



Slepi in slabovidni so prikrajšani za občutenje umetnosti in lepote, ki jo prinaša. Z izdelavo 3D-tiskanih reprodukcij umetniškega dela na Naravoslovnotehniški fakulteti smo jih želeli približati slepim in slabovidnim osebam. Tiskane reprodukcije se namreč lahko uporabijo za čutno zaznavanje, medtem ko originalna umetniška dela večinoma ne. Namen in cilji izdelave so bili preučevanje dojemanja umetnosti slepih in slabovidnih, zajem umetniškega dela s primerjavo dveh različnih 3D-skenerjev, obdelava reliefnih reprodukcij s 3D-modeliranjem in 3D-tisk. Na koncu smo s 3D-tiskanimi reliefnimi reprodukcijami preučili, kako slepi in slabovidni dojemajo umetniška dela.



Slika 1: Original umetniškega dela

3D-tiskalniku. Naš končni korak je bil testiranje s pomočjo nestrukturiranega vprašalnika v izbrani testni skupini, torej slepih in slabovidnih. Slika 1 prikazuje original umetniškega dela, ki nam ga je podarila študentka Akademije za likovno umetnost in oblikovanje.

Materiali

Pri 3D-tisku smo uporabili polnilo iz PLA-plastike, za naknadno obdelavo pa smo se odločili, da bomo najprej uporabili temelj za plastiko DUPLI-COLOR za povečanje adhezije med materialom in naknadno naneseno črno barvo, ki je bila TESSAROL akril emajl. Uporabljena strojna oprema sta bila dva različna 3D-skenerja (David SLS-2 in Artec Space Spider), prenosni računalnik ASUS ROG Strix G G731GU in 3D-tiskalnik ZMorph 2.0 SX.

3D-skeniranje in retopologija

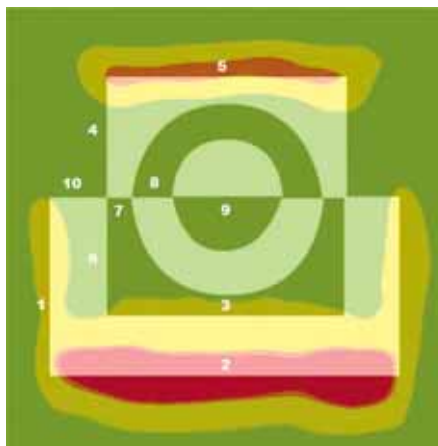
Zajem umetniškega dela smo naredili na dva načina in ju primerjali. To smo naredili z ročnim 3D-skenerjem Artec Space Spider v podjetju Intri d. o. o., ki



potrebnih veliko več korakov, poleg tega so se težavne za zajem izkazale črne površine. Pri našem umetniškem delu je bilo dobro to, da je bila nanesena barva sijoča in tako je bil zajem z njim sploh možen. Artec Space Spider ima dosti hitrejšo in bolj stabilno programsko opremo za zajem informacij kot DAVID SLS-2, pri katerem se program lahko večkrat tudi sesuje. Pri generiranju končnega 3D-modela je bilo pri skeniranju s skenerjem DAVID SLS-2 potrebnega več čiščenja oblaka točk kot osnove modela v primerjavi z Artec Space Spiderjem.

Po zajetu in uvozu .stl datotek v programsko opremo Blender je bilo razvidno, da je tehnologija 3D-skenerja Artec Space Spider dosti bolj natančna kot DAVID SLS-2. Opazili smo nekaj drugih bistvenih razlik, kot je odstopanje v dimenzijah med originalom in zajemom, prikazanih v Blenderju. Po podrobnejšem pregledu smo ugotovili, da je objekt, zajet s skenerjem Artec Space Spider, v osnovi za nekatere detajle večji 0,5–0,9 cm. Zaradi tega je bila treba datoteko dodatno obdelati, kar pa je zanimivo, saj je objekt v osnovi zajet s 3D-skenerjem, ki velja za natančnejšo tehnologijo. Za boljšo predstavbo je priložena slika 2, iz katere je razvidno, kje vse je pri modelih prišlo do največjih odstopanj med originalom in zajemom. Denimo detajl številka 2 je pri vseh zajemih povzročal največjo napako, omembe vredni pa so še detajli 1, 3, 5.

Ne glede na dimenzijska odstopanja v primerih, zajetih z Artec Space Spiderjem, lahko še vedno trdimo, da gre za bolj kakovostno tehnologijo. Naknadna obdelava oblaka točk modela je bila



Slika 2: Območja največjih dimenzijskih odstopanj

Uvod

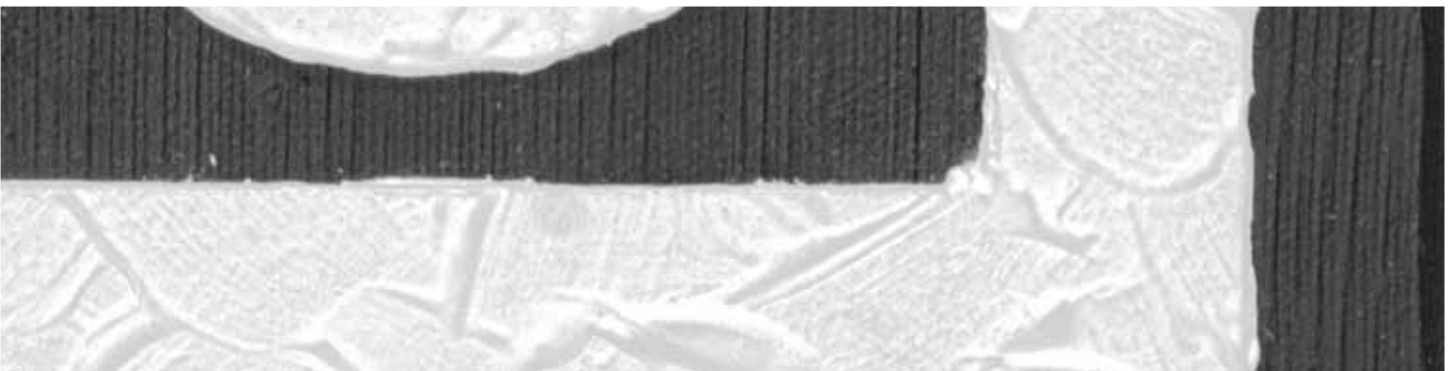
Postopke dela smo razdelili po vrstnem redu, pri čemer smo najprej pridobili umetniško delo izbranega avtorja, torej original, iz katerega smo izhajali. Naslednji korak je bil zajem umetniškega dela s pomočjo dveh različnih 3D-skenerjev in primerjava rezultatov med različnimi tehnologijama. Nadaljevali smo z optimizacijo 3D-zajete topologije, zatem še 3D-tisk s tehnologijo FDM na primernem

velja za bolj natančno tehnologijo, in namiznim 3D-skenerjem DAVID SLS-2 na Naravoslovnotehniški fakulteti, ki je v primerjavi z Artec Space Spiderjem manj natančen. Že ob začetku našega dela smo ugotovili, da se obe tehnologiji zajema razlikujeta po hitrosti, saj je zajem s 3D-skenerjem Artec Space Spider zahteval zgolj okvirnih 15 minut, s 3D-skenerjem DAVID SLS-2 pa kar približno dve uri. Pri skeniranju z DAVID SLS-2 je namreč

Reliefna reprodukcija

umetniškega dela

Mojca ŽIŽEK, dipl. graf. kom.; prof. dr. Deja MUCK • Univerza v Ljubljani, NTF, Katedra za informacijsko in grafično tehnologijo • Snežniška 5, 1000 Ljubljana



namreč manj zahtevna oziroma težavna. Pri skeniranju s 3D-skenerjem DAVID SLS-2 smo naleteli še na problematiko zapolnjevanja praznin; možnost samodejnega zapolnjevanja praznin med določenimi koti in ravninami namreč zapolni te z detajli, ki jih na originalu v bistvu sploh ni (slika 3).

Izpostaviti pa je treba še, da je v primerjavi s 3D-skenerjem Artec Space Spider na modelu, zajetem s 3D-skenerjem DAVID SLS-2, prišlo tudi do generiranja večje ostrine ozadja oziroma podlage originalnega platna umetniškega dela. To v našem primeru ni zaželeno, saj je vtis modela bolj oster, nenaraven in neorganski v

primerjavi z vtisom modela, zajetega z Artec Space Spiderjem (slika 4, 5).

Ključne razlike so tudi v detajlih, zajetih s skenerjema. Kot je razvidno iz slike 6 in 7, je zajem z Artec Space Spiderjem veliko bolj natančen in vsebuje informacije o umetniškem delu, ki jih DAVID SLS-2 sploh ni zaznal. To je najbolj opazno v linijah na detajlih – na originalu dajejo vtis poteze čopiča.

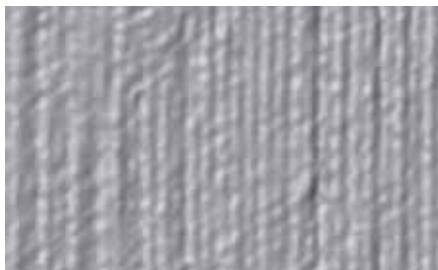
3D-tisk

Preden komentiramo rezultate 3D-tiska, bi radi izpostavili, da je bil izveden s 3D-tiskalnikom ZMorph SX 2.0 navpično na os Z. Za to rešitev

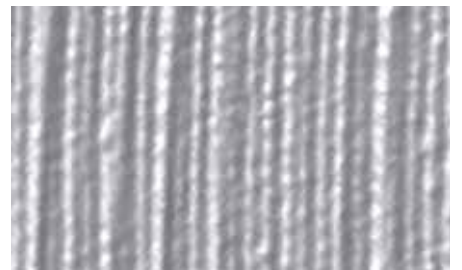
smo se odločili zaradi tehnologije, ki ne velja za najbolj kakovostno, a je cenovno najbolj dostopna. Če bi model tiskali plosko v ravnini xy, bi prišlo do nekakovostnih rezultatov, detajli ne bi bili tako natančno upodobljeni. Težava, na katero smo naleteli, so bile tudi dimenzije, ki jih izbrani 3D-tiskalnik podpira. Originalno umetniško delo je namreč dimenzije 20 centimetrov v dolžino in višino, zmoglost 3D-tiskalnika ZMorph SX 2.0 pa je izmera 25,0 x 23,5 x 16,5 centimetra. Zato smo bili primorani ozadje, torej zajem umetniškega dela platna, odrezati na dimenzijo 16,5 cm. Priložene slike 8, 9 in 10 prikazujejo natisnjene modele: na levi je model, zajet s pomočjo



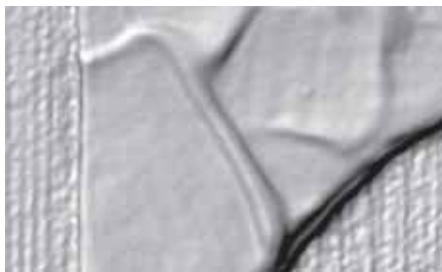
Slika 3: Približani zajem zaslona, ki prikazuje avtomatsko zapolnjeno praznino



Slika 4: Prikaz ozadja na modelu, zajetem z DAVID SLS-2



Slika 5: Prikaz ozadja na modelu, zajetem z Artec Space Spiderjem



Slika 6: Detajl, zajet s
3D-skenerjem DAVID SLS-2



Slika 7: Detajl, zajet s 3D-skenerjem
Artec Space Spider

3D-skenerja DAVID SLS-2, v sredini model, zajet s 3D-skenerjem Artec Space Spider in natisnjen pred naknadno obdelavo, desno pa model, zajet z istim skenerjem in natisnjen po naknadni obdelavi.

V nadaljevanju so predstavljene dimenzijske napake, ki so možne pri uporabi tehnologije FDM. V teoriji je za tehnologijo FDM značilno, da lahko že v osnovi pričakujemo napako od 1 do 3 mm, kar smo tudi dokazali. Namreč po primerjanju povprečnih napak in dimenzijskih odstopanj med modelom v Blenderju in končnim natisnjenim predmetom so rezultati pokazali napake na področjih, ki smo jih zaznali že v analizi napak zajema v primerjavi z originalom. Po izračunih povprečnih napak vseh natisnjenih modelov lahko sklenemo, da je odstopanje med zajemom in tiskom najmanjše oziroma nično v primeru zajema s 3D-skenerjem Artec Space Spider in 3D-tiska po naknadni retopologiji (slika 11, 12).

Želeli smo izračunati, kako natančna je dejansko v končni fazi naša izbrana reprodukcija v primerjavi z originalom. Po izračunih povprečnih napak med originalom in končno reprodukcijo je bilo povprečno odstopanje 0,1 cm in glede na

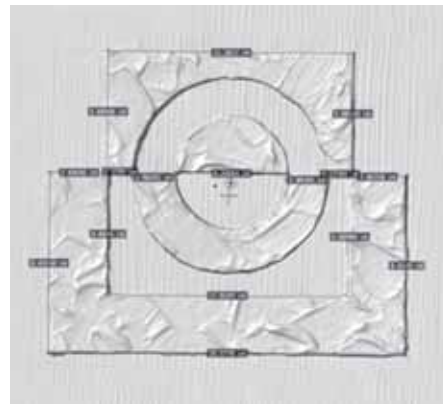
to lahko sklenemo, da je naša reprodukcija zelo natančna in ustrezna za čutno zaznavo (slika 13).

Poleg glavnih dimenzijskih odstopanj smo v analizi končnih 3D-tiskanih kopij ugotovili še nekaj drugih pomembnih napak. Pri tehnologiji FDM je potrebna uporaba podpornih struktur, kar pa je lahko težava, kot je razvidno iz slike 14, saj se v nekaterih primerih ne dajo lepo odstraniti in delujejo kot nazobčan rob detajlov.

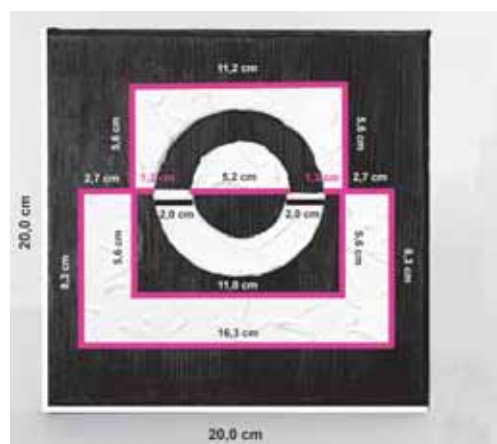
Na sliki 15 pa denimo lahko opazimo odstopanje polnila, ki se izraža kot praznina med dvema slojema. FDM namreč velja za tehnologijo, ki je zelo občutljiva za zunanje dejavnike. Ob minimalni spremembi temperature in vlažnosti okolice lahko pride do odstopanja med sloji.

Zaradi osnove tehnologije FDM, ki temelji na nalaganju polnila v slojih, smo naleteli tudi na očitno zaznavnost plasti na nekaterih predelih (slika 16).

Vendar lahko vseeno trdimo, da kljub morebitnim napakam, s katerimi smo se dejansko srečali pri delu, tehnologija FDM še vedno ostaja kakovostna in cenovno ugodna izbira za 3D-izdelavo reprodukcij umetniških del.



Slika 11: Mere modela, zajetega s 3D-skenerjem
Artec Space Spider, prikazane v Blenderju



Slika 13: Originalno umetniško delo v din

Dodatna obdelava

Zaradi tiska s podporami struktur je bila potrebna dodatna obdelava, s katero smo s pomočjo mehanske sile odstranili podpore (slika 17). Odločili smo se tudi, da ozadje prebarvamo še s črno barvo, da se čim bolj približamo originalu (slika 18, 19). Pred nanosom barve smo izvedli še temeljni premaz za plastiko DUPLI-COLOR



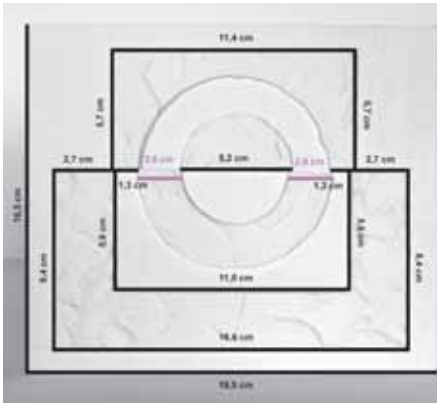
Slika 8: Model, zajet s
3D-skenerjem DAVID SLS-2



Slika 9: Model, zajet s 3D-skenerjem Artec Space
Spider, pred naknadno obdelavo



Slika 10: Model, zajet s 3D-skenerjem Artec Space
Spider, po naknadni obdelavi



Slika 12: Mere natisnjenega modela, zajetega s 3D-skenerjem Artec Space Spider



Slika 17: Odstranjevanje podpornih struktur



Slika 18: Nanos temeljnega sloja za plastiko



Slika 19: Nanos barve na model



Slika 14: Nazobčanje zaradi težavnega odstranjevanja podpornih struktur



Slika 15: Odstopanje polnila od prejšnjega sloja



Slika 16: Vidnost plasti pri tehnologiji FDM

natisnjen po naknadni obdelavi. Slika 20 prikazuje original in uporabljen reprodukcijo pri testiranju s slepimi in slabovidnimi.

Rezultati testiranja so na splošno pokazali podobno dožemanje. Ideja o čutnem dožemanju umetnosti, za katero so sicer slepi in slabovidni prikrajšani, z otipavanjem se jim je zdela več kot dobrodošla. Izpostavili so tudi, da bi bile vse skupaj še boljše, če bi bila poleg otipa na voljo še kakšna verbalna komunikacija s približnimi opisi, kaj sploh pričakovati na umetniškem delu. Všeč jim je bilo, da se je natisnjen model zelo približal teksturi originala in da je bila plastika, uporabljena v 3D-tisku, zelo prijetna na otip in primerljiva z originalom. Podali pa so tudi idejo, s katero bi bilo možno reproducirati tudi barve umetniških del, pri čemer bi za tople odtenke uporabili mehke in drugače strukturirane, za hladne odtenke pa bolj gladke površine.

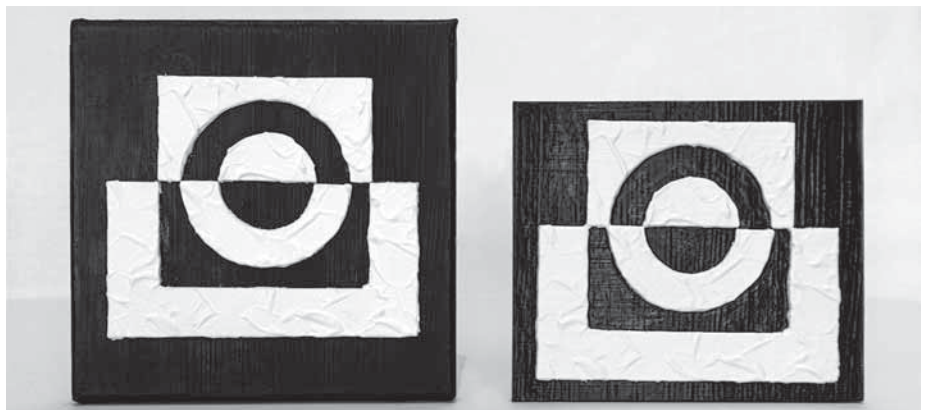
Zaključek

Glede na rezultate lahko povzamemo, da smo dosegli namene in cilje, ki smo si jih zadali na začetku. Reproduciralni smo umetniško delo, kompatibilno za uporabo slepih in slabovidnih in njihovo tipno zaznavo. Primerjali smo dve tehnologiji 3D-skenerjev, Artec Space Spider se je pri tem izkazal za boljšo rešitev. Uspešno smo natisnili reprodukcijo s FDM-tehnologijo 3D-tiska, ki se je izkazala za dobro izbiro zaradi njenega razmerja med ugodno ceno in zadovoljivo končno kakovostjo 3D-modela. Testiranci so pozitivno odreagirali na našo raziskavo in nam potrdili najpomembnejšo hipotezo, da je reproducirano umetniško delo za taktilno zaznavo prijazno do slepih in slabovidnih.

za povečanje adhezije med materialom in dodatno naneseno črno barvo.

Testiranje

V fazi testiranja smo uporabili original umetniškega dela in model, zajet s 3D-skenerjem Artec Space Spider, ki je bil



Slika 20: Originalno umetniško delo in izbrana reprodukcija