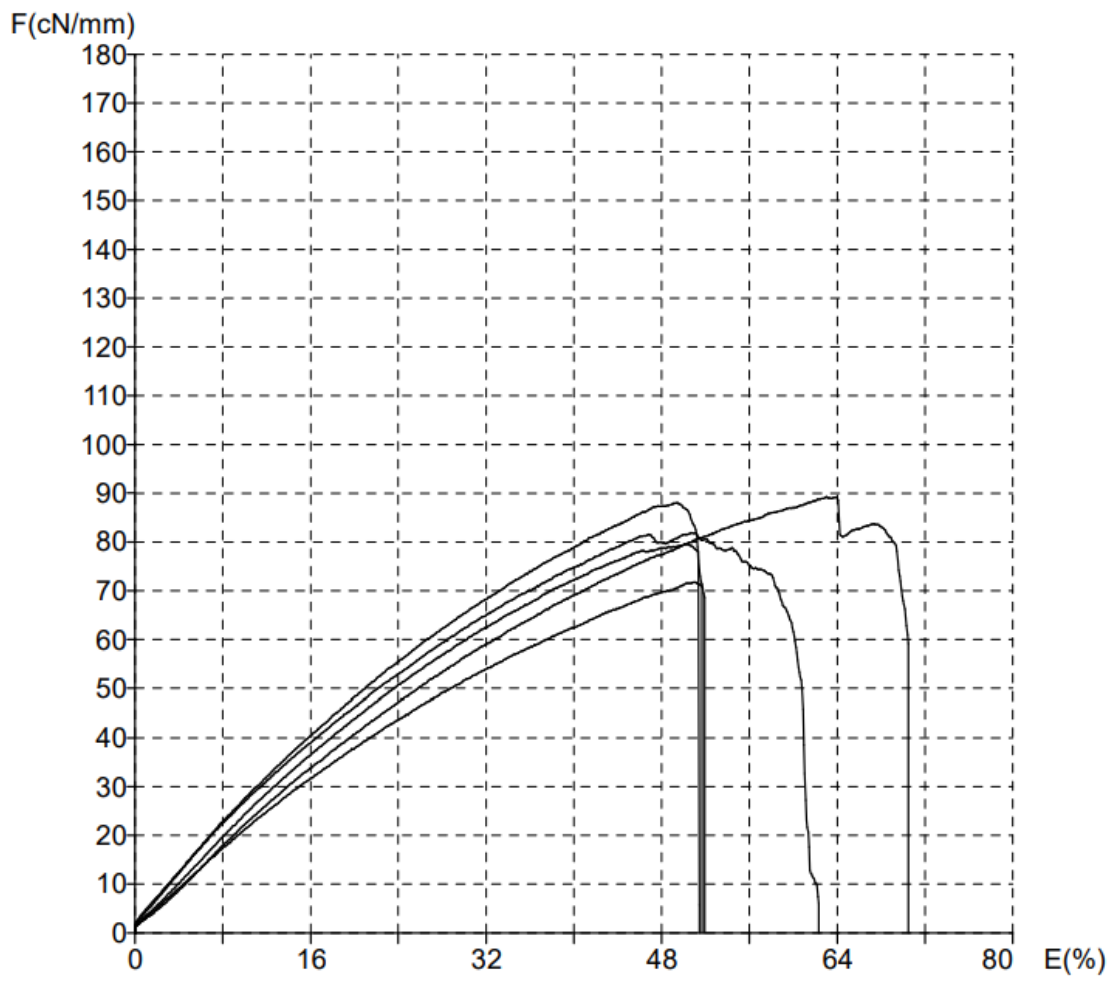


Slika 18: Grafički prikaz rezultata uzoraka u X smjeru suho stanje

Tablica 2: Rezultati vlačne sile u Y smjeru u suhom stanju

Smjer: Y suho	Prekidno istezanje %	Prekidna sila N	Čvrstoća cN/mm	Rad do loma N*cm	Vrijeme sec
1.	50,92	71,78	71,78	218,05	31,06
2.	50,28	79,63	79,63	244,46	30,89
3.	50,64	81,91	81,91	259,43	37,44
4.	49,44	88,05	88,05	262,42	31,18
5.	63	89,27	89,27	338,92	42,34

Prema rezultatima prikazanim u **Tablici 2** možemo vidjeti da najveću čvrstoću u Y smjeru u suhom stanju ima uzorak 5 i ona iznosi 89,27 cN/mm. Najmanju čvrstoću ima uzorak 1 i ona iznosi 71,78 cN/mm. Uzorak 5 također ima i najveće prekidno istežanje koje iznosi 63 %, dok najmanje prekidno istežanje ima uzorak 4 i ono iznosi 49,44 %. Rezultati su također grafički prikazani na **Slici 19**.

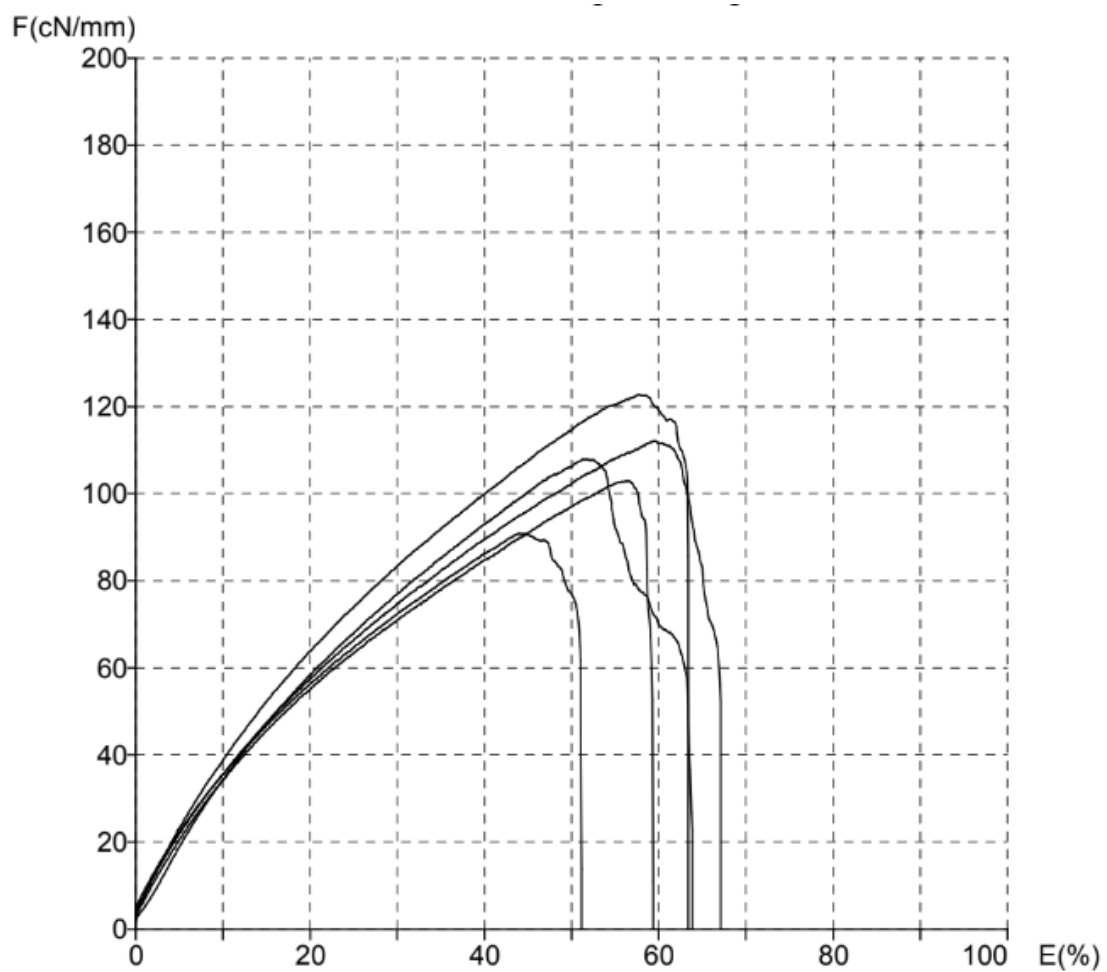


Slika 19: Grafički prikaz rezultata uzoraka u Y smjeru suho stanje

Tablica 3: Rezultati vlačne sile u Z smjeru u suhom stanju

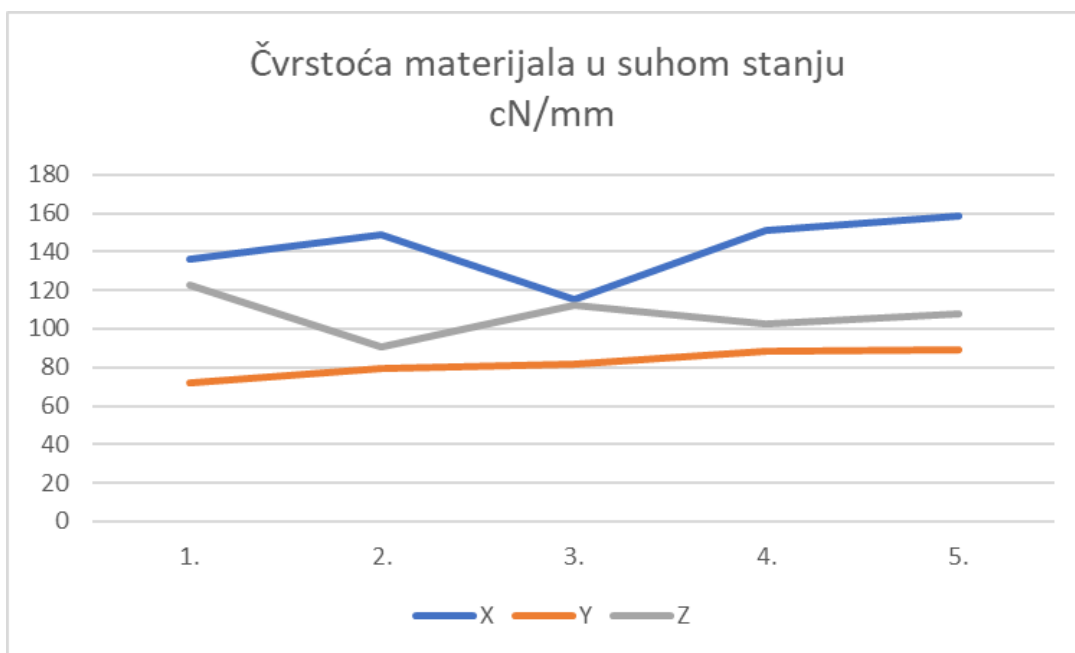
Smjer: Z suho	Prekidno istezanje %	Prekidna sila N	Čvrstoća cN/mm	Rad do loma N*cm	Vrijeme sec
1.	57,8	122,76	122,76	437,43	38,04
2.	44,04	90,9	90,9	248,09	30,7
3.	59,44	112,14	112,14	414,19	40,32
4.	56,36	102,91	102,91	359,39	35,64
5.	51,28	107,91	107,91	336,12	38,33

Prema rezultatima prikazanim u **Tablici 3** možemo vidjeti da najveću čvrstoću u Z smjeru u suhom stanju ima uzorak 1 i ona iznosi 122,76 cN/mm. Najmanju čvrstoću ima uzorak 2 i ona iznosi 90,9 cN/mm. Uzorak 3 ima najveće prekidno istežanje koje iznosi 59,44 %, dok najmanje prekidno istežanje ima uzorak 2 i ono iznosi 44,04 %. Rezultati su također grafički prikazani na **Slici 20**.

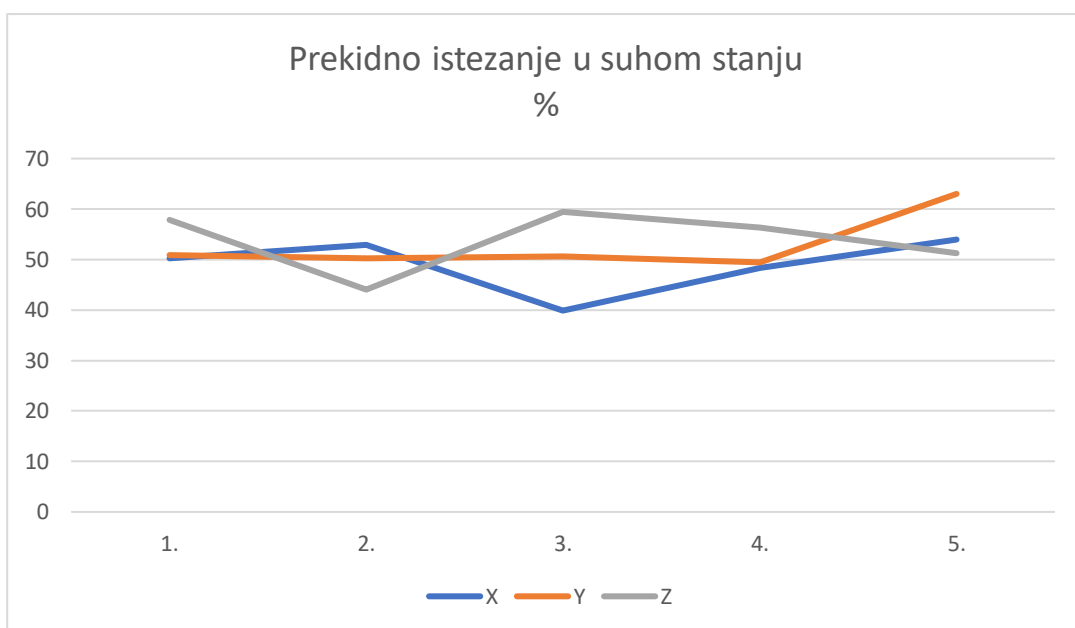


Slika 20: Grafički prikaz rezultata uzoraka u Z smjeru suho stanje

Prema izmjerenim podacima u suhom stanju najveću čvrstoću materijal ima u X smjeru što je grafički prikazano na *Slici 21*, dok najveću elastičnost ima u Y smjeru (*Slika 22*).



Slika 21: Grafički prikaz čvrstoće materijala u suhom stanju



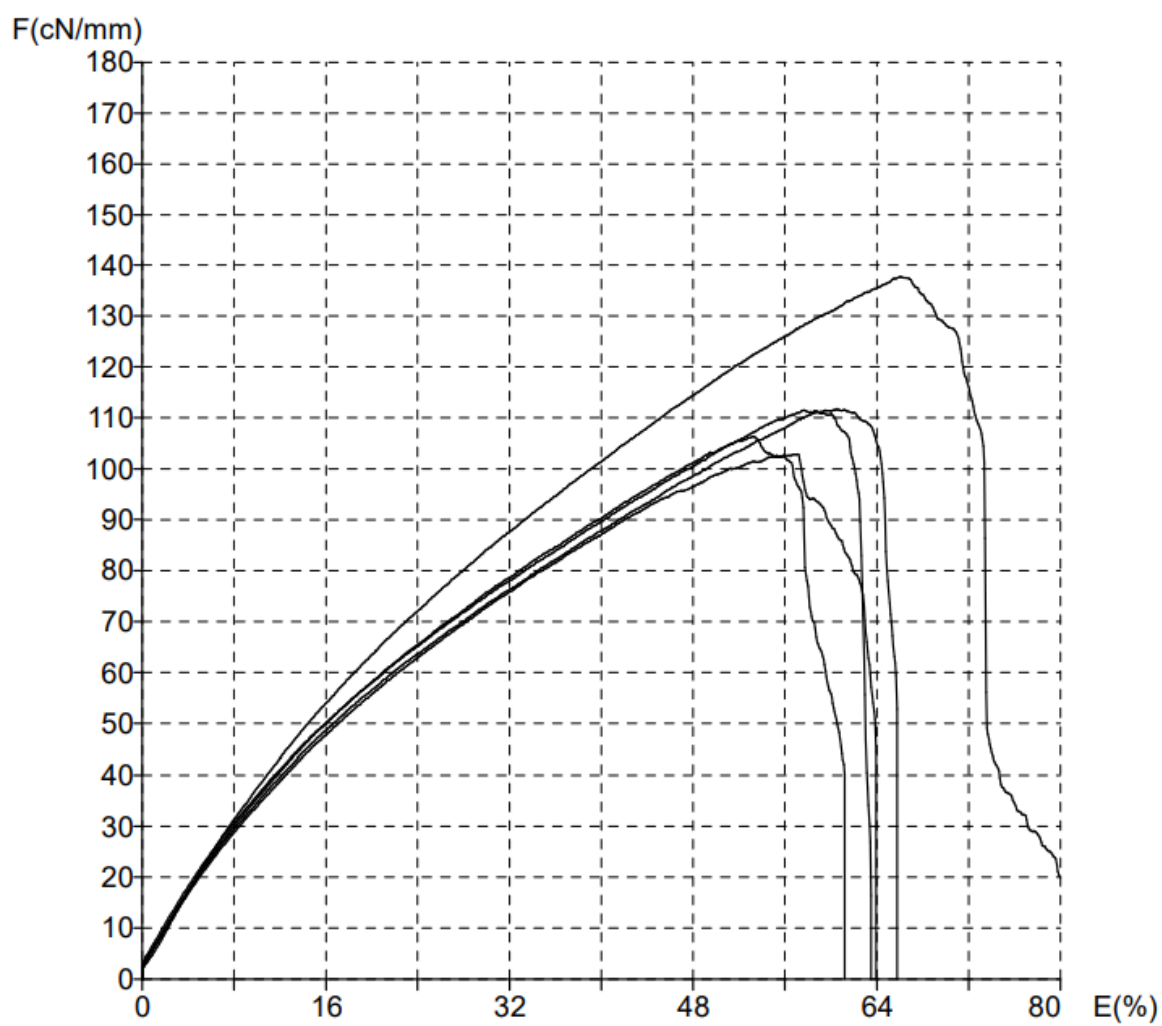
Slika 22: Grafički prikaz prekidnog istezanja u suhom stanju

4.2.Rezultati vlačne sile na mokrim uzorcima

Tablica 4: Rezultati vlačne sile u X smjeru u mokrom stanju

Smjer: X mokro	Prekidno istezanje %	Prekidna sila N	Čvrstoća cN/mm	Rad do loma N*cm	Vrijeme sec
1.	60,52	111,74	111,74	418,82	39,48
2.	56,68	102,86	102,86	370,6	38,38
3.	66	137,65	137,65	553,45	49,73
4.	53,2	106,36	106,36	348,46	36,74
5.	57,64	111,57	111,57	396,79	38,14

Prema rezultatima prikazanim u **Tablici 4** možemo vidjeti da najveću čvrstoću u X smjeru u mokrom stanju ima uzorak 3 i ona iznosi 137,65 cN/mm. Najmanju čvrstoću ima uzorak 2 i ona iznosi 102,86 cN/mm. Uzorak 3 također ima i najveće prekidno istežanje koje iznosi 66 %, dok najmanje prekidno istežanje ima uzorak 4 i ono iznosi 53,2 %. Rezultati su također grafički prikazani na **Slici 23**.

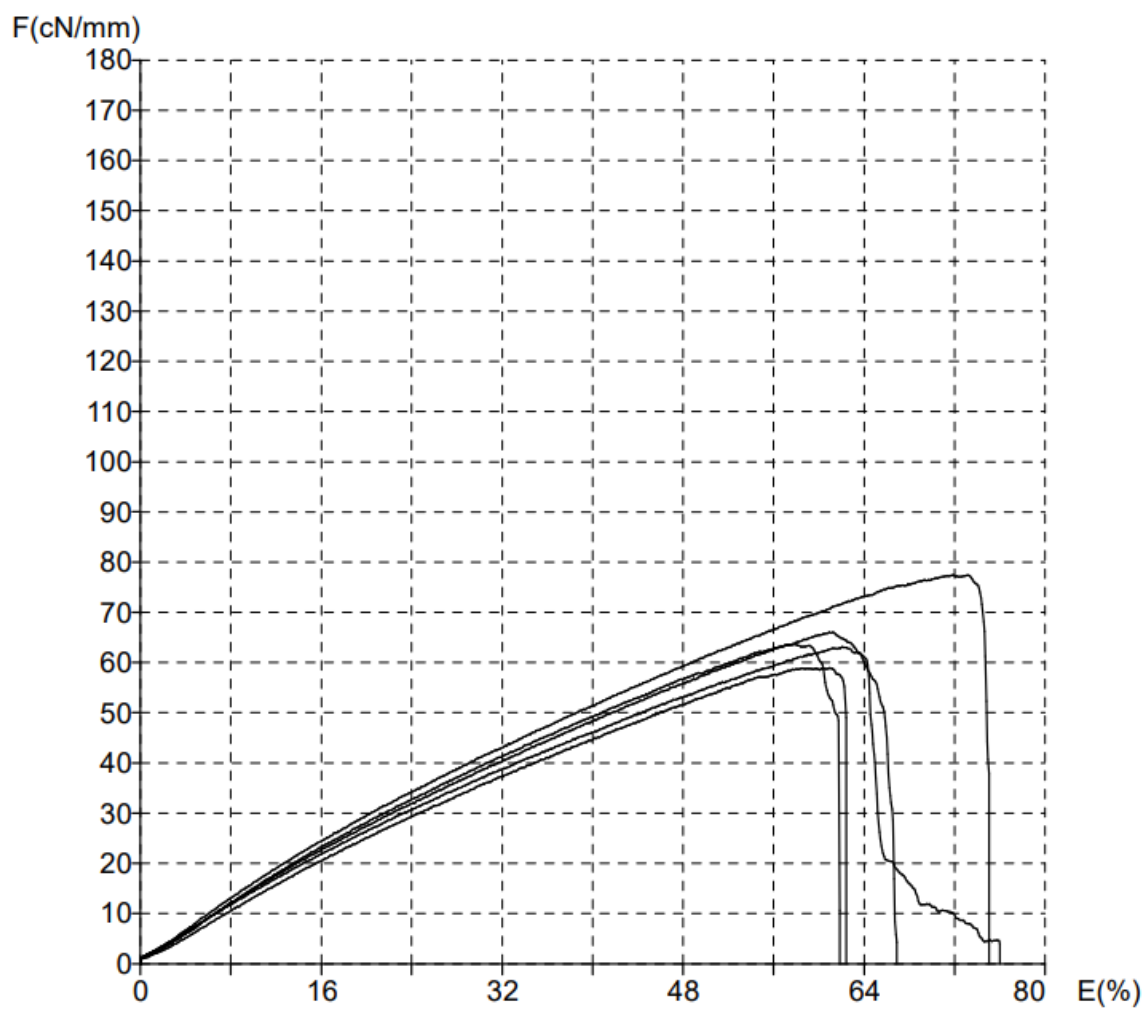


Slika 23: Grafički prikaz rezultata uzoraka u X smjeru mokro stanje

Tablica 5: Rezultati vlačne sile u Y smjeru u mokrom stanju

Smjer: Y mokro	Prekidno istezanje %	Prekidna sila N	Čvrstoća cN/mm	Rad do loma N*cm	Vrijeme sec
1.	57,76	63,68	63,68	208,42	37,13
2.	61,32	66,12	66,12	228,07	45,62
3.	60,92	58,92	58,92	207,78	37,49
4.	62,08	63,11	63,11	222,68	40,15
5.	71,88	77,43	77,43	321,26	45,07

Prema rezultatima prikazanim u **Tablici 5** možemo vidjeti da najveću čvrstoću u Y smjeru u mokrom stanju ima uzorak 2 i ona iznosi 66,12 cN/mm. Najmanju čvrstoću ima uzorak 3 i ona iznosi 58,92 cN/mm. Uzorak 5 ima najveće prekidno istežanje koje iznosi 71,88 %, dok najmanje prekidno istežanje ima uzorak 1 i ono iznosi 57,76 %. Rezultati su također grafički prikazani na **Slici 24**.

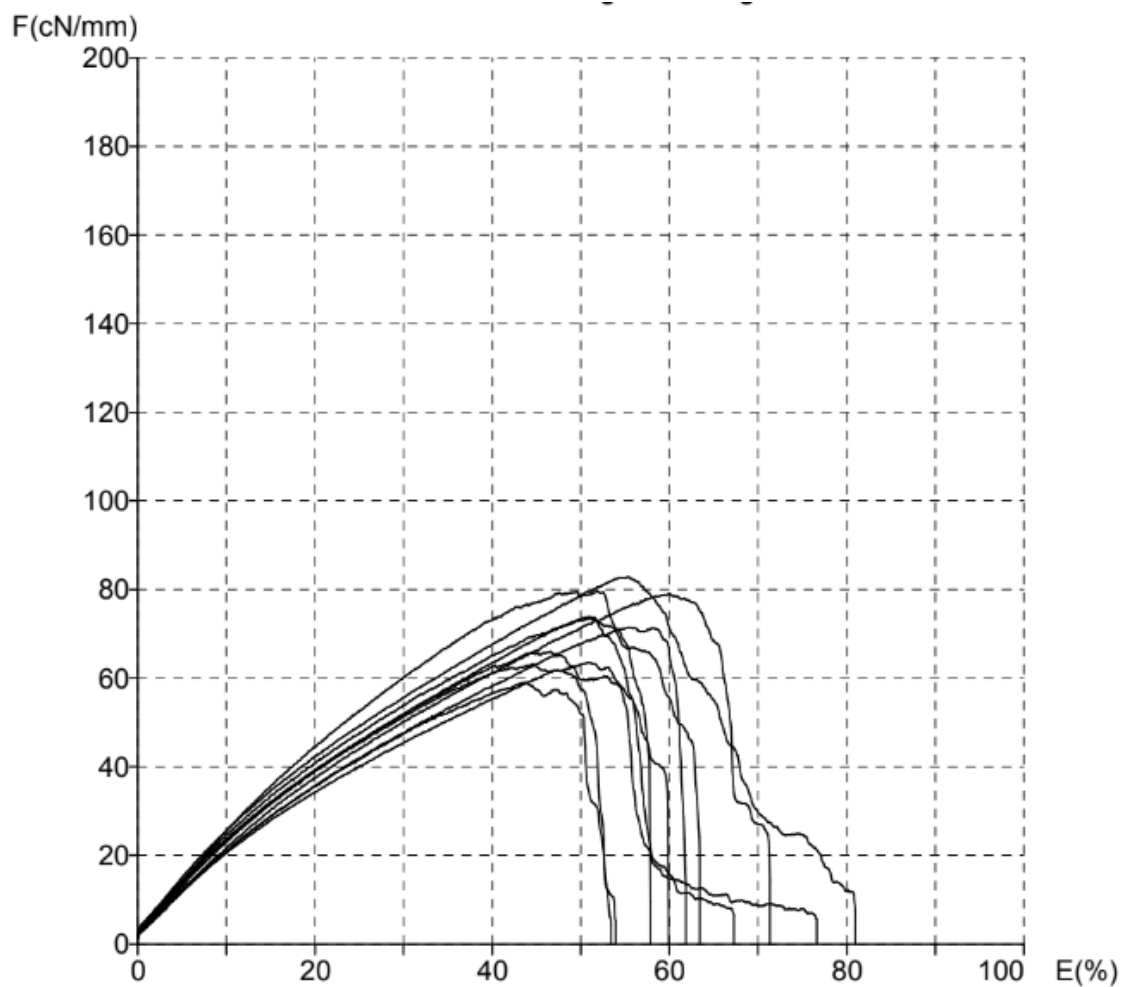


Slika 24: Grafički prikaz rezultata uzoraka u Y smjeur mokro stanje

Tablica 6: Rezultati vlačne sile u Z smjeru u mokrom stanju

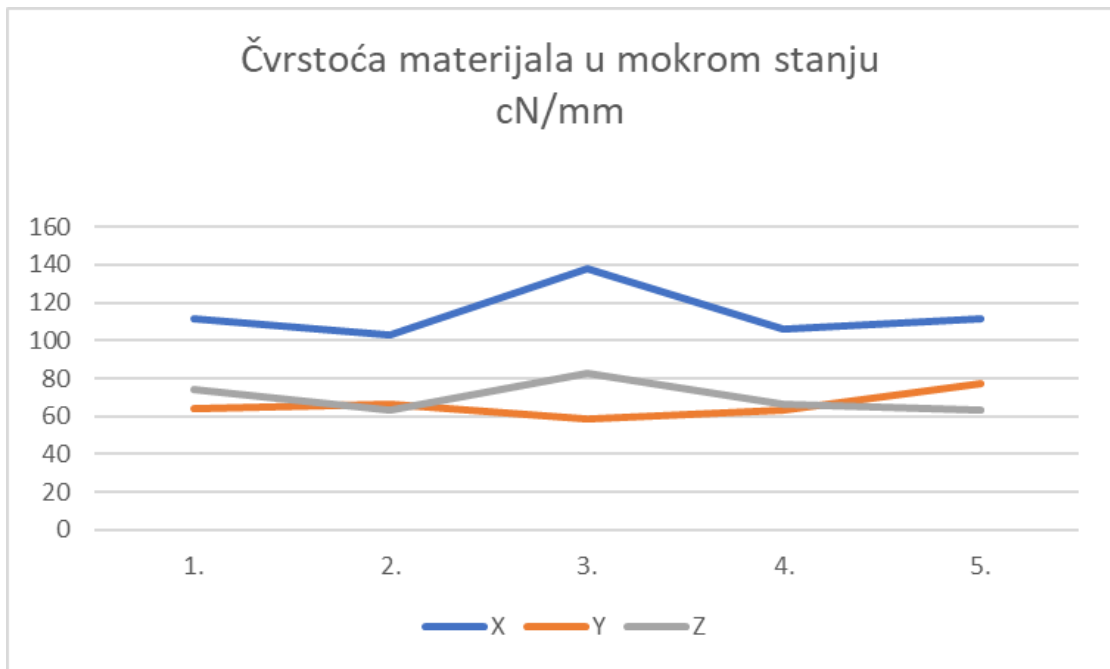
Smjer: Z mokro	Prekidno istezanje %	Prekidna sila N	Čvrstoća cN/mm	Rad do loma N*cm	Vrijeme sec
1.	50,84	73,89	73,89	219,67	46,03
2.	50,8	63,52	63,52	192,99	40,42
3.	55,36	82,85	82,85	275,02	48,62
4.	46,52	66	66	188,17	35,98
5.	44,56	63,27	63,27	175,86	32,11

Prema rezultatima prikazanim u **Tablici 6** možemo vidjeti da najveću čvrstoću u Z smjeru u mokrom stanju ima uzorak 3 i ona iznosi 82,85 cN/mm. Najmanju čvrstoću ima uzorak 5 i ona iznosi 63,27 cN/mm. Uzorak 3 ima i najveće prekidno istezanje koje iznosi 55,36 %, dok najmanje prekidno istezanje ima uzorak 5 i ono iznosi 44,56 %. Rezultati su također grafički prikazani na **Slici 25**.

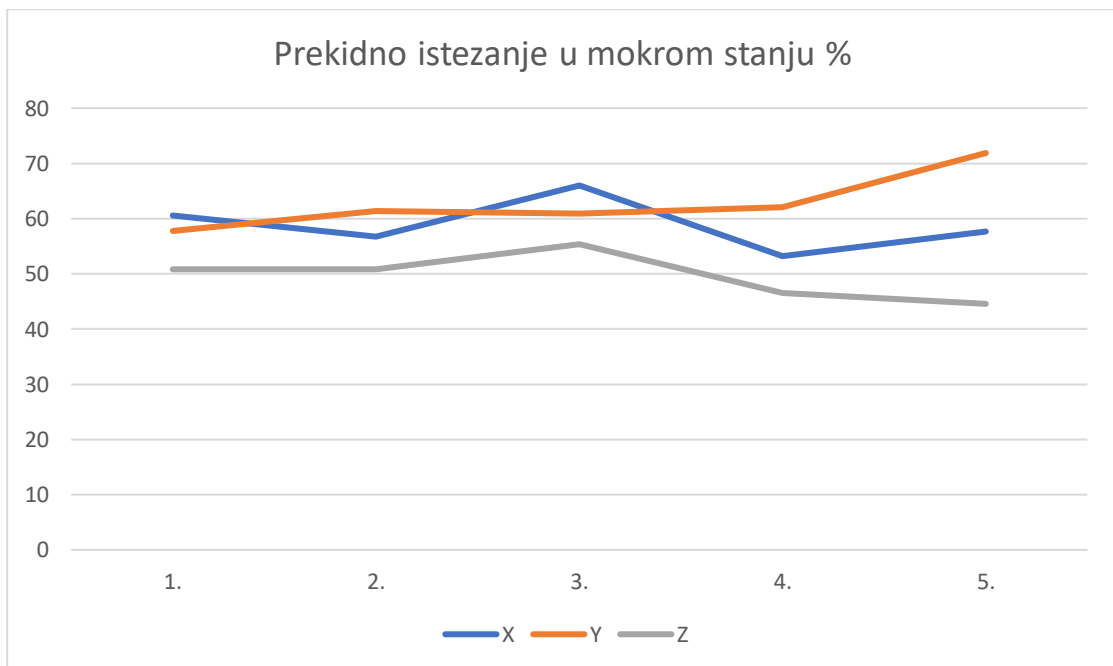


Slika 25: Grafički prikaz rezultata uzoraka u Z smjeru mokro stanje

Prema izmjerenim podacima u mokrom stanju najveću čvrstoću materijal ima u X smjeru, kao i u suhom što je grafički prikazano na *Slici 26*, dok najveću elastičnost ima u Y smjeru (*Slika 27*).



Slika 26: Grafički prikaz čvrstoće materijala u mokrom stanju



Slika 27: Grafički prikaz prekidnog istezanja u mokrom stanju

Iz priloženih rezultata je vidljivo da materijal ima veću čvrstoću u suhom stanju, dok mu je elastičnost veća u mokrom stanju, te da je mokro stanje prouzrokovalo smanjenje čvrstoće. Na *Slici 28* je prikazan uzorak u mokrom stanju skinut s dinamometra nakon prekida.



Slika 28: Uzorak u mokrom stanju nakon prekida na dinamometru

5. ZAKLJUČAK

Vlačna svojstva bitna su mehanička svojstva koja se koriste za procjenu učinkovitosti kompozitnih tekstilnih materijala. Kompozitni tekstilni materijali izrađuju se kombiniranjem dvije ili više različitih vrsta vlakana ili materijala kako bi se dobio jedan materijal s poboljšanim svojstvima. Vlačna svojstva opisuju kako se materijal ponaša pod vlačnim silama (povlačenjem ili istezanjem).

Vlačna čvrstoća predstavlja maksimalno naprezanje koje materijal može izdržati dok se rasteže ili vuče prije nego što pukne. Vlačna čvrstoća je kritični parametar jer ukazuje na sposobnost materijala da se odupre vanjskim silama bez pucanja.

Postotak istezanja predstavlja fleksibilnost materijala. Materijali s velikim istezanjem pri lomu mogu se znatno rastegnuti prije nego što puknu.

Vrsta i raspored vlakana u kompozitnom materijalu igraju značajnu ulogu u određivanju njegovih vlačnih svojstava. Različite vrste vlakana (npr. karbonska, staklena, aramidna) nude različite razine čvrstoće i krutosti. Materijal matrice koji povezuje vlakna također utječe na vlačna svojstva. Matrica mora učinkovito prenijeti opterećenje na vlakna i osigurati zaštitu od čimbenika okoline.

Procjena vlačnih svojstava kompozitnih tekstilnih materijala ključna je za osiguranje ispunjavanja zahtjeva specifičnih primjena, kao što su zrakoplovna, automobilska, građevinska i sportska oprema.

6. Literatura

1. De Luycker, E., et al., Simulation of 3D interlock composite preforming. Composite Structures, 2009. 88(4): p. 615-62.
2. [Online]. Available from: <https://www.industrytap.com/saving-costs-with-strong-and-lightweight-3d-woven-composite-fabrics/49357>
3. [Online]. Available from: https://www.researchgate.net/figure/Laminate-reinforcement-types-a-long-fibers-b-short-fibers-c-textile-d-layer-of_fig2_283913716 .
4. [Online]. Available from: <https://hr.wikipedia.org/wiki/Kompozit> (Pristupljeno 20.09.2023).
5. [Online]. Available from: <http://pixelizam.com/5-zanimljivih-cinjenica-o-mezopotamiji-kolijevki-zapadne-civilizacije/> (Pristupljeno 20.09.2023).
6. Yi, H. L. and X. Ding (2004). "Conventional Approach on Manufacturing 3D Woven Preforms Used for Composites." Journal of Industrial Textiles 34(1): 39-50.
7. K.H.Tsai, C.H.Chiu, T.H.Wu, Fatigue Behaviour of 3D Multi-Layer Angle Interlock Woven Composite Plates, Composites Science and Technology, Vol. 60, pp 241-248, 2000.
8. Potluri, P., I. Parlak, et al. (2006). "Analysis of tow deformations in textile performs subjected to forming forces." Composites Science and Technology 66(2): 297-305.
9. 3-D textile reinforcements in composite materials by Antonio Miravete Page-02.
10. Bannister, M., et al., The manufacture of glass/epoxy composites with multilayer woven architectures. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 1998. 29(3): p. 293-300.

11. [Online] Available from: <https://www.fibre2fashion.com/industry-article/4503/classification-and-applications-of-textile-composite-materials-part-1> (Pristupljeno 20.09.2023).
12. [Online]. Available from: <https://cen.acs.org/materials/biomaterials/Coating-silk-carbon-nanotubes-yields/97/web/2019/10> (Pristupljeno 20.09.2023).
- 13 [Online]. Available from: <https://zelenibregi.hr/otpad-kao-resurs/kruzno-gospodarstvo/> (Pristupljeno 20.09.2023).
14. [Online]. Available from: <https://www.bcomp.ch/solutions/automotive-interior-panels/> (Pristupljeno 20.09.2023).
15. [Online]. Available from: <https://www.shieldex.de/en/> (Pristupljeno 20.09.2023)
16. ISO 13934-1:2013 Textiles — Tensile properties of fabrics — Part 1:
Determination of maximum force and elongation at maximum force using the strip method.
17. EN 20139 Textiles - Standard atmospheres for conditioning and testing.

Popis slika i tablica:

Slika 1. Tekstilni kompozitni materijali (2) str. 3.

Slika 2. Različito ojačani materijali (3) str. 5.

Slika 3. 3D kompozitna tkanina (3) str. 6.

Slika 4. Primjer kompozitnog materijala iz Mezopotamije (4) str. 7.

Slika 5. Primjena kompozitnih materijala u 20. st. (5) str. 8.

Slika 6. Svileni kompozitni materijal sa svilom i ugljikovim nanočesticama (12) str. 12.

Slika 7. Nano premaz za postizanje vodoodbojnosti na tkanini (12) str. 13.

Slika 8. Pređa s nanosrebrom (15) str. 14.

Slika 9. Kružno gospodarstvo u tekstilnoj industriji (13) str. 16.

Slika 10. Bio-kompoziti za unutrašnjost automobila (14) str. 17.

Slika 11. Bio-kompoziti u građevinarstvu (14) str. 17.

Slika 12. Shieldex Bonn (15) str. 20.

Slika 13. Dinamometar, str. 21.

Slika 14. Uzorak za mjerenje, str. 22.

Slika 15. Šablon za izradu uzoraka, str. 23.

Slika 16. NaCl nakon vaganja, str. 23.

Slika 17. Vlačni test netkanog kompozitnog materijala, str. 26.

- Slika 18.** Grafički prikaz rezultata uzoraka u X smjeru suho stanje, str. 26.
- Slika 19.** Grafički prikaz rezultata uzoraka u Y smjeru suho stanje, str. 28.
- Slika 20.** Grafički prikaz rezultata uzoraka u Z smjeru suho stanje, str. 30.
- Slika 21.** Grafički prikaz čvrstoće materijala u suhom stanju, str. 31.
- Slika 22.** Grafički prikaz prekidnog istezanja u suhom stanju, str. 31.
- Slika 23.** Grafički prikaz rezultata uzoraka u X smjeru mokro stanje, str. 33.
- Slika 24.** Grafički prikaz rezultata uzoraka u Y smjeur mokro stanje, str. 35.
- Slika 25.** Grafički prikaz rezultata uzoraka u Z smjeru mokro stanje, str. 37.
- Slika 26.** Grafički prikaz čvrstoće materijala u mokrom stanju, str. 38.
- Slika 27.** Grafički prikaz prekidnog istezanja u mokrom stanju, str. 38.
- Slika 28.** Uzorak u mokrom stanju nakon prekida na dinamometru, str. 39.
-
- Tablica 1.** Rezultati vlačne sile u X smjeru u suhom stanju, str. 25.
- Tablica 2.** Rezultati vlačne sile u Y smjeru u suhom stanju, str. 27.
- Tablica 3:** Rezultati vlačne sile u Z smjeru u suhom stanju, str. 29.
- Tablica 4:** Rezultati vlačne sile u X smjeru u mokrom stanju, str. 32.
- Tablica 5:** Rezultati vlačne sile u Y smjeru u mokrom stanju, str. 34.
- Tablica 6:** Rezultati vlačne sile u Z smjeru u mokrom stanju, str. 36.