



ŠOLSKI CENTER CELJE

Srednja šola za strojništvo, mehatroniko in medije

# 3D-TISKANI PLEZALNI OPRIMKI

Strojništvo

Avtorji:

Jernej GRAČNER, S-4. b

Nejc KUGLER, S-4. b

Grega OCVIRK, S-4. b

Mentor:

Martin AMON, mag. inž. str.

Somentor:

Jaka DOŠLER, prof.

Mestna občina Celje, Mladi za Celje

Celje, 2025

# 3D-TISKANI PLEZALNI OPRIMKI

Strojništvo

ŠIFRA NALOGE: GRKUOC25

Mestna občina Celje, Mladi za Celje

Celje, 2025

## **ZAHVALA**

Zahvaljujemo se mentorju za sodelovanje, mentorstvo, pomoč in za vse nasvete pri samem raziskovanju, izdelavi naloge in spoznavanju področja 3D-tiskanja. Zahvaljujmo se tudi somentorju, ker nas je povezal s plezalnimi društvom v Rogaški Slatini, kjer smo dobili različna mnenja glede naših oprimkov. Zahvaljujemo se tudi vsem, ki so sodelovali pri reševanju naše ankete.

## **3D-TISKANI PLEZALNI OPRIMKI**

**Ključne besede:** plezalni oprimki, polimeri, 3D-tiskanje, 3D-skeniranje, 3D-modeliranje,

### **POVZETEK**

Med izdelavo raziskovalne naloge smo kot raziskovalci izdelali 3D-tiskan plezalni oprimek. Zanimalo nas je, ali bodo plezalni oprimki primerni za nadomestitev cementnih odlitkov, ki se danes uporabljajo na plezalnih stenah. Da bi preizkusili plezalne oprimke in ugotovili, ali so res primerni, smo jih tiskali iz različnih materialov, z različnimi gostotami polnila in različnimi hrapavostmi površine. Izdelali smo napravo za testiranje oprimkov, s katero smo merili, koliko sile zdržijo. Vsakega posebej smo testirali, da bi ugotovili, kateri je najboljši. Izvedli smo tudi spletno anketo, kjer smo povprašali plezalce, kaj si oni mislijo o naših oprimkih in kateri je njim najprimernejši.

## **3D-PRINTED CLIMBING HOLDS**

**Key words:** climbing holds, polymers, 3D-printing, 3D-scanning, 3D-modeling

### **ABSTRACT**

During the creation of our research project, we, as researchers, developed a 3D-printed climbing hold. We were interested in whether these climbing holds could replace the cement casts currently used on climbing walls. To test the climbing holds and determine their suitability, we printed them from various materials, with different infill densities and surface roughness. We designed a device to test the holds, measuring how much force they could withstand, and tested each one individually to find out which was the best. We also conducted an online survey, asking climbers for their opinions on our holds and which ones they preferred.

## KAZALO VSEBINE

1.	UVOD .....	1
1.1	HIPOTEZE.....	1
1.2	METODE RAZISKOVANJA.....	2
2.	PLEZALNI OPRIMKI.....	2
2.1	ZNAČILNOSTI PLEZALNIH OPRIMKOV .....	2
2.2	POMEN PRAVILNEGA IZBORA OBLIKE OPRIMKOV .....	3
3.	3D-SKENIRANJE .....	3
3.1	SKENIRANJE S STRUKURNO SVETLOBO .....	4
3.2	SKENIRANJE Z LASERJI.....	5
3.3	SKENIRANJE S FOTORAMETRIJO.....	6
3.4	LASTNA RABA 3D-SKENIRANJA .....	8
4.	MODELIRANJE PLEZALNGA OPRIMKA.....	10
4.1	MODELIRANJE LUKENJ.....	10
4.2	ZDRUŽEVANJE 3D-MODELOV LUKENJ IN OPRIMKA .....	15
5.	MEHANSKA ANALIZA OPRIMKA .....	19
5.1	PROGRAMSKO ORODJE ANSYS.....	19
5.2	MEHANSKE LASTNOSTI 3D-TISKANEGA POLIMERA PLA.....	20
5.3	PRIPRAVA MODELA IN MREŽE KONČNIH ELEMENTOV .....	21
5.4	TIP ANALIZE.....	22
5.5	ROBNI POGOJI.....	22
5.6	REZULTAT .....	23
6.	3D-TISKANJE .....	25

6.1	FDM – FUSED DEPOSITION MODELING.....	26
6.2	FOTOPOLIMERIZACIJA (SLA & DLP).....	26
6.3	NAJPOGOSTEJŠA UPORABA 3D-TISKA.....	26
6.4	PREDNOSTI 3D-TISKANJA.....	26
6.5	SLABOSTI 3D-TISKANJA .....	27
6.6	MATERIALI ZA 3D-TISKANJE.....	27
6.7	3D-TISKANJE OPRIMKOV .....	28
7.	AKETA O 3D-TISKANIH OPRIMKIH.....	33
8.	MODELIRANJE KONSTRUKCIJE ZA TESTIRANJE.....	36
9.	ANALIZA KONSTRUKCIJE ZA TESTIRANJE.....	39
9.1	MEHANSKE LASTNOSTI JEKLA.....	39
9.2	PRIPRAVA MODELA IN MREŽE KONČNIH ELEMENTOV .....	40
9.3	TIP ANALIZE.....	40
9.4	ROBNI POGOJI.....	40
9.5	REZULTATI.....	41
10.	IZDELAVA KONSTRUKCIJE ZA TRSTIRANJE OPRIMKOV.....	42
11.	TESTIRANJE OPRIMKOV .....	46
11.1	REZULTATI TESTIRANJA .....	47
11.2	ANALIZA HIPOTEZ .....	49
12.	ZAKLJUČEK.....	50
13.	VIRI IN LITERATURA .....	51

## KAZALO SLIK

Slika 1: Oblak točk skeniranega oprimka .....	9
Slika 2: Uvoz stl. formata oprimka v CREO 10.....	11
Slika 3: Modelirane izvrtin oprimka .....	11
Slika 4: Izvrtine in spodnja površina oprimka .....	12
Slika 5: Ploskve na oprimku 1.....	13
Slika 6: Odrezane ploskve na oprimku .....	13
Slika 7: Končane ploskve na oprimku.....	14
Slika 8: Končane izvrtine in spodnja ploskev oprimka.....	14
Slika 9: Oprimek s pobrisanimi luknjami .....	15
Slika 10: Luknje s spodnjo ploskvijo v formatu .stl.....	16
Slika 11: Oprimek in luknje pred zapolnjevanjem praznin.....	16
Slika 12: Dokončan oprimek.....	17
Slika 13: Izgled površin oprimka od blizu .....	18
Slika 14: Zmanjšanje števila trikotnikov STL modela.....	21
Slika 15: Mreža končnih elementov.....	21
Slika 16: Fiksni robni pogoj.....	22
Slika 17: Fiksni robni pogoj v Z-smeri .....	22
Slika 18: Obremenitev 2943N pod kotom 45° .....	23
Slika 19: Pomiki .....	23
Slika 20: Prijemalne napetosti po Mises-u.....	24
Slika 21: Normalna napetost v Z-smeri.....	24
Slika 22: Normalne deformacije v Z-smeri.....	25
Slika 23: Razlike v notranjosti modelov L.....	33
Slika 24: Skica konstrukcije za testiranje.....	36
Slika 25: Profil konstrukcije.....	36
Slika 26: Stranica oprimka .....	37
Slika 27: Stranica navojne palice .....	37
Slika 28: Podpora stranice navojne palice.....	38
Slika 29: Podpora stranice oprimka .....	38
Slika 30: Končan model konstrukcije za testiranje oprimkov.....	39

Slika 31: Mreža končnih elementov .....	40
Slika 32: Robni pogoj.....	41
Slika 33: Pomiki .....	41
Slika 34: Primerjalne napetosti po Mises-u.....	42
Slika 35: Upogibanje stranice 1 .....	42
Slika 36: Upognjene stranice.....	43
Slika 37: Izdelovanje podpor.....	43
Slika 38: Varjenje konstrukcije .....	44
Slika 39: Zavarjena konstrukcija.....	44
Slika 40: Brušenje zvarov .....	45
Slika 41: Končana konstrukcija za testiranje oprimkov .....	45
Slika 42: Testiranje oprimkov .....	46
Slika 43: Oprimki po testiranju .....	48

## **KAZALO TABEL**

Tabela 1: Mehanske lastnosti 3D-tiskanega polimera PLA .....	20
Tabela 2: Podatki o materialih .....	29
Tabela 3: Osnovni parametri tiskanja.....	30
Tabela 4: Podatki o porabljenem materialu in ceni.....	30
Tabela 5: Parametri različic F .....	32
Tabela 6: Parametri različic L .....	32
Tabela 7: Rezultati ankete .....	34
Tabela 8: Rezultati testiranja.....	48

# 1. UVOD

3D-tiskanje je ena izmed najbolj inovativnih tehnologij, ki se hitro uveljavlja v različnih industrijah, tudi pri športni opremi. S pomočjo te tehnologije lahko ustvarimo personalizirane oprimke z natančno prilagojenimi lastnostmi, kot so oblika, tekstura in trdnost, kar povečuje udobje in učinkovitost pri plezanju. Plezalni oprimki, izdelani s 3D-tiskom, omogočajo večjo prilagodljivost in optimizacijo.

Prednost 3D-tiska je tudi hitra izdelava prototipov in prilagodljivost oblikovanja novih modelov, saj omogoča preizkušanje različnih materialov in oblik. Vendar pa obstajajo tudi izzivi, kot so visoki stroški naprednih 3D-tiskalnikov in materialov ter vprašljiva dolgotrajna uporaba tiskanih oprimkov.

V tej raziskovalni nalogi bomo raziskali prednosti in izzive uporabe 3D-tiska pri izdelavi plezalnih oprimkov.

## 1.1 HIPOTEZE

Zadali smo si cilj izdelati 3D-tiskan plezalni oprimek, ki je primerljiv s tistimi, na voljo na trgu. Preden smo začeli z delom, smo si postavili hipoteze, ki smo jih kasneje potrdili ali zavrgli. Te hipoteze so:

- **Hipoteza 1:** Izdelava plezalnih oprimkov je cenejša s tehnologijo 3D-tiska.
- **Hipoteza 2:** 3D-tiskani oprimki bodo imeli primerljiv oprijem oprimkom, dostopnim na trgu.
- **Hipoteza 3:** Različni materiali vplivajo na oprijem plezalnega oprimka.
- **Hipoteza 4:** Oprimek narejen iz filamenta PET-CF bo prenesel največje sile.
- **Hipoteza 5:** 3D-tiskani plezalni oprimki lahko nadomestijo tiste, ki so na volji na trgu.

## 1.2 METODE RAZISKOVANJA

Za raziskovanje smo uporabili različne metode. Le-te so naslednje:

- **Analiza:** S to metodo smo teoretično in praktično preverjali nosilnosti različnih plezalnih oprimkov in nosilca za testiranje. Analizirali smo tudi možnosti 3D-skeniranja, 3D-modeliranja in končne izdelave.
- **Anketa:** S to metodo smo anketirance povprašali o oprijemu 3D-tiskanih oprimkov, da smo dobili povratno informacijo, kako se primerjajo s tistimi, na voljo na trgu.

## 2. PLEZALNI OPRIMKI

Plezalni oprimki so ključni element pri plezanju po plezalnih stenah, saj zaradi njihovih različnih oprijemov in oblik omogočajo izvajanje različnih tehnik in manevrov vzponov na steno. S pomočjo oprimkov plezalci razvijajo svojo moč, vzdržljivost in spretnost plezanja. Različni tipi oprimkov zahtevajo različne pristope in tehnike plezanja, zato je plezanje tako raznoliko in nam lahko vedno postavlja nove izzive. Poleg tega lahko oprimke prosto razporedimo po plezalni steni in s tem spremenimo težavnost vzpona ter jo prilagodimo glede na sposobnost plezalca. V tem poglavju bomo na splošno opisali oprimke, njihove značilnosti ter pomen njihovega pravilnega izbora in razporeditve. [27]

### 2.1 ZNAČILNOSTI PLEZALNIH OPRIMKOV

Plezalni oprimki se razlikujejo glede na obliko, velikost, teksturo in material, kar plezalcem omogoča razvoj različnih spretnosti plezanja. Zasnovani so tako, da zahtevajo in spodbujajo različne vrste oprijema in sile, ki jih mora plezalec uporabiti za premagovanje plezalne stene.

### **2.1.1 VELIKOST OPRIMKOV**

Nekateri oprimki so manjši in s tem zahtevajo večjo natančnost in močan oprijem, predvsem v prstih. To povečuje zahtevnost vzpona. Po drugi strani je vzpon z večjimi oprimki lažji, saj imajo večjo površino za oprijem in s tem zmanjšajo stopnjo zahtevnosti ter potrebno koncentracijo in moč. [5,6,7]

### **2.1.2 OBLIKA OPRIMKOV**

Oblika oprimka je prav tako ključna pri vzponu na plezalno steno. Oprimki so lahko raznih oblik, na primer okrogli, z zarezo, z zavojem ali drugih zanimivih geometrijskih oblik. [5,6,7]

### **2.1.3 TEKSTURA IN MATERIAL OPRIMKOV**

Tekstura oprimka je odločena glede na vrsto materiala. Lahko je gladka ali groba. Gladka tekstura zahteva večjo težavnost pri plezanju, medtem ko groba omogoča boljši oprijem.

## **2.2 POMEN PRAVILNEGA IZBORA OBLIKE OPRIMKOV**

Pravilna izbira in razporeditev oprimkov po plezalni steni je ključnega pomena za zagotavljanje varnosti in izboljšanja plezalne izkušnje. Oprimki morajo biti razporejeni tako, da omogočajo naravne gibe telesa in enakomerno razporeditev obremenitve mišic. Upoštevati je potrebno tudi sposobnost plezalca, saj lahko preveč zahtevni oprimki povzročijo hitro utrujenost in poškodbe, medtem ko preveč enostavni oprimki ne omogočajo razvoja potrebnih veščin. [27]

## **3. 3D-SKENIRANJE**

3D-skeniranje je najhitreje rastoča 3D-tehnologija. Uporablja se za vzvratni inženiring, kontrolo kakovosti in nadaljnjo izdelavo oziroma 3D-tiskanje. Tehnologija je pogosto uporabljena, saj lahko

z njo zelo hitro dobimo določeno obliko in dimenzije, za katere bi običajno potrebovali bistveno več časa in truda. [19,22]

### 3.1 SKENIRANJE S STRUKURNO SVETLOBO

Strukturirana svetloba je tehnika, ki se uporablja za pridobivanje 3D informacij o objektih in površinah, običajno v okviru računalniškega vida in optičnih sistemov. Gre za proces, v katerem se na površino predmeta projicira vzorec svetlobe (npr. črte, pikčasti vzorec, druge oblike), pri čemer naprava s kamero zajame, kako se svetlobni vzorec deformira ob stiku s površino objekta. Na podlagi teh deformacij je mogoče rekonstruirati geometrijo ali obliko objekta. Glavne komponente te vrste skeniranja so projektor, kamera in računalniški sistem. [22]

#### 3.1.1 PRINCIP DELOVANJA

- **Projekcija svetlobnega vzorca:** Na površino objekta se projicira vzorec svetlobe, ki je lahko sestavljen iz črt, pik, vzorcev ali drugih geometrijskih oblik. Ta svetlobni vzorec se projicira z napravo, ki je običajno svetlobni projektor ali kamera s specifično svetlobno nastavitvijo.
- **Deformacija svetlobnega vzorca:** Ko svetloba zadene objekt, se svetlobni vzorec zaradi neenakih površinskih lastnosti objekta (kot so ukrivljenost, globina, tekstura) deformira. Ravne črte bi se ob odbitju svetlobe na različnih točkah površine objekta deformirale tako, da bi spremenile svojo obliko ali se zvile.
- **Zajem s kamero:** Kamera ali senzor zazna deformirani svetlobni vzorec, ki se odbije od objekta. Kamera lahko te spremembe v svetlobnem vzorcu zajame z visoko ločljivostjo.

#### 3.1.2 PREDNOSTI

- **Visoka natančnost in ločljivost:** Strukturirana svetloba omogoča izjemno natančno zajemanje detajlov, zlasti pri majhnih in kompleksnih objektih.
- **Hitro skeniranje:** Ker svetlobni vzorec omogoča hitro zajemanje informacij, je postopek skeniranja zelo učinkovit, kar omogoča hitro ustvarjanje 3D-modelov. [22]

- **Enostavna uporaba:** Sistem za 3D-skeniranje s strukturirano svetlobo je pogosto preprost za uporabo, saj ni potrebna obsežna kalibracija ali kompleksne nastavitve.
- **Brez stika:** Ker tehnologija temelji na svetlobi, omogoča skeniranje brez stika z objektom, kar je idealno za občutljive ali nestabilne predmete. [19,22]

### 3.1.3 SLABOSTI

- **Omejitve pri transparentnih ali zelo svetlih površinah:** Skeniranje transparentnih predmetov ali predmetov s svetlečimi površinami je lahko težavno, saj svetlobni vzorec ne bo pravilno reflektiran.
- **Omejena globinska informacija:** Strukturirana svetloba lahko pri zelo velikih objektih ali zelo zahtevnih oblikah globinske mere zajame manj natančno.
- **Območje skeniranja:** Ta tehnologija je idealna za skeniranje manjših objektov, saj lahko zajame visoko natančne podatke na kratkih razdaljah. Pri večjih objektih ali daljših razdaljah se lahko kakovost podatkov zmanjša. [22]

## 3.2 SKENIRANJE Z LASERJI

3D-skeniranje s pomočjo laserja je ena izmed najbolj natančnih metod za zajemanje tridimenzionalnih podatkov o objektih in površinah. Ta tehnologija uporablja laserje za merjenje razdalj med skenerjem in površino objekta ter ustvarjanje natančnih 3D-modelov teh površin. Glavne vrste 3D-skenerjev, ki temeljijo na laserski tehnologiji, vključujejo laserske skenerje s časovnim odmikom in laserske skenerje s faznim odmikom. [19]

### 3.2.1 KAKO DELUJE

- **Oddaja laserja:** Skener oddaja laser na površino objekta. Laser se običajno uporablja v obliki svetlobnih impulzov.
- **Zajem odseva:** Ko laser zadene objekt, se svetloba odbije in vrne v senzor skenerja.
- **Merjenje razdalje:** Na podlagi časa, ki ga svetloba potrebuje za potovanje do objekta in nazaj, skener izračuna razdaljo. [27, 19]

- **Obdelava podatkov:** Skener nato izračuna točne koordinate vsake točke na površini objekta, s čimer ustvari oblak točk, ki predstavlja 3D-model objekta.
- **Ustvarjanje 3D-modela:** Po skeniranju se podatki z uporabo računalniških programov, ki povežejo posamezne točke v mrežo (mesh) ali poligone, obdelajo in povežejo v 3D-model.

### 3.2.2 PREDNOSTI SKENERJEV S ČASOVNIM ODMIKOM (TIME OF FLIGHT)

- Povečana natančnost pri večjih razdaljah.
- Uporabni za skeniranje večjih območij, kot so stavbe ali pokrajine.

### 3.2.3 PREDNOSTI SKENERJEV S FAZNIM ODMIKOM (PHASE SHIFT)

- Visoka natančnost in hitrost skeniranja.
- Uporabni za natančno skeniranje manjših predmetov ali površin z visokimi detajli.

### 3.2.4 SLABOSTI

- **Visoki stroški:** Laserski skenerji so pogosto dragi, tako glede nakupne cene kot tudi glede stroškov za vzdrževanje in obdelavo podatkov.
- **Omejitve pri odbojnih in transparentnih površinah:** Zelo svetle ali reflektivne površine lahko povzročijo težave pri natančnem merjenju, saj se svetloba ne odbija vedno pravilno.
- **Obsežna obdelava podatkov:** Lasersko skeniranje ustvari ogromne količine podatkov, ki jih je potrebno obdelati z zmogljivo programsko opremo, kar lahko pri večjih skeniranjih predstavlja izziv. [22]

## 3.3 SKENIRANJE S FOTORAMETRIJO

Fotogrametrija je tehnologija, ki se uporablja za pridobivanje natančnih 3D-modelov in prostorskih podatkov z analizo fotografij. Postopek vključuje uporabo več fotografij istega objekta ali scene, ki jih računalniški programi nato analizirajo in povežejo za ustvarjanje 3D-modelov. [19]

### 3.3.1 KAKO DELUJE

- **Zajemanje slik:** Za začetek se posname več fotografij objekta z različnih kotov in vidnih točk.
- **Obdelava slik:** Po zajemu slik se s programsko opremo, kot so Agisoft Metashape, Pix4D ali RealityCapture, izvede obdelava podatkov. Programi analizirajo skupne točke med različnimi slikami in določijo njihove prostorske koordinate.
- **Rekonstrukcija 3D-modela:** Po analizi in združitvi podatkov, pridobljenih iz več fotografij, se iz oblaka točk ustvari 3D-mreža. Le-ta je sestavljena iz trikotnikov, ki povezujejo točke in tvorijo model. [19]

### 3.3.2 PREDNOSTI

- **Visoka natančnost in ločljivost:** Fotogrametrija omogoča pridobivanje natančnih 3D-modelov z visoko ločljivostjo, še posebej ob uporabi visokoločljive kamere.
- **Dostopnost in enostavnost uporabe:** Za fotogrametrijo so lahko zadovoljive običajne kamere ali celo pametni telefoni z dobrimi kamerami. To omogoča širok spekter uporabnikov; od amaterjev do strokovnjakov.
- **Brez stika:** Ker temelji na zajemanju fotografij, fotogrametrija omogoča skeniranje objektov brez neposrednega stika, kar je idealno za občutljive ali nevarne objekte. [19]

### 3.3.3 SLABOSTI

- **Odvisnost od kakovosti slik:** Kakovost in natančnost 3D-modela sta močno odvisni od kakovosti posnetih slik.
- **Zahteva za obsežno obdelavo podatkov:** Proces obdelave fotogrametričnih podatkov je lahko računsko zahteven in potrebuje zmogljivejše računalniške sisteme.
- **Omejitve pri določeni vrsti površin:** Fotogrametrija se lahko spopada s težavami pri skeniranju zelo gladkih, sijajnih ali prozornih površin, saj se svetloba ne odbija enakomerno, kar lahko povzroči napake pri rekonstrukciji modela. [19]

### 3.4 LASTNA RABA 3D-SKENIRANJA

Za potrebe naše raziskovalne naloge smo uporabili napreden 3D-skener, model Einstar, katerega proizvajalec je podjetje SHINING 3D, ki je priznано na področju razvoja in izdelave 3D-skenerjev ter tiskalnikov. Ta specifični model skenerja je bil izbran zaradi svojih naprednih funkcij in sposobnosti ustvarjanja natančnih tridimenzionalnih modelov, kar je bilo ključnega pomena za našo raziskovalno nalogo. S tem skenerjem smo lahko samostojno zajeli digitalni zapis originalnega oprimka, katerega smo uporabili za nadaljnjo obdelavo in analizo.

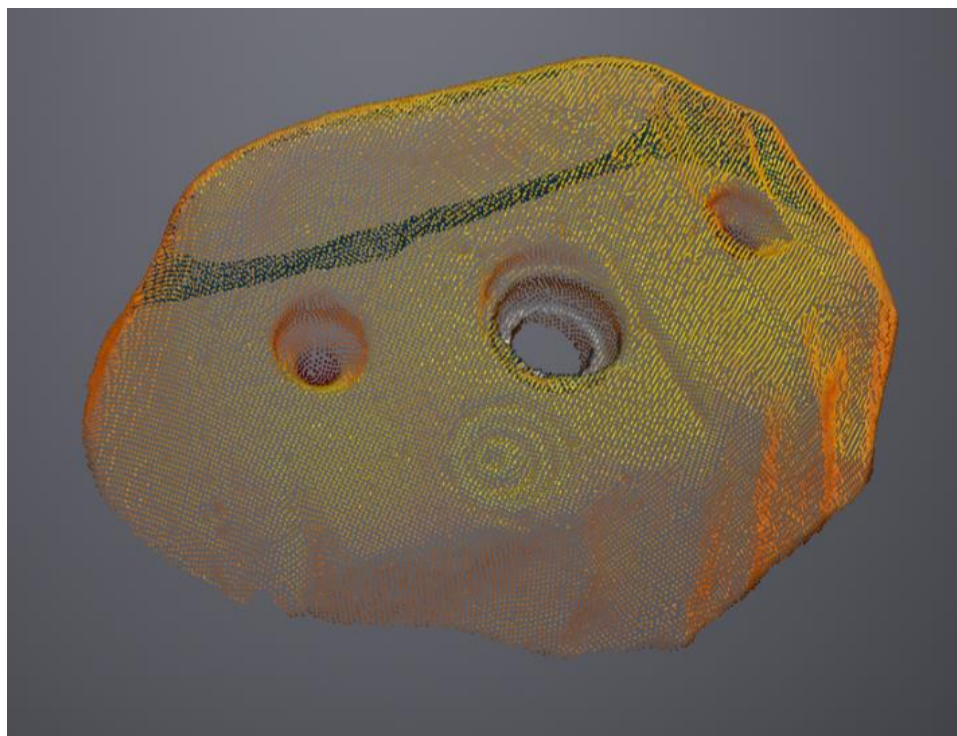
Postopek skeniranja smo začeli s pripravo oprimka. Ta je bil postavljen na posebno mizo, na kateri so bile prilepljene referenčne točke. Te točke so predstavljale pomemben del celotnega postopka, saj so služile kot merilne točke, ki so skenerju omogočile natančno zaznavo lego oprimka v prostoru. Na ta način smo zmanjšali napake pri zaznavanju položaja in orientacije oprimka, kar je povečalo natančnost pri zajemu podatkov. Referenčne točke so torej igrale ključno vlogo pri zagotavljanju visoke natančnosti in kakovosti 3D-skeniranja.

Ko smo začeli s samim procesom skeniranja, smo morali biti zelo pozorni na hitrost in natančnost izvedbe. Skeniranje je potekalo zelo počasi, saj je naprava potrebovala čas za zajemanje čim večjega števila slikovnih posnetkov iz različnih zornih kotov. Ta metoda je omogočila, da je programska oprema skenerja vse posnete slike samodejno sestavila v enoten 3D-model. Čeprav je skener ustvaril precej natančen model, ni bil popoln. Pri večjih modelih se pogosto zgodi, da so

manjši detajli, kot so drobne luknje ali nepravilnosti, manj vidni ali pa jih skener ne zazna pravilno. To se je zgodilo tudi v našem primeru, kjer skener ni zaznal lukenj, ki potekajo skozi oprimek (Slika1).

Ker so bile te nepravilnosti pomembne za nadaljnjo analizo, smo model dodatno obdelali s pomočjo napredne programske opreme CREO 10. Ta programska oprema je omogočila natančno popravilo napak, kjer smo lahko popravili luknje, nepravilnosti in druge manjše pomanjkljivosti, ki so nastale med samim procesom skeniranja. CREO 10 je omogočil zelo podrobno prilagajanje in obdelavo modela, saj ponuja širok spekter orodij za 3D-modeliranje, kar nam je omogočilo, da smo dosegli popoln in natančen model, primeren za nadaljnje raziskave.

V tem postopku smo morali natančno spremljati vsak korak, saj je bilo pomembno, da smo ohranili čim več podrobnosti, ki so bile potrebne za nadaljnjo analizo in uporabo v raziskovalnem procesu. Z uporabo teh naprednih tehnologij smo bili sposobni ustvariti model, ki je bil dovolj natančen, da je omogočil nadaljnje raziskave.



Slika 1: Oblak točk skeniranega oprimka

Z vsemi temi navedenimi koraki smo izkoriščali najboljše možnosti 3D-skeniranja, programske obdelave in modeliranja ter dobili optimalen rezultat, ki je ustrezal zahtevam naše raziskave. S tem smo pridobili dragoceno izkušnjo, ki nam bo pomagala pri nadaljnjih raziskavah in uporabi podobnih tehnologij v prihodnosti.

## **4. MODELIRANJE PLEZALNGA OPRIMKA**

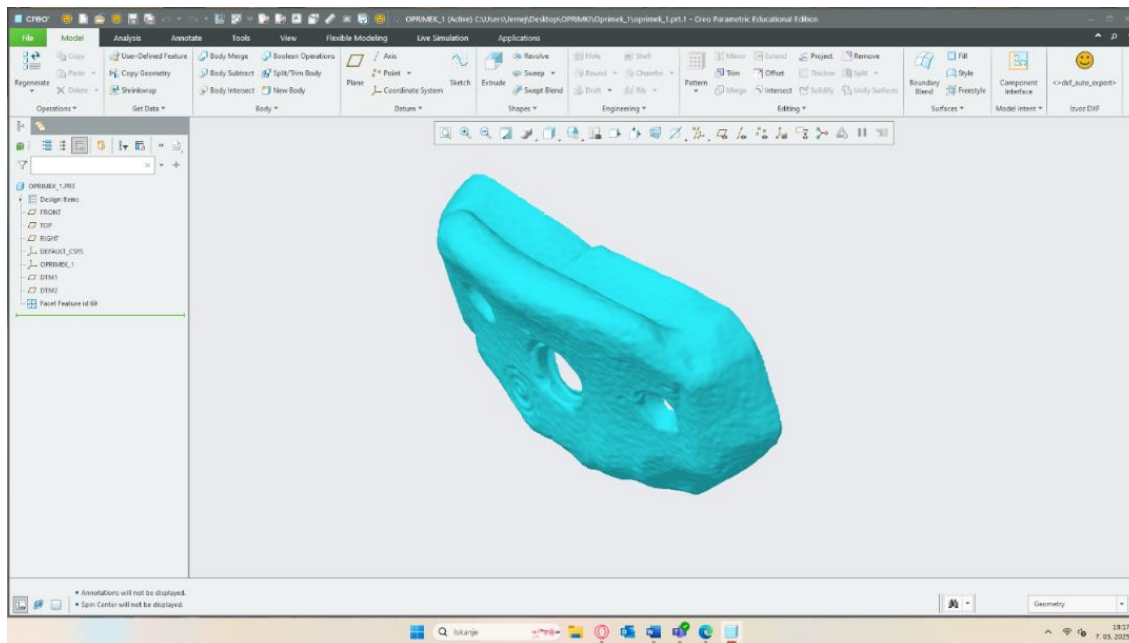
Za modeliranje lukenj v oprimkih smo uporabili programsko opremo CREO Parametric. Modeliranje s pomočjo te programske opreme je sodoben proces oblikovanja in konstruiranja izdelkov s pomočjo parametričnega modeliranja. CREO Parametric je programska oprema podjetja PTC (Parametric Technology Corporation), ki omogoča natančno in prilagodljivo 3D-modeliranje, izdelavo sklopov in izdelavo tehnične dokumentacije. [1, 2,4]

CREO Parametric temelji na parametričnem oblikovanju, kar pomeni, da so geometrijski elementi povezani z dimenzijami in relacijami. spremembe dimenzij ali parametrov se samodejno posodobijo po celotnem modelu, kar omogoča enostavno prilagodljivo oblikovanje. [1,2,4]

Verzija programske opreme CREO 10, ki smo jo uporabili mi, ponuja napredne funkcije, kot so površinsko oblikovanje, ki omogoča oblikovanje kompleksnih površin, prostorsko modeliranje, ki omogoča oblikovanje z manipulacijo mrežastih površin in generativno oblikovanje, ki uporablja algoritme za optimizacijo oblikovanja glede na obremenitve in materialne lastnosti. [3]

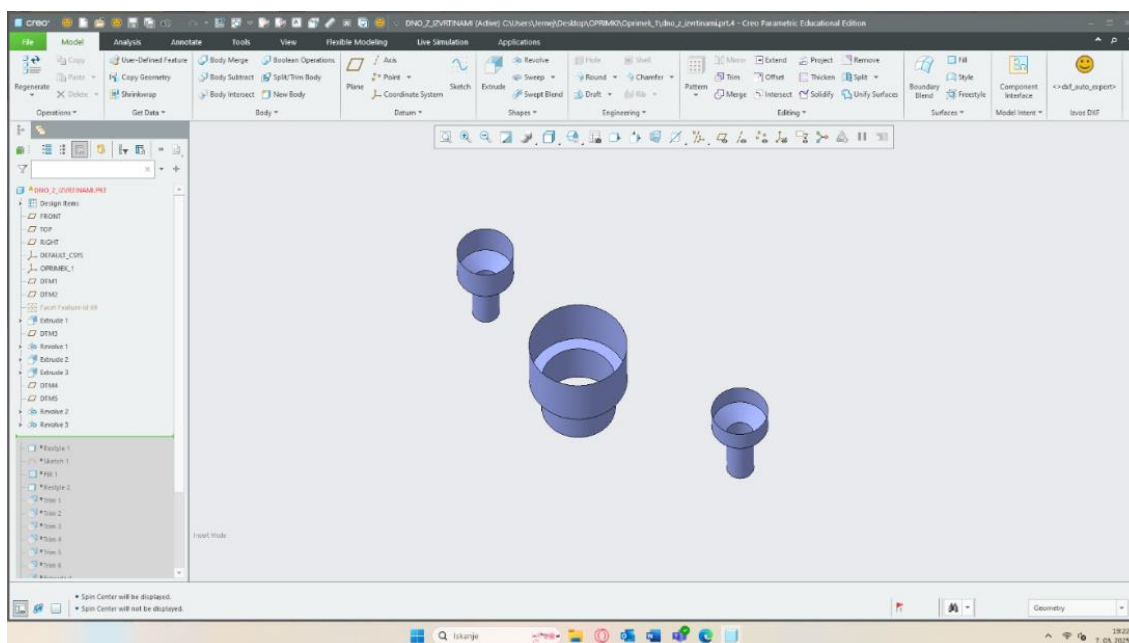
### **4.1 MODELIRANJE LUKENJ**

Ker luknje v modelu niso bile popolne, je bilo potrebno, da jih popravimo sami. Prvi korak je bil uvoz nepopolnega modela v CREO 10 (Slika 2).



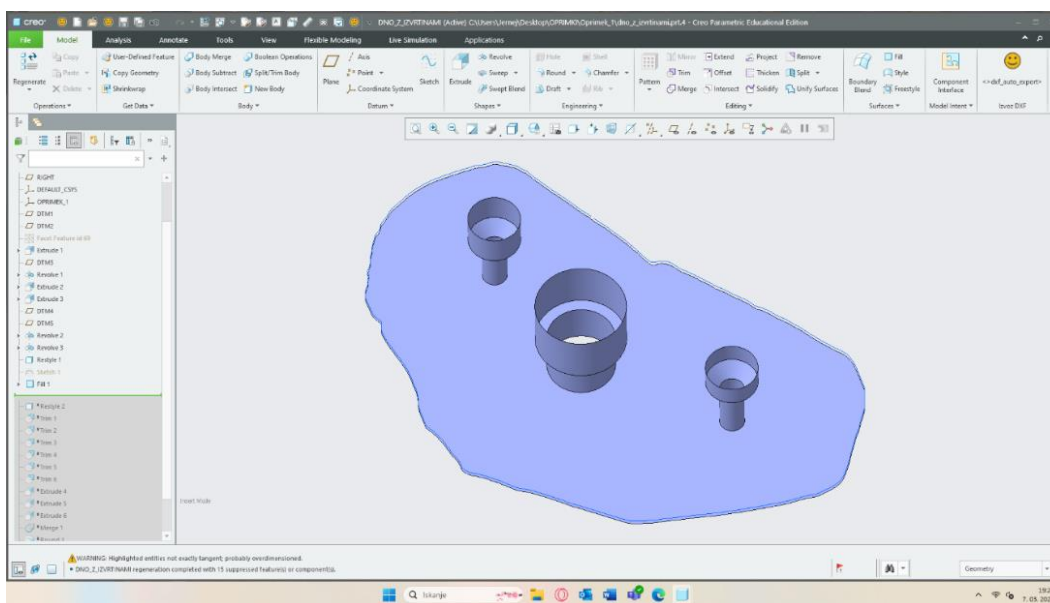
Slika 2: Uvoz .stl formata oprimek v CREO 10

Potem smo z orodjema »extrude« in »revolve« določili pozicijo in globino izvrtin glede na oprimek (Slika 3).



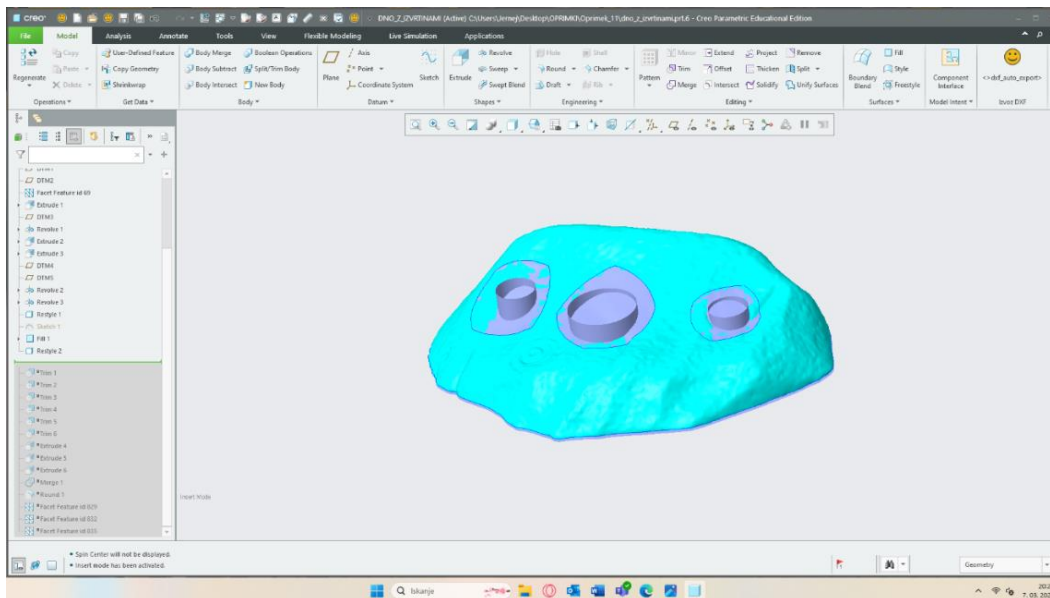
Slika 3: Modelirane izvrtin oprimek

Pri naslednjem koraku smo s funkcijo »restyle« pridobili obliko, skladno z zunanjim robom oprimka, katero smo z orodjem »project« v funkciji »sketch« preslikali na ravnino spodnje ploskve oprimka. To obliko smo s funkcijo »fill« zapolnili, da smo dobili popolno spodnjo ploskev oprimka (Slika4).



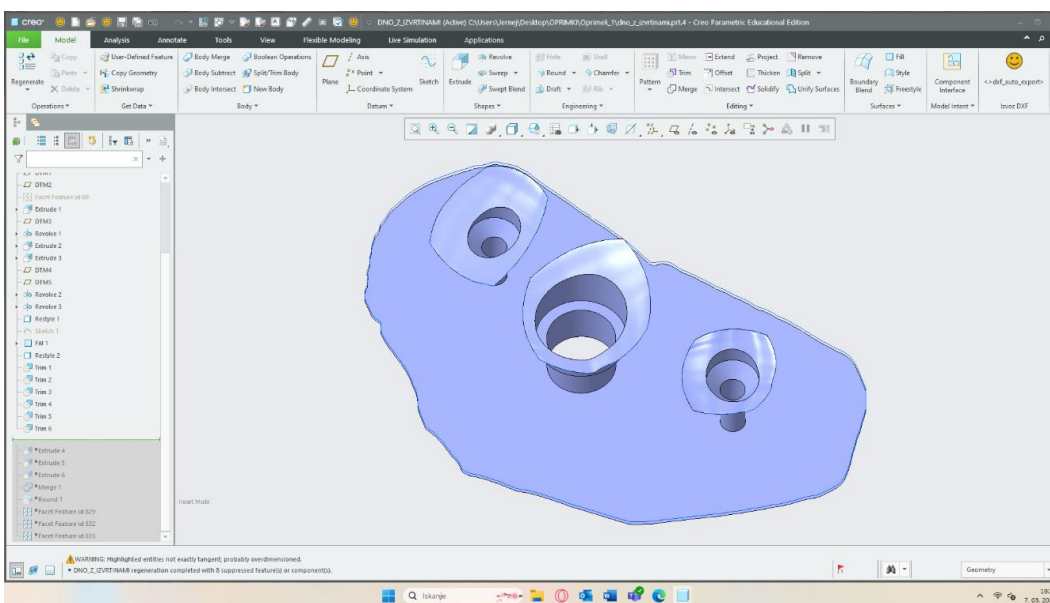
Slika 4: Izvrtine in spodnja površina oprimka

S funkcijo »restyle« smo označili štiri točke okoli vsake od lukenj in dobili tri površine, ki so se prekrivale s površino oprimka (Slika 5).



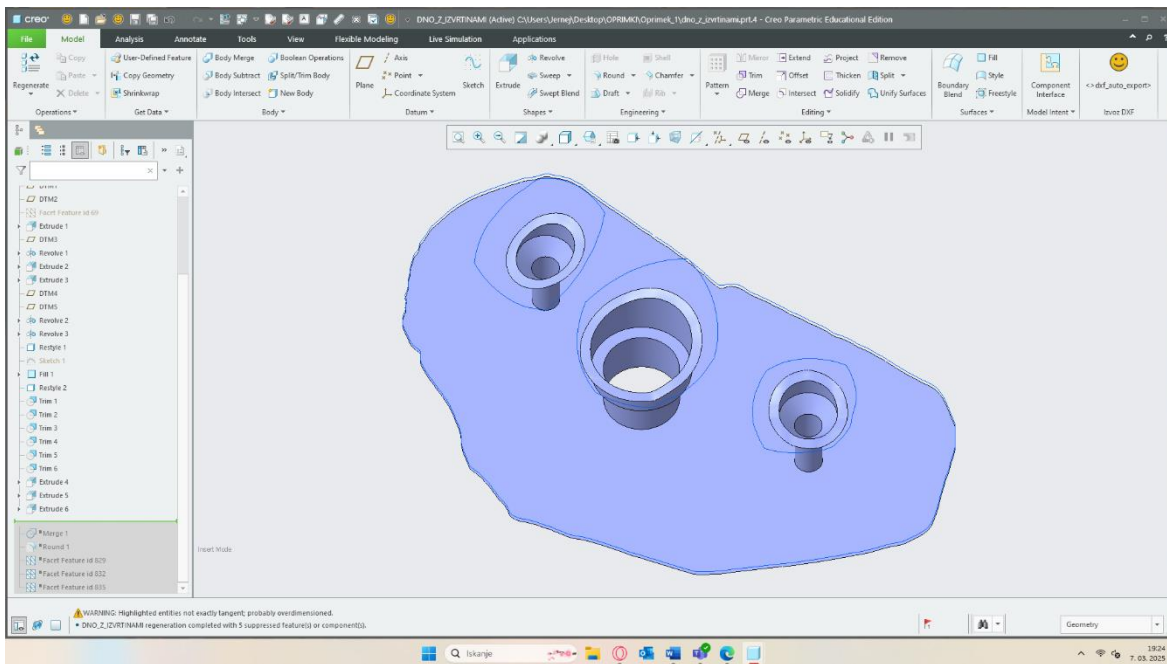
Slika 5: Ploskve na oprimku 1

Nato smo s funkcijo »trim« odrezali odvečne dele pred tem narejenih površin in ekstrudiranih izvrtin (Slika 6).



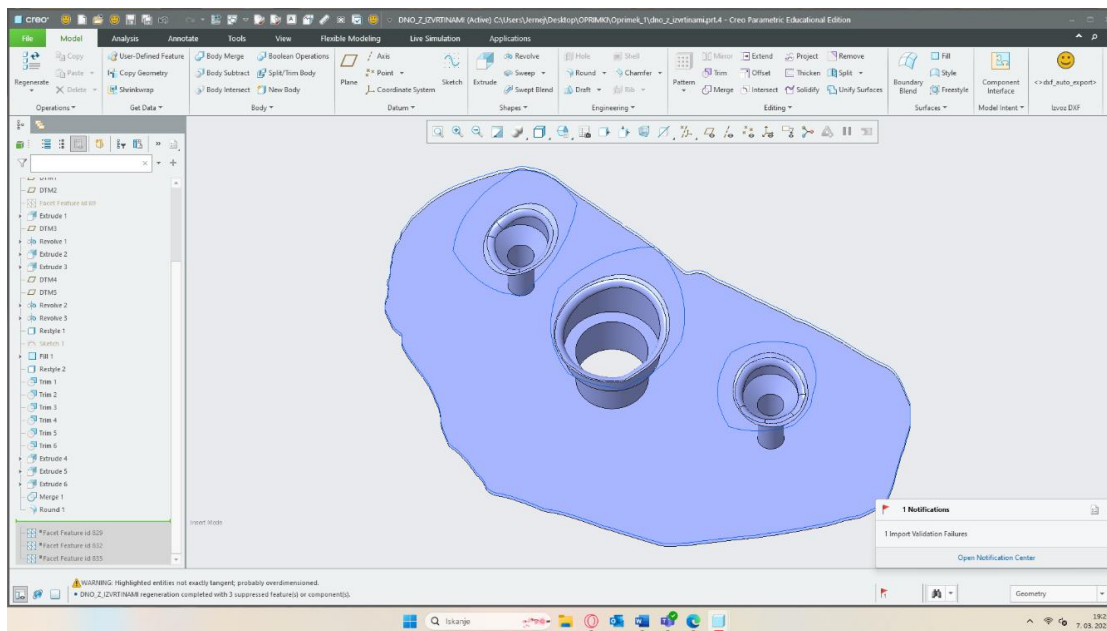
Slika 6: Odrezane ploskve na oprimku

Ker so bile narejene površine prevelike in nepravih oblik, kar bi nam poslabšalo kvaliteto modela, smo jih s funkcijo »extrude« obrezali tako, da so iz narisa izgledale okrogle (Slika 7).



Slika 7: Končane ploskve na oprimku

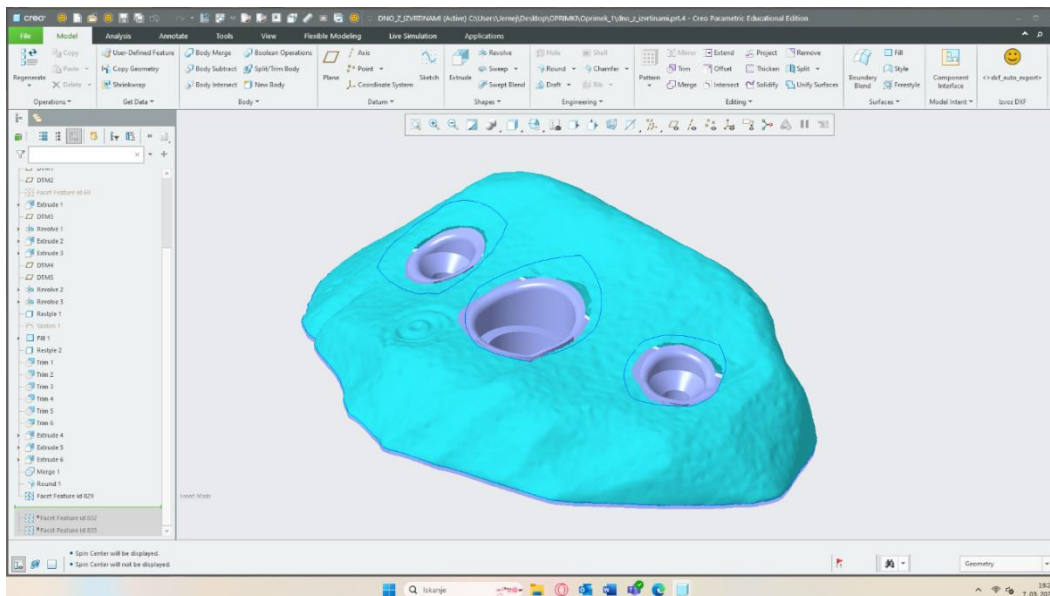
S tem je bil postopek izdelave izvrtin pri koncu. Zadnji potreben korak je bil združitev vseh narejenih elementov s funkcijo »merge« in zaokroževanje ostrih robov s funkcijo »round« (Slika 8).



Slika 8: Končane izvrtine in spodnja ploskev oprimka

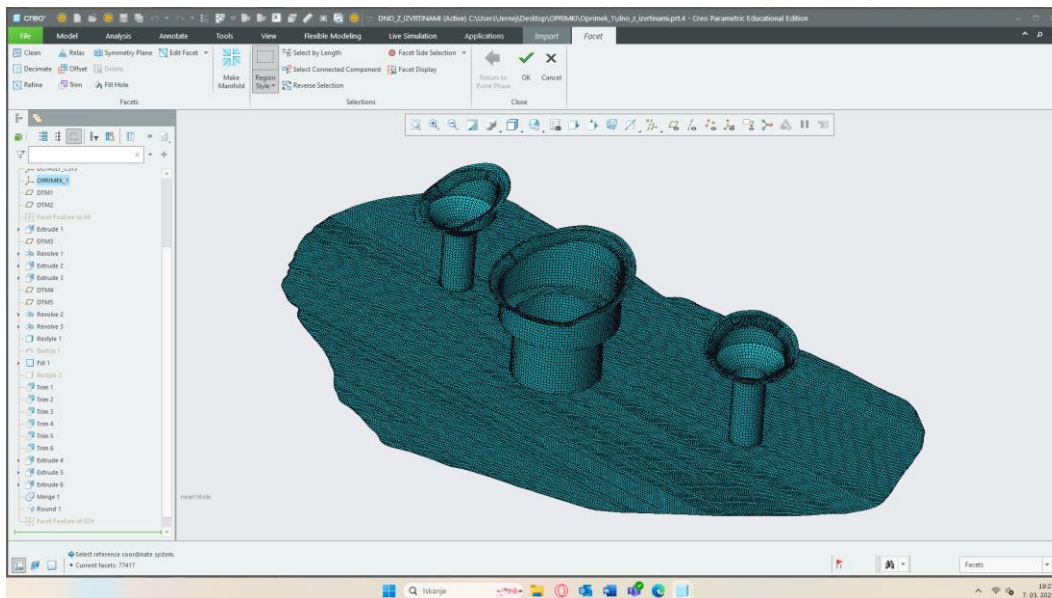
## 4.2 ZDRUŽEVANJE 3D-MODELOV LUKENJ IN OPRIMKA

Ko smo dokončno konstruirali model lukenj, ga je bilo potrebno združiti z modelom oprimka. Prvi korak tega postopka je bil, da smo naredili kopijo prvotnega modela oprimka, kateri smo pobrisali vse površine, ki so se prekrivale z modelom izvrtin (Slika 9).



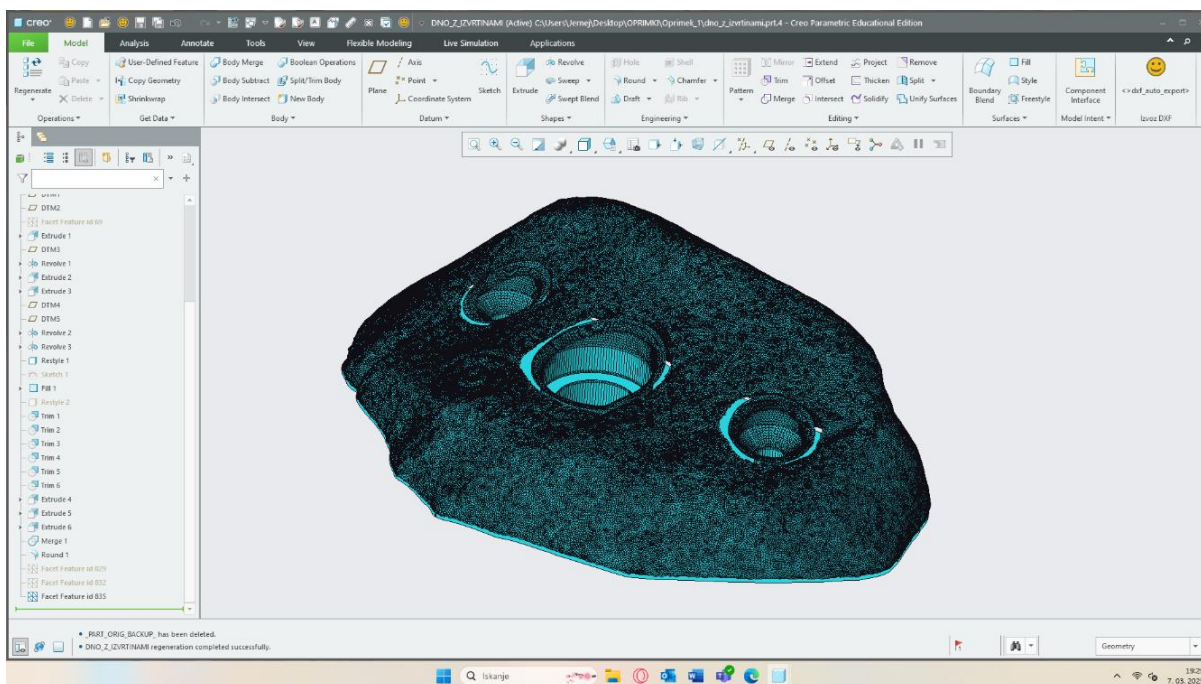
Slika 9: Oprimek s pobrisanimi luknjami

Potem smo kopiran model skrili, model izvrtin pa spremenili iz površine v poln model, da smo ga lahko izvozili kot »stereolithography (.stl)« datoteko, saj program ne dopušča izvoza datotek v tej obliki, če je model le površina. Model smo nato nazaj uvozili in mu pobrisali vse površine, ki smo jih pridobili, ko smo ga spremenili v poln model (Slika 10).



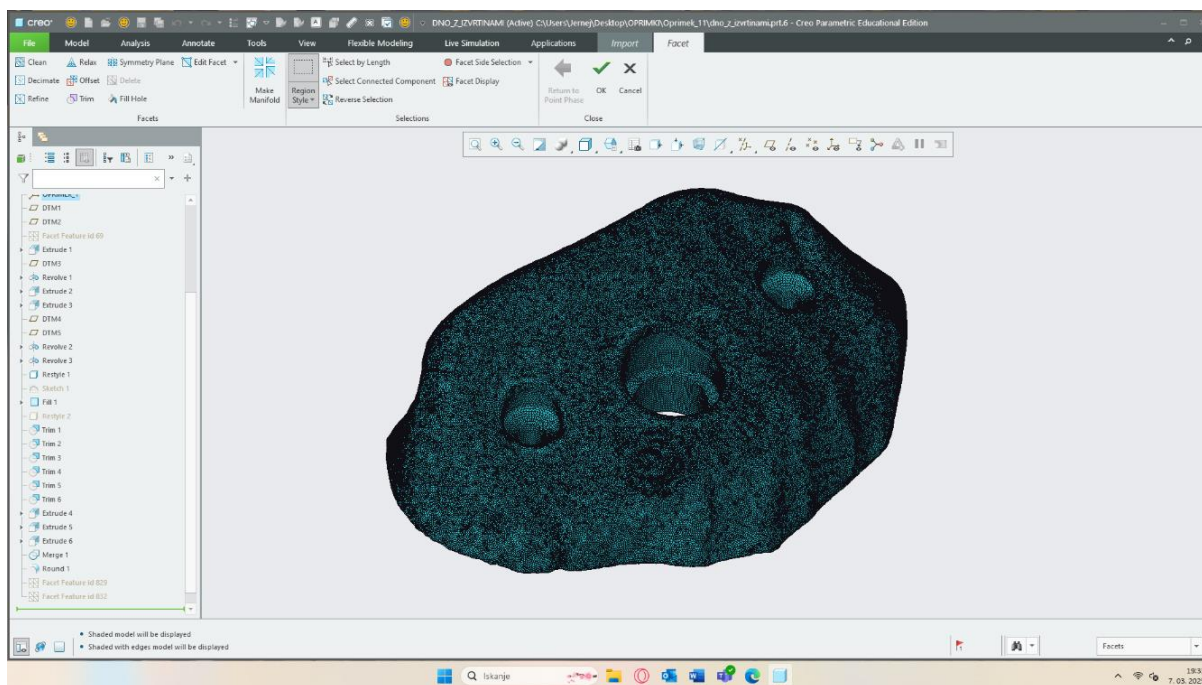
Slika 10: Luknje s spodnjo ploskvijo v formatu .stl

Prej prekopiran model oprimka smo nato ponovno prikazali, vse ostalo nepotrebno pa skrili. Modela lukenj in oprimka smo skupaj izvozili kot datoteko ».stl« in ju ponovno uvozili kot enoten model (Slika 11).

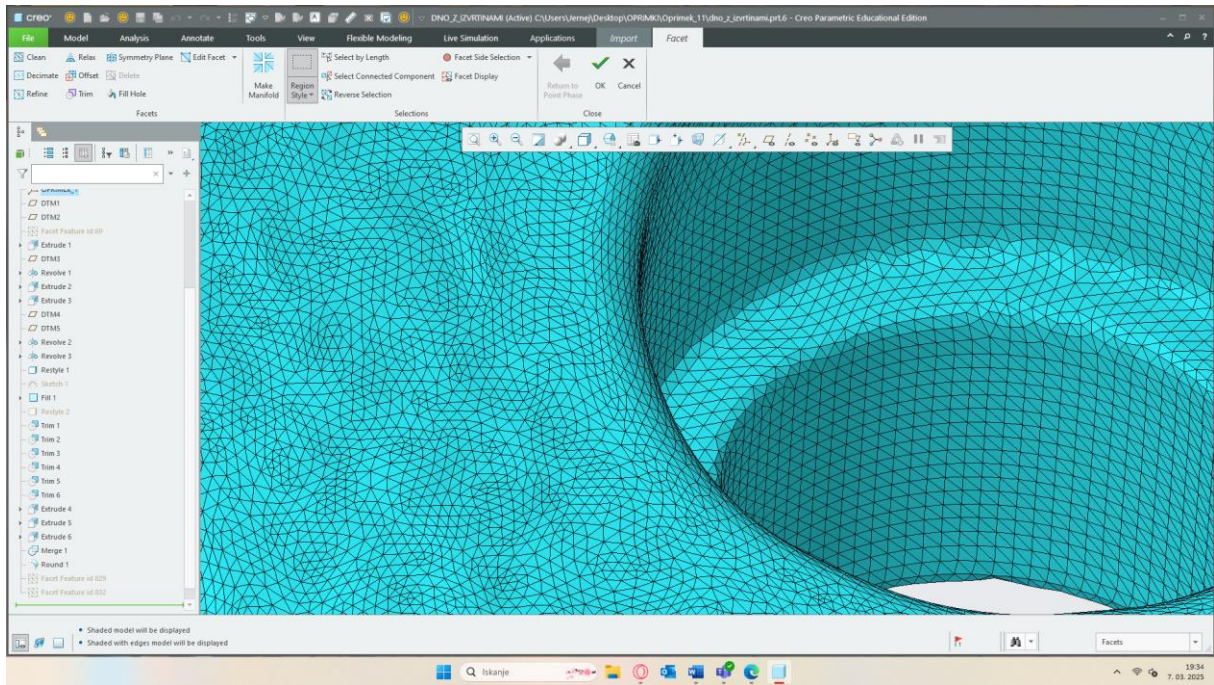


Slika 11: Oprimek in luknje pred zapolnjevanjem praznin

Pri naslednjem koraku smo modelu morali ročno, z orodjem »edit facelet«, dodati površine trikotnikov, da smo ga povezali pri vseh treh luknjah in s spodnjo ploskvijo. Nato smo z orodjem »fill hole« zapolnili luknje, da smo dobili popoln model. Na sliki 12 in 13 je model prikazan поближе, kjer se vidijo površine, iz katerih je narejen.



Slika 12: Dokončan oprimek



Slika 13: Izgled površin oprimka od blizu

## **5. MEHANSKA ANALIZA OPRIMKA**

### **5.1 PROGRAMSKO ORODJE ANSYS**

ANSYS je napredna programska oprema za numerične simulacije, ki se uporablja v inženirstvu za analizo in optimizacijo izdelkov. Omogoča izvajanje različnih vrst simulacij, kot so strukturne analize, termalne analize, simulacije dinamike tekočin (CFD) in elektromagnetne analize. ANSYS se pogosto uporablja v industrijah, kot so avtomobilska, letalska, energetika in elektronika, saj pomaga inženirjem pri izboljšanju zasnove izdelkov, zmanjšanju stroškov fizičnega testiranja in pospeševanju razvoja novih tehnologij. [10,11,12]

Za izvajanje mehanskih analiz oprimka, smo uporabili modul ANSYS Mechanical in ANSYS Workbench. ANSYS Mechanical je programska oprema za analizo po metodi končnih elementov (FEA), ki omogoča reševanje kompleksnih strukturnih inženirskih problemov. Uporablja se za simulacije strukturnih, termalnih, akustičnih, prehodnih in nelinearnih analiz. ANSYS Mechanical omogoča inženirjem, da izboljšajo modele, sprejemajo boljše in hitrejše odločitve pri načrtovanju ter optimizirajo zasnovo izdelkov. [11,13]

ANSYS Workbench je integrirana platforma za simulacije, ki povezuje različne ANSYS aplikacije in omogoča učinkovito upravljanje celotnega procesa simulacij. Omogoča dostop do orodij za modeliranje geometrije, generiranje mreže, izvajanje simulacij in obdelavo rezultatov. [10,13]

Ker je delo z orodjem ANSYS zahtevno in zahteva veliko inženirskega znanja, ki ga še nimamo, smo za pomoč prosili mentorja naloge. Najprej smo poiskali materialne lastnosti 3D-tiskanega polimera PLA. Nato smo pripravili model in mrežo končnih elementov oprimka, nastavili analizo ter robne pogoje, in na koncu analizirali rezultate. [12]

## 5.2 MEHANSKE LASTNOSTI 3D-TISKANEGA POLIMERA PLA

Za izvedbo mehanskih analiz smo najprej potrebovali mehanske materialne podatke 3D-tiskanega polimera PLA. Te smo pridobili s spleta in glavne navajamo v tabeli 1. [14]

Tabela 1: Mehanske lastnosti 3D-tiskanega polimera PLA

<b>Mehanske lastnosti:</b>		<b>Standard:</b>
Gostota	1.248 g/cm <sup>3</sup>	Printed Part; ISO 1183-1
Natezna trdnost	21.2 MPa 34.7 MPa	ZX: Upright; ISO 527 XY: Flat; ISO 527
Deformacija ob poružitvi	1.2 % 4.2 %	ZX: Upright; ISO 527 XY: Flat; ISO 527
Modul elastičnosti	2.131 GPa 2.308 GPa	Young's, ZX: Upright; ISO 527 Young's, XY: Flat; ISO 527
Povprečni modul elastičnosti	2.220 GPa	
Poissonov količnik	0,33	
Lastnosti 3D-tiskanja		
Temperatura postelje	50.0 - 70.0°C	
Temperatura šobe	210 - 230°C	
Premer šobe	0.4 mm	
Hitrost tiskanja	40-80 mm/s	

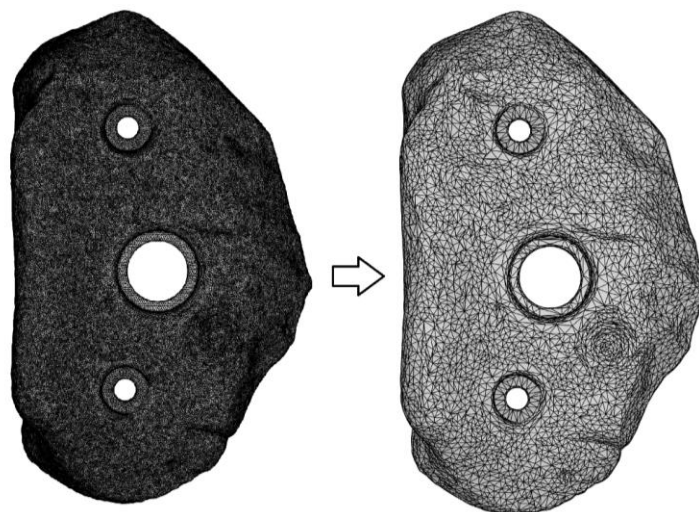
Za analizo smo uporabili povprečni modul elastičnosti. Natezno trdnost bomo uporabili v šibki smeri (v smeri pravokotno na smer tiskanja), ker predvidevamo, da bo material v tej smeri najprej popustil.

Za analizo smo uporabili naslednje podatke:

- Povprečni modul elastičnosti: 2.220 GPa
- Poissonov količnik: 0,33
- Natezno trdnost v pravokotni smeri na smer tiskanja: 21.2 MPa [14]

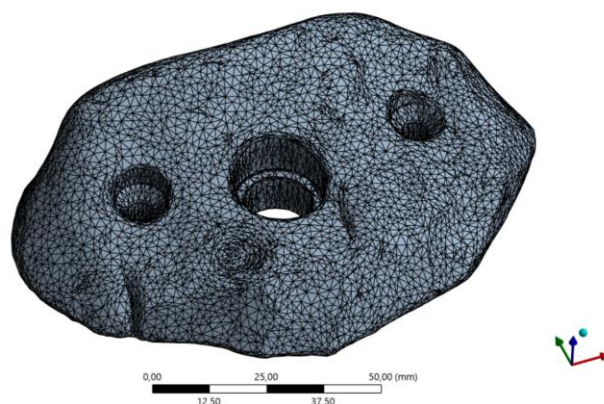
### 5.3 PRIPRAVA MODELA IN MREŽE KONČNIH ELEMENTOV

STL model, ki smo ga uporabili za tiskanje, je imel premajhne trikotnike. Majhni trikotniki bi povzročili preveliko število končnih elementov, zato smo model najprej poenostavili tako, da smo zmanjšali število trikotnikov (Slika 14).



Slika 14: Zmanjšanje števila trikotnikov STL modela

STL model smo nato pretvorili v volumski model, ki smo ga lahko uporabili za mreženje končnih elementov. Uporabili smo tetraedrične končne elemente drugega reda. Ker nam študentska verzija omogoča samo 128 tisoč končnih elementov, smo se odločili poiskati takšno velikost končnih elementov, da dobimo največ sto 128.000 končnih elementov. S poskušanjem smo ugotovili, da je lahko najmanjša velikost končnega elementa 3 mm. Pri tem dobimo 109.209 končnih elementov (Slika 15).



Slika 15: Mreža končnih elementov

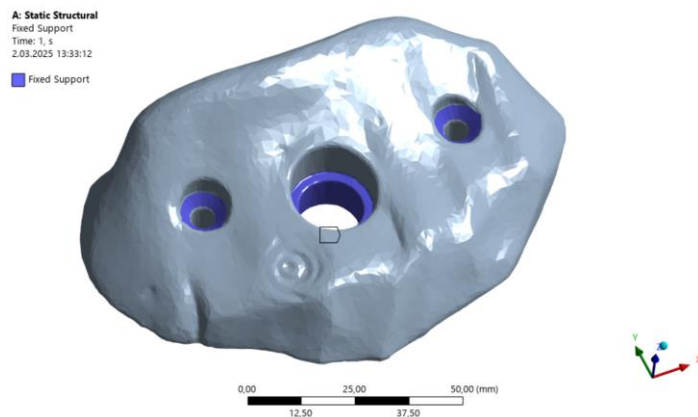
## 5.4 TIP ANALIZE

Uporabili smo linearno elastično analizo, pri čemer smo zanemarili plastično obnašanje. Ker se material v šibki smeri ne obnaša bistveno plastično, smo to zanemarili.

## 5.5 ROBNI POGOJI

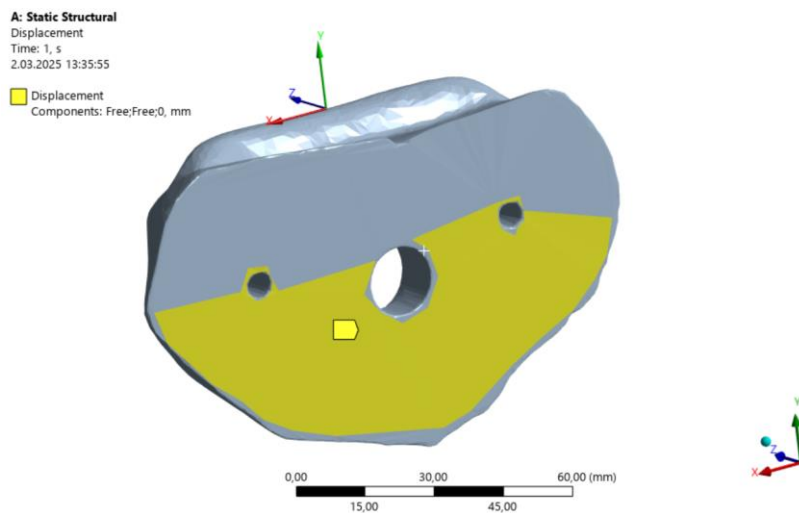
Uporabili smo naslednje robne pogoje:

- Fiksni robni pogoj ( $u_x=0$ ,  $u_y=0$ ,  $u_z=0$ ) na naslednjih površinah (Slika 16):



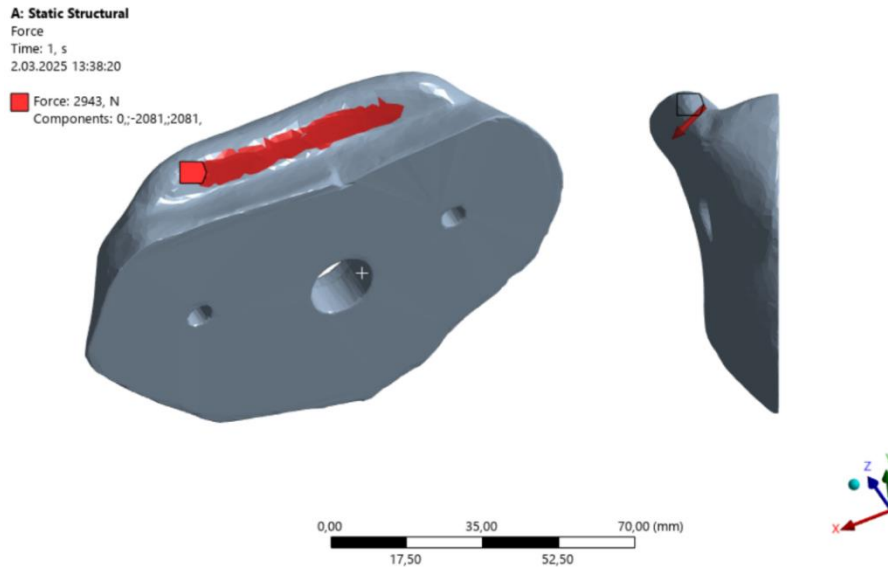
Slika 16: Fiksni robni pogoj

- Fiksni robni pogoj v z-smeri ( $u_z=0$ ) (Slika 17):



Slika 17: Fiksni robni pogoj v Z-smeri

- Obremenitev 2943 N pod kotom 45° na naslednji površini (Slika 18):

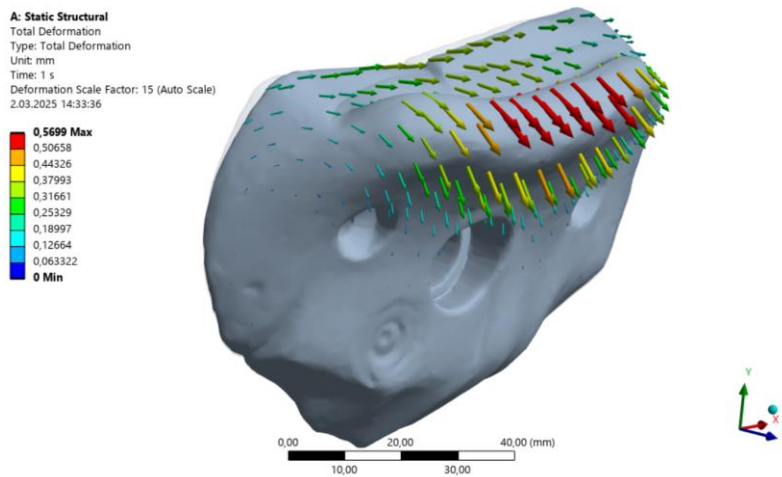


Slika 18: Obremenitev 2943N pod kotom 45°

Velikost obremenitve smo določali s poskušanjem tako, da smo jo spreminjali, dokler nismo kot rezultat dobili največjo napetost 21,2 MPa.

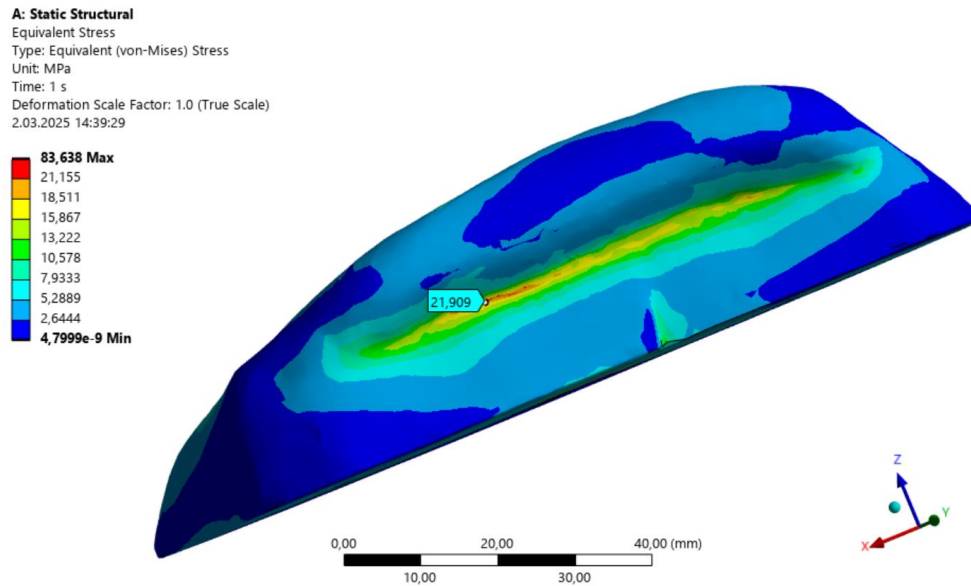
## 5.6 REZULTAT

Najprej smo analizirali pomike, oziroma povese. Ugotovili smo, da se bo izdelek povetil največ za 0,57 mm (Slika 19).



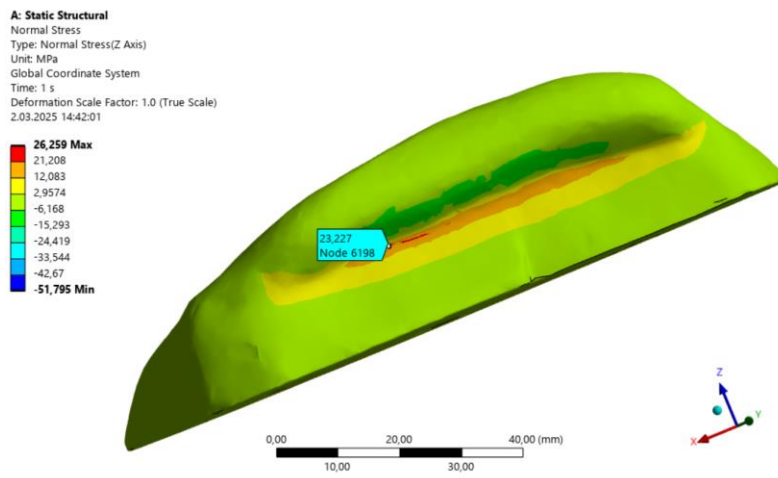
Slika 19: Pomiki

Nato smo analizirali napetosti. Najprej smo pregledali primerjalne napetosti (Mises). Ugotovili smo, da majhno področje na oprimku doseže največjo napetost 21,9 MPa, kar je malo čez največjo dovoljeno napetost 21,2 Mpa (Slika 20).



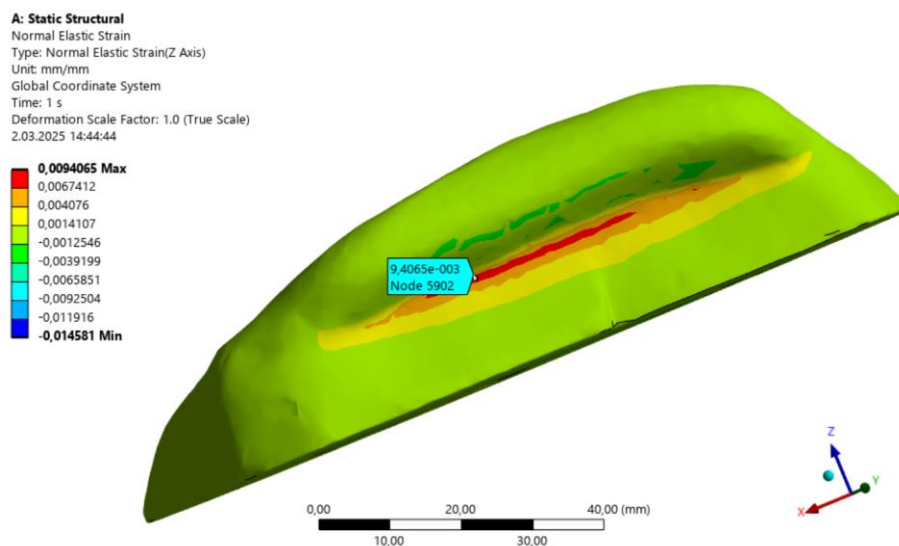
Slika 20: Prijemalne napetosti po Mises-u

Preverili smo tudi normalne napetosti v pravokotni smeri na smer tiskanja, to je smer z. V tej smeri predvidevamo, da material najmanj prenese (21,2 MPa). Ugotovili smo, da pri predpisani obremenitvi 2943 N napetosti v z-smeri znašajo 23,2 MPa, kar je nekoliko več od dovoljene napetosti 21,2 Mpa (Slika 21).



Slika 21: Normalna napetost v Z-smeri

Preverili smo tudi največjo normalno deformacijo v z-smeri. Ugotovili smo, da na izdelku znaša največja normalna deformacija v z-smeri 0,94 %, kar je manj od največje dovoljene deformacije, ki znaša 1,2% (Slika 22).



Slika 22: Normalne deformacije v Z-smeri

Razlika v rezultatu, kjer napetosti presegajo dovoljene vrednosti, deformacije pa so manjše od dovoljenih, pripisujemo temu, da smo uporabili linearno elastični materialni model. V resnici pa se material lahko obnaša nelinearno in plastično. Iz vseh analiz predpostavljamo, da bo izdelek vzdržal največ do sile 2942 N pod kotom 45°, kar izraženo v masi, pomeni 300 kg.

## 6. 3D-TISKANJE

3D-tiskanje je postopek, v katerem se tridimenzionalni objekti ustvarijo z dodajanjem materiala plast za plastjo, dokler ne nastane celoten objekt. V nasprotju s tradicionalnimi metodami obdelave, kot so rezanje ali struženje, kjer material odstranjujemo, 3D-tiskanje omogoča, da material dodajamo. [20,21]

Najpogostejše tehnologije 3D-tiskanja so FDM (Fused Deposition Modeling), SLA (Stereolithography), DLP (Digital Light Process), SLS (Selective Laser Sintering), SLM (Selective Laser Melting), MJ (Material Jetting), DED (Directed Energy Deposition) in LOM (Laminated Object Manufacturing). V našem primeru smo uporabili tehnologijo FDM. [20,21]

## 6.1 FDM – FUSED DEPOSITION MODELING

FDM je najbolj razširjena tehnologija 3D-tiskanja za široko paleto uporabnikov. 3D-tiskalnik v ekstruder vleče filament, kjer ga topi in preko šobe nanaša na delovno površino. Tam se ohladi in strdi. S programiranimi in preciznimi premiki glave tako nastane končni izdelek. [20]

## 6.2 FOTOPOLIMERIZACIJA (SLA & DLP)

Najbolj pogosti sta SLA (Stereolithography) in DLP (Digital Light Processing). SLA je nekoliko natančnejša metoda, saj z uporabo laserja deluje bolj točkovno, s čimer je primernejša za izdelavo manjših kosov. Vir svetlobe s pomočjo ogledal na X in Y osi prodre skozi posodo s smolo, katero selektivno strjuje po plasteh. DLP tehnologija 3D-tiskanja pa uporablja projektor, ki ima širši snop svetlobe. Kos je sicer izdelan hitreje, vendar ne s takšno natančnostjo, zato se ta metoda uporablja za izdelavo večjih kosov. Tehnologiji sta pogosto uporabljeni v zobozdravstvu in zlatarstvu. [19]

## 6.3 NAJPOGOSTEJŠA UPORABA 3D-TISKA

3D-tiskanje se najpogosteje uporablja za izdelavo prototipov, v industrijski proizvodnji, medicinski industriji, avtomobilizmu, letalstvu, gradbeništvu, modni industriji in še mnogo več. [20]

## 6.4 PREDNOSTI 3D-TISKANJA

- **Prostost oblikovanja:** 3D-tiskanje omogoča ustvarjanje zelo kompleksnih geometrij in oblik, ki bi bile z drugimi metodami proizvodnje skoraj nemogoče ali zelo drage.
- **Hitro prototipiranje:** Omogoča hitro izdelavo prototipov, kar omogoča inženirjem in oblikovalcem, da preizkusijo in izboljšajo svoje ideje v kratkem času.

- **Brez odpadkov:** Ker se material uporablja le tam, kjer je potreben, 3D-tiskanje zmanjša količino odpadnega materiala, kar je v primerjavi z nekaterimi tradicionalnimi metodami, kot so rezkanje ali struženje, bolj okolju prijazno.
- **Možnost personalizacije:** 3D-tiskanje omogoča enostavno prilagajanje izdelkov posameznim potrebam, kot so prilagojene naprave, zobne proteze, oblačila in druge personalizirane možnosti.

## 6.5 SLABOSTI 3D-TISKANJA

- **Hitrost:** 3D-tiskanje je pogosto počasno, še posebej pri večjih objektih ali zelo natančnih delih, saj mora tiskalnik graditi objekt plast za plastjo.
- **Kakovost površine:** Kakovost površine natisnjene objekta je lahko groba, z vidnimi plastmi, ki so potrebne za obdelavo. Če je potrebna zelo gladka površina, bo morda potrebna nadaljnja obdelava.
- **Omejena izbira materialov:** Čeprav se izbira materialov za 3D-tiskanje nenehno širi, so nekateri materiali še vedno omejeni v primerjavi s tradicionalnimi proizvodnimi metodami.
- **Cena tiskalnikov:** Zlasti profesionalni 3D-tiskalniki, kot so SLA ali SLS tiskalniki, so lahko precej dragi, čeprav se cena manjših tiskalnikov zmanjšuje. [20,21]

## 6.6 MATERIALI ZA 3D-TISKANJE

Za tiskanje oprimkov smo uporabili štiri različne vrste filamenta. V tem poglavju smo opisali karakteristike vsakega od filamentov.

### 6.6.1 PLA FILAMENT

PLA (polilaktična kislina) je biorazgradljiva termo-plastika pridobljena iz obnovljivih virov, kot so sladkorni trs, korenine tapioke ali koruzni škrob. Filament je na voljo v pestri izbiri barv, je cenovno dostopen, ne proizvaja toksičnih plinov, je biorazgradljiv, nima nagnjenosti k zvijanju, a

ima povprečne mehanske karakteristike, zato je pogosto uporabljen za izdelavo prototipov, modelov in delov za manjšo produkcijsko proizvodnjo. [14]

### **6.6.2 PETG FILAMENT**

PETG (polietilen tereftalat glikol) je spremenjena različica PET (polietilen tereftalat) filamenta. To je termo plastika, ki je pogosto uporabljena v pakiranjih za hrano, plastenkah, mehanskih delih in drugih predmetih, ki zahtevajo vzdržljivost. To je posledica njegove močne kemične odpornosti in vzdržljivosti. Je zanesljiv filament za 3D-tiskanje, z dobrim oprijemanjem slojev. Filament je za tiskanje enostaven, fleksibilen, kemično stabilen, ima dobro odpornost proti udarcem, a je cenovno dražji. [14]

### **6.6.3 ABS PLUS FILAMENT**

ABS plus (akrilonitril-butadien-stiren) ima isto sestavo kot ABS. Je eden izmed bolj pogostih materialov uporabljenih v 3D-tiskanju. Tipično je uporabljen v delih, ki zahtevajo večjo vzdržljivost kot PLA. Filament je znan po njegovi enostavni uporabi, moči, odpornosti, kemični stabilnosti in termalni stabilnosti. Slaba stran filamenta je, da proizvaja toksične pline in da je nagnjen k upogibanju. [15]

### **6.6.4 PET-CF FILAMENT**

PET-CF (polietilen tereftalat z ogljikovimi vlakni) je mešanica materiala PET in ogljikovih vlaken. Ogljikova vlakna povečajo trdnost in moč materiala, hkrati pa preprečujejo upogibanje in krčenje navadnega PET filamenta. Njegova visoka odpornost proti toploti ter majhna absorpcija vlage ga naredijo odlično izbiro za izdelke v vročih ali vlažnih okoljih ter nosilne konstrukcije. [16]

## **6.7 3D-TISKANJE OPRIMKOV**

Za tiskanje oprimkov smo uporabili dva 3D-tiskalnika. To sta Snapmaker J1 High Speed IDEX 3D-printer in Sermoon D1, katera temeljita na tehnologiji FDM. Oprimke smo tiskali iz prej

omenjenih materialov. Za vsak material je bilo potrebno nastaviti parametre 3D-tiskanja. Parametre smo poskusili čim manj spreminjat, da bi bili vsi oprimki tiskani pod enakimi pogoji, a to zaradi raznolikosti materialov ni bilo povsem mogoče. [20,21]

### 6.7.1 PODATKI O 3D-TISKANJU

Iz Tabele 2 je razvidno, da se vsak material tiska pri različnih temperaturah in da je pri vsakem potrebna različna temperatura delovne ploskve. Po temperaturi tiskanja lahko predvidevamo, da je filament PET-CF najbolj vzdržan, saj je za tiskanje potrebna večja temperatura v primerjavi z ostalimi filamenti, ki smo jih uporabili. [18]

### 6.7.2 PARAMETRI TISKANJA

Dobro izbrani parametri 3D-tiskanja so ključen del izdelave dobrega modela. Eni najpomembnejših parametrov, ki smo jih uporabili mi, so višina sloja, debelina sten, gostota polnila, vzorec polnila, temperatura tiskanja, temperatura delovne plošče in hitrost tiskanja. Omenjeni in ostali parametri so lahko bolj podrobno razvidni v Tabeli 2 in 3. V Tabeli 4 pa je razvidno, kako dolgo se vsak od oprimkov tiska, koliko materiala se porabi in koliko vsak od oprimkov stane. [14]

Tabela 2: Podatki o materialih

Podatki o materialih				
<b>Material:</b>	PLA	PETG	ABS Plus	PET-CF
<b>Barva:</b>	Zelena	Modra	Modra	Črna
<b>Proizvajalec:</b>	Azure		Trček	
<b>Temperatura tiskanja:</b>	200°C-230°C	220°C-240°C	240°C-260°C	245°C-270°C
<b>Temperatura podlage:</b>	50°C-60°C	80°C	80°C-100°C	50°C-80°C
<b>Printer:</b>	Creality Sermoon D1			Snapmaker J1
<b>Šoba:</b>	0,4 mm			0,6 mm
<b>Program za razrez:</b>	UltiMaker Cura 5.9.0			

Tabela 3: Osnovni parametri tiskanja

Osnovni parametri tiskanja	PLA	PETG	ABS Plus	PET-CF
Višina sloja	0,16 mm			0,20 mm
Višina začetnega sloja	0,28 mm			
Širina črte	0,40 mm			0,60 mm
Širina črte začetne plasti	125 %			100 %
Število linij sten	6			4
Debelina sten	2,40 mm			
Vrsti red sten	Od znotraj navzven			
Vodoravna razširitev lukenj	0,15 mm			
Poravnava šiva	Najostrejši kot			
Seam Corner Preference	Pametno skrivanje			
Zgornje plasti	8			6
Spodnje plasti	8			6
Debelina zgornje plasti	1,28 mm			1,20 mm
Debelina spodnje plasti	1,28 mm			1,20 mm
Vzorec zgornje/spodnje plasti	Črte			
Gostota polnila	50 %			
Vzorec polnila	Kubičen			
Temperatura tiskanja	225°C	230°C	250°C	260°C
Temperatura delovne plošče	60°C	80°C	90°C	80°C
Hitrost tiskanja polnila	60 mm/s			
Hitrost tiskanja sten	45 mm/s			
Hitrost tiskanja zgornjih/spodnjih plasti	45 mm/s			
Hitrost tiskanja začetne plasti	35 mm/s			
Hitrost ventilatorja	100 %		0 %	
Običajna hitrost ventilatorja pri določeni plasti	4			

Tabela 4: Podatki o porabljenem materialu in ceni

	PLA	PETG	ABS Plus	PET-CF
Čas tiskanja:	7 h 43 min			3 h 41 min
Porabljen material (g):	84	84	84	84
Cena materiala (€/kg):	16,90	16,90	18,89	64,52
Cena oprimka (€):	1,42	1,42	1,59	5,42

### 6.7.3 OPIS NAJBOLJ POMEMBIH PARAMETROV

- Višina sloja:** Debelino vsake posamezne plasti, ki jo tiskalnik naloži eno na drugo, določa višina sloja. Manjša višina sloja (0,1 mm ali manj) poveča natančnost in gladkost modela, a močno podaljša čas tiskanja, medtem ko večja višina sloja (0,2 mm-0,3 mm ali več) skrajša čas tiskanja, vendar so vidne plasti bolj izrazite, model pa lahko ima slabšo mehansko trdnost. Višina sloja je odvisna od premera šobe. Običajno se nastavi med 25 % in 75 % premera šobe.

- **Debelina sten:** Kako debele bodo zunanje stene modela, kar vpliva na trdnost in vzdržljivost, določa debelina sten. Standardno je debelina sten vsaj dvakrat debelejša od premera šobe, a pri večjih obremenitvah je priporočeno uporabiti debelejša stene. Če so stene pretanke, je model lahko krhek ali nepopolno natisnjen.
- **Gostota polnila:** Kako poln bo notranji del modela določa gostota polnila. Večja gostota povečuje trdnost, a hkrati porabi več materiala in časa tiskanja. Tipično se modeli z 10 %-20 % polnila uporabljajo kot dekorativni, brez mehanske obremenitve, tisti s 30 %-50 % polnila se uporabljajo kot funkcionalni modeli, ki imajo srednjo trdnost ter tisti s 70 %-100 % polnila kot zelo trdni modeli, pri katerih je potrebna maksimalna vzdržljivost.
- **Vzorec polnila:** Oblika notranje strukture modela, ki vpliva na ravnovesje med trdnostjo in porabo materiala, je vzorec polnila. Najpogostejši vzorci so »mreža«, ki ima dobro splošno trdnost in se hitro tiska, »trikotniki«, ki imajo zelo močno strukturo in so dobri za obremenjene modele, »gyroid«, ki je odlična kombinacija med trdnostjo in prožnostjo ter »kubični vzorec«, ki je uravnotežen med trdnostjo modela in hitrostjo tiskanja.
- **Temperatura tiskanja:** Ključen parameter, ki vpliva na oprijem slojev, gladkost površine in končno trdnost modela je temperatura tiskanja. Pravilna temperatura je odvisna od vrste materiala (PLA; 200°C-230°C, ABS Plus; 240°C-260°C, PETG; 220°C-240°C in PET-CF; 245°C-270°C). Če je temperatura prenizka, se plasti slabo povežejo, če pa je previsoka, lahko pride do deformacij in nitkanja.
- **Temperatura delovne ploskve:** Temperatura delovne ploskve vpliva na oprijem prve pasti ter preprečuje odlepljanje modela. Če je temperatura prenizka, lahko model odstopi, če pa je previsoka, lahko pride do deformacij spodnjih slojev. Tipične nastavitve za materiale, ki smo jih uporabili, so:
  - PLA → 50°C-60°C
  - ABS Plus → 80°C-110°C
  - PETG → 80°C
  - PET-CF → 50°C-80°C
- **Hitrost tiskanja:** Kako hitro se glava tiskalnika premika pri nanašanju filameta je hitrost tiskanja. Počasnejše tiskanje prinaša boljšo kakovost, a traja dlje, medtem ko hitrejše tiskanje zmanjša čas, a lahko poslabša kakovost. [14,15,16,17,18]

## 6.7.4 RAZLIČICE MODELOV

Vsakemu od modelov smo s funkcijo »fuzzy skin« naredili tri različice. Ta funkcija omogoča ustvarjanje bolj teksturirane zunanje površine modela. To smo storili zato, ker različne teksture zunanje površine dajejo drugačne oprijeme tiskanega oprimka. Različice smo poimenovali F0, F1 in F2. Pri različici F0 funkcije »fuzzy skin« nismo uporabili, zato so bili ti oprimki na otip gladki. Pri različicah F1 in F2 pa smo s funkcijo »fuzzy skin thickness« nastavili dva različna parametra. Funkcija nam pove, kolikšna bo debelina funkcije »fuzzy skin«. Omenjeno debelino smo nastavili na 0,3 mm in 0,6 mm. Ena izmed slabosti te funkcije je, da podaljša čas tiskanja, kar lahko razberemo iz tabele 5. [14,16]

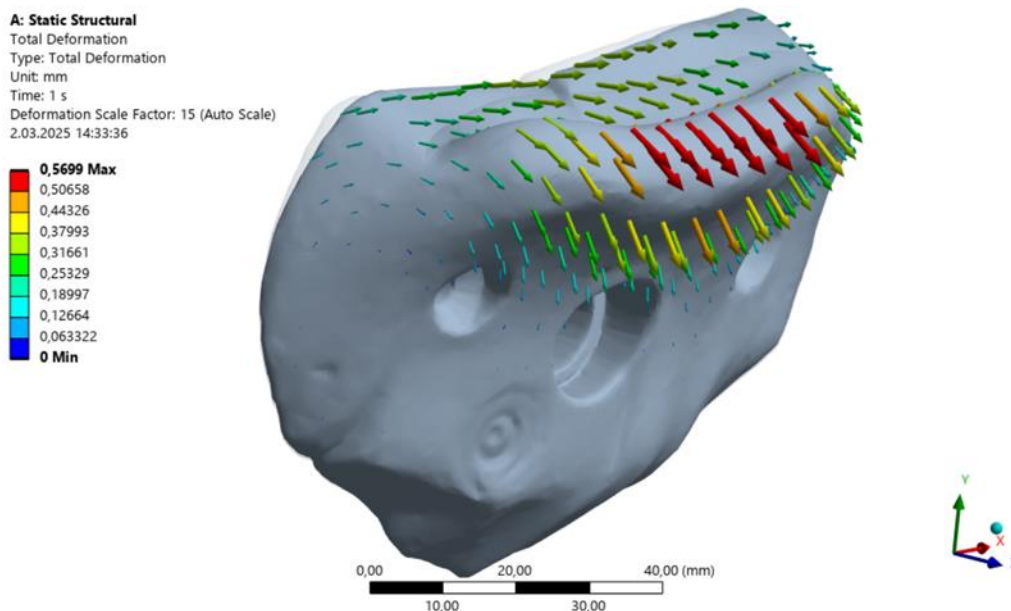
Tabela 5: Parametri različic F

<b>Različica:</b>	<b>F0</b>	<b>F1</b>	<b>F2</b>
<b>Material:</b>	PLA, PETG, ABS, PET-CF		
<b>Fuzzy Skin</b>	ne	da	da
<b>Fuzzy Skin Thickness</b>		0,3mm	0,6mm
<b>Fuzzy Skin Density</b>		1,251/mm	1,251/mm
<b>Printing time:</b>		+4,1%	+7,3%

Modelom oprimkov, narejenih iz filamenta PLA smo naredili še dve dodatni različici, poimenovani L1 in L2. Tema različicama smo zmanjšali gostoto polnila na 30 % in 10 %, debelino stene na 1,6 mm in 0,8 mm in število linij sten na 4 in 2, saj nas je zanimalo, kako ti parametri vplivajo na moč oprimka (Tabela 6 in Slika 23). [14,16]

Tabela 6: Parametri različic L

<b>Različica:</b>	<b>L0</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>
<b>Material:</b>	PLA		
<b>Število linij sten:</b>	6	4	2
<b>Debelina stene:</b>	2,4mm	1,6mm	0,8mm
<b>Gostita polnila:</b>	50%	30%	10%
<b>Čas tiskanja:</b>	7h 43 min	6h 25 min	4h 57min
<b>Porabljen material:</b>	84g	63g	40g



Slika 23: Razlike v notranjosti modelov L

## 7. AKETA O 3D-TISKANIH OPRIMKIH

Ker se sami ne spoznamo na plezanje, smo ustvarili anketo, s katero smo plezalce povprašali o naših oprimkih. Iz ankete (Tabela 7) je razvidno, da sta oprimka iz materialov ABS in PET-CF, različice F1 najbolj ustrezna. Opazimo lahko tudi, da so različice F2 med slabšimi, čeprav smo pričakovali, da bodo najboljše zaradi njihove grobosti površine.

94 % anketirancev je dejalo, da bi naše oprimke kupili, če bi bili bolj cenovno ugodni in če bi zdržali dovolj veliko obremenitev. Iz ankete (Tabela 7) opazimo, da je bil najbolj popularen oprimek PET-CF F1.

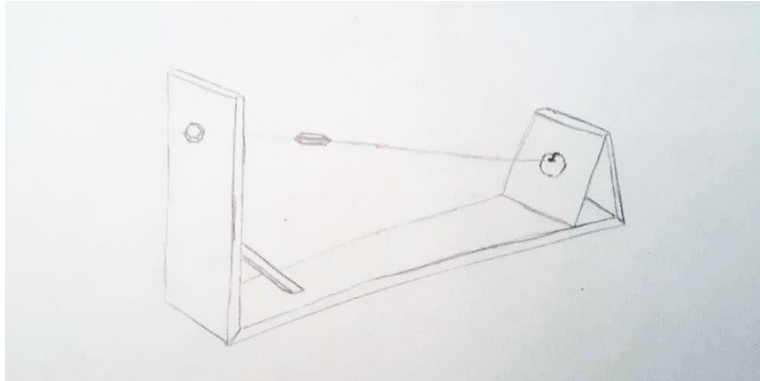
Tabela 7: Rezultati ankete

<b>1. S plezanjem se ukvarjam:</b>						
a) Rekreativno	14	100%				
b) Profesionalno	0	0%				
<b>2. Starost:</b>						
a) 11 let in manj	2	12%				
b) 12-14 let	2	12%				
c) 15-17 let	4	24%				
d) 18-22 let	9	53%				
e) 23-29 let	0	0%				
f) 30-35 let	0	0%				
g) 36 let in več	0	0%				
<b>3. Spol:</b>						
a) Moški	11	61%				
b) Ženska	7	39%				
<b>4. Kako pogosto plezate:</b>						
a) 1x tedensko ali manj	10	56%				
b) 2-5x tedensko	8	33%				
c) Več kot 5x tedensko	0	0%				
<b>5. Kako bi ocenili oprijem PLA (zelenega) oprimka na lestvici od 1 do 5, kjer je 5 najboljši, 1 pa najslabši?</b>						
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Skupaj</b>
PLA	3	11	3	1	0	18
	17%	61%	17%	6%	0%	100%
PLA F1	0	2	12	3	1	18
	0	11%	67%	17%	6%	100%
PLA F2	0	9	4	2	3	18
	0%	50%	22%	11%	17%	100%
<b>6. Kako bi ocenili oprijem ABS (modrega) oprimka na lestvici od 1 do 5, kjer je 5 najboljši, 1 pa najslabši?</b>						
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Skupaj</b>
ABS	2	2	10	4	0	18
	11%	11%	56%	22%	0%	100%
ABS F1	0	2	2	5	9	18
	0%	11%	11%	28%	50%	100%
ABS F2	0	3	6	6	3	18
	0%	17%	33%	33%	17%	100%
<b>7. Kako bi ocenili oprijem PET-CF (črnega) oprimka na lestvici od 1 do 5, kjer je 5 najboljši, 1 pa najslabši?</b>						
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Skupaj</b>
PET-CF	0	5	9	4	0	18
	0%	28%	50%	22%	0%	100%
PET-CF F1	0	0	2	6	10	18
	0%	0%	11%	33%	56%	100%
PET-CF F2	0	1	6	6	0	18
	0%	6%	33%	33%	28%	100%

<b>8. Kako se PLA (zelen) oprimek primerja s cementnim na lestvici od 1 do 5, kjer je 5 najboljši, 1 pa najslabši?</b>						
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Skupaj</b>
PLA	1	11	3	0	0	15
	7%	73%	20%	0%	0%	100%
PLA F1	0	8	5	2	0	15
	0%	53%	33%	13%	0%	100%
PLA F2	0	9	4	2	0	15
	0%	60%	27%	13%	0%	100%
<b>9. Kako se ABS (modrega) oprimek primerja s cementnim na lestvici od 1 do 5, kjer je 5 najboljši, 1 pa najslabši?</b>						
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Skupaj</b>
ABS	1	1	12	1	0	15
	7%	7%	80%	7%	0%	100%
ABS F1	0	0	3	4	8	15
	0%	0%	20%	27%	53%	100%
ABS F2	0	4	3	8	0	15
	0%	27%	20%	53%	0%	100%
<b>10. Kako se PET-CF (črnega) oprimek primerja s cementnim na lestvici od 1 do 5, kjer je 5 najboljši, 1 pa najslabši?</b>						
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Skupaj</b>
PET-CF	1	1	8	5	0	15
	7%	7%	53%	33%	0%	100%
PET-CF F1	0	0	1	4	10	15
	0%	0%	7%	27%	67%	100%
PET-CF F2	0	3	2	8	2	15
	0%	20%	13%	53%	13%	100%
<b>11. Ali bi uporabljali naše oprimek, če bi bili cenovno bolj ugodni od konkurence?</b>						
a) DA				17	94%	
b) NE				1	6%	
<b>12. Če ste na prejšnje vprašanje odgovorili z DA, katerega od oprimkov bi uporabljali?</b>						
a) PLA				0	0%	
b) PLA F1				0	0%	
c) PLA F2				0	0%	
d) ABS				0	0%	
e) ABS F1				2	11%	
f) ABS F2				2	11%	
g) PET-CF				0	0%	
h) PET-CF F1				9	50%	
i) PET-CF F2				5	28%	

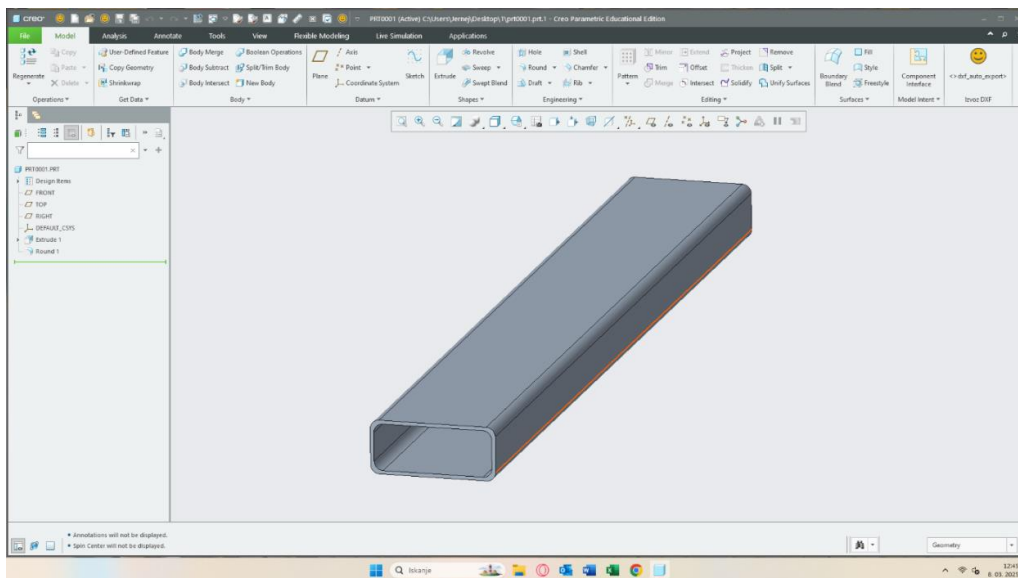
## 8. MODELIRANJE KONSTRUKCIJE ZA TESTIRANJE

Za modeliranje konstrukcije za testiranje smo ponovno uporabili programsko opremo CREO 10. Preden smo z modeliranjem začeli, smo na list papirja narisali skico (Slika 24), kako naj bi konstrukcija izgledala. Kasneje smo idejo spremenili in jo prenesli v programsko opremo CREO 10, kjer smo izdelali model konstrukcije.



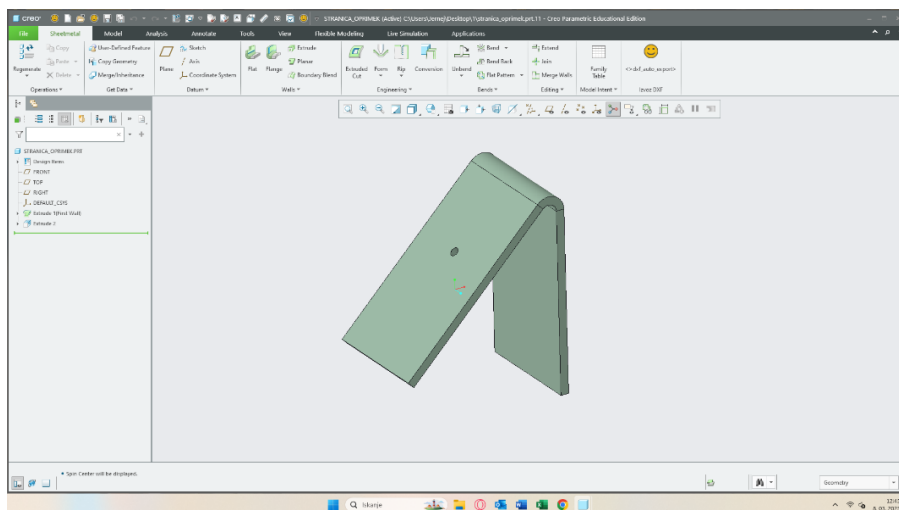
Slika 24: Skica konstrukcije za testiranje

Začeli smo z izdelavo standardnega pravokotnega profila. Uporabili smo profil širok 140 mm, visok 60 mm in dolg 1000 mm, z debelino 4 mm, saj smo predvidevali, da bi se tanjši in manjši profili pod napetostjo upognili (Slika 25).



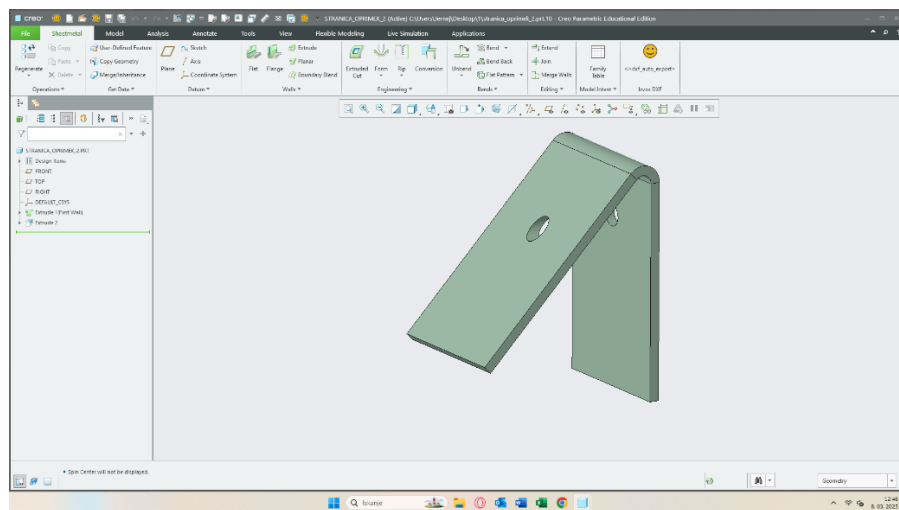
Slika 25: Profil konstrukcije

Nato smo konstruirali dve stranici iz ploščatega železa, ki je dolg 500 mm, širok 140 mm in debeline 10 mm, kateri se razlikujeta le v luknjah. Ena ima luknjo premera 10 mm, namenjena pritrditvi oprimkov (Slika 26).



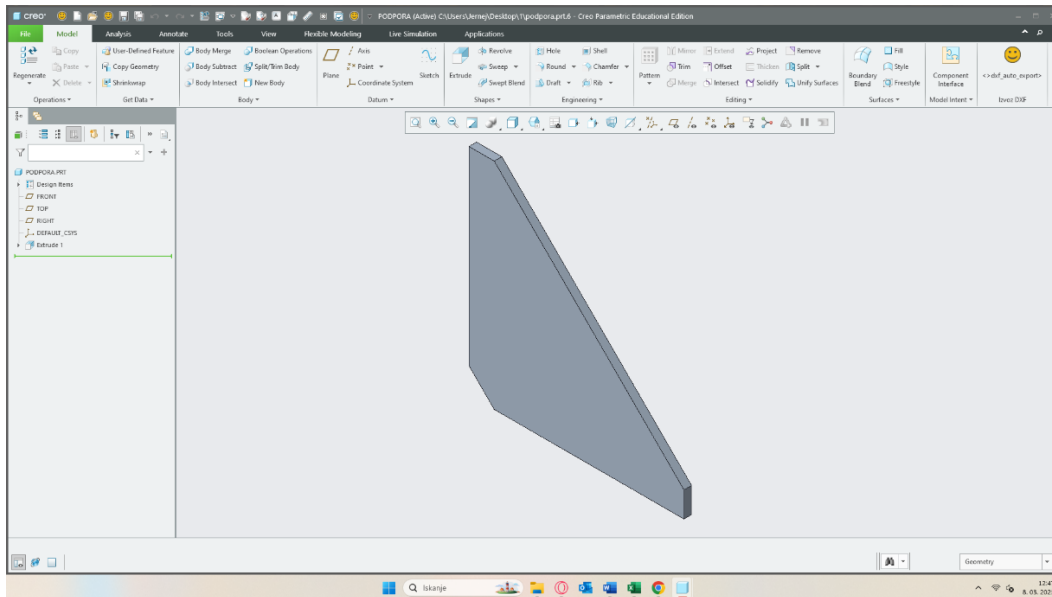
Slika 26: Stranica oprimka

Druga pa ima luknjo premera 24 mm, ki poteka skozi celoto stranico in je namenjena navojni palici M22, s pomočjo katere smo oprimke obremenili (Slika 27).



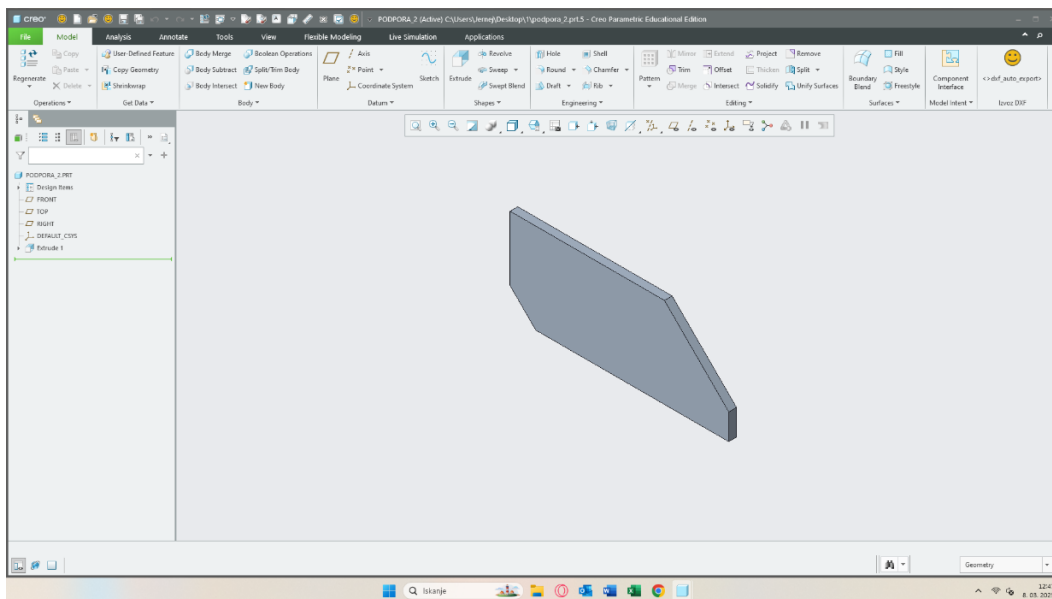
Slika 27: Stranica navojne palice

Ker smo predvidevali, da se bosta stranici pod obremenitvijo upognili, smo zanju konstruirali dve vrsti podpore. Na stran navojne palice smo stranico podprli s »trikotno« podporo iz ploščatega železa debeline 6 mm (Slika 28).



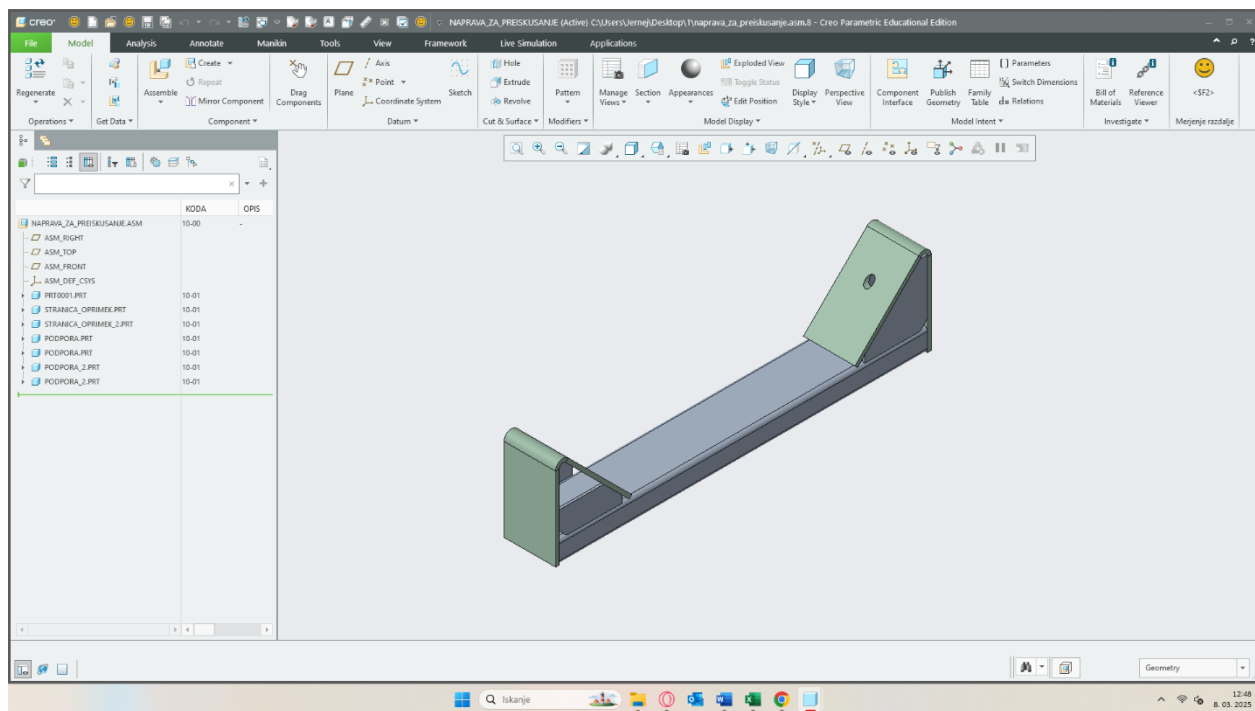
Slika 28: Podpora stranice navojne palice

Na strani oprimka pa smo podporo skrajšali, da smo imeli dostop do spodnje strani stranice, da smo lahko oprimek pritrdili (Slika 29).



Slika 29: Podpora stranice oprimka

Nato smo vse komponente združili s funkcijo »assemble«, da smo dobili vizualizirano idejo, kako bo končni izdelek izgledal (Slika 30).



Slika 30: Končan model konstrukcije za testiranje oprimkov

## 9. ANALIZA KONSTRUKCIJE ZA TESTIRANJE

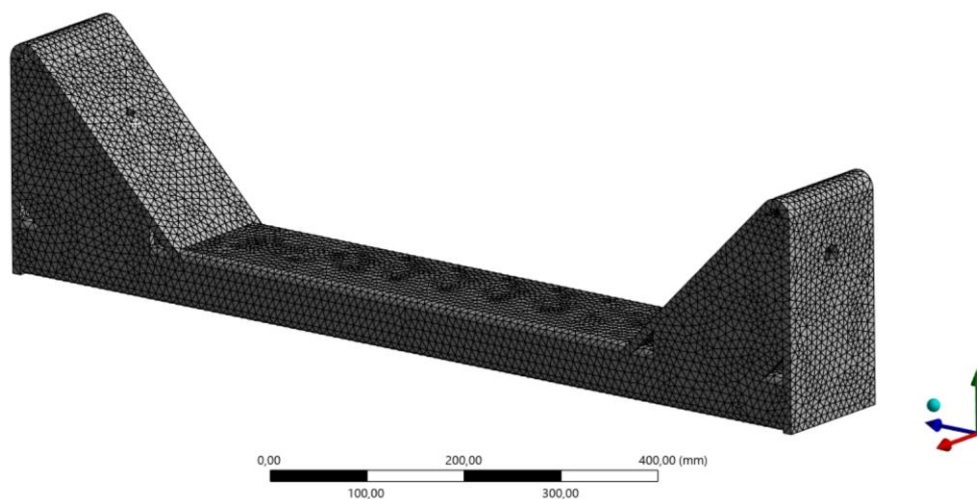
### 9.1 MEHANSKE LASTNOSTI JEKLA

Za analizo smo uporabili splošne lastnosti konstrukcijskega jekla 1.0038 iz strojniškega priročnika:

- Modul elastičnosti: 210 GPa [28]
- Poissonov količnik: 0,3 [28]
- Dopustna napetost: 130 MPa [28]

## 9.2 PRIPRAVA MODELA IN MREŽE KONČNIH ELEMENTOV

3D-model smo pomrežili s tetraedričnimi končnimi elementi drugega reda. Velikost elementa smo izbrali glede na omejitve števila elementov, ki nam ga študentska licenca omogoča. Izbrali smo velikost elementa 8,5 mm, kar nam je dalo 109.252 elementov (Slika 31).



Slika 31: Mreža končnih elementov

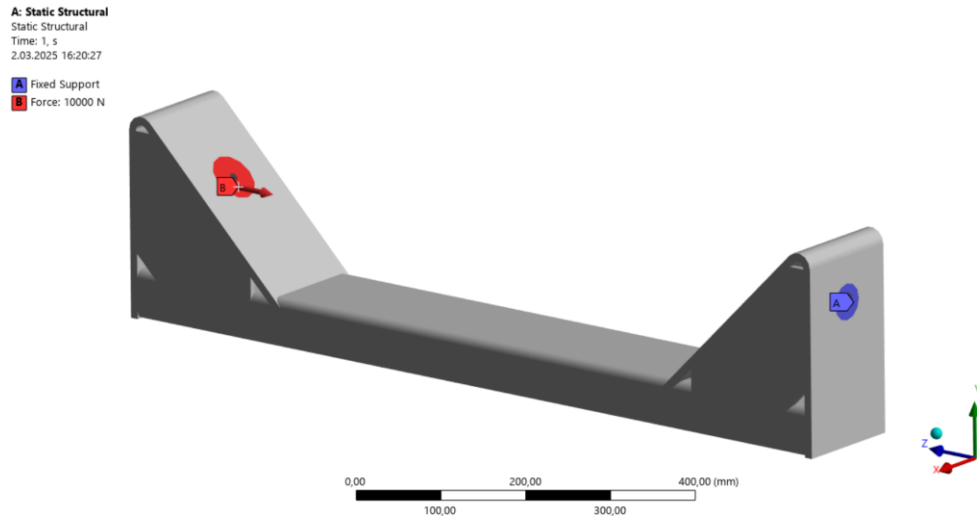
## 9.3 TIP ANALIZE

Uporabili smo linearno elastično analizo, pri čemer smo zanemarili plastično obnašanje.

## 9.4 ROBNI POGOJI

Uporabili smo naslednje robne pogoje (Slika 32):

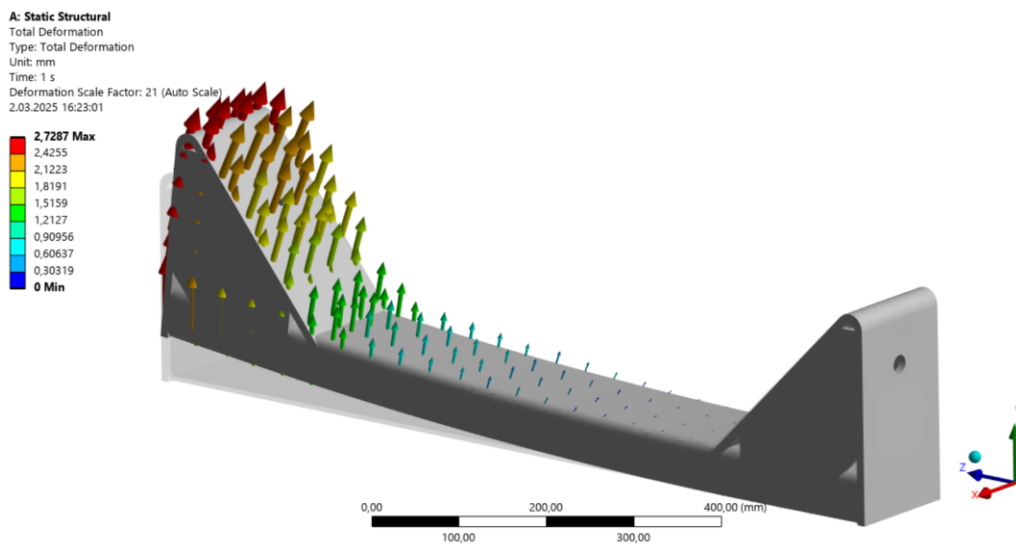
- Fiksni robni pogoj ( $u_x=0$ ,  $u_y=0$ ,  $u_z=0$ ).
- Obremenitev 10kN v z-smeri.



Slika 32: Robni pogoj

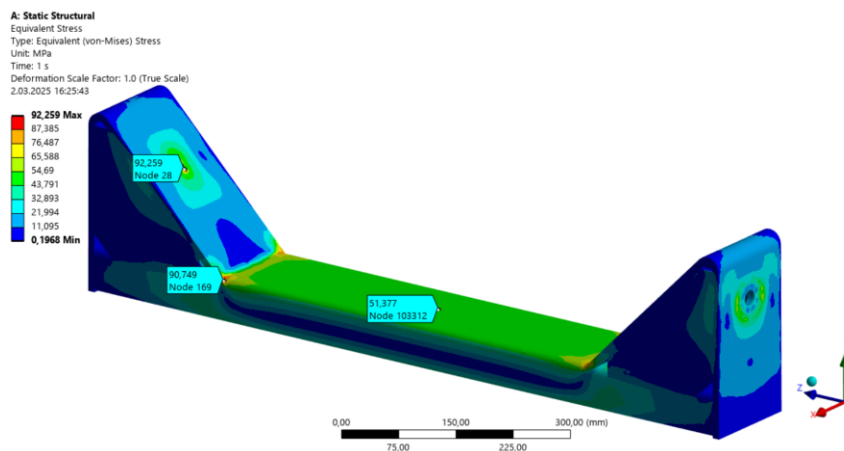
## 9.5 REZULTATI

Najprej smo analizirali pomike oziroma povesa. Ugotovili smo, da se bo izdelek povesil največ za 2,7 mm (Slika 33).



Slika 33: Pomiki

Nato smo analizirali primerjalne napetosti (Mises) (Slika 34). Ugotovili smo, da največja napetost znaša 92 MPa in nikjer ne preseže dopustno vrednost 130 MPa.



Slika 34: Primerjalne napetosti po Mises-u

S pomočjo rezultatov analize lahko potrdimo, da bo nosilec vzdržal silo 10 kN.

## 10. IZDELAVA KONSTRUKCIJE ZA TRSTIRANJE OPRIMKOV

Prvi korak izdelave je bil nakup železa. Ker je bil možen nakup le ploščatega železa, smo stranici morali upogniti sami. To smo storili tako, da smo železo v preši upognili do približno 90 °, nato pa smo ga vpeli v primež, ga z gorilnikom segreli in upognili za željenih 45 °. Da smo dobili želeni kot, smo uporabili šablono (Slika 35 in 36).

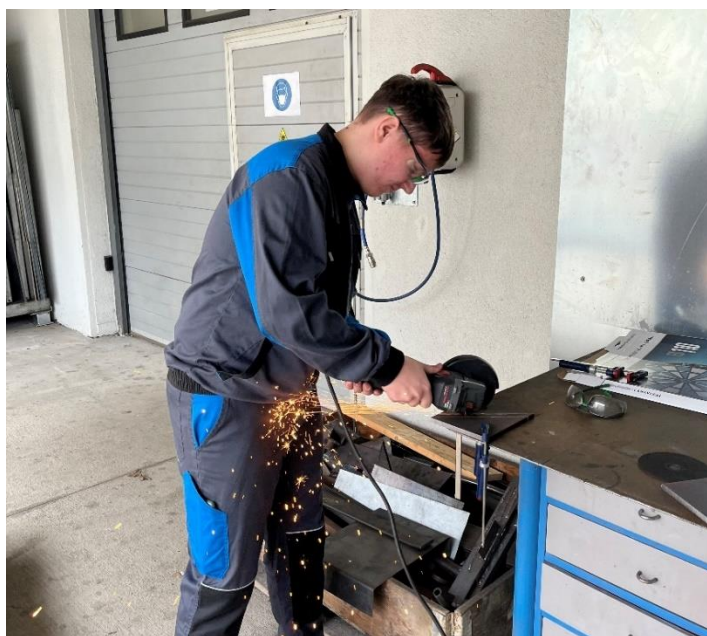


Slika 35: Upogibanje stranice 1



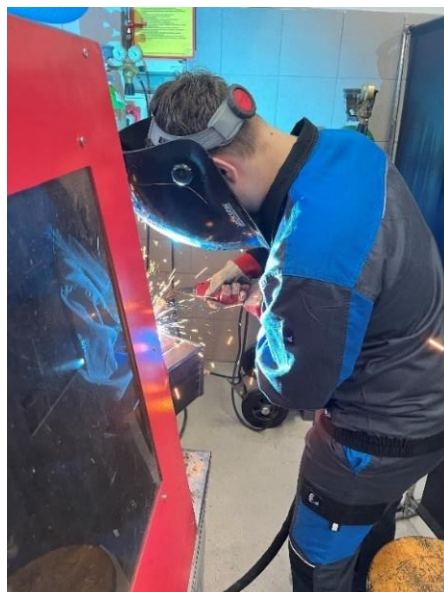
Slika 36: Upognjene stranice

Naslednji korak je bil odrez podpor. To smo storili s kotno brusilko (Slika 37).



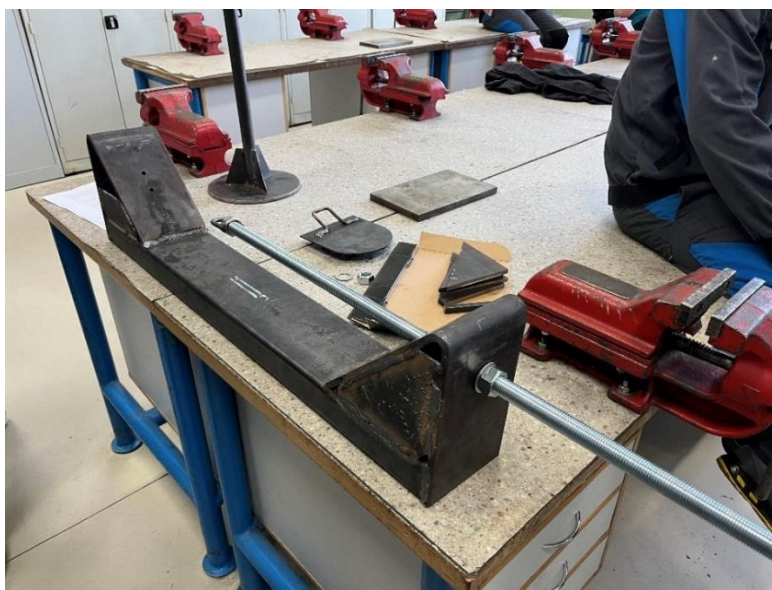
Slika 37: Izdelovanje podpor

Ko smo izdelali podpore, sta se stranici ohladili in vanju smo lahko zvrtili potrebne luknje. Stranici in podpore smo nato privarili na pravokotni profil (Slika 38).



Slika 38: Varjenje konstrukcije

Z varilnim aparatom je bilo tudi potrebno predelati matico tako, da smo nanjo lahko pritrdili merilno napravo. Kos ploščatega železa, ki se nam je zdel ustrezen pa smo predelali v kavelj, da se je zataknil na oprimek in simuliral prste oziroma roko (Slika 39).



Slika 39: Zavarjena konstrukcija

Nato smo zware s kotno brusilko pobrusili (Slika 40).



Slika 40: Brušenje zvarov

Konstrukcijo smo tudi prebarvali s črno barvo (Slika 41).



Slika 41: Končana konstrukcija za testiranje oprimkov

## 11. TESTIRANJE OPRIMKOV

Oprimek, ki smo ga 3D-natisnili, smo podvrgli testiranju trdnosti z uporabo samo izdelane konstrukcije za testiranje. Naša naloga je bila določiti, koliko Newtonov oziroma kilogramov lahko zdrži posamezni oprimek, preden pride do poškodbe ali preloma. Za izvedbo testa smo oprimek pritrdili na konstrukcijo za testiranje pod kotom  $37,2^\circ$ , kar je omogočilo, da je bila sila, ki je delovala na oprimek, enakomerno porazdeljena. Oprimek smo nato pritrdili s pomočjo vijaka na eni strani, medtem ko smo na drugi strani zategnili matico, da je bila stabilnost med celotnim testiranjem ohranjena.

Na oprimek smo namestili kavelj, ki je deloval kot simulacija roke. Ta kavelj je bil na drugi strani opreme opremljen s silomerom, ki je meril silo, ki je delovala na oprimek med testiranjem. Silomer smo pritrdili na navojno palico, ki smo jo nato vrteli. S tem smo omogočili, da se je kavelj počasi pomikal stran od oprimka, kar je ustvarilo natezno silo na materialu, katerega trdnost smo želeli testirati (Slika 42).



Slika 42: Testiranje oprimkov

Med testiranjem smo natančno spremljali vrednosti sile, ki smo jih odčitali iz silomera. Ko smo zbrali podatke, smo si jih zapisali, da bi lahko analizirali, koliko sile je oprimek zdržal pred začetkom morebitne deformacije ali preloma. Vendar pa smo med postopkom testiranja naleteli na težavo, saj je bil prvi silomer, ki smo ga uporabili, zmožen prenesti le do 300 kg oziroma 3 kN, kar ni bilo dovolj za izvedbo celotnega testa. Zato smo morali silomer zamenjati z drugim, ki je bil sposobnejši, saj je prenesel do 1000 kg oziroma 10 kN. S tem smo omogočili, da smo uspešno dokončali testiranje in pridobili točne podatke o trdnosti posameznega oprimka.

## **11.1 REZULTATI TESTIRANJA**

Testirali smo več materialov in več oprimkov istega materiala ter izračunali povprečje (Tabela 8 in Slika 43). Po končanem testiranju, kjer smo izpostavili različne 3D-tiskane oprimke različnim nateznim obremenitvam, smo analizirali rezultate in ugotovili, da je med vsemi materiali, ki smo jih preizkusili, največjo silo zdržal material PETG. Ta material je uspel prenesti največjo obremenitev, in sicer kar 5684 N – največ, kar je bilo doseženo med testiranjem vseh preizkušanih materialov. To kaže na izjemno trdnost in odpornost materiala PETG proti nateznim silam, zaradi česar je zelo primeren za testirane namene. Kljub temu pa so bili oprimki, natisnjeni iz materiala PLA tisti, ki so zdržali največjo povprečno silo. To pomeni, da so se oprimki iz PLA, kljub temu da niso dosegli najvišje posamezne vrednosti sile kot PETG, izkazali za zelo stabilne in dosledne v preizkusih, saj so bili sposobni prenesti povprečno visoke obremenitve brez večjih poškodb ali deformacij. Na osnovi teh ugotovitev smo lahko sklepali, da je material PETG idealen za primer, kjer so potrebni materiali z izjemno trdnostjo pri specifičnih obremenitvah, medtem ko material PLA ponuja dobro kombinacijo trdnosti in doslednosti, kar je lahko pomembno pri različnih konstrukcijskih. Opravljeni testi so tako omogočili bolj jasno predstavo o lastnostih različnih 3D-tiskanih materialov, kar bo v prihodnosti pripomoglo k bolj premišljenemu izboru materialov glede na njihove specifične karakteristike.

Tabela 8: Rezultati testiranja

MATERIAL	SILA(N)			POVPREČJE (N)
PLA	5420	5280	5170	5290
PLA L1	3106	2656	/	2881
PLA L2	914	1004	/	959
ABS	2911	2847	/	2879
PET-CF	1236	2036	/	1636
PETG	4946	5684	5238	5289,3

Na spodnji sliki (Slika 43) so razvidni vsi oprimki, narejeni iz različnih materialov, ki so navedeni v zgornji tabeli (Tabela 8). Oprimki zelene barve, na skrajni levi strani slike, so narejeni iz materiala PLA, različice od leve proti desni pa so L0, L1 ter L2. Sledita dva (štiri polovice) modra oprimka, ki sta narejena iz materiala ABS, nato še preostali modri odri oprimki, ki so narejeni iz materiala PETG. Na skrajni desni strani slike pa sto črni oprimki iz materiala PET-CF.



Slika 43: Oprimki po testiranju

### 11.1.1 NEPRIČAKOVANJA

Bili smo precej začudeni in presenečeni nad rezultati testiranja materiala PET-CF, saj smo pričakovali, da bo ta material zdržal precej večjo silo, kot se je dejansko izkazalo. PET-CF je namreč material, ki vsebuje karbonska vlakna. Zaradi te posebne sestave smo pričakovali, da bo pokazal visoko trdnost in odpornost proti nateznim silam, saj karbonska vlakna običajno pripomorejo k povečanju trdnosti in togosti materiala. Zaradi tega smo bili prepričani, da bo

material PET-CF premagal druge materiale v preizkusu in zdržal precej večjo obremenitev, kot so jo zdržali materiali PLA ali PETG. Vendar pa so se naša predvidevanja spremenila, ko smo izvedli dejanske teste. Material PET-CF je namreč pokazal precej nižjo trdnost, saj je zdržal povprečno le 1636 N, kar je precej manj, kot smo upali. Kljub temu, da je bil material PET-CF presenetljivo šibek v primerjavi z našimi pričakovanji, pa je testiranje pokazalo pomembnost natančnega preverjanja lastnosti materialov v praksi, saj se lahko te lastnosti v realnem svetu precej razlikujejo od tistih, ki jih pričakujemo na podlagi same sestave materiala. To nas je spodbudilo, da bomo v prihodnje še bolj pozorni pri izbiri materialov in izvedbi testiranj, da bi se izognili morebitnim presenečenjem.

## 11.2 ANALIZA HIPOTEZ

- **Hipoteza 1:** Izdelava plezalnih oprimkov je cenejša s tehnologijo 3D-tiska. 3D-tiskani oprimki so cenejši kot tisti na trgu, saj je povprečna cena na trgu 8,75 €, najvišja cena 3D-tiskanih pa 5,42 €. **Hipotezo 1 smo potrdili.** [5,6,7]
- **Hipoteza 2:** 3D-tiskani oprimki bodo imeli primerljiv oprijem s tistimi, dostopnimi na trgu. Nekatere različice 3D-tiskanih oprimkov imajo primerljiv oprijem s tistimi, na voljo na trgu, medtem ko imajo ostali slabšega. **Hipotezo 2 smo delno potrdili.**
- **Hipoteza 3:** Različni materiali vplivajo na oprijem plezalnega oprimka. Različni materiali vplivajo na oprijem 3D-tiskanega oprimka, saj so anketiranci izpostavili, da so oprimki natisnjeni z istimi parametri drugačni na otip. **Hipotezo 3 smo potrdili.**
- **Hipoteza 4:** Oprimek narejen iz filamenta PET-CF bo prenesel največje sile. Oprimek iz filamenta PET-CF ni prenesel največje sile, temveč jo je oprimek iz filamenta PETG, povprečno pa je največjo silo prenesel oprimek iz filamenta PLA. **Hipotezo 4 smo ovrgli.**
- **Hipoteza 5:** 3D-tiskani plezalni oprimki lahko nadomestijo tiste, ki so na volji na trgu. Domnevamo, da bi 3D-tiskani oprimki lahko nadomestili tiste na trgu, saj so pod neugodnim kotom zdržali večkratno silo povprečnega človeka, a hipoteze ne moremo potrditi, ker oprimki niso narejeni po evropskem standardu in bi bilo to še potrebno raziskati. **Hipotezo 5 smo delno ovrgli.**

## 12. ZAKLJUČEK

Iz celotnega procesa raziskovalne naloge smo se naučili ogromno novega, saj na začetku nismo vedeli skoraj nič o 3D-tiskanju, skeniranju in popravljanju modelov za 3D-tiskanje. Naloga je bila za nas pravi izziv, saj smo se med izdelavo soočili z zanimivimi težavami in ovirami, kot so napačna velikost ploščatega železa za podporo, katerega smo morali nadomestiti s tanjšim.

Pri nalogi je ostalo še veliko neraziskanega, kot na primer: ali bi se najboljša verzija oprimka razlikovala, če bi se odločili za drugačno obliko, ali lahko naredimo svojo obliko oprimka, če jo oblikujemo iz gline ali plastelina, jo 3D-skeniramo in ji v programu CREO 10 dodamo luknje ter popravimo pomanjkljivosti.

### 13. VIRI IN LITERATURA

- [1] PTC Creo - 10.12.2024 (online). (Citirano 7.3.2025). Dostopno na:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/PTC\\_Creo?utm\\_source=chatgpt.com](https://en.wikipedia.org/wiki/PTC_Creo?utm_source=chatgpt.com)
- [2] Creo Parametrics - 27.2.2025(online). (Citirano 7.3.2025). Dostopno na:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Creo\\_Parametric?utm\\_source=chatgpt.com](https://en.wikipedia.org/wiki/Creo_Parametric?utm_source=chatgpt.com)
- [3] Creo10 - Katherine Brown-Siebenaler - 18.4.2025 (online). (Citirano 7.3.2025).  
Dostopno na:  
[https://www.ptc.com/en/blogs/cad/whats-new-in-creo-10?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.ptc.com/en/blogs/cad/whats-new-in-creo-10?utm_source=chatgpt.com)
- [4] Creo Parametrics 3D modeling software (online). (Citirano 7.3.2025). Dostopno na:  
[https://www.ptc.com/en/products/creo/parametric?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.ptc.com/en/products/creo/parametric?utm_source=chatgpt.com)
- [5] 1. Set plezalnih oprimkov (online). (Citirano 7.3.2025). Dostopno na:  
<https://svet-sporta.si/izdelek/gorniska-oprema/plezalni-oprimki/plezalni-oprimki-set-prvi-stik-10-mrclimbing/>
- [6] 2. Set plezalnih oprimkov (online). (Citirano 7.3.2025). Dostopno na:  
<https://www.visinska-baza.si/izdelek/set-oprimkov-ocun-jugs/>
- [7] 3. Set plezalnih oprimkov (online). (Citirano 7.3.2025). Dostopno na:  
<https://labring.si/izdelek/plezalni-oprimki-odyssey-jugsa/>
- [8] Strojna programska oprema (online). (Citirano 7.3.2025). Dostopno na:  
<https://www.fs.um.si/studij/informacije-o-studiju/racunalninstvo-in-internet/strojna-in-programaska-oprema-za-studente/>
- [9] Ansys download (online). (Citirano 7.3.2025). Dostopno na:  
<https://www.fs.uni-lj.si/studij/studiraj-na-fs/programaska-oprema-za-studente/ansys/>
- [10] Ansys - 2017 (online). (Citirano 7.3.2025). Dostopno na:  
<https://landing.econengineering.com/sl/>
- [11] Ansys Mechanical - 2025 (online). (Citirano 7.3.2025). Dostopno na:  
<https://www.ansys.com/products/structures/ansys-mechanical>

- [12] Ansys user's guide - 2024 (online). (Citirano 7.3.2025). Dostopno na:

[https://ansyshelp.ansys.com/public/account/secured?returnurl=/Views/Secured/corp/v242/en/wb\\_sim/ds\\_Home.html](https://ansyshelp.ansys.com/public/account/secured?returnurl=/Views/Secured/corp/v242/en/wb_sim/ds_Home.html)

- [13] Ansys Workbench - 2025 (online). (Citirano 7.3.2025). Dostopno na:

<https://www.ansys.com/products/ansys-workbench>

- [14] Types of 3D printer filaments - 2025 (online). (Citirano 7.3.2025). Dostopno na:

<https://www.3ds.com/make/solutions/blog/types-3d-printer-filaments>

- [15] ABS filament – Tomasz G. - 31.8.2021 (online). (Citirano 7.3.2025). Dostopno na:

<https://omnexus.specialchem.com/selection-guide/acrylonitrile-butadiene-styrene-abs-plastic>

- [16] Your Guide to Choosing the Ideal 3D Printing Materials – MakerCarl 3D -2021 (online). (Citirano 7.3.2025). Dostopno na:

<https://makercarl3d.com/blog/3D-printing-materials>

- [17] PET 3D Printing Filament – Written by Dean McClements-19.9.2022 – Updated by Megan Conniff-27.9.2024 (online). (Citirano 7.3.2025). Dostopno na:

<https://www.xometry.com/resources/3d-printing/pet-3d-printing-filament/>

- [18] PET-CF (online). (Citirano 7.3.2025). Dostopno na:

[https://eu.store.bambulab.com/en-si/products/pet-cf?srsId=AfmBOoq42XoDEAxSF4618\\_b8UnmPg0thF3GjAI0x6FR4ok3a83wZ2G2M](https://eu.store.bambulab.com/en-si/products/pet-cf?srsId=AfmBOoq42XoDEAxSF4618_b8UnmPg0thF3GjAI0x6FR4ok3a83wZ2G2M)

- [19] Photogrammetry – 6.1.2025 (online). (Citirano 7.3.2025). Dostopno na:

<https://en.wikipedia.org/wiki/Photogrammetry#Integration>

- [20] 3D-tiskanje 17.7.2024 (online). (Citirano 7.3.2025). Dostopno na:

<https://sl.wikipedia.org/wiki/3D-tiskanje>

- [21] Tehnologije 3D tiskanja – 12.7.2023 (online). (Citirano 7.3.2025). Dostopno na:

<https://www.3way.si/tehnologije-3d-tiskanja/>

- [22] 3D Storitve (online). (Citirano 7.3.2025). Dostopno na:

[https://www.3way.si/3d-storitve-tiskanje-skeniranje-vzvratni-inzeniring-programiranje/?gad\\_source=1#3dskeniranje](https://www.3way.si/3d-storitve-tiskanje-skeniranje-vzvratni-inzeniring-programiranje/?gad_source=1#3dskeniranje)

- [23] A Characterization of 3D Printability – Ioannis Fudos, Margarita Ntousia, Paschalis Charalampous, Theodora Kontodina, Ioannis Kostavelis, Dimitrios Tzouvaras, Leonardo

Bitalis, Dept. of Computer Science and Engineering, University of Ioannana, Centre for Research and Technology Hellas, Information Technologies Institute – 24.10.2020 (online). (Citirano 7.3.2025). Dostopno na:

<https://arxiv.org/abs/2010.12930>

- [24] Characterization of 3D Printers and X-Ray Computerized Tomography – Sunita Khod, Akshay Dvivedi, Mayank Goswami – 27.5.2022 (online). (Citirano 7.3.2025). Dostopno na:

<https://arxiv.org/abs/2206.00041>

- [25] 3D tisk serijskih izdelkov ni več izziv, temveč realnost – 28.6.2021 (online). (Citirano 7.3.2025). Dostopno na:

<https://racunalniske-novice.com/3d-tisk-serijskih-izdelkov-ni-vec-izziv-temvec-realnost/>

- [26] Tehnologija 3D tiskanja izdelave prototipa – Borut Krizmanič – 2018 (online). (Citirano 7.3.2025). Dostopno na:

[https://bb.si/f/docs/diplomska-dela/krizmanic\\_borut-diplomska\\_naloga-1.pdf](https://bb.si/f/docs/diplomska-dela/krizmanic_borut-diplomska_naloga-1.pdf)

- [27] ChatGPT (online). (Citirano 7.3.2025). Dostopno na:

<https://chatgpt.com>

- [28] B. Kraut *idr.*, *Krautov strojniški priročnik*, 17. slovenska popravljena izd., Predelana. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, 2022, str. XX, 832.