

Primjena 3D tehnologija za izradu zamjenskih dijelova izvanbrodskog motora

Žarković, Luka

Master's thesis / Diplomski rad

2024

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:401346>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-19**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Luka Žarković

Zagreb, 2024. godina.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Damir Godec, dipl. ing.

Student:

Luka Žarković

Zagreb, 2024. godina.

IZJAVA

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru prof. dr. sc. Damiru Godecu na pomoći, sugestijama i strpljenju prilikom izrade ovog rada.

Također se želim zahvaliti obitelji na podršci i razumijevanju tijekom studija.

U Zagrebu, 11. srpnja 2024.

Luka Žarković



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
Proizvodno inženjerstvo, inženjerstvo materijala, industrijsko inženjerstvo i menadžment,
mehatronika i robotika, autonomni sustavi i računalna inteligencija

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 - 04 / 24 - 06 / 1	
Ur.broj: 15 - 24 -	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Luka Žarković** JMBAG: 0035223804

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Primjena 3D tehnologija za izradu zamjenskih dijelova izvanbrodskog motora**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Application of 3D technologies for manufacturing of outboard motor spare parts**

Opis zadatka:

Tradicionalne proizvodne tehnologije vrlo često ne omogućuju proizvodnju određenog proizvoda u trenutku kada je on potreban (primjerice iznenadni kvar) te na lokaciji gdje je on potreban (primjerice udaljena, ruralna ili turistička područja - otoci). Ako je došlo do neispravnosti proizvoda koji je starijeg datuma, tada problem njegove zamjene novim postaje još veći. Problemi dodatno rastu u slučaju da je riječ o proizvodu koji je u primjeni sezonski, primjerice tijekom turističke sezone. Jedna od značajki aditivne proizvodnje (3D ispis) upravo je mogućnost proizvodnje – što, kada i gdje je potrebno. U kombinaciji s 3D skeniranjem, aditivna proizvodnja također omogućuje vrlo brzu i jednostavnu rekonstrukciju dijela kojeg je otežano ili nemoguće nabaviti na tržištu tradicionalno proizvedenih dijelova. Pri tome, kombinacija 3D skeniranja i 3D ispisa omogućuje personaliziranu prilagodbu, konsolidiranje proizvoda i optimiranje oblika proizvoda kojeg će se 3D ispisivati.

U okviru teorijskog dijela diplomskog rada potrebno je načiniti analizu i vrednovanje potencijalnih aditivnih tehnologija za izradu dijela izvanbrodskog motora s aspekta raspoloživih materijala i mogućnosti optimiranja oblika 3D ispisanih proizvoda. Također je potrebno analizirati mogućnosti primjene 3D skeniranja pri izradi zamjenskih dijelova (primjerice izravni ispis ili povratno inženjerstvo pri optimiranju oblika). U praktičnom dijelu rada, potrebno je na konkretnom primjeru neispravnog dijela izvanbrodskog motora primijeniti 3D skeniranje, optimiranje oblika i eventualno funkcionalnosti proizvoda te ispisati optimirani oblik proizvoda. U konačnici je potrebno analizirati performanse 3D ispisanih proizvoda te ih usporediti s proizvodom kojeg je zamijenio. Također je potrebno analizirati parametre kao što su vrijeme i troškovi potrebni za 3D skeniranje, optimiranje oblika i 3D ispis.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

Datum predaje rada:

Predviđeni datumi obrane:

9. svibnja 2024.

11. srpnja 2024.

15. – 19. srpnja 2024.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Damir Godec

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Ivica Garašić

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA.....	V
POPIS OZNAKA	VI
SAŽETAK.....	VII
SUMMARY	VIII
1. UVOD.....	1
2. OSNOVE 3D TEHNOLOGIJA.....	2
2.1. Osnovna načela tehnologija 3D ispisa [1], [2].....	2
2.2. Povijest i razvoj 3D ispisa.....	5
3. ADITIVNE TEHNOLOGIJE U INDUSTRIJI.....	9
3.1. Primjena u zrakoplovnoj i svemirskoj industriji [10], [11].....	9
3.2. Primjena u automobilske industriji [11]	11
3.3. Primjena u zdravstvenoj industriji [11].....	13
3.4. Primjena u arhitekturi i građevini [11].....	16
3.5. Primjena u pomorske industriji [19].....	17
4. ADITIVNE TEHNOLOGIJE ZA IZRADU ZAMJENSKIH DIJELOVA IZVANBRODSKIH MOTORA	20
4.1. Vrste aditivnih tehnologija za izradu zamjenskih dijelova izvanbrodskih motora [22]	20
4.2. Materijali za 3D ispis dijelova izvanbrodskih motora [28], [29], [30]	24
4.3. Primjeri primjene 3D ispisa za izradu dijelova izvanbrodskog motora [34], [35].....	28
4.4. Prednosti primjene aditivne tehnologije za izradu zamjenskih dijelova izvanbrodskog motora [37].....	30
5. 3D SKENIRANJE I POVRATNO INŽENJERSTVO	33
5.1. Tehnike 3D skeniranja [38], [39].....	33
5.2. Prednosti 3D skeniranja kod izrade zamjenskih dijelova izvanbrodskog motora [45].	37
5.3. Načelo povratnog inženjerstva kod izrade zamjenskih dijelova izvanbrodskog motora [46], [47]	39
6. OPTIMIRANJE OBLIKA I FUNKCIONALNOSTI.....	42
6.1. Načela optimiranja oblika u kontekstu aditivne proizvodnje [48], [49]	42
6.2. Alati i softveri za optimiranje oblika [53].....	44
6.3. Studije slučaja optimiranja dijelova izvanbrodskih motora.....	51
7. PRIMJENA ADITIVNE TEHNOLOGIJE ZA IZRADU ZAMJENSKOG DIJELA IZVANBRODSKOG MOTORA.....	54
7.1. Opis neispravnog dijela izvanbrodskog motora.....	54
7.2. 3D skeniranje neispravnog dijela izvanbrodskog motora	60
7.2.1. Priprema za 3D skeniranje	61

7.2.2.	Proces skeniranja i obrada podataka	61
7.3.	Optimiranje oblika neispravnog dijela izvanbrodskog motora	66
7.3.1.	Izrada osnovnog modela zamjenskog dijela	67
7.3.2.	Primjena geometrijskih korekcija	68
7.4.	3D ispis zamjenskog dijela izvanbrodskog motora.....	70
7.4.1.	Opis korištenog 3D pisaa i aditivne tehnologije [64].....	70
7.4.2.	Priprema za 3D ispis	72
7.4.3.	Post-procesiranje i završna dorada.....	76
7.5.	Testiranje i analiza performansi zamjenskog dijela	77
7.5.1.	Usporedba s originalnim dijelom.....	77
7.5.2.	Programsko testiranje na naprezanje.....	78
7.5.3.	Testiranje zamjenskog dijela u stvarnim uvjetima.....	78
7.6.	Troškovna analiza	80
7.6.1.	Vrijeme i troškovi 3D skeniranja	80
7.6.2.	Troškovi optimiranja i 3D ispisa.....	81
7.6.3.	Ekonomičnost u odnosu na tradicionalne metode [66].....	82
8.	ZAKLJUČAK.....	84
	LITERATURA.....	85

POPIS SLIKA

Slika 1. 3D CAD model [3].....	2
Slika 2. Prikaz rezanja modela na slojeve [4]	3
Slika 3. Prikaz 3D ispisa [5].....	4
Slika 4. Završna obrada modela pjeskarenjem [6]	5
Slika 5. Prvi 3D pisac [7]	6
Slika 6. 3D pisac devedesetih godina [8]	7
Slika 7. Moderni 3D pisac [9].....	8
Slika 8. 3D ispis u zrakoplovstvu [12]	10
Slika 9. 3D pisac na ISS-u [13].....	11
Slika 10. Primjena 3D ispisa za izradu bloka automobilskog motora [14].....	12
Slika 11. 3D ispisani imobilizator zgloba [15].....	14
Slika 12. Primjena 3D ispisa u dentalnoj medicini [16].....	15
Slika 13. Primjena 3D tehnologija za izradu maketa [17].....	16
Slika 14. 3D ispisana kuća [18].....	17
Slika 15. 3D ispisani propeler [20].....	18
Slika 16. 3D ispisani trup plovila [21]	19
Slika 17. 3D ispisano kućište pumpe [23].....	20
Slika 18. Modeli ispisani DMLS tehnikom [24].....	21
Slika 19. 3D pisac koji koristi SLA tehnologiju [25].....	22
Slika 20. 3D ispisani dijelovi FDM tehnologijom [26].....	23
Slika 21. 3D ispisani model MJF tehnologijom [27]	24
Slika 22. 3D ispisani dio od poliamida [31].....	26
Slika 23. FDM tehnikom 3D ispisane spojne šipke [32].....	27
Slika 24. 3D ispisani gliser od staklenih vlakna [33]	28
Slika 25. 3D ispisani toroidalni propeler [36]	29
Slika 26. 3D skeniranje laserom [40]	34
Slika 27. Strukturirani svjetlosni skener [41].....	34
Slika 28. Prikaz načela fotogrametrije [42].....	35
Slika 29. Ručni 3D skener [43]	36
Slika 30. Prikaz primjene CT skenera [44]	37
Slika 31. Prikaz topološkog optimiranja modela [50].....	43
Slika 32. FEA analiza modela [52]	44
Slika 33. Autodesk Fusion 360 [55].....	45
Slika 34. 3D model u Solidworksu [57].....	46
Slika 35. Solidworks FeatureWorks [58]	47
Slika 36. Solidworks Simulation [59]	48
Slika 37. Ansys simulacijski softver [60].....	49
Slika 38. nTopology simulacijski softver [61]	50
Slika 39. Altair Inspire alat za optimiranje modela [62].....	51
Slika 40. Tomos izvanbrodski motor	55
Slika 41. Pokretački mehanizam Tomos izvanbrodskog motora	56
Slika 42. Prikaz neispravnog dijela u sklopu pokretačkog mehanizma	57
Slika 43. Prikaz neispravnog dijela uz odlomljeni dio.....	58
Slika 44. Stražnja strana neispravnog dijela.....	59
Slika 45. Bočna strana neispravnog dijela	60

Slika 46. Neispravni dio na stabilnoj i osvijetljenoj podlozi.....	62
Slika 47. Procesiranje skeniranih podataka.....	63
Slika 48. 3D model skeniranog dijela	65
Slika 49. Različiti formati za izvoz 3D skeniranog modela.....	66
Slika 50. 3D model tvorničkog dijela.....	68
Slika 51. Prikaz kritične točke originalnog dijela	69
Slika 52. Optimirani model	70
Slika 53. Creality Ender-3 V2 Neo 3D pisac [65].....	72
Slika 54. Postavljanje modela na radnu površinu	73
Slika 55. Izbornik parametara za 3D ispis.....	74
Slika 56. Prikaz rezanja 3D modela	75
Slika 57. Dio G-koda za 3D ispis modela	76
Slika 58. 3D ispisani model nakon završne obrade.....	77
Slika 59. Simulacija naprežanja optimiranog dijela.....	78
Slika 60. Testiranje zamjenskog dijela u stvarnim uvjetima.....	79

POPIS TABLICA

Tablica 1. Usporedba mobilne aplikacije i ručnog uređaja za 3D skeniranje 81

POPIS OZNAKA

Oznaka	Opis
CAD	eng. <i>Computer-aided design</i> - Računalno potpomognuto projektiranje
CAE	eng. <i>Computer-aided engineering</i> - Računalno potpomognuto inženjerstvo
CAM	eng. <i>Computer-aided manufacturing</i> - Računalno potpomognuta proizvodnja
CT	eng. <i>Computed tomography</i> - Računalna tomografija
DLP	eng. <i>Digital light processing</i> – Digitalna obrada svjetlom
DMLS	eng. <i>Direct metal laser sintering</i> – Izravno lasersko sinteriranje
EBM	eng. <i>Electron beam melting</i> – Taljenje snopom elektrona
FDM	eng. <i>Fused deposition modeling</i> – Postupak taložnog očvršćivanja
FEA	eng. <i>Finite element analysis</i> - Analiza konačnih elemenata
ISS	eng. <i>International Space Station</i> - Međunarodna svemirska postaja
MJF	eng. <i>Multi jet fusion</i> – Višestruko spajanje
SLA	eng. <i>Stereolithography</i> - Stereolitografija
SLM	eng. <i>Selective laser melting</i> – Selektivno lasersko taljenje
SLS	eng. <i>Selective laser sintering</i> - Selektivno lasersko srašćivanje

SAŽETAK

Rad istražuje različite aspekte i primjene aditivnih tehnologija, s posebnim naglaskom na izradu zamjenskih dijelova izvanbrodskih motora. U uvodnom dijelu pruža se osnovno razumijevanje 3D tehnologija, uključujući njihov princip rada, povijest, razvoj i različite vrste 3D ispisa. Dalje se analiziraju aditivne tehnologije u raznim industrijama kao što su aerosvemirska, automobilska, zdravstvena, arhitektura i gradnja te pomorska industrija.

Poseban pažnja pridana je aditivnim tehnologijama za izradu zamjenskih dijelova izvanbrodskih motora, s detaljnim pregledom vrsta tehnologija, korištenih materijala te praktičnih primjera njihove primjene. Opisuju se i tehnike 3D skeniranja te princip povratnog inženjerstva koji su ključni za optimizaciju oblika i funkcionalnosti zamjenskih dijelova.

Rad detaljno obrađuje postupak izrade zamjenskog dijela izvanbrodskog motora, počevši od opisa neispravnog dijela, preko 3D skeniranja i optimizacije oblika, do samog 3D ispisa i završne obrade. U završnom dijelu analiziraju se performanse zamjenskog dijela, uključujući usporedbu s originalnim dijelom, programsko testiranje na naprezanje te testiranje u stvarnim uvjetima. Troškovna analiza pruža uvid u vrijeme i troškove povezane s 3D skeniranjem, optimizacijom i ispisom, te ekonomičnost u odnosu na tradicionalne metode. Rad se zaključuje sažetkom ključnih nalaza i implikacijom za buduće primjene aditivnih tehnologija.

Ključne riječi: aditivne tehnologije, izvanbrodski motori, zamjenski dijelovi, povratno inženjerstvo, optimiranje oblika, industrijske primjene

SUMMARY

The paper explores various aspects and applications of additive technologies, with a particular focus on the production of replacement parts for outboard motors. The introductory section provides a basic understanding of 3D technologies, including their working principles, history, development, and different types of 3D printing. Furthermore, additive technologies in various industries such as aerospace, automotive, healthcare, architecture and construction, and maritime are analyzed.

Special attention is given to additive technologies for producing replacement parts for outboard motors, with a detailed review of the types of technologies, materials used, and practical examples of their application. Techniques of 3D scanning and the principle of reverse engineering, which are crucial for optimizing the shape and functionality of replacement parts, are also described.

The paper thoroughly examines the process of creating a replacement part for an outboard motor, starting from the description of the faulty part, through 3D scanning and shape optimization, to the actual 3D printing and final processing. The concluding section analyzes the performance of the replacement part, including a comparison with the original part, software stress testing, and real-world testing. A cost analysis provides insights into the time and costs associated with 3D scanning, optimization, and printing, as well as the cost-effectiveness compared to traditional methods. The paper concludes with a summary of key findings and implications for future applications of additive technologies.

Keywords: additive technologies, outboard motors, replacement parts, reverse engineering, shape optimization, industrial applications

1. UVOD

Uvođenje 3D tehnologija predstavlja revolucionaran pristup u mnogim industrijama, uključujući i proizvodnju zamjenskih dijelova za izvanbrodske motore. Tradicionalne metode proizvodnje često su skupe i vremenski zahtjevne, dok 3D tehnologije omogućuju bržu, ekonomičniju i prilagodljiviju proizvodnju. Razvoj aditivnih tehnologija omogućuje izradu dijelova složenih geometrija koje je teško ili nemoguće postići konvencionalnim metodama.

Cilj rada je istražiti primjenu 3D tehnologija u izradi zamjenskih dijelova izvanbrodskih motora, analizirati materijale i procese koji se koriste te prikazati primjere uspješnih primjena u praksi. Fokus će biti na tehnološkim, ekonomskim i praktičnim aspektima korištenja 3D ispisa za ovu specifičnu primjenu.

U uvodnom dijelu rada razmatra se značaj i prednosti 3D tehnologija u modernoj proizvodnji, naglašavajući njihov utjecaj na smanjenje troškova i povećanje učinkovitosti. Također, dan je kratak pregled glavnih područja koja će biti obrađena u daljnjim poglavljima, uključujući osnove 3D tehnologija, aditivne tehnologije u industriji, specifične primjene u izradi dijelova izvanbrodskih motora, optimiranje oblika i funkcionalnosti te postupke 3D skeniranja i povratnog inženjerstva.

U radu su detaljno prikazani svi koraci procesa, od skeniranja neispravnog dijela, preko optimiranja oblika i izbora materijala, do konačne proizvodnje i testiranja zamjenskog dijela. Također su analizirani troškovi i ekonomičnost korištenja 3D tehnologija u usporedbi s tradicionalnim metodama proizvodnje. Na kraju, u zaključku, sumirani su postignuti rezultati i dane preporuke za budući razvoj i primjenu 3D tehnologija u ovom području.

2. OSNOVE 3D TEHNOLOGIJA

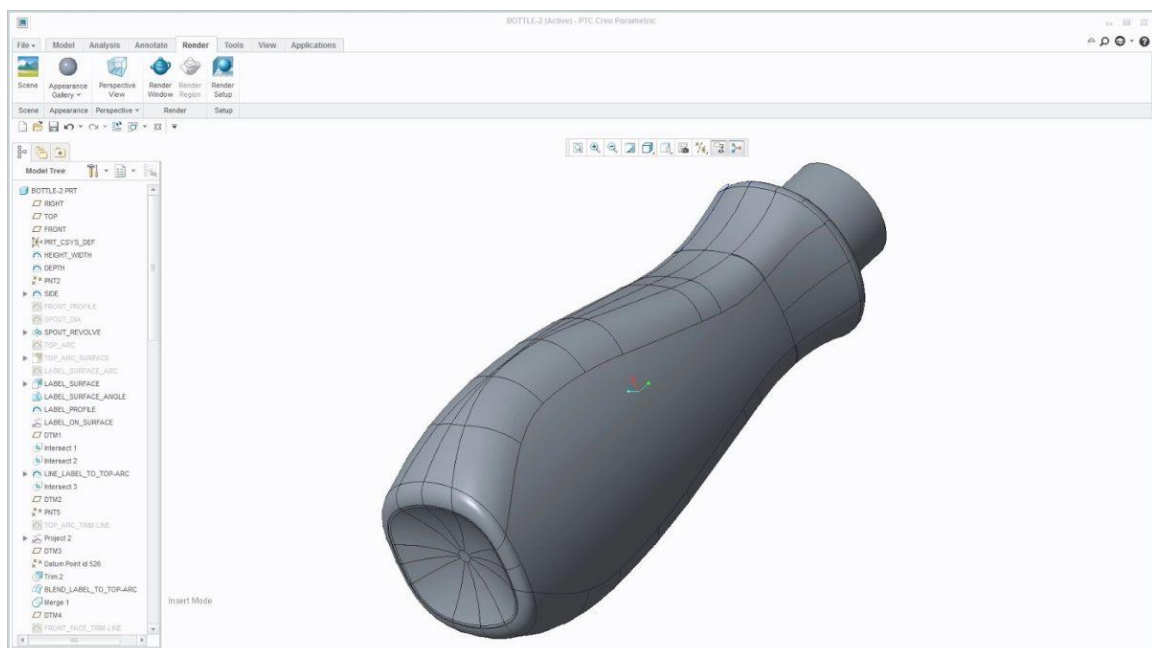
Razumijevanje osnovnih načela 3D tehnologija ključno je za primjenu i daljnji razvoj ove inovativne metode proizvodnje. Ove tehnologije, poznate i kao aditivne proizvodne tehnologije, omogućuju izradu trodimenzionalnih objekata, temeljenih na digitalnim modelima. To otvara mogućnosti za izradu složenih geometrijskih oblika koji su teško ostvarivi tradicionalnim metodama.

2.1. Osnovna načela tehnologija 3D ispisa [1], [2]

Aditivna proizvodnja, poznatija kao 3D ispis, temelji se na načelu dodavanja materijala sloj po sloj, što omogućuje stvaranje kompleksnih i preciznih trodimenzionalnih objekata izravno iz digitalnih datoteka. Osnovna načela tehnologija 3D ispisa uključuju digitalnu konstrukciju modela, pripremu za ispis i sam proces ispisa.

- Digitalna konstrukcija modela

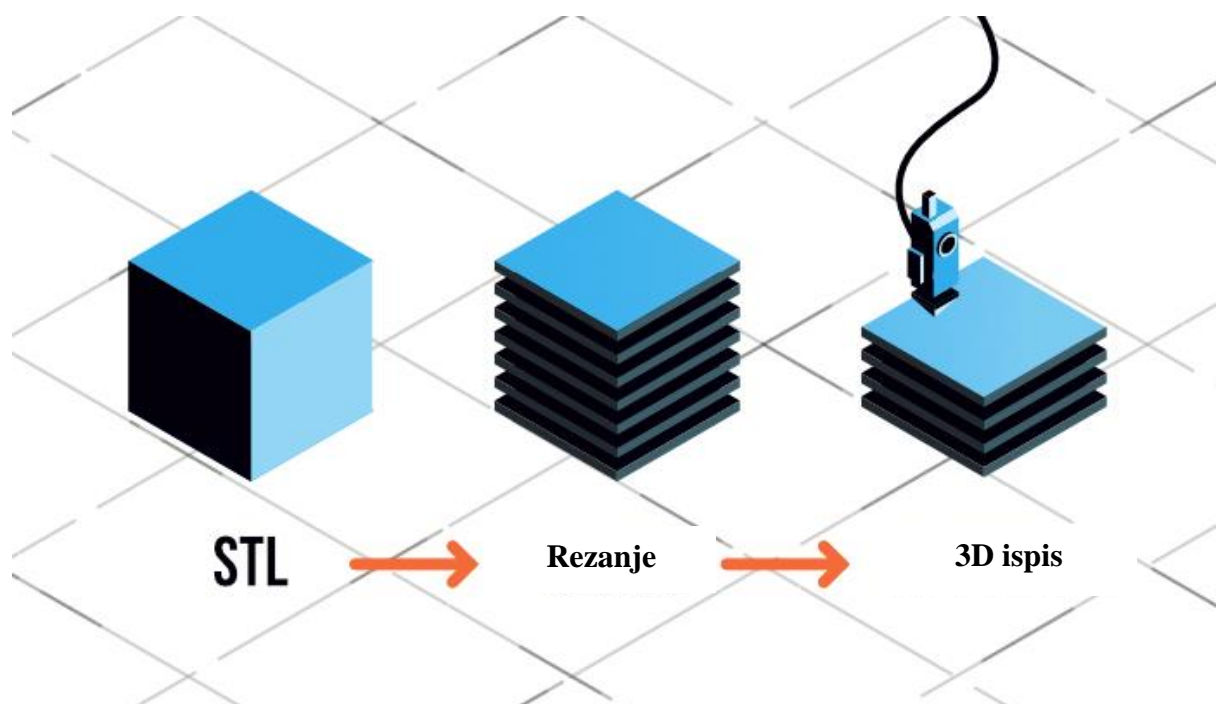
Sve počinje s CAD (engl. *Computer-Aided Design*) datotekom koja sadrži trodimenzionalni oblik objekta što je prikazano na slici 1. Ova datoteka je temelj za sve daljnje korake, omogućujući softveru da precizno definira dimenzije i geometriju budućeg objekta.



Slika 1. 3D CAD model [3]

- Priprema za ispis

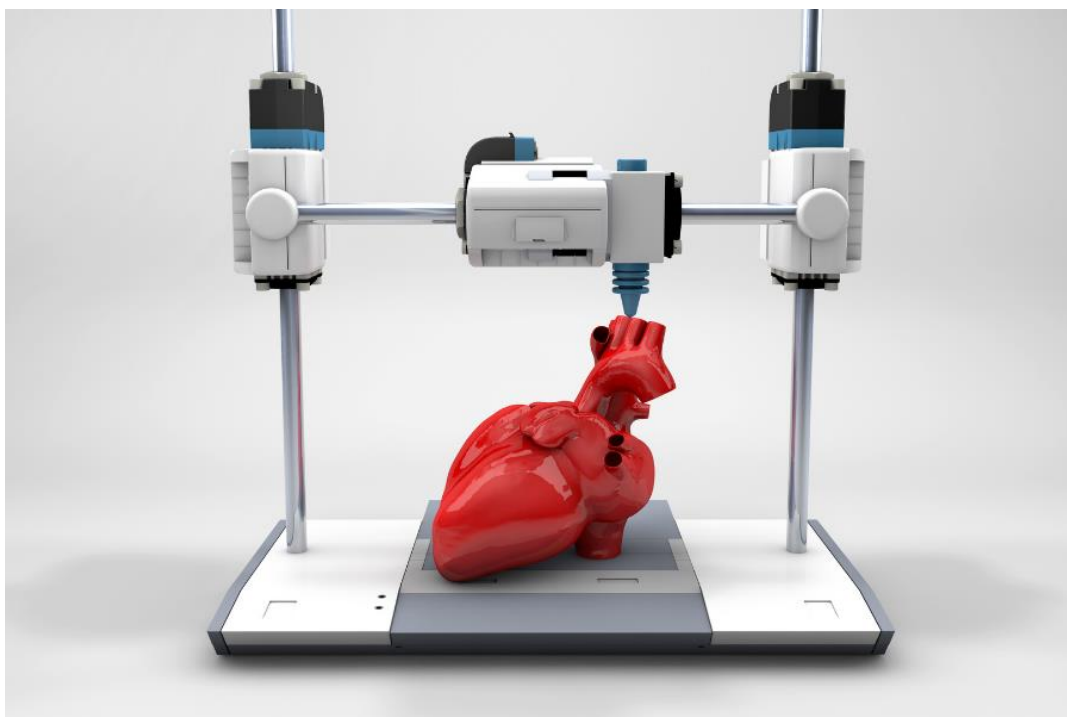
Prije samog ispisa, CAD model se procesira kroz poseban softver koji model pretvara u niz uputstava za 3D pisač. Ovaj proces, poznat kao "slicing", dijeli model na tanke horizontalne slojeve koji će biti pojedinačno ispisivani. Softver određuje optimalni redoslijed ispisa za svaki sloj, uključujući putanju kojom će se materijal nanositi. Na slici 2 je prikazan princip pripreme za ispis.



Slika 2. Prikaz rezanja modela na slojeve [4]

- Proces ispisa

3D pisač zatim koristi ova uputstva za nanošenje materijala, sloj po sloj, dok se ne izgradi konačni objekt što je vidljivo na slici 3 u nastavku. Materijali variraju od plastomera, smola, metala pa sve do stakla i gume, ovisno o tipu pisača i željenim svojstvima objekta. Tehnike ispisa, koje su opisane u poglavlju 4.1, također variraju.



Slika 3. Prikaz 3D ispisa [5]

- Post-procesiranje

Nakon ispisa, objekti često zahtijevaju dodatnu obradu kako bi se poboljšala njihova površinska kvaliteta, mehanička svojstva ili boja. Post-procesiranje može uključivati brušenje, bojenje, lakiranje ili čak pečenje u peći, ovisno o materijalu i namjeni objekta. Na slici 4 je prikazano pjeskarenje kao završna obrada modela.



Slika 4. Završna obrada modela pjeskarenjem [6]

Razumijevanje ovih osnovnih načela ključno je za optimalno korištenje tehnologija 3D ispisa u različitim aplikacijama, uključujući i izradu zamjenskih dijelova za izvanbrodske motore, što omogućuje brže, jeftinije i prilagodljivije proizvodne procese.

2.2. Povijest i razvoj 3D ispisa

Povijest 3D ispisa počinje osamdesetih godina prošlog stoljeća kada su prve ideje o aditivnoj proizvodnji počele uzimati oblik.

- Rani razvoj

Prvi patent za proces sličan 3D ispisu dodijeljen je Charlesu Hullu 1986. godine za tehniku zvanu stereolitografija (SLA), koja koristi ultraljubičastu svjetlost za stvrdnjavanje tekuće smole u predodređenim oblicima. Hull je osnovao kompaniju 3D Systems, koja je komercijalizirala prvi 3D pisac 1987. godine. Ova inovacija, prikazana na slici 5, označila je početak ere aditivne proizvodnje.



Slika 5. Prvi 3D pisac [7]

- Proširenje tehnologija

Tijekom devedesetih godina, razvoj dodatnih tehnika 3D ispisa, kao što su selektivno lasersko sinteriranje (SLS) i modeliranje polaganjem taljenog materijala (FDM), dodatno su obogatili spektar mogućnosti aditivne proizvodnje. SLS tehnika koristi laserski zrak za sinteriranje praha u čvrste strukture, dok FDM koristi plastomerne filamente koji se nanose slojevito. Na slici 6 prikazan je primjerak 3D pisaca iz devedesetih godina.



Slika 6. 3D pisac devedesetih godina [8]

- Doba digitalne revolucije

S ulaskom u 21. stoljeće, 3D ispis postaje sve pristupačniji zahvaljujući padu cijena opreme i razvoju otvorenog softvera. 2009. godine istekli su ključni patenti na FDM tehnologiju, što je dovelo do pojave mnogih povoljnih, desktop 3D pisaca za osobnu i profesionalnu upotrebu. Jedan od takvih je prikazan na slici 7. Ovo je demokratiziralo 3D ispis i omogućilo njegovu širu primjenu u industriji, obrazovanju, medicini i kod kuće.



Slika 7. Moderni 3D pisac [9]

- **Suvremene inovacije i budućnost**

Danas, 3D ispis ne samo da se koristi za prototipove i male serije proizvodnje, već postaje ključni dio velikih industrijskih procesa, uključujući izradu složenih dijelova za automobilsku, zrakoplovnu, nautičku i svemirsku industriju. Inovacije u materijalima, kao što su napredni metali, keramika i višefunkcionalni kompoziti, otvaraju nove mogućnosti za 3D ispis.

Proučavanje povijesti 3D ispisa omogućuje bolje razumijevanje njegovog potencijala i ograničenja, kao i inspiraciju za buduće inovacije koje bi mogle dodatno proširiti granice ove tehnologije.

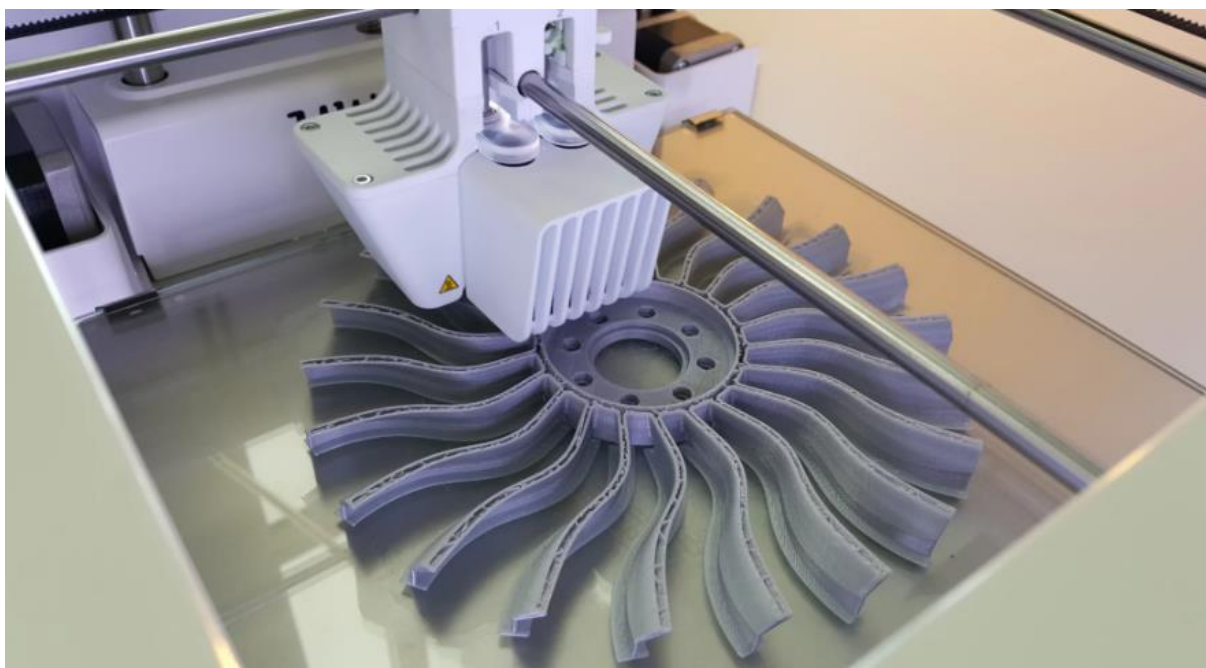
3. ADITIVNE TEHNOLOGIJE U INDUSTRIJI

Aditivne tehnologije pronalaze sve širu primjenu u različitim industrijama, transformirajući tradicionalne metode proizvodnje i omogućavajući inovacije koje su ranije bile nezamislive.

3.1. Primjena u zrakoplovnoj i svemirskoj industriji [10], [11]

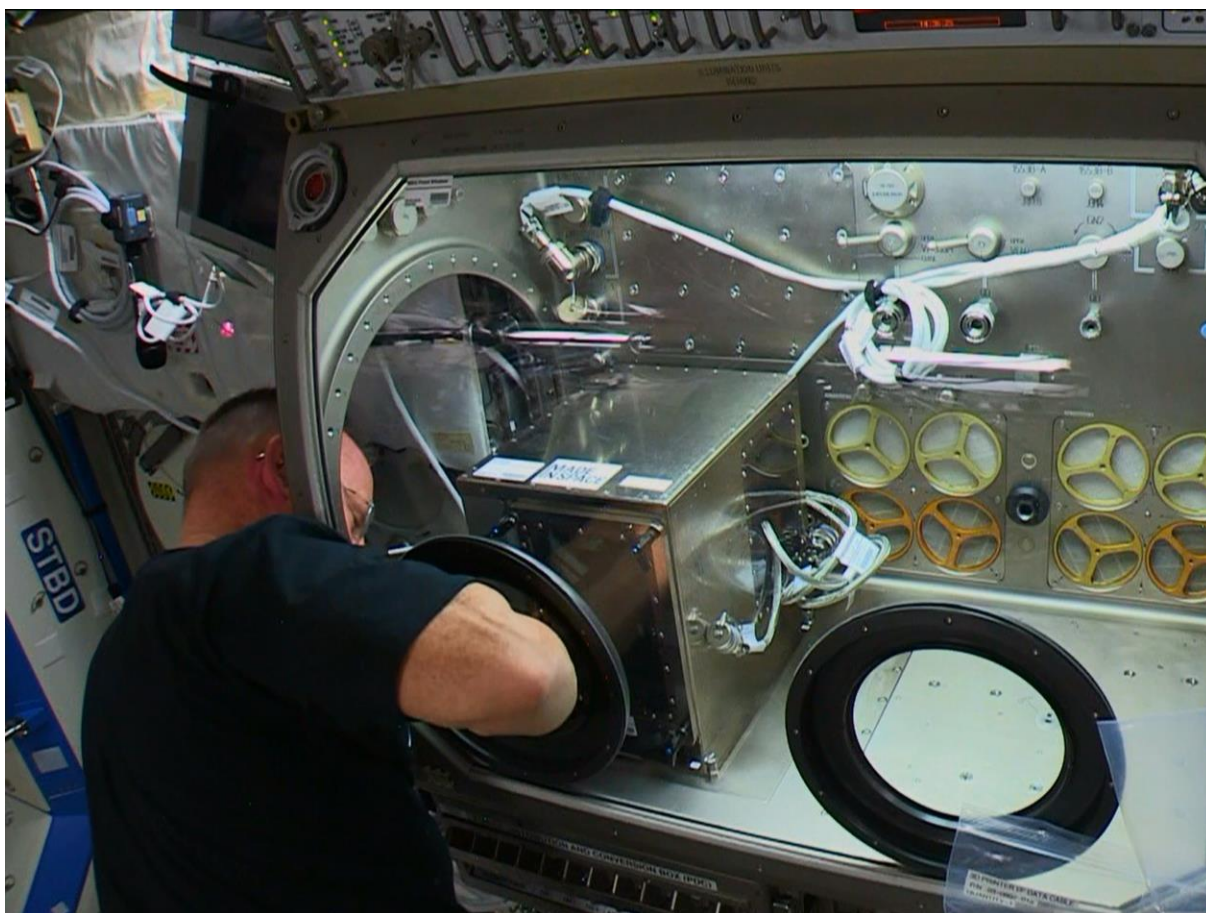
Zrakoplovna industrija se oduvijek suočavala s izazovima proizvodnje visoko preciznih, laganih i izdržljivih dijelova koji mogu izdržati ekstremne uvjete u svemiru i tijekom leta. Tradicionalne metode proizvodnje, poput obrade metala i lijevanja, često su skupe i vremenski zahtjevne. Uvođenjem aditivnih tehnologija, zrakoplovna industrija postigla je značajan napredak u učinkovitosti, smanjenju troškova i inovativnosti oblika.

Jedna od najvažnijih prednosti aditivnih tehnologija u zrakoplovnoj industriji je smanjenje težine komponenti. U zrakoplovstvu, smanjenje težine ima izravan utjecaj na potrošnju goriva, operativne troškove te emisije ugljičnog dioksida. Korištenjem naprednih materijala poput legura titana i kompozita, proizvođači mogu stvoriti lagane, a istovremeno čvrste dijelove koji zadovoljavaju stroge standarde sigurnosti i izdržljivosti (slika 8). Aditivne tehnologije također omogućuju integraciju višestrukih dijelova u jednu komponentu (konsolidaciju), smanjujući broj spojeva i povećavajući pouzdanost.



Slika 8. 3D ispis u zrakoplovstvu [12]

U svemirskoj industriji, gdje se dijelovi moraju nositi s ekstremnim temperaturama, zračenjem i vakuumom, aditivne tehnologije pružaju rješenja koja nisu samo inovativna nego i prilagodljiva specifičnim zahtjevima misije. Na primjer, NASA je koristila 3D ispis za izradu dijelova za Međunarodnu svemirsku stanicu (ISS), uključujući alate i rezervne dijelove, što omogućuje astronautima da izrade potrebne komponente izravno u svemiru bez potrebe za dugotrajnim i skupim misijama opskrbe. Također, i na današnji dan, astronauti na ISS-u posjeduju 3D pisac za izradu zamjenskih dijelova za popravak stanice (slika 9).



Slika 9. 3D pisač na ISS-u [13]

Od smanjenja težine i troškova, preko povećane fleksibilnosti u konstruiranju, do brzog razvoja prototipova i proizvodnje u ekstremnim uvjetima, aditivne tehnologije postaju neizostavan alat u modernom zrakoplovstvu i svemirskim istraživanjima.

3.2. Primjena u automobilskoj industriji [11]

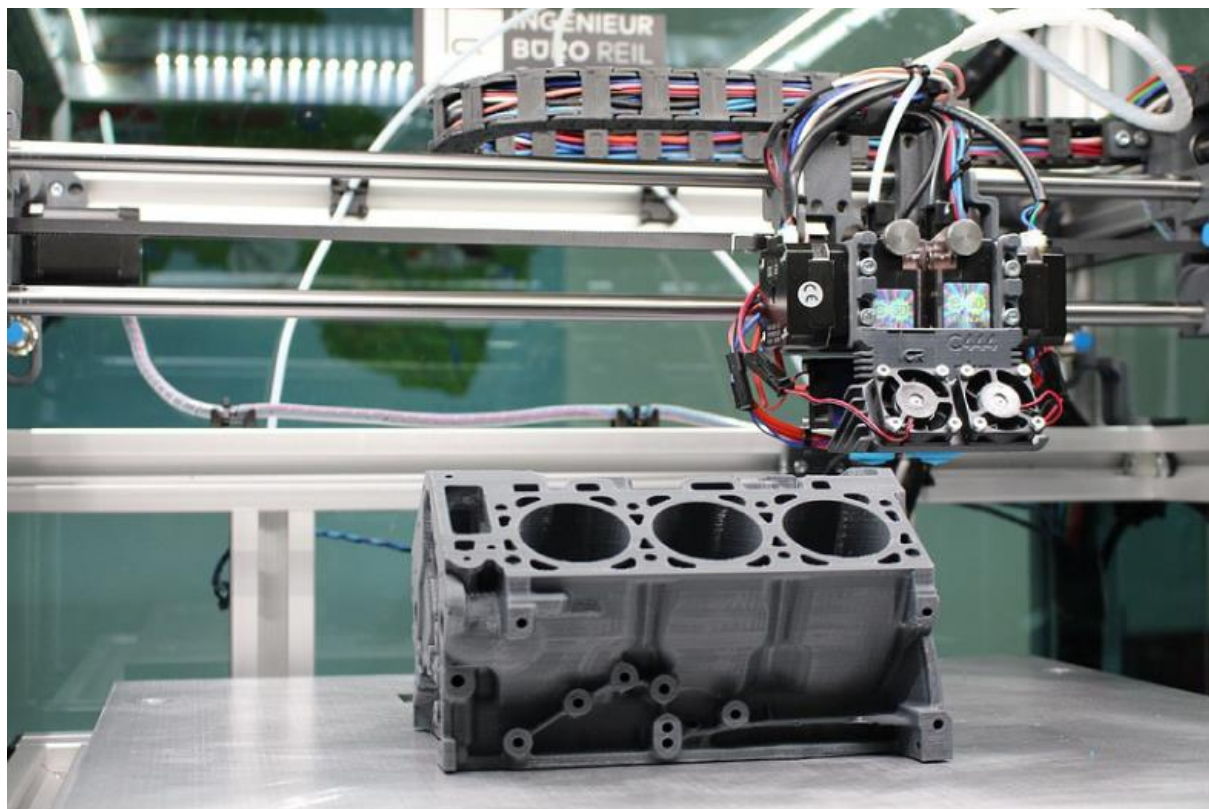
Aditivne tehnologije igraju ključnu ulogu u modernizaciji automobilske industrije omogućujući značajna poboljšanja u troškovima, učinkovitosti i inovacijama u oblikovanju. Ove tehnologije omogućuju proizvođačima da brzo i precizno izrađuju složene dijelove, smanjujući potrebu za tradicionalnim, često skupljim metodama proizvodnje. Neke od glavnih prednosti aditivne tehnologije u automobilskoj industriji su:

- Izrada prototipova: Jedna od najznačajnijih prednosti aditivnih tehnologija je njihova sposobnost brze proizvodnje prototipova. Tradicionalne metode mogu

biti dugotrajne i skupe dok 3D ispis omogućuje inženjerima brzo stvaranje i testiranje novih oblika.

- Prilagodljivost i fleksibilnost: Aditivna proizvodnja omogućuje visok stupanj prilagodbe, što je posebno vrijedno za proizvodnju prilagođenih dijelova i vozila ograničenih serija.
- Lagane komponente: U potrazi za većom učinkovitošću goriva i smanjenjem emisija, automobilska industrija stalno traži načine za smanjenje težine vozila. Aditivne tehnologije omogućuju proizvodnju laganih komponenti bez ugrožavanja čvrstoće i trajnosti.
- Smanjenje Troškova: Iako početna ulaganja u opremu za aditivnu proizvodnju mogu biti visoka, dugoročne uštede su značajne. 3D ispis smanjuje potrebu za skupim alatima i kalupima, smanjuje otpad materijala i minimalizira troškove montaže proizvodnjom složenih dijelova kao jedinstvenih jedinica (slika 10).

Ove prednosti čine aditivne tehnologije ključnim alatom za budućnost automobilske industrije, omogućujući proizvođačima da odgovore na sve veće zahtjeve za učinkovitijim, ekološki prihvatljivijim i prilagodljivijim vozilima.



Slika 10. Primjena 3D ispisa za izradu bloka automobilskog motora [14]

3.3. Primjena u zdravstvenoj industriji [11]

Aditivne tehnologije donijele su značajnu transformaciju u zdravstvenoj industriji, nudeći inovativna rješenja koja poboljšavaju kvalitetu njege i pacijentove ishode. Ove tehnologije omogućuju izradu prilagođenih medicinskih uređaja, implantata, proteza, pa čak i bioloških tkiva, što je revolucioniralo pristup liječenju i personaliziranoj medicini.

Jedna od najvažnijih primjena aditivnih tehnologija u zdravstvenoj industriji je proizvodnja prilagođenih implantata i proteza. Tradicionalne metode izrade implantata često zahtijevaju dugotrajan proces proizvodnje i prilagodbe, što može odgoditi liječenje pacijenata. S 3D ispisom, moguće je brzo proizvesti implantate koji su točno prilagođeni anatomskim potrebama pacijenta, čime se poboljšava udobnost, funkcionalnost i ukupni uspjeh kirurških zahvata. Na primjer, pacijentima s ortopedskim problemima mogu se izraditi personalizirani zglobovi koljena ili kuka, što značajno skraćuje vrijeme oporavka i povećava uspješnost operacije. Tehnologija 3D ispisa omogućuje također izradu visoko prilagođenih imobilizatora (slika 11) koji savršeno odgovaraju anatomiji pacijenta, pružajući veću udobnost i bolju imobilizaciju. Ovi imobilizatori su lagani, prozračni i voodootporni, što ih čini praktičnijima u usporedbi s konvencionalnim gipsanim ili stakloplastičnim zavojima.



Slika 11. 3D ispisani imobilizator zgloba [15]

Aditivne tehnologije također omogućuju izradu prilagođenih medicinskih instrumenata. Kirurški alati izrađeni pomoću 3D ispisa mogu se oblikovati prema specifičnim potrebama kirurga i operativnih postupaka, čime se povećava preciznost i učinkovitost zahvata. Ovi alati mogu biti jednokratni ili sterilizirani za višekratnu upotrebu, čime se smanjuju troškovi i rizik od infekcija.

Jedan od najspektakularnijih napredaka u primjeni aditivnih tehnologija u zdravstvenoj industriji je bioispis, odnosno 3D ispis bioloških materijala. Bioispis omogućuje izradu tkiva i potencijalno organa koristeći stanice pacijenta, što otvara vrata personaliziranoj medicini i smanjuje rizik od odbacivanja transplantata. Iako je ova tehnologija još uvijek u razvoju, već sada se koriste bioispisani modeli tkiva za testiranje lijekova i istraživanje bolesti, što može ubrzati razvoj novih tretmana i terapija.

Primjena aditivnih tehnologija također se proteže na obrazovanje i obuku medicinskog osoblja. 3D ispis omogućuje izradu preciznih anatomskih modela koji se koriste za edukaciju studenata medicine i kirurga. Ovi modeli mogu vjerno prikazati složene strukture ljudskog

tijela, što omogućuje detaljno proučavanje i pripremu za kirurške zahvate. Na ovaj način, studenti i profesionalci mogu steći praktično iskustvo i poboljšati svoje vještine prije nego što se suoče s pravim pacijentima.

Još jedna važna primjena aditivnih tehnologija u zdravstvenoj industriji je u području dentalne medicine. 3D ispis omogućuje izradu dentalnih krunica, mostova, proteza i ortodontskih aparata (slika 12) s visokim stupnjem preciznosti i prilagodbe pacijentovoj anatomiji. Dentalni laboratoriji koriste 3D ispis za brzu i točnu proizvodnju prilagođenih rješenja koja poboljšavaju funkcionalnost i estetiku dentalnih tretmana.



Slika 12. Primjena 3D ispisa u dentalnoj medicini [16]

Aditivne tehnologije također igraju ključnu ulogu u razvoju novih lijekova i terapija. 3D ispis omogućuje izradu mikrofluidnih uređaja i modela tkiva koji se koriste za istraživanje i testiranje novih lijekova. Ovi uređaji mogu simulirati fiziološke uvjete ljudskog tijela, omogućujući istraživačima da prouče učinke lijekova na stanice i tkiva s većom preciznošću. To ubrzava proces razvoja lijekova i smanjuje potrebu za testiranjem na životinjama.

3.4. Primjena u arhitekturi i građevini [11]

Aditivne tehnologije, ili 3D ispis, sve više nalaze svoju primjenu u arhitekturi i građevinskoj industriji, donoseći brojne inovacije i poboljšanja u procesu oblikovanja, planiranja i izgradnje. Ove tehnologije omogućuju arhitektima i građevinskim inženjerima da stvore složene strukture, optimiraju materijale i smanje troškove i vrijeme izgradnje.

Jedna od najvažnijih primjena aditivnih tehnologija u arhitekturi je izrada preciznih i detaljnih modela zgrada (slika 13). Tradicionalne metode izrade arhitektonskih modela zahtijevaju puno vremena i truda, dok 3D ispis omogućuje brzu i točnu izradu maketa koje vjerno prikazuju sve aspekte oblikovanja. Ovi modeli pomažu arhitektima i klijentima da bolje vizualiziraju konačni izgled zgrade, identificiraju moguće probleme i unaprijede oblik prije početka gradnje.



Slika 13. Primjena 3D tehnologija za izradu maketa [17]

Aditivne tehnologije također omogućuju izradu kompleksnih i inovativnih građevinskih elemenata koji bi bili teško izvedivi tradicionalnim metodama. Na primjer, fasade zgrada, unutarnji dekorativni elementi i strukturalne komponente mogu se oblikovati s organskim oblicima i jedinstvenim geometrijama koje povećavaju estetsku vrijednost i funkcionalnost građevine. 3D ispis omogućuje arhitektima da eksperimentiraju s novim oblicima i materijalima, stvarajući jedinstvena i ekološki održiva rješenja.

Jedna od revolucionarnih primjena aditivnih tehnologija u građevinskoj industriji je 3D ispis cijelih zgrada ili njihovih dijelova. Korištenjem velikih 3D pisaca koji koriste beton, plastiku ili druge građevinske materijale, moguće je izraditi čitave zidove, podove i druge strukturne elemente izravno na gradilištu. Ova metoda značajno smanjuje vrijeme izgradnje,

troškove rada i količinu otpada, dok istovremeno omogućuje visoku preciznost i prilagodljivost oblikovanju. Primjeri 3D ispisanih kuća (slika 14) i zgrada već postoje diljem svijeta, pokazujući potencijal ove tehnologije za brzu i učinkovitu gradnju.

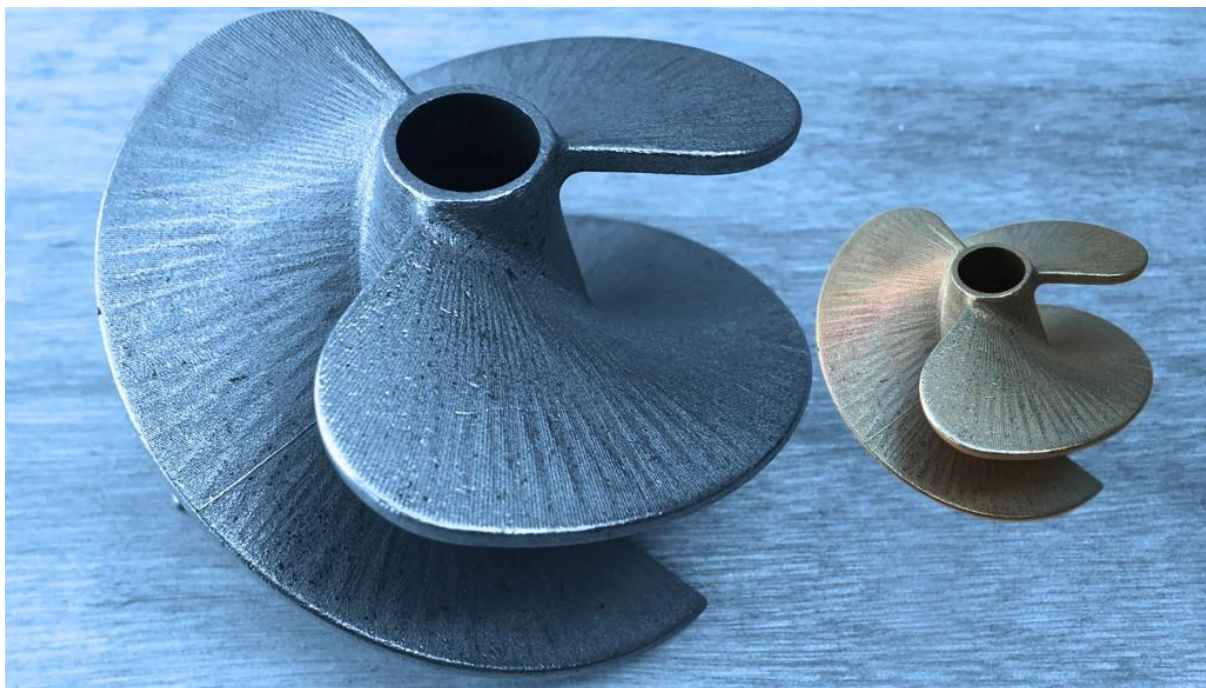


Slika 14. 3D ispisana kuća [18]

3.5. Primjena u pomorskoj industriji [19]

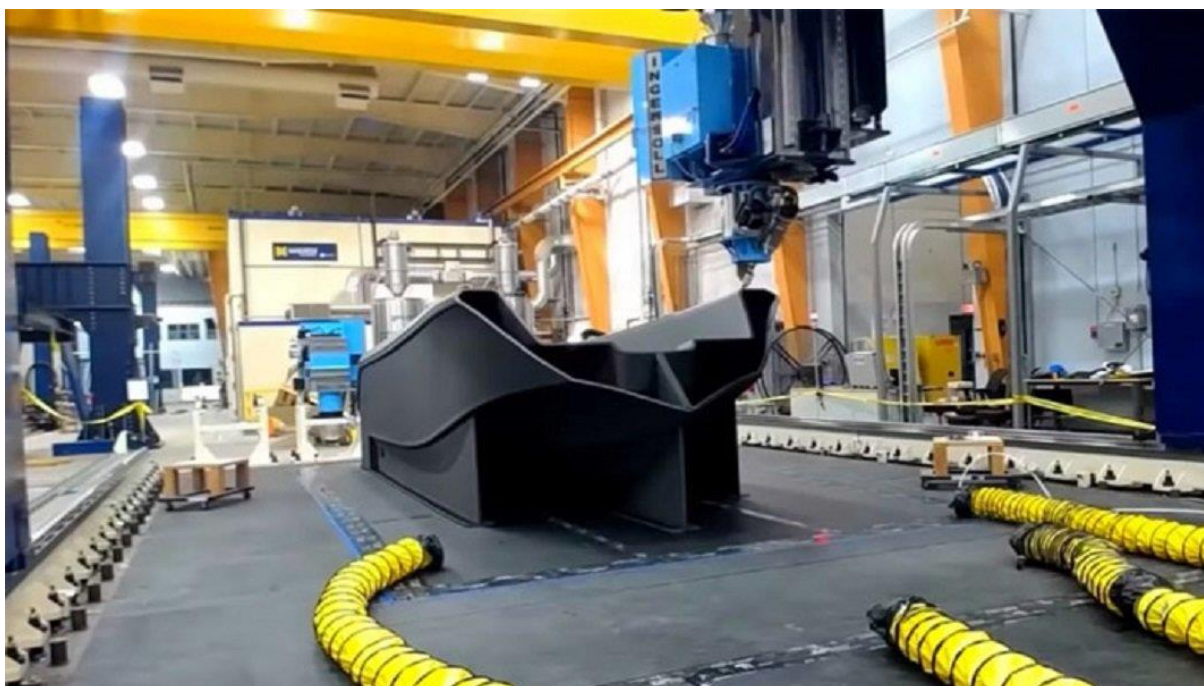
Aditivne tehnologije donijele su značajne promjene i inovacije u pomorskoj industriji, omogućujući konstruktorima i proizvođačima plovila da poboljšaju učinkovitost, smanje troškove i stvore složene strukture koje bi bile teško izvedive tradicionalnim metodama. Ove tehnologije omogućuju brzu proizvodnju prilagođenih dijelova, prototipova i čak cijelih komponenti plovila, čime se ubrzava proces razvoja i povećava konkurentnost na tržištu.

Jedna od ključnih primjena aditivnih tehnologija u pomorskoj industriji je izrada prilagođenih dijelova i komponenti plovila. 3D ispis omogućuje proizvođačima da brzo i precizno izrade dijelove prema specifičnim potrebama i zahtjevima kupaca. To uključuje sve od unutarnjih elemenata, kao što su kontrolne ploče i upravljačke konzole, do vanjskih dijelova poput propelera (slika 15) i trupova plovila. Korištenjem 3D ispisa, moguće je stvoriti dijelove s kompleksnim geometrijama koje optimiraju performanse i učinkovitost plovila.



Slika 15. 3D ispisani propeler [20]

Jedna od revolucionarnih primjena aditivnih tehnologija u pomorskoj industriji je 3D ispis cijelih dijelova trupa ili manjih plovila. Korištenjem velikih 3D pisaa koji koriste kompozitne materijale, moguće je izraditi čitave dijelove trupa, palube i drugih strukturnih elemenata izravno u proizvodnom pogonu. Primjeri 3D ispisanih brodskih dijelova i plovila već postoje, pokazujući potencijal ove tehnologije za brzu i učinkovitu gradnju. Jedan takav primjerak 3D ispisano plovila prikazan je na slici 16.



Slika 16. 3D ispisan trup plovila [21]

Integracija aditivnih tehnologija u proizvodne procese također zahtijeva prilagodbu postojećih sustava i obuku radne snage. Konstruktori, inženjeri i tehničari moraju steći nova znanja i vještine vezane uz aditivnu proizvodnju, uključujući rad s novim materijalima i tehnologijama skeniranja. Iako ove investicije zahtijevaju početne troškove, dugoročne koristi uključuju povećanu učinkovitost, inovativnost i konkurentnost na tržištu.

Kroz ove različite industrije, aditivne tehnologije demonstriraju svoju svestranost i potencijal za inovacije, pružajući značajne prednosti u obliku smanjenih troškova, veće prilagodljivosti, brže proizvodnje i smanjenog utjecaja na okoliš.

4. ADITIVNE TEHNOLOGIJE ZA IZRADU ZAMJENSKIH DIJELOVA IZVANBRODSKIH MOTORA

Aditivne tehnologije donose značajne promjene u načinu izrade dijelova za izvanbrodske motore, pružajući inovativne pristupe koji mogu poboljšati funkcionalnost, smanjiti troškove i skratiti vrijeme proizvodnje.

4.1. Vrste aditivnih tehnologija za izradu zamjenskih dijelova izvanbrodskih motora [22]

Aditivne tehnologije koje se najčešće koriste za izradu zamjenskih dijelova izvanbrodskih motora navedeni su u nastavku.

- Selektivno lasersko sinteriranje (SLS)

Selektivno lasersko sinteriranje je izuzetno popularna tehnika u proizvodnji izvanbrodskih motornih dijelova zbog svoje sposobnosti da proizvodi čvrste i izdržljive komponente. SLS koristi laser za sinteriranje finog praha, obično iz polimera ili metala, u čvrstu strukturu sloj po sloj. Ova metoda je idealna za izradu složenih geometrija koje su često potrebne u izvanbrodskim motorima, poput kućišta pumpe (slika 17) i dijelova ventila, bez potrebe za potpornim konstrukcijama koje su često potrebne u drugim procesima 3D ispisa.



Slika 17. 3D ispisano kućište pumpe [23]

- Izravno lasersko sinteriranje metala (DMLS)

Za proizvodnju metalnih dijelova koji su ključni za strukturni integritet izvanbrodskih motora, DMLS nudi napredne mogućnosti. Slično SLS-u, DMLS koristi laser za spajanje metalnog praha u slojevima, ali s dodatnom mogućnošću izrade izuzetno čvrstih i otpornih metalnih dijelova. Materijali poput titana i nehrđajućeg čelika često se koriste zbog svoje otpornosti na koroziju i mehaničku izdržljivost, što je ključno za dijelove koji su izloženi morskoj vodi i ekstremnim uvjetima. Na slici 18 prikazan je 3D model ispisan DMLS tehnikom.

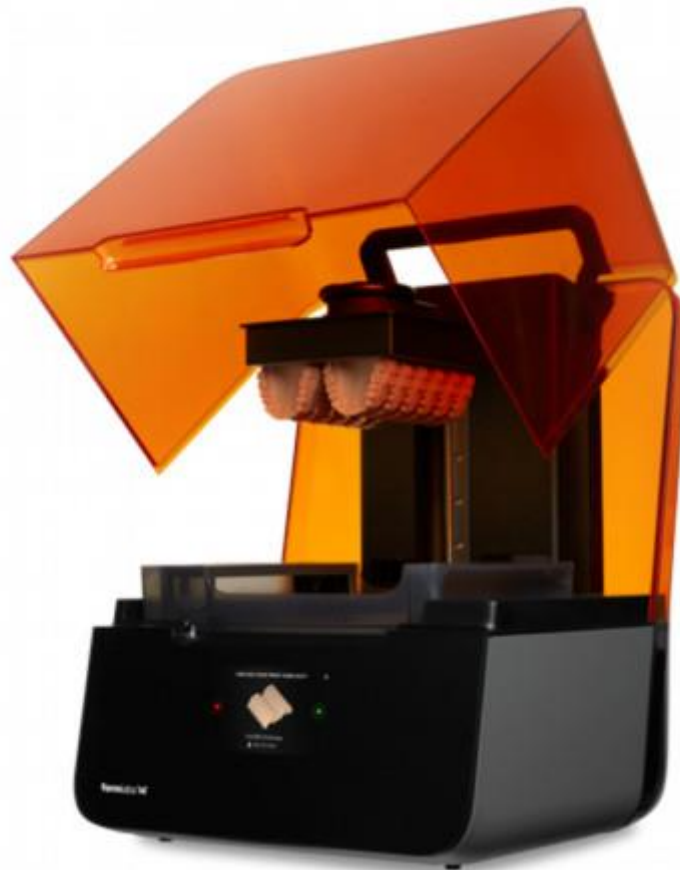


Slika 18. Modeli ispisani DMLS tehnikom [24]

- Stereolitografija (SLA)

SLA tehnologija koristi UV laser za stvrđavanje tekuće smole u precizne slojeve, što je čini izvrsnom za izradu dijelova s visokim zahtjevima za završnom obradom i detaljima. Iako manje čvrsta od metalnih komponenti, smola može biti korisna za izradu manjih, složenih dijelova u izvanbrodskim motorima koji ne

zahtijevaju ekstremnu izdržljivost, kao što su kućišta senzora i precizni konektori. 3D pisac koji funkcioniše SLA tehnologijom prikazan je na slici 19.



Slika 19. 3D pisac koji koristi SLA tehnologiju [25]

- Fused Deposition Modeling (FDM)

FDM tehnologija koristi plastomerne filamente koji se talože kroz zagrijanu mlaznicu, sloj po sloj. Iako ne nudi istu razinu detalja kao SLA ili čvrstoću kao DMLS, FDM je izuzetno koristan za brzu i troškovno učinkovitu proizvodnju većih, manje složenih dijelova (slika 20) ili za izradu prototipova prije konačne proizvodnje.



Slika 20. 3D ispisani dijelovi FDM tehnologijom [26]

- Multi Jet Fusion (MJF)

MJF, razvijen od strane tvrtke HP, koristi agens za spajanje materijala u precizne slojeve, omogućavajući vrlo brzu proizvodnju dijelova s vrhunskom završnom obradom i mehaničkim svojstvima. Ova tehnologija je posebno korisna za aplikacije gdje su potrebne visoke performanse dijelova, poput ventila i drugih mehaničkih komponenti izvanbrodskih motora (slika 21).



Slika 21. 3D ispisan model MJF tehnologijom [27]

Korištenje ovih tehnologija u proizvodnji zamjenskih dijelova za izvanbrodske motore nije samo inovativno, već i neophodno za rješavanje specifičnih izazova u ovoj industriji. Aditivne tehnologije omogućavaju izradu dijelova koji su često teško dostupni ili se više ne proizvode, a također nude prilike za optimiranje oblika koje mogu poboljšati ukupne performanse motora. Prilagodljivost, smanjenje troškova i skraćenje vremena proizvodnje ključni su faktori koji ove tehnologije čine idealnim izborom za nautičku industriju.

4.2. Materijali za 3D ispis dijelova izvanbrodskih motora [28], [29], [30]

Izbor materijala za 3D ispis dijelova izvanbrodskih motora ključan je za postizanje željenih svojstava poput otpornosti na koroziju, mehaničke čvrstoće i izdržljivosti u ekstremnim uvjetima. U nastavku su detaljno opisani najpopularniji materijali za 3D ispis u ovoj industriji, uz navođenje specifičnih aditivnih tehnologija koje se koriste za njihov ispis.

- METALI:

1. Titan: Ovaj metal se često ispisuje koristeći izravno lasersko sinteriranje metala (DMLS) ili taljenje snopom elektrona (EBM), zbog svoje izuzetne

otpornosti na koroziju i visoke mehaničke čvrstoće. Idealno je za izradu strukturalno zahtjevnih dijelova kao što su osovine i dijelovi motora.

2. **Nehrđajući čelik:** Ispisuje se primjenom DMLS ili SLM (Selective Laser Melting) tehnika. Ovi materijali su izbor za izradu dijelova koji zahtijevaju izdržljivost i otpornost na korozivne uvjete, poput kućišta pumpi i montažnih komponenata.
3. **Aluminijske legure:** Aluminijske legure se također ispisuju DMLS i SLM tehnologijama. One su poznate po svojoj lakoći i korozivnoj otpornosti, često se koriste za izradu dijelova gdje je važna smanjena težina.

- **POLIMERI:**

1. **PEEK (Polyether Ether Ketone):** Ovaj polimer visokih performansi se ispisuje na temperaturama od oko 300 do 400 stupnjeva Celzijusa koristeći FDM (Fused Deposition Modeling) tehnologiju. PEEK je idealan za primjene koje zahtijevaju visoku toplinsku i kemijsku otpornost.
2. **Poliamid (Nylon):** popularan je izbor za FDM i SLS tehnologiju zbog svoje izdržljivosti i fleksibilnosti. Ovaj materijal se često koristi za izradu manje kritičnih, ali funkcionalnih dijelova izvanbrodskih motora (slika 22).



Slika 22. 3D ispisani dio od poliamida [31]

- **KOMPOZITI:**

1. Ugljična vlakna: Kompoziti pojačani ugljičnim vlaknima često se koriste u FDM tehnologiji. Ovi materijali pružaju izuzetnu čvrstoću i krutost uz značajno smanjenje težine. Primjer modela ispisanog ugljičnim vlaknima prikazan je na slici 23.



Slika 23. FDM tehnikom 3D ispisane spojne šipke [32]

2. Staklena vlakna: Slično ugljičnim vlaknima, staklena vlakna se mogu koristiti u FDM procesima. Ona dodaju čvrstoću i krutost polimernim materijalima po pristupačnijoj cijeni u odnosu na ugljična vlakna. Primjerak plovila ispisanog pomoću staklenih vlakana prikazan je na slici 24.



Slika 24. 3D ispisan gliser od staklenih vlakna [33]

- SMOLE:
 1. Fotopolimerne smole: Koriste se u SLA (Stereolitografija) i DLP (Digital Light Processing) tehnologijama. Smole se mogu formulirati da budu izuzetno otporne na UV zračenje i vodu, što ih čini pogodnima za vanjske aplikacije na izvanbrodskim motorima.

Svaki od ovih materijala ima svoje specifične prednosti koje ih čine prikladnim za različite dijelove i aplikacije u izradama izvanbrodskih motora. Pravilni izbor materijala i tehnologije ključan je za optimiranje performansi i trajnosti proizvoda.

4.3. Primjeri primjene 3D ispisa za izradu dijelova izvanbrodskog motora [34], [35]

3D ispis pruža inovativne mogućnosti u oblikovanju i proizvodnji dijelova za izvanbrodske motore, omogućujući znatna poboljšanja u funkcionalnosti, učinkovitosti i prilagodljivosti. U ovom segmentu razmatramo konkretne primjere kako se aditivne tehnologije koriste za unaprjeđenje izvanbrodskih motora, uključujući specifične tehnologije 3D ispisa koje se koriste za svaku aplikaciju.

- Optimirani dijelovi motora

Propeleri i lopatice turbina: Korištenjem izravnog laserskog sinteriranja metala (DMLS), moguće je izraditi propeler s fino optimiranom geometrijom za bolji protok vode (slika 25). Primjer uključuje propeler za trkaće čamce visokih performansi, koji je oblikovan s lopaticama koje smanjuju otpor i povećavaju brzinu.



Slika 25. 3D ispisan toroidalni propeler [36]

Kućišta i nosači motora: Tehnologija Selektivnog laserskog taljenja (SLM) koristi se za izradu složenih nosača motora koji integriraju višestruke funkcije u jednom dijelu, čime se smanjuje težina i povećava strukturalna integritet.

- Inovativni materijali

Titan: Pomoću DMLS tehnologije, titan se koristi za izradu vitalnih komponenata kao što su osovine i spojni elementi, koji su ključni za trajnost i pouzdanost izvanbrodskih motora.

- Prilagođena proizvodnja

Zamjenski dijelovi na zahtjev: FDM tehnologija omogućuje brzu izradu zamjenskih plastičnih dijelova izravno na brodu, što je idealno za hitne popravke. Ovo uključuje manje komponente koje trebaju izdržati dovoljno dugo dok se ne otvori mogućnost zamjene s tvorničkim zamjenskim dijelom.

Prototipovi za testiranje: SLA tehnologija se koristi za stvaranje detaljnih prototipova novih konstrukcija motora, omogućavajući inženjerima da provode opsežna testiranja prije finalizacije konstrukcije.

- Specijalizirane primjene

Hlađenje motora: DMLS i SLS tehnologije omogućuju izradu složenih unutarnjih kanala za hlađenje unutar metalnih dijelova motora, što pomaže u optimiranju upravljanja temperaturom i povećanju učinkovitosti.

Integracija senzora: SLA tehnologija koristi se za izradu kućišta i komponenti koje integriraju senzore za praćenje stanja motora, što je ključno za prediktivno održavanje.

Ovi primjeri demonstriraju kako 3D ispis ne samo da nudi alternativu tradicionalnim proizvodnim metodama, već otvara nove mogućnosti za inovacije koje mogu značajno transformirati proizvodnju izvanbrodskih motora.

4.4. Prednosti primjene aditivne tehnologije za izradu zamjenskih dijelova izvanbrodskog motora [37]

Aditivna tehnologija nudi brojne prednosti u odnosu na tradicionalne proizvodne tehnike, unapređujući učinkovitost, smanjujući troškove i omogućavajući veću prilagodljivost oblika. U nastavku su detaljnije prikazane ključne prednosti koje aditivna tehnologija pruža u proizvodnji zamjenskih dijelova za izvanbrodske motore te je za svaku točku naveden primjer.

- Smanjenje vremena proizvodnje

Prednost: Aditivna tehnologija znatno skraćuje vrijeme potrebno od ideje do gotovog proizvoda. Tradicionalni proizvodni procesi često zahtijevaju izradu alata i postavljanje strojeva, što može trajati tjedne ili čak mjesecima.

Primjer: U slučaju hitne potrebe za zamjenskim dijelovima izvanbrodskog motora, 3D ispis omogućava da se dijelovi oblikuju i proizvedu u roku od nekoliko dana. To je posebno korisno za brodove koji su u tranzitu ili na udaljenim lokacijama, gdje bi čekanje na tradicionalne metode proizvodnje moglo uzrokovati duge zastoje i povećane troškove.

- **Mogućnost kompleksnog oblikovanja**

Prednost: Aditivna tehnologija omogućava proizvodnju kompleksnih geometrija koje su često ekonomski neopravdane za proizvodnju tradicionalnim metodama.

Primjer: Konstruktori mogu optimirati unutarnje kanale za hlađenje ili hidraulične sustave unutar komponenti izvanbrodskog motora, što dovodi do boljih performansi i učinkovitosti motora. Te optimiranja često su nemoguća s tradicionalnim metodama bez značajnih dodatnih troškova.

- **Personalizacija i prilagodljivost**

Prednost: Aditivna tehnologija omogućava lako prilagođavanje dijelova bez dodatnih troškova, što je idealno za proizvodnju dijelova za starije modele motora ili za posebne primjene.

Primjer: Vlasnici izvanbrodskih motora specifičnih modela ili oni koji žele poboljšane performanse mogu lako naručiti prilagođene dijelove koji su precizno oblikovani prema njihovim specifikacijama, što povećava funkcionalnost i vrijednost motora.

- **Smanjenje troškova**

Prednost: Proizvodnja pomoću aditivnih tehnologija može značajno smanjiti materijalni otpad, kao i troškove povezane s skladištenjem, logistikom i proizvodnim alatom.

Primjer: Za izradu specifičnih dijelova izvanbrodskog motora koristi se točno određena količina materijala potrebna za 3D ispis, suprotno tradicionalnim

metodama koje često rezultiraju velikim viškom materijala. Također, digitalni inventar omogućava proizvodnju "na zahtjev", smanjujući potrebu za velikim skladištima.

- Održivost

Prednost: Aditivne tehnologije nude ekološke prednosti poput smanjenja otpada, učinkovitijeg korištenja materijala i mogućnosti korištenja recikliranih ili biorazgradivih materijala.

Primjer: Tvrtke mogu koristiti recikliranu plastiku kao materijal za izradu manje kritičnih komponenata izvanbrodskih motora, što smanjuje njihov ekološki otisak i potiče praksu održivog razvoja.

Kroz ove primjere jasno je vidljivo kako aditivna tehnologija nudi značajne prednosti u proizvodnji zamjenskih dijelova za izvanbrodske motore, čineći proces bržim, fleksibilnijim i ekonomičnijim, dok istovremeno doprinosi održivosti i inovativnosti.

5. 3D SKENIRANJE I POVRATNO INŽENJERSTVO

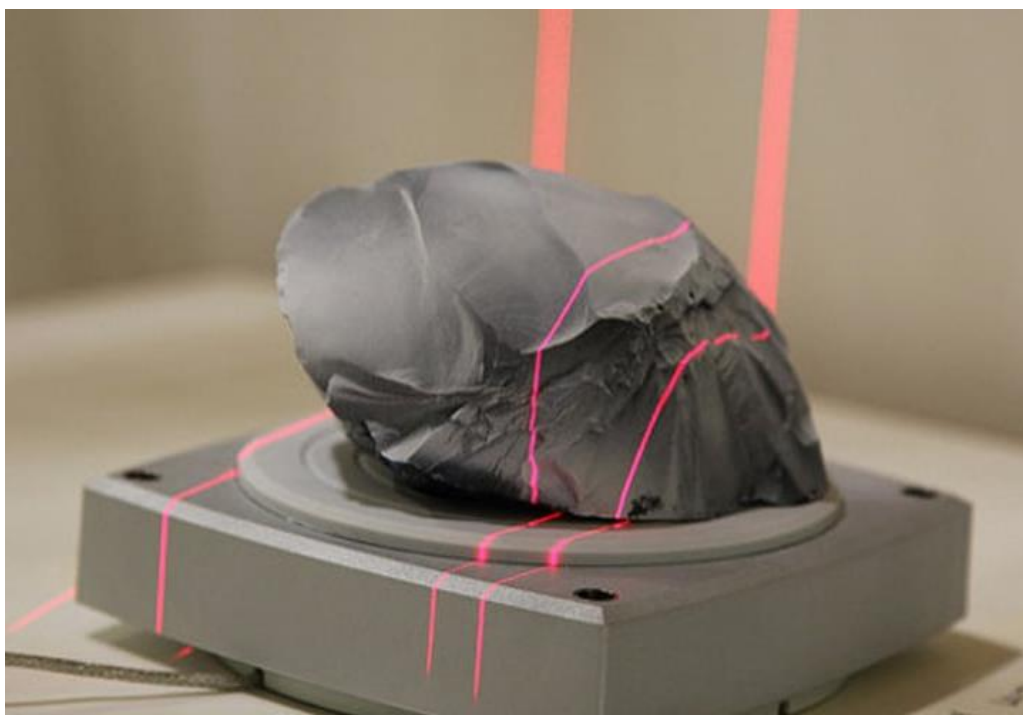
U suvremenoj proizvodnji, 3D skeniranje i povratno inženjerstvo igraju ključne uloge u procesima održavanja, obnove i inovacije proizvoda. Ove tehnologije omogućuju brzu i preciznu analizu postojećih fizičkih objekata te njihovu transformaciju u digitalne modele, koji se potom mogu koristiti za aditivnu proizvodnju. U kontekstu izvanbrodskih motora, 3D skeniranje i povratno inženjerstvo nisu samo alati za reprodukciju postojećih dijelova, već i za njihovo optimiranje i funkcionalno poboljšanje.

5.1. Tehnike 3D skeniranja [38], [39]

3D skeniranje je proces kojim se stvarne fizičke objekte pretvara u precizne digitalne modele, omogućujući detaljnu analizu, oblikovanje i reprodukciju. U industriji izvanbrodskih motora, tehnike 3D skeniranja su ključne za povratno inženjerstvo, inspekciju kvalitete i prilagođavanje dijelova. Najpopularnije tehnike 3D skeniranja su:

- Lasersko skeniranje

Lasersko skeniranje (slika 26) koristi lasersku zraku za snimanje preciznih mjerenja površine objekta. Ova tehnika je izuzetno precizna i idealna je za skeniranje geometrijski složenih objekata i dijelova s finim detaljima. U kontekstu izvanbrodskih motora, lasersko skeniranje se često koristi za stvaranje detaljnih digitalnih modela kompleksnih komponenti kao što su cilindri motora ili sustavi ventila, gdje je preciznost ključna.



Slika 26. 3D skeniranje laserom [40]

- Skeniranje strukturiranim svjetlom

Skeniranje strukturiranim svjetlom (slika 27) koristi projekciju svjetlosnih uzoraka (obično linija ili mreža) na objekt i mjerenje deformacije ovih uzoraka na površini objekta za dobivanje 3D podataka. Ova tehnika je brža od laserskog skeniranja i pogodna je za skeniranje velikih objekata s manje složenim detaljima. Za izvanbrodske motore, strukturirana svjetlost se može koristiti za skeniranje većih dijelova kao što su kućišta motora ili veće strukturne komponente.



Slika 27. Strukturirani svjetlosni skener [41]

- Fotogrametrija

Fotogrametrija je tehnika koja koristi veliki broj 2D fotografija objekta, snimljenih iz različitih kutova, za stvaranje 3D modela (slika 28). Iako manje precizna u odnosu na lasersko ili skeniranje strukturiranim svjetlom, fotogrametrija je iznimno korisna za brzo i jeftino skeniranje velikih objekata. U pomorskoj industriji, fotogrametrija se može koristiti za brzo skeniranje čitavih izvanbrodskih motora ili njihovih većih sklopova.



Slika 28. Prikaz načela fotogrametrije [42]

- Ručni 3D skeneri

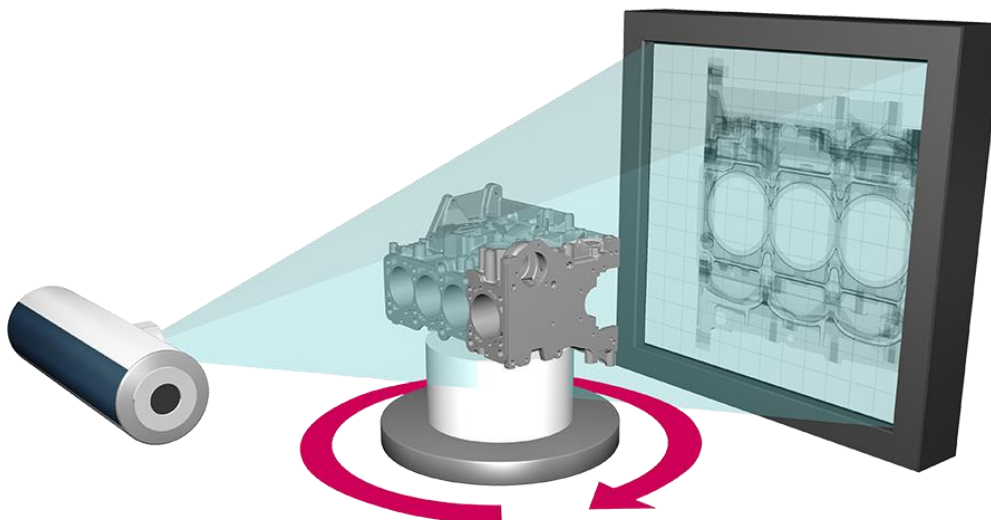
Ručni 3D skeneri (slika 29) su prijenosni i fleksibilni, idealni za skeniranje objekata u teško dostupnim ili ograničenim prostorima. Ovi skeneri su posebno korisni u brodogradilištima gdje može biti potrebno izvršiti brzo skeniranje dijelova na samom brodu ili motoru bez demontaže.



Slika 29. Ručni 3D skener [43]

- CT skeniranje

Računalna tomografija (CT) omogućava ne samo površinsko skeniranje već i pružanje uvida u unutarnju strukturu objekta bez njegove destrukcije. Za izvanbrodske motore, CT skeniranje je dragocjeno za otkrivanje unutarnjih defekata, pukotina ili drugih skrivenih problema unutar složenih metala i kompozitnih materijala. Način skeniranja objekta pomoću kompjutorske tomografije prikazan je na slici 30.



Slika 30. Prikaz primjene CT skenera [44]

Ove tehnike 3D skeniranja su temeljni alati u suvremenoj proizvodnji, omogućavajući proizvođačima i inženjerima da precizno analiziraju i reproduciraju dijelove, što je ključno za održavanje, popravak, i optimiranje izvanbrodskih motora. Svaka od ovih tehnika nudi jedinstvene prednosti i može se odabrati ovisno o specifičnim zahtjevima projekta.

5.2. Prednosti 3D skeniranja kod izrade zamjenskih dijelova izvanbrodskog motora [45]

3D skeniranje nudi brojne prednosti koje transformiraju tradicionalne metode oblikovanja, proizvodnje i održavanja. U nastavku su prikazane ključne prednosti koje 3D skeniranje pruža u procesu izrade zamjenskih dijelova za izvanbrodske motore.

- Precizna reprodukcija

3D skeniranje omogućuje iznimno točno snimanje svih fizičkih dimenzija originalnog dijela, što je ključno za izradu zamjenskih dijelova koji moraju savršeno odgovarati postojećim sustavima. Ova preciznost je posebno važna kada su dijelovi izloženi visokim mehaničkim opterećenjima ili kada geometrija dijela utječe na performanse motora. Sposobnost da se vjerno reproducira svaka krivulja i kut

originalnog dijela smanjuje rizik od problema koji mogu nastati zbog nekompatibilnosti novih i starih dijelova.

- Brza izrada prototipa

Jednom kada se 3D model dijela kreira pomoću skeniranja, može se brzo koristiti za izradu prototipa. Ovo je izuzetno korisno u situacijama gdje je potrebno brzo reagirati na otkazivanje dijelova ili kada su originalni dijelovi zastarjeli i više nisu u proizvodnji. 3D ispisi prototipova omogućavaju testiranje funkcionalnosti prije nego što se krene u masovnu proizvodnju, osiguravajući da su svi tehnički zahtjevi zadovoljeni.

- Smanjenje troškova

Proces tradicionalne proizvodnje zamjenskih dijelova često zahtijeva izradu skupih alata i kalupa. 3D skeniranje, u kombinaciji s aditivnim tehnologijama, omogućuje izradu dijelova izravno iz digitalnih modela, što znatno smanjuje troškove proizvodnje. Osim toga, smanjenje materijalnog otpada kroz preciznu aditivnu proizvodnju dodatno doprinosi ekonomičnosti ovog pristupa.

- Poboljšanje kvalitete

3D skeniranje omogućuje detaljnu analizu originalnih dijelova i identifikaciju područja koja su podložna stresu ili brzom trošenju. Ovi podaci se mogu koristiti za modifikaciju i poboljšanje oblikovanja zamjenskih dijelova, što rezultira većom trajnošću i boljim performansama. Napredne analitičke funkcije softvera za 3D skeniranje mogu predvidjeti potencijalne probleme prije nego što se dijelovi proizvedu, što dodatno povećava pouzdanost i sigurnost izvanbrodskih motora.

- Fleksibilnost u proizvodnji

3D skeniranje pruža mogućnost da se jedan dio može digitalno arhivirati i po potrebi reproducirati bez obzira na lokaciju i vrijeme. To omogućava proizvođačima izvanbrodskih motora da brzo reagiraju na potrebe tržišta i pružaju podršku

klijentima širom svijeta, bez potrebe za zadržavanjem velikih zaliha fizičkih dijelova.

Uz sve navedene prednosti, 3D skeniranje je ne samo poboljšalo proces proizvodnje zamjenskih dijelova za izvanbrodske motore, već je i omogućilo razvoj inovativnijih, pouzdanijih i ekonomičnijih rješenja, čime je postalo nezaobilazan alat u modernom inženjerstvu.

5.3. Načelo povratnog inženjerstva kod izrade zamjenskih dijelova izvanbrodskog motora [46], [47]

Proces povratnog inženjerstva započinje analizom postojećeg dijela, korištenjem naprednih tehnologija za prikupljanje podataka, te se završava proizvodnjom preciznih zamjenskih dijelova. Ovo načelo uključuje nekoliko ključnih koraka koji osiguravaju točnost i funkcionalnost izrađenih dijelova.

- Prikupljanje podataka

Prvi korak u procesu povratnog inženjerstva je prikupljanje detaljnih podataka o postojećem dijelu izvanbrodskog motora. To se postiže korištenjem 3D skeniranja, koje omogućuje precizno mapiranje geometrije i površinskih karakteristika dijela. 3D skeneri koriste laserske ili optičke senzore za stvaranje oblaka točaka, koji predstavlja trodimenzionalnu sliku dijela. Ovi podaci su temelj za daljnju digitalnu obradu.

- Obrada i analiza podataka

Nakon prikupljanja podataka, slijedi obrada oblaka s točkama pomoću softverskih alata za modeliranje. Ovaj proces uključuje pretvaranje oblaka s točkama u digitalni 3D model, koji se može analizirati i optimirati. Softver omogućuje identifikaciju i ispravljanje eventualnih nepravilnosti u skeniranom modelu, čime se osigurava visoka razina preciznosti. Obrada podataka također uključuje usporedbu digitalnog modela s originalnim specifikacijama kako bi se potvrdila točnost skena.

- Optimiranje oblika

Optimiranje oblika ključni je korak u povratnom inženjerstvu zamjenskih dijelova izvanbrodskog motora. Na temelju dobivenih podataka, inženjeri mogu prilagoditi i poboljšati oblik dijela kako bi povećali njegovu trajnost i učinkovitost. Optimiranje može uključivati promjene u geometriji dijela, izboru materijala ili uvođenje novih značajki koje poboljšavaju performanse. Na primjer, dijelovi se mogu preoblikovati kako bi bolje izdržali mehaničke naprezanja ili kako bi bili otporniji na koroziju uzrokovanu morskom vodom.

- Proizvodnja zamjenskih dijelova

Nakon što je oblik optimiran, sljedeći korak je proizvodnja zamjenskih dijelova. Ovisno o složenosti i zahtjevima dijela, mogu se koristiti različite aditivne tehnologije ili tradicionalne metode obrade. Aditivne tehnologije omogućuju brzu i preciznu izradu složenih dijelova s visokim stupnjem točnosti. Za dijelove koji zahtijevaju visoku čvrstoću i otpornost, mogu se koristiti 3D ispis metala ili CNC obrada.

- Testiranje i verifikacija

Nakon proizvodnje, zamjenski dijelovi podvrgavaju se rigoroznim testovima kako bi se osigurala njihova kvaliteta i funkcionalnost. Testiranje može uključivati mehaničke testove izdržljivosti, otpornosti na koroziju i temperaturne otpornosti. Cilj je osigurati da zamjenski dijelovi ispunjavaju sve specifikacije i da su sposobni izdržati uvjete rada na moru. Verifikacija također uključuje usporedbu performansi zamjenskog dijela s originalnim dijelom kako bi se potvrdila njegova učinkovitost.

- Dokumentacija i arhiviranje

Posljednji korak u procesu povratnog inženjerstva je dokumentacija i arhiviranje svih podataka i modela. Ova dokumentacija uključuje digitalne modele, specifikacije materijala, rezultate testiranja i sve relevantne tehničke informacije. Arhiviranje ovih podataka omogućuje brzu reprodukciju dijelova u budućnosti, što je posebno važno za održavanje i popravke izvanbrodskih motora.

Povratno inženjerstvo omogućuje visoku razinu prilagodljivosti i inovativnosti u proizvodnji zamjenskih dijelova za izvanbrodske motore. Korištenjem naprednih tehnologija za 3D skeniranje i digitalno modeliranje, moguće je postići visoku točnost i funkcionalnost izrađenih dijelova. Ovaj proces ne samo da produžuje vijek trajanja motora, već također poboljšava njihove performanse i pouzdanost u teškim uvjetima rada na moru.

6. OPTIMIRANJE OBLIKA I FUNKCIONALNOSTI

U kontekstu aditivnih tehnologija, optimiranje oblika i funkcionalnosti dijelova predstavlja ključan aspekt koji omogućava maksimalno iskorištavanje potencijala 3D ispisa. Ovo poglavlje detaljno razmatra načela i metode koje se koriste za optimiranje oblika dijelova, omogućujući stvaranje proizvoda koji su ne samo tehnički izvedivi već i ekonomično održivi i funkcionalno superiorni.

6.1. Načela optimiranja oblika u kontekstu aditivne proizvodnje [48], [49]

Optimiranje oblika predstavlja ključni aspekt aditivne proizvodnje koji omogućava iskorištavanje jedinstvenih prednosti ove tehnologije. U ovom poglavlju, prikazana su osnovna načela i pristupi koji se koriste za optimiranje oblika u kontekstu aditivne proizvodnje.

- Topološko optimiranje

Topološko optimiranje je matematički pristup koji se koristi za automatsko generiranje optimalnog materijalnog rasporeda unutar zadanog konstrukcijskog prostora, uz zadane opterećenja i ograničenja. Ova tehnika omogućuje proizvodnju dijelova s minimalnom težinom bez kompromitiranja strukturnog integriteta (slika 31). U aditivnoj proizvodnji, topološko optimiranje se koristi za oblikovanje složenih struktura koje bi bile teško ili nemoguće proizvesti tradicionalnim metodama, poput unutarnjih rešetkastih struktura koje pružaju izvrsnu čvrstoću uz značajno smanjenje težine.



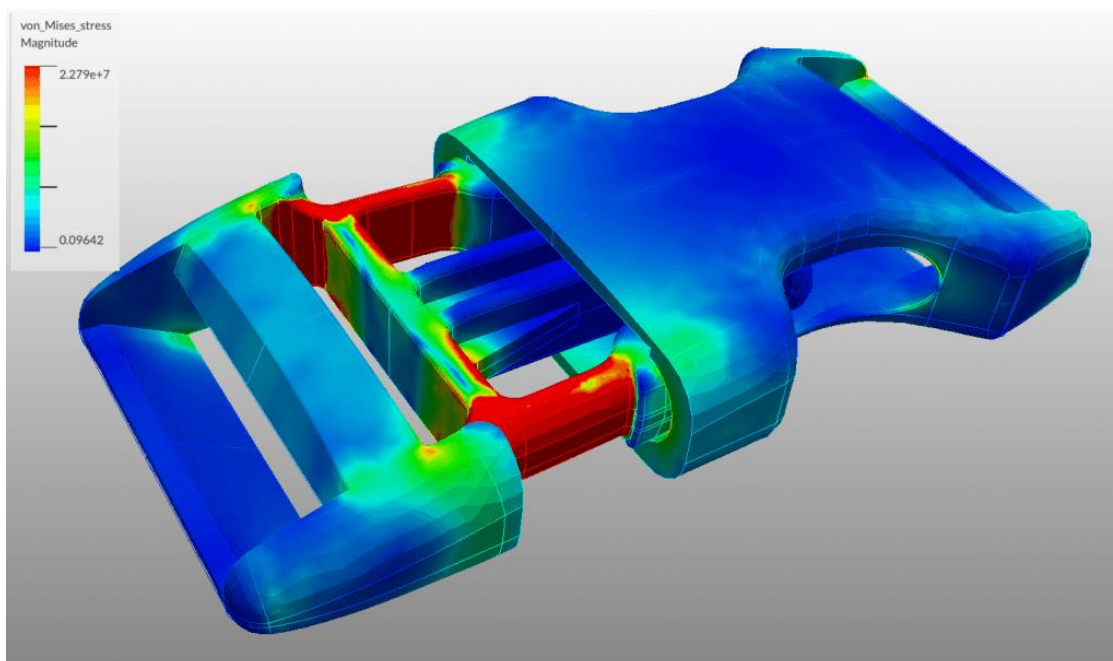
Slika 31. Prikaz topološkog optimiranja modela [50]

- Generativno oblikovanje

Generativno oblikovanje je proces koji koristi algoritme za generiranje oblika na temelju zadanih parametara performansi, uključujući čvrstoću, težinu, materijal, izdržljivost i trošak. Softver za generativno oblikovanje automatski generira više konstrukcijskih alternativa koje se analiziraju i optimiraju za pronalaženje najboljeg mogućeg rješenja. Ova metoda omogućava konstruktorima da istražuju nove i inovativne pristupe oblikovanju koji maksimiraju funkcionalnost dok istovremeno optimiraju upotrebu materijala i proizvodne resurse.

- Simulacije konačnih elemenata [51]

Simulacija konačnih elemenata (FEA) je računalna tehnika koja se koristi za predviđanje kako će objekt reagirati na fizičke sile, vibracije, toplinu i druge fizičke utjecaje. U aditivnoj proizvodnji, FEA se koristi za optimiranje oblikovanja prije proizvodnje, omogućujući inženjerima da identificiraju i riješe potencijalne probleme s čvrstoćom ili deformacijom (slika 32). To je posebno važno za dijelove koji su izloženi visokim opterećenjima ili ekstremnim uvjetima, osiguravajući da konačni proizvodi zadovoljavaju sve tehničke i sigurnosne zahtjeve.



Slika 32. FEA analiza modela [52]

- Integracija funkcija

Jedna od ključnih prednosti aditivne proizvodnje je sposobnost integracije višestrukih funkcija u jedan kompaktan dio, što smanjuje potrebu za skupljanjem i omogućuje složenije oblike. Ova integracija funkcija može uključivati kombiniranje mehaničkih komponenti, fluidnih kanala, električnih vodova i drugih funkcionalnosti u jedinstvenu, višefunkcionalnu jedinicu. Time se smanjuju proizvodni procesi, troškovi i težina, dok se povećava učinkovitost proizvoda.

Kroz primjenu ovih načela, optimiranje oblika u aditivnoj proizvodnji nije samo tehnička disciplina, već i kreativni proces koji omogućava inženjerima da preispitaju i redefiniiraju tradicionalne pristupe oblikovanju.

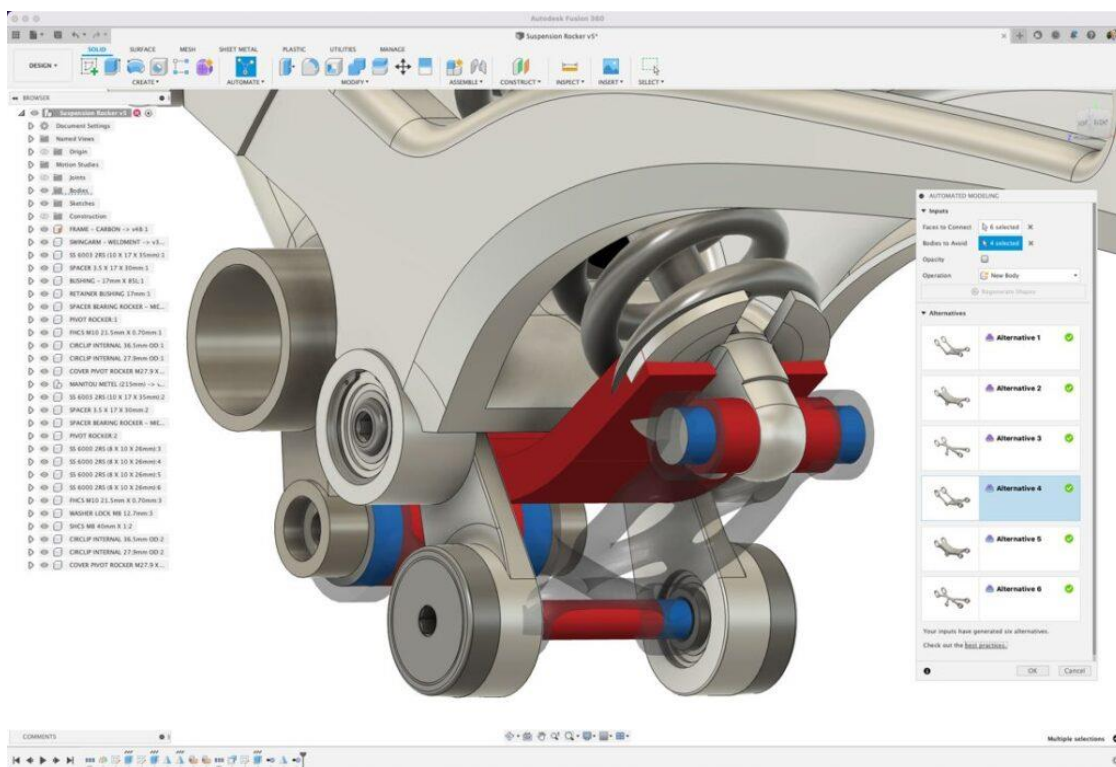
6.2. Alati i softveri za optimiranje oblika [53]

U suvremenoj aditivnoj proizvodnji, alati i softveri za optimiranje oblika su ključni za ostvarivanje maksimalnih performansi i učinkovitosti oblika. Ovi softverski alati omogućuju konstruktorima da istražuju kompleksne geometrije, minimiraju upotrebu materijala, a istovremeno poboljšavaju mehanička svojstva proizvedenih dijelova. U nastavku je prikazano

nekoliko vodećih softvera i alata koji se koriste u industriji za optimiranje oblika, njihove funkcije i primjene.

- Autodesk Fusion 360 [54]

Autodesk Fusion 360 je integrirani CAD, CAM, i CAE alat koji omogućuje sveobuhvatno 3D modeliranje, simulaciju, i izradu u jednom oblaku. Fusion 360 (slika 33) nudi napredne mogućnosti za topološko optimiranje, što konstruktorima omogućuje da automatski prilagode oblik svojih dijelova kako bi optimirali težinu i funkcionalnost uz zadržavanje ili poboljšanje mehaničkih performansi.

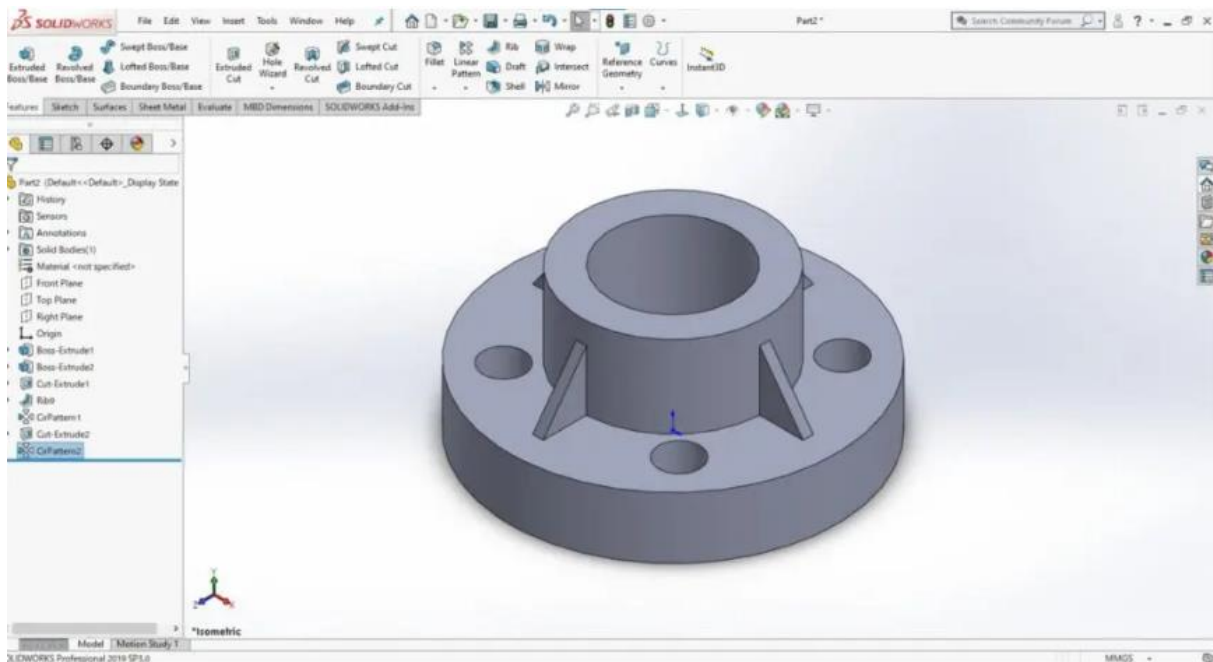


Slika 33. Autodesk Fusion 360 [55]

- SolidWorks [56]

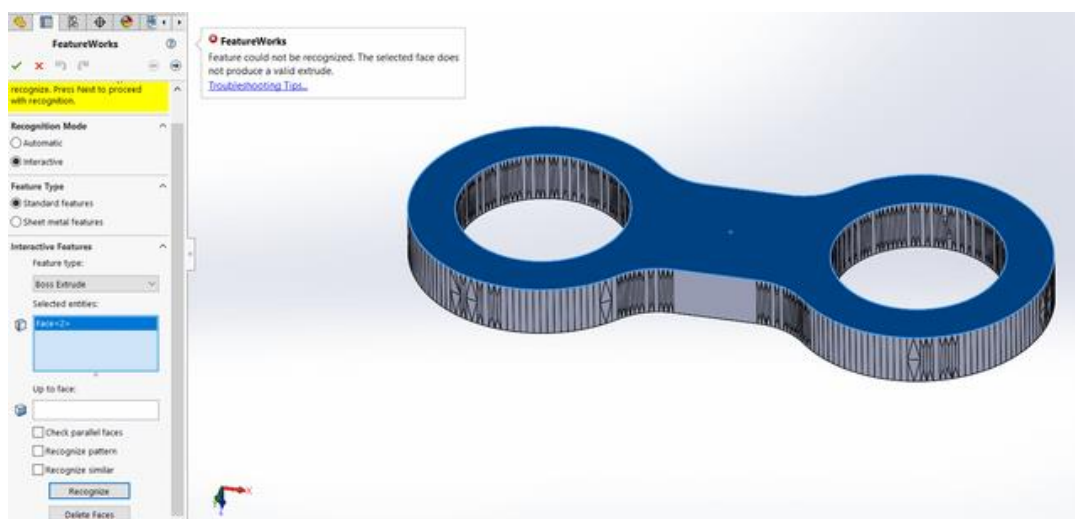
SolidWorks (slika 34) je još jedan široko korišten CAD softver koji nudi specijalizirane alate za simulaciju i oblikovanje optimirano za aditivnu proizvodnju. SolidWorks Simulation koristi metode konačnih elemenata (FEA) za testiranje virtualnih prototipova pod stvarnim uvjetima, omogućujući inženjerima da procjene

kako će promjene u obliku utjecati na performanse i trajnost proizvoda. Osim toga, SolidWorks nudi alate za analizu fluida i optimiranje oblika za složene komponente.



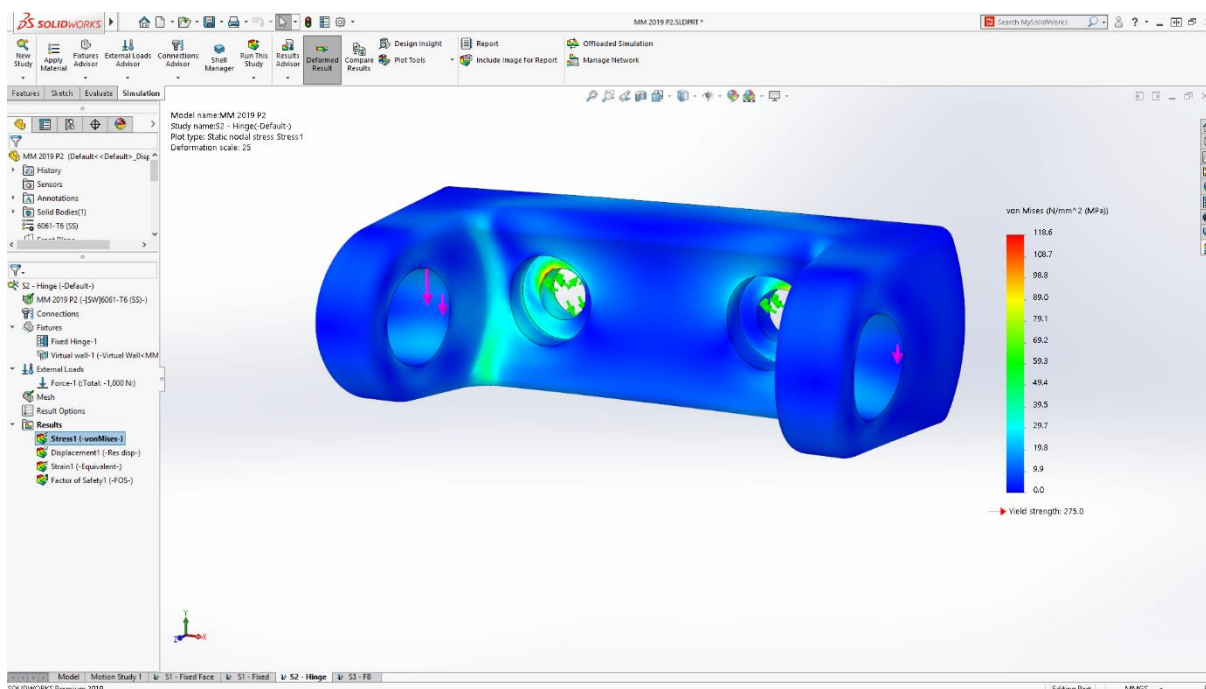
Slika 34. 3D model u Solidworksu [57]

Jedan od ključnih modula u Solidworksu je FeatureWorks, koji omogućuje automatsko prepoznavanje geometrijskih oblika i značajki iz importiranih modela. Ova funkcionalnost je posebno korisna za povratno inženjerstvo, jer omogućuje brzo pretvaranje 3D skeniranih podataka u parametarske modele. Nakon što je model importiran, FeatureWorks (slika 35) identificira značajke kao što su provrti, rezovi, zakrivljenja i druge geometrijske karakteristike, omogućujući daljnju manipulaciju i optimiranje oblika.



Slika 35. Solidworks FeatureWorks [58]

Za analizu i optimiranje strukturnih svojstava dijela koristi se Solidworks Simulation (slika 36). Ovaj modul omogućuje provođenje niza simulacija, uključujući analizu napreznja, deformacija i vibracija pod različitim radnim uvjetima. Korištenjem metode konačnih elemenata (FEA), Solidworks Simulation pomaže inženjerima da identificiraju kritične točke u konstrukciji koje zahtijevaju poboljšanja. Na temelju rezultata simulacije, moguće je prilagoditi geometriju dijela kako bi se smanjila koncentracija napreznja i povećala ukupna izdržljivost.

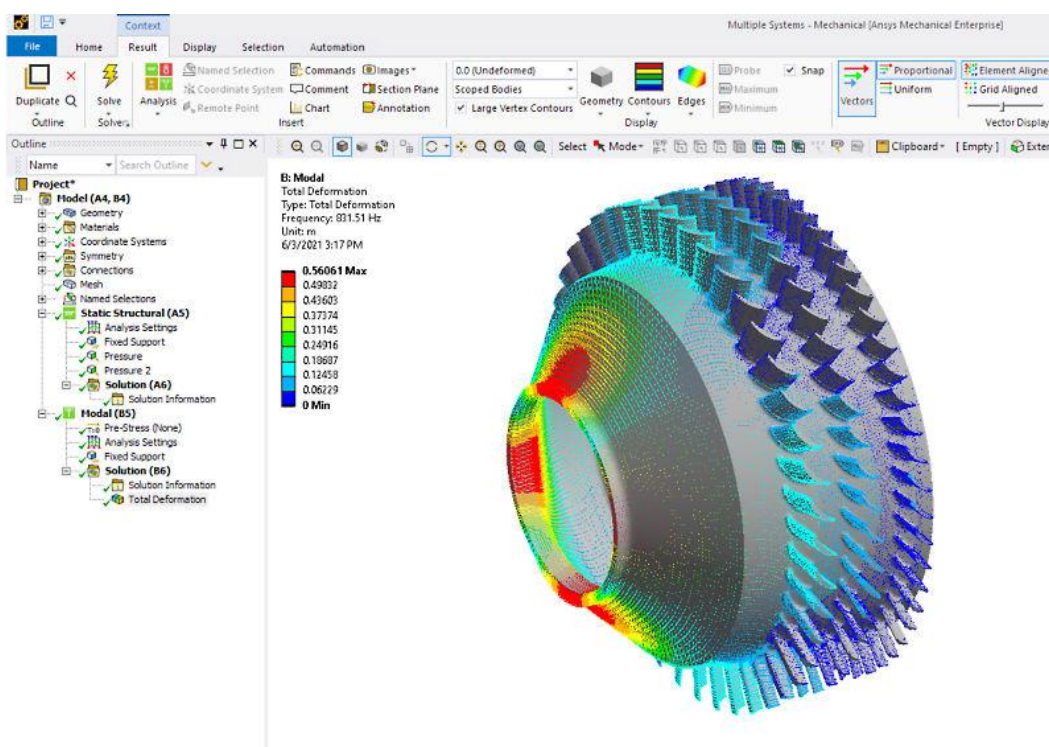


Slika 36. Solidworks Simulation [59]

Topološko optimiranje je napredna tehnika dostupna u Solidworksu koja omogućuje generiranje optimalne geometrije dijela s obzirom na zadane uvjete opterećenja i ograničenja. Ovaj alat koristi algoritme koji redistribuiraju materijal unutar definiranog volumena, stvarajući strukture koje su lagane, ali istovremeno dovoljno čvrste.

- Ansys

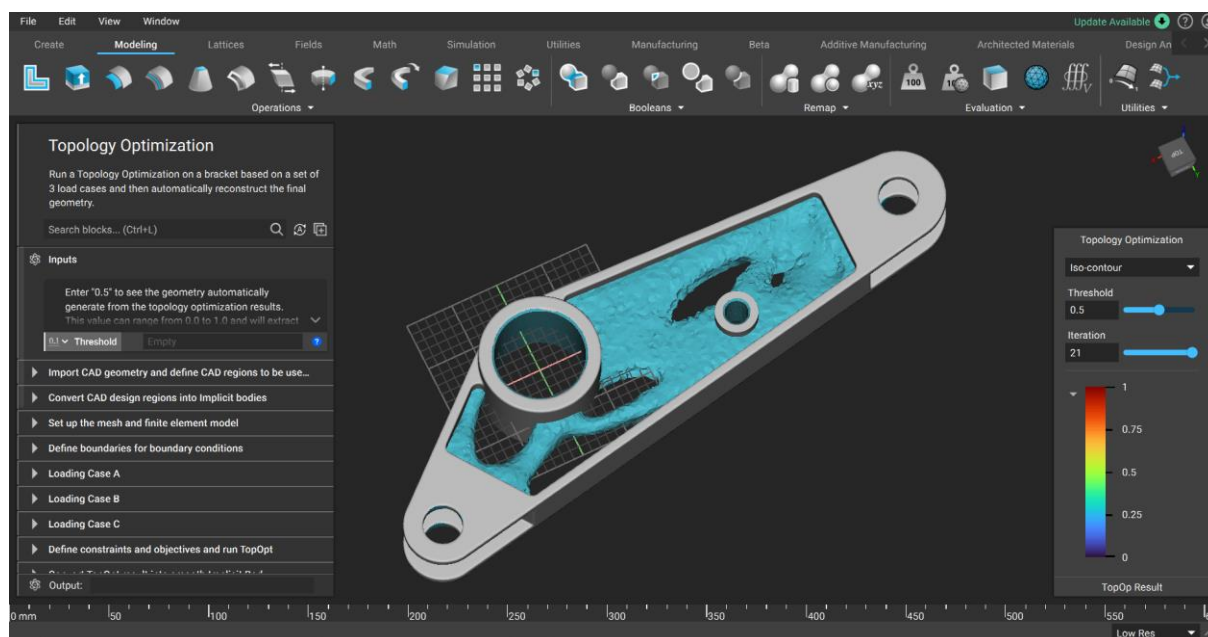
Ansys (slika 37) je simulacijski softver koji nudi snažne alate za strukturnu analizu, dinamiku fluida, i elektromagnetske simulacije. Ansys pruža opsežne mogućnosti za simulaciju materijala i procesa, što ga čini izuzetno vrijednim alatom za optimiranje oblika u aditivnoj proizvodnji. Korisnici mogu provesti detaljne analize kako bi razumjeli optimalne rasporede materijala i kritične točke, te kako bi unaprijedili strukturnu učinkovitost svojih konstrukcija.



Slika 37. Ansys simulacijski softver [60]

- nTopology

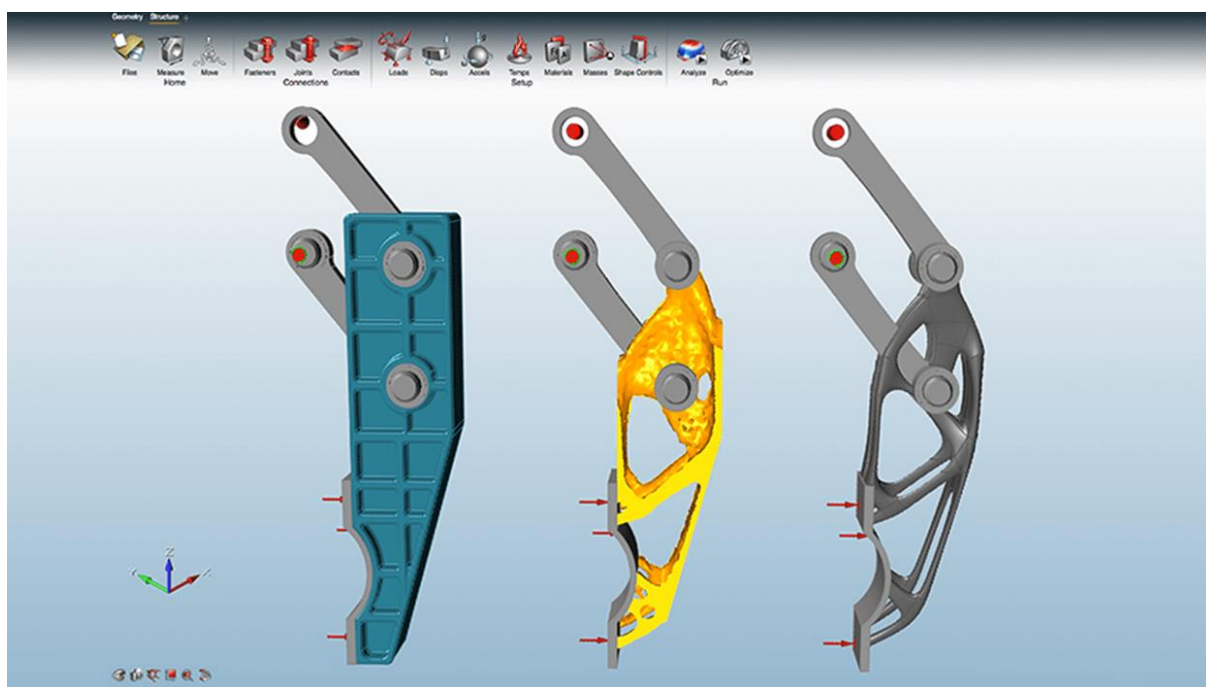
nTopology (slika 38) je inovativan softver koji pruža alate za stvaranje složenih mikrostrukture i geometrija koje su prije bile nezamislive. Ovaj softver koristi topološko optimiranje i generativno oblikovanje za kreiranje laganih, visoko funkcionalnih dijelova za aditivnu proizvodnju. nTopology nudi jedinstvene mogućnosti za kreiranje struktura s kontroliranom poroznošću, što je idealno za komponente koje zahtijevaju visoku toplinsku provodljivost.



Slika 38. nTopology simulacijski softver [61]

- Altair Inspire

Altair Inspire (slika 39) je softver koji omogućava brzo i jednostavno topološko optimiranje i analizu. Kroz interaktivno okruženje, korisnici mogu brzo stvoriti i testirati učinkovite koncepte oblikovanja. Inspire integrira simulacijske alate izravno u proces oblikovanja, što korisnicima omogućava da prilagode i optimiziraju svoje dijelove na intuitivan način.



Slika 39. Altair Inspire alat za optimiranje modela [62]

Ovi alati i softveri igraju ključnu ulogu u industrijalizaciji aditivne proizvodnje, omogućavajući proizvođačima da iskoriste puni potencijal 3D ispisa za stvaranje optimiranih, funkcionalnih i inovativnih dijelova. Njihova primjena proširuje granice tradicionalnog oblikovanja i otvara nove mogućnosti za inovacije u gotovo svim industrijama.

6.3. Studije slučaja optimiranja dijelova izvanbrodskih motora

Aditivna proizvodnja nudi revolucionarne mogućnosti za oblikovanje i proizvodnju dijelova izvanbrodskih motora. Optimiranje oblika i funkcionalnosti s pomoću 3D ispisa ne samo da poboljšava performanse i smanjuje troškove, već također omogućava inovacije koje su bile nezamislive s tradicionalnim proizvodnim metodama. U ovom segmentu, razmatra se nekoliko studija slučaja koje ilustriraju kako optimiranje može transformirati proizvodnju dijelova za izvanbrodske motore.

- Studija slučaja 1: Optimiranje propelera

Problem: Tradicionalno oblikovani propellerski sustavi često su teški i nisu optimirani za specifične uvjete rada, što može dovesti do smanjene učinkovitosti i povećane potrošnje goriva.

Rješenje: Koristeći softver za generativno oblikovanje, kompanija je razvila propelere s prilagođenom geometrijom lopatica koje maksimalno iskorištavaju protok vode. Propeleri su izrađeni s pomoću tehnologije izravnog laserskog sinteriranja metala (DMLS), što je omogućilo izradu složenih oblika koji bi tradicionalno bili teško proizvodljivi.

Rezultati: Optimirani propelerski sustav pokazao je značajno poboljšanje u performansama, smanjenje potrošnje goriva za 15% i povećanje maksimalne brzine plovila.

- Studija slučaja 2: Kućište motora s integriranim hladnjakom

Problem: Kućišta motora su tradicionalno sastavljena iz više dijelova, što može dovesti do problema s curenjem ulja ili rashladne tekućine i komplikacija pri montaži.

Rješenje: Oblikovanje kućišta motora koristeći simulacije konačnih elemenata (FEA) omogućilo je integraciju hladnjaka i drugih funkcionalnih elemenata u samo jedan dio. Kućište je izrađeno koristeći selektivno lasersko sinteriranje (SLS), što je omogućilo preciznu i čvrstu izradu.

Rezultati: Novi oblik kućišta motora rezultirao je smanjenjem težine za 20%, pojednostavljenom montažom i boljim performansama hlađenja, što je dovelo do povećane učinkovitosti motora i smanjenja potencijalnih održavanja.

- Studija slučaja 3: Unapređeni mehanizam za kontrolu ventila

Problem: Mehanički ventili u izvanbrodskim motorima često zahtijevaju kompleksne i teške mehanizme koji mogu utjecati na ukupnu učinkovitost motora.

Rješenje: Korištenjem topološkog optimiranja, oblikovan je lagan i izdržljiv mehanizam za kontrolu ventila. Dijelovi su izrađeni koristeći DMLS tehnologiju, što je omogućilo precizno i čvrsto izvođenje kompleksnih oblika.

Rezultati: Rezultirajući mehanizam bio je 30% lakši od tradicionalno proizvedenih, što je doprinijelo smanjenju ukupne težine motora i povećanju odziva ventila.

Ove studije slučaja pokazuju kako optimiranje oblika i funkcionalnosti s pomoću aditivne proizvodnje može znatno poboljšati karakteristike i performanse izvanbrodskih motora. Korištenje naprednih alata za oblikovanje i proizvodnju ne samo da povećava učinkovitost i smanjuje troškove, već i omogućava proizvodnju dijelova koji su prilagođeni specifičnim zahtjevima i uvjetima rada.

7. PRIMJENA ADITIVNE TEHNOLOGIJE ZA IZRADU ZAMJENSKOG DIJELA IZVANBRODSKOG MOTORA

Aditivne tehnologije, revolucionizirale su pristup oblikovanju i proizvodnji dijelova za izvanbrodske motore. U ovom poglavlju, prikazano je kako se aditivna tehnologija primjenjuje u stvaranju zamjenskih dijelova za izvanbrodske motore, fokusirajući se na ključne aspekte i korake uključene u ovaj proces.

7.1. Opis neispravnog dijela izvanbrodskog motora

Jedan od ključnih izazova s kojima se suočavaju vlasnici starijih modela vanbrodskih motora jest dostupnost rezervnih dijelova. Posebno je ovo izraženo kod motora marke Tomos (slika 40), koji su dugo vremena bili popularni zbog svoje pouzdanosti i jednostavnosti, ali su s vremenom postali rijetki. Kvarovi na ovim motorima, uzrokovani dugogodišnjim korištenjem i trošenjem, često rezultiraju nedostupnošću originalnih rezervnih dijelova.

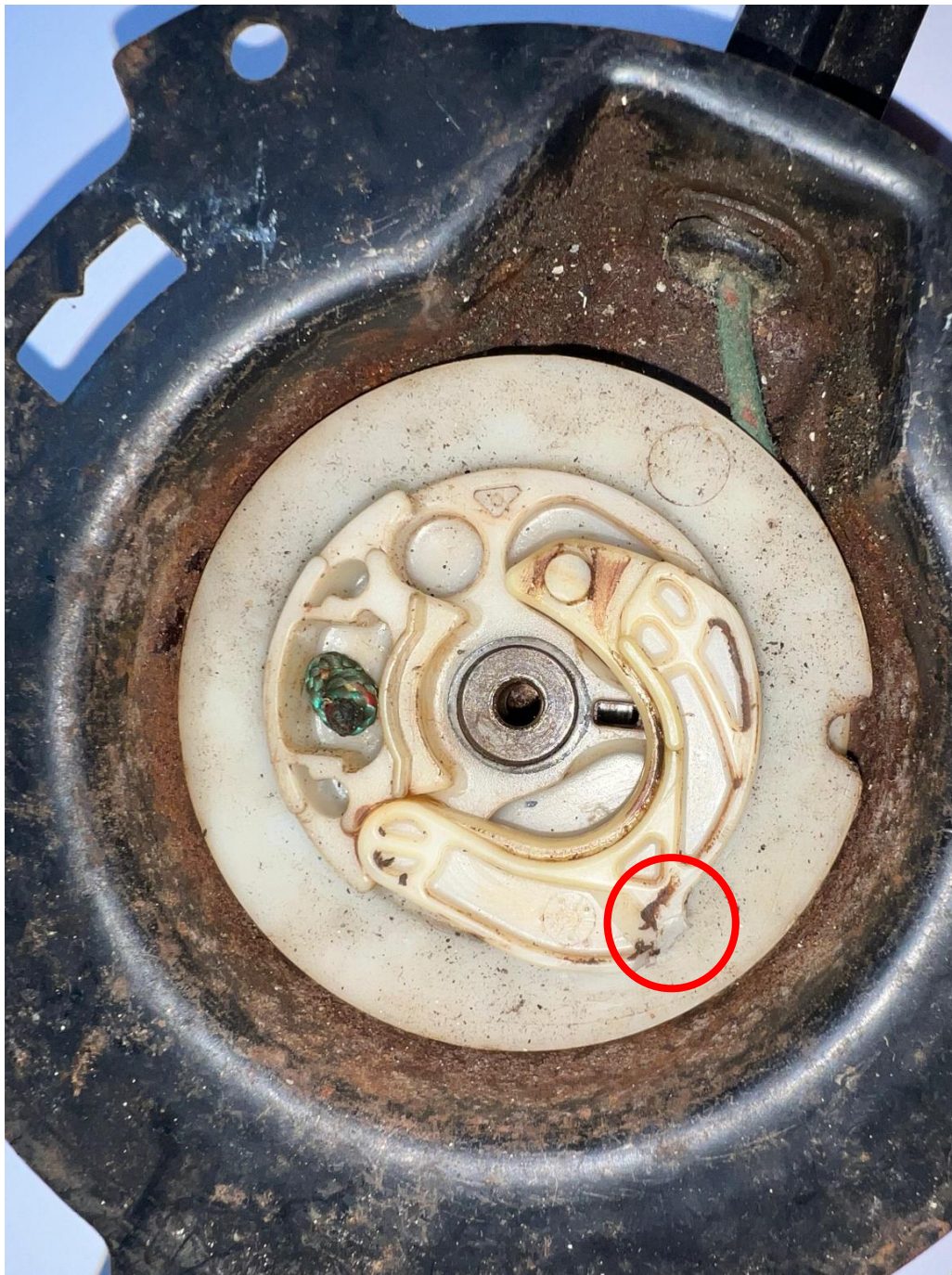


Slika 40. Tomos izvanbrodski motor

Takav je slučaj s pokretačkim mehanizmom (slika 41) jednog starog Tomos vanbrodskog motora, gdje je uslijed starosti došlo do puknuća važnog dijela (slika 42, 43, 44, 45) pokretačkog mehanizma. Taj dio prenosi silu potezanja pokretačkog užeta na osovinu motora te je zbog dugogodišnjeg izlaganja morskoj vodi, vibracijama i opterećenju naposljetku popustio i puknuo. Kako bi motor ponovno bio funkcionalan, potrebno je zamijeniti taj neispravni dio. Međutim, zbog prestanka proizvodnje originalnih dijelova za Tomos motore, nabava novog ili zamjenskog dijela predstavlja veliki problem.



Slika 41. Pokretački mehanizam Tomos izvanbrodskog motora



Slika 42. Prikaz neispravnog dijela u sklopu pokretačkog mehanizma



Slika 43. Prikaz neispravnog dijela uz odlomljeni dio



Slika 44. Stražnja strana neispravnog dijela



Slika 45. Bočna strana neispravnog dijela

7.2. 3D skeniranje neispravnog dijela izvanbrodskog motora

Uvođenje 3D skeniranja kao ključnog koraka u procesu izrade zamjenskog dijela izvanbrodskog motora predstavlja značajan napredak u preciznosti i učinkovitosti popravaka u pomorskoj industriji. Ovaj dio rada fokusira se na praktičnu primjenu tehnologije 3D skeniranja kako bi se točno replicirao i optimirao neispravni dio motora. Cilj je osigurati da zamjenski dio savršeno odgovara originalu, te da se poboljša njegova funkcionalnost i trajnost.

3D skeniranje omogućava detaljnu i preciznu digitalizaciju geometrije neispravnog dijela. Ovaj proces uključuje nekoliko ključnih koraka: pripremu dijela za skeniranje, skeniranje i obradu prikupljenih podataka. Svaka od ovih faza zahtijeva specifične alate i tehnike kako bi se postigli optimalni rezultati.

7.2.1. Priprema za 3D skeniranje

Priprema neispravnog dijela za 3D skeniranje uključuje nekoliko važnih koraka. Prvo, dio se mora temeljito očistiti kako bi se uklonile sve nečistoće koje bi mogle utjecati na kvalitetu skeniranih podataka. Sredstvo za čišćenje ovisi o materijalu dijela, u ovom slučaju je korišten aceton. Nakon čišćenja, dio se pregledava kako bi se identificirale sve mehaničke štete ili deformacije koje mogu utjecati na proces skeniranja. Utvrđena je jedna mehanička šteta.

Priprema također uključuje postavljanje dijela u optimalan položaj za skeniranje, što često zahtijeva korištenje specijaliziranih nosača i podložaka kako bi se osigurala stabilnost tijekom procesa.

7.2.2. Proces skeniranja i obrada podataka

U ovom slučaju, za 3D skeniranje korištena je mobilna aplikacija Polycam, koja je lako dostupna i jednostavna za korištenje. Koraci kod skeniranja i obrade podataka su:

1. Preuzimanje i instalacija aplikacije:

Aplikacija Polycam preuzima se iz trgovine aplikacijama i instalira na mobilni uređaj. [63]

2. Priprema okoline za skeniranje:

Dio se postavlja na stabilnu površinu u dobro osvijetljenom prostoru (slika 46) kako bi se osigurala maksimalna preciznost skeniranja.

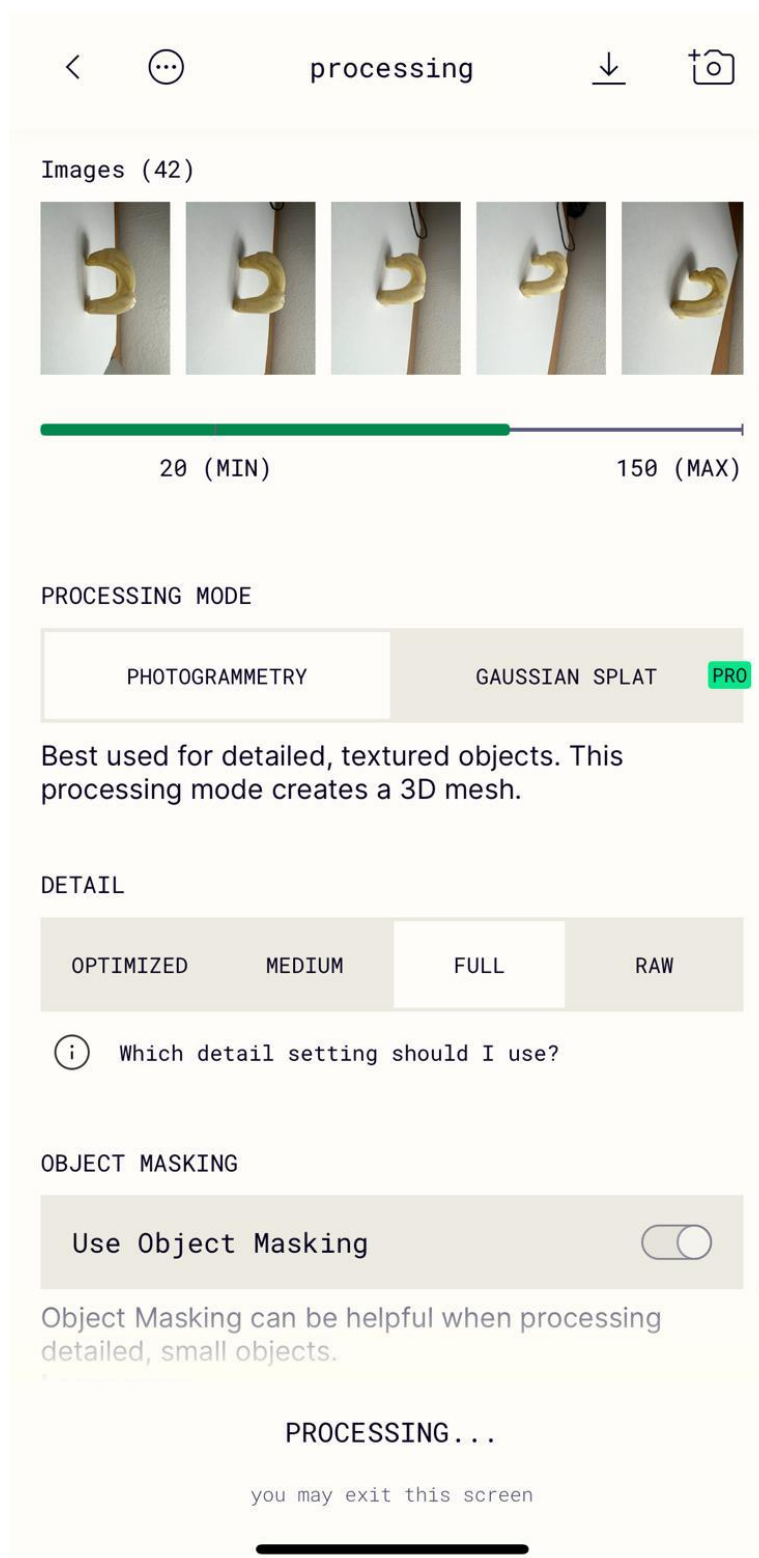


Slika 46. Neispravni dio na stabilnoj i osvijetljenoj podlozi

3. Skeniranje dijela:

Aplikacija Polycam se pokreće i postavlja se na način za 3D skeniranje.

Mobilni uređaj se polako pomiče oko dijela kako bi kamera zabilježila sve kutove i detalje. Polycam koristi kombinaciju fotografija i senzorskih podataka za generiranje trodimenzionalnog modela (slika 47).

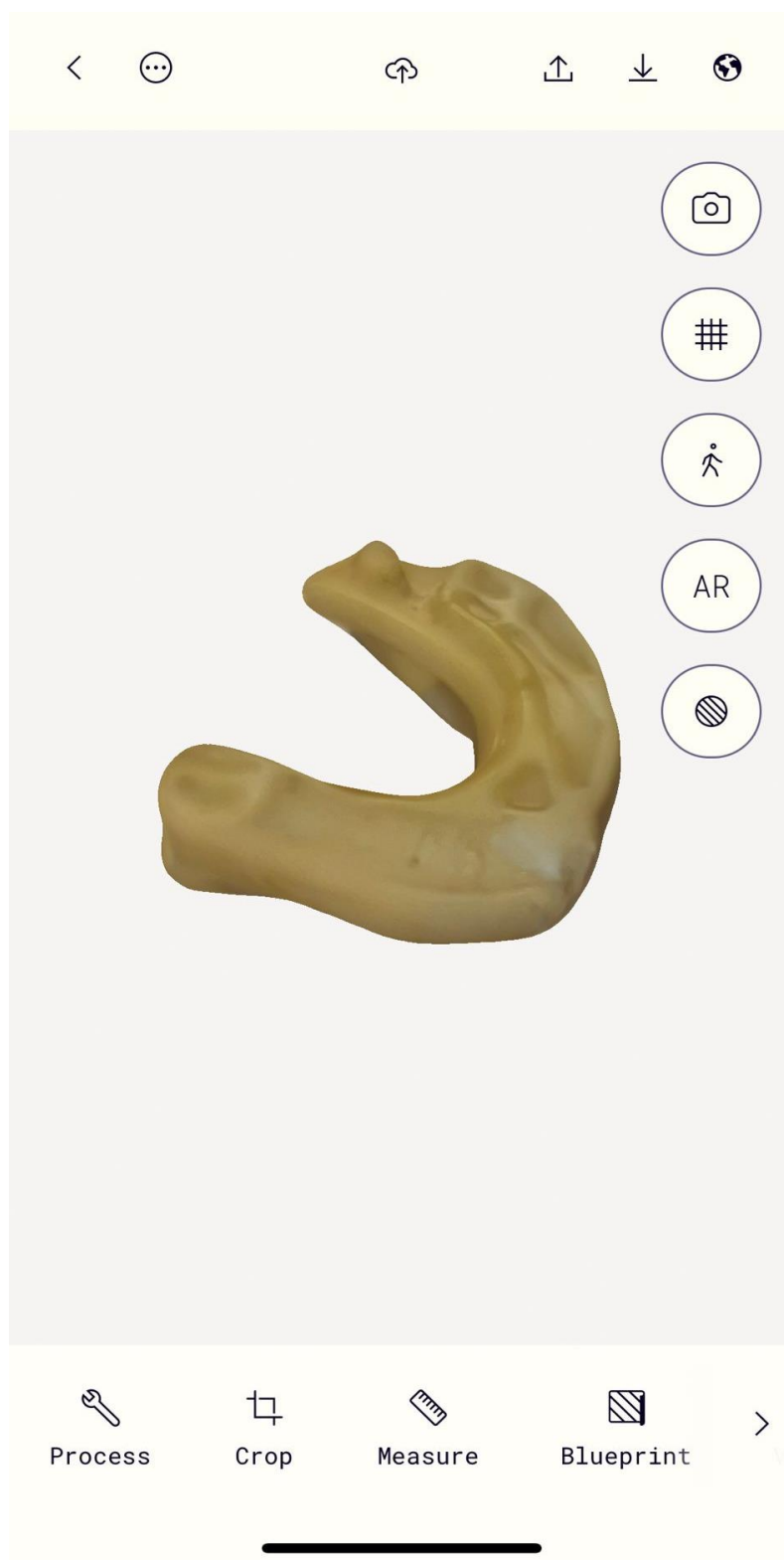


Slika 47. Procesiranje skeniranih podataka

Proces skeniranja se završava kada aplikacija prikupi dovoljno podataka za izradu cjelovitog modela.

4. Obrada podataka:

Nakon skeniranja, aplikacija Polycam obrađuje prikupljene podatke i generira 3D model (slika 48).

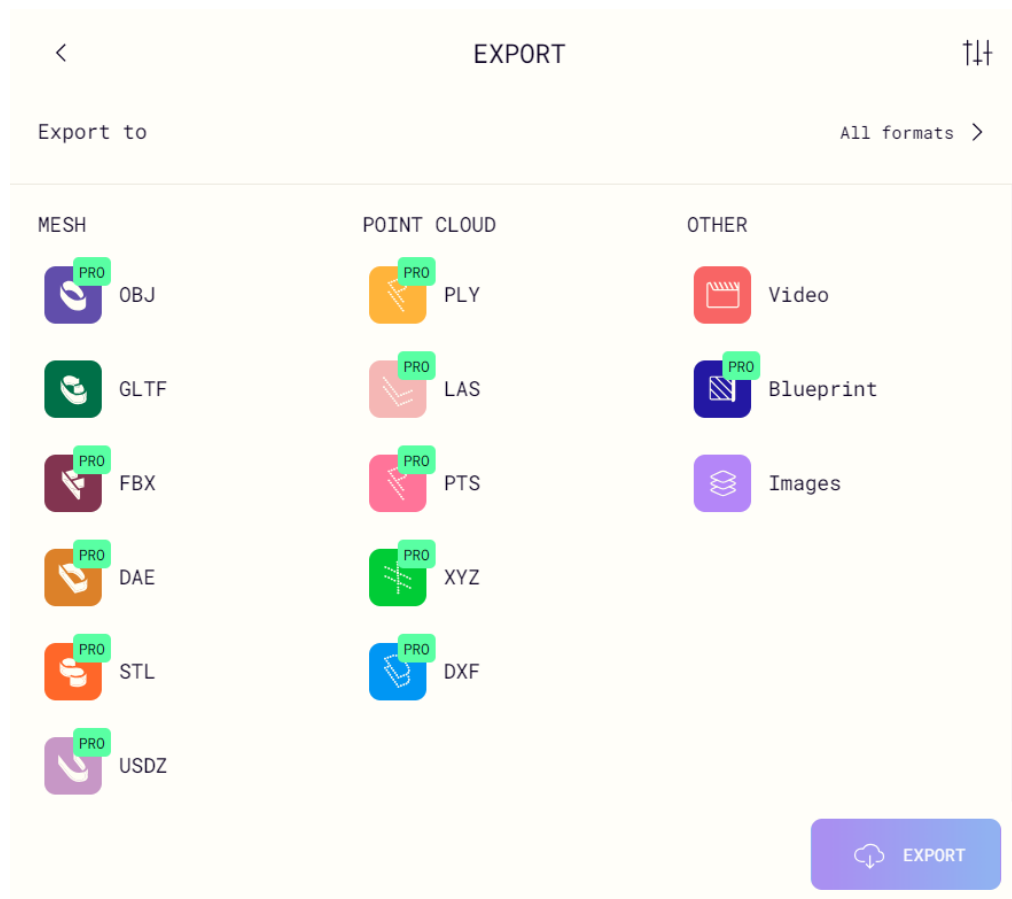


Slika 48. 3D model skeniranog dijela

Model se može pregledati unutar aplikacije i dodatno prilagoditi po potrebi.

5. Izvoz 3D modela:

Gotovi 3D model se iz Polycam aplikacije izvozi u format kompatibilan s drugim 3D softverima (npr. OBJ ili STL) što je prikazano na slici 49.



Slika 49. Različiti formati za izvoz 3D skeniranog modela

Ovaj digitalni model se potom može koristiti u bilo kojem 3D program za daljnju obradu, optimiranje i pripremu za ispis.

7.3. Optimiranje oblika neispravnog dijela izvanbrodskog motora

Optimiranje oblika neispravnog dijela izvanbrodskog motora predstavlja ključni korak u procesu izrade zamjenskog dijela. Cilj ove faze je poboljšati oblik dijela kako bi se povećala njegova izdržljivost i poboljšale performanse. Korištenjem alata za optimiranje oblika, moguće je generirati dio koji je bolje prilagođen specifičnim uvjetima rada i koji pruža višu pouzdanost u eksploataciji.

Zbog geometrijske jednostavnosti neispravnog dijela, optimirani model nije napravljen prema skenu neispravnog dijela već je od nule modeliran u 3D programu.

7.3.1. Izrada osnovnog modela zamjenskog dijela

Za optimiranje oblika neispravnog dijela izvanbrodskog motora korišten je Solidworks, jedan od najraširenijih 3D CAD (Computer-Aided Design) programa u inženjerskoj praksi. Solidworks nudi niz alata i modula koji omogućuju detaljnu analizu, simulaciju i optimiranje oblika, čime se postižu visokokvalitetni rezultati u kraćem vremenu.

Modeliranje je uključivalo definiranje osnovnih geometrijskih oblika koji čine strukturu dijela. Posebna pažnja posvećena je detaljima koji su kritični za funkcionalnost dijela, kao što su spojevi, otvori i izbočine. Nakon izrade osnovne strukture, model je dodatno usklađivan i prilagođavan kako bi što vjernije odgovarao originalnom dijelu, ali bez geometrijskih neispravnosti koje su bile prisutne u izvornom uzorku. Navedeni model je prikazan na slici 50.

Cilj ove faze nije bio samo replicirati postojeći dio, već stvoriti precizan temelj na kojem će se kasnije primijeniti tehnike optimiranja. Time se osigurava da svaki sljedeći korak u procesu optimiranja bude izveden na stabilnoj i točnoj osnovi, omogućujući postizanje najboljih mogućih rezultata u konačnom obliku zamjenskog dijela.



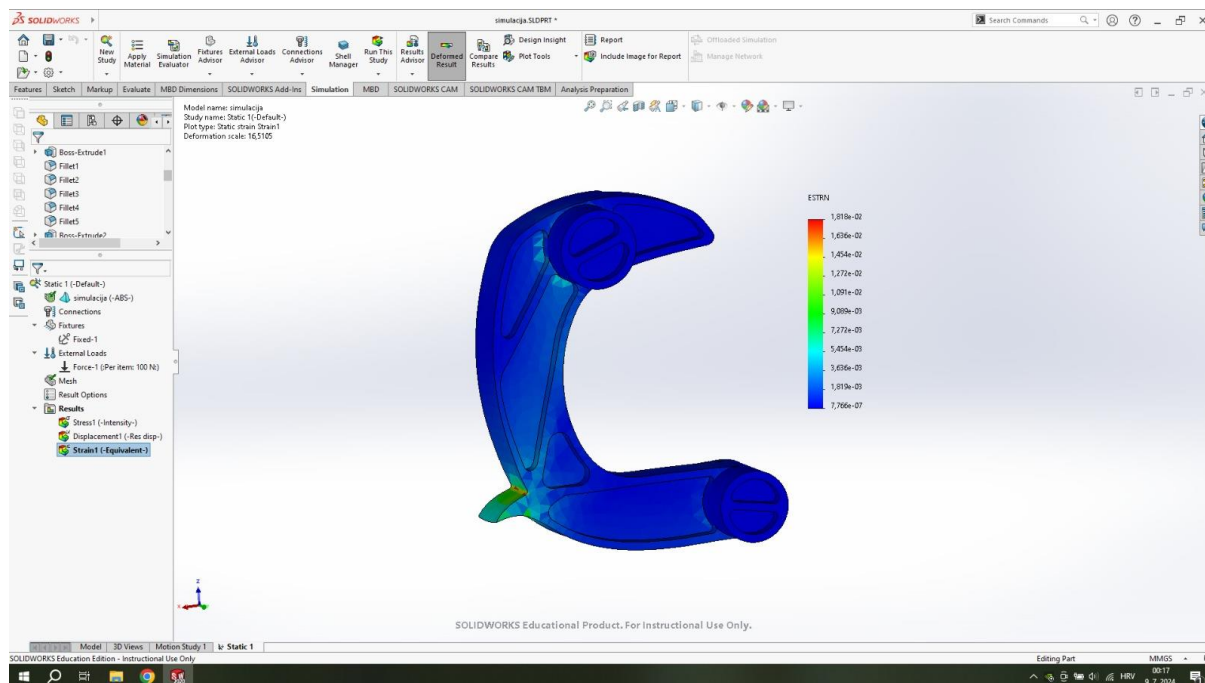
Slika 50. 3D model tvorničkog dijela

7.3.2. Primjena geometrijskih korekcija

Nakon što je izrađen osnovni model dijela, sljedeći korak u procesu optimiranja obuhvaćao je primjenu geometrijskih korekcija. Ovaj korak bio je ključan za uklanjanje postojećih geometrijskih neispravnosti i za prilagodbu modela kako bi se poboljšale njegove performanse i pouzdanost.

Prvo je bilo potrebno identificirati i analizirati problematična područja na osnovnom modelu. Korištenjem alata za analizu u SolidWorks-u, utvrđena su područja modela koja su bila

podložna prekomjernim naprezanjima (slika 51). Ova analiza omogućila je detaljan uvid u točne lokacije i prirodu geometrijskih nedostataka.



Slika 51. Prikaz kritične točke originalnog dijela

Nakon identifikacije problematičnih područja, započeo je proces korekcije. Model je optimiran na način da se dodalo više materijala na mjestu gdje je softverski simulirana kritična točka te je dodan radijus tako da naprezanje ne bi bilo koncentrirano u jednoj liniji. Takav optimirani model prikazan je na slici 52.



Slika 52. Optimirani model

Na ovaj način, model je značajno poboljšán u smislu strukturalnog integriteta, uz zadržavanje vjernosti originalnom obliku.

7.4. 3D ispis zamjenskog dijela izvanbrodskog motora

7.4.1. Opis korištenog 3D pisača i aditivne tehnologije [64]

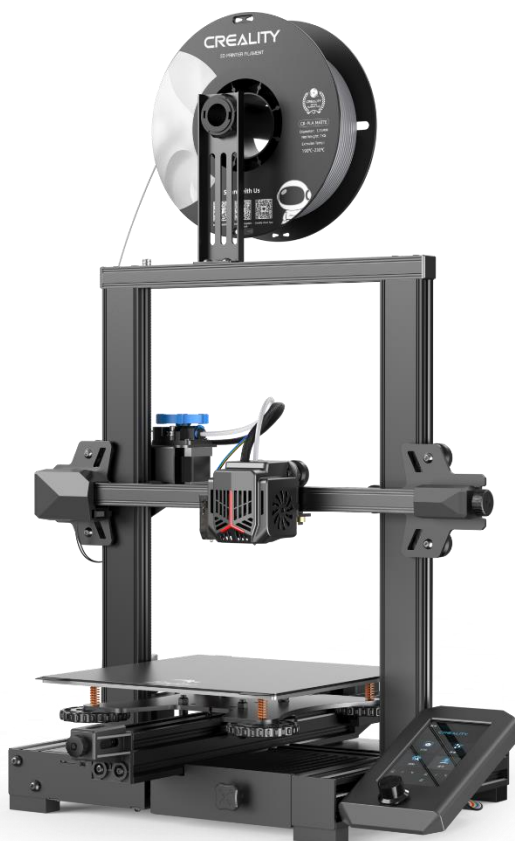
Creality Ender-3 V2 Neo (slika 53) je popularan 3D pisáč poznat po svojoj pouzdanosti, pristupačnoj cijeni i visokim performansama. Pisač koristi FDM aditivnu tehnologiju ispisa. Karakteristike Creality Ender-3 V2 Neo 3D pisača su:

- **Konstrukcija:**
Čvrsti aluminijski okvir koji osigurava stabilnost i minimalne vibracije tijekom ispisa, što doprinosi boljoj preciznosti. Pisač dolazi pretežno sastavljen, što značajno smanjuje vrijeme i trud potreban za početak ispisa.
- **Radna površina:**
Veličina radne površine je 220 x 220 x 250 mm, što omogućuje ispis srednje velikih modela. Staklena platforma poboljšava prianjanje prvog sloja i osigurava ravnomjernu toplinsku distribuciju, što je ključno za kvalitetan ispis.
- **Ekstruder:**

Unaprijeđeni Bowden ekstruder osigurava stabilan, tih i precizan protok filamena. Pisač podržava širok spektar filamenata, uključujući PLA, TPU i ABS.

- **Zagrijavanje i temperatura:** Platforma se može brzo zagrijati do radne temperature, obično do 100°C, dok ekstruder može doseći temperature do 260°C, što omogućuje ispis raznim materijalima.
- **Korisničko sučelje:**
Pisač je opremljen intuitivnim zaslonom s okretnim gumbom, što olakšava navigaciju kroz postavke i praćenje statusa ispisa.
- **Automatsko niveliranje:**
Ender-3 V2 Neo dolazi s automatskim senzorom za niveliranje platforme, što osigurava savršenu ravnotežu radne površine i smanjuje potrebu za ručnim podešavanjem.
- **Dodatne značajke:**
Pisač je opremljen funkcijama kao što su nastavak ispisa nakon nestanka struje i detekcija kraja filamena, što osigurava kontinuitet ispisa i smanjuje otpad.
- **Softver i kompatibilnost:**
Pisač podržava različite programe za rezanje, uključujući Creality Slicer, PrusaSlicer, Cura, Repetier-Host i Simplify3D, omogućujući korisnicima fleksibilnost u pripremi modela za ispis.

Creality Ender-3 V2 Neo predstavlja izvrstan izbor za hobiste, inženjere i kreativne profesionalce koji traže pouzdan i svestran 3D pisač s naprednim značajkama i pristupačnom cijenom.

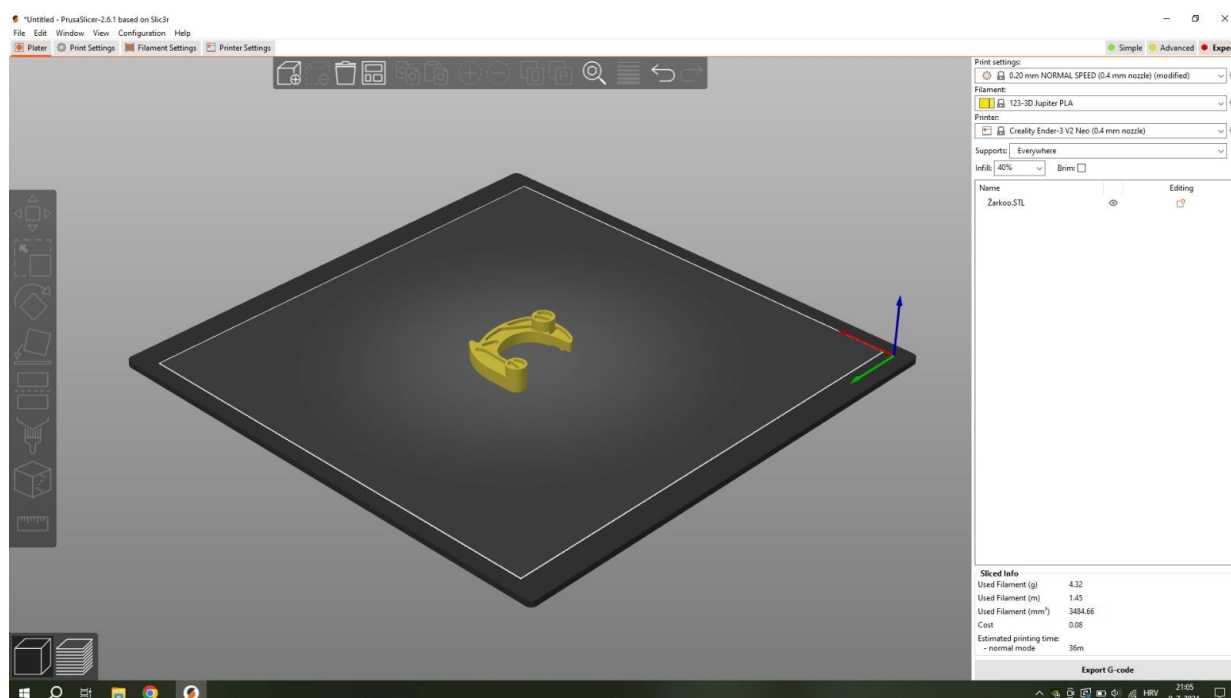


Slika 53. Creality Ender-3 V2 Neo 3D pisac [65]

7.4.2. Priprema za 3D ispis

Jedan od najvažnijih alata za ovaj proces je program za rezanje modela na slojeve, a u ovom slučaju korišten je PrusaSlicer. Priprema modela za 3D ispis uključuje nekoliko ključnih koraka kako bi se osigurao uspješan i precizan ispis:

1. Uvoz modela: Prvi korak u pripremi je uvoz 3D modela u PrusaSlicer. Model se obično uvozi u STL ili OBJ formatu, koji su standardni formati za 3D ispis.
2. Postavljanje modela: Nakon importiranja, model se postavlja na radnu površinu unutar PrusaSlicer-a (slika 54). Ovdje se može prilagoditi veličina modela, njegov položaj i orijentacija kako bi se optimirala kvaliteta ispisa i smanjila potreba za potpornim strukturama.

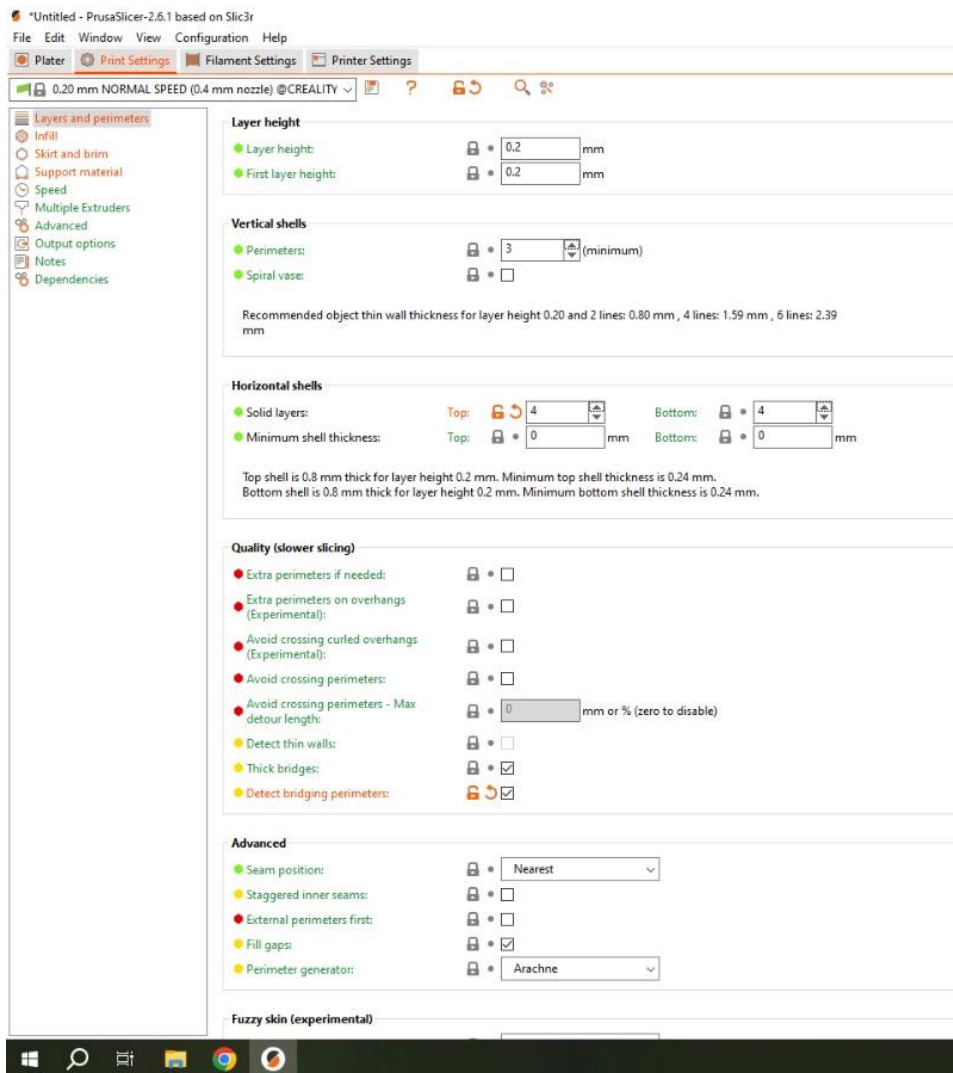


Slika 54. Postavljanje modela na radnu površinu

3. Podešavanje postavki ispisa: U ovom koraku biraju se ključne postavke ispisa. Neke od glavnih postavki su:

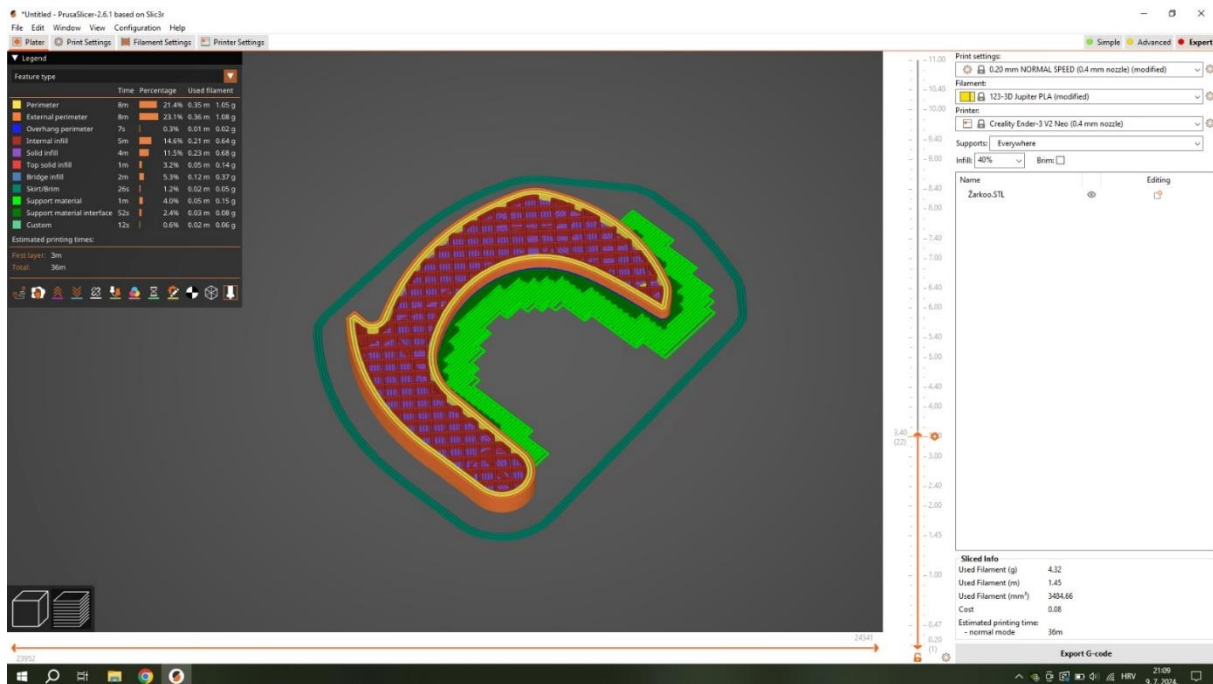
- Materijal: PLA
- Gustoća ispisa: 1.24 g/cm^3
- Temperatura ekstrudera: $215 \text{ }^\circ\text{C}$
- Temperatura podloge: $60 \text{ }^\circ\text{C}$
- Način ispune: linearna rešetka

PrusaSlicer omogućuje detaljnu prilagodbu svih ovih parametara kako bi se postigla optimalna kvaliteta i mehanička svojstva ispisa. Na slici 55 dan je prikaz izbornika gdje se biraju neki od mogućih parametara.



Slika 55. Izbornik parametara za 3D ispis

4. Generiranje potpornih struktura: Zbog složenosti modela potrebno je dodati potporne strukture koje pomažu pri ispisu složenih geometrija. PrusaSlicer automatski generira ove strukture, ali korisnik može dodatno prilagoditi njihovu gustoću i položaj.
5. Rezanje: Kada su sve postavke podešene, model se reže na tanke slojeve pomoću PrusaSlicer-a. Ovaj proces pretvara 3D model u niz slojeva koje će 3D pisac postupno graditi (slika 56).



Slika 56. Prikaz rezanja 3D modela

6. Pregled i provjera: Prije konačnog ispisa, PrusaSlicer omogućuje pregled generiranih slojeva kako bi se provjerilo da nema pogrešaka ili nedostataka.

7. Ispis: Nakon pregleda i potvrde, G-kod se prenosi na 3D pisač, gdje započinje proces ispisa. PrusaSlicer osigurava da su svi parametri optimirani za najbolju moguću kvalitetu ispisa. Dio G-koda je prikazan na slici 57.


```
|; generated by PrusaSlicer 2.6.1+win64 on 2024-07-09 at 19:09:20 UTC
;
; external perimeters extrusion width = 0.42mm
; perimeters extrusion width = 0.44mm
; infill extrusion width = 0.44mm
; solid infill extrusion width = 0.44mm
; top infill extrusion width = 0.40mm
; support material extrusion width = 0.36mm
; first layer extrusion width = 0.42mm

M201 X500 Y500 Z100 E5000 ; sets maximum accelerations, mm/sec^2
M203 X500 Y500 Z10 E60 ; sets maximum feedrates, mm / sec
M204 P500 R1000 T500 ; sets acceleration (P, T) and retract acceleration (R), mm/sec^2
M205 X8.00 Y8.00 Z0.40 E5.00 ; sets the jerk limits, mm/sec
M205 S0 T0 ; sets the minimum extruding and travel feed rate, mm/sec
;TYPE:Custom
G90 ; use absolute coordinates
M83 ; extruder relative mode
M104 S150 ; set temporary nozzle temp to prevent oozing during homing and auto bed leveling
M140 S60 ; set final bed temp
G4 S30 ; allow partial nozzle warmup
G28 ; home all axis
G29 ; auto bed levelling
G1 Z50 F240
```

Slika 57. Dio G-koda za 3D ispis modela

Korištenjem PrusaSlicer-a, proces pripreme modela za 3D ispis postaje detaljan i precizan, što omogućuje izradu visokokvalitetnih i funkcionalnih dijelova.

7.4.3. Post-procesiranje i završna dorada

Post-procesiranje i završna dorada osiguravaju da ispisani model postigne željenu funkcionalnost i estetsku kvalitetu. Ovaj proces uključuje uklanjanje potpornih struktura, zaglađivanje površina i obradu oštih bridova, što dovodi do gotovog proizvoda spremnog za upotrebu. Slika 58 prikazuje izgled ispisanog 3D modela nakon završne obrade.



Slika 58. 3D ispisani model nakon završne obrade

7.5. Testiranje i analiza performansi zamjenskog dijela

7.5.1. Usporedba s originalnim dijelom

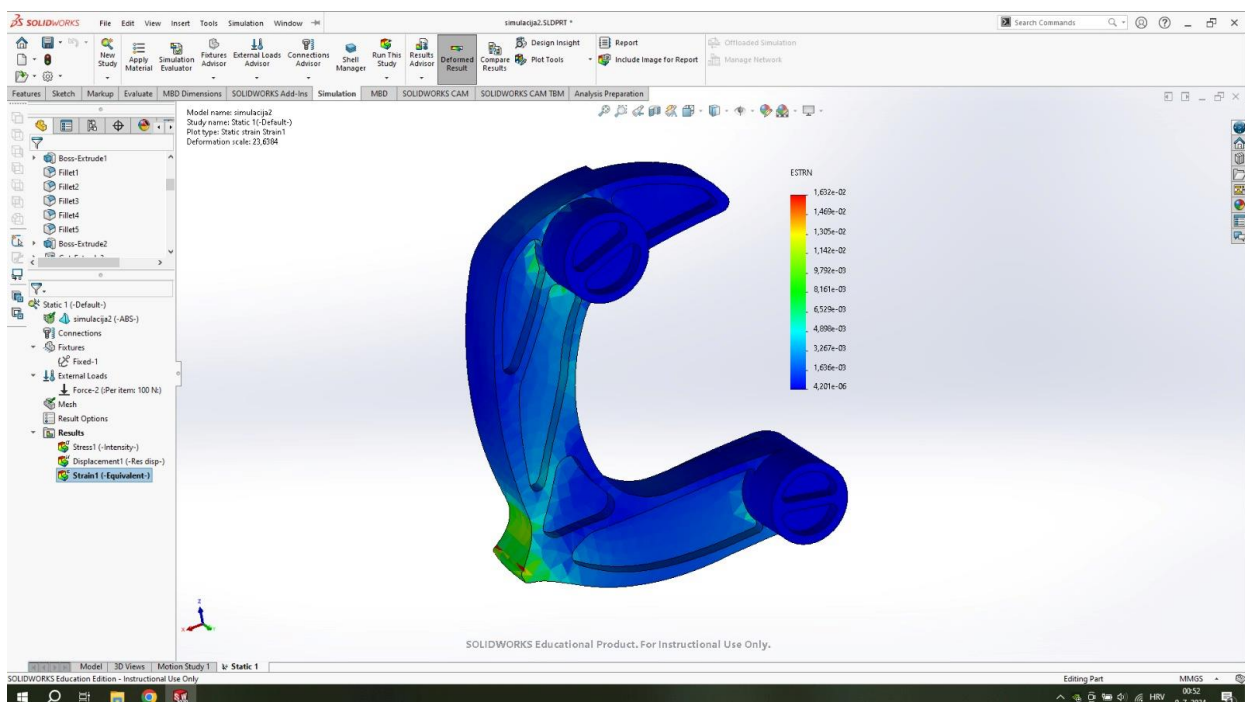
Provedena je detaljna usporedba zamjenskog dijela s originalnim dijelom kako bi se procijenila njihova međusobna sličnost u smislu dimenzija, mase, materijala i strukturnih karakteristika. Ova usporedba uključuje:

- Dimenzijsku točnost: Metrom su izmjerene sve važne dimenzije kako bi se utvrdilo koliko je zamjenski dio precizan u odnosu na original. Pokazalo se da su odstupanja po 1 ili 2 mm što je zanemarivo i ne utječe na funkcionalnost zamjenskog dijela.
- Masu: Vaga za precizno vaganje korištena je za usporedbu mase oba dijela. Masa optimiranog dijela je za par miligrama veća što je očekivano s obzirom da smo u procesu optimiranja dodali materijal oko kritične točke.
- Materijalne karakteristike: Zbog nedostupnosti ABS plastike (od koje je ujedno napravljen i originalni dio), za zamjenski dio korištena je manje kvalitetna plastika (PLA).

Zamjenski dio uspješno replicira sve ključne karakteristike originalnog dijela te je spreman za testiranje funkcionalnosti.

7.5.2. Programsko testiranje na naprezanje

U softveru SolidWorks Simulation provedena je analiza na naprezanje optimiranog dijela (slika 59). Ova analiza pokazala je da je optimiranje rezultiralo otklanjanjem postojeane kritične točke, osiguravajući time da optimirani dio zadovoljava sve potrebne mehaničke zahtjeve i izdrži opterećenja kojima će biti izložen tijekom upotrebe.



Slika 59. Simulacija naprezanja optimiranog dijela

7.5.3. Testiranje zamjenskog dijela u stvarnim uvjetima

Nakon što je zamjenski, 3D ispisan dio ugrađen na Tomos izvanbrodski motor, provedeno je testiranje u stvarnim uvjetima (slika 60).



Slika 60. Testiranje zamjenskog dijela u stvarnim uvjetima

Testiranje je uključivalo seriju od 100 pokretanja motora užetom za pokretanje kako bi se simulirala stvarna upotreba dijela tijekom razdoblja koje je realno za nabavu originalnog ili poboljšanog zamjenskog dijela. Tijek testa prikazan je u nastavku:

- Početni test: Nakon montaže zamjenskog dijela, motor je pokrenut nekoliko puta kako bi se provjerila inicijalna funkcionalnost. Motor se svaki put upalio glatko, bez znakova neispravnosti.
- Simulacija stvarne upotrebe: Provedena je serija od 100 pokretanja motora uže tom za pokretanje. Svi pokreti izvedeni su pod uvjetima sličnim onima u stvarnoj upotrebi, uključujući normalno opterećenje i uvjete okoline.
- Praćenje performansi: Tijekom cijelog testiranja, performanse zamjenskog dijela su kontinuirano praćene. Nisu uočene nikakve promjene u ponašanju kod paljenja motora. Motor se palio normalno kroz svih 100 pokretanja.
- Završna inspekcija: Nakon dovršetka 100 pokretanja, zamjenski dio je demontiran i detaljno pregledan. Inspekcija je pokazala da nema znakova istrošenosti, pukotina, deformacija ili drugih oštećenja na zamjenskom dijelu.

Na temelju rezultata testiranja, zaključeno je da je zamjenski, 3D ispisani dio adekvatan za dugotrajnu upotrebu u stvarnim uvjetima. Dio je uspješno izdržao testiranje, što sugerira da može izdržati operativne uvjete bez smanjenja performansi ili pouzdanosti.

Iako je PLA pokazao dobre rezultate, preporučuje se razmotriti ispis dijela ABS plastikom za dodatnu sigurnost i otpornost, posebno zbog bolje otpornosti ABS-a na visoke temperature, ulje i gorivo.

7.6. Troškovna analiza

7.6.1. Vrijeme i troškovi 3D skeniranja

U ovom dijelu analize, razmatraju se vrijeme i troškovi 3D skeniranja korištenjem dvije metode: Polycam mobilne aplikacije za 3D skeniranje i ručnog 3D skenera. Cilj je usporediti ove metode kako bi se utvrdilo koja je ekonomičnija i učinkovitija za dugoročnu upotrebu.

Vrijeme i troškovi korištenja mobilne aplikacije: godišnja pretplata na mobilnu aplikaciju za 3D skeniranje iznosi 50 €, što se mjesečno svodi na otprilike 4,17 €. Vrijeme za pripremu modela i skeniranje iznose približno 30 minuta.

Vrijeme i troškovi korištenja ručnog 3D skenera: trošak za kupnju prosječnog ručnog 3D skenera iznosi 390 €. Vrijeme potrebno za pripremu modela i skeniranje ručnim skenerom također iznosi približno 30 minuta.

Sumirani prednosti i nedostaci korištenja mobilne aplikacije u usporedbi s ručnim 3D skenerom prikazani su u tablici 1.

Tablica 1. Usporedba mobilne aplikacije i ručnog uređaja za 3D skeniranje

	PREDNOSTI	NEDOSTACI
MOBILNA APLIKACIJA	Niži početni trošak	Dugoročno manje isplativ zbog troškova pretplate
	Jednostavna upotreba	Manja preciznost
	Idealna za povremeno korištenje	Ovisnost o hardverskim mogućnostima mobilnog telefona
RUČNI 3D SKENER	Dugoročno isplativ	Viši početni trošak
	Veća preciznost	Kompleksnost korištenja
	Bolja kvaliteta skeniranja	Manja prenosivost

Za povremene ili manje projekte, mobilna aplikacija za 3D skeniranje je ekonomična i praktična opcija. Međutim, za učestalu upotrebu i veće projekte, investicija u ručni 3D skener predstavlja bolji omjer dugoročnih troškova i koristi.

7.6.2. *Troškovi optimiranja i 3D ispisa*

Za analizu troškova optimiranja modela i 3D ispisa zamjenskog dijela, uzimaju se u obzir cijena filameta, količina korištenog materijala, vrijeme potrebno za optimiranje modela, pripremu ispisa te sam ispis i post-procesiranje. Trošak struje je zanemariv.

Troškovi PLA materijala za izradu zamjenskog dijela (koji se prodaje po 20,9 € po kilogramu), iznose otprilike 0,08 € za korištenih 4 grama.

Proces optimiranja modela zahtijevao je približno 30 minuta.

Priprema za ispis, uključujući podešavanje 3D pisača i postavljanje parametara ispisa, trajala je otprilike 15 minuta. Sam ispis i post obrada zamjenskog dijela trajali su oko 40 minuta. Ukupno vrijeme optimiranja i 3D ispisa iznosi 85 minuta.

Ukupni troškovi optimiranja modela i 3D ispisa zamjenskog dijela su minimalni, s obzirom na nisku cijenu filameta i relativno kratko vrijeme potrebno za svaki korak procesa.

7.6.3. Ekonomičnost u odnosu na tradicionalne metode [66]

Ovaj dio analize usmjeren je na usporedbu troškova, vremena proizvodnje, fleksibilnosti i ekološkog utjecaja aditivnih tehnologija u odnosu na tradicionalne metode.

- Troškovi proizvodnje:
 - Vrijeme potrebno za 3D ispis je relativno kratko, osobito kada se uzme u obzir eliminacija potrebe za izradom alata i kalupa. Ova brzina omogućava brzi razvoj prototipova i kratke serije proizvodnje.
 - Proizvodnja tradicionalnim metodama može trajati znatno duže zbog složenih pripremnih koraka, poput izrade alata i kalupa, te duljih proizvodnih ciklusa, osobito za kompleksne dijelove.
- Fleksibilnost i prilagodljivost:
 - 3D ispis nudi visoku razinu fleksibilnosti, omogućavajući jednostavne izmjene oblika i prilagodbe dijelova bez dodatnih troškova. To je posebno korisno za prilagođene ili kompleksne geometrije koje bi bile teško izvedive tradicionalnim metodama.
 - Izmjene oblika kod tradicionalnih metoda često zahtijevaju dodatne troškove za prilagodbu ili izradu novih alata i kalupa, što može biti skupo i vremenski zahtjevno.
- Ekološki utjecaj:
 - 3D ispis obično stvara manje otpada u usporedbi s tradicionalnim metodama, budući da se materijal dodaje sloj po sloj, što smanjuje količinu otpadnog materijala. Također, mnogi filamentni materijali su ekološki prihvatljivi i mogu se reciklirati.
 - Tradicionalne metode često stvaraju više otpada, posebno kod metoda obrade kao što je CNC, gdje se višak materijala uklanja iz sirovca. Ovaj otpad može biti teško reciklirati i često završava kao industrijski otpad.

Ekonomičnost aditivnih tehnologija u odnosu na tradicionalne metode proizvodnje jasno se očituje u nižim troškovima za male serije i pojedinačne dijelove, bržem vremenu

proizvodnje, većoj fleksibilnosti i prilagodljivosti te manjem ekološkom utjecaju. Iako tradicionalne metode mogu biti ekonomičnije za velike serije proizvodnje, 3D ispis nudi značajne prednosti za specijalizirane, prilagođene i kompleksne dijelove, što ga čini izuzetno korisnim alatom u modernoj proizvodnji.

8. ZAKLJUČAK

Aditivne tehnologije omogućuju slojevito stvaranje kompleksnih i preciznih dijelova. Ove tehnologije postaju sve važnije zbog svoje sposobnosti da ubrzaju razvoj proizvoda i smanje troškove proizvodnje.

Aditivne tehnologije pružaju širok spektar mogućnosti, posebno u izradi zamjenskih dijelova za izvanbrodske motore, gdje se ističu po svojoj preciznosti i prilagodljivosti. Optimiranje oblika i funkcionalnosti provodi se preko 3D skeniranja i povratnog inženjerstva.

Kroz praktični dio rada, neispravni dio izvanbrodskog motora je optimiran, te je proveden 3D ispis zamjenskog dijela. Analiza funkcionalnosti i svojstava pokazala je da zamjenski dio zadovoljava sve tehničke zahtjeve, potvrđujući njegovu pouzdanost i kvalitetu.

Ekonomičnost aditivnih tehnologija u usporedbi s tradicionalnim metodama jasno se očituje kroz niže troškove, bržu proizvodnju i veću fleksibilnost. Ove tehnologije nude značajan potencijal za buduće primjene, posebno u kontekstu prilagodljivih i specifičnih rješenja za pomorsku industriju. Daljnji razvoj treba se usmjeriti na povećanje učinkovitosti i smanjenje troškova, što će dodatno unaprijediti primjenu aditivnih tehnologija.

LITERATURA

- [1] <https://mitsloan.mit.edu/ideas-made-to-matter/additive-manufacturing-explained/>; Pristupljeno 15.06.2024.
- [2] <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-additive-manufacturing#HowDoesAdditiveManufacturingWork>; Pristupljeno 15.06.2024.
- [3] <https://www.hubs.com/knowledge-base/3d-modeling-cad-software/>; Pristupljeno 20.06.2024.
- [4] <https://fabheads.com/wp-content/uploads/2021/08/slicer13-1.png>; Pristupljeno 20.06.2024.
- [5] <https://www.futurelearn.com/info/courses/getting-started-with-digital-manufacturing/0/steps/184102>; Pristupljeno 21.06.2024.
- [6] <https://bigrep.com/post-processing/>; Pristupljeno 21.06.2024.
- [7] <https://3dprint.com/72171/first-3d-printer-chuck-hull/>; Pristupljeno 21.06.2024.
- [8] <https://9gag.com/gag/anY7R5B>; Pristupljeno 22.06.2024.
- [9] <https://www.techradar.com/best/best-3d-printers>; Pristupljeno 22.06.2024.
- [10] <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128140628000029>; Pristupljeno 22.06.2024.
- [11] <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/3/1213>; Pristupljeno 24.06.2024.
- [12] <https://www.researchdive.com/blog/Aerospace-3D-Printing>; Pristupljeno 24.06.2024.
- [13] <https://www.space.com/27860-3d-printing-space-exploration.html>; Pristupljeno 25.06.2024.
- [14] <https://www.oemupdate.com/cover-story/ai-and-3d-printing-predominating-the-automotive-industry/>; Pristupljeno 01.07.2024.
- [15] <https://xometry.pro/en-eu/articles/3d-printing-medical-industry/>; Pristupljeno 01.07.2024.
- [16] <https://www.xometry.com/resources/3d-printing/3d-printing-in-dentistry/>; Pristupljeno 01.07.2024.
- [17] <https://formlabs.com/blog/3d-printing-scale-architecture-models-laney-la-insights/>; Pristupljeno 01.07.2024.
- [18] <https://www.gira.com/uk/en/g-pulse-magazine/building/3d-house-germany#>; Pristupljeno 02.07.2024.

- [19] <https://ceadgroup.com/large-format-additive-manufacturing-maritime-industry/>;
Pristupljeno 02.07.2024.
- [20] <https://www.nlr.org/news/nlr-tests-3d-printed-marine-spare-parts/>;Pristupljeno
02.07.2024.
- [21] <https://www.offthehookyachts.com/news/benefits-of-3d-printing-boats/>;Pristupljeno
02.07.2024.
- [22] <https://www.tth.com/blog/7-types-additive-manufacturing>; Pristupljeno 02.07.2024.
- [23] <https://circuitdigest.com/tutorial/diy-3d-printed-water-pump-using-775-motor>;
Pristupljeno 03.07.2024.
- [24] <https://www.beamler.com/3d-printing-capabilities/processes/dmls-direct-metal-laser-sintering/>; Pristupljeno 03.07.2024.
- [25] <https://henryscheinequipmentcatalog.com/cad-cam/3d-printers/formlabs-form-3>;
Pristupljeno 03.07.2024.
- [26] <https://all3dp.com/2/fused-deposition-modeling-fdm-3d-printing-simply-explained/>;
Pristupljeno 04.07.2024.
- [27] <https://hlhrapid.com/knowledge/design-guide-mjf-3d-printing/>; Pristupljeno 04.07.2024.
- [28] <https://www.additivemanufacturing.media/kc/what-is-additive-manufacturing/am-materials>; Pristupljeno 05.07.2024.
- [29] <https://www.graphite-am.co.uk/industries/marine/>; Pristupljeno 06.07.2024.
- [30] <https://blog.spatial.com/what-is-additive-manufacturing>; Pristupljeno 07.07.2024.
- [31] <https://www.weerg.com/3d-printing-materials/nylon/pa-12-classic>;Pristupljeno
08.07.2024.
- [32] <https://3dprintingindustry.com/news/extreme-tuners-create-lightweight-3d-printed-carbon-composite-connector-rods-165641/>; Pristupljeno 08.07.2024.
- [33] <https://www.compositesworld.com/news/moi-composites-debuts-3d-printed-glass-fiber-boat>; Pristupljeno 09.07.2024.
- [34] <https://nexa3d.com/blog/3d-printing-car-parts-automotive-industry/>;Pristupljeno
09.07.2024.
- [35] <https://www.mdpi.com/2075-4701/14/2/195>; Pristupljeno 09.07.2024.
- [36] <https://cults3d.com/en/3d-model/gadget/toroidal-propeller-for-outboard-engine-9x9-a-11-designs>; Pristupljeno 09.07.2024.
- [37] <https://www.crossmanufacturing.com/news/the-benefits-of-additive-manufacturing/>;
Pristupljeno 09.07.2024.

- [38] <https://www.or3d.co.uk/knowledge-base/what-is-3d-scanning/>; Pristupljeno 09.07.2024.
- [39] <https://bitfab.io/blog/types-of-3d-scanning/>; Pristupljeno 09.07.2024.
- [40] <https://www.3dnatives.com/en/3d-scanner-laser-triangulation080920174-99/>;
Pristupljeno 09.07.2024.
- [41] <https://www.creaform3d.com/blog/the-power-of-3d-scanning-for-corrosion-and-mechanical-damage-assessment/>; Pristupljeno 09.07.2024.
- [42] <https://3dscanexpert.com/tips/beginners-guide-3d-scanning-photogrammetry/>;
Pristupljeno 09.07.2024.
- [43] [https://www.3way.hr/izdelek/3d-skener-shining3d-einscan-h2/?v=fd4c638da5f8](https://www.3way.hr/izdelek/3d-skener-shining3d-einscan-h2/?v=fd4c638da5f8;);
Pristupljeno 09.07.2024.
- [44] <https://yxlon.comet.tech/en/technologies/industrial-ct>; Pristupljeno 09.07.2024.
- [45] <https://www.matterhackers.com/articles/5-benefits-of-using-3d-scanners>; Pristupljeno 09.07.2024.
- [46] <https://www.techtarget.com/searchsoftwarequality/definition/reverse-engineering>;
Pristupljeno 09.07.2024.
- [47] <https://www.shining3d.com/blog/3d-scanning-and-reverse-engineering-for-ship-maintenance/>; Pristupljeno 09.07.2024.
- [48] https://www.researchgate.net/publication/352077592_Integration_of_Reverse_Engineering_and_Topology_Optimization_with_Additive_Manufacturing; Pristupljeno 09.07.2024.
- [49] <https://improvians.com/blogs/generative-design.html>; Pristupljeno 09.07.2024.
- [50] <https://convercon.com/topology-optimization/>; Pristupljeno 10.07.2024.
- [51] <https://www.rishabheng.com/blog/design-optimization-with-fea/>; Pristupljeno 10.07.2024.
- [52] <https://enterfea.com/2d-vs-3d-finite-element-analysis/>; Pristupljeno 10.07.2024.
- [53] <https://www.3dnatives.com/en/topological-optimization-software-for-3d-printing-230920214/>; Pristupljeno 10.07.2024.
- [54] <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>; Pristupljeno 10.07.2024.
- [55] <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/blog/automated-modeling-fusion-360-tutorial/>; Pristupljeno 10.07.2024.
- [56] <https://www.solidworks.com/>; Pristupljeno 10.07.2024.
- [57] <https://cad-kenkyujo.com/en/3dcad/solidworks/solidworks-6/>; Pristupljeno 10.07.2024.

-
- [58] https://www.reddit.com/r/SolidWorks/comments/yvkgt3/why_isnt_featureworks_recognizing_the_features_in/; Pristupljeno 10.07.2024.
- [59] <https://blogs.solidworks.com/tech/2019/08/solidworks-simulation-quick-easy-and-accurate-design-validation-for-all.html>; Pristupljeno 10.07.2024.
- [60] <https://www.ansys.com/news-center/press-releases/ansys-2021-r2-accelerates-engineering-exploration-collaboration-automation>; Pristupljeno 10.07.2024.
- [61] <https://www.softwareadvice.com/engineering-cad/ntopology-profile/>; Pristupljeno 10.07.2024
- [62] <https://altair.com/inspire>; Pristupljeno 10.07.2024.
- [63] <https://poly.cam/>; Pristupljeno 10.07.2024.
- [64] <https://www.creality.com/products/ender-3-v2-neo-3d-printer>; Pristupljeno 10.07.2024.
- [65] <https://www.smartus.hr/creality-ender-3-v2-neo-3d-printer-2973.html>; Pristupljeno 10.07.2024.
- [66] <https://www.madeinadd.com/knowledge-hub/additive-manufacturing-vs-traditional-manufacturing#:~:text=Additive%20manufacturing%20consists%20in%20adding,to%20the%20use%20of%20moulds>; Pristupljeno 10.07.2024.