VIŠJA STROKOVNA ŠOLA ACADEMIA
MARIBOR

3D TISK PERSONALIZIRANE 3D GRAFIKE PO NAROČILU

Kandidatka: Lana Jakopiček
Vrsta študija: študentka izrednega študija
Študijski program: Medijska produkcija
Mentor predavatelj: mag. Anja Tolar Tomšič, akad. slikarka
Mentor v podjetju: Luka Kosi
Lektorica: Saška Maček, univ. dipl. slov.

Maribor, 2025

IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKEGA DELA

Podpisana Lana Jakopiček sem avtorica diplomskega dela z naslovom 3D tisk personalizirane 3D grafike po naročilu, ki sem ga napisala pod mentorstvom mag. Anje Tolar Tomšič.

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- je predloženo delo izključno rezultat mojega dela,
- sem poskrbela, da so dela in mnenja drugih avtorjev, ki jih uporabljam v predloženem delu, navedena oz. citirana skladno s pravili Višje strokovne šole Academia Maribor,
- se zavedam, da je plagiatorstvo – predstavljanje tujih del oz. misli, kot moje lastne kaznivo po Zakonu o avtorski in sorodnih pravicah (Uradni list RS, št. 16/07 – uradno prečiščeno besedilo, 68/08, 110/13, 56/15 in 63/16 – ZKUASP); prekršek pa podleže tudi ukrepom Višje strokovne šole Academia Maribor skladno z njenimi pravili,
- skladno z 32.a členom ZASP dovoljujem Višji strokovni šoli Academia Maribor objavo diplomskega dela na spletnem portalu šole.

Maribor, avgust 2025 Podpis študenta:

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem mentorici, mag. Anji Tolar Tomšič, za strokovno vodenje, usmerjanje in podporo skozi celoten proces nastajanja diplomskega dela.

Zahvala gre tudi moji družini, ki mi je omogočila šolanje, ter partnerju in prijateljem za vso potrpežljivost, motivacijo in podporo v času študija in priprave diplomskega dela.

POVZETEK

Diplomsko delo se osredotoča na izdelavo personalizirane 3D grafike po naročilu. Njegov namen je preučiti možnosti povezovanja sodobnih 3D tehnologij z ročnim ustvarjanjem in raziskati, kako lahko z digitalnimi orodji in fizično obdelavo izdelati estetsko dovršene, unikatne izdelke, ki imajo tudi osebno in čustveno vrednost. Delo obravnava celoten proces izdelave, od idejne zasnove, modeliranja in 3D tiskanja do končne obdelave, pri čemer so predstavljeni konkretni primeri štirih naročil. To omogoča celovit vpogled v praktično izvedbo projekta.

Cilj diplomskega dela je analizirati primere uporabe personalizirane 3D grafike, izbrati ustrezna programska orodja za 3D modeliranje ter razviti lasten slog figuric, primeren za 3D modeliranje in 3D tiskanje. Raziskane so tudi možnosti uporabe umetne inteligence – UI (angl. Artificial Inteligence – AI) pri pripravi referenčnih slik ter celoten praktični proces od komunikacije z naročniki, skiciranja in 3D modeliranja do fizične izdelave in končne obdelave izdelkov. Poseben poudarek je namenjen povezovanju tehničnih in umetniških pristopov.

V teoretičnem delu je najprej predstavljen razvoj 3D tiskanja in opisane aktualne tehnologije 3D tiska s poudarkom na modeliranju z nanašanjem staljenega materiala (angl. Fused Deposition Modeling, krat. FDM) , ki se uporablja v projektu. Podrobno so predstavljeni tudi različni materiali za 3D tiskanje, pri čemer je izpostavljena uporaba polimlečne kisline (angl. Polylactic Acid, krat. PLA).

V praktičnem delu je v predprodukciji opisan razvoj lastnega sloga figuric in sodelovanje z naročniki pri snovanju idej. V produkciji sledi opis modeliranja modelov, priprava za 3D tisk in tisk z uporabo FDM tiskalnika in PLA materiala. V postprodukciji je opisana ročna obdelava figuric z brušenjem, barvanjem in lepljenjem v celoto. V poglavju o distribuciji in trženju pa je predstavljena možnost trženja in distribucije ter na podlagi časovne in materialne zahtevnosti določene okvirne cene izdelkov.

Ključne besede: *3D modeliranje, 3D tiskanje, 3D figurice, personalizirana 3D grafika, umetna inteligenca.*

ABSTRACT

3D Printing of Personalized 3D Graphics on Demand

The thesis focuses on the production of personalized 3D graphics on demand. The purpose of the thesis is to examine the possibilities of combining modern 3D technologies with manual craftsmanship and to explore how digital tools and manual finishing can be used to create aesthetically refined, unique products that also hold personal and emotional value. The thesis addresses the entire production process, from conceptual design, modeling, and 3D printing to finishing, presenting concrete examples of four commissioned projects.

The objective of the thesis is to analyze examples of personalized 3D graphics applications, select appropriate software tools for 3D modeling, and develop an original style of figurines suitable for 3D design and 3D printing. The thesis also explores the possibilities of using artificial intelligence in preparing reference images and covers the entire practical process from client communication, sketching, and 3D modeling to physical production and final finishing of the products.

The theoretical part firstly presents the development of 3D printing and describes current 3D printing technologies, with an emphasis on fused deposition modeling, which is used in the project. Various materials for 3D printing are also presented in detail, highlighting the use of polylactic acid (PLA).

In the pre-production phase of the practical part, the development of a personal figurine style and collaboration with clients in concept creation is described. The production phase describes the modeling process, preparation for 3D printing, and printing using an FDM printer and PLA material. The post-production phase presents manual processing of the figurines, including sanding, painting, and assembling them into a complete piece. The final chapter on distribution and marketing presents the marketing and distribution possibilities and defines approximate product prices based on time and material requirements.

Keywords: *3D modeling, 3D printing, 3D figurines, personalized 3D graphics, artificial intelligence.*

KAZALO

1 UVOD 12

1.1 Opis področja in opredelitev problema 12

1.2 Namen, cilji in osnovne trditve 13

1.3 Predpostavke in omejitve 13

1.4 Uporabljene raziskovalne metode 14

2 TEORETIČNI DEL 15

2.1 Likovna zasnova in 3D modeliranje personalizirane grafike 15

2.1.1 Osnove 3D modeliranja 16

2.1.2 Programska oprema za 3D modeliranje 21

2.2 3D tiskanje 26

2.2.1 Razvoj 3D tiskanja 27

2.2.2 Materiali 28

2.2.2.1 Plastika 29

2.2.2.2 Smola 32

2.2.2.3 Kovine 35

2.2.2.4 Drugi materiali 37

2.2.3 Tehnologije 3D tiskanja 41

2.2.4 Nastavitve in proces 3D tiskanja 46

2.3 Personalizacija izdelkov in trženje 48

2.3.1 Koncept likovne personalizacije izdelkov 48

2.3.2 Pristopi in metode personalizacije 48

2.3.3 Pomen in vrednost personaliziranih izdelkov 49

2.3.4 Trženje personalizirane 3D grafike 50

3. PRAKTIČNI DEL 51

3.1. Predprodukcija 51

3.1.1 Načrtovanje projekta 51

3.1.2 Komunikacija s strankami in zbiranje referenc 52

3.1.3 Razvoj stila 56

3.1.4 Razvoj konceptnih skic 58

3.1.5 Uporaba umetne inteligence pri pripravi konceptov 63

3.2. Produkcija 64

3.2.1 Modeliranje 3D figuric 64

3.2.2 Priprava3D modelov na 3D tiskanje 79

3.2.3 3D tiskanje 83

3.3. Postprodukcija 86

3.3.1 Obdelava 3D figuric 86

3.3.2 Končna dodelava 88

3.4. Trženje in distribucija 93

3.4.1 Trženje 93

3.4.2 Distribucija 95

4. SKLEP 97

5. VIRI 100

6. PRILOGE 104

KAZALO SLIK

Slika 1: Osnovne oblike 3D modeliranja....16
Slika 2: 3D model z označenimi točkami....17
Slika 3: 3D model z označenimi robovi....17
Slika 4: Primer trikotne mreže....18
Slika 5: Primer štirikotne mreže....18
Slika 6: Deli mreže označeni na modelu....18
Slika 7: Prikaz delovanja orodja za premikanje....19
Slika 8: Prikaz delovanja orodja za vrtenje....19
Slika 9: Prikaz delovanja orodja za spreminjanje velikosti....19
Slika 10: Primer poligonskega modeliranja....19
Slika 11: Primer modeliranja z NURBS krivuljami....20
Slika 12: Primer orodij uporabljenih pri digitalnem kiparjenju....21
Slika 13: Program Blender....22
Slika 14: Utrinki iz filma Flow....22
Slika 15: Program Autodesk Maya....23
Slika 16: Program 3ds Max....24
Slika 17: Program ZBrush....24
Slika 18: Program cinema 4D....25
Slika 19: Niz fotografij iz različnih kotov....27
Slika 20: Prvi komercialni 3D tiskalnik SLA-1 (1988)....28
Slika 21: Primer uporabe PLA....29
Slika 22: Primer uporabe ABS....30
Slika 23: Primer uporabe PET....30
Slika 24: Primer uporabe najlona....31
Slika 25: Primer uporabe TPE....32
Slika 26: Primer uporabe standardne smole....32
Slika 27: Primer uporabe trpežne smole....33
Slika 28: Primer uporabe fleksibilne smole....34
Slika 29: Primer uporabe prozorne smole....34
Slika 30: Primer uporabe visokotemperaturne smole....35
Slika 31: Primer uporabe aluminija....35
Slika 32: Primer uporabe titana....36

Slika 33: Primer uporabe nerjavečega jekla 36
Slika 34: Primer uporabe Inconela 37
Slika 35: Primer uporabe filamenta s kamnitim videzom 37
Slika 36: Primer uporabe lesa 38
Slika 37: Primer uporabe keramike 38
Slika 38: Primer uporabe peska 39
Slika 39: Primer uporabe voska 39
Slika 40: Primer uporabe hrane 40
Slika 41: Primer uporabe betona 40
Slika 42: Prikaz delovanja tehnologije FDM 41
Slika 43: Prikaz delovanja tehnologije SLA 42
Slika 44: Prikaz delovanja tehnologije SLS 43
Slika 45: Prikaz delovanja tehnologije DMLS 44
Slika 46: Prikaz delovanja tehnologije z brizganjem veziva 45
Slika 47: Proces 3D tiskanja 46
Slika 48: Primer beleženja procesa 52
Slika 49: Referenčne fotografije figurice 1 53
Slika 50: Referenčne fotografije figurice 2 54
Slika 51: Referenčne fotografije figurice 3 55
Slika 52: Referenčne fotografije izdelka 4 56
Slika 53: Končna skica glave 57
Slika 54: Skica podstavka za 3D figurice 58
Slika 55: Skica figurice in podstavka 1 59
Slika 56: Skica figurice in podstavka 2 60
Slika 57: Skica figurice in podstavka 3 61
Slika 58: Skica izdelka 4 62
Slika 59: Postopek modeliranja glave 64
Slika 60: Končana predloga modela glave 65
Slika 61: Osnova telesa 65
Slika 62: Pozicija telesa 66
Slika 63: Telo s zapolnjenimi sklepi 66
Slika 64: Končana groba oblika telesa 67
Slika 65: Razdeljena mreža kocke 67
Slika 66: Groba oblika roke 68

Slika 67: Roka z dodanim modifikatorjem 68
Slika 68: Končan model roke 69
Slika 69: Model roke s dodanim okostjem 69
Slika 70: Model telesa s dodanimi rokami 70
Slika 71: Končana oblika telesa 71
Slika 72: Postavitev kompozicije obeh figuric 71
Slika 73: 3D model glave s podrobnostmi 72
Slika 74: 3D model z oblikovanimi lasmi 72
Slika 75: 3D figurica z izoblikovanimi oblačili 73
Slika 76: Končana modela 3D 73
Slika 77: Model mize in klopi 74
Slika 78: Modeli dodatkov 74
Slika 79: Podstavek 75
Slika 80: Sestavljen podstavek 75
Slika 81: Podstavek s teksturo 76
Slika 82: Končni 3D model figurice 4 76
Slika 83: Končni 3D model figurice 1 77
Slika 84: Končni 3D model figurice 2 77
Slika 85: Končni 3D model figurice 3 78
Slika 86: Primer uporabe modifikatorja za združevanje geometrije 79
Slika 87: Model pred in po zmanjšanju mreže 80
Slika 88: Postopek rezanja modela s ploskvijo 80
Slika 89: Razrez 3D modela figurice 2 na posamezne dele 81
Slika 90: Blender spustni meni s možnostmi izvoza 82
Slika 91: Nastavitve za izvoz 82
Slika 92: Nastavitve printerja 84
Slika 93: 3D modeli s podporami pripravljeni na tiskanje 85
Slika 94: Natisnjeni modeli z že odstranjenimi podporami 86
Slika 95: Pobarvane figurice in podstavki 88
Slika 96: Zaključena figurica 1 89
Slika 97: Zaključena figurica 2 90
Slika 98: Zaključena figurica 3 91
Slika 99: Zaključen izdelek 4 92
Slika 100: Funko Pop figurica Superman-a 105

Slika 101: Youtooz figurica Superman-a 105
Slika 102: Nendroid figurica Superman-a 105
Slika 103: Pop Mart figurica Superman-a 105
Slika 104: Slika ustvarjena z uporabo UI 1 105
Slika 105: Slika ustvarjena z uporabo UI 2 106
Slika 106: Slika ustvarjena z uporabo UI 3 106

KAZALO TABEL

Tabela 1: Primerjava treh ponudnikov 3D personalizirane grafike 94

KAZALO PRILOG

Tabela 2: Primerjava referenčnih figuric različnih znamk 104
Tabela 3: Primerjava različnih referenčnih gradiv ustvarjenih s pomočjo UI v različnimi orodjih 105

1 UVOD

Z razvojem sodobne tehnologije, dostopnostjo 3D tiskalnikov in odprtokodnih programov za modeliranje se 3D tiskanje uveljavlja tudi na področju umetnosti, oblikovanja in osebnih izdelkov. Personalizacija izdelkov postaja vedno bolj priljubljena, saj posamezniki želijo unikatne predmete, ki izražajo osebno zgodbo ali spomin. 3D tisk povezuje ustvarjalnost, tehnično znanje in individualni pristop.

V diplomskem delu sem raziskala področje personalizirane 3D grafike skozi izdelavo štirih figuric po naročilu. Vsaka temelji na želji naročnika in predstavlja poseben trenutek, osebo ali idejo. Projekt mi je omogočil, da v ustvarjalnem procesu združim znanja z različnih področij: oblikovanja, 3D modeliranja, 3D tiska in ročne obdelave izdelkov.

Namen dela je predstaviti, kako lahko sodobna digitalna orodja v kombinaciji z umetniškim pristopom vodijo do izdelave fizičnega izdelka z visoko estetsko in uporabno vrednostjo. Poleg tehničnih vidikov sem se posvetila tudi komunikaciji z naročniki in razvoju vizualnega sloga ter raziskala možnosti uporabe izdelka v storitveni dejavnosti.

Diplomsko delo je razdeljeno na teoretični in praktični del. V teoretičnem delu sem predstavila razvoj 3D tiskanja in personalizacije. V praktičnem delu sem dokumentirala proces od ideje do izdelka in preverjala zastavljene hipoteze.

1.1 Opis področja in opredelitev problema

V zadnjih letih postajajo izdelki po meri vse bolj priljubljeni. Ljudje si želijo nekaj unikatnega, nekaj, kar jih predstavlja in ni namenjeno množični prodaji. Prav zato je personalizacija pomemben del ustvarjalnega procesa tako pri oblikovanju kot tudi pri predstavitvi končnega izdelka. Ena izmed tehnologij, ki to omogoča, je 3D tiskanje. Ta omogoča, da lahko idejo hitro in razmeroma enostavno pretvorimo v fizični izdelek.

Personalizirana 3D grafika odpira številne možnosti od preprostih okrasnih predmetov do unikatnih daril, spominkov ali figur s posebnim pomenom. V diplomskem delu želim raziskati, kako poteka celoten postopek: od začetne ideje, skice, modeliranja in 3D tiskanja do končnega izdelka.

1.2 Namen, cilji in osnovne trditve

Glavni namen projekta je raziskati in predstaviti celoten proces razvoja personalizirane 3D grafike po naročilu od začetne idejne zasnove do končnega dodelanega fizičnega izdelka. Delo se osredotoča na proces 3D modeliranja in 3D tiskanja manjših figur in dekorativnih elementov, ki so vizualno privlačni in tehnično kakovostno izvedeni. Poudarek je na iskanju načina, na katerega s premišljeno zasnovo in pravilno izbiro orodij ustvariti uporabne rešitve, ki bodo hkrati tudi unikatni končni izdelki.

Cilj projekta je izdelati kakovostne figurice, ki bodo končnim uporabnikom v zadovoljstvo, hkrati pa pridobiti konkretne izkušnje in znanje, ki bodo uporabni tudi v prihodnjih projektih.

V okviru diplomskega dela bom preverila naslednje hipoteze:

H1: Predhodna raziskava domačega in tujega tržišča za storitve 3D tiska personalizirane grafike omogoča oblikovanje primernega poslovnega modela.

H2: Ustrezna izbira programskih orodij za 3D modeliranje pospeši proizvodni proces in omogoča doseganje večje estetske privlačnosti personalizirane 3D grafike.

H3: Prilagojene nastavitve in izbor materialov optimizirajo izdelavo 3D tiskane grafike.

H4: Uporaba umetne inteligence v oblikovanju 3D grafike poveča kreativne možnosti in učinkovitost procesa izdelave 3D tiskane personalizirane grafike.

1.3 Predpostavke in omejitve

Pri izdelavi diplomskega dela izhajam iz predpostavke, da bom lahko celoten proces od začetne skice do končnega izdelka izvedla samostojno z razpoložljivo programsko in strojno opremo. Verjamem, da mi bodo izbrana orodja za 3D modeliranje omogočila efektivno izdelavo dovolj natančnih in tehnično ustreznih modelov, ki bodo primerni za 3D tiskanje. Računam tudi na zanesljivo delovanje 3D tiskalnika in dostopnost ustreznega materiala.

Poleg tehničnih pogojev se zavedam, da bo projekt zahteven tudi s časovnega vidika, saj posamezne faze zahtevajo natančnost izdelave, testiranja in včasih ponovitve. Omejitve lahko vključujejo tudi morebitne napake pri 3D tisku, nepričakovane tehnične težave ter omejen dostop do naprednejših orodij in materialov. Ker gre za individualni projekt, bodo vse odločitve temeljile na lastnem raziskovanju, kar lahko vpliva na hitrost, kakovost izvedbe in uspešnost posameznih faz celotnega procesa. Poleg teh dejavnikov pa pomembno omejitev

predstavlja tudi zadovoljstvo naročnikov oziroma možna nezainteresiranost trga, ki lahko neposredno vpliva na končno sprejetje izdelka in njegovo tržno uspešnost.

1.4 Uporabljene raziskovalne metode

V diplomskem delu bom uporabila kombinacijo raziskovalnih in praktičnih metod, s katerimi bom preučila in preizkusila celoten postopek izdelave personalizirane 3D grafike. Najprej bom uporabila deskriptivno metodo, s katero bom opisala področje 3D modeliranja in 3D tiskanja ter predstavila ključne koncepte in obstoječe primere.

Glavni del raziskave bo temeljil na praktični metodi: sama bom izvedla vse faze projekta od idejne zasnove in skiciranja do modeliranja, 3D tiskanja in končne obdelave. Proces bom dokumentirala s fotografijami.

Za primerjavo različnih postopkov končne obdelave bom uporabila komparativno metodo ter tako ocenila estetske in funkcionalne razlike. Na koncu bom z analitično metodo ocenila uspešnost celotnega postopka, prepoznala prednosti in pomanjkljivosti ter razmislila o izboljšavah.

2 TEORETIČNI DEL

Teoretični del diplomskega dela obravnava temeljne pojme, tehnologije, materiale in koncepte, ki so ključni za razumevanje procesa izdelave personalizirane 3D grafike. Najprej sta predstavljena likovna zasnova in 3D modeliranje, kjer so opisane osnove 3D modeliranja in najpogosteje uporabljena programska oprema, ki omogoča pripravo digitalnih modelov.

V nadaljevanju je podrobno predstavljeno 3D tiskanje, pri čemer je poseben poudarek namenjen razvoju te tehnologije, uporabljanim materialom in različnim tehnološkim pristopom. Obravnavani so materiali, kot so plastika, smola, kovine in drugi sodobni materiali, ki omogočajo različno kakovost in namembnost končnih izdelkov. Opisane so tudi tehnologije 3D tiskanja ter nastavitve in postopki, ki vplivajo na natančnost, trpežnost in estetsko vrednost izdelkov.

V zadnjem delu teoretičnega dela sta obravnavani personalizacija izdelkov in njeno umeščanje na trg. Predstavljeni so koncepti likovne personalizacije ter tehnike in metode prilagajanja izdelkov glede na potrebe posameznika. Analizirana sta pomen in vrednost personaliziranih izdelkov v sodobni potrošniški in ustvarjalni kulturi ter možnosti njihovega trženja s poudarkom na individualnem pristopu in čustveni vrednosti za uporabnika.

2.1 Likovna zasnova in 3D modeliranje personalizirane grafike

Pri ustvarjanju personalizirane 3D grafike je likovna zasnova (angl. *character design*) eden najpomembnejših začetnih korakov. Gre za razmislek o tem, kaj želimo ustvariti, komu je izdelek namenjen, kakšen pomen nosi in kako naj vizualno izgleda. Že v tej fazi je pomembno, da upoštevamo končni namen izdelka, saj to vpliva na izbiro oblike, velikosti, barv in morebitnih detajlov. Likovna zasnova je pogosto podprta s skicami ali referenčnimi slikami, ki pomagajo pri oblikovanju jasne končne ideje. Vizualna prepoznavnost in estetska vrednost igrata pomembno vlogo, saj je cilj ustvariti izdelek, ki izraža individualnost naročnika (Almanfaluthi & Kuntjara S.W. , 2021).

Ko je idejna zasnova jasna, sledi faza 3D modeliranja. To je postopek, pri katerem idejo pretvorimo v digitalni 3D objekt s pomočjo specializirane programske opreme. Model mora biti tehnično ustrezen in pripravljen za 3D tisk z ustrezno geometrijo, proporci in debelino sten. 3D modeliranje omogoča ustvarjanje kompleksnih oblik, ki jih ročno težko dosežemo. V zadnjih letih je to področje zelo napredovalo, tudi zaradi razvoja dostopnejše programske

opreme, kar omogoča, da se z modeliranjem ukvarjajo tudi posamezniki in ljubiteljski ustvarjalci. Kljub temu delo zahteva nekaj tehničnega znanja, pa tudi občutek za prostor, obliko in estetiko (Črešnik, 2014).

2.1.1 Osnove 3D modeliranja

3D modeliranje je proces, pri katerem z uporabo računalniškega programa ustvarimo tridimenzionalno obliko. Tak model lahko predstavlja predmet, okolje ali lik in je osnova za nadaljnje korake, kot sta vizualizacija ali 3D tisk (Carli, 2016).

Osnove 3D modeliranja vključujejo razumevanje osnovnih geometrijskih teles (kocka, krogla, valj itd.) ter uporabo orodij za premikanje, vrtenje, raztezanje in modeliranje teh objektov (Blender Documentation Team, 2024; Carli, 2016).



Slika 1: Osnovne oblike 3D modeliranja

Vir: (Lastni arhiv)

Točka (angl. *vertex*) je najmanjši gradnik modela in predstavlja lokacijo v tridimenzionalnem prostoru, določeno s koordinatami X, Y in Z (Blender Documentation Team, 2024; Carli, 2016).



Slika 2: 3D model z označenimi točkami
Vir: (Lastni arhiv)

Ko dve točki povežemo, dobimo rob (angl. *edge*), to je osnovna povezava, iz katere pozneje nastanejo poligonske ploskve (angl. *faces*) (Blender Documentation Team, 2024; Carli, 2016).



Slika 3: 3D model z označenimi robovi
Vir: (Lastni arhiv)

Najpogosteje se uporabljajo trikotne (angl. *triangles*) in štirikotne (angl. *quads*) ploskve. Štirikotne ploskve se pogosteje uporabljajo v računalniški grafiki, zlasti pri ustvarjanju modelov za videoigre, animirane filme in oglaševanje. Zaradi svoje strukture so primernejše za deformacije površine, kot sta raztezanje in stiskanje, ter omogočajo učinkovitejše upravljanje z geometrijo. Pri modelih, namenjenih 3D tisku ali prototipiranju, se pogosteje uporabljajo trikotne ploskve, saj omogočajo natančnejše definiranje kompleksnih površin (Blender Documentation Team, 2024; Carli, 2016).



Slika 4: Primer trikotne mreže



Slika 5: Primer štirikotne mreže

Vir: (Lastni arhiv)

Skupina točk, robov in poligonov tvori poligonsko mrežo (angl. *polygon mesh*), ki je osnova večine modelov. Mrežo lahko spreminjamo z manipulacijo posameznih elementov, npr. s spreminjanjem pozicije in rotacije ter s skaliranjem točk, robov ali ploskev, dokler ne dosežemo želene oblike 3D modela (Blender Documentation Team, 2024; Carli, 2016).

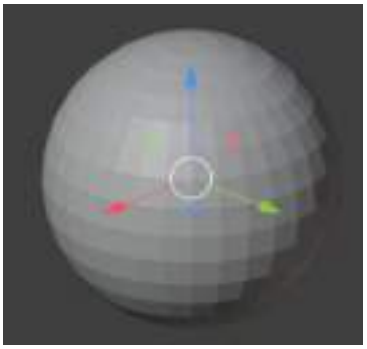


Slika 6: Deli mreže, označeni na modelu

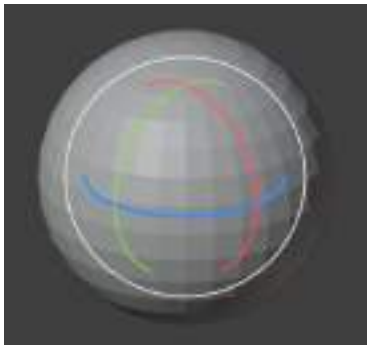
Vir: (Lastni arhiv)

Pomembno je, da je mreža čim bolj optimizirana, torej da vsebuje le toliko elementov, kot je potrebno. Preveč poligonskih ploskev lahko upočasni delovanje računalnika, zato je optimizacija modela ključna, zlasti pri bolj kompleksnih projektih. To konkretno pomeni, da mora biti mreža brez nepotrebnih lukenj, da se točke, robovi in ploskve med seboj ne prekrivajo ter da ni podvojenih elementov. Mreža mora biti čista in enotna, brez napak, kar omogoča lažje nadaljnje modeliranje, teksturiranje in upodabljanje (angl. *rendering*) ter zagotavlja boljše delovanje programa (Blender Documentation Team, 2024).

Osnovna orodja, ki jih uporabljamo pri modeliranju modela, vključujejo premikanje (angl. *move*), vrtenje (angl. *rotate*) in skaliranje (angl. *scale*), s katerimi lahko spreminjamo lego, orientacijo in velikost objektov v tridimenzionalnem prostoru. Prav tako pa spreminjamo razdaljo med dvema točkama, robovoma ali ploskvama (Blender Documentation Team, 2024; Carli, 2016).



Slika 7: Prikaz delovanja orodja za premikanje



Slika 8: Prikaz delovanja orodja za vrtenje

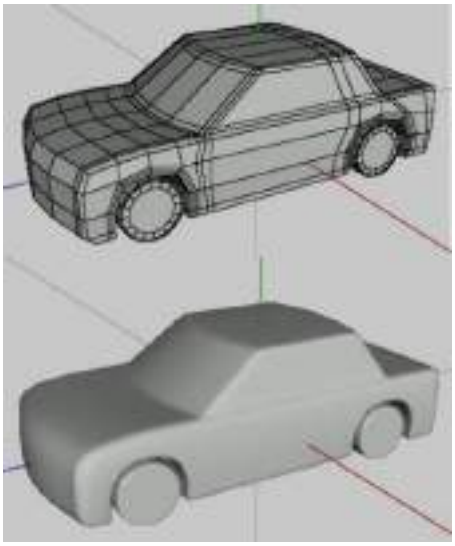


Slika 9: Prikaz delovanja orodja za spreminjanje velikosti

Vir: (Lastni arhiv)

Pri modeliranju obstaja več pristopov, ki jih ustvarjalci izberejo glede na kompleksnost izdelka in želeno obliko.

Eden najpogosteje uporabljenih je poligonsko modeliranje (angl. *polygonal modeling*). Gre za tehniko 3D modeliranja, pri kateri izhajamo iz osnovne tridimenzionalne oblike, kot sta kocka ali krogla, in jo s pomočjo modifikatorjev postopoma preoblikujemo v želeno formo. Model sestavljajo poligoni, ki skupaj tvorijo poligonsko mrežo (Carli, 2016).



Slika 10: Primer poligonskega modeliranja

Vir: (https://blog.spatial.com/the-main-benefits-and-disadvantages-of-polygonal-modeling)

NURB modeliranje (angl. *non-uniform rational B-splines,* NURBS), pa je namenjeno oblikovanju gladkih površin. Površine se oblikujejo s pomočjo matematično definiranih krivulj, ki jih nadzorujemo s kontrolnimi točkami (angl. *control points*) (Carli, 2016).

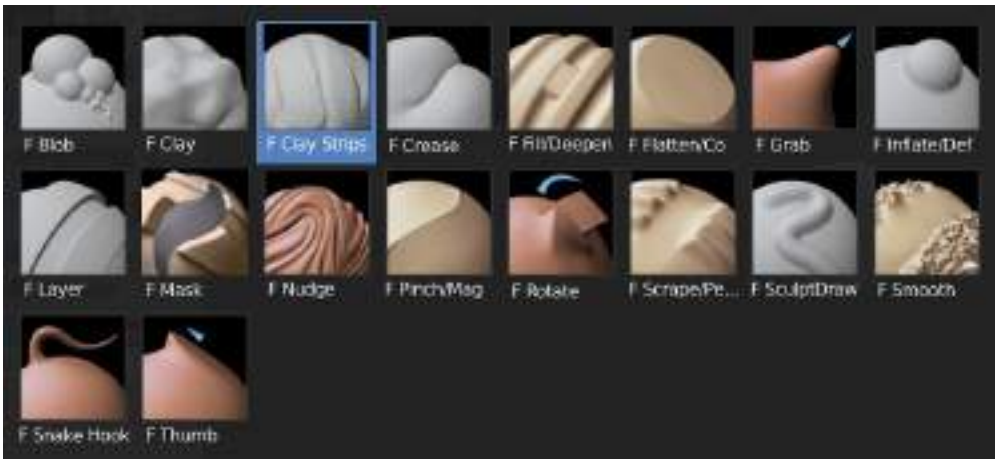


Slika 11: Primer modeliranja z NURBS krivuljami
Vir: (https://all3dp.com/2/solidworks-surface-modeling-surfacing/)

Za bolj organske in detajlirane oblike je posebej primerna tehnika digitalnega kiparjenja (angl. *digital sculpting*), ki posnema delo z glino. Obstajajo tri vrste:

- kiparjenje z zamiki (angl. *displacement sculpting*) omogoča pomikanje površine 3D mreže glede na poteze čopiča ali sivinskih slik (angl. *alphas*). Uporablja se predvsem za dodajanje finih podrobnosti tekstur.
- volumetrično kiparjenje (angl. *voxel sculpting*), ki temelji na uporabi volumetričnih elementov (angl. *voxels*) in omogoča enostavno modeliranje kompleksnih in naravnih oblik.
- dinamična delitev (angl. *dynamic tessellation*) omogoča sprotno razdeljevanje mreže med kiparjenjem in dodajanje poligonov tam, kjer je potrebna večja podrobnost

  (Ikarus 3D, 2023).



Slika 12: Primer orodij, uporabljenih pri digitalnem kiparjenju
Vir: https://www.blender.org/features/sculpting/

2.1.2 Programska oprema za 3D modeliranje

Za 3D modeliranje obstaja veliko različnih programov, ki se med seboj razlikujejo po zahtevnosti, funkcionalnostih, uporabniški izkušnji in ceni. Nekateri so namenjeni profesionalni rabi v industriji, drugi pa so dostopnejši ljubiteljem in začetnikom ter primerni za manjše ustvarjalne projekte.

Med najbolj znane programe za 3D modeliranje sodijo:

- Blender je odprtokoden in brezplačen program za 3D modeliranje, ki je izjemno priljubljen tako med ljubiteljskimi uporabniki kot tudi med profesionalci. Ena njegovih največjih prednosti je, da je zelo prijazen za uporabnike in omogoča hitro učenje osnov. Številni spletni vodiči, forumi in skupnost ustvarjalcev ponujajo dostopno pomoč, kar Blender postavlja v sam vrh orodij za samostojno učenje (Blender Foundation, b.d.).



Slika 13: Program Blender

Vir: (https://www.softwareadvice.com.au/software/307373/blender)

Čeprav je enostaven za začetnike, gre za zelo zmogljiv in profesionalen program, ki omogoča vse od poligonskega modeliranja, kiparjenja, animacije in teksturiranja do upodabljanja in celo videomontaže (Blender Foundation, b.d.). Njegova zmogljivost ni zgolj teoretična, kar potrjuje tudi dejstvo, da je celovečerni animirani film Flow (2024), ki je letos prejel oskarja za najboljši animirani film, nastal prav v programu Blender. To dokazuje, da je Blender več kot le alternativa dragim profesionalnim programom, saj gre za resno orodje, s katerim je mogoče ustvarjati na najvišji ravni.



Slika 14: Utrinki iz filma Flow

Vir: (https://www.blender.org/user-stories/making-flow-an-interview-with-director-gints-zilbalodis/)

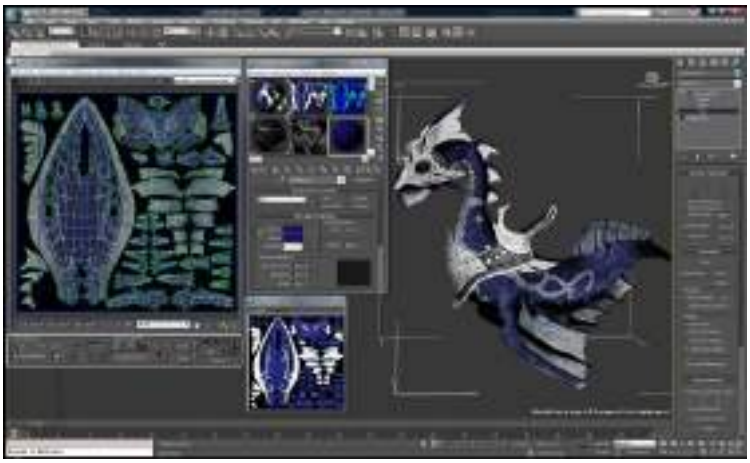
- Maya je profesionalna programska oprema podjetja Autodesk, specializirana za 3D modeliranje, dodajanje skeletnega ogrodja (angl. *rigging*) animacijo, osvetljevanje in druge postopke v produkcijskem procesu 3D animacije. Veliki studii, kot je Disney, je pogosto uporavljajo za ustvarjanje kompleksnih animiranih prizorov. Maya velja za industrijski standard predvsem zaradi svoje prilagodljive arhitekture, ki omogoča napredno prilagajanje uporabniškega vmesnika in funkcij, ter zaradi zanesljivosti, saj je prisotna na trgu že od leta 2000 in je bila razvita z namenom profesionalne 3D produkcije. Čeprav je zelo zmogljiva, ima strmo učno krivuljo in zahteva več tehničnega znanja, zato ni najprimernejša za začetnike. Program je plačljiv, a ostaja pogosto izbrano orodje v profesionalnih produkcijah za vse, ki se želijo poglobiti v napredno 3D animacijo (Autodesk, b.d.).



Slika 15: Program Autodesk Maya

Vir: (https://www.autodesk.com/fr/testing/products/anne/overview?term=1-YEAR&tab=subscription)

- 3ds Max je prav tako programska oprema podjetja Autodesk, znana po zmogljivih orodjih za modeliranje in vizualizacijo. Pogosto se uporablja v arhitekturi, produktnem 3D modeliranju in industriji računalniških iger, kjer je odlična za izdelavo 3D okolij, rekvizitov in drugih statičnih objektov. Program omogoča natančen nadzor nad geometrijo, osvetlitvijo in upodabljanjem. Primeren je za profesionalno uporabo, še posebej pri projektih, kjer je pomembna vizualna natančnost. 3ds Max je plačljiv, uporabniški vmesnik pa je za začetnike nekoliko zahtevnejši (Autodesk, b.d.).



Slika 16: Program 3ds Max

Vir: (https://www.whiteclouds.com/3dpedia/autodesk-3ds-max/)

- ZBrush je specializiran program za digitalno kiparjenje, ki omogoča izredno podrobno 3D modeliranje površin. Uporablja se predvsem v filmski industriji in pri ustvarjanju računalniških iger, kjer je treba ustvariti likovno bogate in kompleksne like, kot so realistični obrazi, bitja ali fantazijski elementi. Gre za enega najpomembnejših in najzmogljivejših programov za digitalno kiparjenje, ki se uporablja na številnih področjih od filmske in igričarske industrije do 3D prototipiranja in vizualne umetnosti. Program je plačljiv in zaradi svoje specifične uporabe zahteva tudi nekaj usmerjenega učenja (Maxon, b.d.).



Slika 17: Program ZBrush

Vir: (https://3dvf.com/en/maxon-releases-zbrush-2023/)

- Cinema 4D je profesionalna 3D programska oprema podjetja Maxon, znana po preglednem uporabniškem vmesniku, stabilnem delovanju in enostavni uporabi, zaradi česar je zelo priljubljena med grafičnimi oblikovalci in ustvarjalci gibljive grafike (angl. *motion graphics*). Pogosto se uporablja za animacije 3D logotipov, 3D oglasne videe, 3D infografike in 3D predstavitve izdelkov. Ena od njenih največjih prednosti je odlična integracija z Adobe programi, kot je After Effects, kar omogoča tekoče delo pri 3D modeliranju vizualnih učinkov. Cinema 4D ponuja orodja za modeliranje, animacijo, teksturiranje in upodabljanje v realnem času. Program je plačljiv, vendar so na voljo različni paketi (Maxon, b.d.).



Slika 18: Program Cinema 4D
Vir: (https://www.talkae.com/c4d-r25-10.html)

Ostali programi, ki omogočajo 3D vizualizacijo, so:

- Tinkercad je zelo enostaven spletni program, idealen za popolne začetnike in šolsko rabo. Uporaben je za hitre koncepte in pripravo preprostih modelov za 3D tisk (Tinkercad, b.d.).
- SketchUp je priljubljen pri arhitektih in oblikovalcih interierja. Omogoča hitro prostorsko risanje in preprosto vizualizacijo notranjih in zunanjih prostorov (Trimble Inc., b.d.).
- Fusion 360 je profesionalno orodje podjetja Autodesk, namenjeno tehničnemu in inženirskemu modeliranju. Pogosto se uporablja pri izdelavi prototipov in za 3D tisk (Autodesk, b.d.).
- Houdini je zmogljiv program za proceduralno modeliranje, vizualne učinke in simulacije (npr. tekočine, dim, eksplozije). Uporablja se v filmski industriji, zlasti pri kompleksnih animacijah (SideFX, b.d.).
- Unreal Engine je predvsem pogon za računalniške igre, ki pa omogoča tudi napredno 3D modeliranje okolij in integracijo z drugimi programi (kot je Blender). Pogosto je

uporabljen pri razvoju iger in interaktivnih izkušenj. Omogoča upodabljanje v realnem času (Epic Games, b.d.).

- Unity je priljubljen večplatformni pogon za razvoj iger, ki omogoča enostavno integracijo 3D modelov, skriptiranje interakcij ter ustvarjanje aplikacij za računalnike, mobilne naprave in virtualno resničnost. Pogosto se uporablja v izobraževalne, simulacijske in interaktivne namene (Unity Technologies, b. d.).

Poleg zgoraj opisanih programov obstaja še vrsta drugih specializiranih orodij, pri čemer je vsako zasnovano za specifične vrste nalog in delovne procese. Končna izbira programske opreme je odvisna od uporabnika oziroma njegovih potreb, ciljev in preferenc pri ustvarjanju digitalnih vsebin.

2.2 3D tiskanje

3D tiskanje je sodoben postopek izdelave fizičnih predmetov na podlagi digitalnega 3D modela. Največkrat se uporablja izraz aditivna tehnologija (angl. *additive manufacturing*), ker izdelek nastaja z dodajanjem materiala po plasteh, eno na drugo. V nasprotju s tradicionalnimi metodami, kjer se material odstranjuje (npr. z rezanjem), se pri 3D tiskanju oblikuje s sestavljanjem (E3D+VET Consortium, 2021).

Postopek se začne z digitalnim 3D modelom, ki ga ustvarimo v programu za 3D modeliranje, nato model pretvorimo v ustrezno obliko za 3D tiskanje s pomočjo programa za razrez (angl. *slicer*). Ta razdeli 3D digitalni model na tanke plasti. Na podlagi te razslojitve programska oprema generira G-kodo, ki jo 3D tiskalnik lahko prebere. Koda vsebuje natančna navodila za gibanje tiskalne glave, hitrost, količino iztiskanega materiala, temperaturo in druge ključne parametre procesa (E3D+VET Consortium, 2021).

3D tiskanje omogoča hitro izdelavo prototipov, prilagojenih izdelkov in manjših serij brez potrebe po dragih orodjih. Uporablja se v različnih panogah od industrije, medicine in arhitekture do umetnosti in domače uporabe (E3D+VET Consortium, 2021).

2.2.1 Razvoj 3D tiskanja

Čeprav se 3D tiskanje pogosto dojema kot sodobna tehnologija, segajo njegove idejne osnove daleč nazaj v 19. stoletje. Leta 1859 je Francoz François Willème razvil zgodnji sistem za tridimenzionalno upodabljanje, pri katerem je okoli osebe ali predmeta razporedil več kamer in tako ustvaril niz fotografij iz različnih kotov. Te je nato uporabil za izdelavo fizičnega 3D modela, kar velja za enega izmed predhodnikov sodobnega 3D pristopa (Norman, 2014).



Slika 19: Niz fotografij iz različnih kotov
Vir: (https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4d/Will%C3%A8me_1865.jpg)

V 20. stoletju je razvoj 3D tiskanja doživel pomemben preboj v zgodnjih 80. letih, ko je japonski izumitelj Hideo Kodama predstavil sistem za strjevanje fotopolimera z UV svetlobo, kar je bil predhodnik stereolitografije (angl. *stereolithography*, SLA). Čeprav mu ni uspelo pridobiti patenta, je njegovo delo postavilo temelje za nadaljnji razvoj tehnologije (3DSourced, 2024; Raise3D, 2024).

Leta 1984 je Američan Chuck Hull prijavil patent za stereolitografijo in ustanovil podjetje 3D Systems, ki je leta 1988 predstavilo prvi komercialni 3D tiskalnik SLA-1. V istem obdobju sta Carl Deckard in Joe Beaman na Univerzi v Teksasu razvila tehnologijo selektivnega laserskega sintranja (angl. *selective laser sintering*, SLS), Scott Crump pa je leta 1989 patentiral tehnologijo FDM in ustanovil podjetje Stratasys (3DSourced, 2024; Raise3D, 2024).



Slika 20: Prvi komercialni 3D tiskalnik SLA-1 (1988)
Vir: (https://www.3dsourced.com/guides/history-of-3d-printing/)

V 90. letih so se pojavile nove tehnologije, kot je vezivno brizganje, ki jo je razvilo podjetje Z Corporation, in napredki v CAD programski opremi, ki je omogočila širšo uporabo 3D tiskanja v industriji. Leta 1999 so raziskovalci uspešno vsadili prvi 3D natisnjeni organ, kar je pomenilo pomemben mejnik v medicinski uporabi tehnologije (Sculpteo, 2019; 3DSourced, 2024).

Začetek 21. stoletja je zaznamoval projekt RepRap, ki ga je leta 2005 začel Adrian Bowyer. Njegov cilj je bil razviti odprtokodni 3D tiskalnik, ki si lahko natisne lastne dele, kar je omogočilo širšo dostopnost tehnologije in spodbudilo razvoj domačih 3D tiskalnikov (3DSourced, 2024; Sculpteo, 2019; Raise3D, 2024).

Danes 3D tiskanje omogoča uporabo različnih materialov, vključno s kovinami, keramiko, betonom, biološkimi materiali in celo hrano. Tehnologija se nenehno razvija, z napredki v hitrosti 3D tiskanja, natančnosti in dostopnosti, kar odpira nove možnosti za personalizirano proizvodnjo in inovacije v različnih sektorjih (Sculpteo, 2019).

2.2.2 Materiali

3D tiskanje je skozi leta doživelo izjemen razvoj, predvsem zaradi širjenja nabora materialov, ki jih lahko uporabimo pri tem postopku. Izbira pravega materiala je ključna za uspeh projekta, saj vpliva na mehanske lastnosti, vzdržljivost, razgradljivost, toplotno odpornost in druge pomembne dejavnike končnega izdelka. V nadaljevanju sem materiale razdelila na štiri osnovne kategorije: plastika, smola, kovina in drugi materiali. Pri vsaki skupini bom predstavila tiste, ki so v praksi najbolj prepoznavni in pogosto uporabljeni.

2.2.2.1 Plastika

Polilaktična kislina (angl. *polylactic acid*, PLA), je eden izmed najbolj priljubljenih materialov za 3D tiskanje. Gre za biološko razgradljiv polimer, pridobljen iz obnovljivih virov, kot je koruzni škrob, zaradi česar je tudi okolju prijaznejši. Zaradi enostavne obdelave je zelo primeren tako za začetnike kot tudi za profesionalne uporabnike. Tališče PLA je nizko, okoli 70 °C, kar omogoča enostavno 3D tiskanje brez ogrevane delovne površine, a hkrati pomeni tudi nižjo temperaturno odpornost in mehansko trpežnost. Kljub tem omejitvam ostaja izredno priljubljen zaradi široke palete barv, dobre dimenzijske stabilnosti in cenovne dostopnosti (Print 24, b.d.; Formlabs, b.d.)



Slika 21: Primer uporabe PLA
Vir: (https://eolasprints.com/en-si/blogs/3d-printing-guides/how-to-print-with-pla)

Akrilonitril butadien stiren (angl. *acrylonitrile butadiene styrene*, ABS) je tudi eden izmed bolj razširjenih materialov. Gre za sintetični polimer, izdelan iz akrilonitrila, butadiena in stirena. Njegova temperatura 3D tiska sega od 220 do 250 °C, zato so izdelki, narejeni iz tega materiala, veliko trpežnejši in odpornejši na udarce. Takšen filament je primeren za funkcionalne industrijske prototipe. Zaradi visoke temperature zahteva ogrevano tiskalno posteljo in dobro prezračevanje zaradi emisij med 3D tiskanjem. Zaradi teh zahtev je manj priljubljen pri zasebnih uporabnikih in bolj primeren za 3D tisk na industrijskih 3D tiskalnikih (Print 24, b.d.; Formlabs, b.d.).



Slika 22: Primer uporabe ABS

Vir: (https://www.wired.com/2015/07/sorry-perfect-lego-brick-may-never-eco-friendly/)

Polietilen tereftalat (angl. *polyethylene terephthalate*, PET) se najpogosteje uporablja pri plastenkah za pijačo in drugi embalaži za živila. Gre za material, ki je zelo trpežen in odporen na udarce, obenem pa je tudi prilagodljivejši, kar omogoča široko uporabnost v praksi. Zaradi kemične strukture je odporen na vlago in številne kemikalije, kar je še posebej pomembno pri izdelavi predmetov, ki se uporabljajo v zahtevnejših okoljih (Formlabs, b.d.). Material je dobro uporaben pri 3D tiskanju tankih, a trpežnih izdelkov. Njegova slabost sta slaba prožnost in občutljivost na visoke temperature.



Slika 23: Primer uporabe PET

Vir: (https://www.openpr.com/news/3586678/global-pet-bottles-industry-to-grow-from-usd-26-6-billion-to-usd)

Polietilen tereftalat glikol (angl. *polyethylene terephthalate glycol*, PETG) je modificirana različica materiala PET, ki ima dodan glikol, kar mu omogoča višjo prosojnost. Glikol prispeva tudi k večji elastičnosti in trpežnosti materiala. Tako kot PET je tudi PETG odporen na vlago in večino kemikalij, zato je primeren za uporabo v živilski industriji. Kljub prednostim pa se tudi ta material pri višjih temperaturah hitreje deformira (Formlabs, b.d.).

Najlon (angl. *nylon*) je zelo priljubljen material pri 3D tiskanju plastike, predvsem zaradi trdnosti, trpežnosti in majhne teže. Gre za čvrst in deloma prožen material, ki je odporen na udarce in toploto, kar ga naredi primernega za izdelavo gibljivih mehanskih delov. Poleg tega je odporen na številne industrijske kemikalije, vključno z olji in gorivi, ter prenese temperature do približno 100 °C. Slabo prenaša vlago, saj nase hitro veže vodo iz zraka, kar lahko negativno vpliva na kakovost 3D tiskanja. Material ima visoko tališče (med 240 in 270 °C), zato zahteva visokotemperaturni 3D tiskalnik (Simplify3D, b.d.).



Slika 24: Primer uporabe najlona
Vir: (https://amfg.ai/2018/06/15/nylon-3d-printing-all-you-need-to-know/)

Termoplastični elastomeri (angl. *thermoplastic elastomer,* TPE) predstavljajo družino gumijastih materialov; delujejo kot guma, vendar se 3D tiskajo kot plastika. V to skupino spada več vrst materialov, kot so TPU, TPC, TPA, TPS, SEBS ipd., ki se uporabljajo pri 3D tiskanju izdelkov, kjer je zaželeno, da se ti upogibajo, raztezajo ali prepogibajo. Ti materiali so običajno odporni na UV žarke in obrabo ter na olja in maščobe, zaradi česar so primerni za zahtevnejše aplikacije. Njihova slabost pa je, da so zahtevnejši za 3D tiskanje ter zahtevajo počasno 3D tiskanje in natančno nastavljene parametre, saj lahko sicer pride do zamašitve šobe ali slabega oprijema na tiskalni podlagi (Simplify3D, b.d.).



Slika 25: Primer uporabe TPE
Vir: (https://www.simplify3d.com/resources/materials-guide/flexible/)

2.2.2.2 Smola

Standardna smola (angl. *standard resin*) je osnovni material, ki se najpogosteje uporablja pri SLA tiskanju. Z njo je mogoče 3D tiskati izdelke visoke ločljivosti in trdnosti. Barva smole vpliva na končni videz izdelka: siva smola je primernejša za modele z bolj izraženimi detajli, medtem ko je bela smola boljša izbira za izdelke, pri katerih je pomembna gladka površina. Zaradi cenovne dostopnosti je standardna smola primerna za izdelavo prototipov in konceptualnih modelov ter za 3D tiskanje bolj umetniških izdelkov. Njena slabost je, da je krhkejša in manj odporna na udarce, poleg tega ima nizko temperaturno odpornost, zaradi česar se pri višjih temperaturah lahko deformira (Formlabs, b.d.; Hubs, b.d.).



Slika 26: Primer uporabe standardne smole
Vir: (https://3dprintbeginner.com/resin-3d-printing-guide-for-beginners/)

Trpežna smola (angl. *durable resin*) je po svojih lastnostih zelo podobna ABS filamentu. Namenjena je izdelavi delov, ki morajo biti mehansko odporni in udarno vzdržljivi. Uporablja se pri izdelavi funkcionalnih prototipov, spojnih elementov, gibljivih sestavnih delov in delov, ki se morajo natančno prilegati. Pri uporabi te smole se ne priporoča 3D tiskanje zelo tankih sten – priporočena debelina sten je nad 1 mm. Prav tako ima material nizko temperaturo deformacije, zaradi česar ni primeren za uporabo pri višjih temperaturah (Formlabs, b.d.; Hubs, b.d.).



Slika 27: Primer uporabe trpežne smole
Vir: (https://www.hubs.com/knowledge-base/sla-3d-printing-materials-compared/)

Fleksibilna smola (angl. *flexible resin*) je gumi podobna smola, ki omogoča 3D tiskanje delov z lastnostmi, podobnimi mehki gumi. Tiskani predmeti so mehki na dotik in omogočajo veliko krčenje in raztezanje, zato je material primeren za izdelke, ki bodo upogibani ali stisnjeni ali morajo biti odporni na udarce. Najpogosteje se uporablja za 3D tiskanje mehkih zaščitnih embalaž, žigov, prototipov ročajev in drugih izdelkov, kjer je zaželena prožnost. Tiskanje s tovrstno smolo je običajno počasnejše, saj obstaja večje tveganje za napake med 3D tiskanjem. Poleg tega se lastnosti materiala lahko s časom poslabšajo, če so izdelki dalj časa izpostavljeni UV sevanju (Formlabs, b.d.; Hubs, b.d.).



Slika 28: Primer uporabe fleksibilne smole

Vir: (https://photocentricgroup.com/product/flexible-dl220-3d-resin/)

Prozorna smola (angl. *clear resin*) ima zelo podobne mehanske lastnosti kot standardna smola. Razlikujeta se v tem da je prozorno smolo mogoče obdelati do skoraj popolne prosojnosti. Pogosto se uporablja za izdelavo steklenih prototipov, svetlobnih elementov ali pretočnih komponent. Enako kot standardna smola pa je tudi ta krhkejše narave in manj odporna na udarce. Zaradi prosojnosti lahko smola pod vplivom UV žarkov porumeni in izgubi visoko prosojnost (Formlabs, b.d.; Hubs, b.d.).



Slika 29: Primer uporabe prozorne smole

Vir: (https://formlabs.com/blog/3d-printing-transparent-parts-techniques-for-finishing-clear-resin/)

Visokotemperaturna smola (angl. *high-temp resin*) je zasnovana za uporabo pri izdelkih, ki zahtevajo visoko toplotno stabilnost in zmožnost delovanja pri povišanih temperaturah. Njena toplotna odpornost sega med 200 in 300 °C. Takšna smola je idealna za izdelavo toplotno odpornih vpenjal, kalupov za različne prototipe, opremo za pretok vročega zraka in različna termično odporna orodja (Formlabs, b.d.; Hubs, b.d.).



Slika 30: Primer uporabe visokotemperaturne smole
Vir: (https://formlabs.com/blog/high-temp-resin-high-thermal-stability-3d-printing/)

2.2.2.3 Kovine

Aluminij je lahka kovina, ki je zaradi trdnosti, toplotnih lastnosti in nizke teže še posebej priljubljena v avtomobilski in vesoljski industriji. Pogosto se uporablja za izdelavo prototipov, funkcionalnih delov, ohišij in kalupov. Ena od prednosti aluminija pri 3D tiskanju je ta, da omogoča izdelavo večjih modelov kot katerikoli drug kovinski material (Hubs, b.d.; Materialise, b.d.; Print 24, b.d.).



Slika 31: Primer uporabe aluminija
Vir: (https://www.locanam.com/aluminum3dprinting)

Titan je ena izmed najbolj pogosto uporabljanih kovin v 3D tisku. Ponuja odlično mehansko trdnost, nizko težo ter vrhunsko odpornost proti koroziji in visokim temperaturam. Zaradi teh lastnosti je idealna izbira za uporabo v letalski, avtomobilski in medicinski industriji. Iz titana se pogosto izdelujejo medicinski pripomočki, prototipi, rezervni deli in končni izdelki za uporabnike (Hubs, b.d.; Materialise, b.d.; Print 24, b.d.).



Slika 32: Primer uporabe titana
Vir: (https://all3dp.com/1/3d-printing-titanium-methods-printers-applications/)

Nerjaveče jeklo je nizkoogljična jeklena zlitina, ki vsebuje nikelj, krom in molibden ter združuje odlično mehansko trdnost, visoko duktilnost in dobro toplotno vzdržljivost. Poleg tega je zelo odporno na korozijo in prenese tudi večje mehanske obremenitve. V 3D tiskanju se uporablja predvsem za izdelavo orodij in kalupov ter različnih delov za uporabo v prehrambeni in medicinski industriji (Hubs, b.d.; Materialise, b.d.; Print 24, b.d.).



Slika 33: Primer uporabe nerjavečega jekla
Vir: (https://all3dp.com/1/3d-printed-steel/)

Inconel je zlitina na osnovi niklja in kroma, znana po svoji odpornosti na visoke temperature do približno 700 °C. Ponuja visoko mehansko trdnost ter odpornost proti oksidaciji in koroziji. Prav tako lahko prenese močne mehanske obremenitve in napetosti v ekstremnih pogojih. Zaradi teh lastnosti se pogosto uporablja v letalski in avtomobilski industriji za izdelavo visokozmogljivih komponent (Hubs, b.d.; Materialise, b.d.).



Slika 34: Primer uporabe Inconela
Vir: (https://3dadept.com/the-use-of-inconel-718-in-additive-manufacturing/)

2.2.2.4 Drugi materiali

Filament s kamnitim videzom je sestavljen iz mešanice mavca in plastike. Zaradi kamnitega videza in na dotik kamnu podobne teksture se takšen filament uporablja predvsem za arhitekturne modele, umetniške projekte ter dekorativne in umetniško-obrtne izdelke (3Dnatives, b.d.).



Slika 35: Primer uporabe filamenta s kamnitim videzom
Vir: (https://www.3dnatives.com/en/exone-unveils-its-new-solution-for-foundries-s-max-flex-220420224/)

Les je organski material, ki je sestavljen iz mešanice polimerov (60–70 %) in lesnih vlaken (30–40 %). Takšen material omogoča 3D tiskanje predmetov z videzom in občutkom pravega lesa, primerni pa so za dekorativne izdelke in prototipe (3Dnatives, b.d.).



Slika 36: Primer uporabe lesa
Vir: (https://www.3dnatives.com/en/exone-unveils-its-new-solution-for-foundries-s-max-flex-220420224/)

Keramika oz. keramični materiali, kot sta glina in porcelan, se uporabljajo za izdelavo toplotno odpornih in trdnih izdelkov. 3D tiskanje keramike omogoča izdelavo kompleksnih oblik, ki so primerne za uporabo v umetnosti, zobozdravstvu in industriji. Po 3D tiskanju izdelke običajno žgemo v peči, da dosežemo končno trdnost in odpornost (3Dnatives, b.d.).



Slika 37: Primer uporabe keramike
Vir: (https://www.eazao.com/)

Pesek se v 3D tiskanju uporablja predvsem za izdelavo kalupov in jeder v livarski industriji. Tehnologije, kot je vezivno brizganje, omogočajo hitro in natančno izdelavo kompleksnih oblik brez potrebe po tradicionalnih orodjih, kar zmanjšuje stroške in čas proizvodnje. Uporaba tega materiala zmanjšuje količino odpadkov in prihrani energijo, čas izdelave pa je veliko krajši od drugih tehnik (3Dnatives, b.d.).



Slika 38: Primer uporabe peska

Vir: (https://www.foundry-planet.com/d/rapid-casting-as-a-low-cost-alternative-to-metal-printing-how-it-works/)

Vosek se v 3D tiskanju uporablja predvsem za izdelavo modelov za voščene kalupe, zlasti pri izdelavi nakita in v zobozdravstvu. 3D tiskanje z voskom omogoča natančno izdelavo kompleksnih oblik, ki se nato uporabijo za izdelavo kovinskih odlitkov (3Dnatives, b.d.).



Slika 39: Primer uporabe voska

Vir: (https://www.galaxy3dm.com/ProductDetail/4204720.html)

Hrana oz. 3D tiskanje hrane omogoča ustvarjanje kompleksnih in prilagojenih jedi iz sestavin, kot so čokolada, testenine in sladkor. Naprave, kot je Foodini, omogočajo kuharjem in slaščičarjem eksperimentiranje z oblikami in teksturami, kar odpira nove možnosti v kulinariki (3Dnatives, b.d.; Natural Machines, b.d.).



Slika 40: Primer uporabe hrane
Vir: (https://www.3dsourced.com/guides/3d-printed-food/)

Beton se uporablja za tisk 3D struktur, kot so hiše in mostovi. Tehnologije, kot je ekstrudiranje betona, omogočajo hitro in učinkovito gradnjo s pomočjo 3D tiska z manj odpadkov in večjo prilagodljivostjo oblik (3Dnatives, b.d.).

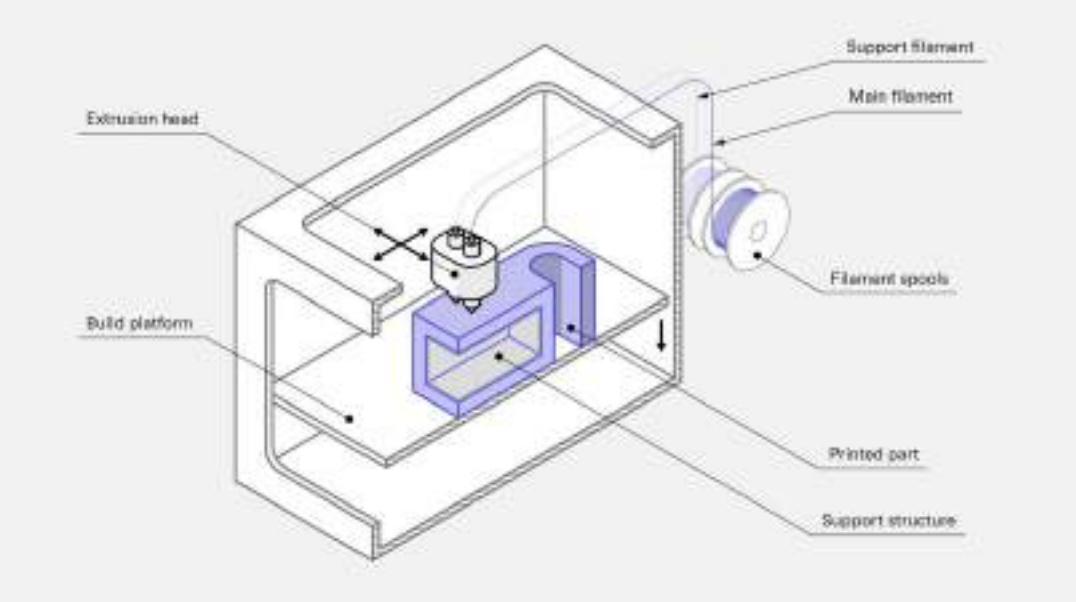


Slika 41: Primer uporabe betona
Vir: (https://www.motivewith.com/en/get-motivated/3d-printer-builds-house)

2.2.3 Tehnologije 3D tiskanja

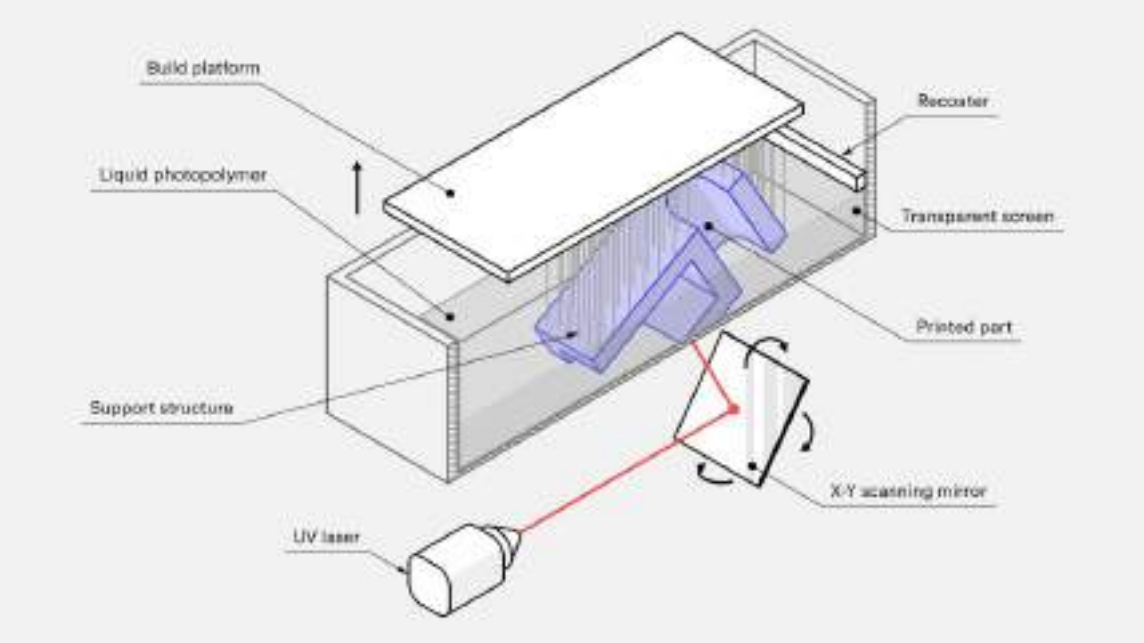
V sodobnem 3D tiskanju obstaja več različnih tehnologij, ki se razlikujejo glede na način delovanja, uporabljene materiale in končne lastnosti izdelkov. Vsaka tehnologija ima svoje prednosti in omejitve in je bolj ali manj primerna za določene namene, od prototipiranja do serijske proizvodnje.

FDM oz. modeliranje z nanašanjem staljenega materiala je ena najbolj razširjenih tehnologij v 3D tiskanju na potrošniški ravni. Zelo je primerna za osnovne modele, konceptno vizualizacijo ter hitro in cenovno ugodno izdelavo preprostih delov. Tiskalnik v iztiskalnik filamenta (žarg. ekstruder, angl. *extruder*) vleče termoplastični filament, ga segreje in plast za plastjo nalaga na tiskalno ploščad (angl. build plate), kjer se material ohladi in strdi. Ta postopek se ponavlja, dokler izdelek ni končan. FDM ima najnižjo ločljivost in natančnost v primerjavi z drugimi tehnologijami, zato ni najboljša izbira za zapletene modele ali tiste z veliko detajli. Končni izdelek ima običajno vidne plasti, vendar je s postopki končne obdelave videz površine mogoče izboljšati. Uporabljeni materiali vključujejo PLA, ABS, PET, PETG, TPE, kamen in les (Formlabs, b.d.; Hubs, b.d.; 3WAY d.o.o., b.d.).



Slika 42: Prikaz delovanja tehnologije FDM
Vir: (https://www.hubs.com/knowledge-base/what-is-fdm-3d-printing/#)

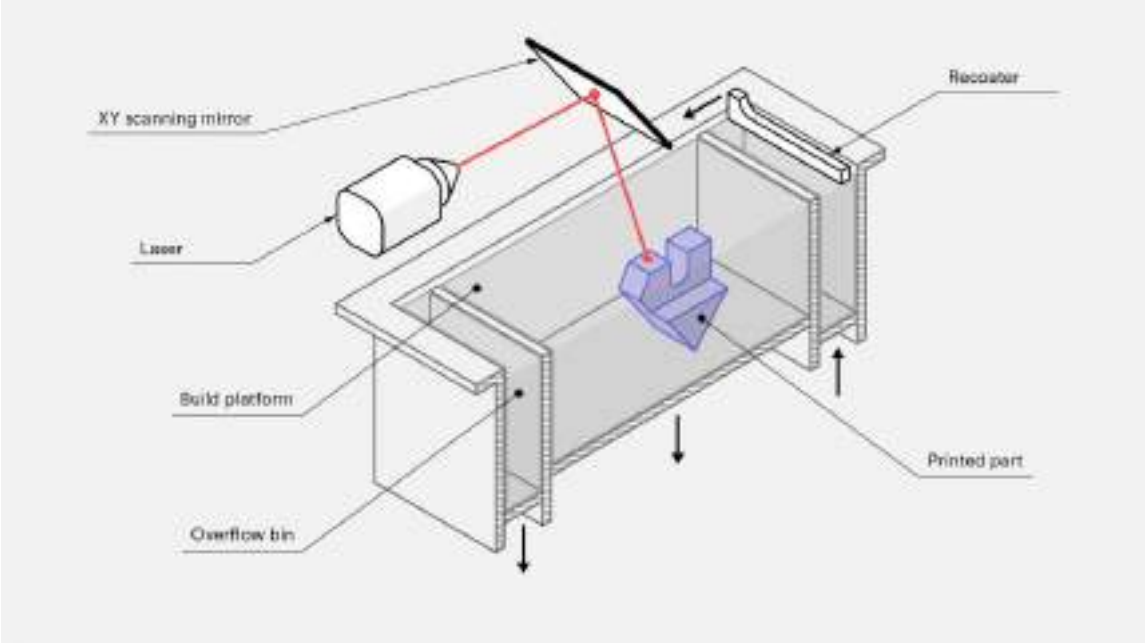
SLA oz. stereolitografija je najstarejša in ena najbolj natančnih tehnologij 3D tiska, uporabljana predvsem v profesionalnih okoljih. Njena glavna prednost je v tem, da dosega izjemno natančnost in gladkost tiskanih površin, zato je primerna za vizualno podrobne prototipe, modele z drobnimi detajli ter umetniške in medicinske izdelke. Ima najvišjo ločljivost med plastičnimi postopki in najjasneje prikaže fine detajle, pogosto se uporablja v zobozdravstvu in zlatarstvu. Uporablja tekočo fotopolimerno smolo, tiskanje poteka s fotopolimerizacijo. Tiskalnik s pomočjo galvanometrov usmerja laserski UV žarek po posodi s smolo, ki nato selektivno utrjuje plast za plastjo. Po vsakem sloju se ploščad rahlo dvigne, proces pa se ponovi. Med plastmi nastanejo kemične vezi, ki izdelku dajejo večjo trdnost. Po tiskanju je izdelke možno dodatno obdelati (brušenje, premazi, barvanje), kar zagotavlja kakovostno končno površino. Uporabljajo se različne vrste smol, kot so standardna, trpežna, fleksibilna, prozorna in visokotemperaturna smola ter občasno vosek (Formlabs, b.d.; Hubs, b.d.; 3WAY d.o.o., b.d.).



Slika 43: Prikaz delovanja tehnologije SLA

Vir: (https://www.hubs.com/knowledge-base/what-is-sla-3d-printing/)

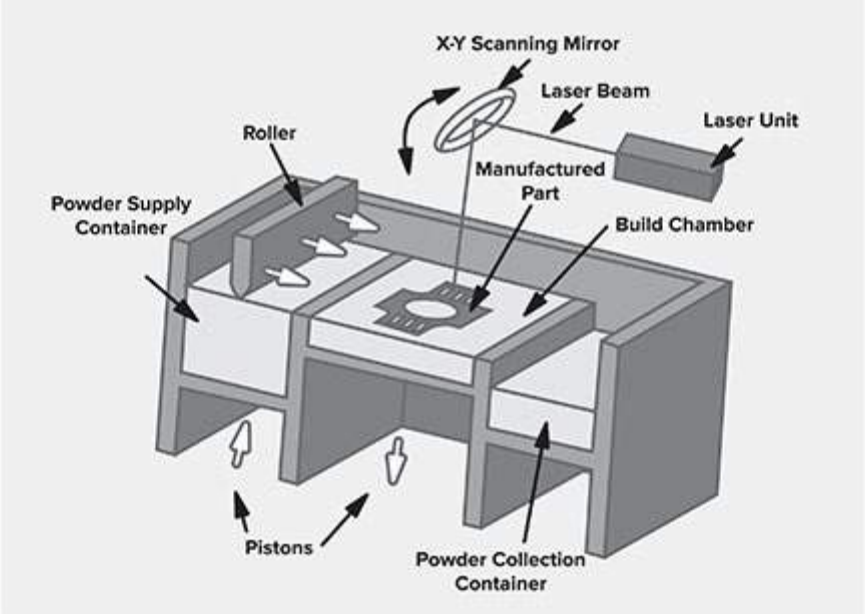
SLS oz. selektivno lasersko sintranje je ena najbolj uveljavljenih tehnologij za tiskanje funkcionalnih prototipov in mehansko zahtevnejših delov. Uporablja se za hitro izdelavo prototipov, proizvodnih pripomočkov in serije z nizko naklado. Pri postopku se uporablja polimerni prah, ki se najprej segreje tik pod tališčem, nato pa ga laser po vzorcu selektivno sintra (zapeče), da se strdi. Ploščad se pomakne navzdol za eno plast, rezilo nanese nov sloj prahu, postopek pa se ponavlja do končnega izdelka. Prednost SLS je, da ne potrebuje podpor, saj neizkoriščen prah med tiskanjem podpira model. Zaradi tega je primerna za kompleksne geometrije, notranje elemente in tanke stene. Končni izdelek ima nekoliko hrapavo površino brez vidnih slojev, vendar je po tiskanju potrebna dodatna obdelava za izboljšanje mehanskih lastnosti in videza. V tej tehnologiji se uporabljajo predvsem materiali, kot sta TPE in najlon (Formlabs, b.d.; Hubs, b.d.; 3WAY d.o.o., b.d.).



Slika 44: Prikaz delovanja tehnologije SLS

Vir: (https://www.hubs.com/knowledge-base/what-is-sls-3d-printing/)

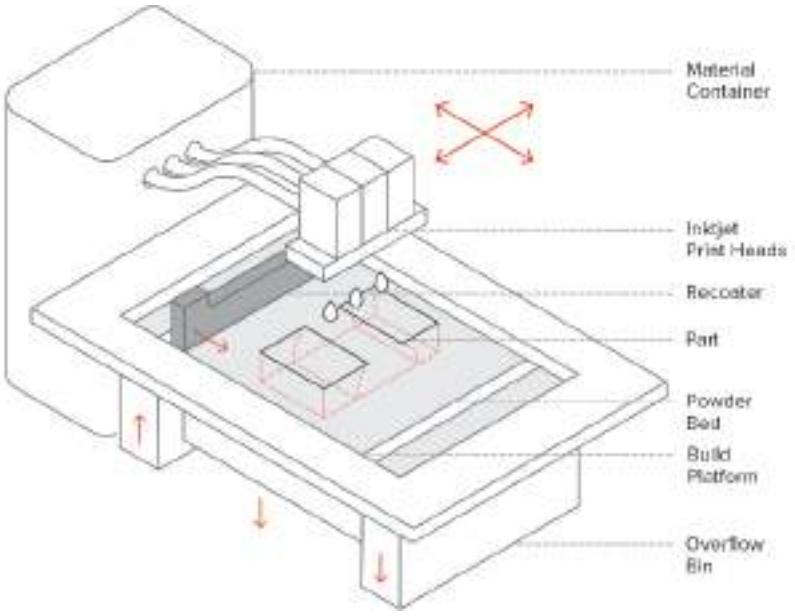
Neposredno lasersko sintranje kovin (angl. *direct metal laser sintering*, DMLS) in selektivno lasersko taljenje (angl. *selective laser melting*, SLM) sta tehnologiji za 3D tisk kovinskih materialov. Obe delujeta po podobnem principu kot SLS, saj uporabljata kovinski prah, ki se plast za plastjo spaja s pomočjo visokoenergijskega laserja. Pri SLM laser popolnoma tali kovinski prah, pri DMLS pa se delci sintrajo v gosto strukturo. Postopek omogoča izdelavo zelo natančnih in mehansko trpežnih kovinskih delov, primernih za končno uporabo. Tehnologiji se uporabljata predvsem v vesoljski, avtomobilski in medicinski industriji. Pri DMLS je površina običajno bolj hrapava in zahteva dodatno obdelavo, medtem ko pri SLM nastanejo deli z bolj gladko površino. V teh postopkih se uporabljajo materiali, kot so aluminij, titan, nerjaveče jeklo in inconel (Formlabs, b.d.; 3WAY d.o.o., b.d.; JLC3D Printing, b.d.).



Slika 45: Prikaz delovanja tehnologije DMLS

Vir: (https://www.protolabs.com/en-gb/resources/design-tips/designing-for-direct-metal-laser-sintering/)

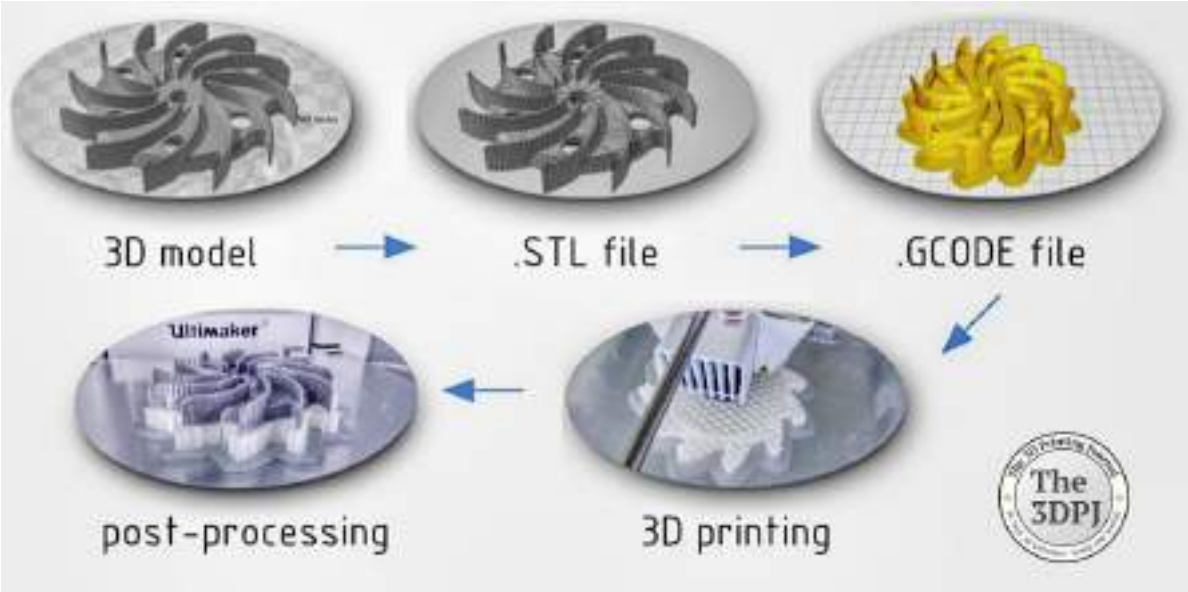
Brizganje veziva (angl. *binder jetting*) je tehnologija 3D tiskanja, ki omogoča uporabo zelo raznolikih materialov in je po principu podobna SLS in SLM. Postopek poteka tako, da valj ali rezilo najprej razporedi tanko plast prašnega materiala po ploščadi, nato pa tiskalna glava z brizgalnimi šobami selektivno nanaša kapljice veziva, ki povežejo delce. Ko je plast končana, se ploščad spusti, nanese se nova plast prahu in postopek se ponovi. Ob koncu so deli obdani s praškastim materialom in jih je treba izkopati. Prednost tehnologije je možnost izdelave velikih in kompleksnih modelov brez podpor, saj oporo nudi neizkoriščen prah. Uporablja se za tiskanje kalupov iz peska, keramičnih izdelkov, kovinskih prototipov in majhnih serij industrijskih komponent. Med materiali so najpogosteje uporabljene keramika, pesek in kovine (Formlabs, b.d.; Hubs, b.d.; 3WAY d.o.o., b.d.).



Slika 46: Prikaz delovanja tehnologije z brizganjem veziva
Vir: (https://www.hubs.com/knowledge-base/what-is-binder-jetting-3d-printing/)

2.2.4 Nastavitve in proces 3D tiskanja

Proces 3D tiskanja vključuje več ključnih faz, ki so skupne skoraj vsem vrstam tehnologij. Te faze obsegajo pripravo digitalnega 3D modela, izbiro ustreznih nastavitev v programu za razrez, sam postopek 3D tiskanja in končno obdelavo izdelka. Čeprav se posamezni parametri razlikujejo glede na izbrano tehnologijo (FDM, SLA, SLS itd.) in uporabljeni material, so osnovni koraki procesa zelo podobni.



Slika 47: Proces 3D tiskanja
Vir: (https://www.3dprintingjournal.com/p/why-we-should-abandon-the-stl-format)

Vse se začne s pravilno pripravljenim 3D modelom. Ta je lahko ustvarjen samostojno ali prenesen z različnih spletnih platform. Ne glede na izvor mora biti model t. i. vodotesen (angl. *watertight*), kar pomeni, da nima odprtih robov, luknjic ali nepravilnosti v mreži. Poleg tega je priporočljivo, da mreža ni preveč gosta (angl. *high-poly*), saj to upočasni obdelavo ter poveča velikost datoteke in možnost napak pri 3D tiskanju. Pri kompleksnih modelih se pogosto uporablja tudi razdelitev na več manjših delov, kar omogoča lažje 3D tiskanje, boljšo kakovost površin in manj potreb po podporah. Model mora biti tudi pravilno orientiran, z zadostno površino za stik s tiskalno ploščo, kar zagotavlja stabilnost med 3D tiskanjem (BCN3D, b.d.; Vedavid, 2022).

Ko je model pripravljen, ga izvozimo v format .STL ali .OBJ in odpremo v programu za razrez, kot so npr. Ultimaker Cura, PrusaSlicer, Lychee Slicer ali PreForm. Ti programi razdelijo model na posamezne sloje in ustvarijo tako imenovano G-kodo, ki vsebuje natančna

navodila za gibanje tiskalne glave, temperaturo, hitrosti in druge parametre (BCN3D, b.d.; Vedavid, 2022; Raise3D, n.d.).

Nekaj najpomembnejših nastavitev vključuje:

- višino sloja, ki določa višino posamezne natisnjene plasti. Nižja višina (npr. 0,1 mm) daje bolj gladek videz in več detajlov, a daljši čas tiskanja. Višja višina (npr. 0,3 mm) omogoča hitrejše tiskanje z manjšo natančnostjo.
- hitrost tiskanja: višje hitrosti skrajšajo čas tiskanja, a lahko zmanjšajo kakovost in povzročijo napake pri zapletenih modelih.
- temperaturo ekstruderja in tiskalne plošče, ki je odvisna od uporabljenega materiala. Pravilna temperatura zagotavlja dobro plastenje in oprijem.
- polnitev, ki določa, kako poln bo notranji del modela (npr. 20 %, 50 %, 100 %). Višji delež polnila poveča trdnost, a tudi čas in porabo materiala.
- podpore, ki so pomembne pri modelih s previsi ali kompleksnimi oblikami, ki začasno podpirajo previsne dele med tiskanjem. Program omogoča ročno ali samodejno generiranje podpor. Pomembno je, da podpore nastavimo tako, da jih je po tiskanju možno enostavno odstraniti, brez poškodb modela. Dodajanje podpor pa seveda podaljša čas tiskanja in poveča porabo materiala.
- orientacijo in pravilno postavitev modela na tiskalni plošči, ki lahko zmanjša potrebo po podporah, izboljša kakovost določenih površin in poveča stabilnost med tiskom.

Ko so vse nastavitve ustrezno konfigurirane, programska oprema generira G-kodo, ki vsebuje natančna navodila za gibanje tiskalne glave, temperaturo in druge parametre 3D tiska. Datoteko, ki vključuje G-kodo, nato naložimo v tiskalnik in ga pripravimo na tisk, kar vključuje kalibracijo ekstruderja in plošče za boljšo natančnost pri tisku. Nekateri modeli se tiskajo nekaj ur, zahtevnejši tudi po več dni. Ko je tiskanje končano, sledi naknadna dodelava, kamor spadajo odstranitev podpor, sestavljanje modela, če smo ga natisnili v več delih, brušenje modela za manjšo opaznost plasti, barvanje modela in poliranje modela s zaščitnimi premazi.

Ustrezne nastavitve močno vplivajo na kakovost končnega izdelka, zato je pomembno, da jih uporabnik pravilno prilagodi glede na material, tehnologijo in namen uporabe (BCN3D, b.d.; Vedavid, 2022; Raise3D, n.d.).

2.3 Personalizacija izdelkov in trženje

V zadnjih letih je trend personalizacije izdelkov močno pridobil na pomenu. Kupci si želijo izdelkov, ki izražajo njihovo osebno identiteto ali so prilagojeni njihovim specifičnim željam.

3D tiskanje odpira povsem nove možnosti na tem področju, saj omogoča hitro in stroškovno učinkovito izdelavo unikatnih in personaliziranih izdelkov.

2.3.1 Koncept likovne personalizacije izdelkov

Koncept likovne personalizacije izdelkov temelji na ideji, da izdelek ni le funkcionalen predmet, ampak tudi vizualni in čustveni nosilec osebnih zgodb. V sodobnem potrošniškem svetu je izraz individualnosti vedno bolj cenjen, zato si uporabniki želijo izdelkov, ki so popolnoma prilagojeni njihovim estetskim preferencam in vrednotam. Likovna personalizacija vključuje ustvarjanje unikatnih oblik, barvnih kombinacij, gravur, reliefov, tekstur in drugih vizualnih elementov, ki jih je mogoče vključiti že v fazi 3D modeliranja izdelka (Kim, 2018).

Prednost 3D tiskanja je prav v tem, da omogoča neomejeno kreativnost brez dodatnih stroškov za orodja ali kalupe. Pri tradicionalnih proizvodnih postopkih so za vsak unikatni izdelek potrebne drage prilagoditve, medtem ko 3D tiskanje omogoča hitro in stroškovno učinkovito izdelavo (Hoskins, 2018).

Tako likovno personalizirani izdelki niso več zgolj predmet potrošnje, temveč postanejo umetniški izraz, simbol osebne zgodbe in identitete. To uporabniku omogoča, da prek izdelka izrazi svoje vrednote, sporočila ali posebne življenjske mejnike. Vizualna personalizacija z uporabo 3D tiskanja zato ustvarja izdelek z visoko čustveno in estetsko vrednostjo, kar ga jasno razlikuje od serijsko izdelanih predmetov (Kudus, 2016).

2.3.2 Pristopi in metode personalizacije

Tehnike in metode personalizacije so ključni element pri ustvarjanju unikatnih izdelkov, ki so v celoti prilagojeni posamezniku. Vizualne tehnike vključujejo graviranje, UV tisk, ročno barvanje, reliefne elemente in teksturiranje. Vse te metode omogočajo visoko stopnjo estetske prilagoditve, ki uporabnikom omogoča, da dobijo točno tak izdelek, kot si ga želijo (Kim, 2018).

3D tiskanje pa omogoča še korak dlje: personalizacijo na ravni digitalnega modela. Tukaj lahko uporabnik prilagaja osnovno obliko, dimenzije in razmerja ter dodaja unikatne funkcionalne ali vizualne detajle, ki jih pri klasičnih tehnikah ni mogoče enostavno izvesti. Ta način personalizacije spodbuja aktivno vključevanje strank v proces oblikovanja, kar ustvarja občutek soavtorstva in večje čustvene povezanosti (Kudus, 2016).

Poleg vizualnih prilagoditev obstajajo tudi funkcionalne metode, kot so prilagajanje ergonomskih lastnosti, spreminjanje materialov glede na uporabnost, integracija modularnih komponent ali prilagoditev mehanizmov, ki povečajo uporabnost izdelka. Takšne metode niso zanimive samo za posameznike, temveč tudi za poslovne uporabnike, ki želijo izdelke prilagoditi specifičnim zahtevam svojih strank (Hoskins, 2018).

2.3.3 Pomen in vrednost personaliziranih izdelkov

Personalizirani izdelki imajo izjemno vrednost, saj ne služijo le osnovni funkciji, temveč tudi kot sredstvo za izražanje individualnosti in ustvarjanje osebne povezanosti z izdelkom. Uporabniki personalizirane izdelke pogosto doživljajo kot unikatne in neponovljive, kar jim daje občutek posebnosti in ekskluzivnosti (Kudus, 2016).

Raziskave kažejo, da so potrošniki za takšne izdelke pripravljeni plačati višje cene, saj v njih prepoznajo višjo čustveno in simbolno vrednost. To podjetjem omogoča večjo dodano vrednost, hkrati pa izboljša konkurenčnost in utrjuje položaj blagovne znamke na trgu (Hoskins, 2018).

Poleg estetske in čustvene vrednosti ima personalizacija pomembne praktične koristi. Prilagoditev izdelka omogoča večjo uporabnost, saj se lahko oblikuje glede na specifične potrebe uporabnika – tako v smislu dimenzij in stabilnosti kot tudi ergonomije, kjer gre za udobje in varno uporabo izdelka. S tem personalizirani izdelki ne nagovarjajo le vizualnih pričakovanj, temveč tudi konkretne funkcionalne zahteve, kar povečuje uporabniško zadovoljstvo in dolgoročno zvestobo kupcev (Kim, 2018).

V sodobnem trženju personalizacija postaja ključno orodje, saj potrošniki vse bolj pričakujejo, da bodo aktivno vključeni v proces oblikovanja izdelkov. To krepi njihovo povezanost z blagovno znamko in ustvarja dolgoročne odnose, ki temeljijo na zaupanju in osebni izkušnji.

2.3.4 Trženje personalizirane 3D grafike

Trženje personalizirane 3D grafike temelji na strateški komunikaciji, ki poudarja možnost popolne prilagoditve izdelkov in vključevanje kupca v oblikovalski proces. Podjetja, ki uporabljajo to strategijo, gradijo svojo prepoznavnost na individualnem pristopu in kreativnosti ter na inovativnih tehnoloških rešitvah, kot je 3D tiskanje (Kim, 2018).

Digitalni kanali igrajo pri tem ključno vlogo. Spletne trgovine, personalizirane e-mail kampanje in družbena omrežja omogočajo podjetjem, da ciljno nagovarjajo specifične segmente trga in predstavljajo unikatne izdelke širši publiki. Zgodba o nastajanju izdelka od prve skice do končnega 3D modela in 3D tiska postane pomemben del trženjske strategije, ki krepi občutek vrednosti in avtentičnosti (Hoskins, 2018).

Koncept personalizirane proizvodnje (angl. *personal fabrication*), ki ga izpostavlja tudi raziskava University of Kansas (Niccum, 2023), poudarja prenos dela proizvodnega procesa na uporabnika. Ta pristop omogoča, da uporabnik dobi večjo svobodo pri oblikovanju končnega izdelka, hkrati pa podjetju zmanjša stroške in poveča fleksibilnost proizvodnje. Tak način ustvarja močnejši občutek lastništva pri kupcih ter povečuje njihovo zadovoljstvo in lojalnost.

Personalizirana 3D grafika tako združuje estetsko, funkcionalno in čustveno vrednost v celovito ponudbo, ki nagovarja sodobnega kupca. S tem predstavlja pomembno konkurenčno prednost ter odpira nova področja za rast in inovacije na trgu.

3 PRAKTIČNI DEL

Praktični del diplomskega dela temelji na izvedbi lastnega projekta, v katerem sem razvila in izdelala personalizirane 3D figurice po naročilu. Projekt vključuje vse faze postopka od začetne idejne zasnove in komunikacije s stranko do modeliranja 3D modela, 3D tiskanja, obdelave izdelka. Namen praktičnega dela je prikazati, kako poteka celoten proces izdelave personalizirane 3D grafike v praksi s poudarkom na prilagajanju željam stranke, uporabi ustreznih orodij in materialov ter iskanju kreativnih rešitev.

V okviru projekta sem sodelovala s štirimi različnimi naročniki, pri čemer sem pri vsakem primeru uporabila nekoliko drugačen pristop, saj so bile želje in izhodišča vsakič edinstvene. Tako sem imela priložnost preizkusiti več načinov zbiranja referenc in 3D modeliranja, kar je bistveno pripomoglo k prilaganju postopka izvedbe. V nadaljevanju bom proces predstavila po ključnih fazah: predprodukcija, produkcija, postprodukcija ter distribucija in trženje.

3.1. Predprodukcija

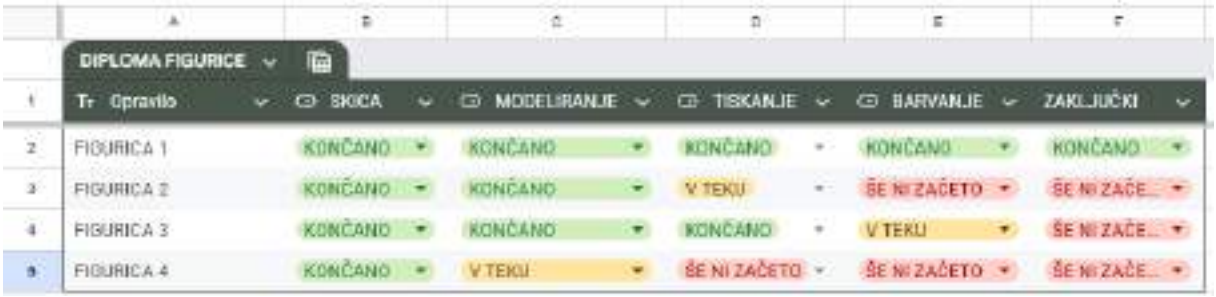
3.1.1 Načrtovanje projekta

Preden sem pričela z dejansko izvedbo projekta, sem pripravila strukturiran načrt, ki mi je pomagal organizirati delo in postopno izpeljati vse faze izdelave. Že na začetku sem zapisala, katere korake moram izvesti za vsak izdelek: od komunikacije s stranko in zbiranja referenc do modeliranja, 3D tiskanja in obdelave.

Ker sem sodelovala s štirimi različnimi naročniki, sem vsako naročilo posebej označila kot ločen projekt ter si ob tem zapisovala opombe glede zahtevnosti, posebnosti in morebitnih izzivov. Poleg časovne razporeditve sem načrtovala tudi delovni prostor, zaporedje posameznih opravil in materialne vire, ki jih bom potrebovala med izdelavo.

Ker sem faze izdelave izvajala prekrivajoče, torej niso potekale zaporedno ena za drugo, sem delo organizirala tako, da sem, medtem ko se je ena figurica 3D tiskala, drugo že barvala, tretjo modelirala, pri četrti pa bila že v fazi načrtovanja. Da sem kljub temu ohranjala pregled nad celotnim potekom, sem sproti beležila napredek vsake figurice, označevala, katere faze mora posamezen projekt še doseči in katere so že zaključene, ter zapisovala morebitne tehnične ali organizacijske težave, ki so se pojavile med postopkom. Takšen pristop mi je omogočil zanesljivejšo izvedbo projekta, manj stresa in boljši pregled nad celotnim procesom,

saj sem se lahko vedno vrnila k osnovnemu načrtu in ga po potrebi prilagajala. Načrtovanje se je izkazalo za ključno tudi zato, ker sem morala projekt uskladiti s prostim časom, saj sem vse faze izvedla samostojno in poleg drugih obveznosti.



	A	B	C	D	E	F
	DIPLOMA FIGURICE					
1	Tr Opravilo	SKICA	MODELIRANJE	TISKANJE	BARVANJE	ZAKLJUČKI
2	FIGURICA 1	KONČANO	KONČANO	KONČANO	KONČANO	KONČANO
3	FIGURICA 2	KONČANO	KONČANO	V TEKU	ŠE NI ZAČETO	ŠE NI ZAČE...
4	FIGURICA 3	KONČANO	KONČANO	KONČANO	V TEKU	ŠE NI ZAČE...
5	FIGURICA 4	KONČANO	V TEKU	ŠE NI ZAČETO	ŠE NI ZAČETO	ŠE NI ZAČE...

Slika 48: Primer beleženja procesa

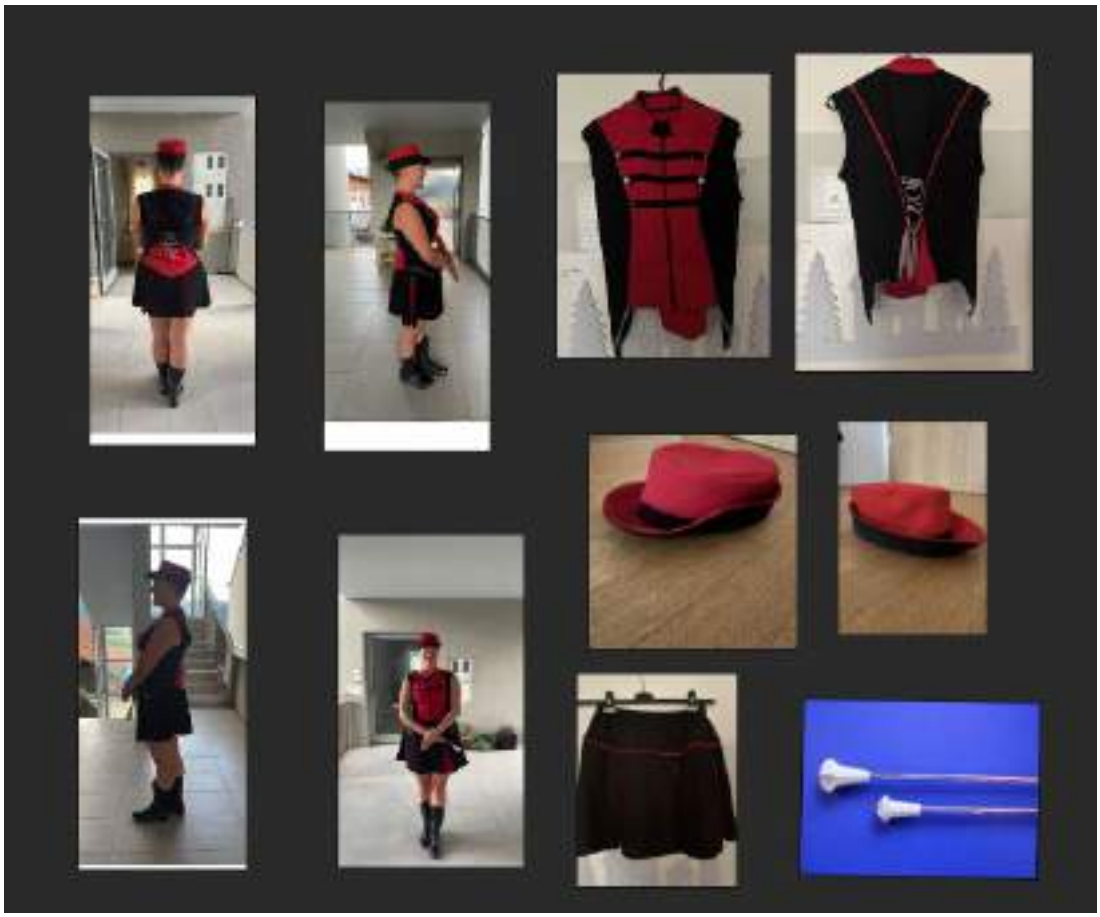
Vir: (Lastni arhiv)

3.1.2 Komunikacija s strankami in zbiranje referenc

Ker sem projekt zasnovala kot izdelavo personaliziranih figuric po naročilu, je bil prvi stik s stranko ključen za uspešno nadaljevanje procesa. Vsak naročnik je imel svoje želje, pričakovanja in predstavo o tem, kakšen naj bi bil končni izdelek. Zato sem že na začetku veliko pozornosti namenila komunikaciji in razumevanju njihovih idej ter zbiranju dovolj informacij, da sem lahko pozneje izdelala ustrezen 3D model. Za uspešno izdelavo personaliziranih figuric sem poleg neposredne komunikacije s strankami potrebovala tudi dovolj kakovostnih referenčnih materialov. Za zbiranje materialov sem uporabila aplikacijo PureRef, s pomočjo katere sem lahko imela vse fotografije za posamezen projekt na enem mestu. Ker so bile želje naročnikov raznolike, sem morala v vsakem primeru zbrati specifične informacije, ki so mi omogočile čim natančnejšo konceptno zasnovo 3D modelov figuric.

- 1. naročilo

Stranka si je zaželela lastno personalizirano 3D figurico v uniformi svojega društva, postavljeno v točno določeno pozo. Kot osnovo za oblikovanje mi je poslala fotografije sebe v uniformi in v želeni pozi v 4 različnih pogledih (od spredaj, zadaj in z obeh profilov), ki sem jih uporabila za osnovo referenco poze in telesne drže. Stranka je prav tako poslala bolj detajlne fotografije uniforme, ki so mi služile pri lažjem razumevanju oblačil in pripomočkov.



Slika 49: Referenčne fotografije figurice 1

Vir: (Lastni arhiv)

- 2. naročilo

Stranka si je zaželela 3D figurico znane osebe, finskega reperja Käärije. Poslala mi je fotografijo, po kateri naj bi se zgledovala pri izdelavi figurice. Sama sem nato poiskala več referenčnih fotografij te osebe in oblačil iz različnih zornih kotov. Na podlagi tega sem oblikovala figurico tako, da je bilo prepoznavno, za koga gre. Na željo stranke sem podstavek oblikovala kot leseno paleto, element, ki ga Käärijä pogosto uporablja na odru in je postal del njegove vizualne identitete.



Slika 50: Referenčne fotografije figurice 2

Vir: (Lastni arhiv)

- 3. naročilo

  Stranka si je želela 3D figurico svoje psičke po imenu Lili. Poslala mi je več fotografij psičke iz različnih kotov v različnih položajih. Na podlagi teh fotografij sem ustvarila pozo, ki se mi je zdela najprimernejša in ki je to psičko najbolje izrazila. Stranka je želela, da se podstavek za figurico pobarva v teksturo trave, da bo videti, kot da psička leži v travi.



Slika 51: Referenčne fotografije figurice 3
Vir: (Lastni arhiv)

- 4. naročilo

  Četrta figurica je bila po obsegu, zahtevnosti in času izdelave največji projekt v okviru tega dela. Naročnica si je želela vizualno upodobitev posebnega trenutka, ki sta ga z njenim partnerjem doživela na zmenku. Šlo je za simbolično rekonstrukcijo spomina, ki se jima je močno vtisnil v spomin in ga je želela ohraniti v obliki personaliziranih figuric v danem okolju.

  Kot izhodišče je naročnica predložila fotografijo, ki pa je zajemala le zgornji del telesa in ni ponujala dovolj informacij za natančno rekonstrukcijo prostora in oblačil. Zato sva skupaj poiskali dodatne reference: naročnica mi je poslala fotografije oblačil, ki sta jih nosila tisti dan, in dodatno sta se s fantom posebej fotografirala v sedečem položaju, da sem dobila boljši občutek za pozo in razmerja.

  Celoten proces je temeljil na odprti komunikaciji in postopnem preverjanju modela, ki sem ga večkrat posodabljala glede na naročničine povratne informacije.



Slika 52: Referenčne fotografije izdelka 4

Vir: (Lastni arhiv)

Med celotnim procesom sem bila s strankami v rednem stiku, saj sem jim sproti pošiljala osnutke 3D modelov in jih prilagajala glede na njihove povratne informacije. Vsaka sprememba ali dopolnitev je temeljila na njihovih željah, kar je omogočilo, da so bile figurice na koncu resnično personalizirane in usklajene s pričakovanji naročnikov. Tak način dela se je izkazal kot ključnega pomena, saj sem lahko s pomočjo sodelovanja dosegla večjo natančnost, čustveno vrednost in zadovoljstvo strank.

3.1.3 Razvoj stila

Preden sem se lotila likovne zasnove figuric, sem se morala najprej odločiti, v kakšnem vizualnem stilu jih želim zasnovati, zato sem izvedla raziskavo obstoječih trendov in slogov. Osredotočila sem se na štiri znane blagovne znamke – Funko Pop, Youtooz, Nendoroid in Popmart –, ki se na trgu pojavljajo kot vodilne ponudnice različnih 3D figuric.

Vsaka izmed teh znamk ima jasno prepoznaven likovni izraz od figuric z izrazito stiliziranimi proporci, kot so velike glave in majhna telesa, do tistih z bolj realističnimi ali minimalističnimi oblikami. Za lažje razumevanje razlik med njimi sem izdelala preglednico, v kateri sem primerjala osnovne značilnosti njihovega oblikovanja (Priloga 1).

Na podlagi raziskave obstoječih stilov sem začela razvijati svoj lastni pristop k oblikovanju figuric. Odločila sem se za ravnovesje med stilizacijo in naravnimi proporci, saj sem želela,

da imajo figurice prepoznaven videz, hkrati pa ostanejo dovolj enostavne za modeliranje in 3D tisk.

Za glavo sem izbrala naravnejšo, mehko obliko. Oči sem oblikovala v elipsasti obliki in se odločila, da figurice ne bodo imele ust. Takšna odločitev je prispevala k čistejši in bolj minimalistični podobi, ki mi je bila vizualno najbolj všeč. Glava je nekoliko večja v primerjavi s telesom, kar figurici doda rahlo karikiran (angl. *cartoonish*) značaj, vendar še vedno ohranja celostno likovno uravnoteženost.

Likovno konceptno zasnovo sem ustvarila v programu Adobe Photoshop, kjer sem lahko enostavno risala, primerjala različne oblike in eksperimentirala s proporci. Najprej sem se osredotočila za oblikovanje glave: ustvarila sem več različic, kjer sem preizkušala različne oblike obraza, oči in nosu. Izmed teh sem izbrala tisto kombinacijo, ki mi je bila najbolj vizualno privlačna in se mi je zdela tudi praktična za poznejše 3D modeliranje in 3D tisk.



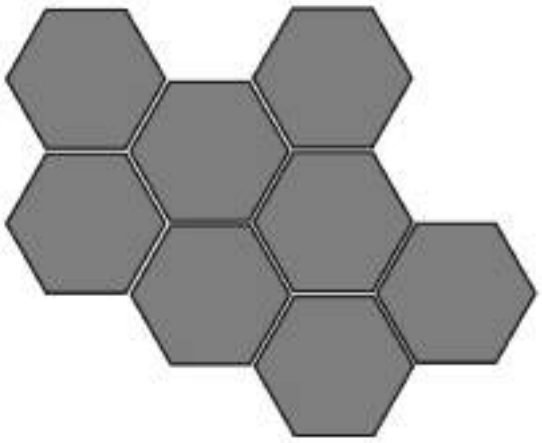
Slika 53: Končna skica glave
Vir: (Lastni arhiv)

Podobno sem pristopila tudi k oblikovanju likovne zasnove telesa 3D figurice. Testirala sem različne dolžine in debeline trupa, rok in nog ter iskala razmerja, ki se najbolje ujemajo z izbrano obliko glave. Končna verzija je nastala s postopnim usklajevanjem telesa in glave, tako da celotna figurica deluje enotno, estetsko in izvedljivo za produkcijo.

Za svoje figurice sem se odločila oblikovati tudi podstavke. Čeprav večina figuric, ki sem jih primerjala med raziskovanjem, podstavkov nima, saj lahko stojijo samostojno, se ti vseeno pojavijo v primerih, ko figurica ni dovolj stabilna. V mojem primeru sem se namenoma odločila, da bo vsaka figurica imela svoj podstavek, tudi če stoji samostojno. S tem sem želela doseči enotnejši in celovitejši vtis.

Poleg tega menim, da lahko podstavek figurici podeli dodatno vrednost, predvsem če je personaliziran ali tematsko povezan z motivom figurice. Pri figurah, ki sem jih našla na spletu, sem opazila, da imajo te najpogosteje okrogle podstavke, vendar sem želela ustvariti nekaj bolj funkcionalnega in povezanega s celostno vsebino izdelka.

Moj cilj je bil, da se figurice med seboj lahko tudi fizično povezujejo, predvsem za uporabnike, ki bi jih želeli razstaviti v skupini. Zato sem se odločila za podstavek v obliki šestkotnika, saj ta omogoča modularno povezovanje, podobno kot satovje pri čebelah. Tako lahko posamezne figurice skupaj tvorijo večjo kompozicijo in delujejo kot enotna kolekcija, ne le kot ločeni predmeti.



Slika 54: Skica podstavka za 3D figurice
Vir: (Lastni arhiv)

3.1.4 Razvoj konceptnih skic

Ko sem imela jasno oblikovano idejo in razvit slog za oblikovanje figuric, je sledila faza skiciranja, ki je temeljila na referenčnih fotografijah posameznih naročil. Skice sem ustvarjala digitalno v programu Adobe Photoshop, ki mi je omogočal hitro prilagajanje oblik in eksperimentiranje s proporci. Pri tem sem uporabljala tudi grafično tablico Wacom, ki mi je s pisalom omogočila naravnejše in natančnejše digitalno risanje.

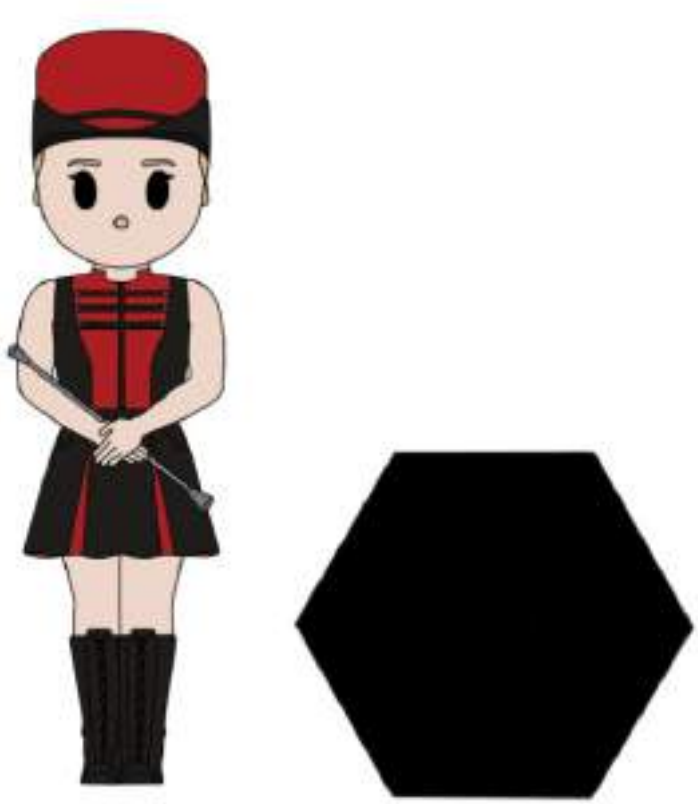
Skice sem po potrebi sproti delila s strankami, ki so dodajale svoje opombe ali predlagale spremembe. Za vsako figurico sem skicirala le sprednji pogled, kar je bilo dovolj za osnovno vizualizacijo.

Ker je bila oblika glave pri vseh figuricah enaka, sem si izdelala predlogo (angl. *template*), ki sem jo uporabila kot osnovo. Znotraj tega prednastavljenega okvirja sem na podlagi referenc

prilagajala frizure, obrvi, trepalnice, brado in druge individualne značilnosti. Tako sem na hiter in učinkovit način ustvarila personalizirane skice glav, ki sem jih nato dopolnila s skicami teles.

- Naročilo 1

  Uporabila sem fotografije, ki jih je priložila stranka, ter skicirala figuro v izbranem stilu in proporcih. Oblačila sem oblikovala natančno po referenčnih slikah, da sem vključila vse potrebne detajle. Podstavek sem zasnovala kot minimalističen črn šestkotnik, ki se je estetsko skladal z modelom. Skico sem poslala v potrditev, stranka pa je bila z izvedbo povsem zadovoljna, zato dodatni popravki niso bili potrebni.

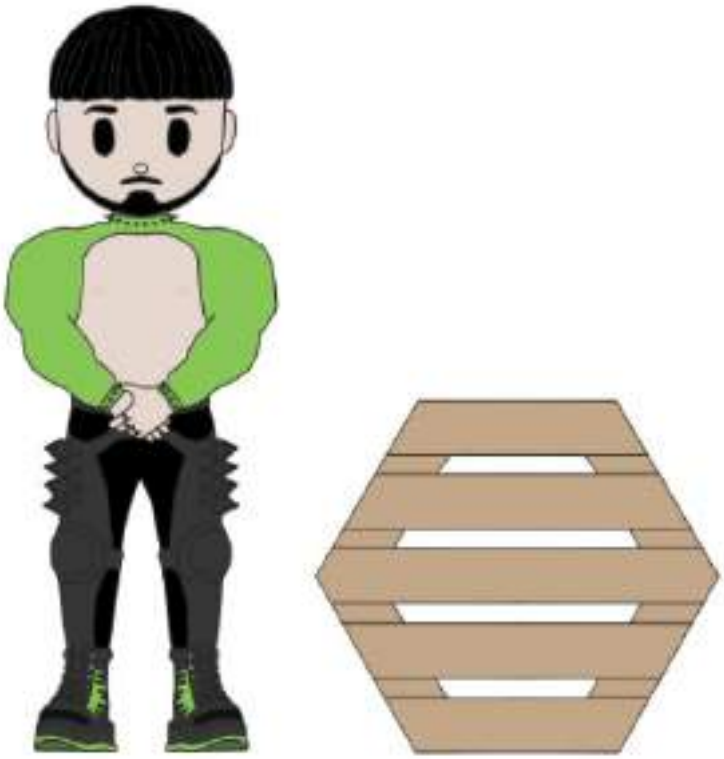


Slika 55: Skica figurice in podstavka 1

Vir: (Lastni arhiv)

- Naročilo 2

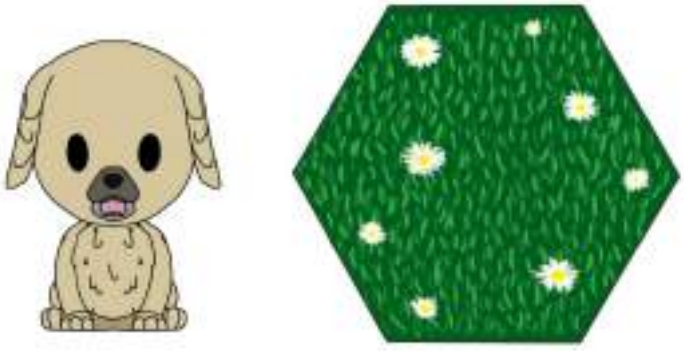
  Na željo stranke sem podstavek za figurico preoblikovala iz osnovne šestkotne oblike v videz lesene palete. S konceptno zasnovo tega podstavka sem imela nekaj težav, saj so palete v večini primerov kvadratne, tako da sem potrebovala nekaj razmisleka o tem, kako jo naj oblikujem, da bo izgledala pravilno. Po več osnutkih sem našla vizualno ustrezno rešitev in stranki poslala skico, s katero je bila popolnoma zadovoljna.



Slika 56: Skica figurice in podstavka 2
Vir: (Lastni arhiv)

- Naročilo 3

  Stranka mi je poslala več fotografij svoje psičke v različnih položajih, sama pa si je zaželela sedečo pozicijo. Poleg poslanih fotografij sem si pomagala tudi s fotografijami s spleta, da sem bolje razumela anatomijo psa. Kljub temu da je šlo za žival, sem se odločila obdržati osnovno obliko glave kot pri človeških figuricah, saj sem želela ohraniti celostni slog kolekcije. Edina razlika je bila v tem, da sem namesto nosu narisala pasji gobček, dodala odprta usta z jezikom in prilagodila obrazne detajle. Stranka je želela, da podstavek predstavlja travo, zato sem podstavek v obliki šestkotnika prilagodila tako, da sem ga pozneje prebarvala v teksturo trave. Stranka je bila s končno skico popolnoma zadovoljna.



Slika 57: Skica figurice in podstavka 3

Vir: (Lastni arhiv)

- Naročilo 4

  Ta projekt je bil najbolj kompleksen, saj je šlo za dve figurici hkrati in upodobitev konkretnega osebnega spomina naročnice. Na voljo je bilo le nekaj fotografij, zato je bilo ključno natančno usklajevanje s stranko. Najprej sem skicirala osnovno postavitev figuric na podlagi skupne fotografije in dodatnih fotografij oblačil, ki mi jih je poslala. Po prvem osnutku je naročnica poslala predlog popravkov, ki sem jih upoštevala pri nadaljnjem delu. Nato sva se s stranko osredotočili na okolico: vključiti je bilo treba mizo, klop, dodatke in dekoracijo na mizi. Skupaj sva našli fotografije restavracije, kjer je zmenek potekal, da sem lahko čim bolj realistično poustvarila prostor. Ker so bile dekoracije na fotografijah različne, sva preostale elemente (kot so pica, pogrinjki, pribor, kozarci, cvetlica, pepelnik in košarica) oblikovali in razporedili po spominu naročnice. Za podstavek sem iz štirih šestkotnikov sestavila večjo osnovo, ki je zajela celoten prizor. Nato sva skupaj poiskali primeren vzorec kamnitih tal, ki sem ga uporabila za teksturo na podstavku.



Slika 58: Skica izdelka 4

Vir: (Lastni arhiv)

3.1.5 Uporaba umetne inteligence pri pripravi konceptov

Pri pripravi konceptov sem za potrebe 3D modeliranja potrebovala skice figuric iz vseh zornih kotov: spredaj, zadaj ter z leve in desne strani. Čeprav sem za stranke običajno skicirala le sprednji pogled, saj je bil ta za vizualizacijo izdelka dovolj, je za natančno oblikovanje v tridimenzionalnem prostoru pomembno, da imam bolj celostno predstavo o telesni postavitvi, razmerjih in proporcih figurice.

Za hitrejšo in učinkovitejšo pripravo teh skic sem se kot podporno orodje odločila uporabiti umetno inteligenco (UI). Preizkusila sem tri različne platforme: ChatGPT (z možnostjo generiranja slik), Leonardo.Ai in Microsoft Copilot. Ključno merilo pri izbiri orodij je bilo to, da omogočajo nalaganje lastnih slik, saj sem želela umetni inteligenci posredovati svoje že narejene sprednje skice figuric. Kot referenčno sliko sem poslala skice figuric, ki sem jih pokazala tudi strankam, vendar sem odstranila podstavke. Na podlagi teh je UI generirala prikaze figuric iz preostalih zornih kotov. Za vse figurice in pri vseh uporabljenih umetnih inteligencah sem uporabila enaka navodila oziroma besedilni ukaz: »Make a turn sheet of this figurine« (slo. »Pripravi referenčne skice te figure iz različnih pogledov«). Z uporabo enakega besedilnega poziva sem v več UI orodjih testirala generirane rezultate ter primerjala njihovo uporabnost in konsistentnost (Priloga 2).

Čeprav generirane slike niso bile popolnoma tehnično natančne, so mi vseeno nudile zelo dobro izhodišče pri razumevanju telesnih proporcev, postavitve in kompozicije figuric v prostoru. Pomagale so mi hitro preveriti, ali določena poza ali zasnova dobro deluje tudi v 3D prostoru. Ta pristop mi je občutno skrajšal čas, ki bi ga sicer porabila za ročno risanje vseh zornih kotov.

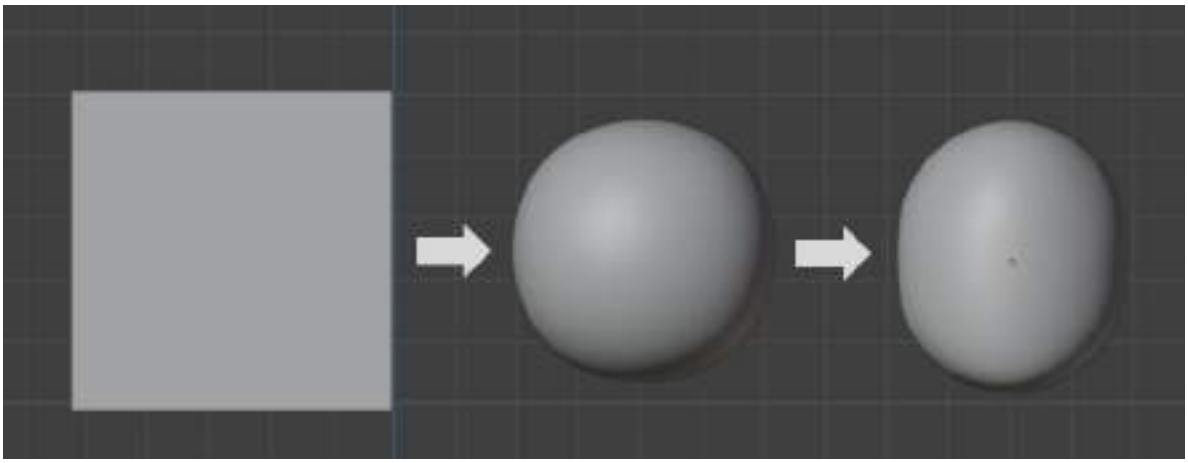
Pomembno je poudariti, da umetna inteligenca ni bila uporabljena za končno oblikovanje modelov, temveč zgolj kot kreativna in tehnična pomoč v fazi načrtovanja. Generirane slike sem pozneje uporabila kot referenčni material pri dejanskem 3D modeliranju figuric, kjer sem vse elemente izdelala ročno.

3.2. Produkcija

3.2.1 Modeliranje 3D figuric

Za modeliranje figuric sem se odločila uporabiti program Blender, saj je brezplačen in odprtokoden ter imam z njim že nekaj predhodnih izkušenj. To mi je omogočilo hitrejše in zanesljivejše delo, saj sem se lažje osredotočila na samo vsebino modeliranja.

Tako kot pri skicah sem se tudi pri modeliranju najprej lotila modeliranja glave. Najprej sem ustvarila osnovno predlogo glave, ki sem jo pri vsaki figurici pozneje prilagodila glede na specifične značilnosti posameznega naročila (npr. frizura, dodatki, brada). Pri 3D modeliranju glave sem za izhodiščno obliko vzela kocko, ki sem ji sem s pomočjo modifikatorja za dodajanje geometrije (angl. *subdivision surface modifier*) dodala več mrežnih delitev (angl. *subdivisions*), kar je kocko preoblikovalo v bolj zaobljeno, sferično obliko. Nato sem v kiparskem načinu (angl. *sculpt mode*) s pomočjo orodja za premikanje površine (angl. *grab tool*) glavo oblikovala v želeno obliko.



Slika 59: Postopek modeliranja glave

Vir: (Lastni arhiv)

Na podoben način sem oblikovala tudi oči, ušesa in nos. Z orodji za premikanje in rotacijo sem posamezne elemente, ki sem jih zmodelirala, ločeno postavila v ustrezno kompozicijo in jih prilagodila osnovni obliki glave. Tako pripravljeno glavo sem uporabila kot predlogo za modeliranje vseh figuric.



Slika 60: Končana predloga modela glave

Vir: (Lastni arhiv)

Po izdelavi predloge sem se lotila 3D modeliranja glav posameznih figuric. Pri vseh štirih figuricah sem sledila enakemu postopku, saj sem želela ohraniti enoten slog in doslednost pri izdelavi. Za podrobno razlago postopka in slikovno dokumentacijo sem kot predstavitveni primer izbrala figurico št. 4, saj je bila ta najkompleksnejša in je vključevala največ elementov.

Za telo figuric sem najprej ustvarila osnovne oblike. Tudi tukaj sem iz kocke ustvarila zaobljeno obliko in jo nato z izvleki (angl. *extrude*) preoblikovala v želene proporce. Na ta način sem oblikovala trup telesa ter zgornji in spodnji del rok in nog.



Slika 61: Osnova telesa

Vir: (Lastni arhiv)

Te elemente sem nato s pomočjo osnovnih orodij premikala in rotirala, dokler nisem dosegla poze figure, ki ustreza referenčnim fotografijam.



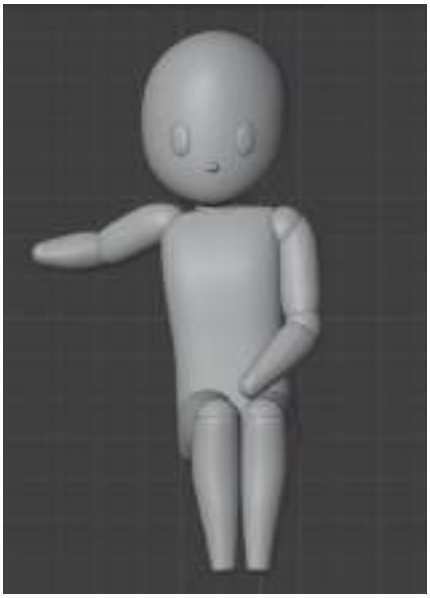
Slika 62: Pozicija telesa
Vir: (Lastni arhiv)

Ker so med osnovnimi oblikami ostajali prazni prostori, sem dodala kroglo (angl. *sphere*) kot sklepne povezave npr. v rami, komolcu in kolenu.



Slika 63: Telo s zapolnjenimi sklepi
Vir: (Lastni arhiv)

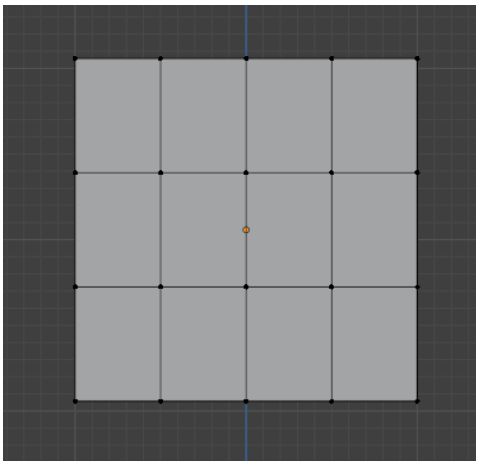
Za vrat sem uporabila valj (angl. *cylinder*). Nato sem v to datoteko uvozila predlogo glave in jo postavila v pozicijo, skladno s telesom.



Slika 64: Končana groba oblika telesa

Vir: (Lastni arhiv)

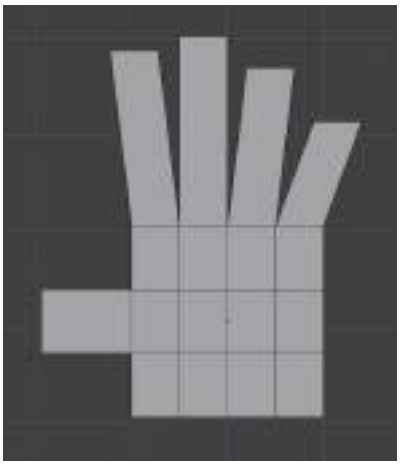
Ko je bila osnovna oblika 3D figurice sestavljena, sem se osredotočila na roke, še posebej na dlani. Za osnovo sem znova uporabila kocko, ki sem jo z orodjem za rezanje mreže (angl. *loop cut*) razdelila na 12 pravokotnikov.



Slika 65: Razdeljena mreža kocke

Vir: (Lastni arhiv)

Z orodjem za ekstrudiranje sem navzgor izvlekla posamezne ploskve na zgornjem delu dlani, da so nastali prsti, enako sem naredila še z enim stranskim pravokotnikom za palec. Tako sem oblikovala grobo dlan s prsti.



Slika 66: Groba oblika roke
Vir: (Lastni arhiv)

Modelu sem nato dodala modifikator za dodajanje geometrije, kar je izboljšalo organsko obliko roke.



Slika 67: Roka z dodanim modifikatorjem
Vir: (Lastni arhiv)

V kiparskem načinu sem s pomočjo orodij za risanje (angl. *draw*), glajenje (angl. *smooth*) in orodja za premikanje površine roko dodatno oblikovala.



Slika 68: Končan model roke
Vir: (Lastni arhiv)

Nastala je predloga roke, ki sem jo uporabila tudi pri drugih 3D figuricah.

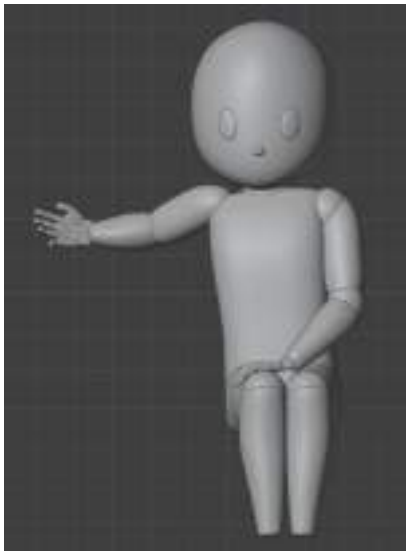
Da sem lahko roke postavila v želeno pozo, sem modelu dodala okostje (angl. *armature*). Kljub temu, da Blender vsebuje vnaprej pripravljeno človeško okostje, sem se odločila ustvariti svoje lastno. V sceno sem dodala posamezno kost (angl. *single bone*) in iz nje izvlekla vse ostale kosti, pri čemer sem si pomagala z referenčnimi slikami človeške anatomije.



Slika 69: Model roke s dodanim okostjem
Vir: (Lastni arhiv)

Ko so bile kosti postavljene, sem jih z modelom povezala s funkcijo za deformacijo z ogrodjem in samodejno razporejenimi utežmi (angl. *armature deform with automatic weights*), ki določi vpliv kosti na mrežo modela. To mi je omogočilo, da sem lahko model animirala v načinu poziranja (angl. *pose mode*). Tako sem lahko posamezne kosti premikala in prilagodila položaj rok.

Ko sem imela roke narejene, sem jih prestavila k modelu. S pomočjo premikanja in rotacije sem roke postavila v pravilno postavitev glede na referenčne fotografije.



Slika 70: Model telesa z dodanimi rokami
Vir: (Lastni arhiv)

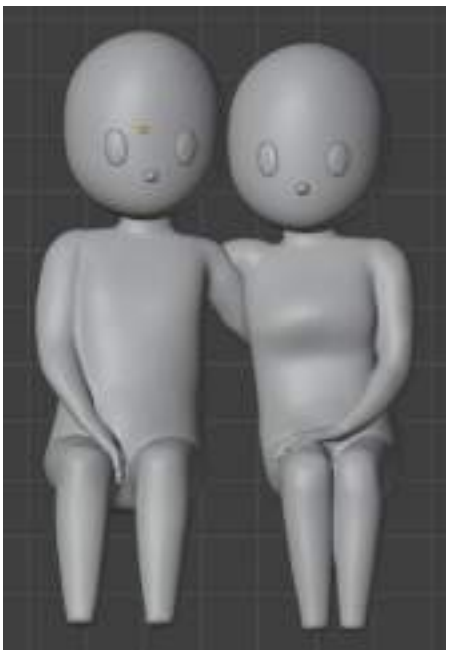
Ko sem imela vse dele postavljene, sem jih združila s funkcijo za združevanje (angl. *join*) v en sam objekt. Nato sem preklopila v kiparski način in uporabila orodje za ponovno prilaganje geometrije (angl. *remesh*), da sem vse elemente združila v enotno mrežo. S pomočjo že zgoraj opisanih orodij sem telo oblikovala v naravnejšo obliko in s tem zaključila modeliranje osnov.



Slika 71: Končana oblika telesa

Vir: (Lastni arhiv)

Ker figurica 4 vključuje dve osebi, sem do te točke modela oblikovala sočasno, da sem lahko sproti preverjala pravilnost pozicij in skladnost s celotno kompozicijo.



Slika 72: Postavitev kompozicije obeh figuric

Vir: (Lastni arhiv)

V nadaljevanju sem se osredotočila na obraz. Puncam sem želela dodati stilizirane trepalnice, da je bolj očitno, da gre za ženski spol. V kiparskem načinu sem s pomočjo maskiranja (angl. *mask*) zarisala obliko trepalnic in uporabila funkcijo za izvlečenje maske (angl. *mask extract*), da sem iz tega ustvarila dodatno geometrijo. Enak postopek sem uporabila tudi za modeliranje obrvi in brade pri moških figuricah. Za simetrijo sem uporabila zrcaljenje (angl. *mirror modifier*), da se je delo na desni strani prezrcalilo tudi na levo stran modela.



Slika 73: 3D model glave s podrobnostmi

Vir: (Lastni arhiv)

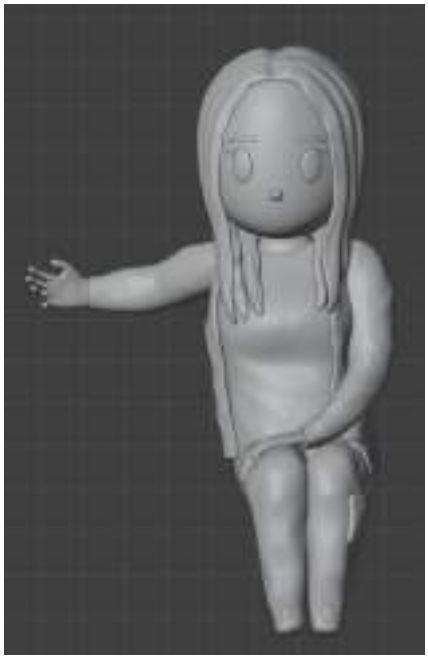
Lasje so bili modelirani na podoben način. Najprej sem zarisala obliko (kot »čelado«), jo s funkcijo za izvlečenje maske pretvorila v dodatno geometrijo, nato pa v kiparskem načinu oblikovala primeren volumen, obliko in teksturo las.



Slika 74: 3D model z oblikovanimi lasmi

Vir: (Lastni arhiv)

Za oblačila sem ponovno uporabila maskiranje, izvlekla mrežo, jo oblikovala glede na referenčne fotografije in s tem ustvarila prepoznavna oblačila za vsako 3D figurico.



Slika 75: 3D figurica z izoblikovanimi oblačili

Vir: (Lastni arhiv)

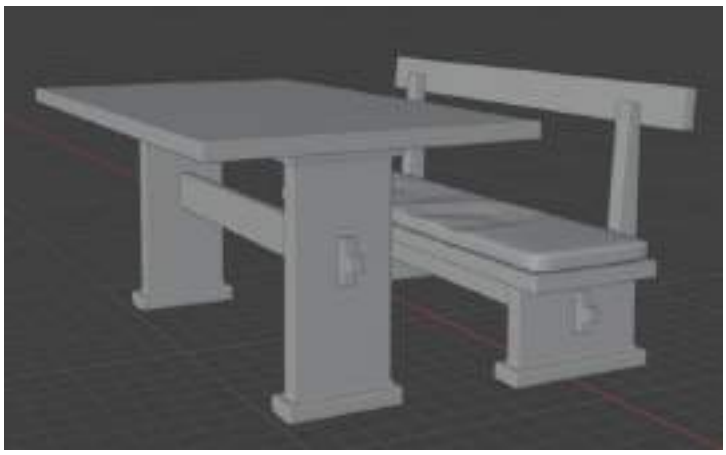
Čevlje sem ustvarila iz osnovne kocke, ki sem jo grobo preoblikovala, nato pa dodala modifikator za dodajanje geometrije, da sem dobila mehkejše, bolj organske oblike. V kiparskem načinu sem nato oblikovala detajle, kot so vezalke in logotipi na čevljih.



Slika 76: Končana modela 3D

Vir: (Lastni arhiv)

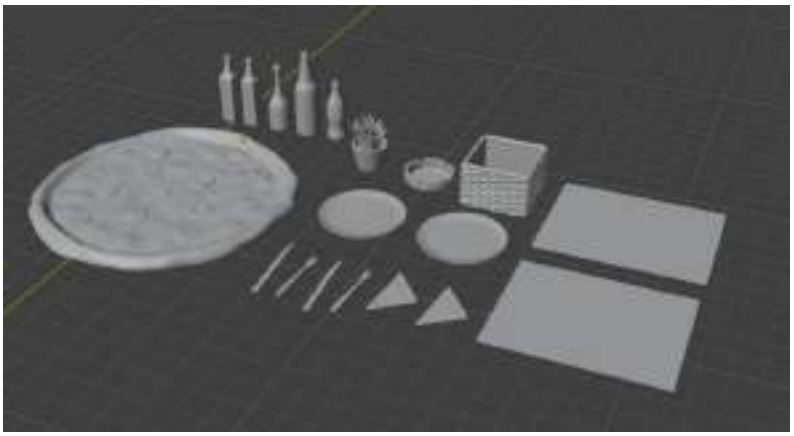
Za modeliranje dodatnih elementov, kot sta miza in klop, sem uporabila osnovne geometrijske primitive (kot je kocka), ki sem jih z dodajanjem geometrije in preoblikovanjem postopoma prilagodila v želene oblike. Tem delom sem dodala tudi modifikator za robove (angl. *bevel*), da sem zaoblila robove, da niso bili preostri. Blazino na klopi sem oblikovala posebej in ji v kiparskem načinu dodala rahlo poglobitev na mestih, kjer figurici sedita.



Slika 77: Model mize in klopi

Vir: (Lastni arhiv)

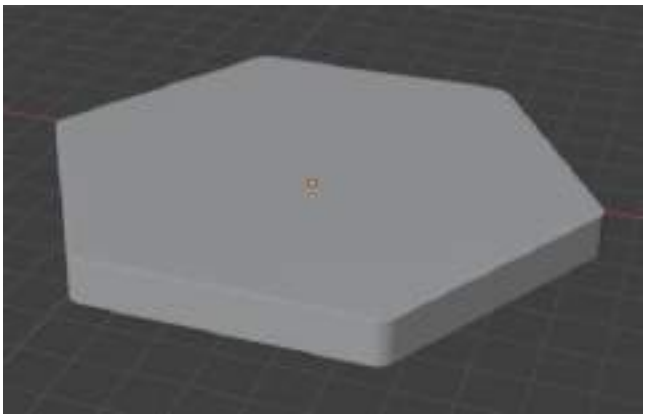
Dodatne 3D elemente na mizi (pica, pogrinjki, pribor, okraski) sem izdelala na enak način: iz osnovnih geometrijskih teles in z modifikatorjem za dodajanje geometrije ter z dodatnim modeliranjem v kiparskem načinu.



Slika 78: Modeli dodatkov

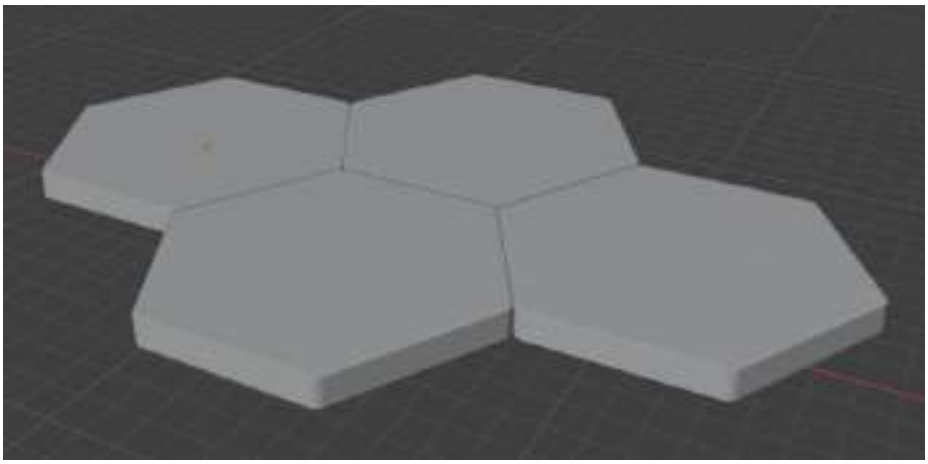
Vir: (Lastni arhiv)

Sledil še je podstavek, za katerega sem si ponovno pripravila osnovo, na podlagi katere sem ustvarila vse podstavke. Za osnovo sem vzela valj, ki sem mu število robov spremenila na 6, da sem dobila šestkotnik. Temu sem nato prilagodila višino, da sem dobila podstavku podobno obliko. Šestkotniku sem nato z modifikatorjem za robove zaoblila robove.



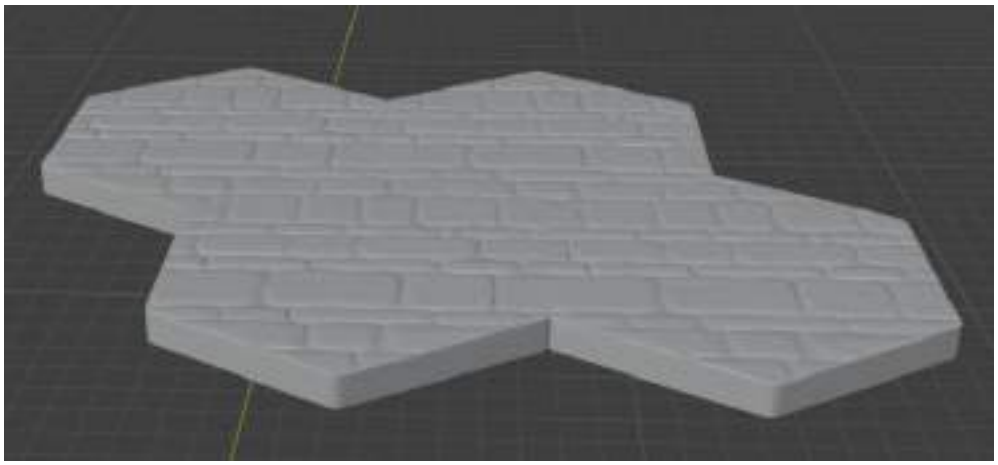
Slika 79: Podstavek
Vir: (Lastni arhiv)

Za četrto figurico sem izdelala poseben podstavek, saj zaradi številnih dodatkov običajen ni bil dovolj velik za vse elemente. Namesto tega sem združila štiri osnovne podstavke v enotno obliko, ki omogoča dovolj prostora za celotno kompozicijo izdelka.



Slika 80: Sestavljen podstavek
Vir: (Lastni arhiv)

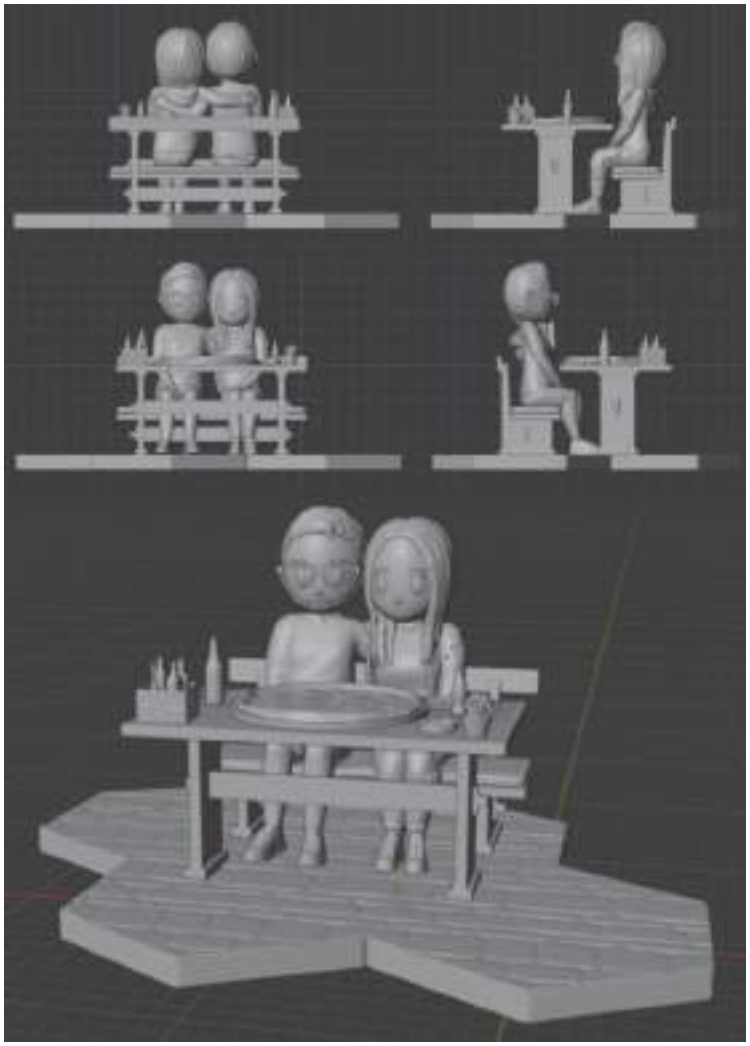
Te 4 podstavke sem nato združila v eno samo mrežo in v kiparskem načinu dodala teksturo tal z referenčnih fotografij.



Slika 81: Podstavek s teksturo

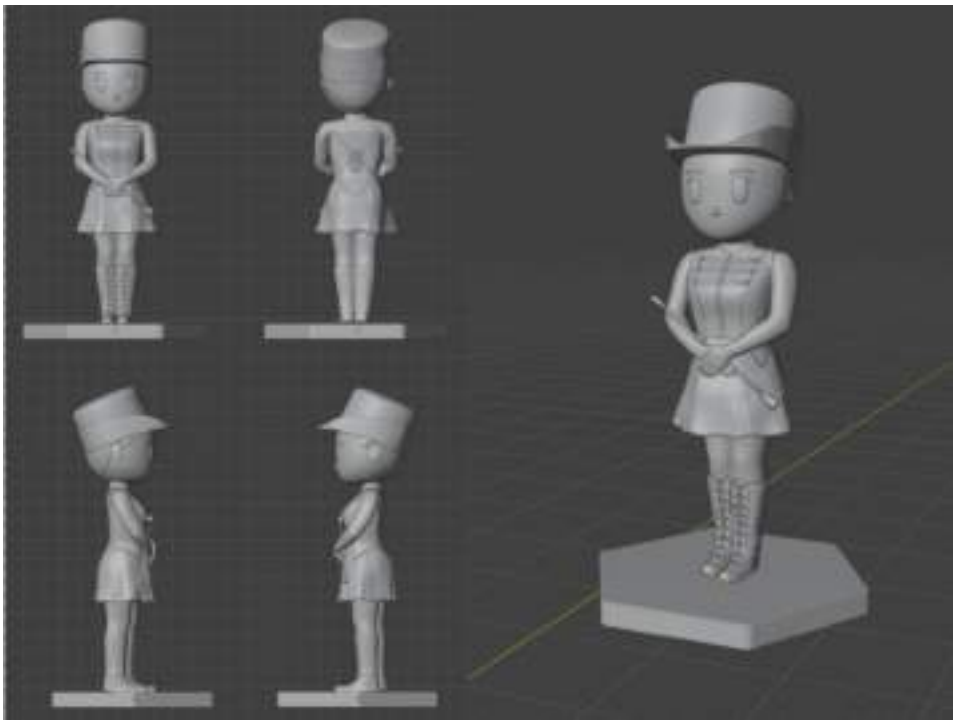
Vir: (Lastni arhiv)

Sedaj sem imela vse potrebne elemente za dokončanje 4. izdelka.



Slika 82: Končni 3D model figurice 4

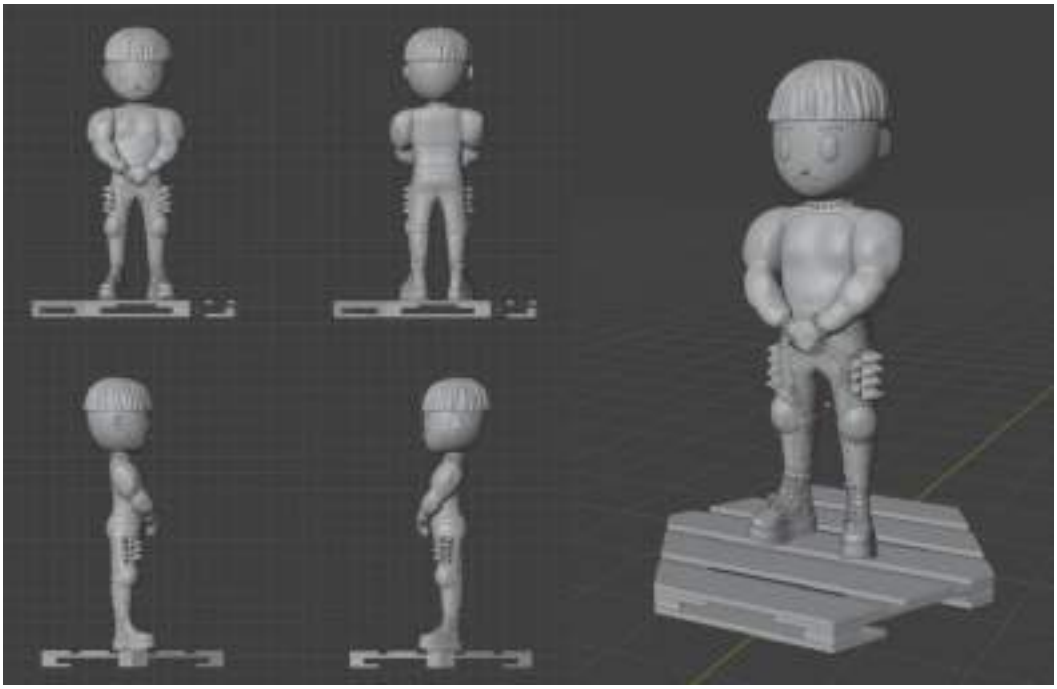
Vir: (Lastni arhiv)



Slika 83: Končni 3D model figurice 1

Vir: (Lastni arhiv)

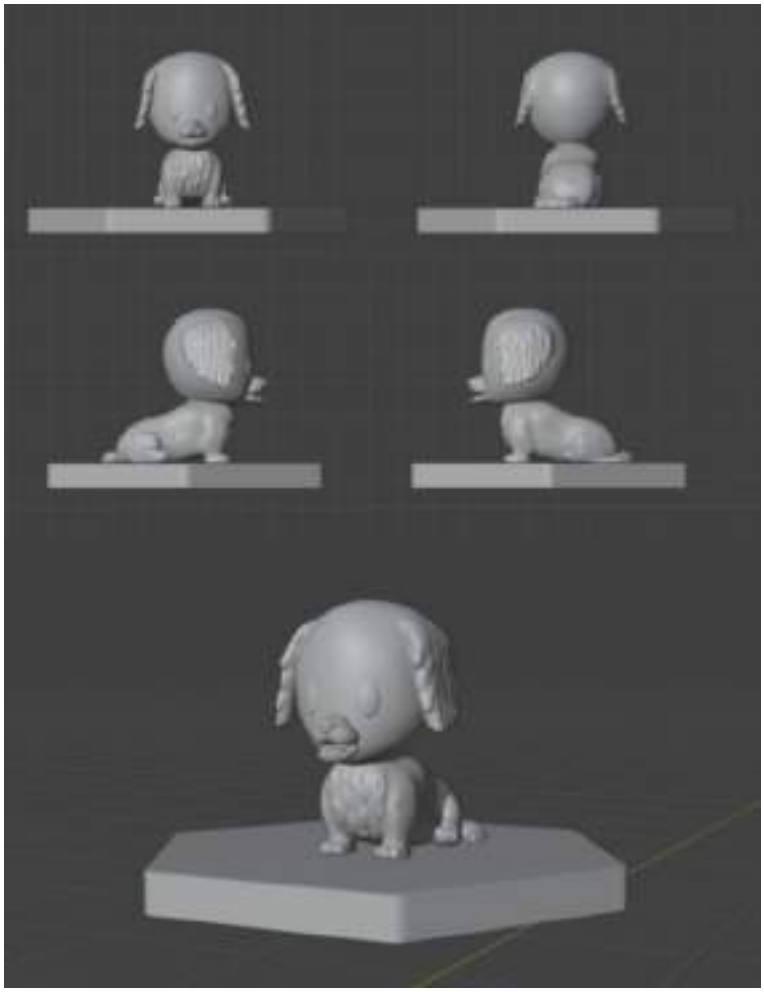
Pri figurici 2, je bil posebnost podstavek, saj je moral imeti videz palete. Na podoben način kot pri mizi in klopi sem tukaj iz kocke oblikovala posamezne elemente palete in jih nato sestavila v obliko podstavka.



Slika 84: Končni 3D model figurice 2

Vir: (Lastni arhiv)

3D modeliranju figurice 3 sem uporabila enaka orodja in funkcije, vendar tokrat za modeliranje živalske figure.



Slika 85: Končni 3D model figurice 3

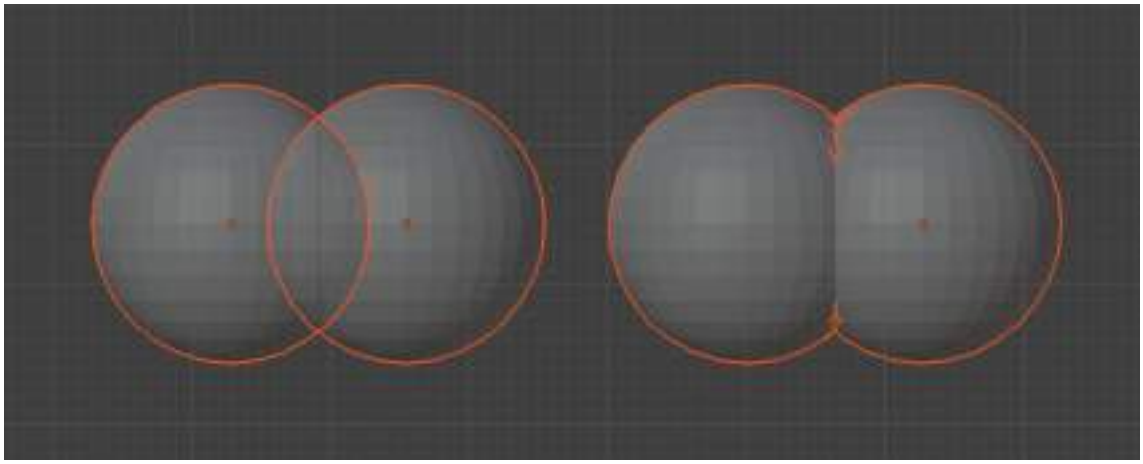
Vir: (Lastni arhiv)

S tem so bili vsi modeli figuric popolnoma izdelani in sledila je njihova priprava na 3D tisk.

3.2.2 Priprava 3D modelov na 3D tiskanje

Preden sem lahko začela s 3D tiskanjem končanih modelov, sem jih morala ustrezno pripraviti. Ta postopek je vključeval odpravo geometrijskih prekrivanj, zmanjšanje kompleksnosti mreže in razrez modela na posamezne dele. Postopek je bil pri vseh figuricah enak, za podrobno razlago in slikovno dokumentacijo pa sem izbrala 3D figurico št. 2, saj je bila prva, ki sem jo pripravila za 3D tiskanje.

Ker so figurice sestavljene iz več različnih elementov, ki se med seboj prekrivajo, je bil prvi korak odpravljanje prekrivanj med mrežami. Ta korak je zelo pomemben, saj lahko zaradi prekrivajoče se geometrije v procesu 3D tiskanja nastanejo napake, kot so negativni prostori ali nepravilna plastenja, kar lahko povzroči neuspešen 3D tisk. Za rešitev te težave sem uporabila modifikator za združevanje geometrije (angl. *boolean modifier*) in izbrala nastavitev »Združi« (angl. *union*). Na ta način sem združila dve mreži v enotno geometrijo in odstranila prekrivajoče se površine. Postopek sem ponovila za vse dele figurice, dokler celoten 3D model ni bil očiščen notranjih geometrijskih prekrivanj in združen v homogeno, zvezno mrežo brez podvojenih ploskev.

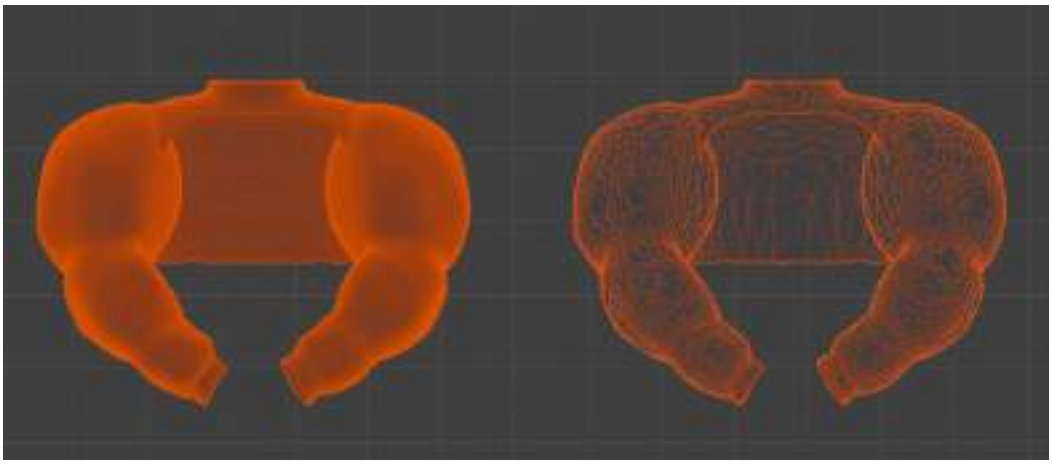


Slika 86: Primer uporabe modifikatorja za združevanje geometrije
Vir: (Lastni arhiv)

Na levi strani slike sta prikazani dve krogli, ki se prekrivata in ustvarjata negativen prostor. Na desni strani pa je prikazan rezultat uporabe modifikatorja, ki prekrivanje med kroglama odpravi.

Naslednji korak je bil zmanjšanje kompleksnosti mreže. Ker sem pri modeliranju uporabljala način za kiparjenje, so bile mreže zelo gosto razdeljene, kar je obremenjevalo delovanje računalnika. Za optimizacijo sem uporabila modifikator za optimizacijo geometrije (angl.

decimate modifier), ki omogoča zmanjšanje števila poligonskih ploskev, pri čemer osnovna oblika in detajli ostanejo čim bolj ohranjeni. Ta modifikator sem uporabila predvsem na tistih delih modela, kjer je bilo število mrežnih elementov izrazito visoko.



Slika 87: Model pred in po zmanjšanju mreže
Vir: (Lastni arhiv)

Ko sem odpravila prekrivanja in optimizirala mrežo, sem začela z razrezom modela na več delov, kar omogoča lažje 3D tiskanje in zmanjšuje verjetnost napak. Ker sprva nisem točno vedela, kako naj se tega postopka lotim, sem si na platformi YouTube ogledala več različnih videoposnetkov z razlagami različnih tehnik razreza. Odločila sem se za postopek, ki se mi je zdel enostaven in primeren za moj način dela.

V sceno sem najprej dodala ploskev (angl. *plane*), ki sem jo postavila na mesto, kjer sem želela razdeliti model. Ploskvi sem dodala modifikator za odebelitev (angl. *solidify modifier*), s katerim sem ji dodala debelino.



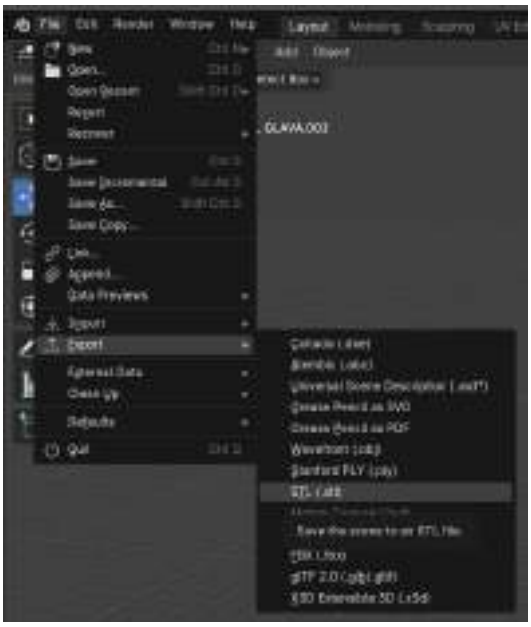
Slika 88: Postopek rezanja modela s ploskvijo
Vir: (Lastni arhiv)

Nato sem z označenim modelom in ploskvijo uporabila bližnjico Shift + Ctrl + -, ki je omogočila natančen razrez modela. Postopek sem ponavljala, dokler nisem modela razdelila na vse potrebne dele.



Slika 89: Razrez 3D modela figurice 2 na posamezne dele
Vir: (Lastni arhiv)

Ko so bili modeli ustrezno razdeljeni, sem posamezne dele izvozila v ustrezni obliki za nadaljnjo obdelavo v programu za rezanje. Za vsak del sem v meniju izbrala možnost izvoz (angl. *export*) in izbrala STL format.



Slika 90: Blenderjev spustni meni z možnostmi izvoza

Vir: (Lastni arhiv)

V oknu za izvoz sem označila možnost izvoza le izbranega dela modela (angl. *selection only*). Merilo (angl. *scale*) sem nastavila na 10, saj ta vrednost ustreza razmerju med virtualnimi dimenzijami v Blenderju in dejanskimi merami pri 3D tisku; na ta način sem zagotovila, da so figurice natisnjene v ustrezni velikosti. Poleg tega sem označila možnost »Scene Unit«, s čimer sem omogočila pravilen prenos merskih enot iz Blenderja v izvoženo STL datoteko. Nato sem izbrala ciljno mapo na računalniku in kliknila na »Export STL«. Enake nastavitve in postopek sem uporabila pri izvozu vseh posameznih delov vseh figuric.



Slika 91: Nastavitve za izvoz

Vir: (Lastni arhiv)

3.2.3 3D tiskanje

Ko so bili modeli ustrezno pripravljeni in razdeljeni na posamezne dele, sem nadaljevala z dejanskim 3D tiskanjem. Za pripravo datotek sem uporabila program Ultimaker Cura (verzija 5.10), ki mi je omogočil razrez STL modelov in generiranje ustrezne G-kode. Tiskala sem s tiskalnikom Creality Ender-3 V2 Neo, ki uporablja FDM tehnologijo in je s svojo natančnostjo in zanesljivostjo primeren za tovrstno izdelavo. Kot filament sem uporabila PLA material v beli barvi.

Izvožene STL datoteke sem uvozila v program za razrez (angl. *slicer*) in jih razporedila po tiskalni plošči v smiselno postavitev. Pri vsakem delu modela sem posebej preverila orientacijo, da je bila čim bolj optimalna za 3D tisk, s čimer sem zmanjšala potrebo po podporah in hkrati izboljšala stabilnost modela med tiskanjem. Nekatere večje modele sem morala tiskati v več delih, saj so bili preveliki, da bi se v celoti prilegali tiskalni površini.

V rezalniku sem uporabila naslednje nastavitve:

- višina sloja (angl. *layer height*): 0,2 mm
- gostota polnila (angl. *infill density*): 25 %
- vzorec polnila (angl. *infill pattern*): Cubic
- temperatura tiskalne šobe: 200 °C
- temperatura grelne plošče: 60 °C
- hitrost tiskanja: 80 mm/s
- podpore (angl. *supports*): omogočene
- struktura podpor (angl. *support structure*): Normalna
- položaj podpor (angl. *support placement*): Vsepovsod
- kot previsa (angl. *support overhang angle*): 45°
- odmik filamenta (angl. *retraction distance*): 7 mm
- hitrost umika (angl. *retraction speed*): 45 mm/s
- ventilator (angl. *fan speed*): 100 %

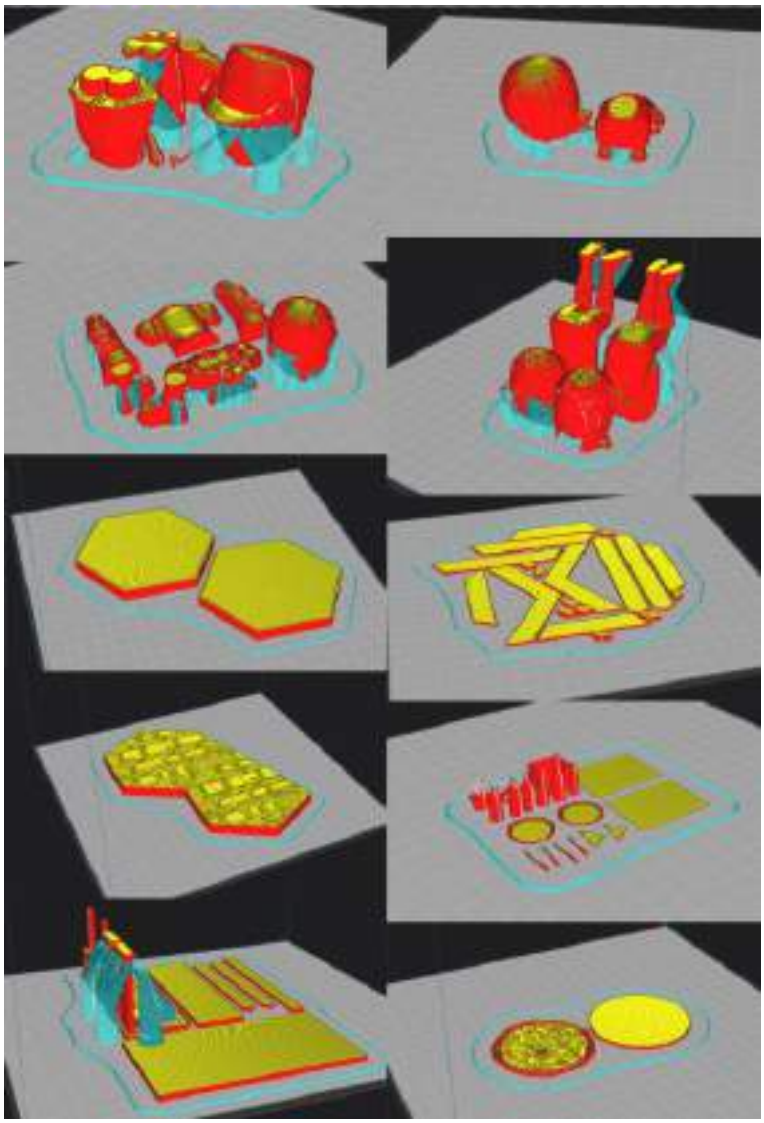


Slika 92: Nastavitve tiskalnika

Vir: (Lastni arhiv)

Nastavitve sem imela že vnaprej pripravljene iz prejšnjih projektov, zato sem vedela, da dodatne spremembe niso potrebne in da bo rezultat 3D tiskanja kakovosten.

Vedno sem preverila, ali je bilo na voljo dovolj PLA filamenta, ter očistila in pripravila tiskalno površino.



Slika 93: 3D modeli s podporami, pripravljeni na tiskanje

Vir: (Lastni arhiv)

3D tisk posameznih delov je trajal od tri do več kot deset ur, odvisno od velikosti in kompleksnosti modela. Tisk sem redno nadzorovala, predvsem prvo plast, saj je ta ključna za uspešen izpis. V nekaterih primerih sem naletela na manjše težave, kot so odstopanje podpor ali nepravilna plast, ki sem jih rešila s ponovnim 3D tiskanjem z boljšo orientacijo modela in dodatnimi podporami.

Z ustrezno pripravljenimi nastavitvami in natančnim spremljanjem sem uspešno natisnila vse dele figuric, ki so bili po 3D tiskanju pripravljeni za fazo postprodukcije.

3.3. Postprodukcija

3.3.1 Obdelava 3D figuric

Ko so bili 3D modeli uspešno natisnjeni, je sledila faza postprodukcije, v kateri sem figurice fizično obdelala in pripravila do končnega videza. Ta del je zahteval veliko natančnosti, potrpežljivosti in ročnega dela, saj sem želela, da so figurice estetsko dodelane in pripravljene za predstavitev.

Prvi korak po 3D tiskanju je bilo odstranjevanje podpornih struktur, ki so bile potrebne za uspešno 3D tiskanje previsnih delov modela. Te podpore sem previdno odstranila z rokami ali s pomočjo kleščic, pri čemer sem pazila, da ne poškodujem osnovne površine figurice. Nekatere podpore so se odstranile z lahkoto, pri drugih pa je bilo treba postopati zelo počasi in natančno, da ni prišlo do neželenih poškodb.



Slika 94: Natisnjeni modeli z že odstranjenimi podporami

Vir: (Lastni arhiv)

Ko so bile podpore odstranjene, sem začela s čiščenjem in glajenjem površin. Uporabila sem več vrst brusnega papirja različnih granulacij, začela sem z grobim in nadaljevala s finim, dokler površina ni bila gladka na dotik. Poleg tega sem za težje dostopna mesta uporabila pilice za nohte, ki so mi omogočile boljšo natančnost pri glajenju manjših delov, kot so prsti, robovi oblačil ali detajli na obrazu. S tem postopkom sem odstranila vidne sloje 3D tiska in manjše napake na površini.

V naslednjem koraku sem zlepila posamezne dele figuric, če so se ti tiskali ločeno (npr. roke, glave ali dodatki). Pri tem sem uporabila namensko lepilo za plastiko, ki omogoča močno in trajno povezavo. Po potrebi sem spoje še dodatno pobrusila, da se stik ni več videl.

Ko je bila figurica sestavljena in površina zglajena, sem nanjo nanesla osnovni premaz v obliki spreja Montana White Base Primer. Premaz je ustvaril enakomerno belo mat površino in izboljšal oprijem barve, hkrati pa pomagal dodatno zgladiti površinske nepravilnosti. Sprej sem nanašala v več tankih slojih in pri tem pazila, da ni prihajalo do nabiranja barve ali kapljanja.

Sledilo je ročno barvanje modelov z akrilnimi barvami znamke Maimeri. Za uporabo teh barv sem se odločila na podlagi preteklih izkušenj, saj so se izkazale kot primerne za nanašanje na plastične podlage ter zagotavljajo dober oprijem in obstojnost. pri čemer sem uporabljala različne velikosti čopičev od zelo tankih za detajle (npr. oči, ustnice, vzorci) do širših za večje površine. Vsako figurico sem barvala glede na referenčne fotografije, ki so mi jih poslale stranke, saj sem želela, da končni izdelek čim bolj ustreza njihovim pričakovanjem. V nekaterih primerih sem barvo nanesla večkrat, da sem dosegla enakomerno pokritost in intenzivnost. Enako sem storila tudi s podstavki.



Slika 95: Pobarvane figurice in podstavki

Vir: (Lastni arhiv)

3.3.2 Končna dodelava

Ko se je barva povsem posušila, sem figurice in podstavke zaščitila s prozornim zaščitnim premazom v obliki spreja. Uporabila sem Montana Acrylic Varnish z mat učinkom. Ta sloj bo poskrbel za daljšo obstojnost barve in zaščito pred praskami ali obrabo.

V zadnjem koraku sem vsako 3D figurico prilepila na svoj pripadajoči podstavek. Lepljenje sem izvedla z močnim lepilom, ki je zagotovilo stabilnost figurice na podstavku, hkrati pa sem pazila, da je končni videz ostal estetsko čist. Nekatere figurice so bile lepljene na enostavne podstavke, druge, kot npr. figurica 4, pa so zahtevale natančno postavljanje več elementov, zato sem si pri tem pomagala tudi z označevanjem pozicij, da je celotna kompozicija ostala usklajena.



Slika 96: Zaključena figurica 1

Vir: (Lastni arhiv)



Slika 97: Zaključena figurica 2

Vir: (Lastni arhiv)



Slika 98: Zaključena figurica 3

Vir: (Lastni arhiv)



Slika 99: Zaključen izdelek 4

Vir: (Lastni arhiv)

Postprodukcija je bila sicer zahtevna, a tudi zelo pomembna faza, saj je ravno s končno obdelavo figuric izdelek dobil svojo pravo vizualno in taktilno vrednost. Vsaka figurica je tako postala unikatni spominek, ki združuje digitalno modeliranje in ročno delo.

3.4. Trženje in distribucija

Če bi projekt 3D tiska personalizirane grafike prešel iz eksperimentalne faze v dejansko izvedbo, bi bilo treba opredeliti tudi osnovne postopke distribucije in trženja izdelka.

3.4.1 Trženje

Trženje takšnega personaliziranega 3D izdelka bi temeljilo predvsem na unikatni izdelavi, čustveni vrednosti in estetski atraktivnosti. Ključno trženje je vezano na vizualno predstavitev postopka izdelave in osebni pristop do naročnika. Primarni promocijski kanali bi bili družbena omrežja (Instagram, TikTok) in prodajne platforme (lastna spletna stran, Shopify), kjer uporabniki aktivno iščejo personalizirane, ročno izdelane izdelke.

Za učinkovito trženje bi bilo smiselno oblikovati osnovni poslovni model, ki bi vključeval sistem naročanja (zbiranje referenc, komunikacijo z naročnikom), okvirni cenik glede na zahtevnost izdelka in okviren čas izdelave. Glede na naravo izdelka bi bili ciljna skupina uporabnikov predvsem posamezniki, ki iščejo unikatna in personalizirana darila z večjo emocionalno vrednostjo.

Na slovenskem trgu ni zaznati večjih ponudnikov storitev 3D tiska personaliziranih figuric, ki bi združevale digitalno modeliranje, tiskanje in ročno barvanje. Večina ponudbe se osredotoča bodisi na tehnični 3D tisk brez dodatne obdelave bodisi na ročno izdelane figurice brez uporabe 3D tehnologije. Povpraševanje obstaja predvsem v ponudbah, kot so darila, spominski izdelki in promocijski materiali. To kaže na potencial za razvoj poslovnega modela, ki bi zapolnil tržišče z dostopno, estetsko in personalizirano 3D grafiko po naročilu.

Za namen analize na mednarodnem trgu sem primerjala tri ponudnike 3D personaliziranih figuric.

Tabela 1: Primerjava treh ponudnikov 3D personalizirane grafike

Ponudnik	Tehnologija	Cena (EUR)	Stopnja personalizacije	Opombe
Funko Pop Yourself	PVC (industrijsko)	30 €	Delna (izbor iz vnaprej danih delov)	Brez ročnega dela
Fiverr: STL datoteka	Digitalna datoteka	40 €	Polna (kupec tiska sam)	Brez fizične izdelave
Etsy: ročna glina	Ročno modelirano	80–180 €	Popolna	Velik časovni vložek, visoka cena

Vir: (https://www.etsy.com/), (https://funko.com/build-your-custom-pop), (https://www.fiverr.com/jupoartist/make-your-custom-3d-funko-pop-that-you-want-ready-to-be-printed?utm_source=chatgpt.com)

Na podlagi primerjave tujih ponudnikov je razvidno, da se personalizirane figurice močno razlikujejo po stopnji ročne obdelave, ceni in dostopnosti. Cene se gibljejo med 30 € in 180 €, pri čemer nižja cena pomeni manjšo stopnjo prilagajanja, višja pa zahteva več ročnega dela in časa. To potrjuje, da ročno barvane 3D figurice s polno personalizacijo sodijo v višji cenovni razred, hkrati pa ponujajo edinstveno vrednost, ki je s tehnično ponovljivimi rešitvami ni mogoče doseči.

Za izdelavo posamezne figurice sem v povprečju porabila med 20 in 30 ur, kar vključuje vse faze dela:

- 3D modeliranje: od 5 do 10 ur, odvisno od zahtevnosti modela
- 3D tiskanje: od 4 do 10 ur, odvisno od velikosti modela in dodatnih elementov
- ročna obdelava in barvanje: od 8 do 10 ur, odvisno od velikosti modela in detajlov posamezne figurice.

K ostalim stroškom (na figurico) pa spada še:

- porabljen PLA filament: povprečno 0,50 €
- barve, laki, brusilni papir, lepila: od 3 do 4 €

- elektrika (tiskanje, računalnik): od 1 do 2 €
- amortizacija opreme: od 2 do 3 €.

Skupaj bi stroški na posamezno figurico segali med 6 in 10 €.

Za izračun cene izdelka sem kot izhodišče vzela vrednotenje delovne ure v slovenskem kreativnem sektorju, ki po podatkih Gospodarske zbornice Slovenije znaša med 10 in 20 € na uro. Ker sem za izdelavo posamezne figurice porabila med 20 in 30 ur, bi bila skupna cena le za delo brez vštetih materialnih stroškov ocenjena med 200 in 300 €.

Če bi figurice izdelovala polni delovni čas (40 ur tedensko), bi glede na povprečni čas izdelave lahko izdelala približno tri figurice na teden. Ker se posamezni postopki (modeliranje, tisk, barvanje) delno prekrivajo, je v tem času možno hkratno delo na več figuricah. Tedenski zaslužek bi v tem primeru znašal med 600 in 900 €, kar pomeni med 2400 in 3600 € mesečno, kar ustreza in tudi presega povprečno slovensko plačo.

Kljub temu se mi zdi končna cena 200 € za eno figurico previsoka, čeprav je glede na vloženi čas in delo upravičena. Zato bi sama ne glede na ekonomski izračun ceno postavila na približno 100 € na figurico. Ob takšni ceni bi ob treh prodanih figuricah tedensko ustvarila približno 300 € tedenskega oz. 1200 € mesečnega prihodka. Seveda pa to predpostavlja stalen dotok naročil, ki ni zagotovljen.

Z nižjo ceno bi bili izdelki bistveno dostopnejši širšemu krogu kupcev, saj si večina ljudi ne bi mogla privoščiti personalizirane figurice za več kot 200 €. Tako bi nižja cena omogočila večje povpraševanje, širši doseg in večjo možnost, da bi se projekt kljub nižji enotni ceni dolgoročno obnesel.

Ker bi se s to dejavnostjo ukvarjala občasno, kot hobi ob redni zaposlitvi, višina dohodka ni primarni cilj. Ključnega pomena bi bili predvsem kreativna izpolnitev, zadovoljstvo naročnikov in postopna gradnja prepoznavnosti.

3.4.2 Distribucija

Distribucijska strategija bi bila prilagojena specifiki izdelka in načinu naročanja. Stranke bi lahko izbirale med osebnim prevzemom (v primeru lokalnih naročil) ali pošiljanjem po pošti. Zaradi občutljivosti izdelkov, ki so ročno barvani in vsebujejo drobne detajle, bi bilo ključno zagotoviti ustrezno zaščito med transportom. To bi vključevalo uporabo mehkih zaščitnih

materialov (npr. penaste obloge, mehurčkasta folija) in čvrste, odporne embalaže, ki preprečuje mehanske poškodbe med pošiljanjem.

Pomemben element distribucije bi bila tudi vizualna izkušnja ob odprtju paketa. Embalaža bi bila personalizirana, skladna z identiteto izdelka in celostno grafično podobo. V paketu bi bila lahko priložena fotografija končnega izdelka, navodila za ravnanje z izdelkom in ročno napisano zahvalno sporočilo, kar bi povečalo občutek vrednosti in vzpostavilo oseben stik s kupcem. Tovrstni detajli ne prispevajo le k varnosti izdelka, temveč pomembno vplivajo na doživljajsko komponento nakupa, ki je pri unikatnih izdelkih še posebej pomembna. S tem bi distribucija postala tudi del blagovne znamke ter orodje za dolgoročno gradnjo zaupanja in lojalnosti strank.

4 SKLEP

V diplomskem delu sem skozi praktični projekt izdelave personalizirane 3D grafike raziskala vse ključne faze ustvarjanja od predprodukcije do postprodukcije ter trženja in distribucije. Namen dela je bil preučiti, kako lahko sodobna tehnologija, umetniški pristop in ročna obdelava tvorijo celovito ustvarjalno rešitev, ki ima tako estetsko kot čustveno vrednost. Na podlagi praktičnih primerov štirih naročil sem lahko proces preizkusila v različnih oblikah in pri tem testirala zastavljene hipoteze.

H1: Predhodna raziskava domačega in tujega tržišča za storitve 3D tiska personalizirane grafike omogoča oblikovanje primernega poslovnega modela.

Analiza obstoječih ponudb na tujem in domačem trgu je pokazala, da personalizirane figurice predstavljajo tržno nišo, ki ima potencial, zlasti znotraj segmenta ročno dodelanih ali popolnoma prilagojenih izdelkov. Primerjava treh različnih modelov ponudbe (Funko Pop Yourself, Fiverr, Etsy) je omogočila razumevanje razpona storitev, cenovnih okvirjev in različnih stopenj personalizacije. Na podlagi tega sem razvila svoj pristop, ki združuje digitalno modeliranje, 3D tisk in ročno dodelavo z vizualno identiteto, ki temelji na poenotenem stilu in proporcih.

Poleg tujih primerov sem preučila tudi slovensko tržišče, kjer ni specializiranih ponudnikov za ročno barvane 3D figurice po naročilu. Večina ponudb se osredotoča zgolj na tisk 3D modelov brez oblikovalske obravnave, ali pa gre za ročne izdelke iz polimerne gline.

Čeprav projekt ni bil komercialno realiziran, je raziskava omogočila oblikovanje utemeljenega poslovnega modela, ki upošteva stroške dela, materiala, programske opreme, distribucije in končnega oblikovanja cene. Na podlagi analize lahko potrdim, da je predhodno razumevanje ciljnega trga in konkurenčnih modelov ključno za razvoj smiselne in prilagojene ponudbe storitev v kreativnem sektorju personalizirane 3D grafike.

H2: Ustrezna izbira programskih orodij za 3D modeliranje pospeši proizvodni proces in omogoča doseganje večje estetske privlačnosti personalizirane 3D grafike.

Izvedeni projekt je pokazal, da izbira ustreznega programskega orodja pomembno vpliva na potek in kakovost procesa 3D modeliranja. Delo v odprtokodnem programu Blender, ki ga že dobro poznam, je omogočilo tekoče izvajanje vseh faz oblikovanja od osnovnega modeliranja do dodajanja kompleksnih detajlov. Zaradi vnaprejšnjega poznavanja uporabniškega

vmesnika in razpoložljivih funkcij je bil delovni proces bistveno hitrejši, kar je pripomoglo k večji učinkovitosti in zmanjšanju tehničnih napak.

Funkcije, kot so modifikatorji, so dodatno prispevale k pospešenemu razvoju modelov, saj so omogočale parametrično prilagajanje oblike brez destruktivnega poseganja v osnovno geometrijo. Poleg tega sem pri vsakem modelu uporabila tudi orodja za digitalno kiparjenje, ki omogočajo dodajanje finih detajlov in organskih oblik, kar je pomembno prispevalo k vizualni kompleksnosti in privlačnosti končnih figuric.

Vizualna doslednost vseh štirih figuric je bila dosežena z uporabo vnaprej pripravljenih referenc in standardiziranih postopkov, kar potrjuje, da ustrezna programska oprema ne vpliva zgolj na tehnično izvedbo, temveč tudi na estetsko vrednost končnega izdelka. Sklepno lahko potrdim, da pravilna izbira 3D modelirnega orodja ob ustreznem znanju uporabnika neposredno vpliva na hitrost izvedbe, tehnično natančnost in vizualno kakovost personalizirane 3D grafike.

H3: Prilagojene nastavitve in izbor materialov optimizirajo izdelavo 3D tiskane grafike.

Analiza izvedenega procesa potrjuje, da premišljena uporaba tehničnih nastavitev in ustrezna izbira materiala pomembno prispevata k optimizaciji 3D tiska. Z racionalizacijo geometrije modelov, zlasti z zmanjšanjem števila poligonskih ploskev na manj izpostavljenih delih in znižanjem ločljivosti tam, kjer visoka natančnost ni ključna, je bilo mogoče bistveno skrajšati čas priprave in tiska, ne da bi pri tem trpeli funkcionalnost ali vizualna kakovost izdelka.

V fazi priprave za tisk so se kot ključni dejavniki izkazale preverjene nastavitve v programu za razrez. Med najučinkovitejšimi so bile optimalna višina sloja, prilagojena hitrost tiska ter pravilna nastavitev temperature šobe in podlage. Posebno pozornost sem namenila orientaciji modelov na tiskalni površini, saj je ta vplivala na zmanjšanje potreb po podpornih strukturah in preprečila deformacije, ki bi lahko nastale zaradi gravitacijskih učinkov ali neustreznega hlajenja.

Material PLA se je v kombinaciji s FDM tehnologijo v okviru projekta izkazal kot zanesljiva in stroškovno učinkovita izbira. Zagotovil je ustrezno dimenzijsko stabilnost, gladko površino in predvidljivo tiskanje brez večjih tehničnih težav. Sklepno lahko potrdim, da pravilna tehnična priprava, podprta s poznavanjem materialnih lastnosti in procesnih parametrov, neposredno prispeva k uspešni, stabilni in vizualno kakovostni izvedbi 3D tiskane grafike.

H4: Uporaba umetne inteligence v oblikovanju 3D grafike poveča kreativne možnosti in učinkovitost procesa izdelave 3D tiskane personalizirane grafike.

Uporaba sodobnih orodij umetne inteligence, kot so ChatGPT, Leonardo.Ai in Microsoft Copilot, se je izkazala kot pomembna podpora v fazi konceptualizacije in vizualizacije 3D figuric. Z njihovo pomočjo sem lahko hitro generirala več alternativnih rešitev, pridobila dodatne zorne kote in preizkusila raznolike vizualne stile, kar je bistveno razširilo ustvarjalne možnosti in olajšalo iskanje primerne smeri pri oblikovanju. Orodja umetne inteligence so prispevala tudi k učinkovitejšemu poteku dela, saj so nadomestila zamudne faze ročnega skiciranja in pripomogla k premagovanju t. i. kreativnih blokad. Čas priprave vizualnih referenc se je občutno skrajšal, kar je omogočilo hitrejši prehod v fazo 3D modeliranja in posledično bolj usklajeno vizualno zasnovo končnega izdelka.

Na podlagi navedenega se hipoteza potrjuje kot utemeljena: umetna inteligenca lahko v kreativnem procesu 3D oblikovanja učinkovito deluje kot orodje za podporo inovativnosti, hitrejšo produkcijo in izboljšano estetsko usklajenost rezultatov.

Izvedba diplomskega projekta je predstavljala celovit preizkus sposobnosti načrtovanja in realizacije avtorskega medijskega izdelka s praktično uporabno vrednostjo. V procesu sem prvič samostojno razvila rešitev, ki ne le ustreza estetskim in tehničnim zahtevam, temveč je tudi funkcionalno naravnana na potrebe naročnika. Projekt mi je omogočil sistematičen prehod skozi vse faze ustvarjalnega procesa od konceptualizacije, oblikovanja in 3D modeliranja do tehnične izvedbe in končne prezentacije.

Poseben poudarek sem namenila reševanju konkretnih tehničnih izzivov pri 3D tiskanju in postprocesiranju, s čimer sem nadgradila svoje znanje o optimizaciji modelov, izbiri ustreznih nastavitev in ravnanju z materiali. Hkrati se je izkazalo, da so za uspešno izvedbo projekta ključnega pomena strukturirano vodenje dela, učinkovita komunikacija z naročniki ter premišljeno upravljanje časa in virov.

Projekt mi je omogočil vpogled v realne zahteve naročnikov in delovni potek, ki je primerljiv s profesionalno prakso v kreativni industriji. Pridobljena znanja in izkušnje predstavljajo pomemben temelj za nadaljnje samostojno delo in konkurenčno vključevanje na trg dela v področjih 3D oblikovanja, vizualnega pripovedništva in produkcije personaliziranih digitalno-fizičnih izdelkov.

5 VIRI

3Dnatives. (b.d.). *A Closer Look at 3D Printing Materials: Plastics*. Pridobljeno iz 3Dnatives: https://www.3dnatives.com/en/plastics-used-3d-printing110420174/

3DSourced. (20. februar 2024). *The complete history of 3D printing: From 1980 to 2023*. Pridobljeno iz 3DSourced: https://www.3dsourced.com/guides/history-of-3d-printing/

3WAY d.o.o. (b.d.). *Tehnologije 3D tiskanja*. Pridobljeno iz 3WAY d.o.o.: https://www.3way.si/tehnologije-3d-tiskanja/

Almanfaluthi, B., & Kuntjara S.W. , H. (2021). *Character Design for 3D Artists: Developing Heroes and Villains for Movies and Games.* London: Routledge.

Autodesk. (b.d.). *3ds Max overview*. Pridobljeno iz Autodesk: https://www.autodesk.com/products/3ds-max/overview

Autodesk. (b.d.). *Fusion 360 Overview*. Pridobljeno iz Autodesk: https://www.autodesk.com/products/fusion-360/overview

Autodesk. (b.d.). *Maya overview*. Pridobljeno iz Autodesk: https://www.autodesk.com/products/maya/overview

BCN3D. (b.d.). *The Beginners Guide to 3D Printing – 6 Steps*. Pridobljeno iz BCN3D: https://www.bcn3d.com/the-beginners-guide-to-3d-printing-6-steps/

Blender Documentation Team. (2024). *Blender 4.4 Reference Manual*. Pridobljeno iz Blender Documentation: https://docs.blender.org/manual/en/latest/index.html

Blender Documentation Team. (n.d.). *Blender 4.4 Reference Manual*. Pridobljeno iz Blender Documentation: https://docs.blender.org/manual/en/latest/index.html

Blender Foundation. (b.d.). *About Blender*. Pridobljeno iz Blender.org: https://www.blender.org/about/

Carli, L. (2016). *Osnovni principi 3D modeliranja.* Ljubljana: Univerza Ljubljani.

Creative Bloq Staff. (28. Maj 2025). *The best 3D modelling software*. Pridobljeno iz Creative Bloq: https://www.creativebloq.com/features/best-3d-modelling-software

Črešnik, I. (2014). *Priprava modelov za 3D-tisk.* Maribor: Univerza v Mariboru. Pridobljeno iz https://dk.um.si/IzpisGradiva.php?id=44578

E3D+VET Consortium. (2021). *Osnove 3D modeliranja za začetnike – učni priročnik.* E3D+VET Consortium. Pridobljeno iz https://www.e3dplusvet.eu/wp-content/docs/O1A1-SL-RES.pdf

Epic Games. (b.d.). *Unreal Engine*. Pridobljeno iz Unreal Engine: https://www.unrealengine.com/en-US

Formlabs. (b.d.). *3D Printers*. Pridobljeno iz Formlabs: https://formlabs.com/eu/3d-printers/

Formlabs. (b.d.). *Guide to 3D Printing Materials: Types, Applications, and Properties*. Pridobljeno iz Formlabs: https://formlabs.com/blog/3d-printing-materials/

Formlabs. (b.d.). *Guide to Color 3D Printers*. Pridobljeno iz Formlabs: https://formlabs.com/eu/blog/guide-color-3d-printers/

Hoskins, S. (2018). *3D Printing for Artists, Designers and Makers.* London: Bloomsbury Visual Arts.

Hubs. (b.d.). *3D Printing*. Pridobljeno iz Hubs: https://www.hubs.com/3d-printing/

Hubs. (b.d.). *3D Printing in Plastic*. Pridobljeno iz Hubs: https://www.hubs.com/3d-printing/plastic/

Hubs. (b.d.). *What is Binder Jetting 3D Printing*. Pridobljeno iz Hubs: https://www.hubs.com/knowledge-base/what-is-binder-jetting-3d-printing/

Ikarus 3D. (2023). *Comprehensive guide to 3D digital sculpting.* https://ikarus3d.com/media/3d-blog/comprehensive-guide-to-3d-digital-sculpting/?utm_source=chatgpt.com: Ikarus 3D.

JLC3D Printing. (b.d.). *What is SLM 3D Printing*. Pridobljeno iz JLC3D Printing: https://jlc3dp.com/help/article/What-is-SLM-3D-Printing

JSAdditive. (28. marec 2025). *The market outlook and trends of 3D printing services*. Pridobljeno iz JSAdditive: https://www.jsadditive.com/news/the-market-outlook-and-trends-of-3d-printing-services/

Kim, H. (2018). Market analysis and the future of sustainable design using 3D printing technology. *Archives of Design Research*, 23–35.

Kudus, B. A. (2016). Assessing the value of 3D printed personalised products. *MCP-CE 2016.*

Materialise. (b.d.). *Industrial 3D Printing Materials*. Pridobljeno iz Materialise: https://www.materialise.com/en/industrial/3d-printing-materials

Maxon. (b.d.). *Cinema4D*. Pridobljeno iz Maxon: https://www.maxon.net/en/cinema-4d

Maxon. (b.d.). *ZBrush*. Pridobljeno iz Maxon: https://www.maxon.net/en/zbrush

Natural Machines. (b.d.). *Foodini – 3D food printing*. Pridobljeno iz Natural Machines: https://www.naturalmachines.com/foodini

neolich_exe. (marec 2023). *All The 3D Software Packages Explained in 6 Minutes*. Pridobljeno iz YouTube: https://www.youtube.com/watch?v=Om4vQgsyv5c

Niccum, J. (27. oktober 2023). *Business advantages of customers using 'personal fabrication' in 3D printing revealed in new study*. Pridobljeno iz University of Kansas Business School: https://business.ku.edu/news/article/2023/10/27/business-advantages-customers-using-personal-fabrication-3d-printing-revealed-new-study

Norman, J. (2014). *François Willème Invents Photosculpture (1859*. Pridobljeno iz History of Information: https://www.historyofinformation.com/detail.php?id=3876

Print 24. (b.d.). *3D tiskanje – vse o procesu 3D tiskanja*. Pridobljeno iz Print24 Journal: https://print24.com/si/journal/osnovni-tisk/3d-tiskanje

Raise3D. (25. Junij 2024). *3D Printing History: A Complete Timeline of Additive Manufacturing*. Pridobljeno iz Raise3D: https://www.raise3d.com/blog/3d-printing-history/

Raise3D. (n.d.). *How to 3D Print: A Step-by-Step Guide of 3D Printing*. Pridobljeno iz Raise3D: https://www.raise3d.com/academy/how-to-3d-print-a-step-by-step-guide-of-3d-printing/

Schwaar, C. (28. avgust 2024). *Complete Overview of the Types of 3D Printers*. Pridobljeno iz All3DP: https://all3dp.com/1/types-of-3d-printers-3d-printing-technology/

Sculpteo. (2019). *The History of 3D Printing: From the 80s to Today*. Pridobljeno iz Sculpteo: https://www.sculpteo.com/en/3d-learning-hub/basics-of-3d-printing/the-history-of-3d-printing/

SideFX. (b.d.). *Houdini*. Pridobljeno iz SideFX: https://www.sidefx.com/products/houdini/

Simplify3D. (b.d.). *Materials Guide*. Pridobljeno iz Simplify3D: https://www.simplify3d.com/resources/materials-guide/

TechRadar. (b.d.). *Best 3D modelling software*. Pridobljeno iz TechRadar: https://www.techradar.com/best/best-3d-modelling-software

Tinkercad. (b.d.). *Tinkercad*. Pridobljeno iz Tinkercad: https://www.tinkercad.com/

Trimble Inc. (b.d.). *SketchUp*. Pridobljeno iz SketchUp: https://www.sketchup.com/en

Ultimaker. (2022). *The complete history of 3D printing*. Pridobljeno iz Ultimaker: https://ultimaker.com/learn/the-complete-history-of-3d-printing/

Unity Technologies. (b. d.). *Unity*. Pridobljeno iz Unity: https://unity.com/

Vedavid. (13. november 2022). *Postopki 3D tiskanja*. Pridobljeno iz Vedavid: https://vedavid.splet.arnes.si/2022/11/13/postopki-3d-tiskanja/

6 PRILOGE

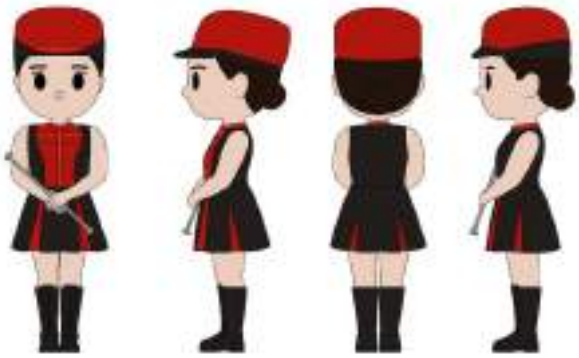
Tabela 2: Primerjava referenčnih figuric različnih znamk

Značilnost	Funko Pop!	Youtooz	Nendoroid	Pop Mart
Glava in obraz	Nesorazmerno velika kubična glava in minimalno izražena mimika obraza	Večja glava z naravnejšimi proporci	Velika okrogla glava, poudarjen anime slog	Zaobljena, mehka glava, poudarjena prikupnost
Oči in usta	Črne, okrogle, poenostavljene oči brez zenic, brez ust	Stilizirani loki za oči, pogosto zaprte, subtilen izraz	Izrazite anime oči in obrazna mimika z izmenljivimi deli	Majhne, okrogle oči, minimalističen izraz
Telo in poza	Zelo poenostavljeno in statično telo, poudarek na silhueti	Statično telo, skladno s proporci glave	Manjše telo v dinamični pozi	Statično, kompaktno telo, vizualno usklajeno z glavo
Dodatki in detajli	Minimalistično oblikovani, brez premikajočih se delov	Zmerno podrobni elementi (npr. kapa, orožje)	Visoko detajlirani dodatki z možnostjo menjave (obraz, roke)	Estetsko dodelani dekorativni dodatki, brez funkcionalnosti
Možnost prilagajanja	Fiksna figura brez možnosti menjave delov	Brez možnosti menjave delov	Obsežna modularnost: menjava obrazov, poz, dodatkov	Fiksna oblika brez zamenljivih delov
Slogovna usmeritev	Izrazit, karikiran slog	Karikiran slog risanih filmov, ki izhaja iz popularne kulture, z elementi humorja	Anime/chibi/kawaii estetika, priljubljena pri azijskem občinstvu	Otroški, prikupen slog s poudarkom na nežnosti

Primer figurice				
Viri	Slika 100: Funko Pop figurica Supermana Vir: (https://www.ebay.com/itm/155182680876)	Slika 101: Youtooz figurica Supermana Vir: (https://youtooz.com/products/superman-vol-2-204)	Slika 102: Nendroid figurica Supermana Vir: (https://www.goodsmile.com/en/product/3498/Nendoroid+Superman+Justice+Edition)	Slika 103: Pop Mart figurica Supermana Vir: (https://www.popmart.com/nl/products/185/pop-mart-x-dc-justice-league-series-346)

Vir: (Lastna analiza)

Tabela 3: Primerjava različnih referenčnih gradiv, ustvarjenih s pomočjo UI v različnih orodjih

UI ustvarjena slika	AI orodje	Primerjava
 Slika 104: Slika, ustvarjena z uporabo UI 1 Vir: (https://chatgpt.com/)	ChatGPT	Najbolj podobna originalni skici. Stil in proporci so ustrezni, ohranjeni so tudi ključni detajli. Nekateri elementi obleke so poenostavljeni, lasje bi morali biti svetli. Te skice so najbolj primerne za nadaljnje delo
	Leonardo. Ai	Največje slogovno odstopanje. Obraz in telo sta poenostavljena, detajli obleke so nejasni ali napačni. Barve in proporci ne ustrezajo.

Slika 105: Slika, ustvarjena z uporabo UI 2 Vir: (https://app.leonardo.ai/)		
	Microsoft Copilot	Dobra izvedba, ustrezna postavitev figurice, vendar napačne barve in manj detajlov. Uporabna kot dodatna referenca, a ne za končno obliko.
Slika 106: Slika, ustvarjena z uporabo UI 3 Vir: (https://copilot.microsoft.com/chats/oiPoVB9bTC2tKBHkjRxtz)		

Vir: (Lastna analiza)