



SREDNJA GRADBENA ŠOLA IN GIMNAZIJA  
MARIBOR  
SMETANOVA ULICA 35, 2000 MARIBOR

# *3D tiskanje - orodje za izdelavo nosilcev naslednje generacije*

*Raziskovalno področje:* Gradbeništvo

Raziskovalna naloga

**Avtorji:** Jana Grah

Saša Gjura Meke

Anja Jemenšek

**Mentor:** mag. Sašo Turnšek

Maribor, 2025

## ***KAZALO VSEBINE***

1.	UVOD .....	7
1.1	Cilji .....	7
1.2	Hipoteza.....	8
1.3	Metodologija dela .....	9
2.	NOSILCI .....	11
2.1	Zgodovina .....	11
2.2	VRSTE NOSILCEV V GRADBENIŠTVU .....	12
2.2.1	Pravokotni nosilec.....	12
2.2.2	I-nosilec .....	12
2.2.3.	T-nosilec.....	13
2.2.4	Kotni nosilec .....	13
2.2.5	Konzolni nosilec .....	13
2.2.6	Fiksni nosilec.....	14
2.3	Vrste nosilcev glede na material.....	14
2.4	Lastnosti lesenih nosilcev .....	15
3.	LES .....	19
4.	3-D TISKALNIKI IN TISKANJE.....	21
4.1.	Kako deluje 3D-tiskanje .....	21
4.1.1	Kako se tiska .....	22
4.1.2	Vrste 3D printerjev.....	22
5.	PRIPRAVA NOSILCEV ZA TESTIRANJE .....	25
5.1	Uporabljen material za 3D printanje .....	25
5.1.1	PLA filament .....	25
5.1.2	PLA les filament .....	28
5.2	Testiranje .....	30
5.3	Priprava na 3D-tisk.....	33
5.3.1	Nastavitve tiskanja.....	33
5.3.2	Tiskanje.....	39
6.	REZULTATI .....	44
7.	ANALIZA REZULTAOV .....	45
7.1	Prikaz rezultatov - trdnosti .....	47
7.2	Prikaz rezultatov – izračuna gostota .....	52
7.3	Prikaz rezultatov – vpliv zapolnitve preizkušancev na trdnost .....	53
7.4	Prikaz rezultatov – vpliv zapolnitve preizkušancev na trdnost .....	54
7.5	Prikaz rezultatov – vpliv uporabljenega materiala na trdnost.....	55
7.6	Prikaz rezultatov – primerjava pravih lesov.....	56

7.6 Prikaz rezultatov – izračunane upogibne trdnosti preizkušancev .....	57
8. DISKUSIJA DELOVNIH HIPOTEZ .....	59
9. DRUŽBENA ODGOVORNOST .....	61
10. ZAKLJUČEK .....	62
11. LITERATURA .....	64

## ***KAZALO SLIK***

Slika 1: Pravokotni nosilec .....	12
Slika 2: I nosilec.....	12
Slika 3: T nosilec.....	13
Slika 4: L nosilec.....	13
Slika 5: Konzolni nosilec.....	14
Slika 6: Fiksni nosilec .....	14
Slika 7: Sestavljeni nosilec .....	14
Slika 8: Prikaz torzije .....	16
Slika 9: Prikaz natega .....	17
Slika 10: Prikaz tlaka .....	18
Slika 11: Prikaz upogiba .....	18
Slika 12: Les in izdelki .....	20
Slika 13: 3D Tiskalnik .....	21
Slika 14: SLS tiskanje .....	22
Slika 15: Stereolitografija - SLA tiskanje.....	23
Slika 16: Nalaganje krojenih plasti - LOM tiskanje .....	24
Slika 17: Ciljno nalaganje filameta – FDM tiskanje.....	24
Slika 18: Zwick Roell.....	32
Slika 19: Primer priprave nosilca v CAD programu .....	33
Slika 20: 3D tiskalnik .....	34
Slika 21: Prikaz nastavitvev za tiskanje .....	34
Slika 22: Nastavitve hitrosti tiskanja .....	35
Slika 23: Nastavitve za zunanjo stranico preizkušanca .....	35
Slika 24: Zasedenost in pa začetni kot printanja.....	36
Slika 25: Prikaz uporabljenega vzorca tiskanja - trikotna mreža.....	36
Slika 26: Prikaz uporabljenega vzorca tiskanja - oktokotna mreža .....	37
Slika 27: Prikaz uporabljenega vzorca tiskanja – 3D mreža .....	37
Slika 28: Nastavitve podloge za tiskanje nosilca .....	38
Slika 29: Nosilec pripravljena za prenos na 3D tiskalnik .....	38
Slika 30: Prikaz tiskanja nosilcev.....	40
Slika 31: Prikaz tiskanja nosilcev – PLA plastika.....	41
Slika 32: Prikaz tiskanja nosilcev – PLA les.....	41
Slika 33: Priprava preizkušancev pred testiranjem .....	42
Slika 34: Potek celotnega preizkušanja smo snemali s kamero .....	42
Slika 35: Prikaz testiranja PLA preizkušancev .....	43
Slika 36: Prikaz preizkušancev po testiranju (porušeni) .....	43

## ***KAZALO TABEL***

Tabela 1: Oznake natisnjenih vzorcev .....	40
Tabela 2: Dobljeni rezultati .....	44
Tabela 3: Tabela izračunov .....	46

## ***KAZALO GRAFOV***

Graf 1: Prikaz izmerjenih in izračunanih vrednosti preizkušancev .....	46
Graf 2: Prikaz trdnosti na testiranih nosilcih – PLA trikotni vzorec zasedenosti .....	47
Graf 3: Prikaz trdnosti na testiranih nosilcih – PLA oktakotni vzorec zasedenosti .....	48
Graf 4: Prikaz trdnosti na testiranih nosilcih – PLA 3D vzorec zasedenosti .....	49
Graf 5: Prikaz trdnosti na testiranih nosilcih – PLA les – oktakotni vzorec zasedenosti .....	50
Graf 6: Prikaz trdnosti na testiranih nosilcih – pravi les .....	51
Graf 7: Prikaz trdnosti na testiranih nosilcih – vsi skupaj .....	52
Graf 8: Prikaz izračunane gostote preizkušancev .....	53
Graf 9: Prikaz vpliva zasedenosti vzorca na maksimalno silo .....	54
Graf 10: Prikaz vpliva oblike na nosilnost in deformacijo .....	55
Graf 11: Prikaz vpliva vzorca na vpliv vzorca .....	55
Graf 12: Prikaz vpliva nosilnosti na podlagi izbire PLA filamenta .....	56
Graf 13: Prikaz primerjave lesenih nosilcev .....	57
Graf 14: Prikaz primerjave lesenih nosilcev na izračunano upogibno trdnost .....	58

## POVZETEK

Leseni in 3D-printani nosilci predstavljajo inovativne pristope v gradbeništvu za izboljšanje konstrukcij in povečanje učinkovitosti gradbenih procesov. Leseni nosilci so tradicionalno gradbeni material, ki se še vedno široko uporabljajo zaradi svoje trdnosti in estetske privlačnosti. Uporabljajo se za izgradnjo okvirjev stavb, lesenih mostov, nadstreškov in drugih konstrukcij. Les je obnovljiv material, kar prispeva k trajnostnemu gradbenemu pristopu. Poleg tega so leseni nosilci lahki in jih je relativno enostavno obdelovati ter prilagajati potrebam projektov.

3D-tiskanje je tehnologija, ki se vse bolj uvaja v gradbeništvu. S pomočjo 3D-tiskalnikov je mogoče ustvariti kompleksne oblike nosilcev in konstrukcij, ki bi jih bilo težko ali nemogoče doseči s tradicionalnimi metodami. To omogoča večjo prilagodljivost in natančnost pri oblikovanju nosilcev, kar lahko pripomore k optimizaciji uporabe materialov. Poleg tega je 3D-tiskanje hitrejši in manj odpaden postopek, kar zmanjšuje gradbeni ogljični odtis.

Tako bomo raziskali ali lahko 3D tiskani nosilci nadomestijo v prihodnosti zdajšnje lesene nosilec.

Obe tehnologiji ponujata prednosti in izzive v gradbeništvu. Leseni nosilci ostajajo priljubljeni zaradi svoje preverjene trajnosti, medtem ko 3D-printani nosilci obetajo revolucionarne spremembe v načinu, kako gradimo, in omogočajo bolj inovativne in trajnostne rešitve za prihodnost gradbeništvu. Tako bomo v raziskovalni nalogi preverili kakšno trdnost dosežejo pomanjšani navadni leseni nosilci in kakšno 3D-printani nosilci.

## SUMMARY

Wooden and 3D-printed beams represent innovative approaches in construction to improve structures and increase the efficiency of construction processes. Wooden beams are a traditional building material that is still widely used due to their strength and aesthetic appeal. They are used for building frames, wooden bridges, canopies, and other structures. Wood is a renewable material, which contributes to a sustainable construction approach. Additionally, wooden beams are lightweight and relatively easy to process and adapt to project needs.

3D printing is a technology that is increasingly being introduced in construction. With the help of 3D printers, it is possible to create complex shapes for beams and structures that would be difficult or impossible to achieve with traditional methods. This allows for greater flexibility and precision in beam design, which can help optimize material usage. Furthermore, 3D printing is a faster and less wasteful process, reducing the carbon footprint of construction.

Thus, we will explore whether 3D-printed beams could replace current wooden beams in the future.

Both technologies offer advantages and challenges in construction. Wooden beams remain popular due to their proven durability, while 3D-printed beams promise revolutionary changes in how we build, offering more innovative and sustainable solutions for the future of construction. In this research task, we will investigate the strength of scaled-down standard wooden beams and 3D-printed beams.

## **ZAHVALA**

Zahvaljujemo se mentorju mag. Sašu Turnšku, ki nam je pomagal pridobiti samo idejo za to raziskovalno nalogo, nam pomagal pri pisanju raziskovalne naloge, nam dajal nasvete. ter usmerjanje. Prav tako gre zahvala ravnateljici dr. Alenki Ambrož Jurgec in vsem profesorjem na šoli, ki so nas podpirali pri sami izdelavi naloge.

Zahvala gre tudi staršem, ki so nam skozi ves proces izdelave raziskovalne naloge stali ob strani.

Prav tako se zahvaljujemo dekanu in predstojniku katedre za materiale dr. Andreju Ivaniču na Fakulteti za gradbeništvo, prometno inženirstvo in arhitekturo, ki nam je pomagal in omogočili izvedbo praktičnega dela naloge.

Iskrena hvala vsem.

## 1. UVOD

Nosilci so temeljni gradbeni elementi, ki prenašajo obremenitve in jih razporejajo na nosilne konstrukcije. Njihova oblika, material in izvedba so ključni dejavniki, ki vplivajo na stabilnost, vzdržljivost in varnost zgradb. Tradicionalno so nosilci izdelani iz materialov, kot so beton, jeklo, les in njihovi kombinacije, saj ti materiali zagotavljajo potrebno trdnost in vzdržljivost za prenašanje različnih vrst obremenitev, vključno s stalnimi, dinamičnimi in seizmičnimi.

Razvoj tehnologij v gradbeništvu pa odpira nove možnosti za oblikovanje in izdelavo nosilcev. Ena izmed teh inovacij je uporaba 3D tiskanja, ki omogoča ustvarjanje kompleksnih oblik in struktur z uporabo različnih materialov, od polimerov do kovin in betonskih mešanic. 3D tiskanje nosilcev ponuja prednosti, kot so zmanjšanje odpadkov, večja natančnost pri izdelavi in možnost hitrega prototipiranja ter prilagajanja obliki in velikosti specifičnim potrebam. Poleg tega 3D tiskanje omogoča integracijo naprednih oblikovalskih konceptov, kot so generativno oblikovanje in optimizacija strukture, kar lahko vodi do boljše izrabe materialov in večje učinkovitosti nosilcev.

Vprašanje, ki se postavlja, je, ali lahko 3D tiskani nosilci v celoti nadomestijo tradicionalne nosilce v gradbeništvu. Medtem ko imajo 3D tiskani nosilci številne prednosti, ostajajo odprti izzivi, povezani z njihovo nosilnostjo, trajnostjo in odpornostjo na dolgotrajne obremenitve ter ekstremne pogoje. Raziskave na tem področju se osredotočajo na razvoj materialov, izboljšanje proizvodnih procesov in preizkušanje obnašanja 3D tiskanih nosilcev v realnih pogojih.

### 1.1 Cilji

Cilji pri naši raziskovalni nalogi so naslednji:

- Primerjava trdnosti: Izmeriti in primerjati trdnost 3D-printanih nosilcev in lesenih nosilcev pri enakih dimenzijah in pod enakimi testnimi obremenitvami, da bi ugotovili, kateri tip nosilcev zagotavlja boljše mehanske lastnosti.
- Analiza vpliva oblike polnila: Preučiti, kako različne oblike polnil (npr. mrežaste, celične) vplivajo na trdnost 3D-printanih nosilcev, in potrditi ali ovreči hipotezo, da oblika polnila nima bistvenega vpliva na njihovo trdnost.

- Preverjanje vpliva zasedenosti polnila: Oceniti, kako različni odstotki zasedenosti polnila vplivajo na trdnost 3D-printanih nosilcev, in določiti optimalno gostoto za največjo trdnost nosilcev.

## 1.2 Hipoteza

Gradbeništvo se skozi zgodovino nenehno razvija, pri čemer igrajo ključne vloge tako tradicionalni kot inovativni materiali in tehnologije. Leseni nosilci, ki se že stoletja uporabljajo v gradbeništvu, slovijo po svoji trdnosti, prilagodljivosti in naravni obnovljivosti. Les je okolju prijazen material, ki omogoča relativno preprosto obdelavo in široko uporabnost v različnih konstrukcijah, kot so okvirji stavb, mostovi in nadstreški. Njegova trajnost in estetska privlačnost še vedno predstavljata pomembne prednosti v sodobnem gradbeništvu.

Na drugi strani pa tehnologija 3D-tiskanja prinaša povsem novo dimenzijo v gradbeništvo. S pomočjo 3D-tiskalnikov je mogoče ustvarjati kompleksne oblike in natančno prilagajati nosilce specifičnim potrebam projektov. Ta pristop omogoča zmanjšanje gradbenih odpadkov, boljšo optimizacijo materialov ter hitrejšo izvedbo gradbenih procesov. Kljub obetavnemu razvoju pa ostaja vprašanje, ali lahko 3D-printani nosilci dosežejo ali celo presežejo trdnost in zanesljivost tradicionalnih lesenih nosilcev.

V raziskovalni nalogi bomo raziskali in primerjali lastnosti pomanjšanih lesenih nosilcev in 3D-printanih nosilcev. Glavni poudarek bo na primerjavi njune trdnosti, trajnosti ter prilagodljivosti, s čimer bomo poskušali ugotoviti, ali bi lahko 3D-printani nosilci v prihodnosti nadomestili tradicionalne lesene nosilce.

Tako smo si zastavili naslednje hipoteze:

- **Hipoteza 1 - 3D-printani nosilci bodo imeli primerljivo ali višjo trdnost kot leseni nosilci pri enakih dimenzijah**

Ta hipoteza predvideva, da sodobni materiali in natančnost izdelave 3D-tiskanja omogočajo ustvarjanje nosilcev, ki po mehanskih lastnostih ne zaostajajo ali celo presegajo lastnosti tradicionalnih lesenih nosilcev.

- **Hipoteza 2 - Oblika polnila 3D-natisnjene nosilca nima vpliva na trdnost nosilca**

Hipoteza predpostavlja, da je trdnost 3D-natisnjenih nosilcev odvisna predvsem od materiala in zasedenosti polnila, medtem ko oblika notranje strukture (npr. mrežasta, celična) ne vpliva bistveno na njihovo sposobnost prenašanja obremenitev.

- **Hipoteza 3 - Zasedenost polnila 3D-natisnjenega nosilca povečuje trdnost nosilca**

Ta hipoteza izhaja iz predpostavke, da večja zasedenost polnila v notranjosti 3D-natisnjenega nosilca povečuje njegovo trdnost, saj se z gostejšim polnilom zagotavlja boljša podpora in večja odpornost na obremenitve.

- **Hipoteza 4 - Upogib 3D-natisnjenega nosilca bo imel manjši upogib kot pravi leseni nosilec**

3D-tiskani nosilec bo zaradi homogenega materiala, večje enotnosti mehanskih lastnosti in možnosti prilagajanja notranje strukture imel manjši upogib pri enakih dimenzijah in obremenitvah v primerjavi z lesenim nosilcem.

- **Hipoteza 5 - Upogib trdnost 3D-natisnjenega nosilca se bo približala pravim lesnim nosilcem**

Upogibna trdnost 3D-natisnjenih nosilcev z uporabo naprednih tiskarskih tehnik in primernih materialov se bo približala trdnosti tradicionalnim lesnim nosilcem ter omogočila njihovo enakovredno ali celo boljšo uporabo.

### 1.3 Metodologija dela

Raziskava bo potekala v več fazah, ki bodo omogočile celovit vpogled v možnosti in omejitve 3D tiskanih nosilcev:

*Pregled literature:* Analiza obstoječih študij, znanstvenih člankov in poročil o 3D tiskanih nosilcih, vključno z razvojem materialov, metodami tiskanja in rezultati testiranj.

*Izdelava preizkušancev:* Na osnovi generativnega oblikovanja bodo razviti in izdelani različni preizkušanci nosilcev z uporabo 3D tiskalnika. Uporabljeni bodo različni materiali, kot so PLA, PLA pomešan z lesom in naravni materiali.

*Eksperimentalno testiranje:* Preizkušanci bodo podvrženi mehanskim testom, vključno s preizkušanjem trdnosti, elastičnosti in odpornosti na dolgotrajne obremenitve ter simulacijam ekstremnih pogojev.

*Analiza podatkov:* Na podlagi rezultatov testiranj in primerjav bodo izvedene statistične analize, ki bodo omogočile oblikovanje zaključkov o učinkovitosti in primernosti 3D tiskanih nosilcev v primerjavi z pravimi lesenimi nosilci. Ugotovitve bodo primerjane z lastnostmi tradicionalnih nosilcev, pri čemer bodo upoštevani mehanski vidiki.

*Zaključki in priporočila:* Na podlagi analize podatkov bodo podana priporočila za nadaljnji razvoj in uporabo 3D tiskanih nosilcev v gradbeništvu, zlasti v smislu izboljšanja materialov in tehnologij.

## 2. NOSILCI

Pri gradnji konstrukcij se uporabljajo različne vrste nosilcev. Različne vrste konstrukcijskih nosilcev temeljimo na pogojih podpore, izbiri materialov, vrstah prereza, geometriji in podobnih dejavnikih.

V svetu gradbeništva imajo tramovi temeljno vlogo pri podpiranju zgradb, mostov in raznih drugih struktur. Ti vodoravni ali nagnjeni konstrukcijski elementi porazdelijo obremenitve in sile ter tako zagotovijo stabilnost in celovitost celotne konstrukcije. Od visokih nebotičnikov do zapletenih mostov je vrsta uporabljenega nosilca ključnega pomena pri določanju splošne moči in trajnosti projekta.

V gradbeništvu se nosilna konstrukcija nanaša na vitalni nosilni element, ki je odporen na navpične obremenitve, strižne sile in upogibne momente. Običajno so nosilci vodoravni ali nagnjeni členi, ki se raztezajo čez dva ali več nosilcev in porazdelijo obremenitev, ki je nanje naložena. Njihova primarna funkcija je prenos uporabljenih obremenitev na nosilce, ohranjanje ravnovesja in preprečevanje zrušitve konstrukcije pod lastno težo ali zunanji silami.

Nosilci se večinoma uporabljajo v zgradbah, mostovih, strehah in raznih drugih konstrukcijah, saj nudijo veliko trdnost in stabilnost. Izbira ustreznega tipa nosilcev je odvisna od specifičnih zahtev in izvedbe konstrukcije.

### 2.1 Zgodovina

Koncept tramov je že tisočletja sestavni del gradbeništva. Stare civilizacije, kot sta Egipčani in Grki, so kamnite tramove uporabljale pri gradnji templjev in monumentalnih objektov, medtem ko so lesene tramove uporabljali že od prazgodovine v bivališčih in javnih zgradbah. S prihodom industrijske revolucije so prevladovali jekleni in armiranobetonski nosilci, kar je omogočilo gradnjo večjih in kompleksnejših konstrukcij.

Nosilci so v različnih oblikah, vključno z I-nosilci, T-nosilci in pravokotnimi nosilci, izdelani pa so lahko iz različnih materialov, kot so les, jeklo ali beton. So temeljni sestavni del ogrodja zgradbe, saj zagotavljajo strukturno podporo in obliko konstrukcije.

## 2.2 VRSTE NOSILCEV V GRADBENIŠTVU

Vrste nosilcev v zožitvi se razlikujejo kot bistveni horizontalni strukturni elementi, ki so najpomembnejši pri podpiranju struktur nad njimi. Imajo ključno vlogo pri zagotavljanju stabilnosti in trdnosti zgradb in drugih infrastruktur s porazdelitvijo obremenitve.

V gradbeništvu obstaja več vrst nosilcev, od katerih je vsak zasnovan za prenašanje določenih vrst bremen in služi različnim namenom.

### 2.2.1 Pravokotni nosilec

Izdelani so s pravokotnim prečnim prereзом in so močnejši in trši, saj porazdelijo težo na štiri ločene površine. Škatlasti nosilci se uporabljajo v primerih, ko so potrebne velike obremenitve in dolgi razponi. [1]



Slika 1: Pravokotni nosilec

### 2.2.2 I-nosilec

Ta tip nosilca ima prečni prere�, ki spominja na obliko črke "I", z dvema vodoravnima prirobnicama, povezanimi z navpično komponento. Zaradi odlične nosilnosti se pogosto uporabljajo v gradbeništvu, zaradi česar so idealni za velike gradbene projekte. [1]



Slika 2: I nosilec

### 2.2.3. T-nosilec

Se uporablja v gradbeništvu, je nosilna konstrukcija iz armiranega betona, lesa ali kovine s presekom v obliki črke T. Vrh preseka v obliki črke T služi kot prirobnica ali kompresijski element pri upiranju tlačnim napetostim. Mreža (navpični odsek) nosilca pod tlačno prirobnico služi za upiranje strižni napetosti. Ko se uporablja za avtocestne mostove, nosilec vključuje ojačitvene palice na dnu nosilca, da se upre nateznim napetostim, ki nastanejo med upogibanjem. [1]



Slika 3: T nosilec

### 2.2.4 Kotni nosilec

Kotni nosilci imajo prečni prerez v obliki črke L in se pogosto uporabljajo za dodatno trdnost in togost na vogalih. Pogosto se uporabljajo kot opornice ali okvirji. [1]



Slika 4: L nosilec

### 2.2.5 Konzolni nosilec

Ta tip nosilca je pritrjen na enem koncu in postavljen vodoravno na drugem. Ti nosilci se običajno uporabljajo na balkonih, mostovih. Običajno sega od ravne navpične površine, kot je stena, na katero mora biti trdno pritrjen. [1]



Slika 5: Konzolni nosilec

### 2.2.6 Fiksni nosilec

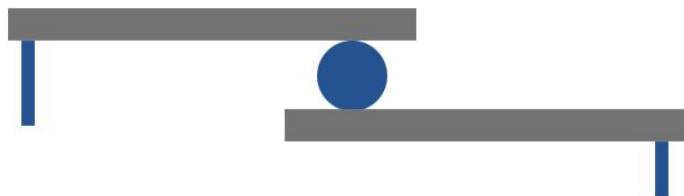
Ti nosilci so toga pritrjeni na obeh koncih in se ne morejo premikati ali vrteti navpično. Uporabljajo se, kadar ni rotacije na nosilcih ali pa je zelo minimalna. [1]



Slika 6: Fiksni nosilec

### 2.2.7 Sestavljeni nosilec

Sestavljeni nosilec, sestavljen iz dveh preprostih nosilcev, povezanih s tretjim členom, znanim kot opora. Sestavljeni nosilci se uporabljajo, kadar je potreben zelo velik razpon.[1]



Slika 7: Sestavljeni nosilec

## 2.3 Vrste nosilcev glede na material

Gradnja stavb je pomembna in kompleksna naloga, ki vključuje izbiro najboljših gradbenih materialov in pravilno uporabo inženirskih tehnik. Eden ključnih elementov katere koli zgradbe so tramovi.

### 2.3.1 leseni nosilci

Leseni tramovi so eden najstarejših in najpogostejših gradbenih materialov, ki se uporabljajo pri gradnji objektov. Les je enostavno dobiti, je trajnosten in zelo odporen material.

Ena od glavnih prednosti lesenih tramov je, da je z njimi enostavno delati, kar gradbenikom omogoča ustvarjanje različnih oblik in velikosti tramov, odvisno od tega, kaj potrebujejo.

### **Vrste lesenih nosilcev:**

**Polni leseni nosilci:** Polni leseni nosilci so konstrukcijski elementi iz masivnega lesa, ki se uporabljajo v gradbeništvu. Ti nosilci so izdelani iz enega kosa lesa ali iz več slojev lepljenih skupaj in so zasnovani za prenašanje težkih obremenitev. Polni leseni nosilci se pogosto uporabljajo v lesenih zgradbah, mostovih, strešnih konstrukcijah in drugih vrstah gradbenih konstrukcij, kjer je potrebna visoka nosilnost in stabilnost.

**Lepljeni nosilci (lamelirani nosilci):** Lepljeni nosilci, imenovani tudi lepljen les (GLT - Glued Laminated Timber), so sestavljeni iz več plasti (lamel) lesa, ki so med seboj lepljene z močnimi lepili. Ti nosilci so zelo priljubljeni v sodobni gradnji zaradi svojih izjemnih lastnosti. Nosilci iz lepljenega furnirja so sestavljeni iz več plasti pribl. 3 mm debelih zlepljenih borovih in smrekovih furnirjev. Če se pojavijo mesta z napakami, se ta odpravijo oz. se ustvari skoraj homogen prerez. S to strukturo naši nosilci dosegajo najvišjo trdnost in hkrati zmanjšujejo deformacije zaradi krčenja ter nabrekanja. Postopek izdelave omogoča široko paleto formatov, saj se izdelava polizdelek v obliki plošče dolžine do 18 m in širine do 2,5 m.

**Križno lepljeni nosilci:** križno lepljeni nosilci, znani tudi kot križno lepljeni les (CLT - Cross-Laminated Timber). To so izjemno močni in stabilni konstrukcijski elementi, ki so zasnovani tako, da so lesene lamele zlepljene pod pritiskom v križni vzorec. Vlakna namreč ne potekajo v isto smer, temveč se njihova smer izmenjuje po plasteh: enkrat potekajo vzporedno z daljšo stranico, drugič s krajšo. Tako dobimo les, ki je v vse smeri enako trden in prenaša obtežbe v vse smeri. Zaradi tega je bolj odporen na mehanske poškodbe, je pa posledično tudi nekoliko dražji.

## 2.4 Lastnosti lesenih nosilcev

### **Togost**

Togost se nanaša na odpornost nosilca proti deformacijam pod obremenitvijo. Bolj tog nosilec pomeni manjšo ukrivljenost ali premik pod enako obremenitvijo.

### **Trdnost**

Trdnost je odpor materiala proti delovanju zunanjih sil. Leseni nosilci so zelo trdni in lahko prenašajo velike obtežbe, kar jih naredi idealne za uporabo v gradbeništvu. Za to pa je odvisno tudi od gostote lesa, kakovosti lesa, vlažnost lesa, usmerjenost vlaken.

### **Torzija (vzvoj)**

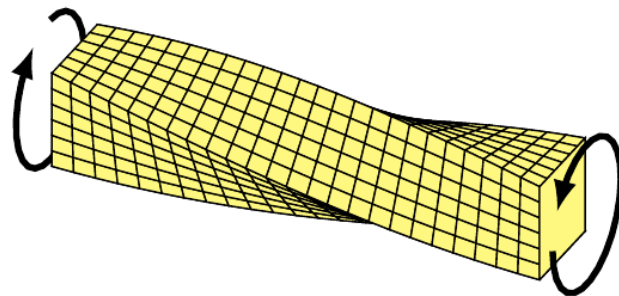
**Torzija** je v mehaniki trdnin obremenitev trdnega telesa pod vplivom navora dvojice sil pravokotnih na vzdolžno os telesa. Pri telesu z okroglim presekom je strig pravokoten na polmer.

Navor dvojice sil ali torzijski moment določa velikost ene izmed sil  $F$  in razdalja med njima.

$$T = Fr_a$$

Strižna napetost v točki znotraj osi je dana z:

$$T_{\varphi z} = \frac{Tr_x}{J}$$



Slika 8: Prikaz torzije

### **Strig**

Strig je deformacija teles, pri kateri leži sila vzporedno s ploskvijo, na katero prejme. Silo uravnovesi nasprotno enaka sila na nasprotni ploskvi, navor dvojice sil pa uravnovesi nasprotno enak navor dvojice sil v smeri pravokotno na prvo dvojico sil. Pri tovrstni obremenitvi se prostornina telesa ne spremeni znatno.

Razmerje med strižno napetostjo in strižno deformacijo  $\gamma$  je strižni modul, ki ga navadno označujemo s črko  $G$ :

$$\tau = G\gamma$$

### ***Nateg***

Natezna trdnost (pogosto imenovana kar "nateg") je ključna lastnost materialov, ki opisuje, kako dobro material prenese natezno silo preden se zlomi. Za lesene nosilce je natezna trdnost pomemben dejavnik, saj določa, kako dobro bodo nosilci prenašali obremenitve v dolžinski smeri.

Natezna trdnost ( $\sigma$ ) se običajno izračuna z uporabo formule:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

kjer je:

**F** - sila, ki deluje na material,

**A** - presek materiala, na katerega deluje sila.



*Slika 9: Prikaz natega*

### ***Tlak***

Tlak je fizikalna količina, ki opisuje silo, ki deluje na enoto površine. Tlak lahko vpliva na trdnost, stabilnost in delovanje različnih materialov in sistemov.

**Osnovna formula za tlak:**

$$P = \frac{F}{A}$$

Kjer je:

**P** - tlak

**F** - sila

**A** - površina

Tlak se lahko meri v različnih enotah, med najbolj pogostimi so:

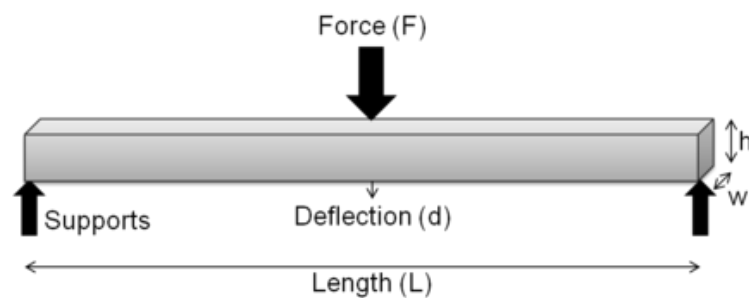
- Pascal (Pa)
- Bar
- Atmosfere (atm)
- Psi (pounds per square inch)



Slika 10: Prikaz tlaka

### Upogib

Upogib označuje obnašanje vitkega strukturnega elementa, ki je izpostavljen zunanji obremenitvi, ki deluje pravokotno na vzdolžno os elementa.



Slika 11: Prikaz upogiba

### 3. LES

Les je organski material, primarno je v deblih dreves ali grmov. Suh les je sestavljen iz celuloze (40-50%), hemiceluloze (25-30%) ter veziv, imenovanega lignin (25-30%). V živem drevesu opravlja podporno funkcijo, ki omogoča olesenelim rastlinam, da zrastejo visoko in ostanejo stabilne. Prav tako posreduje prenos vode in hranil do listov in drugih rastočih tkiv. Les je poleg glin in kamna najstarejši in eden najpomembnejših naravnih materialov. Zemlja vsebuje okoli 1.000 milijard ton lesa, ki raste po stopnji 10 milijard ton na leto. Kot pogosto in ogljično nevtralen obnovljiv vir energije je les eden ključnih energentov. Največ se les uporablja za pohištvo in gradbeništvo. Posekan in posušen les se uporablja za različne namene. Les je bil eden najpomembnejših gradbenih materialov preko celotnega človeštva in ima pri gradnji pomembno vlogo še danes. Ena najpomembnejših uporab lesa skozi zgodovino je bila za pridobivanje energije, bodisi zmletega na sekance, pelete in brikete ali predelanega v oglje. Veliko se uporablja tudi za izdelovanje drobnih predmetov in v kiparstvu. Zmlet les se uporablja tudi pri proizvodnji papirja. Les je najpogostejša kurjava. Les se prodaja tudi v surovi obliki hlodov, kjer se kasneje lahko obdeluje za vse vrste namenov, je izredno koristen gradbeni material. Posušen les se veliko uporablja tudi za izdelavo pohištva. Zaradi akustičnih lastnosti ga uporabljamo za izdelavo glasbil, kot so kitara, violina, frulice, klavirji, itd., prav tako pa so številne zvočne omarice narejene iz lesa. V preteklosti se je les uporabljal tako za premostitvene objekte kot za stavbe, njegova uporaba v visoki gradnji pa je bila omejena predvsem na upogibne elemente (stropove, ostrešja, preklade). Pri tem uporabljali različne vrste lesa glede na geografsko območje, gozdni sestavi in tudi glede na gmotne zmožnosti graditeljev. Posebej dobro so poznali zgradbo lesa in različne lesne zveze. Sprva je bila uporaba lesa predvsem posledica njegove dostopnosti, v časih, ko še ni bilo široke izbire umetnih materialov za gradnjo. Človek je les uporabljal že v preteklosti, zato ker ga je bilo veliko v naravi, lahko ga je bilo obdelovati s preprostim (kamnitim) orodjem. Izdelovali so zavetišča, čolne, jadrnice, lesne hiše, itd. V kasnejših obdobjih so ga uporabljali za orodje pri kmetovanju, vozove, okenske okvirje, pohištvo, ter za predmete v vsakdanji uporabi. Danes je les v gradnji cenjen predvsem zaradi njegovih pozitivnih lastnosti na objekte in bivanje v njem. Glede na ostale materiale ima predvsem to prednost, da je naraven in obnovljiv vir.



*Slika 12: Les in izdelki*

## 4. 3-D TISKALNIKI IN TISKANJE

Kaj sploh je 3D tiskanje? Tridimenzionalno (3D) tiskanje je aditivni proizvodni proces, ki ustvari fizični predmet iz digitalnega dizajna. Postopek poteka tako, da se položijo tanke plasti materiala v obliki tekoče ali praškaste plastike, kovine ali cementa, nato pa se plasti zlijejo skupaj. V osemdesetih letih prejšnjega stoletja so tehnike 3D-tiskanja veljale za primerne le za izdelavo funkcionalnih ali estetskih prototipov, zanje pa je bil takrat bolj primeren izraz hitra izdelava prototipov. Od leta 2019 so se natančnost, ponovljivost in razpon materialov 3D-tiskanja povečali do te mere, da se nekateri postopki 3D-tiskanja štejejo za izvedljive kot tehnologija industrijske proizvodnje; v tem kontekstu lahko izraz aditivna proizvodnja uporabljamo kot sinonim za 3D-tiskanje.

Z 3D-tiskanjem lahko izdelamo zelo zapletene oblike, ki jih sicer ne bi bilo mogoče izdelati ročno, vključno z votlimi deli ali deli z notranjimi nosilnimi strukturami za zmanjšanje teže ob ustvarjanju manj materiala odpadki. Modeliranje taljenega nanosa (FDM), ki uporablja neprekinjen filament iz termoplastičnega materiala, je najpogostejši postopek 3D-tiskanja, ki se uporablja od leta 2020.



Slika 13: 3D Tiskalnik

### 4.1. Kako deluje 3D-tiskanje

Najprej se naredi virtualni dizajn objekta. Ta zasnova bo delovala kot načrt, ki ga bo 3D-tiskalnik lahko prebral. Virtualno načrtovanje je izdelano s programsko opremo za računalniško podprto načrtovanje (CAD), vrsto programske opreme, ki lahko ustvari natančne risbe in tehnične ilustracije. Virtualno zasnovano je mogoče izdelati tudi s 3D-skenerjem, ki ustvari kopijo obstoječega predmeta tako, da ga v bistvu posname iz različnih zornih kotov. Ko je virtualni model izdelan, ga je treba pripraviti za tisk. To se naredi tako, da se model razdeli na več plasti s postopkom, imenovanim rezanje. Rezanje vzame model in ga s posebno programsko opremo razreže na stotine ali celo tisoče tankih vodoravnih plasti. Ko je virtualni model izdelan, ga je treba pripraviti za tisk. To se naredi tako, da se model razdeli na več plasti s postopkom,

imenovanim rezanje. Rezanje vzame model in ga s posebno programsko opremo razreže na stotine ali celo tisoče tankih vodoravnih plasti.

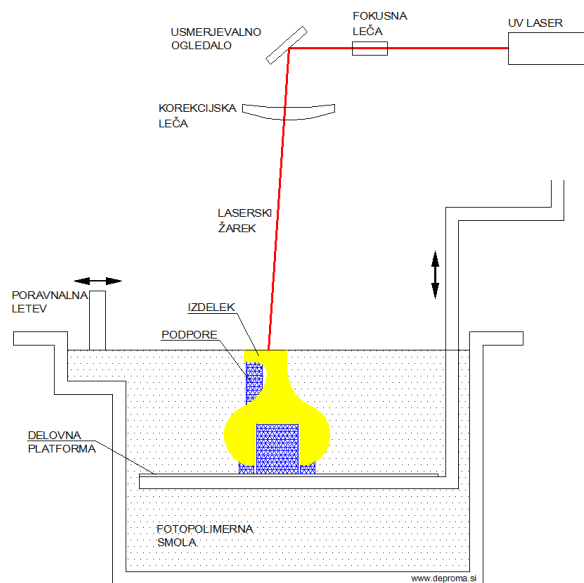
#### 4.1.1 Kako se tiska

3D-tiskalnik bo začel tiskati plasti materiala v procesu, znanem kot iztiskanje materiala. Glede na vrsto 3D-tiskalnika in material, ki se uporablja, obstaja več načinov ekstrudiranja materiala. Najpogosteje ima 3D-tiskalnik šobo, ki izmetava poltekoči material, kot je staljena plastika, kovina ali cement. Ekstrudijska šoba se lahko premika v vodoravni in navpični smeri, saj natančno namesti material, sledi načrtu digitalnega modela plast za plastjo. Ta postopek se ponavlja, dokler 3D-tiskalnik ne replicira vsake plasti v digitalnem modelu z ekstrudiranim materialom.

#### 4.1.2 Vrste 3D printerjev

##### Selektivno lasersko sintranje - SLS tiskanje

Selektivno lasersko sintranje (SLS) je tehnologija 3D-tiska, pri kateri se z visoko zmogljivim laserjem sintrajo delci polimernega prahu. Postopek tiskanja se začne z nanosom tanke plasti predhodno segretega polimernega prahu na delovno površino. Po vsakem nanosu plasti se delovna površina spusti, postopek pa se ponovi, dokler model ni popolnoma oblikovan. Delci prahu, ki se v spodnjih plasteh ne spojijo, služijo kot naravna podpora za višje plasti modela, kar omogoča tiskanje kompleksnih geometrijskih oblik brez potrebe po dodatnih podpornih strukturah. Za selektivno lasersko sintranje se najpogosteje uporablja najlon, ki omogoča izdelavo močnih, togih in okolju odpornih modelov. Najlon je odporen na UV žarke, vlago, topila in toploto, prav tako pa je mogoče izboljšati njegove lastnosti z dodajanjem kompozitnih materialov, kot so steklena ali ogljikova vlakna. Poleg najlona se za SLS tehnologijo pogosto uporabljata tudi polipropilen (PP) in termoplastični poliuretan (TPU). [12]

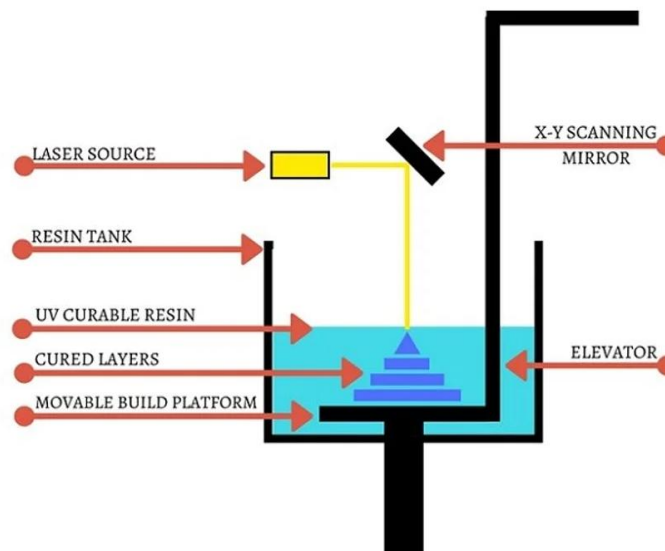


Schema SLA

Slika 14: SLS tiskanje

### **Stereolitografija - SLA tiskanje**

Stereolitografija (SLA) je najstarejša metoda 3D-tiska, ki pa kljub temu ostaja ena najbolj priljubljenih tehnologij v industriji. Temelji na uporabi laserjev, ki z usmerjanjem UV žarkov trdijo fotopolimerno smolo. Ta metoda omogoča izjemno natančne tiskane modele z gladko površino ter ostrimi in izrazitimi koti, kar omogoča izdelavo zelo podrobnih in kompleksnih struktur. Zaradi tehnološkega napredka postaja stereolitografija vse cenejša in dostopnejša, kar omogoča večjo fleksibilnost pri izdelavi prototipov, testiranju in proizvodnji. Modeli, natisnjeni s stereolitografijo, so primerne za uporabo v različnih industrijskih panogah, saj zagotavljajo gladke površine in majhne tolerance. Uporabljajo se lahko v avtomobilski industriji, zdravstvu, zobozdravstvu, v vesoljski industriji, letalstvu, kot prototipi, končni izdelki, orodja, nadomestni deli in še mnogih drugih aplikacijah. [13]

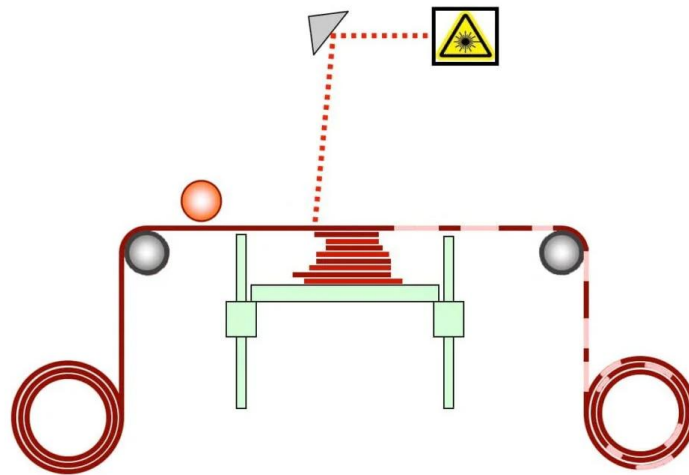


Slika 15: Stereolitografija - SLA tiskanje

### **Nalaganje krojenih plasti - LOM tiskanje**

Metoda tiskanja LOM (Laminated Object Manufacturing) se v primerjavi z drugimi klasičnimi aditivnimi tehnologijami precej razlikuje, saj za doseg končne oblike modela vključuje tudi postopek odstranjevanja materiala. Postopek deluje tako, da tiskalnik lepi posamezne laminarne plasti materiala, iz katerih nato izrezuje želene oblike. Ko je tiskanje zaključeno, je potrebno odstraniti odvečen material, ki ni bil uporabljen za oblikovanje modela. Ena izmed glavnih prednosti te metode je uporaba cenovno dostopnih materialov, kot je papir. Poleg papirja lahko za tiskanje uporabimo tudi različne polimere ali tanke pločevine. Za razliko od drugih materialov, ki se običajno obdelujejo z laserjem, se ti materiali izrezujejo z uporabo CNC

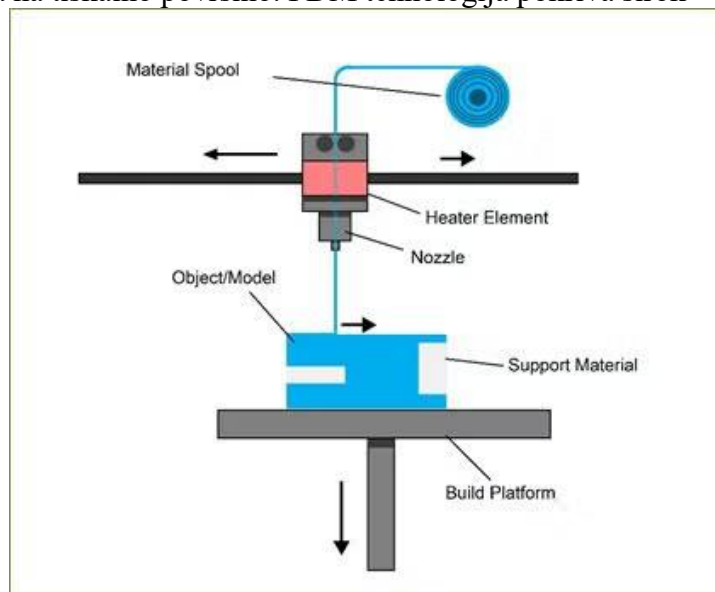
rezkalnika. Kljub tem prednostim pa metoda LOM ni tako široko razširjena, saj ima nekaj omejitev, kot so večja dimenzijska odstopanja in višja začetna cena opreme. [14]



Slika 16: Nalaganje krojenih plasti - LOM tiskanje

### Ciljno nalaganje filameta – FDM tiskanje

Najbolj razširjena metoda 3D-tiska je ciljno nalaganje filameta, znano tudi kot FDM (Fusion Deposition Modeling). Ta tehnologija deluje tako, da termoplastični polimer skozi ogreto šobo iztisne plast za plastjo, ki se nalaga na tiskalno površino. Temperatura se prilagaja vrsti materiala, ki se uporablja pri tiskanju. Ko so nastavitve pripravljene, se tiskalnik segreje na potrebne delovne temperature, nato pa ekstruzijska glava začne potiskati filament skozi šobo. Ta glava je povezana s triosnim mehanizmom, ki omogoča gibanje po oseh X, Y in Z, kar omogoča natančno postavljanje materiala na tiskalno površino. FDM tehnologija pokriva širok spekter uporabe, saj omogoča hitro izdelavo prototipov in izboljšanje obstoječih dizajnov. Poleg tega se uporablja tudi za izdelavo zahtevnih modelov in komponent ter v različnih področjih, kot so izobraževanje, raziskave, in razvoj novih tehnologij, kar vključuje tudi primere, kot je to diplomsko delo. [15]



Slika 17: Ciljno nalaganje filameta – FDM tiskanje

## 5. PRIPRAVA NOSILCEV ZA TESTIRANJE

Priprava preizkušancev za 3D-tiskanje je ključnega pomena za izvedbo natančnih in zanesljivih testiranj. Pri raziskovanju trdnosti 3D-natisnjenih nosilcev je treba upoštevati več dejavnikov, ki vplivajo na končne mehanske lastnosti. Prvi korak je določitev geometrije preizkušancev, ki mora ustrezati dimenzijam in oblikam primerljivih lesenih nosilcev, da zagotovimo enake pogoje za primerjavo. Geometrija mora vključevati standardne dimenzije ter omogočati testiranje vpliva različnih notranjih struktur (polnil).

Poseben poudarek je namenjen obliki in zasedenosti polnila. Oblika polnila, kot so mrežasta ali celična struktura, ter odstotek zasedenosti notranjosti nosilcev (npr. 30 %, 60 %, 90 %) bosta prilagojena ciljem raziskave. Ti parametri bodo prilagojeni s pomočjo programske opreme za modeliranje in nastavitve 3D-tiskalnika. Poleg tega bo uporabljen enoten material, ki zagotavlja ponovljivost rezultatov in preprečuje vpliv variabilnosti materiala na trdnost. Pri izbiri materiala smo imeli na razpolago veliko materialov, ampak odločili smo se da bomo izbrali PLA (polilaktična kislina).

Za izvedbo 3D-tiskanja bodo izbrani ustrezni parametri, kot so temperatura tiskanja, hitrost tiskanja in debelina plasti, ki omogočajo izdelavo natančnih in kakovostnih preizkušancev. Ti preizkušanci bodo nato pripravljene za obremenitvene teste, ki bodo zagotovili dragocene podatke za oceno vpliva oblike in zasedenosti polnila na trdnost 3D-natisnjenih nosilcev.

### 5.1 Uporabljen material za 3D printanje

#### 5.1.1 PLA filament

Torej PLA filament (polilaktična kislina) je eden najpogosteje uporabljenih materialov za 3D-tiskanje. Gre za termoplast, ki je pridobljen iz obnovljivih virov, kot so koruzni škrob, sladkorni trs ali druga rastlinska biomasa. Zaradi svoje ekološke narave in preprostega tiskanja je PLA priljubljena izbira med začetniki in profesionalci v svetu 3D-tiskanja. Je biološko razgradljiv material, kar pomeni, da se ob pravilnih pogojih lahko razgradi v naravi, zato velja za okolju prijaznejšo alternativo nekaterim drugim plastičnim materialom.

### ***Posebnosti PLA filamenta***

- PLA filament ima več posebnosti, ki ga ločijo od drugih materialov za 3D-tiskanje, kot sta ABS ali PETG.
- Ekološka prijaznost: PLA je izdelan iz naravnih in obnovljivih virov ter je biološko razgradljiv pod industrijskimi kompostnimi pogoji.
- Preprosto tiskanje: Tiskanje s PLA filamentom je relativno enostavno, saj se ne zahteva visoka temperatura tiskanja, material pa ima manjše težnje k deformacijam (t.i. "warping") med hlajenjem.
- Estetika: PLA filamenta so na voljo v široki paleti barv in pogosto tudi v posebnih izvedbah, kot so mat finiše, svetleči efekti, kovinski videz ali celo filamenta z dodatki, kot so lesni delci ali fosforescentni pigmenti.
- Nižja temperatura tiskanja: PLA se topi in tiska pri relativno nizkih temperaturah, običajno med 190 °C in 220 °C. To zmanjšuje porabo energije in olajša tiskanje.
- Manjša mehanska odpornost: V primerjavi z materiali, kot sta ABS ali PETG, je PLA bolj krhek in manj odporen na toploto. Njegova točka mehčanja je okoli 60 °C, zaradi česar ni primeren za predmete, ki bodo izpostavljeni visokim temperaturam ali mehanskim obremenitvam.
- Vonj: Med tiskanjem PLA ne oddaja močnega vonja, kar ga naredi bolj prijetnega za uporabo v zaprtih prostorih.

### ***Kako tiskati s PLA filamenta***

- Tiskanje s PLA filamentom je relativno nezahtevno, vendar je kljub temu treba upoštevati nekaj osnovnih pravil za zagotavljanje kakovostnih rezultatov.
- Priprava tiskalnika: Preverite, da je šoba tiskalnika čista in da filament lahko prosto prehaja.
- Preverite, ali je tiskalna plošča pravilno kalibrirana, saj nepravilna višina lahko vpliva na adhezijo prve plasti.
- Nastavitev temperature: Pravilna temperatura šobe za PLA filament je običajno med 190 °C in 220 °C.

- Temperatura ogrevane plošče (če je potrebna) naj bo okoli 50 °C, čeprav mnogi PLA materiali ne potrebujejo segrevanja plošče.
- Adhezija na tiskalno ploščo: Za dobro prileganje prve plasti uporabite lepilni trak (npr. modri slikarski trak), PEI ploščo ali nanesite tanek sloj lepila v stiku.
- Hlajenje: Uporabite ventilator za hlajenje, da se plast hitro strdi in zagotovi kakovostne detajle. Hlajenje je posebej pomembno pri tiskanju previsov in mostov.
- Hitrost tiskanja: PLA lahko tiskate pri hitrostih med 30 mm/s in 60 mm/s, vendar lahko prilagodite hitrost glede na kompleksnost modela in zmogljivosti tiskalnika.
- Shranjevanje: PLA filament je higroskopnen, kar pomeni, da absorbira vlago iz zraka. Shranjujte ga v suhem prostoru, najbolje v zračno tesnih posodah s sušilnimi sredstvi.

### ***Kako so izdelani PLA filament?***

Proces izdelave PLA filamentov se začne z osnovnim materialom – polilaktično kislino, ki jo pridobivamo iz obnovljivih virov, kot so koruza, sladkorna pesa ali sladkorni trs. Ta postopek obsega več korakov:

#### ***Pridobivanje surovin:***

Prva faza je pridobivanje škroba iz rastlin, kot je koruza. Rastline se predelajo v sladkorje, ki so osnova za nadaljnjo predelavo.

- *Fermentacija:* Sladkorji se fermentirajo s pomočjo mikroorganizmov, kar privede do nastanka mlečne kisline.
- *Polimerizacija:* Mlečna kislina se polimerizira, kar pomeni, da se posamezne molekule združijo v dolge verige, imenovane polilaktična kislina (PLA).
- *Ekstruzija:* PLA se v obliki granul segreje in stopi. Tekoč material se nato s pomočjo ekstruderja oblikuje v tanke niti. Te niti se hladijo, enakomerno navijajo na kolute in razrežejo v dolžine primerne za uporabo v 3D-tiskalnikih.
- *Dodajanje dodatkov:* Po potrebi se v PLA med procesom izdelave dodajajo barvila, ojačitveni materiali ali drugi dodatki, ki izboljšajo specifične lastnosti filamenta, kot so odpornost na udarce, elastičnost ali estetski videz.

- *Kontrola kakovosti:* Preden se filament pošlje v prodajo, gre skozi strogo kontrolo kakovosti, kjer se preverja premer, enakomernost in kakovost materiala, da se zagotovi brezhibno tiskanje. [17]

### **5.1.2 PLA les filament**

PLA les filament je posebna vrsta PLA filamenta, ki vsebuje dodatek lesenih delcev ali lesnega prahu, združenega z osnovnim PLA materialom. Filamenti združujejo 40 % recikliranega lesa in 60 % PLA materiala. To pomeni, da imajo tiski iz tega filamenta občutek, izgled in celo vonj pravega lesa. Ta filament omogoča tiskanje 3D modelov, ki imajo videz, teksturo in v nekaterih primerih celo vonj po lesu. Gre za material, ki združuje estetske lastnosti lesa in praktičnost PLA filamenta, zaradi česar je priljubljen za tiskanje dekorativnih predmetov, modelov pohištva, umetniških del in drugih projektov, kjer je pomemben naraven videz.

#### ***Posebnosti PLA les filamenta***

PLA les filament se razlikuje od standardnega PLA filamenta po svojih lastnostih in uporabi.

Njegove posebnosti so:

- **Lesena tekstura in videz:** Zaradi dodatka lesenih delcev imajo modeli izdelani iz PLA les filamenta videz in teksturo, ki spominjata na naravni les. Po tisku se površina modela lahko obdeluje (bruši, lakira) za še bolj naraven videz.
- **Vonj po lesu:** Med tiskanjem se pogosto sprošča rahel vonj po lesu, kar je prijetno v primerjavi z nekaterimi drugimi materiali za 3D tiskanje.
- **Različni odtenki lesa:** Filamenti so na voljo v različnih odtenkih, ki posnemajo vrste lesa, kot so bor, oreh ali mahagonij.
- **Bolj krhek material:** Zaradi dodatka lesenih delcev je filament nekoliko bolj krhek kot čist PLA, zato je potrebna dodatna previdnost pri rokovanju in shranjevanju.
- **Nižja temperatura tiskanja:** PLA les filament se tiska pri podobnih temperaturah kot standardni PLA, običajno med 190 °C in 220 °C, vendar so optimalne nastavitve odvisne od proizvajalca.

#### ***Kako tiskati s PLA les filamenti***

- Tiskanje s PLA les filamentom zahteva nekaj prilagoditev, da se zagotovi najboljša kakovost končnega izdelka. Tukaj so osnovni koraki in nasveti:

- Priprava tiskalnika: Preverite, da imate šobo z odprtino vsaj 0,4 mm ali večjo, saj lesni delci lahko zamašijo manjše šobe.
- Poskrbite za čisto šobo, da preprečite motnje pri iztiskanju materiala.
- Nastavitev temperature: Začnite s temperaturo med 200 °C in 220 °C ter jo prilagajajte glede na kakovost iztiska.
- Ogrevana plošča ni nujno potrebna, če pa jo uporabljate, nastavite temperaturo na približno 50 °C.
- Hitrost tiskanja: Priporočljiva hitrost tiskanja je nekoliko nižja kot pri standardnem PLA, običajno med 30 mm/s in 50 mm/s, da preprečite lomljenje filameta in zamašitev šobe.
- Adhezija: Uporabite lepilni trak, lepilo ali PEI ploščo za dobro oprijemljivost prve plasti.
- Zaključna obdelava: Tiskani modeli iz PLA les filameta se lahko brušijo, barvajo ali lakirajo za še bolj naraven videz.
- Shranjevanje: PLA les filament shranjujte na suhem mestu, saj lahko absorbira vlago, kar vpliva na kakovost tiskanja.

### ***Kako so izdelani PLA les filament?***

Postopek izdelave PLA les filamentov je podoben izdelavi standardnih PLA filamentov, vendar z dodatkom lesnih delcev. Tukaj so glavne faze:

- Pridobivanje surovin: Osnova za PLA je polilaktična kislina, ki se pridobiva iz obnovljivih virov, kot so koruza ali sladkorni trs. Za PLA les filament se temu dodajo fino zmleti lesni delci ali lesni prah.
- Mešanje materialov: Lesni delci se natančno premešajo z osnovnim PLA materialom, da se zagotovi homogena zmes. Razmerje lesenih delcev se običajno giblje med 10 % in 40 %, odvisno od proizvajalca.
- Ekstruzija: Mešanica PLA in lesenih delcev se segreje in stisne skozi ekstruder, kjer nastanejo dolge niti filameta. Ti filament se ohladijo in navijejo na kolute za nadaljnjo uporabo.

- Kontrola kakovosti: Preden gre filament v prodajo, se preverja enakomernost premera, kakovost materiala in zmožnost tiskanja brez zamašitev ali drugih težav.
- Dodatna obdelava: Po potrebi se v zmes dodajo barvila ali drugi dodatki, da se dosežejo posebni odtenki in lastnosti, kot so različni videzi lesa ali izboljšana trdnost.

## 5.2 Testiranje

V nadaljevanju bomo predstavili 3D natisnjene nosilce, ki smo jih uporabili za primerjavo v raziskovalni nalogi. Medsebojno smo primerjali tri vrste materialov: PLA plastika, PLA les in pravi leseni nosilec. Upogibni preizkus smo opravili tri točkovno na vseh nosilcih, na stroju na UM Fakulteta za gradbeništvo, prometno inženirstvo in arhitekturo. Upogibni preizkus s tri točkovno obremenitvijo Statični upogib je v osnovi destruktivna (porušna) metoda, ki je najbolj uporabljena metoda za določanje upogibnih trdnostnih lastnosti nosilcev. Priznana sta dva načina statičnega preizkušanja, in sicer upogib s tri točkovno obremenitvijo in upogib s štiri točkovno obremenitvijo. Pri statičnem upogibu vzorce testiramo na valjčnih podporah z obremenjevanjem na sredini podpor (tritočkovni upogib) ali na dveh simetričnih točkah (štiritočkovni upogib). Tri-točkovni upogibni test je manj natančen zaradi večjega pojava vtiskanja merilnih valjev v površino lesa in strižnih napetosti na mestu merjenja deformacije (povesa). Statični upogib se lahko izvaja tudi na nedestruktiven način, kjer preizkušane obremenimo le v področju elastičnosti oz. do meje proporcionalnosti napetosti in deformacije. V tem primeru ne dobimo podatka o trdnosti (porušni napetosti) materiala ampak le izračunamo modul elastičnosti. Z naraščanjem gostote dokaj premo sorazmerno naraščajo tudi mehanske lastnosti lesa, kot so trdnost, trdota, udarna žilavost in modul elastičnosti. Tako lahko po gostoti dokaj dobro sklepamo kakšne so mehanske lastnosti.

### *Naprava za testiranje - Zwick Roell Z010*

Naprava Zwick Roell Z010 je preizkuševalni sistem, ki se uporablja za izvajanje različnih mehanskih preizkusov materialov, kot so natezni testi, tlačni testi, testiranje upogiba in drugi testi, ki omogočajo merjenje lastnosti materialov pod različnimi obremenitvami. Gre za univerzalni preizkuševalni stroj, ki je primeren za analizo širokega spektra materialov, vključno z plastiko, kovinami, kompoziti in drugimi materiali. Testiranje preizkušancev smo opravili na

Fakulteti za gradbeništvo, prometno inženirstvo in arhitekturo Univerze v Mariboru, na katedri za materiale.

**Kako deluje:** Naprava Zwick Roell Z010 je zasnovana tako, da omogoča natančno merjenje obremenitev in deformacij materiala med preizkusom. Sistem je opremljen z različnimi senzorji za merjenje sile in pomika, kar omogoča točno določanje mehanskih lastnosti materiala, kot so natezna trdnost, elastičnost, raztezek, upogibna trdnost in drugi parametri. Obremenitev se nanese na vzorec z uporabo servomotorja, ki zagotavlja zelo natančno in ponovljivo testiranje.

#### ***Prednosti naprave Zwick Roell Z010:***

Visoka natančnost in ponovljivost: Zaradi naprednih senzorjev in tehnologije merjenja omogoča zelo točne in ponovljive rezultate pri preizkusih.

- Prilagodljivost: Naprava omogoča izvajanje različnih vrst preizkusov materialov, kar je koristno v širokem spektru industrij (kemična, avtomobilska, gradbena, itd.).
- Enostavna uporaba: Ima uporabniški vmesnik, ki omogoča enostavno nastavljanje preizkusov in spremljanje rezultatov v realnem času, kar povečuje produktivnost in zmanjšuje napake pri uporabi.
- Visoka kapaciteta: Zwick Roell Z010 je primeren za širok razpon materialov, od mehkih plastike do trdih kovin, in omogoča testiranje pri širokem območju obremenitev.
- Kompaktna velikost: Kljub svojim zmogljivostim je naprava Zwick Roell Z010 kompaktna, kar omogoča enostavno integracijo v laboratorijske prostore z omejenim prostorom.
- Avtomatizacija: Naprava omogoča avtomatizacijo nekaterih procesov, kot so nastavljanje obremenitve, kar pripomore k večji učinkovitosti testiranja.

Vse te lastnosti naredijo Zwick Roell Z010 zelo primeren instrument za natančne in zanesljive teste mehanskih lastnosti materialov v raziskovalnih in industrijskih nastavitvah.

#### ***Kako je sestavljena naprava Zwick Roell Z010***

Okvir naprave: Tog okvir z zgornjo in spodnjo prečno gredjo, ki zagotavlja stabilnost pri testiranju. Območje med obema gredema je mesto, kjer se nameščajo vzorci.

- Obremenilna celica: Meri natančno uporabljeno silo na vzorec (v N ali kN). Z010 ima kapaciteto do 10 kN, kar je primerno za manj zahtevne teste.

- Križna glava (pogonski sistem): Premična glava, ki se premika navzgor ali navzdol s pomočjo servo motorja in natančnega vretena. Premik je mogoče nastaviti glede na vrsto testa (hitrost, pomik, ali obremenitev).
- Vpenjalni sistem: Različne čeljusti (mehanske, pnevmatske ali hidravlične) za pritrditev vzorcev. Tip čeljusti je odvisen od testa (natezni, tlačni ali drugi).
- Merilni sistemi: Ekstenzometer, ki se uporablja za merjenje raztezka (deformacije) vzorca med testom. Notranji senzorji za merjenje premika križne glave.
- Krmilna enota in programska oprema: Naprava se upravlja preko računalnika z uporabo programske opreme, kot je TestXpert. Programska oprema omogoča nastavitve testnih parametrov, beleženje podatkov in analizo rezultatov. [17]



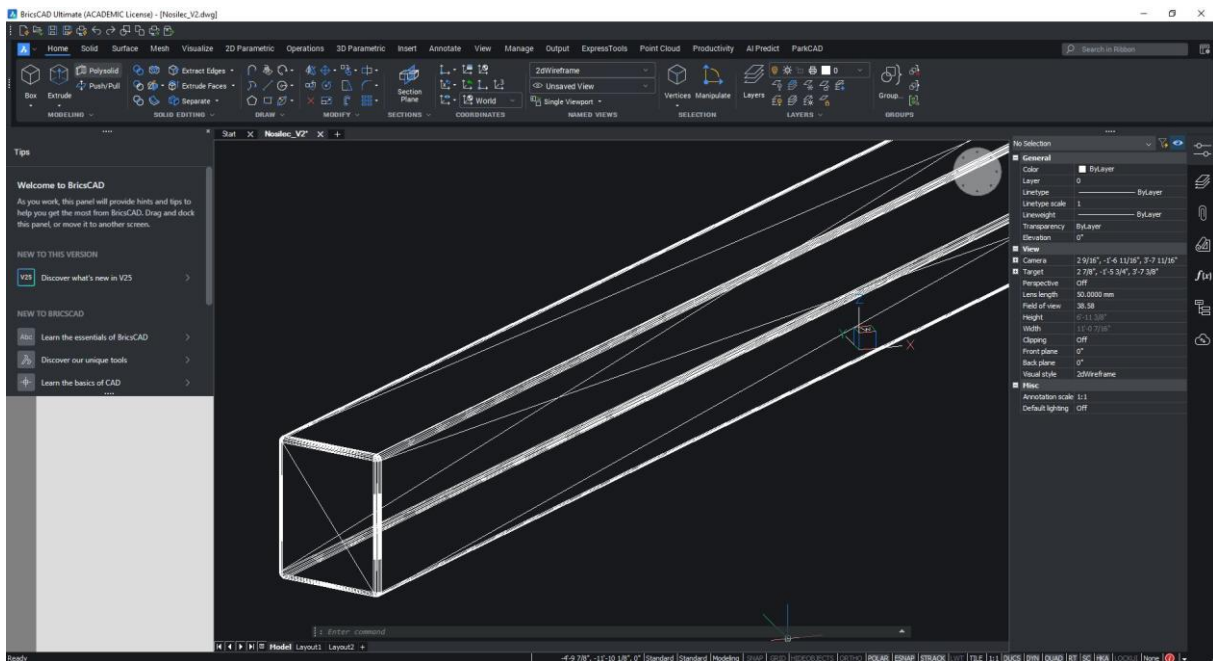
Slika 18: Zwick Roell

### 5.3 Priprava na 3D-tisk

Postopek tiskanja nosilcev se je začel na računalniku, narejeno 3d model nosilca v CAD programu, je bilo potrebno pretvoriti v ustrezno obliko zapisa, ki jo lahko tiskalnik prebere.

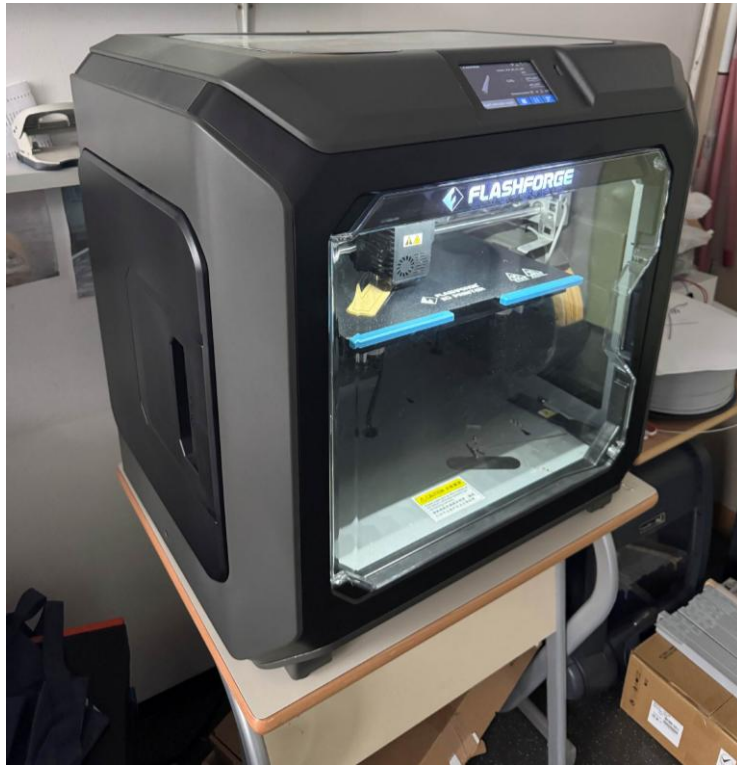
#### 5.3.1 Nastavitve tiskanja

Tako je bil model pripravljen za nadaljnjo obdelavo, potrebno je bilo določiti še parametre katerim bo sledil 3D-tiskalnik. To se naredi s klikom na okence »Start Slicing«.



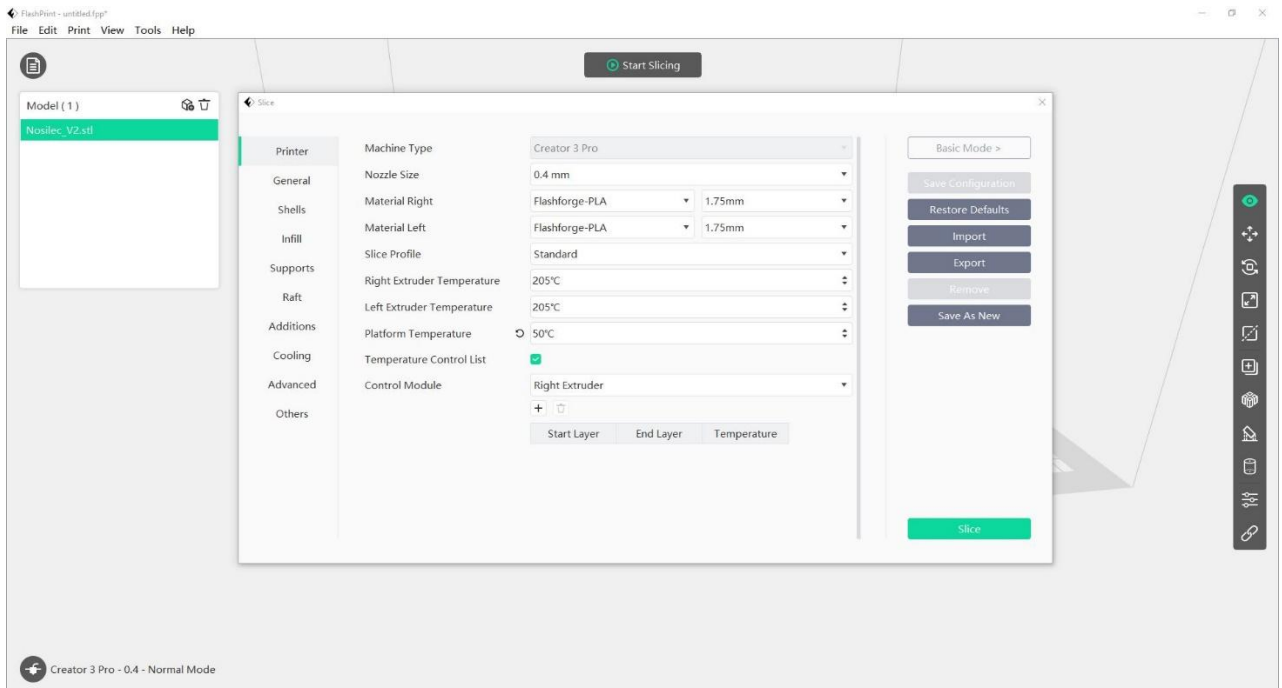
Slika 19: Primer priprave nosilca v CAD programu

Za tiskanje so uporabili tiskalnik FlashForge, ki ima dve glavi za tiskanje. Uporabili smo samo eno, saj smo tiskali nosilec po diagonali, saj ima tiskalnik površino tiskanja 25x30cm ter 40cm višine.



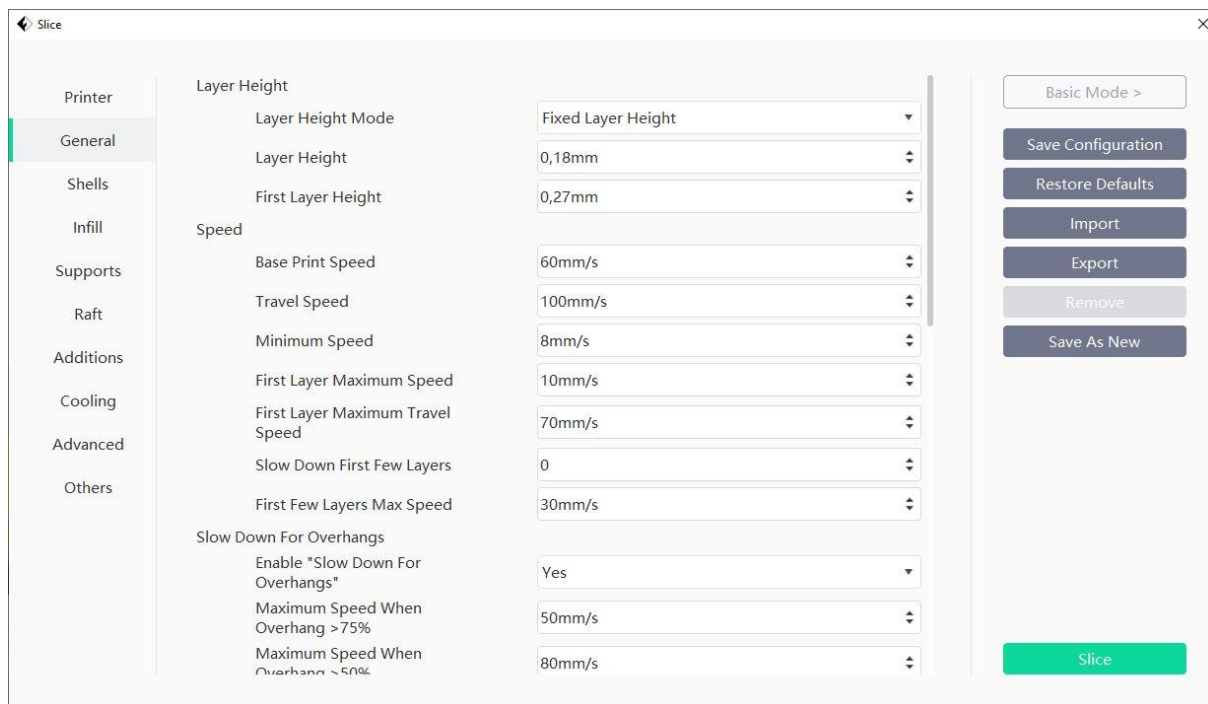
Slika 20: 3D tiskalnik

Najprej sem spremenil velikost ekstrudorja s klikom na okno za velikost šobe za printanje »Nozzle Size« iz 0,6 mm na 0,4 mm. V primerih, ko smo tiskal s filamentom z dodatkom lesnih vlaken smo kot osnovni material uporabili nastavitve za PLA.



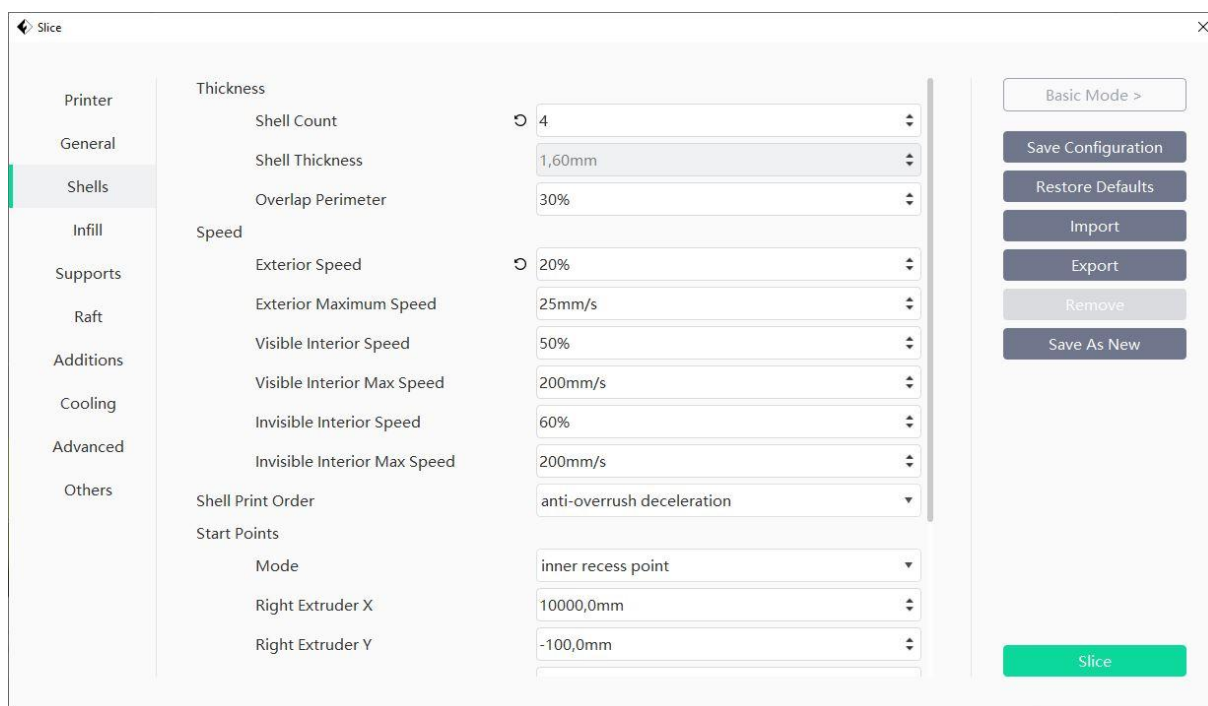
Slika 21: Prikaz nastavitve za tiskanje

V oknu General se lahko prilagodi višina posameznega sloja s pomočjo ukaza Layer Height in hitrost premikanja glave ekstrudorja z ukazom Base Print Speed.



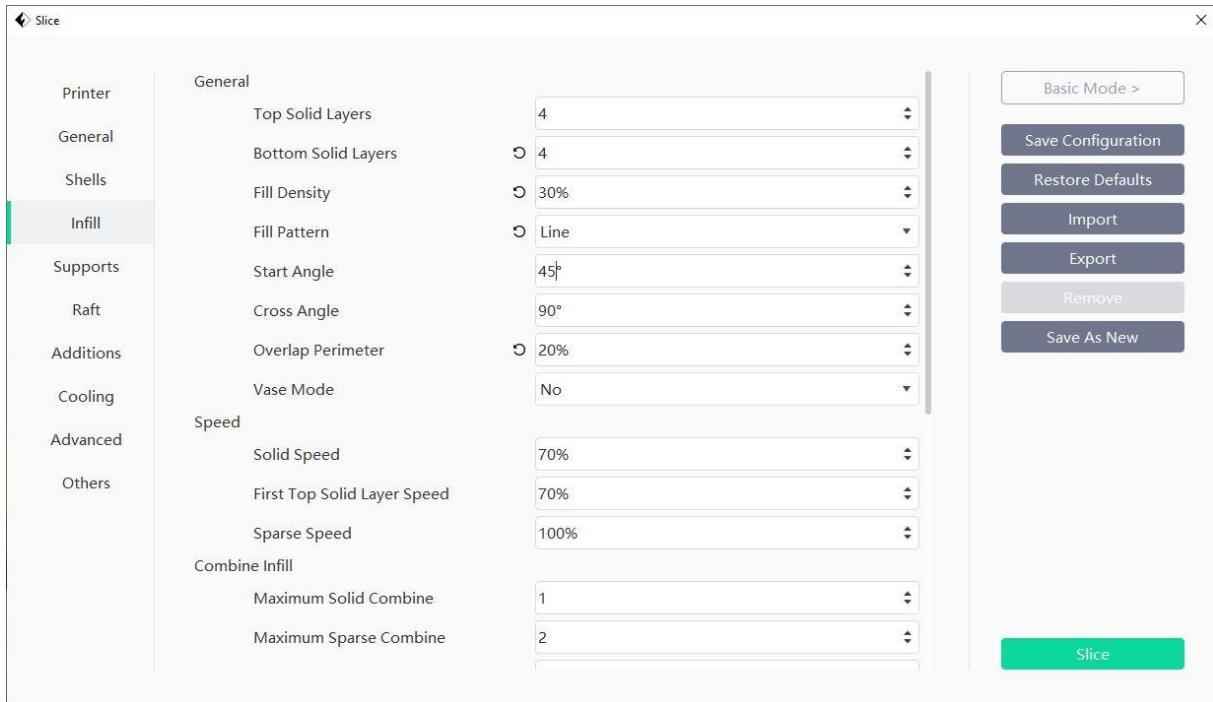
Slika 22: Nastavitve hitrosti tiskanja

Parametrov v oknu skorja »Shells« smo spremenili, da imajo zunanje stene 4 sloje nanosa.

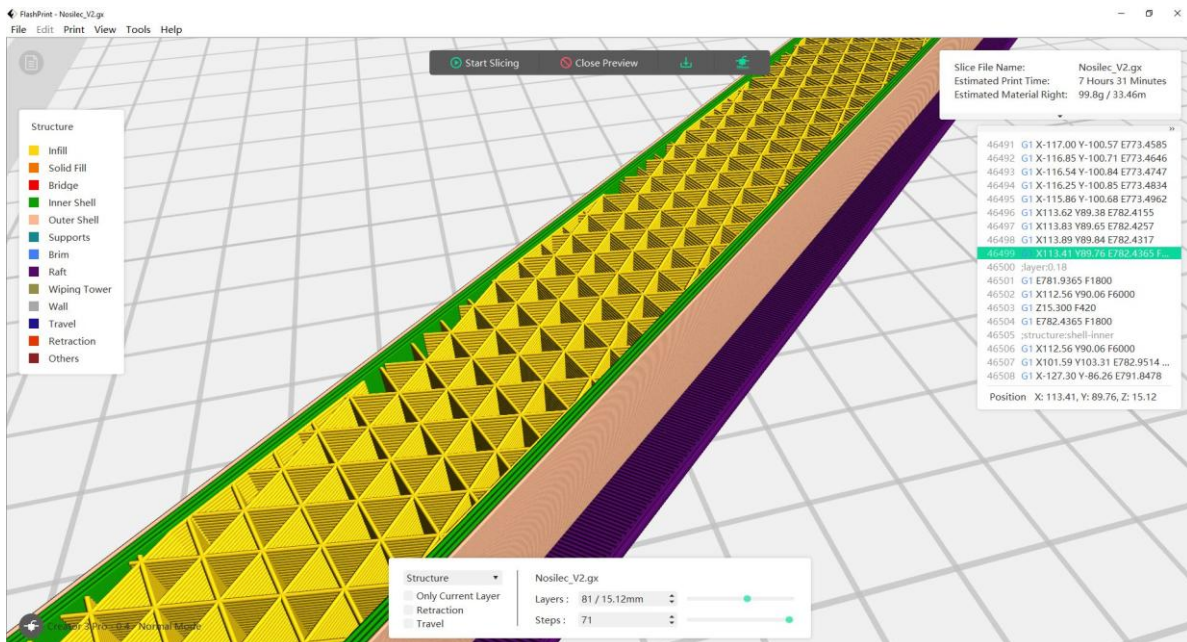


Slika 23: Nastavitve za zunanjo stranico preizkušanca

V oknu polnilo »Infill« smo izbrali najprej 30 potem 60 in 90 odstotno zapolnjenost nosilca s filamentom z ukazom procent zasedenosti »Fill density«. Kot vzorec zapolnitve »Fill Pattern«, smo izbrali trikotn, oktagonaln in 3D vzorec zapolnitve. Začetni kot zapolnitve »Start Angle« smo nastavili na 45°, kot med vsakimi naslednjimi sloji Cross Angel pa na 90°.

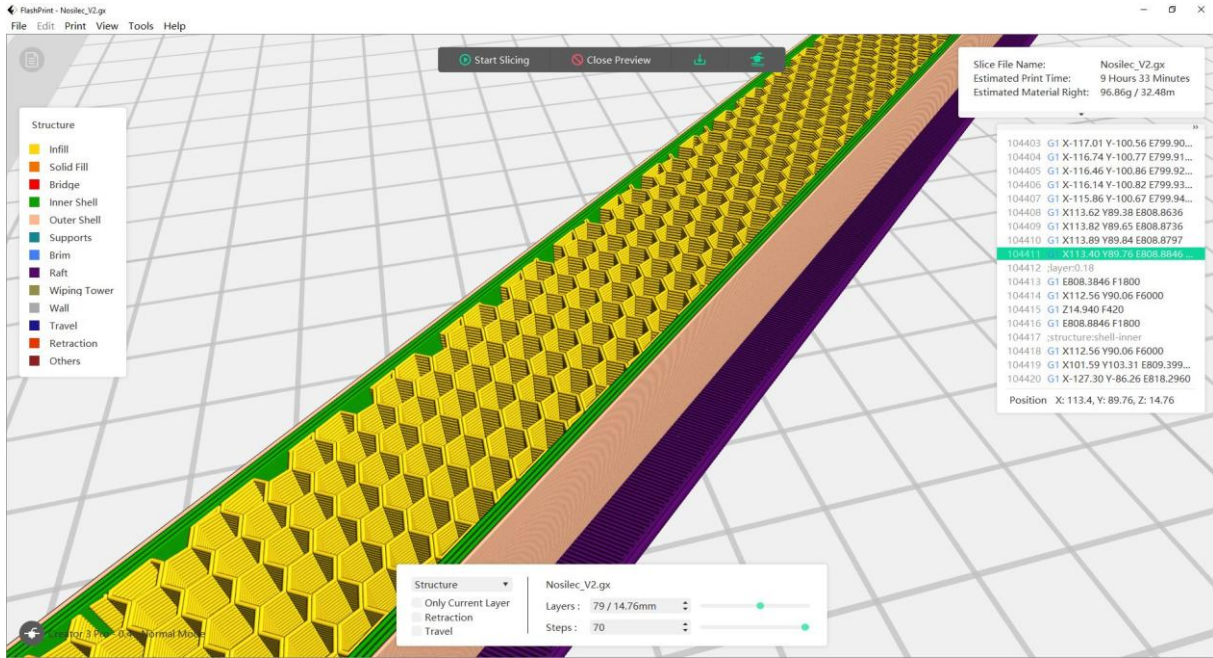


Slika 24: Zasedenost in pa začetni kot printanja

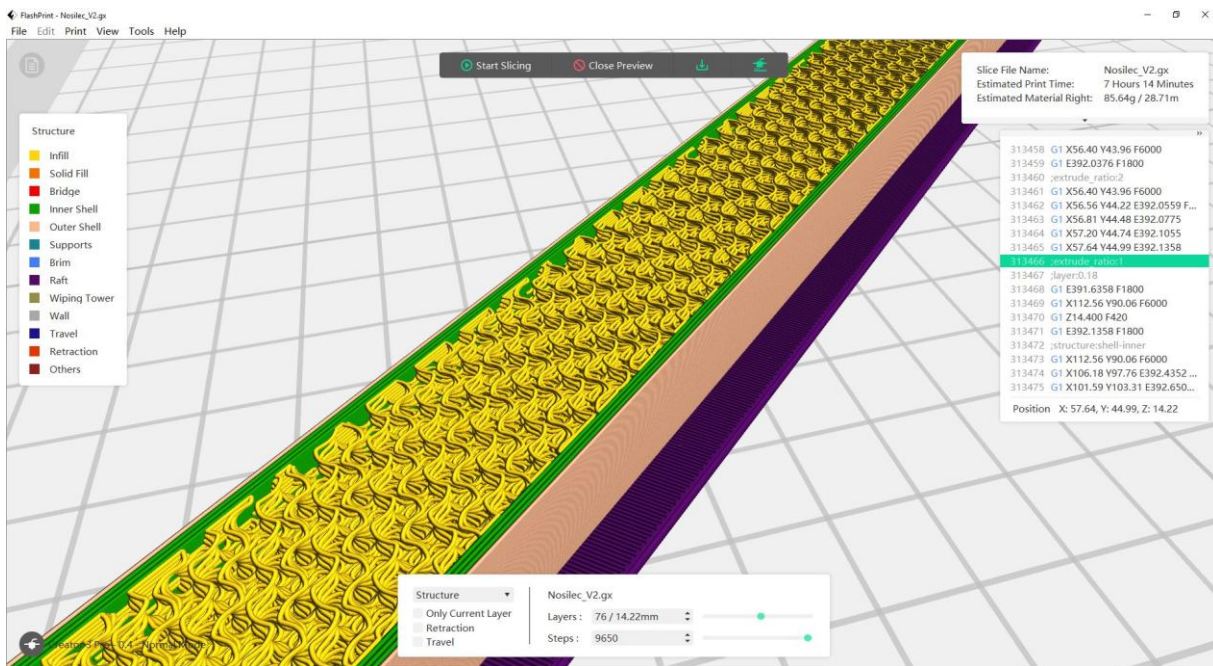


Slika 25: Prikaz uporabljenega vzorca tiskanja - trikotna mreža

## Raziskovalna naloga: 3D tiskanje - orodje za izdelavo nosilcev naslednje generacije



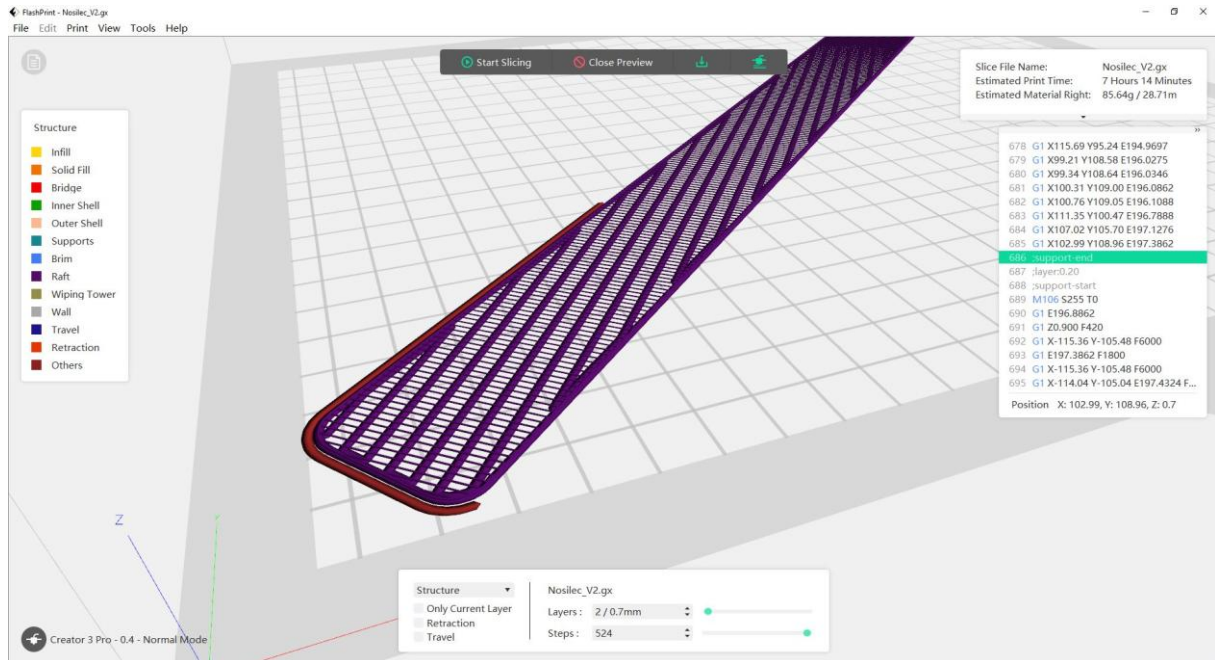
Slika 26: Prikaz uporabljenega vzorca tiskanja - oktokotna mreža



Slika 27: Prikaz uporabljenega vzorca tiskanja – 3D mreža

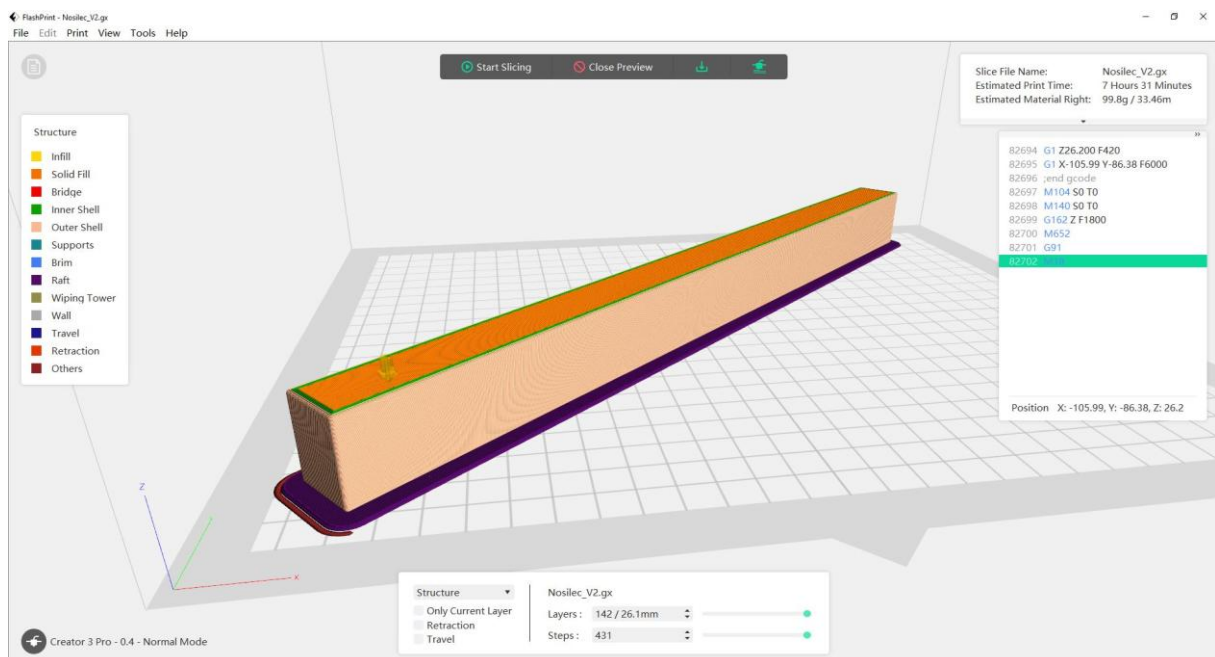
V oknu Raft smo v ukazu »Enable Raft« izbral »Yes«, saj se tako filament lepše prime na podlago in je manjša verjetnost, da se bo print odlepil.

## Raziskovalna naloga: 3D tiskanje - orodje za izdelavo nosilcev naslednje generacije



Slika 28: Nastavitve podloge za tiskanje nosilca

Na koncu smo kliknili na gumb Slice in program je izdelal datoteko formata .gx, ki smo jo z USB ključkom prenesel v 3D tiskalnik. V tej datoteki so bili zapisani vsi parametri, ki smo jih nastavili (temperatura, hitrost premikanja, oblika zapolnitve, količina zapolnitve, podloga,..itd), samo tako printer prebere model in pa nastavitve za tiskanje.



Slika 29: Nosilec pripravljena za prenos na 3D tiskalnik

### 5.3.2 Tiskanje

Postopek tiskanja se je začel s pripravo 3D-tiskalnika. Najprej smo vstavili filament, pri čemer smo najprej izbrali možnost odstranjevanja ter odstranili vrsto filameta, ki je bil že v ekstrudorju, če je bil ta prisoten. Nato smo izvedli ukaz za vstavljanje in izbrali zeleno vrsto filameta, s čimer smo začeli postopek nalaganja novega filameta. Po tem smo počakali, da se tiskalna glava ogreje na ustrezno temperaturo, nato pa smo filament previdno potisnili skozi cevko do glave in ga nato vstavili v ekstrudor. Med tem smo morali pritisniti gumb na tiskalni glavi, da smo zagotovili pravilno vstavljanje filameta, pri čemer je bilo včasih potrebno natančno poravnati filament.

Ko je bil filament pravilno vstavljen, smo očistili tiskalno površino, da bi zagotovili dobro oprijemljivost prve plasti tiska. Nato smo s pomočjo USB ključka naložili ustrezno datoteko z modelom, ki smo ga želeli natisniti. Tiskalnik je najprej potreboval nekaj minut, da je segrel ekstrudor (215°C), komoro (hlajenje - ventilatorji) in tiskalno površino (55°C) na ustrezno temperaturo, kar je bilo ključno za začetek uspešnega tiskanja.

V večini primerov je tiskanje potekalo brez težav, saj smo skrbno spremljali vsak korak in zagotovili, da so bile vse nastavitve pravilne. Kljub temu smo imeli nekaj težav pri uporabi filameta PLA z dodatkom lesenih vlaken. Ta vrsta filameta je namreč nekoliko zahtevnejša za tiskanje, saj lahko povzroči blokade v ekstrudorju ali nepravilnosti pri nanašanju plasti, kar zahteva dodatno prilagoditev parametrov tiskanja, kot so temperatura in hitrost ekstrudiranja.

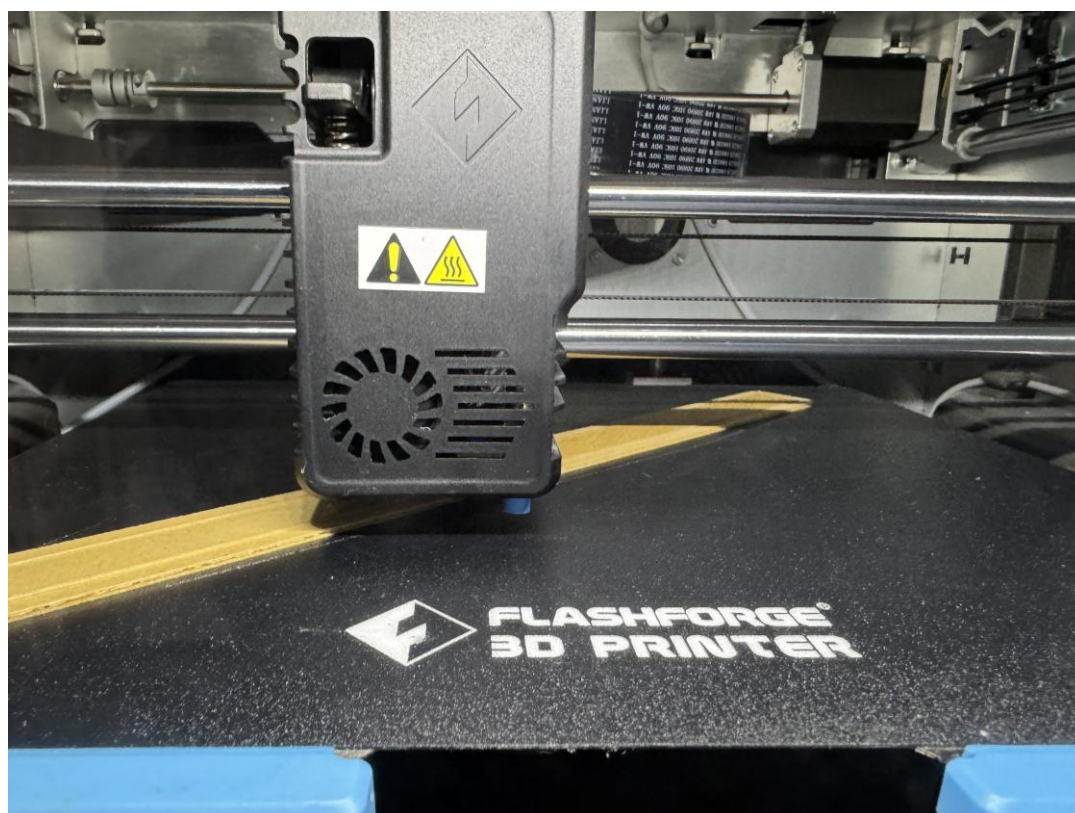
Celoten postopek tiskanja smo redno spremljali in v primeru težav takoj ukrepali, da smo zagotovili uspešen rezultat.

Na koncu tiskanja smo natisnjene nosilce odstranili iz tiskalne površine in jih označili. Odstranili smo vse ostanke na tiskalni mizi in jo dobro očistili, postopek smo ponavljali tako dolgo da smo natisnili vse željene modele nosilcev.

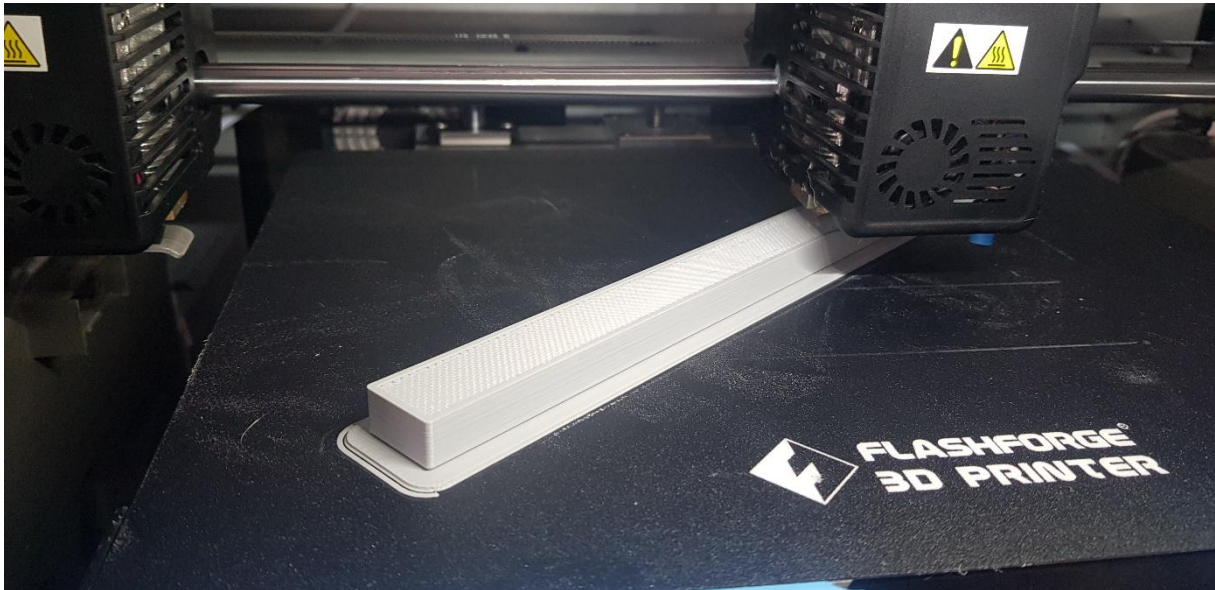
Natisnili smo sledeče nosilce:

Tabela 1: Oznake natisnjenih vzorcev

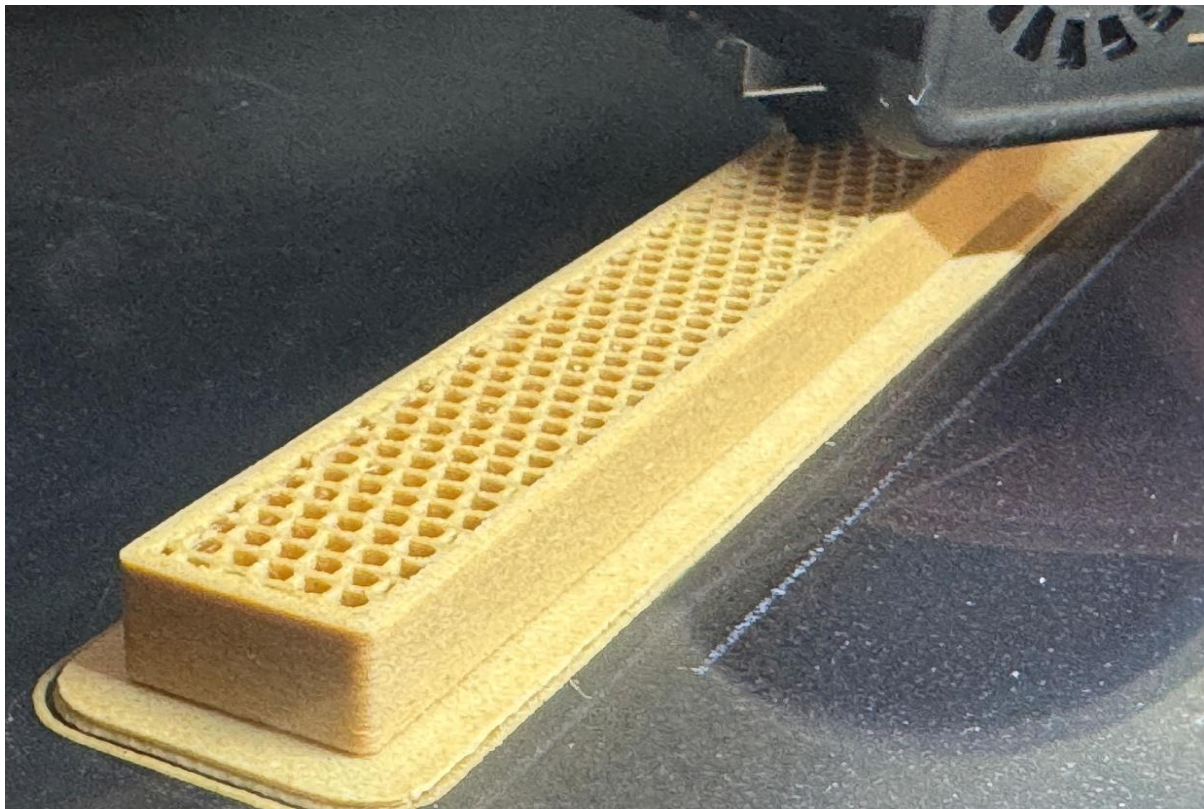
Oznaka	Material	Zapolnitev [%]	Vzorec zapolnitve
V1	PLA	30	Trikoti vzorec
V2	PLA	60	Trikoti vzorec
V3	PLA	90	Trikoti vzorec
V4	PLA	30	Oktakotni vzorec
V5	PLA	60	Oktakotni vzorec
V6	PLA	90	Oktakotni vzorec
V7	PLA	30	3D vzorec
V8	PLA	60	3D vzorec
V9	PLA	90	3D vzorec
V10	PLA les	30	Oktakotni vzorec
V11	PLA les	60	Oktakotni vzorec
V12	PLA les	90	Oktakotni vzorec



Slika 30: Prikaz tiskanja nosilcev



Slika 31: Prikaz tiskanja nosilcev – PLA plastika



Slika 32: Prikaz tiskanja nosilcev – PLA les

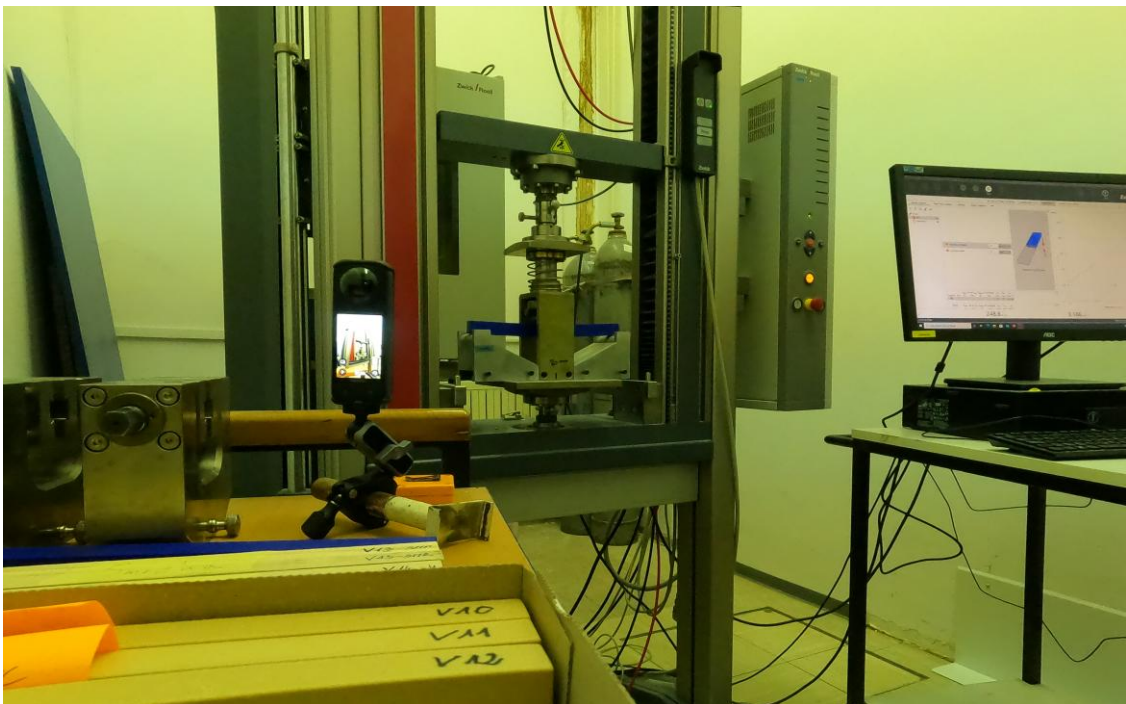
#### **5.4 Opis testiranja v laboratoriju**

Testiranje preizkušancev smo opravili na Fakulteti za gradbeništvo, prometno inženirstvo in arhitekturo Univerze v Mariboru, na katedri za materiale. Nosilce smo predhodno očistili in jih

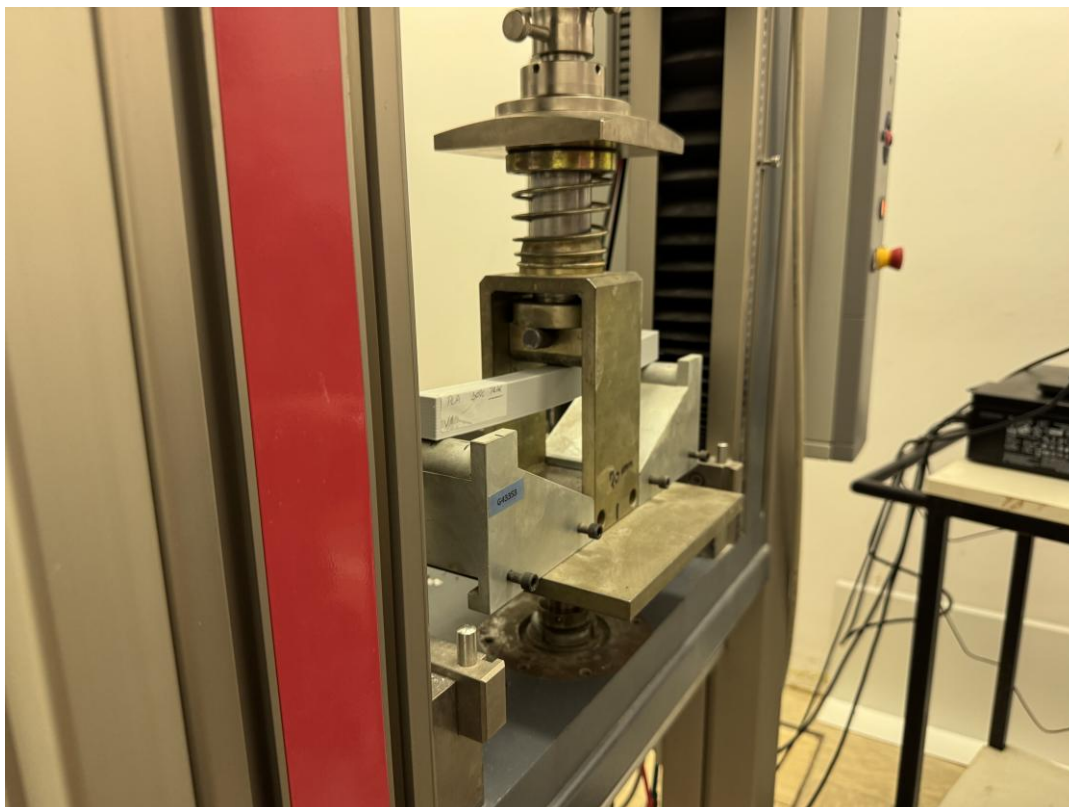
nato stehali in jih dobro označili. Nosilce smo porušil s točkovno silo v tritočkovnem upogibnem preizkusu v napravi Zwick Roell Z010. Za lažjo poravnavo smo jih označil s tremi točkami, z dvema na vsaki in eno na sredini. Te oznake so nam pomagale za bolj natančno poravnavo nosilcev v napravi. Upogibna naprava ima na podporah tudi merilo, ki je omogočilo, da je nosilec na sredini podpor in da je pravokoten nanje. Kar je lepo vidno tudi na naslednjih slikah.



Slika 33: Priprava preizkušancev pred testiranjem



Slika 34: Potek celotnega preizkušanja smo snemali s kamero



Slika 35: Prikaz testiranja PLA preizkušancev



Slika 36: Prikaz preizkušancev po testiranju (porušeni)

## 6. REZULTATI

V naslednji tabeli so prikazani vsi rezultati testiranja in merjenja nosilcev. Vsi nosilci so bili enakih dimenzij 21x25x300mm. Vse nosilce smo predhodno stehali na precizni tehni. Po poružitvi smo zabeležili maksimalno obtežbo, ki jo je prenesel testirani nosilec.

Tabela 2: Dobljeni rezultati

<i>Oznaka</i>	<i>Material</i>	<i>Zapolnitev [%]</i>	<i>Vzorec zapolnitve</i>	<i>Masa [g]</i>	<i>Maksimalna obtežba [N]</i>	<i>Upogib [mm]</i>
<b>V1</b>	PLA	30	Trikoti vzorec	53	879,196	12,108
<b>V2</b>	PLA	60	Trikoti vzorec	133	1330,453	11,432
<b>V3</b>	PLA	90	Trikoti vzorec	177	1733,018	9,941
<b>V4</b>	PLA	30	Oktakotni vzorec	59	550,148	8,889
<b>V5</b>	PLA	60	Oktakotni vzorec	131	1251,945	14,541
<b>V6</b>	PLA	90	Oktakotni vzorec	170	1887,995	14,832
<b>V7</b>	PLA	30	3D vzorec	70	539,944	8,943
<b>V8</b>	PLA	60	3D vzorec	105	779,678	12,866
<b>V9</b>	PLA	90	3D vzorec	143	1289,077	20,253
<b>V10</b>	PLA les – bor	30	Oktakotni vzorec	82	259,078	6,573
<b>V11</b>	PLA les – bor	60	Oktakotni vzorec	121	322,226	6,928
<b>V12</b>	PLA les - bor	90	Oktakotni vzorec	155	507,192	7,004
<b>V13</b>	Les - smreka	/	/	73	2468,036	13,424
<b>V14</b>	Les - javor	/	/	97	2923,106	13,061
<b>V15</b>	Les - macesen	/	/	109	3487,237	14,670
<b>V16</b>	Les - hrast	/	/	110	2199,099	8,614

## 7. ANALIZA REZULTAOV

Na podlagi pridobljenih podatkov s pomočjo izračunov, meritev ali testiranj smo tako izračunali gostoto in trdnost. Za izračun gostoto  $\rho$  smo maso  $m$  delil s prostornino  $V$  nosilca. Za lažje računanje smo uporabili MS Excel. Za izračun največjega momenta smo s pomočjo točkovne sile na prosto ležečem nosilcu, uporabili smo enačbo  $M = \frac{Fl}{4}$ , kjer je  $F$  točkovna sila, s katero smo obtežili nosilce,  $l$  pa predstavlja razdaljo med podporami. Nato smo izračunali še nosilnost z enačbo  $f_b = \frac{M \cdot h}{2 \cdot I}$ , kjer je  $M$  največji moment,  $h$  višina nosilca in  $I$  vztrajnostni moment testnega nosilca, ki ga izračunamo po enačbi  $I = \frac{b \cdot h^3}{12}$ , kjer  $b$  predstavlja širino nosilca. Dimenziji  $h$  in  $b$  nosilca sta pri vseh nosilcih enaka in znašata  $h=25 \text{ mm}$  in  $b=21 \text{ mm}$ .

Izračunana upogibna trdnost preizkušancev se nanaša na merjenje odpornosti materiala proti upogibanju ali deformaciji, ko nanj deluje upogibna obremenitev. To je ključni parameter pri preučevanju mehanskih lastnosti materialov in se pogosto uporablja pri testiranju trdnosti.

Upogibna trdnost (tudi modul upogibne trdnosti ali »bending strength«) je vrednost, ki opisuje največjo napetost, ki jo material prenese pred prekinitvijo ali trajno deformacijo, ko je izpostavljen upogibnemu obremenjevanju. Prav tako so iz dobljenih rezultatov preizkušanja lahko izračunali upogibno trdnost nosilcev. Izračun smo naredili po naslednji enačbi:

$$\sigma_b = \frac{3 * F * L}{2 * b * h^2}$$

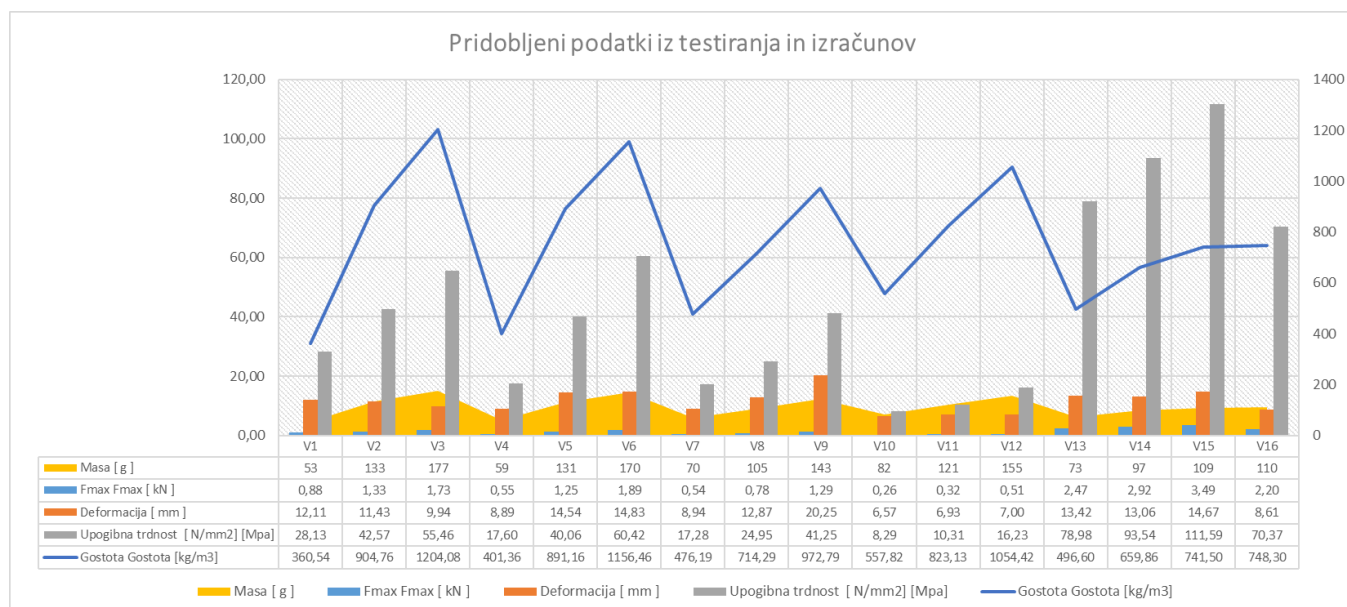
Kjer je:

- $\sigma_b$  - upogibna trdnost (v MPa)
- $F$  - največja sila, ki je bila uporabljena pri preizkusu (v N)
- $L$  - razdalja med podpornima točkama (v mm)
- $b$  - širina vzorca (v mm)
- $h$  - debelina vzorca (v mm)

V nadaljevanju so zbrani vi podatki iz testiranja in računske analize.

Tabela 3: Tabela izračunov

Oznaka	Masa [kg]	Gostota $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Mak sila [N]	Upogib [mm]	Upogibna trdnost [N/mm <sup>2</sup> - Mpa]
V1	53	360,54	879,20	12,11	28,13
V2	133	904,76	1330,45	11,43	42,57
V3	177	1204,08	1733,02	9,94	55,46
V4	59	401,36	550,15	8,89	17,60
V5	131	891,16	1251,94	14,54	40,06
V6	170	1156,46	1887,99	14,83	60,42
V7	70	476,19	539,94	8,94	17,28
V8	105	714,29	779,68	12,87	24,95
V9	143	972,79	1289,08	20,25	41,25
V10	82	557,82	259,08	6,57	8,29
V11	121	823,13	322,23	6,93	10,31
V12	155	1054,42	507,19	7,00	16,23
V13	73	496,60	2468,04	13,42	78,98
V14	97	659,86	2923,11	13,06	93,54
V15	109	741,50	3487,24	14,67	111,59
V16	110	748,30	2199,10	8,61	70,37

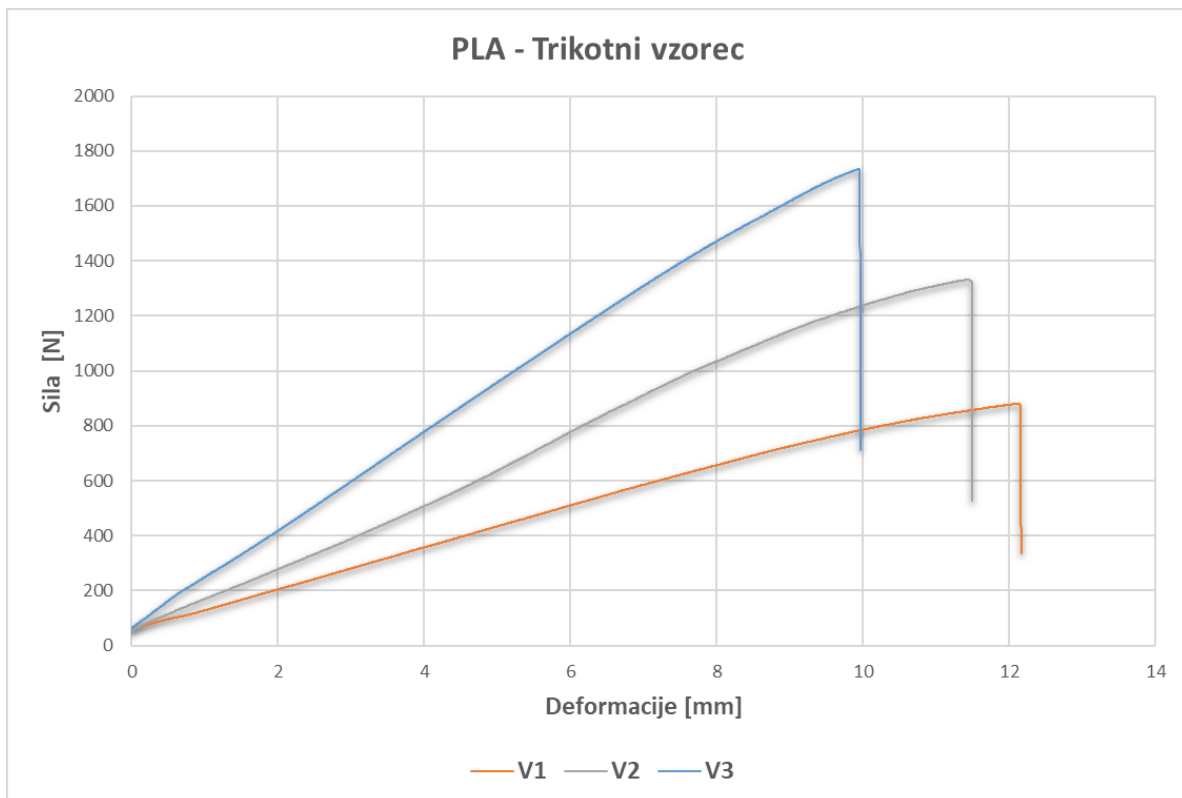


Graf 1: Prikaz izmerjenih in izračunanih vrednosti preizkušancev

## 7.1 Prikaz rezultatov - trdnosti

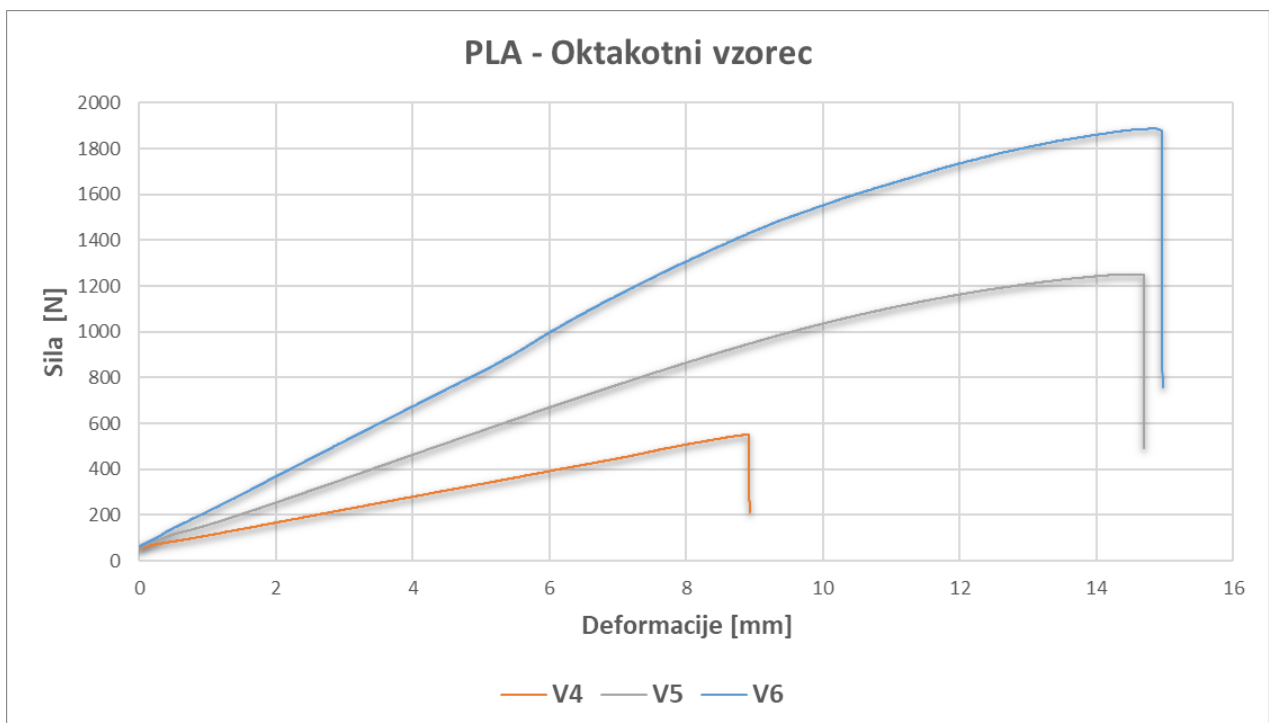
V nadaljevanju so prikazani rezultati analize nosilcev.

Spodnji graf prikazuje rezultate mehanskega preizkusa nosilca, izdelanega iz materiala PLA s trikotnim vzorcem polnila. V začetni fazi preizkusa vse tri krivulje kažejo linearno naraščanje sile z deformacijo, kar nakazuje elastično obnašanje materiala. S povečevanjem deformacije vsaka od preizkušancev doseže maksimalno silo, pri čemer preizkušanec V3 doseže najvišjo maksimalno silo, 11733,02 N, pri povesu 9,94 mm. Preizkušanec V2 doseže 1330,45 N pri deformaciji okoli 11,43 mm, medtem ko preizkušanec V1 doseže najnižjo maksimalno silo, 879,20 N, pri deformaciji okoli 12,11 mm. Rezultati kažejo, da ima preizkušanec V3 najboljšo nosilnost, medtem ko je preizkušanec V1 najmanj odporen. Po dosegu maksimalne sile pri vseh treh verzijah sledi nenaden padec sile, kar pomeni, da je prišlo do loma in s tem porušitve preizkušanca. Padec sile je najbolj izrazit pri preizkušancu V3, kar nakazuje, da je material hitro izgubil nosilnost po prelomu. Preizkušanec V1 omogoča večje deformacije pred lomom, kar kaže na večjo duktilnost, medtem ko sta preizkušanca V2 in V3 trša, a bolj krhki. To pomeni, da se preizkušanec V1 lahko bolj raztegne, preden pride do loma, medtem ko V3 prenese večjo silo, vendar se prej zlomi.



Graf 2: Prikaz trdnosti na testiranih nosilcih – PLA trikotni vzorec zasedenosti

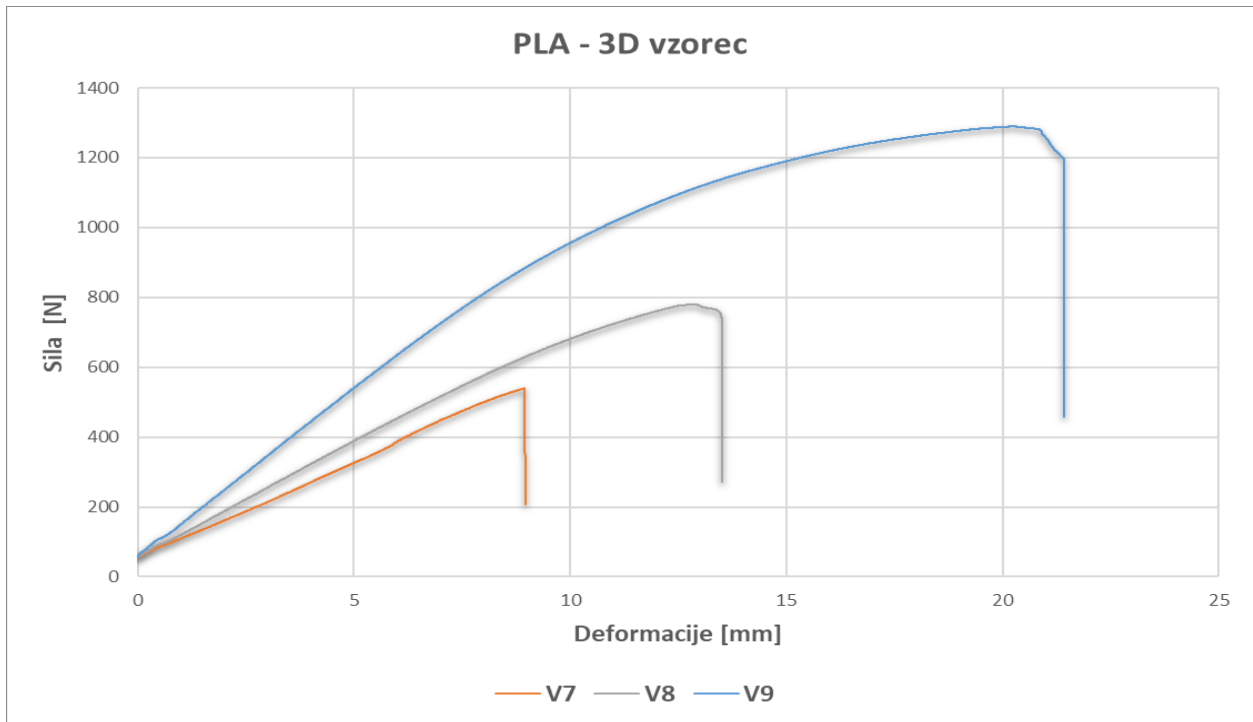
Spodnji graf prikazuje rezultate mehanskega preizkusa nosilca, izdelanega iz materiala PLA s oštakotnim vzorcem polnila. V začetni fazi preizkusa vse tri krivulje kažejo linearno naraščanje sile z deformacijo, kar nakazuje elastično obnašanje materiala. S povečevanjem deformacije vsaka od preizkušancev doseže maksimalno silo, pri čemer preizkušanec V6 doseže najvišjo maksimalno silo, 1887,99N, pri povesu 14,83 mm. Preizkušanec V5 doseže 1251,94 N pri deformaciji okoli 14,54 mm, medtem ko preizkušanec V4 doseže najnižjo maksimalno silo, 550,15 N, pri deformaciji okoli 8,89 mm. Rezultati kažejo, da ima preizkušanec V6 najboljšo nosilnost ter duktilnost. Ravno nasprotno kot pri trikotni zapolnitvi. Kar pa vidimo pri preizkušancu V4 prenese najnižjo nosilnost in najmanjšo duktilnost. To pomeni, da se preizkušanec V6 lahko bolj raztegne in prenese največjo večjo silo.



Graf 3: Prikaz trdnosti na testiranih nosilcih – PLA oštakotni vzorec zasedenosti

Prikazani graf prikazuje rezultate mehanskega preizkusa nosilcev, izdelanih iz materiala PLA s 3D vzorcem polnila. Na spodnjem grafu so prikazane tri različne krivulje, ki ustrezajo preizkušancem V7, V8 in V9. Iz rezultatov je razvidno, da ima vzorec V9 najvišjo nosilnost, saj je dosegel najvišjo maksimalno silo 1289,08 N, pri čemer se je deformiral do približno 20,25 mm, preden je prišlo do porušitve. Vzorec V8 je dosegel nižjo maksimalno silo, približno 779,68 N, z deformacijo 12,87 mm, medtem ko je vzorec V7 pokazal najnižje vrednosti nosilnosti, saj je prenesel le 539,94N in se deformiral 8,94 mm, preden se je zlomi. Ugotovitve kažejo, da je vzorec V9 najbolj odporen na upogibne obremenitve, kar pomeni, da ima najboljšo

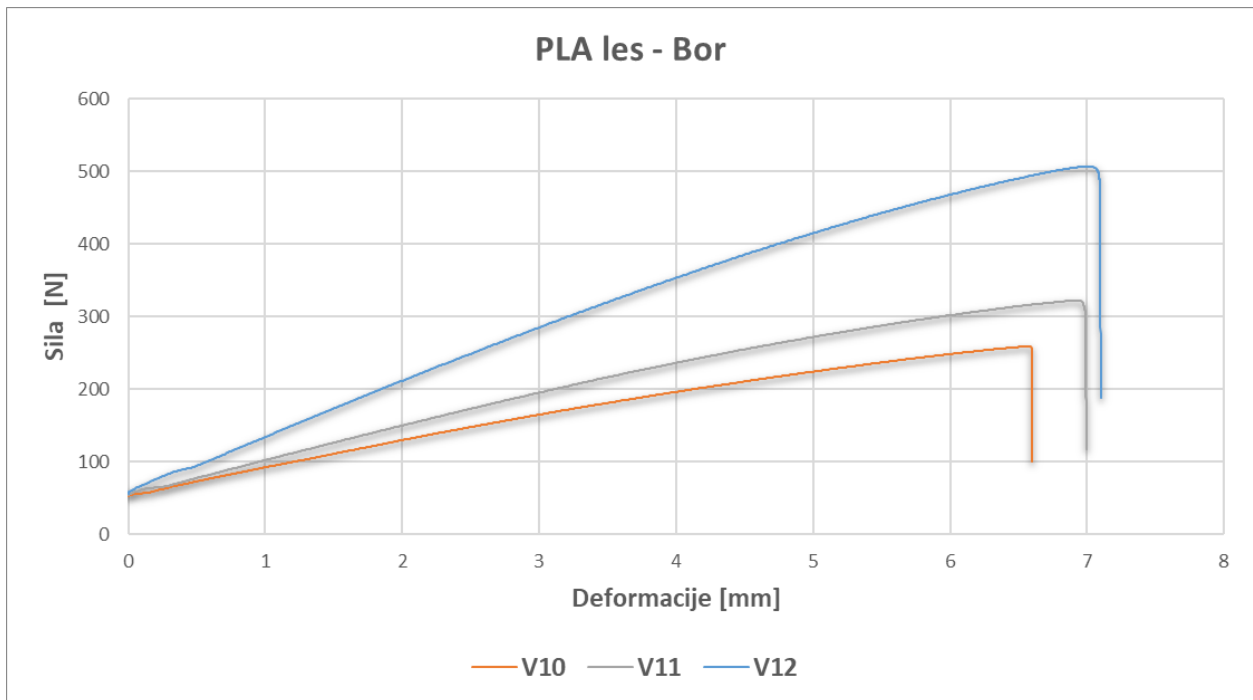
kombinacijo nosilnosti in duktilnosti. Vzorec V8 je pokazal srednje mehanske lastnosti, vendar še vedno znatno boljše kot vzorec V7, ki je imel najnižjo nosilnost in najmanjšo deformacijo pred porušitvijo. To nakazuje, da različni vzorci polnila v PLA materialu močno vplivajo na mehanske lastnosti nosilcev, pri čemer boljša geometrijska struktura polnila povečuje odpornost proti upogibu in nosilnost samega elementa.



Graf 4: Prikaz trdnosti na testiranih nosilcih – PLA 3D vzorec zasedenosti

Na spodnjem grafu so prikazani rezultati mehanskega preizkusa nosilcev, izdelanih iz materiala PLA mešanega z lesom, s oktakotnim polnilom. Trije preizkušanci, V10, V11 in V12, so pokazali različne mehanske lastnosti, pri čemer je vzorec V12 dosegel najvišjo nosilnost, saj je prenesel 507,19 N sile in se deformiral za 7 mm, preden je prišlo do porušitve. Vzorec V11 je pokazal srednje mehanske lastnosti, saj je dosegel približno 322,23 N in deformacijo do okoli 6,93 mm, medtem ko je vzorec V10 imel najnižjo nosilnost, saj je prenesel samo 259,08 N in se deformiral za 6,67 mm, preden je prišlo do porušitve. Rezultati kažejo, da je nosilec V12 najbolj odporen na upogibne obremenitve, kar nakazuje na boljšo strukturo polnila ali enakomernejšo porazdelitev materiala znotraj vzorca. Vzorec V11 se je prav tako izkazal kot razmeroma trden, vendar je njegova nosilnost občutno nižja od V12. Vzorec V10 je pokazal najnižje vrednosti, kar pomeni, da ima najslabše mehanske lastnosti v primerjavi z ostalima dvema. Iz teh ugotovitev je razvidno, da vpliv geometrije polnila in sestave materiala pomembno vpliva na končne mehanske lastnosti nosilcev, kjer izbira material za printanje vse

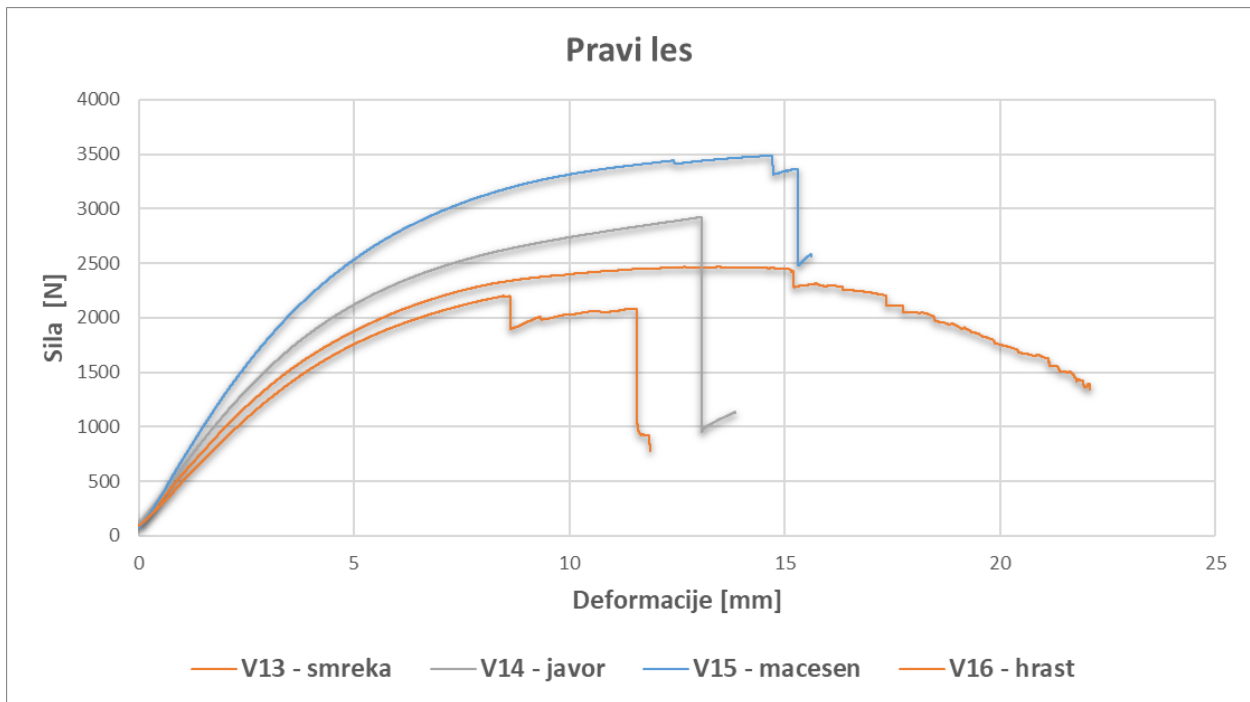
kakor izboljšša nosilnost in odpornost na deformacije, v našem primeru nikakor nismo bili zadovoljni z dobljenimi rezultati preizkušancev PLP mešanega z lesom.



Graf 5: Prikaz trdnosti na testiranih nosilcih – PLA les – oktakotni vzorec zasedenosti

Spodnji graf prikazuje rezultate mehanskega preizkusa nosilcev, izdelanih iz različnih vrst pravega lesa, pri čemer so bile preizkušena smreka (V13), javor (V14), macesen (V15) in hrast (V16). Iz spodnjega grafa je razvidno, da ima macesen (V15) najvišjo nosilnost, saj doseže najvišjo silo, približno 3487,24 N, in največjo deformacijo pred poružitvijo, ki je 14,67 mm. Javor (V14) ima nekoliko nižjo nosilnost, saj doseže približno 2923,11 N, vendar se poruši pri manjši deformaciji v primerjavi z macesnom. Hrast (V16) ima specifično obnašanje, saj doseže približno 2468,04 N sile in ima daljšo fazo plastične deformacije, kjer se postopoma znižuje nosilnost po doseženem vrhu, kar pomeni, da se material postopno lomi, namesto da bi prišlo do nenadne poružitve. Smreka (V13) ima najnižjo nosilnost med vsemi preizkušenimi vzorci, saj doseže približno 2468,04 N, vendar se deformira dlje časa, preden pride do končne odpovedi. Rezultati kažejo, da ima macesen najboljše mehanske lastnosti med preizkušenimi vrstami lesa, saj prenese največjo silo in omogoča največjo deformacijo pred poružitvijo. Javor ima dobro nosilnost, vendar manjšo plastičnost, kar pomeni, da se zlomi hitreje kot macesen. Hrast izkazuje visoko trdnost, vendar ima značilno postopno odpoved, kar pomeni, da izgublja nosilnost bolj postopno. Smreka, kot mehkejši les, ima najnižjo nosilnost, vendar se deformira

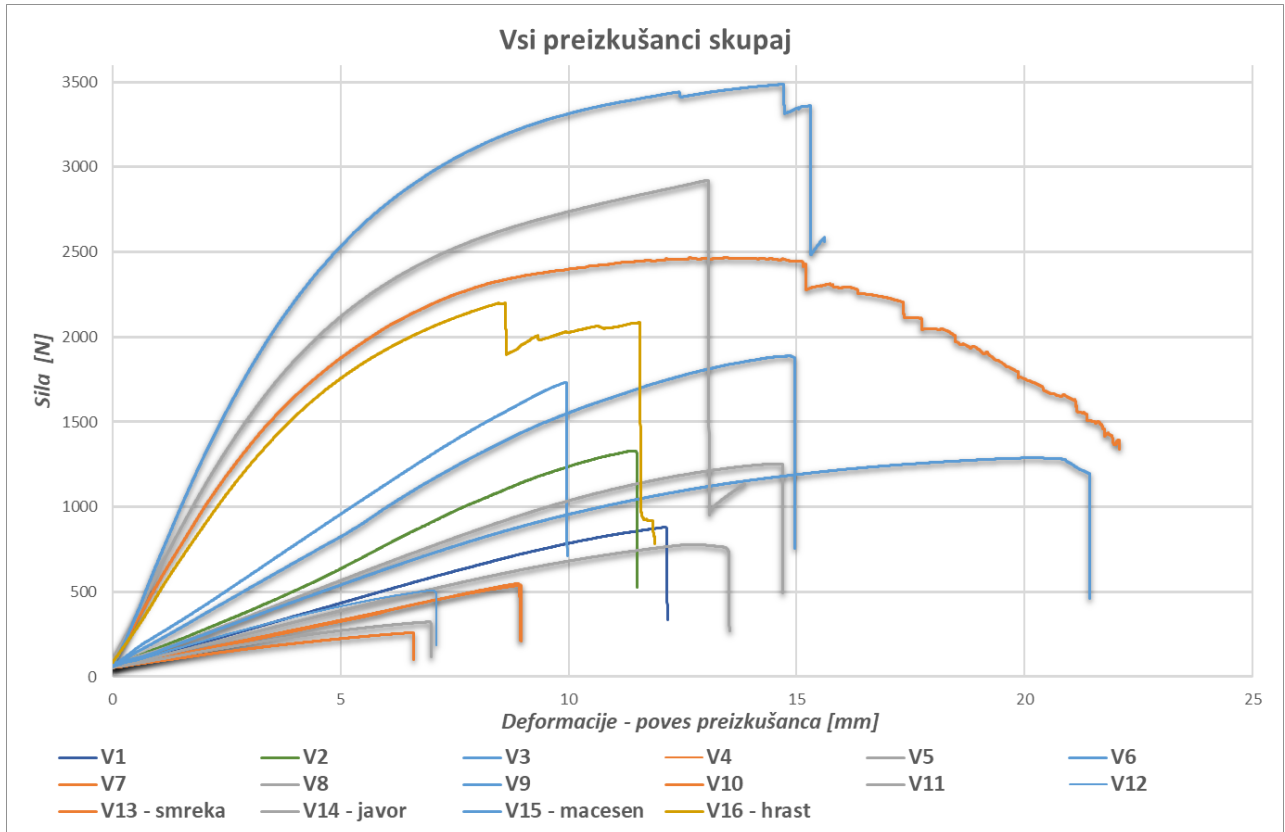
bolj elastično, preden pride do odpovedi. Ti rezultati kažejo, da je izbira vrste lesa ključnega pomena pri načrtovanju konstrukcij, kjer je pomembna kombinacija trdnosti in duktilnosti materiala.



Graf 6: Prikaz trdnosti na testiranih nosilcih – pravi les

Spodnji graf prikazuje odvisnost med silo in deformacijo za različne testirane preizkušance. Iz rezultatov je razvidno, da imajo posamezni materiali različne mehanske lastnosti, kar se kaže v njihovih nosilnostih in deformacijskih sposobnostih. Največjo nosilnost je dosegel preizkušanelec V15, ki je prenesel 3487,24 N, kar kaže na visoko trdnost naravnega materiala, to je bil les macesna. Najboljši približek lesu je preizkušanelec V6, ki je bil iz materiala PLA in je imel 90% zasedenost materiala in oktakotni vzorec zapolnitve.

Razlike v deformacijskih krivuljah kažejo, da so nekateri materiali bolj elastični in se lahko bolj upognejo pred porušitvijo, medtem ko so drugi togi in se hitro zlomijo. Največje deformacije so bile dosežene pri vzorcih z večjo elastičnostjo, torej pri preizkušancih iz PLA materiala, medtem ko so trši materiali kljub večji nosilnosti dosegli manjše pomike. Ugotovitve potrjujejo, da izbira materiala močno vpliva na nosilnost in odpornost konstrukcijskih elementov, pri čemer je pomembno upoštevati tako največjo nosilnost kot tudi obnašanje materiala ob obremenitvi.

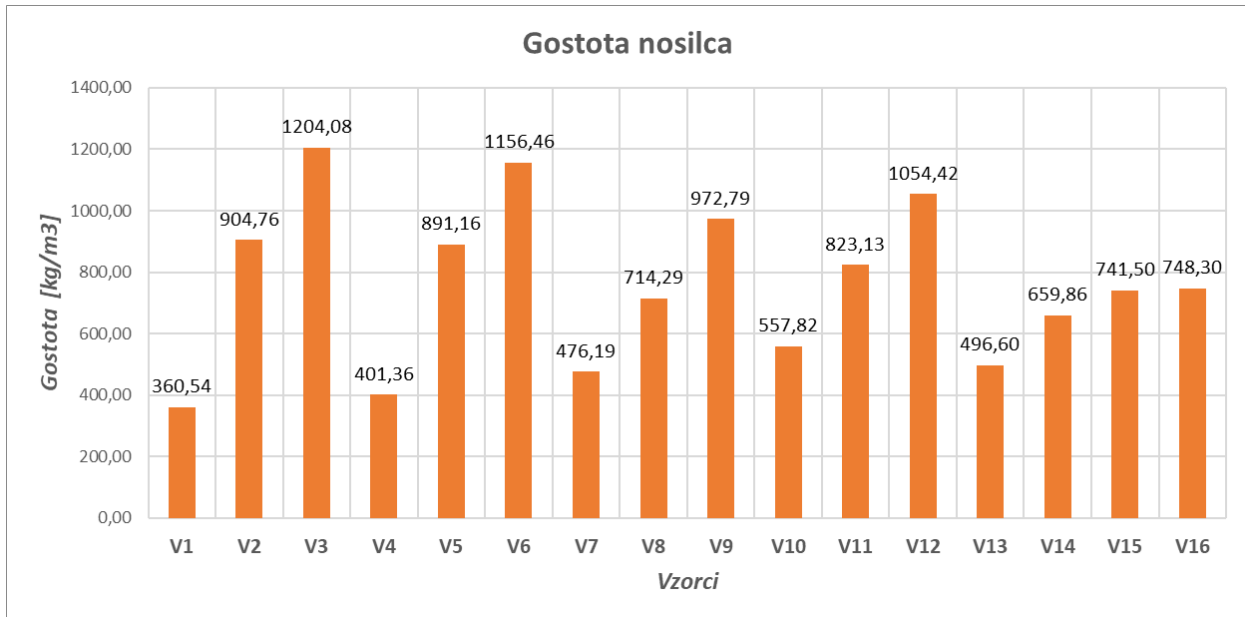


Graf 7: Prikaz trdnosti na testiranih nosilcih – vsi skupaj

## 7.2 Prikaz rezultatov – izračuna gostota

Rezultati analize prikaza izračunane gostote preizkušancev kažejo na precejšnje razlike med posameznimi preizkušanci. Najvišjo gostoto ima preizkušanec V3, ki dosega vrednost  $1204,08 \text{ kg/m}^3$ , sledi mu V6 z gostoto  $1156,46 \text{ kg/m}^3$  in V12 z  $1054,42 \text{ kg/m}^3$ . Gostota materiala močno vpliva na trdnost in upogib nosilca. Preizkušanci z višjo gostoto običajno dosegajo boljše mehanske lastnosti, saj višja gostota pomeni večjo masno koncentracijo materiala in posledično boljše nosilnost ter odpornost proti upogibu. **To je razvidno pri preizkušancih V3, V6 in V12, ki imajo najvišjo gostoto, kar se pogosto odraža tudi v njihovi večji trdnosti.** Po drugi strani preizkušanci z nižjo gostoto, kot so V1, V4 in V7, verjetno kažejo slabše rezultate pri prenosu obremenitev, saj imajo manj materiala na enoto prostornine, kar pomeni večjo dovzetnost za deformacije in nižjo upogibno trdnost. Poleg tega lahko vpliv gostote na upogib nosilca interpretiramo tudi v smislu porazdelitve materiala znotraj strukture preizkušanca. Čeprav večja gostota običajno pomeni večjo trdnost, lahko neenakomerna razporeditev materiala ali notranje pomanjkljivosti vplivajo na odpornost proti upogibu. Zato je pri analizi trdnosti in odpornosti

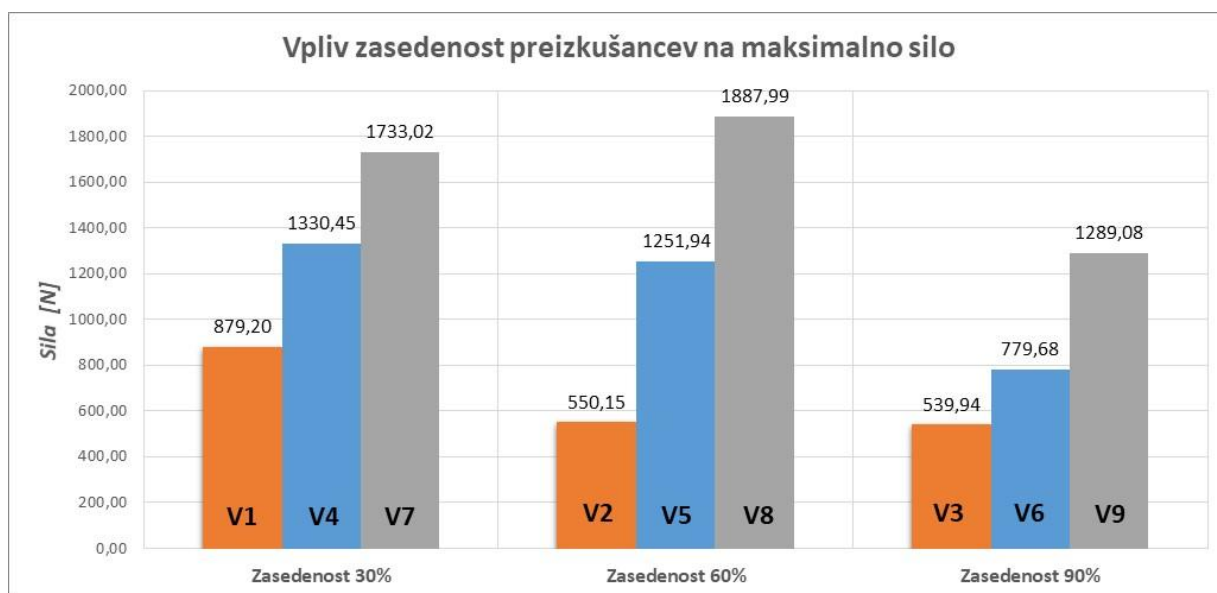
proti upogibu treba upoštevati ne samo gostoto, temveč tudi druge konstrukcijske značilnosti preizkušancev.



Graf 8: Prikaz izračunane gostote preizkušancev

### 7.3 Prikaz rezultatov – vpliv zapolnitve preizkušancev na trdnost

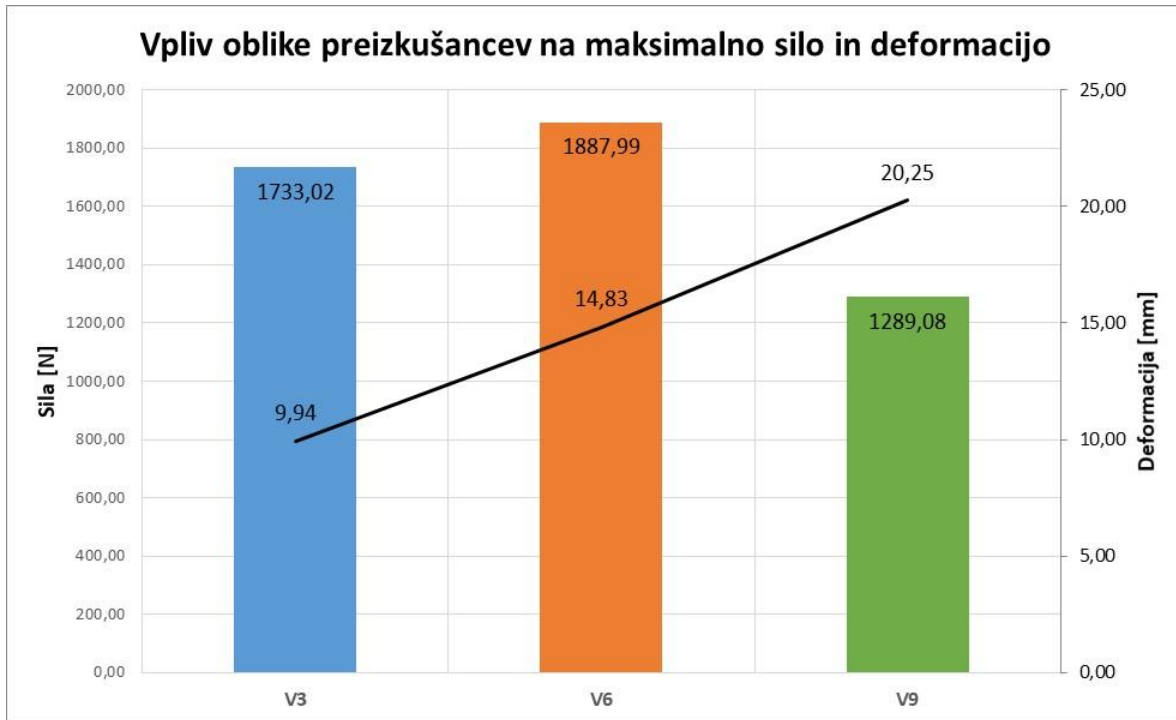
Rezultati analize vpliva zasedenosti preizkušancev na maksimalno silo kažejo, da se nosilnost preizkušancev povečuje z večjo zasedenostjo, vendar ne enakomerno za vse preizkušance. Pri zasedenosti 30 % preizkušanec V1 doseže maksimalno silo 879,20 N, V4 prenese 1330,45 N, medtem ko ima preizkušanec V7 najvišjo nosilnost s 1733,02 N. Pri zasedenosti 60 % se nosilnost poveča, vendar je razlika med preizkušanci še vedno izrazita. Preizkušanec V2 doseže le 550,15 N, medtem ko V5 prenese bistveno večjo silo, in sicer 1251,94 N. Preizkušanec V8 ima najvišjo nosilnost pri tej stopnji zasedenosti in doseže 1887,99 N. Pri najvišji zasedenosti 90 % se vrednosti nekoliko zmanjšajo. Preizkušanec V3 prenese 539,94 N, V6 ima nekoliko višjo nosilnost s 779,68 N, medtem ko preizkušanec V9 doseže največjo vrednost pri tej stopnji zasedenosti s 1289,08 N. Iz analize podatkov je razvidno, da preizkušanci z večjo zasedenostjo v večini primerov prenašajo večje sile, vendar to ne velja enako za vse preizkušance. **Pri zasedenosti 60 % dosežejo preizkušanci največje vrednosti, kar kaže na optimalno razmerje med trdnostjo in strukturnimi lastnostmi materiala.** Pri zasedenosti 90 % pa nosilnost pri nekaterih preizkušancih pade, kar nakazuje, da previsoka zasedenost lahko zmanjša strukturno trdnost in odpornost proti obremenitvam.



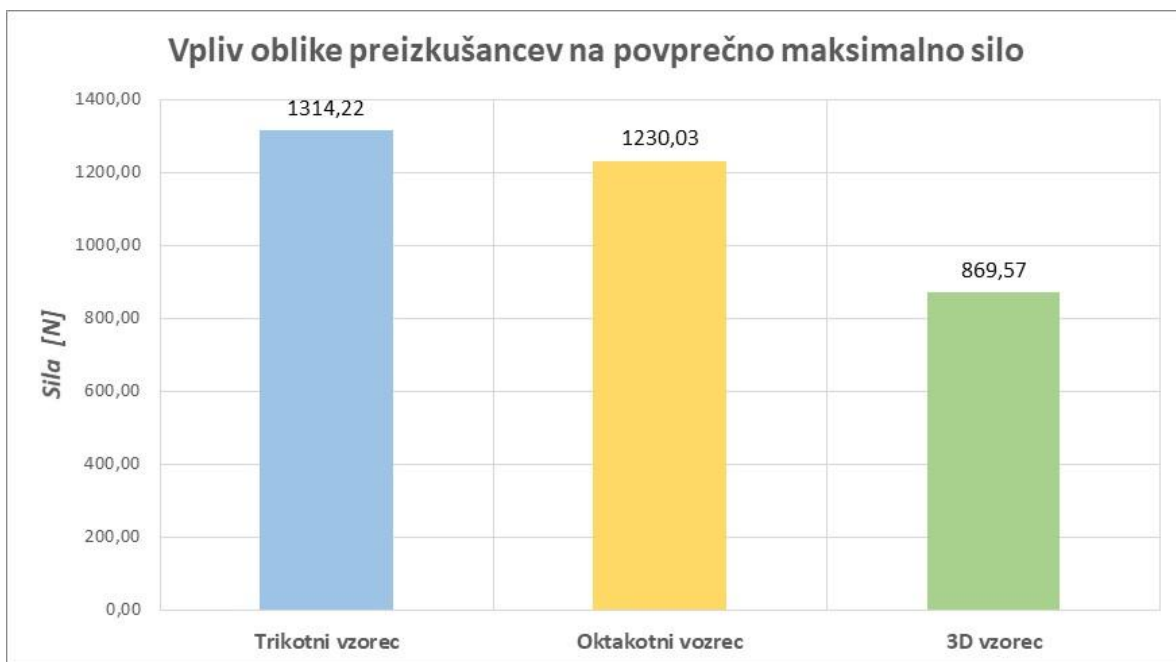
Graf 9: Prikaz vpliva zasedenosti vzorca na maksimalno silo

#### 7.4 Prikaz rezultatov – vpliv zapolnitve preizkušancev na trdnost

Rezultati analize kažejo, da ima preizkušanec V6 največjo nosilnost, saj dosega maksimalno silo 1887,99 N, medtem ko se pri tem deformira za 14,83 mm. Preizkušanec V3 ima nekoliko nižjo nosilnost, saj prenese 1733,02 N, vendar pri tem doseže najmanjšo deformacijo, ki znaša 9,94 mm. Po drugi strani ima vzorec V9 najnižjo nosilnost, saj zdrži le 1289,08 N, ima pa največjo deformacijo, ki znaša 20,25 mm. Analiza rezultatov kaže, da večja nosilnost ne pomeni nujno manjše deformacije. Preizkušanec V6 dosega največjo nosilnost in hkrati srednjo deformacijo, kar pomeni, da ima najbolj uravnotežene mehanske lastnosti med trdnostjo in prožnostjo. Preizkušanec V3 je bolj tog, saj ima manjšo deformacijo, a nekoliko nižjo nosilnost v primerjavi z V6. Nasprotno pa je preizkušanec V9 najmanj učinkovit, saj se pod obremenitvijo najbolj deformira in prenese najmanjšo silo. **Na podlagi teh podatkov lahko sklepamo, da je preizkušanec V6 najbolj optimalna izbira, kadar je cilj doseči dobro razmerje med nosilnostjo in deformacijo, kar pa mu omogoča oktakotni vzorec.** Preizkušanec V3 s trikotno vzorcem zapolnitve je primernejši, kjer je ključna togost materiala. Preizkušanec V9 s 3D vzorcem zapolnitve pa se izkaže kot najmanj primeren, saj se pod obremenitvijo najbolj deformira in ima najmanjšo nosilnost.



Graf 10: Prikaz vpliva oblike na nosilnost in deformacijo

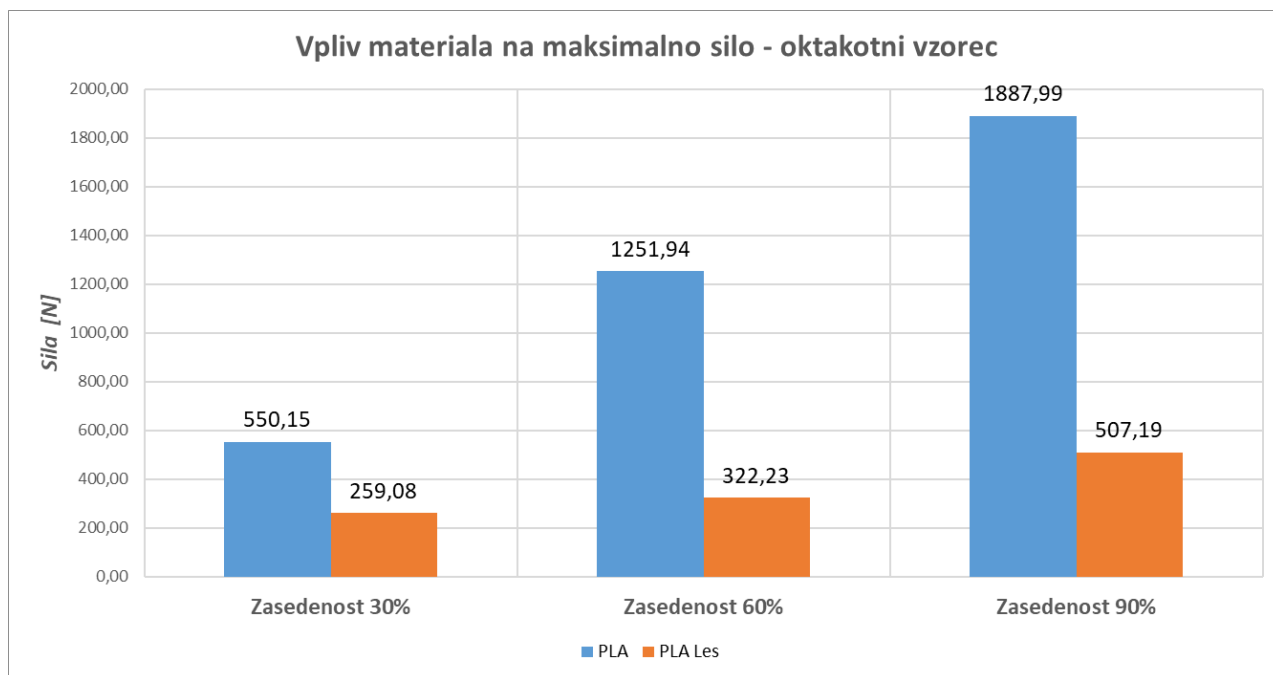


Graf 11: Prikaz vpliva vzorca na vpliv vzorca

## 7.5 Prikaz rezultatov – vpliv uporabljenega materiala na trdnost

Na spodnjem grafu smo primerjali preizkušance z istim vzorcem (oktakotni vzorec) in enake zasedenosti. Iz rezultatov vidimo, da izbira filamenta PLA materiala vpliva na nosilnost

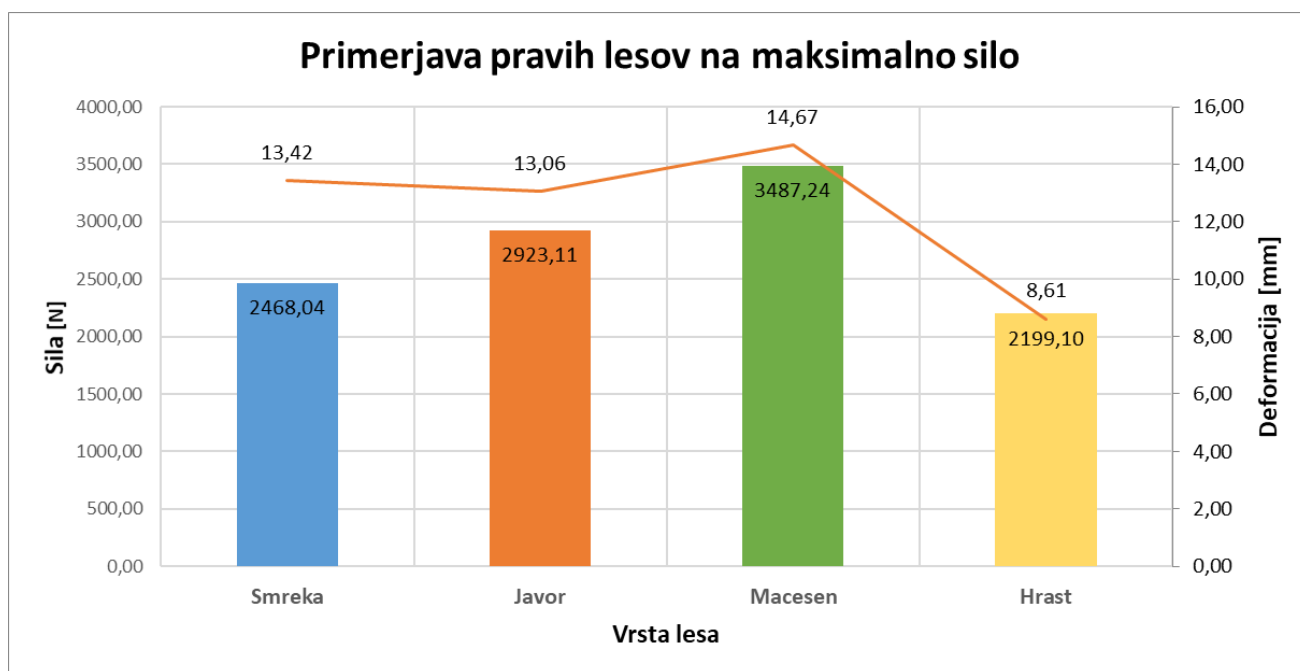
preizkušancev. Graf nam prikazuje, da je PLA s primešanim 40 % lesa (lesna moka) imel veliko manjšo nosilnosti ne glede na zasedenost preizkušanca. Kar pomeni, da manj ko je imel material PLA primesi več je večje silo je prenesel. Prikazano je da PLA les pri 90% zasedenosti preizkušanca ne preseže nosilnosti PLA preizkušanca pri 30% zasedenosti. Na podlagi rezultatov je mogoče sklepati, da ima preizkušavec s primesmi nižjo nosilnost in trdnost.



Graf 12: Prikaz vpliva nosilnosti na podlagi izbire PLA filamenta

## 7.6 Prikaz rezultatov – primerjava pravih lesov

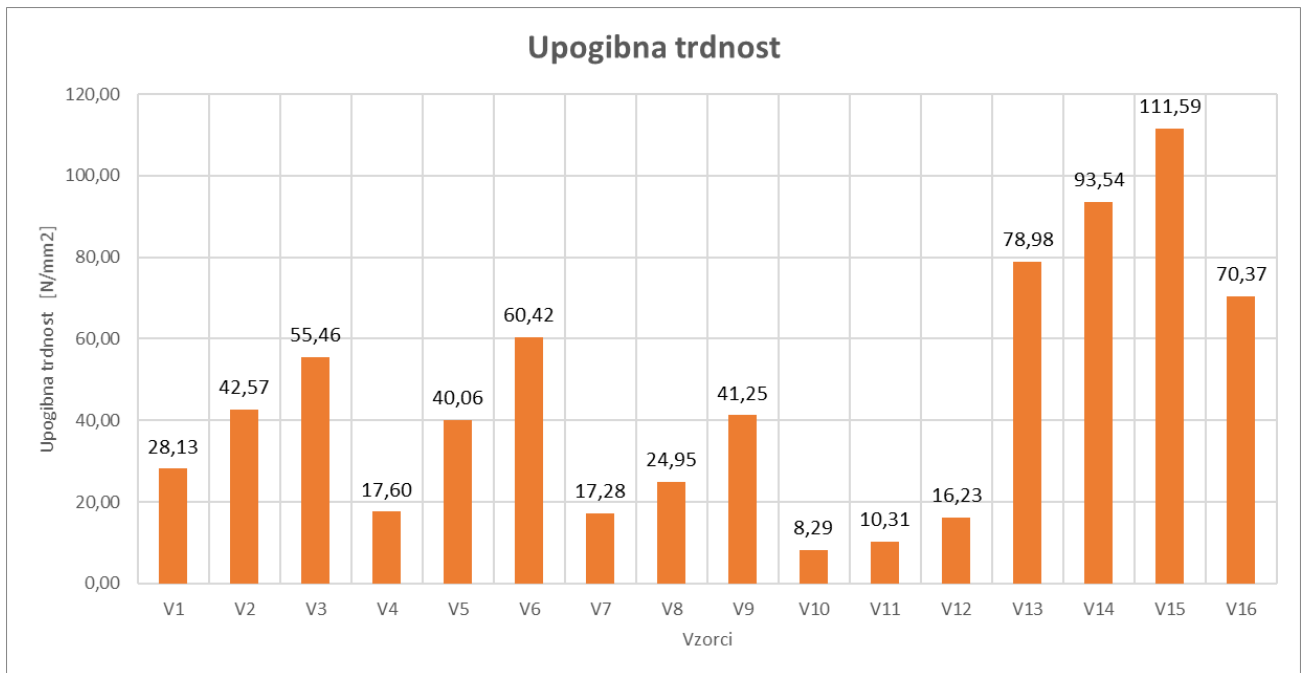
Na spodnjem grafu smo primerjali preizkušance iz pravega lesa. Tako smo v izbor vzeli najbolj pogosto uporabljene lese, ki se uporabljajo v gradbeništvu. Spodnji graf prikazuje, da prenese največjo silo nosilec narejen iz macesna z maksimalno silo 3487,24 N, sledi mu javor s 2923,11 N, nato smreka s 2468,04 N in na koncu presenetljivo hrast s 2199,10 N. Prav tako je imel macesen prenesel največjo duktilnost 14,67 mm, najmanjšo duktilnost pa je prenesel hrast 8,61 mm, kar je povsem razumljivo saj je hrast trdi les, macesen pa je mehak les z lastnostmi trdega lesa.



Graf 13: Prikaz primerjave lesenih nosilcev

## 7.6 Prikaz rezultatov – izračunane upogibne trdnosti preizkušancev

Priloženi graf prikazuje upogibno trdnost različnih preizkušancev, izraženo v sili (N/mm<sup>2</sup>). Rezultati kažejo precejšnje razlike v upogibni trdnosti med posameznimi materiali. Najvišjo upogibno trdnost je dosegel vzorec V15 z vrednostjo 111,59 N, to je bil naravni material – les macesna. Sledita mu vzorca V14 in V13, ki sta dosegla vrednosti 93,54 N oziroma 78,98 N, kar kaže, da gre prav tako za naravni material, preizkušanelec V14 je javor in V13 je smreka, z visoko trdnostjo pri upogibu. Nekateri preizkušanci, kot so V1, V2, V3, V5, V6 in V9, so dosegli srednje vrednosti upogibne trdnosti, pri čemer se rezultati gibljejo med 28,13 N in 60,42 N. To pomeni, da so ti materiali še vedno razmeroma odporni na upogib, vendar ne dosegajo trdnosti najmočnejših vzorcev. Po drugi strani so vzorci V4, V7, V8, V10, V11 in V12 pokazali najnižje vrednosti upogibne trdnosti, pri čemer je najšibkejši vzorec V10 (PLA les) dosegel le 8,29 N. Ugotovitve kažejo, da so materiali z višjo upogibno trdnostjo primernejši za konstrukcijske namene, kjer so izpostavljeni večjim obremenitvam in morajo prenesti upogibne sile. Po drugi strani materiali z nizko upogibno trdnostjo niso primerni za nosilne elemente, saj se ob manjših obremenitvah hitreje deformirajo ali zlomijo. Iz rezultatov je razvidno, da imajo različni preizkušanci zelo različne mehanske lastnosti, kar je treba upoštevati pri izbiri materialov za specifične konstrukcijske zahteve.



Graf 14: Prikaz primerjave lesenih nosilcev na izračunano upogibno trdnost

## 8. DISKUSIJA DELOVNIH HIPOTEZ

Pregled ugotovitev po analizi vseh preizkušancev in ugotovitve pri zastavljenih hipotezah.

### ***HIPOTEZA 1***

Hipoteza 1 da bodo 3D printani nosilci imeli primerljivo ali višjo trdnost kot pravi leseni nosilci moramo **ovreči**. Saj se natisnjeni nosilci po nosilnosti ne morejo približati pravim lesenim nosilcem. Prav tako se natisnjeni preizkušanci iz PLA in 40 % lesnega material ne morejo niti približati po nosilnosti preizkušancem iz homogenega materiala PLA kaj šele pravim lesenim preizkušancem. Nekoliko se bolj približajo po deformaciji ampak so natisnjeni nosilci iz PLA materiala preveč trdi. Samo en preizkušanec je presegel upogib (20,25 mm), bil je narejena iz homogenega materiala PLA in je imel 3D vzorec zasedenosti. Večji upogib mogoče ravno pripisujemo 3D vzorcu, ki je dopuščal večje deformacije zaradi oblike vzorca in načina printanja

### ***HIPOTEZA 2***

Hipoteza 2, da oblika polnila 3D-natisnjenega nosilca nima vpliva na trdnost nosilca, je **potrjena**. Namreč vzorec zapolnitve preizkušancev ima pomen pri nosilnosti. V naših primerih je imel oktakotni vzorec med preizkušancih pri 90% zasedenosti materiala največjo nosilnost. Pri deformacijah pa je imel oktakotni vzorec srednjo vrednost. Najmanjšo nosilnost je imel preizkušanec s 3D obliko zapolnitve. Na podlagi teh podatkov lahko sklepamo, da je preizkušanec V6 najbolj optimalna izbira, kadar je cilj doseči dobro razmerje med nosilnostjo in deformacijo, kar pa mu omogoča oktakotni vzorec. Preizkušanec V3 s trikotno vzorcem zapolnitve je primernejši, kjer je ključna togost materiala. Preizkušanec V9 s 3D vzorcem zapolnitve pa se izkaže kot najmanj primeren, saj se pod obremenitvijo najbolj deformira in ima najmanjšo nosilnost.

### ***HIPOTEZA 3***

Hipoteza 3, da se z povečevanjem zasedenosti polnila natisnjenega nosilca trdnost nosilca povečuje, je **delno ovržena delno potrjena**. Ta hipoteza izhaja iz predpostavke, da večja zasedenost polnila v notranjosti 3D-natisnjenega nosilca povečuje njegovo trdnost, saj se z gostejšim polnilom zagotavlja boljša podpora in večja odpornost na obremenitve. Ampak preizkušanci so nam pokazali, da z večanjem zasedenosti material preizkušancem se nosilnost do ene mere povečuje, na kar pa po določeni zasedenosti začne nosilnost padati, kar je povsem razumljivo saj preizkušanci iz PLA materiala v večanjem zasedenosti postajajo bolj togi s tem

pa tudi bolj krhki. Najboljše rezultate med nosilnostjo in deformacijami nam dajo PLA preizkušanci z 60% zasedenostjo materiala.

#### ***HIPOTEZA 4***

Hipoteza 4, da bo imel natisnjeni nosilec manjši upogib kot pravi leseni nosilec, je **potrjena**. Saj 3D-tiskani nosilec zaradi homogenega materiala, večje enotnosti mehanskih lastnosti in možnosti prilagajanja notranje strukture ter materiala imajo manjši upogib pri enakih dimenzijah in obremenitvah v primerjavi z lesenim nosilcem. Les je naravni material z nehomogeno sestavo, saj ima vlaknasto strukturo, ki vpliva na njegove mehanske lastnosti. Moramo pa vedeti, da je elastični modul lesa, ki določa njegovo togost in odpornost proti upogibu, lahko različen glede na smer obremenitve, kar pa vemo da vedno gledamo, da les obremenjujemo vedno pravokotno na letnice. Zaradi teh prednosti so 3D-tiskani nosilci pri enakih obremenitvah manj podvrženi upogibu kot leseni nosilci, kar potrjuje veljavnost postavljene hipoteze.

#### ***HIPOTEZA 5***

Hipoteza 5, da se bo upogibna trdnost 3D-natisnjenega nosilca približala pravim lesnim nosilcem, je **ovržena**. Upogibna trdnost 3D-natisnjenih nosilcev z uporabo naprednih tiskarskih tehnik in primernih materialov se ne more približati trdnosti tradicionalnim lesnim nosilcem ter omogočila njihovo enakovredno ali celo boljše uporabo. Saj material kot je PLA je preveč togi v primeru, da pa PLA materialu primešamo lese, pa se upogibna trdnost se drastično zmanjša. Tako, da od natisnjenih preizkušancev iz PLA materiala se najbolj približa preizkušance z oktakotnim vzorcem in 90% zasedenostjo materiala.

## 9. DRUŽBENA ODGOVORNOST

Printanje 3D nosilcev iz lesa in PLA plastike predstavlja primer dobre prakse, kjer se združujejo načela družbene odgovornosti, trajnostnega razvoja in tehnološkega napredka. Ta pristop združuje skrb za okolje, inovativne tehnologije in odgovorno ravnanje z viri, kar prinaša koristi za posameznike, podjetja in širšo skupnost.

**Družbena odgovornost** - Pri uporabi materialov, kot sta PLA plastika in leseni kompoziti, se poudarja odgovornost do okolja in družbe. PLA plastika je izdelana iz obnovljivih virov, kot so koruza ali sladkorni trs, in je biorazgradljiva, kar zmanjšuje vpliv na okolje. Leseni kompoziti pa so naravni, trajnostni in pogosto lokalno dostopni, kar zmanjšuje ogljični odtis ter hkrati podpira lokalno gospodarstvo. Poleg tega 3D tisk zmanjšuje proizvodne odpadke, saj omogoča izdelavo natančno oblikovanih komponent, s čimer se odpravlja nepotrebna poraba materialov.

**Trajnostni razvoj** - Trajnostni razvoj je osrednja ideja pri uporabi teh materialov. PLA plastika in leseni kompoziti izhajajo iz obnovljivih virov, kar pomeni, da njihova uporaba zmanjšuje odvisnost od fosilnih goriv. Ostanke materialov je mogoče reciklirati ali ponovno uporabiti, kar spodbuja krožno gospodarstvo. S 3D tiskom je mogoče ustvariti prilagojene nosilce, ki so trajni in optimalno zasnovani za svoje namene, kar zmanjšuje potrebo po njihovem pogostem nadomeščanju.

**Napredek** - 3D tiskanje je simbol tehnološkega napredka, saj omogoča izdelavo kompleksnih struktur z minimalnimi omejitvami glede oblike in velikosti. Računalniško podprto oblikovanje (CAD) omogoča optimizacijo nosilcev, kar zmanjšuje porabo materialov, obenem pa zagotavlja njihovo visoko funkcionalnost. Uporaba naprednih tehnologij spodbuja inovacije in digitalizacijo, kar je ključno za trajnostni razvoj in prihodnji gospodarski napredek.

Printanje 3D nosilcev iz lesa in PLA plastike je odličen primer, kako je mogoče združiti družbeno odgovornost, trajnostni razvoj in tehnološki napredek. S tem pristopom se ne zmanjšuje le vpliv na okolje, temveč se spodbuja tudi inovativnost in ozaveščenost o trajnostnih praksah, ki so ključne za prihodnost. Takšne projekte je mogoče uspešno vključiti tudi v izobraževalne programe in širše gospodarske aktivnosti, kjer služijo kot navdih za odgovorno ravnanje z viri.

## 10.ZAKLJUČEK

V gradbeništvu, ki tradicionalno velja za konzervativno panogo, se je 3D-tisk razvijal počasneje, delno zaradi strogih zahtev po standardizaciji materialov in metod, ki zagotavljajo varnost ter trajnost zgrajenih objektov. Vendar pa hiter razvoj tehnologije že kaže, da bo tudi gradbeni sektor kmalu doživel revolucijo. Tehnologija 3D-tiska vse bolj dokazuje svoj neomejen potencial in pomembnost v najrazličnejših industrijah. Njena uporaba je že dosegla izjemne uspehe v avtomobilski industriji, letalstvu, na Mednarodni vesoljski postaji in predvsem v medicini, kjer omogoča izdelavo personaliziranih implantatov, protez ter celo tkiv.

Napredki v tehnologiji 3D-tiska zdaj omogočajo natančno in ponovljivo izdelavo komponent, ki izpolnjujejo najvišje standarde za uporabo v gradbeništvu. Že danes smo priča spektakularnim primerom 3D-natisnjenih mostov, stanovanjskih hiš ter urbane opreme, ki dokazujejo, kako lahko ta tehnologija poenostavi procese gradnje, zmanjša stroške in porabo materialov ter obenem poveča trajnost. Kar je bilo nekoč eksperimentalno, se hitro razvija v standardno prakso – predvsem zaradi možnosti hitre in stroškovno učinkovite izdelave kompleksnih konstrukcij.

V prihodnosti lahko pričakujemo množično implementacijo 3D-tiska v gradbeništvu, saj ta tehnologija ponuja inovativne rešitve, ki bodo spremenile način načrtovanja in gradnje objektov. Investitorjem postaja vse bolj privlačna zaradi ekonomičnosti, hitrosti in fleksibilnosti, ki jo omogoča, s čimer lahko izpolni tako okoljske kot gospodarske zahteve. Transformacija gradbene industrije s pomočjo 3D-tiska ni več vprašanje "če", temveč "kdaj".

Rezultati raziskave potrjujejo, da 3D-tiskani nosilci trenutno še ne morejo v celoti nadomestiti tradicionalnih lesenih nosilcev, ko gre za nosilnost in upogibno trdnost. Vendar pa ponujajo prednosti pri prilagajanju notranje strukture, enotnosti materiala ter nadzoru deformacij, kar odpira možnosti za nadaljnje raziskave in razvoj novih materialov ter tehnik tiskanja za izboljšanje mehanskih lastnosti 3D-tiskanih konstrukcij.

Na podlagi pridobljenih rezultatov bi bile naslednje raziskave koristne za poglobljeno razumevanje mehanskih lastnosti 3D-tiskanih nosilcev. Nadaljnje raziskave bi se lahko osredotočile na uporabo naprednih materialov, kot so kompozitni materiali z dodatkom ogljikovih vlaken ali aramidnih materialov, ki bi lahko izboljšali nosilnost in odpornost proti deformacijam. Poleg tega bi bilo smiselno nadalje preučiti različne geometrijske oblike vzorce zapolnitve ter prilagajati gostoto polnila glede na specifične potrebe mehanske trdnosti. Prav tako bi bilo koristno raziskati vpliv smeri tiska, saj lahko spremembe v orientaciji slojev

bistveno vplivajo na trdnost in elastičnost nosilcev. Prav tako bi bilo smiselno spremeniti hitrost obremenjevanja, ki ima verjetno velik vpliv. Poglobljena analiza vedenja nosilcev pod dolgotrajnimi statičnimi in dinamičnimi obremenitvami bi prispevala k razumevanju utrujenosti materiala. Dodatno bi preizkušanje vpliva različnih okoljskih pogojev, kot so vlaga, temperatura in UV-sevanje, kako ti dejavniki vplivajo na mehanske lastnosti in življenjsko dobo 3D-tiskanih materialov. Zanimivo pa bi bilo izračunati ceno natisnjenih preizkušancev in jih primerjati z pravimi lesenimi ali mogoče drugimi vrstami nosilcev. Nenazadnje bi primerjava z drugimi tradicionalnimi materiali, kot so kovinski nosilci ali kompoziti, omogočila določitev možnosti za nadomestitev v različnih industrijskih panogah.

Te raziskave bi omogočile širšo uporabo 3D-tiskanih materialov v konstrukcijskih aplikacijah ter pripomogle k izboljšanju njihovih mehanskih lastnosti.

## 11. LITERATURA

- [1] Spletna stran - <https://www.shreetmt.com/types-of-beams-in-construction/> (preneseno 12.11.2024)
- [2] Spletna stran - <https://www.autodesk.com/blogs/construction/14-types-of-construction-beams/> (preneseno 12.11.2024)
- [3] Spletna stran - <https://www.ultratechcement.com/for-homebuilders/home-building-explained-single/descriptive-articles/types-of-beam> (preneseno 12.11.2024)
- [4] Spletna stran - <https://www.architecture.org/online-resources/architecture-encyclopedia/beam> (preneseno 12.11.2024)
- [5] Spletna stran - <https://www.shreetmt.com/types-of-beams-in-construction/> (preneseno 12.11.2024)
- [6] Spletna stran - <https://en.wikipedia.org/wiki/T-beam> (preneseno 12.11.2024)
- [7] Spletna stran - <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/rectangular-section-beam> (preneseno 12.11.2024)
- [8] Spletna stran - <https://sl.wikipedia.org/wiki/Strig> (preneseno 12.11.2024)
- [9] Spletna stran - <https://sl.wikipedia.org/wiki/Vzvoj> (preneseno 12.11.2024)
- [10] Spletna stran - <https://munus2.scng.si/files/2016/01/JanjaHadalTrdnost.pdf> (preneseno 12.11.2024)
- [11] Spletna stran - [https://www.mojmojster.net/clanek/250/Leseni\\_lepljeni\\_nosilci](https://www.mojmojster.net/clanek/250/Leseni_lepljeni_nosilci) (preneseno 12.11.2024)
- [12] Spletna stran - <https://formlabs.com/eu/blog/what-is-selective-laser-sintering/> (preneseno 12.11.2024)
- [13] Spletna stran - <https://formlabs.com/eu/blog/ultimate-guide-to-stereolithography-sla-3d-printing/> (preneseno 12.11.2024)
- [14] Spletna stran - <https://www.wevolver.com/article/laminated-object-manufacturing> (preneseno 12.11.2024)

[15] Spletna stran - <https://azurefilm.com/sl/2023/10/28/fdm-tiskanje-kaj-je-fdm/> (preneseno 12.11.2024)

[16] Spletna stran - <https://azurefilm.com/sl/2023/07/04/pla-filamenti-vse-kar-morate-vedeti> (preneseno 12.11.2024)

[17] Spletna stran - <https://www.zwickroell.com/products/pre-owned-market/used-tensile-testers-z010-z020-z050-z100/> (preneseno 12.11.2024)

[18] Spletna stran - <https://www.zelenaslovenija.si/wp-content/uploads/2023/11/Prirocnik-Les-material-sedanjosti-in-prihodnosti-prednosti-in-izzivi.pdf> (preneseno 12.11.2024)