

Redizajn i 3D ispis društvene igre

Škorić, Ivan

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Graphic Arts / Sveučilište u Zagrebu, Grafički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:216:351726>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-19**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Graphic Arts Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAFIČKI FAKULTET**

IVAN ŠKORIĆ

**REDIZAJN I 3D ISPIS DRUŠTVENE
IGRE**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2023

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAFIČKI FAKULTET

IVAN ŠKORIĆ

REDIZAJN I 3D ISPIS DRUŠTVENE
IGRE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

doc. dc. sc. Nikolina Stanić Loknar

Student:

Ivan Škorić

Zagreb, 2023

Sažetak

Ovaj rad istražuje mogućnosti povećanja imerzije igranja društvene igre *Naseljenici otoka Catan*. Radi se o korištenju 3D printera kao medija personalizacije i postavljene su dvije hipoteze: “kombinacijom 3D ispisa i grafičkog dizajna može se uzdignuti doživljaj igranja društvenih igara i uranjanje u iskustvo na viši nivo” i “uvođenjem 3D ispisa omogućena je personalizacija društvenih igara.” Istraživanje počinje temeljitom analizom tehnologije aditivne proizvodnje, odnosno 3D printanja, opisujući povijest, principe rada tehnologije i široke primjene u raznim industrijama. Nakon teorijskog dijela, u eksperimentalnom dijelu je detaljno opisan proces izrade šesterokutnih pločica koje čine ploču za igranje *Catan-a*. Pokazuje se oprema koja se koristi i softver koji omogućava komunikaciju s 3D printerom. Na eksperimentalnog rada pločice su obojane akrilnim bojama i ovim personaliziranim pločicama su odigrane dvije runde igre. Eksperimentalni dio i odgovori igrača na pitanja o iskustvu igranja potvrdili su obe hipoteze: 3D printani dijelovi igre zaista omogućuju povećanje doživljaja pri igranju i dokazana je korisnost 3D printanja kod ovakvih primjena

Ključne riječi: 3D printanje, društvene igre, *Catan*, aditivna proizvodnja

1. Uvod	1
2. 3D printanje i povijest	2
2.1. Definicija.....	2
2.2. Tehnologije.....	2
2.2.1 Fused deposition modeling (FDM).....	3
2.2.2. Inkjet printanje i contour crafting.....	4
2.2.3 Fuzija prahova.....	5
2.2.4 Stereolitografija (SLA).....	7
2.3. Povijest.....	8
2.4. Industrijska primjena 3D printanja	10
2.4.1. Biomedicina.....	10
2.4.2. Zrakoplovstvo.....	11
2.4.3. Građevina.....	12
2.4.4. Moda.....	13
3. Naseljenici otoka Catan	14
3.1. O igri.....	14
3.2. Dizajn ploče.....	15
4. Praktični dio	16
4.1. Uvod.....	16
4.2. Tijek rada.....	17
4.2.1. Modeliranje.....	17
4.3. Slicing.....	22
4.4. Rad s 3D printerom.....	25
5. Rezultati i rasprava	27
6. Zaključak	31
Literatura	32
Popis slika	34

1. Uvod

Od pojave industrijske revolucije nova saznanja i inovacije konstantno mijenjaju svijet, stavove i perspektive ljudi i njihova iskustva, pa tako i društvene igre. *Naseljenici otoka Catan* jedna je od najpopularnijih modernih društvenih igara na svijetu, poznata po svojim zaštitnim znakom, šesterokutnim pločicama za igru i služi kao prvo iskustvo moderne europske društvene igre većini ljudi koji su je igrali. Razvojem tehnologije dolazi do novih mogućnosti personalizacije društvenih igara, prvenstveno korištenjem 3D printera. Ovaj rad za zadatak ima objasniti proces personalizacije igre pomoću 3D printanja od konceptualizacije do gotovog proizvoda. Osim toga, u radu je objašnjen sam koncept 3D printanja, tehnologije koje se koriste, povijest aditivne proizvodnje i njena primjena u raznim industrijama. Prilikom izrade igre, postavljaju se dvije hipoteze: “kombinacijom 3D ispisa i grafičkog dizajna može se uzdignuti doživljaj igranja društvenih igara i uranjanje u iskustvo na viši nivo” i “uvođenjem 3D ispisa omogućena je personalizacija društvenih igara”. Teorijski dio rada obuhvaća povijesni pregled razvijanja tehnologije, objašnjava principe rada pojedinih tehnologija 3D ispisa i primjene tih principa na industrije poput građevine, biomedicine, mode, itd. Eksperimentalni dio dokumentira istraživanje najboljih alata i praksa za izradu vlastitih personaliziranih pločica za igranje *Catan-a*. Proveden je čitav proces, od konceptualizacije i modeliranja do ispisa modela i bojanja akrilnim bojama. Cilj rada je predstaviti tehnologiju aditivne sinteze i potaknuti personalizaciju društvenih igara koristeći novu i uzbudljivu tehnologiju koja se mnogima čini kao bauk ili kao nešto nedostižno i komplicirano.

2. 3D printanje i povijest

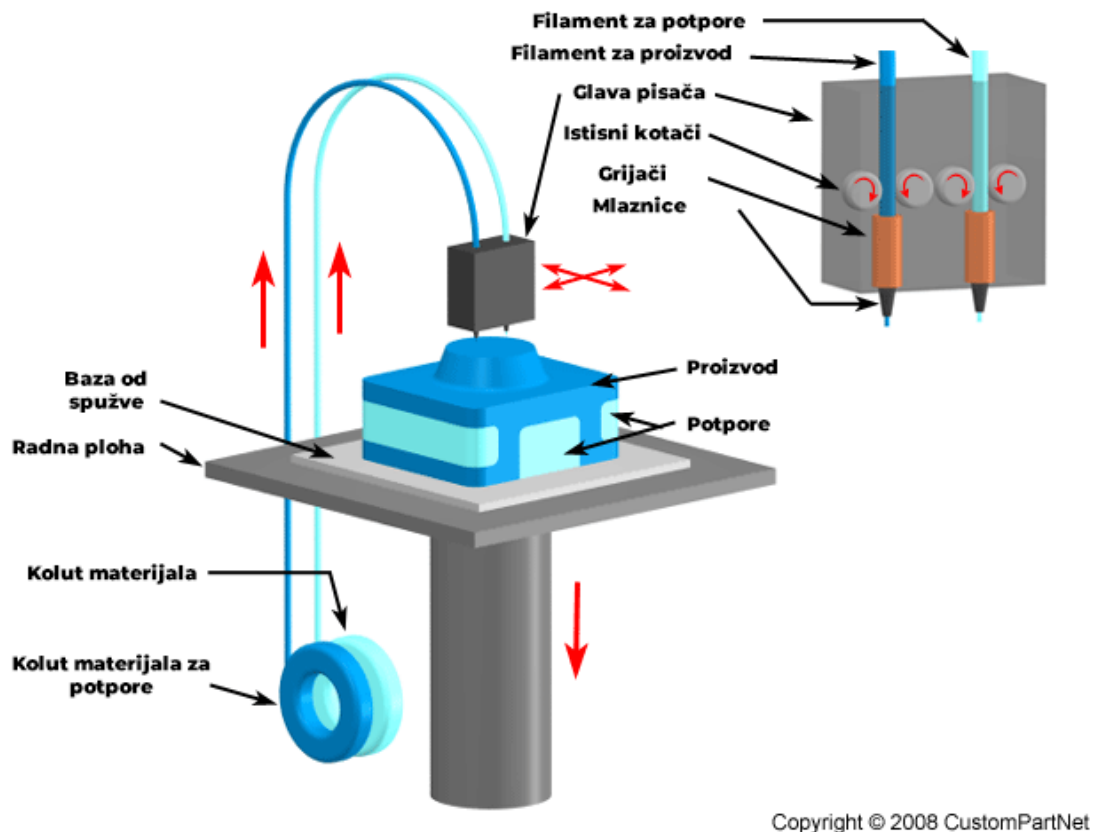
2.1. Definicija

3D printanje definira proces u kojem se fizički proizvodi izrađuju sloj po sloj koji skupa čine mrežu presjeka tog proizvoda, slično kao i kod tradicionalnih inkjet ili laserskih printera samo se umjesto tinte koriste prahovi tokom oslojavanja. Kao referenca koriste se podaci iz trodimenzionalnih modela. Ovakav proces proizvodnje kompleksnih geometrijskih tijela naziva se aditivna proizvodnja. Takav tip proizvodnje se i prije izuma 3D printanja koristio u građevini, pri prototipiranju te u biokemijskim aplikacijama. Ubrzanim razvojem tehnika 3D printanja ovaj proces je postao puno pristupačniji pa se sada koristi i u npr. arhitekturi i dizajnu proizvoda za izradu prototipa visoke vjernosti u kratkom roku i za malo novaca. Ove tehnike su također revolucionarne u poljima gdje se proizvodi prilagođavaju korisnicima jer je inače vrlo teško prilagoditi proizvod iz masovne proizvodnje. 3D printanje omogućuje brzu i jeftinu izradu prilagodbi u malim količinama što je zainteresiralo više industrija, najupečatljivije medicinsku industriju gdje se prilagođena pomagala i alati obično jako često traže. Proteze za udove, zubne krunice i mostovi te specijalizirani alati samo su od nekih primjena 3D printanja koje se mogu naći u medicini [1] [2].

2.2. Tehnologije

Kod razvijanja metoda aditivne proizvodnje među ključne čimbenike spadaju mogućnost printanja kompleksnih struktura pri visokim rezolucijama, mogućnost printanja velikih struktura, smanjenje grešaka pri izradi struktura te poboljšanje mehaničkih svojstava. Postoji više metoda koje koriste različiti 3D printeri. Metode koje koriste uglavnom polimerne filamente spadaju pod *fused deposition modeling (FDM)* kategoriju. Osim toga postoje metode koje koriste lasere poput *selective laser sintering-a (SLS)*, *selective laser melting (SLM)* i metoda vezivanja tekućina *3DP*. Metoda koja koristi UV svjetlost je primjerice stereolitografija. Osim navedenih, koriste se i *inkjet* tisak, *contour crafting*, tehnika izravne odlaganje energije i tehnika laminiranja materijala [2].

2.2.1 Fused deposition modeling (FDM)

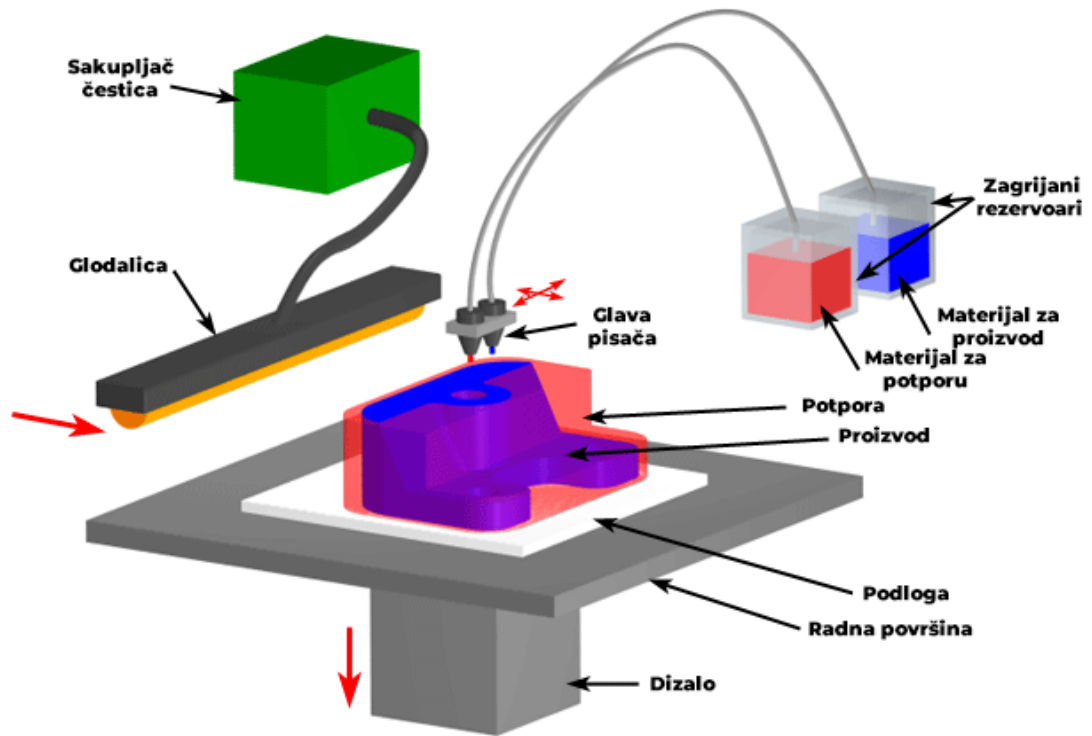


slika 1 - dijagram principa rada FDM 3D printera

Fused deposition modeling ili *fused filament fabrication (FFF)* (kratica *FDM* zaštićena je robna marka tvrtke *Stratasys*) metoda je proizvodnje koja koristi filament termoplastičnog polimera. Na slici 1 se vidi dijagram principa rada *FDM* printera. filament dolazi u kotaču te se ulaže u glavu pisača koja u sebi ima grijače koji tale filament. Filament se iz role uvodi u mlaznicu koja se zagrijava i dovodi gotovo do tekućeg stanja te ga polaže na radnu plohu ili prethodno isprintan sloj. Zbog toga što je termoplastičan, filament se stapa kad je zagrijan a ukrućuje kad je na sobnoj temperaturi što je svojstvo koje u biti omogućuje ovu vrstu printanja. Sloj filameta se polaže na podlogu od spužve u željenom obliku. U prikazanom slučaju se koriste dvije vrste filameta za potpore i proizvod. Parametri koji su bitni za ovu metodu su debljina sloja i veličina zračnih rupa između slojeva. Prednosti ove vrste printa su niska cijena, visoka brzina i jednostavnost procesa a mane su loša mehanička svojstva proizvoda,

uzak izbor termoplastičnog materijala, gruba površina i vidljivost granica slojeva filamenta [2].

2.2.2. Inkjet printanje i contour crafting



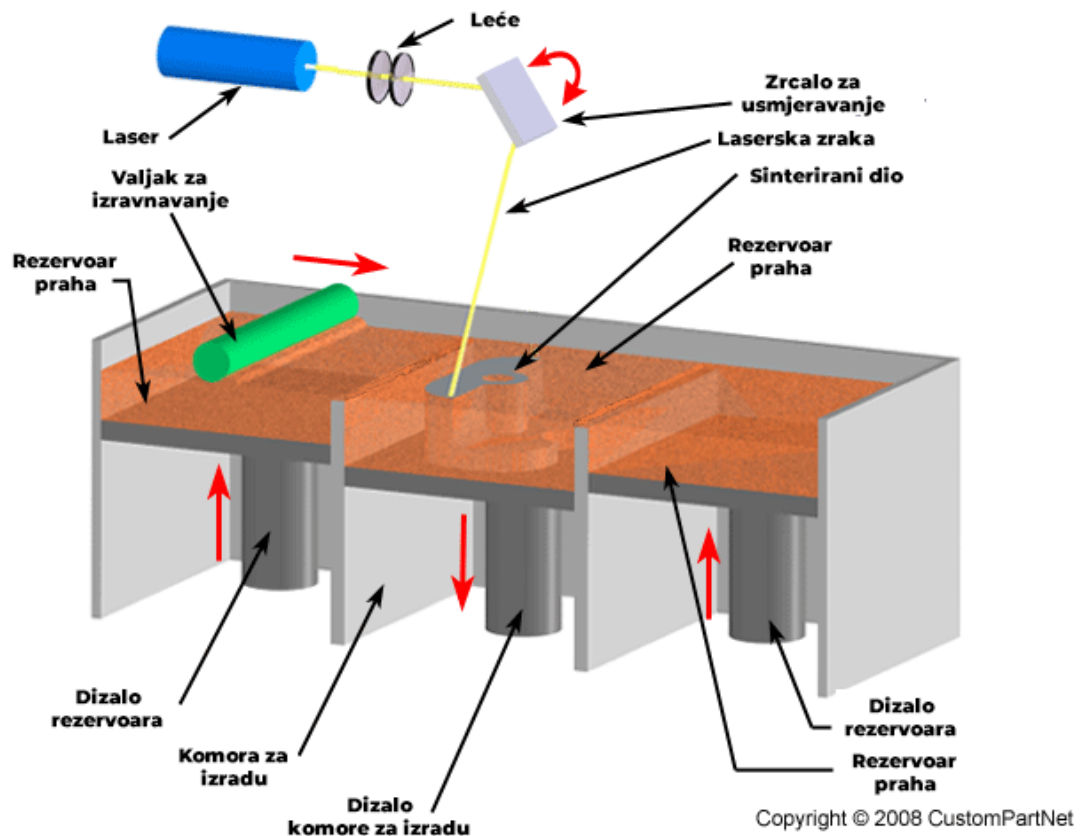
Copyright © 2008 CustomPartNet

slika 2 - dijagram principa rada inkjet 3D printera

Inkjet metoda koristi stabilne keramičke čestice (primjerice čestice cirkonij oksida) suspendirane u vodi i funkcioniira slično kao i *inkjet* metoda kod klasičnog printanja. Na slici 2 vidi se princip rada: materijal do glave pisača dolazi iz grijanih rezervoara gdje se kapljice materijala prskaju po radnoj plohi i trenutno stvrđavaju. Glodalica služi za izgladivanje površine nakon izrade sloja, a sakupljač čestica skuplja odbjegle čestice. Suspenzija u obliku kapljica čini uzorak ili raster koji se ukrućuje što omogućuje nanos idućeg sloja materijala. Osim suspenzija postoje i voštane keramičke tinte a razlika između njih je način ukrućivanja; suspenzije se ukrućuju evaporacijom a tinte zahtijevaju hladnu podlogu kako bi se ukrućile. *Contour crafting* funkcioniira na

isti način ali se kao medij umjesto keramičkih suspenzija i tinti koristi betonsku pastu ili zemlju, a mlaznice su dosta veće s mogućnošću istiskivanja materijala pod visokim pritiskom. Na kvalitetu ispisa utječu veličina keramičkih čestica, viskoznost tinte i veličina otvora mlaznice. Mane ovih metoda su mala rezolucija ispisa i činjenica da isprintani slojevi međusobno nisu spojeni [2].

2.2.3 Fuzija prahova

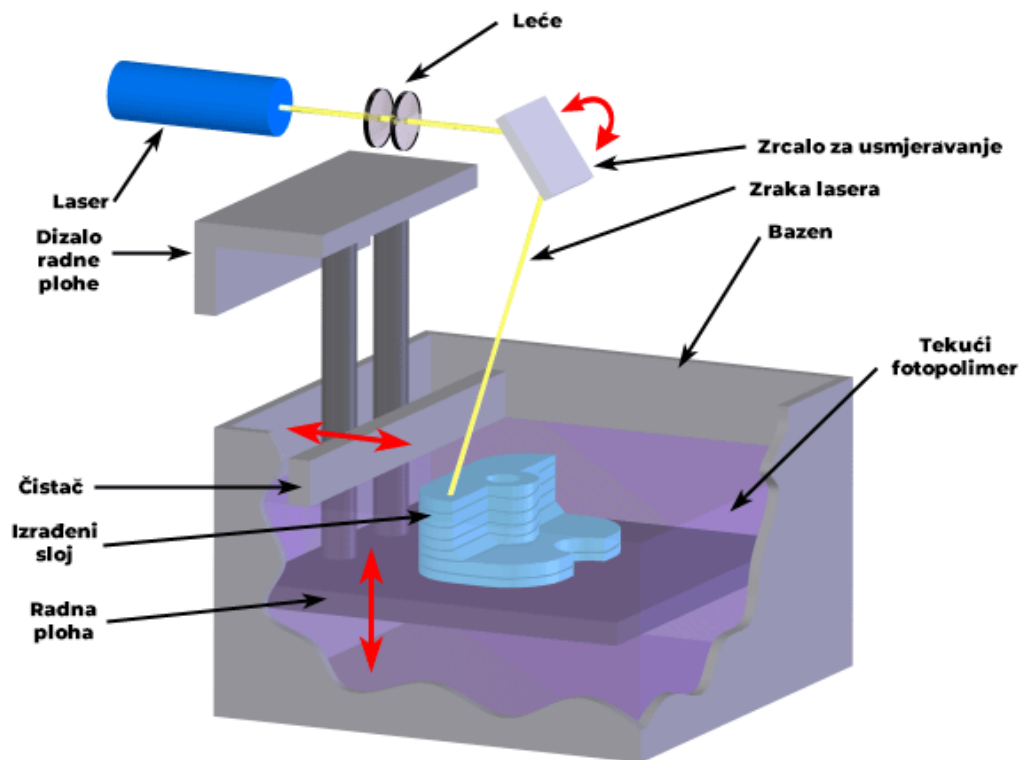


slika 3 - dijagram principa rada SLS printera

Metoda fuzije prahova funkcioniра tako da se po radnoj površini rasprostiru prahovi tako da su zgusnuto kompaktirani. Radi se u slojevima. Svaki se sloj stapa pomoću lasera ili tekućim vezivom. Za svaki idući sloj se prahovi stavljaju na prethodni sloj dok god trodimenzionalni predmet nije gotov, a višak praha se usisava. Gotov predmet se obično dalje obrađuje laserom ili se može premazati premazom kako bi se postigao željeni izgled površine. Laser se može koristiti

samo s puderima koji imaju nisko talište, inače se preporuča korištenje tekućih veziva. Tehnika koja se koristi za obradu, tj. sinteriranje* polimera, metala i legura prahova zove se *Selective Laser Sintering (SLS)* (selektivno lasersko sinteriranje) čiji se princip rada može vidjeti na slici 3. Ova tehnika ne tali pudere već zbog visoke površinske temperature dolazi do molekularnog spajanja pudera. Dizala dižu rezervoare s prahom koji pune komoru izrade. Valjak na vrhu rezervoara izravnavava površinu praha koji ulazi dok laser stvrdnjava prah u obliku sloja koji se trenutno printa. Komora za izradu se nakon svakog sloja spušta i proces se ponavlja. Tehnika koja ipak u potpunosti rastali materijal zove se *Selective Laser Melting (SLM)* (selektivno lasersko taljenje) i daje bolja mehanička svojstva gotovom proizvodu. Ona se može koristiti samo pri radu s metalima poput čelika i aluminija. Na kvalitetu ispisa utječe distribucija i kompaktnost prahova. Ako se koristi tekuće vezivo onda na kvalitetu utječe tip veziva, veličina i oblik čestica pudera i dodatna obrada površine. U odnosu na lasersko sinteriranje ili taljenje korištenje veziva daje poroznije rezultate. Ove se tehnike koriste najviše za izradu kompleksnih struktura zbog toga što daju rezultate visokih rezolucija. Primjeri su npr. tkivne skele koje se koriste u regenerativnoj medicini ili zrakoplovnom inženjerstvu. Mane ovih tehnika su visoke cijene i, u slučaju korištenja veziva, visoka poroznost gotovog proizvoda [2].

2.2.4 Stereolitografija (SLA)



Copyright © 2008 CustomPartNet

slika 4 - dijagram principa rada SLA printera

Stereolitografija vrsta je aditivne proizvodnje koja koristi UV svjetlost kako bi se izazvala reakcija na sloju smole koja je sastavljena od zasebnih monomera. Na slici 4 prikazan je princip rada gdje se izlaganjem UV svjetlosti ovi monomeri spajaju i tako čine polimerne lance. Zrcalo usmjerava laser u obliku sloja koji se printa. Zraka lasera pada na tekući fotopolimer koji se pri kontaktu s laserom ukrućuje. Nakon ukrućenog sloja dizalo podiže radnu plohu i čistač izravna sljedeći sloj. Kruta smola tada čini uzorke u unutrašnjosti kako bi idući slojevi imali stabilnu podlogu a dio smole koji nije reagirao s UV svjetlosti se uklanja nakon printa. Gotov se proizvod dodatno može obrađivati svjetlosnim stvrdnjavanjem u svrhu poboljšanja mehaničkih svojstava. U monomernu smolu se također mogu suspendirati keramičke čestice- Stereolitografija nudi visoku

rezoluciju printa (od 10 μ m), ali je skupa, spora i radi s malim brojem materijala koji se također moraju dodatno obrađivati kompleksnim procesima stvrdnjavanja [2].

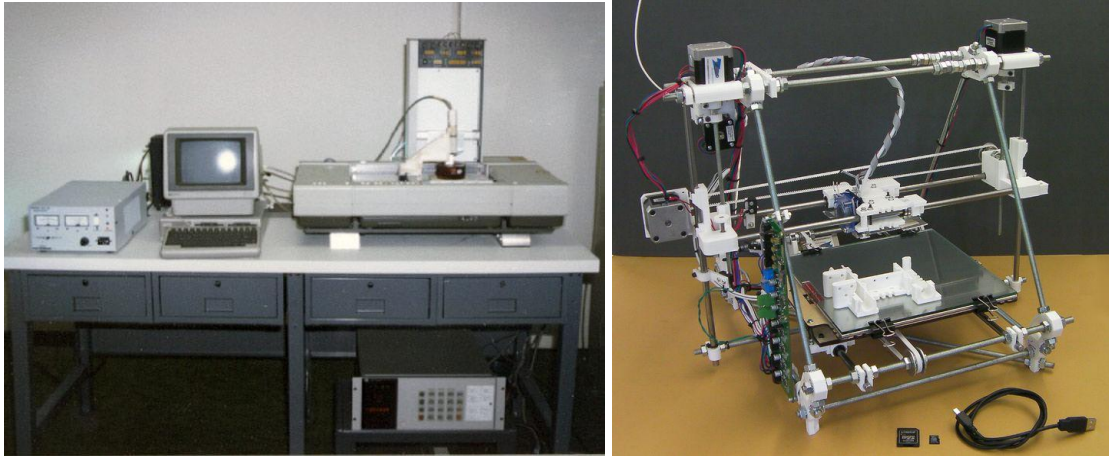
2.3. Povijest

“...ali ovaj je konstruktor i učinkovit i fleksibilan. Stavljam magnetronsku plastiku, materijal od kojeg se danas grade kuće i brodovi, u ovu pokretnu ruku. Ruka crta u zraku prateći crtež koji skenira foto-ćelijama. Plastika izlazi iz kraja kraka za crtanje i kruti se kako izlazi ... prateći samo dani crtež i ništa više.”

- Ulomak iz kratke priče “*Stvari prolaze*”
koju je napisao američki pisac
Murray Leinster 1945.

Koncept i princip 3D printanja prvi put je opisan u okvirima znanstvene fantastike davne 1945. godine u američkom ZF časopisu *Thrilling Wonder Stories*. Murray Leinster u kratkoj priči *Stvari prolaze* (“*Things Pass By*” op.a.) je zapanjujuće detaljno predvidio princip na kojem današnji 3D printeri funkcioniraju [3], no trebat će još barem trideset godina kako bi došlo do prvog praktičnog izuma 3D printera. Izum 3D printera se najčešće pripisuje Charlesu W. Hullu, koji je 1984. radio za firmu *3D Systems*, te raznim američkim sveučilištima (primjerice Massachusetts Institute of Technology (MIT) i Sveučilište u Teksasu). Ovaj stroj, vidljiv na slici 5, bio je SLA tipa koji pomoću UV svjetlosti selektivno ukrućuje tekućinu. Paralelno se razvija još nekoliko tehnologija printanja uključujući i FDM (*fused deposition modeling*) koji nastaje 1989. godine. Tvrtka *Stratasys* koju su osnovali S. Scott i Lisa Crump razvila tehnologiju koja prima filament, zagrijava ga čime postaje savitljiv i precizno ga postavlja na radnu podlogu u željenom obliku, upravo onako kako Murray Leinster opisuje svoj stroj iz priče *Stvari prolaze*. Ova tehnologija također se naziva i FFF (*fused filament fabrication*) te je vrsta trodimenzionalnog printanja koja je nakon izuma 1989 postala najrasprostranjenija. Uskoro postaje temelj za

daljnje istraživanje u raznim tvrtkama i sveučilištima nakon što joj je istekao patent 2005. godine. Aidan Bowyer, viši predavač na engleskom Sveučilištu u Bathu dolazi do ideje 3D printanja dijelova za vlastiti 3D printer. Objavio je svoje nacрте za dijelove javno i otvoreno na internetu tako da bilo tko može dati svoj doprinos.

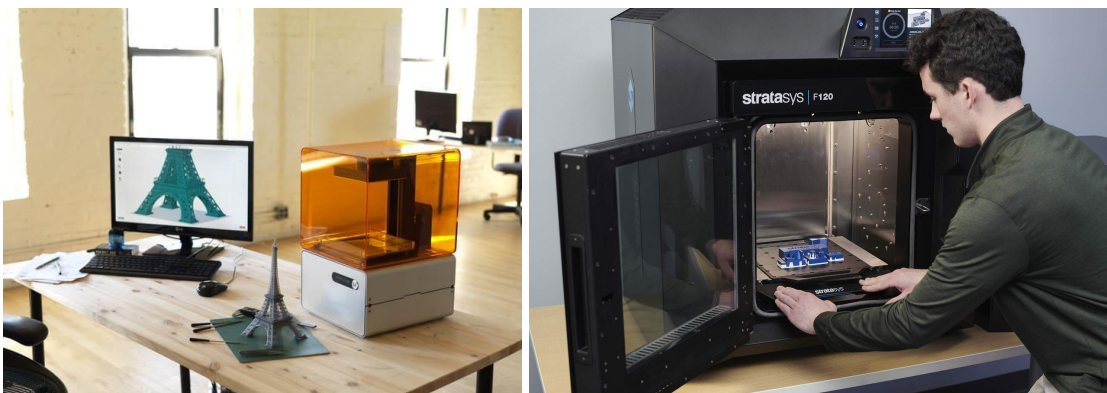


slika 5 (lijevo) - Hullow 3D printer, prvi 3D printer na svijetu.

slika 6 (desno) - RepRapPro Mendel, 3D printer projekta RepRap izdan 2009. godine.

Ovako je uzeo maha *open-source* projekt kasnije nazvan *RepRap*. Nakon primitka poticaja britanskog Odbora za inženjering i istraživanja fizičkih znanosti Bowyer i kolege su napravili svoje prve pisaače nazvane *Darwin* (2007), *Mendel* (2009). Na slici 6 se vidi da se radi o printeru koji bilo tko može sastaviti od gotovih dijelova. Nakon izdanja ova dva modela dolazi do eksplozije u daljnjem razvijanju zbog široke dostupnosti Bowyerovih originalnih datoteka s dizajnom i tuđih, poboljšanih modela. Jedan od ovih printera, *Prusa Mendel*, ima pojednostavljeni dizajn i postaje neslužbeni referentni model *RepRap* projekta. Printer je dizajnirao Čeh Josef Prusa 2010. godine. Uskoro na tržište izlaze potpuni setovi za trodimenzionalno printanje od kojih su najpoznatiji *Makerbot-ovi Cupcake CNC* iz 2009. i *Thing-O-Matic* iz 2010. Ovi proizvođači postavili su *MakerBot* kao jednu od prvih komercijaliziranih tvrtki koje se bave 3D printanjem te ih 2013. godine kupuje američki *Stratasys* koji je do tada proizvodio gotovo isključivo industrijske printere, primjerice model *F123*, vidljiv na slici 8. Pojavom stranica za *crowdfunding* (stranice na kojima korisnici grupno financiraju projekt ili proizvod) otvara se mogućnost financiranja malih

projekta 3D printera i srodne opreme od kojih se najviše ističu *Form 1*, koji se može vidjeti na slici 7, stereolitografski (SLA) printer koji je 2012. prikupio gotovo 3 milijuna dolara na *Kickstarteru* i *Buccaneer* koji koristi filamente i 2013. uspijeva skupiti gotovo 1,5 milijuna dolara u donacijama. Danas postoji mnoštvo tvrtki koje se bave tehnologijom 3D printanja od velikih poput *Stratasys-a*, *Voxeljet-a*, *ExOne-a* i *3D Systems-a* do malih poduzeća koja su često neformalna udruženja entuzijasta iz vala “uradi sam” fenomena zvanog *maker**, pokreta koji potiče kućnu izradu projekata, pogotovo nešto većih i kompliciranijih projekata [4].



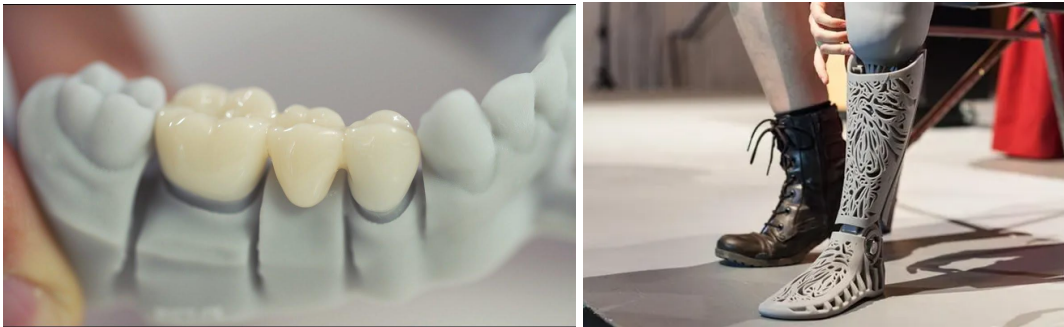
slika 7 - Form 1, SLA printer koji je financiran pomoću platforme Kickstarter.
slika 8 - Stratasys F120, 3D printer za industrijske primjene.

2.4. Industrijska primjena 3D printanja

2.4.1. Biomedicina

3D printanje je svoju primjenu našlo u raznim industrijama. Najčešće diskutiran primjer je biomedicina gdje su visoka preciznost i prilagodljivost najveći prioritet. Aditivna proizvodnja omogućuje izradu implantata, inženjering tkiva i organa te sustava za kontrolirano puštanje lijekova. Ovo je moguće jer se pri proizvodnji mogu koristiti biomaterijali poput polukristalnih polimernih smjesa koje tijelo neće odbaciti. Biomedicinske primjene zahtijevaju da je proizvod moguće prilagoditi pacijentu, pogotovo kad se radi o raznim protezama koje se trebaju

izmjeriti. Kao što se vidi na slikama 9 i 10, dentalne proteze i protetski udovi idealan su primjer ovakve primjene 3D printera. Također je moguće prilagoditi npr. kiruršku opremu, tj. u malom roku izraditi alate koji su potrebni za pojedini slučaj što inače ne bi bilo izvedivo. Ovo se veže u nisku cijenu malih količina produkcije; nije potrebno izrađivati kalupe u koje se injektira materijal već je jedini trošak materijal koji se koristi [2].



slika 9 (lijevo) - 3D printana dentalna proteza

slika 10 (desno) - protetska noga napravljena pomoću 3D printera

2.4.2. Zrakoplovstvo

Danas zrakoplovstvo čini 18,2% tržišta aditivne proizvodnje. Smatra se jednom od najperspektivnijih sfera za primjenu 3D printanja. To je zato što se mnoge osobine proizvoda u zrakoplovstvu poklapaju s jačinama 3D printanja. Primjerice, većina dijelova jednog zrakoplova kompleksne je geometrije radi aerodinamičnosti i rasipanja topline. 3D printanje ovakvih dijelova je također ekološki i ekonomski prihvatljivije jer stvaraju manje otpada. Naime, zrakoplovna industrija koristi skupe materijale koje je teško obrađivati (razne slitine titana, nikla, čelika, itd.). Metodama aditivne proizvodnje otpadni materijal moguće je smanjiti sa 95% na 10-20%. Ako je 3D printer dostupan za korištenje tehničarima na aerodromu moguće je smanjiti broj otkazanih ili zakašnjelih letova jer se neispravni dijelovi zrakoplova mogu jednostavno isprintati umjesto čekati dostavu. 3D printanje u aeronautici doprinijelo je i lakšim dijelovima koji su čvršći od dijelova proizvedenim u konvencionalnim tvornicama [5]. *FDM* i stereolitografija se u ovoj industriji koriste za izradu plastičnih, keramičkih ili kompozitnih dijelova interijera zrakoplova a veliki strukturalni dijelovi se obično

proizvode procesom depozicije energije u kojem se koriste titan i argon u plinovitom stanju [2].

2.4.3. Građevina

Iako novi koncept u ovoj branši, 3D printanje omogućuje smanjenje troškova i povećanje brzine izgradnje građevina te se počeo integrirati u standardni proces pri izgradnji zgrada u državama poput SAD-a, Kine, Njemačke i Ujedinjenog Kraljevstva [5]. Primjenjuje se kod projekata gdje geometrijska kompleksnost struktura predstavlja problem pri korištenju konvencionalnim metodama izgradnje. Metoda *contour crafting-a* je razvijena točno za ovu primjenu. Ona koristi materijale poput pijeska i cementa te omogućuje brzu izgradnju na gradilištu uz pomoć velikih glava pisača koje u slojevima nanose materijal. Na gradilišta se montiraju široki vodiči koji miču glavu pisača, što se može vidjeti na slici 11 [2].



slika 11 (lijevo) - prikaz *contour crafting* metode. Koriste se velike strukture koje se montiraju iznad cijelog gradilišta i nanose materijal po principu sloj po sloj

slika 12 (desno) - čelični most u Amsterdamu izgrađen metodom 3D printanja

Još jedna od metoda koja se koristi naziva se *Wire Arc Additive Manufacturing (WAMM)* koja je u biti zasnovana na principima *FDM* tehnologije. Robotska ruka koristi kombinaciju varenja i depozitiranja metala koji nanosi sloj po sloj kako bi se napravila željena struktura. Ovu metodu razvila je Nizozemska tvrtka *MX3D* a najpoznatija primjena je čelični most izgrađen u Amsterdamu. Most, koji je prikazan na slici 12, je napravljen u laboratoriju s konturama i uzorcima koji su proceduralno generirani sa svrhom smanjenja količine korištenog materijala. Most je otvoren i koristi se od 2021. godine [6].

2.4.4. Moda



slika 13 (lijevo) - Nike Vapour Laser Talon - nogometne kopačke čiji su dijelovi izrađeni pomoću 3D printera

slika 14 (desno) - Primjer komada odjeće izrađen pomoću Stratays-ove PolyJet tehnologije

3D printanje ima primjenu i u modnoj industriji. *Continuum*, američka tvrtka iz San Francisca 2013. godine počinje s radom u modnoj industriji nudeći nosive komade odjeće koji se mogu isprintati na 3D printeru. Poanta je ta da korisnik sam isprinta komad odjeće koji također može i prilagoditi svojim potrebama [5]. Tehnike koje se koriste u ovoj industriji su stereolitografija, *SLS*, *FDM* i *PolyJet*, sustav 3D printanja koji može printati više materijala odjednom. Iako u samim začetcima, ove metode već sad omogućuju modnim kućama jeftino i brzo prototipiranje proizvoda. Tvrtke poput *Nike-a* koriste *SLS* tehnologiju prilikom prototipnih faza izrade nogometnih kopački *Vapour Laser Talon*, prikazane na slici 13, i *Vapour High Agility*. *PolyJet* tehnologiju razvila je tvrtka *Stratasys*. To je sustav koji koristi *inkjet* princip i više glava printera kako bi isprintao više različitih materijala. Kao što se vidi na slici 14, osim materijala, korisnik može birati i boju u koju će materijal biti obojan. *Stratasys* je javno predstavio svoju *PolyJet* tehnologiju printanjem datoteke (koja nosi informacije u vezi boje, oblika i vrste materijala) u obliku jakne [7].

3. Naseljenici otoka *Catan*



slika 15 - postavljena igra *Catan*-a

3.1. O igri

Naseljenici otoka *Catan* (njem. *Die Siedler von Catan*, eng. *The Settlers of Catan*) ili kolokvijalno zvana samo *Catan* popularna je društvena igra koju je 1995. godine izdao Karl Teuber u Njemačkoj. Riječ je o strateškoj igri koja je prikladna za 3-4 igrača od 10 godina pa nadalje. Igrači pomoću resursa koji se nalaze na svakom polju naseljavaju otok naseljima, gradovima i cestama. Kao što je prikazano na slici

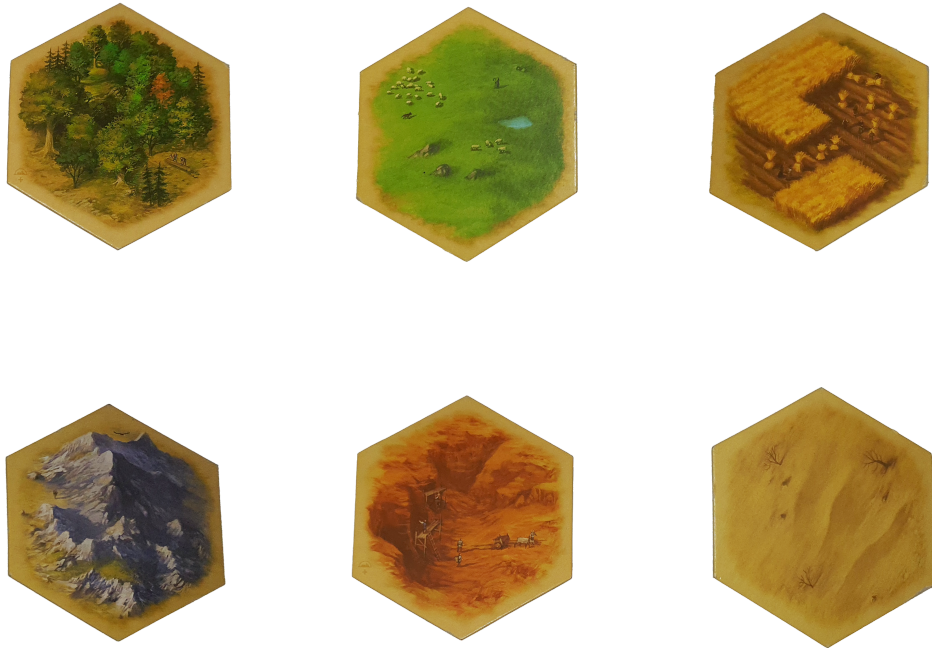
15, ploča na kojoj se igra sastoji se od šesterokuta koji se prije svake igre miješaju tako da je krajolik svaki put drugačiji. Osim izgradnje igrači također dogovaraju trgovinu resursa s drugim igračima tako da i dalje mogu graditi iako ne dobivaju resurse na svojim poljima. Igra je od svog izdanja osvojila više od 15 nagrada i najpoznatija je moderna europska društvena igra u svijetu. Osim osnovne igre kao proširenja izdani su još i:

- *Catan: Dodatak za 5. i 6. igrača*
- *Catan: Pomorci*
- *Catan: Gradovi i vitezovi*
- *Catan: Blago, zmajevi istraživači*
- *Catan: Istraživači i gusari*
- te *Catan Junior* namijenjen nižim uzrastima

[8] [9].

3.2. Dizajn ploče

Ploču *Catan-a* čini 18 pločica u obliku šesterokuta, prikazane na slici 16, koje onda čine jedan veliki šesterokut s različitim krajolikom: šuma, pašnjak, njiva, brdo, gorje i pustinja. Svaki šesterokut predstavlja jedan resurs: drvo, ovca, žito, kamen i glina. Od polja pustinje igrači ne dobivaju nikakve resurse [10].



slika 16 - šesterokutne pločice s resursima u hrvatskom izdanju Catan-a: (slijeva na desno): šuma, pašnjak, njiva, brdo, gora i pustinja

Svaka ploča jasno pokazuje koji resurs igrač dobiva, uz to su uzete u obzir i boje koje asociraju na taj resurs. Potencijalno problematične pločice su pločice s gorom (glina) i pašnjakom (ovce). Pločica koja prikazuje glinu osim boje nedovoljno komunicira o kojem se resursu radi. Iz bližeg pogleda su vidljivi radnici koji nose nekakvu rudu što igraču ne pomaže jer u igri također postoji i ruda kamena. Ukoliko se zanemari boja ova dva polja je lako zamijeniti.

4. Praktični dio

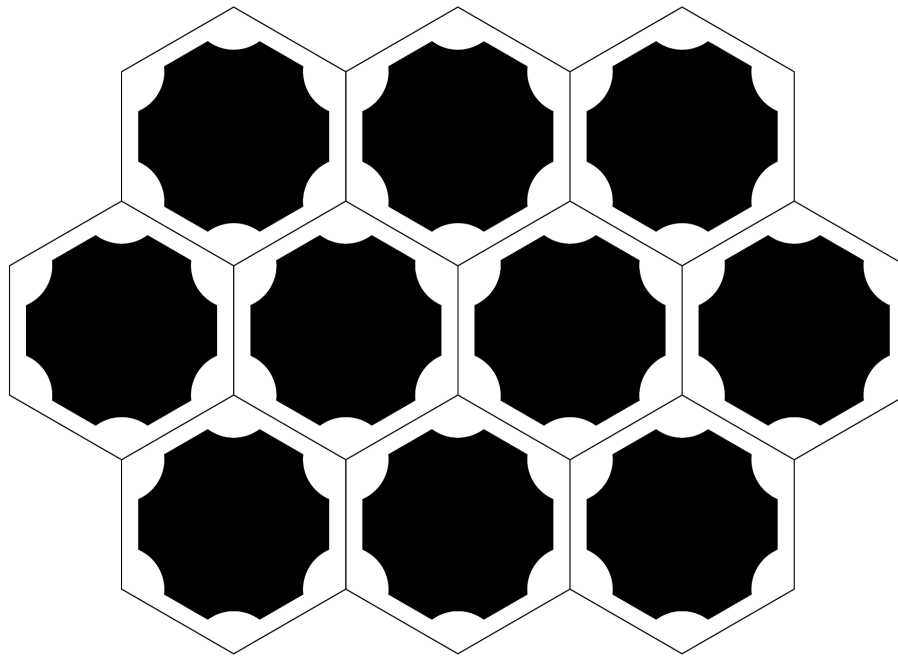
4.1. Uvod

Za ovaj rad izrađeno je 18 šesterokutnih pločica koje čine igraću ploču koje su također obojene akrilnim bojama. Prije same izrade bilo bi dobro identificirati potencijalne probleme koji mogu nastati ako se pločicama doda visinski reljef. Na slici 17 se mogu uočiti figure koje su postavljene između pojedinih polja.



slika 17 - igra Catan-a izbliza, vidi se potencijalni problem pri dodavanju reljefa: figure neće imati mjesta na ploči. Sasvim lijeva crvena figura predstavlja naselje, a sasvim desna grad.

Ukoliko se doda visina ovim šesterokutima neće biti mjesta za figure pa se pri izradi na to mora računati. Figure grada i naselja stanu u okruglo mjesto polumjera 30mm a ceste su širine ~11mm. Za ceste treba dodati kanale između sadržajnih dijelova pločica. Kutovi šesterokuta također moraju imati kružni rez kako bi figure grada i naselja imale prostora. Pločice u svojoj najvećoj dužini iznose 90mm što bi trebalo uzeti u obzir kako bi se mogli koristiti rubni dijelovi okvira igre. Na nacrtu prikazanom na slici 18 se vidi koje intervencije su poduzete kako bi figure imale prostora.



slika 18 - dijagram koji prikazuje prostor između pločica

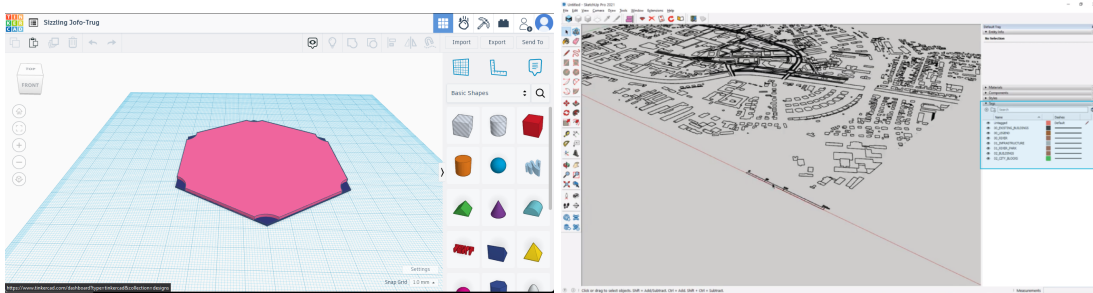
Prostor između sadržajnih dijelova pločica iznosi 6mm sa strana pločice kako bi spojene dvije pločice imale razmak od 12mm kako bi stale ceste. Između svakog spoja triju pločica napravljen je kružni rez polumjera 15mm kako bi stali gradovi i naselja. Još jedan element koji se na gornjoj slici ne vidi a bitan je kad se govori o prilagodabama je žeton; na šesterokute se polažu žetoni s brojevima od 1 do 12 koji određuju koji će se resursi dijeliti nakon bačene kocke. Žeton je teško položiti na trodimenzionalnu figuru pa je potrebno napraviti kreativno rješenje kako bi se mogao položiti jer zauzima 30mm.

4.2. Tijek rada

4.2.1. Modeliranje

Modeliranje se odnosi na dizajn 3D modela u nekom softveru. Za modeliranje se može koristiti mnogo različitih programa koji se razlikuju najviše u razini stručnosti koja je potrebna za korištenje i načinu na koji tretira modele. Modeli mogu biti solidni, što znači da imaju debljinu, a mogu biti i poligonalni, što znači

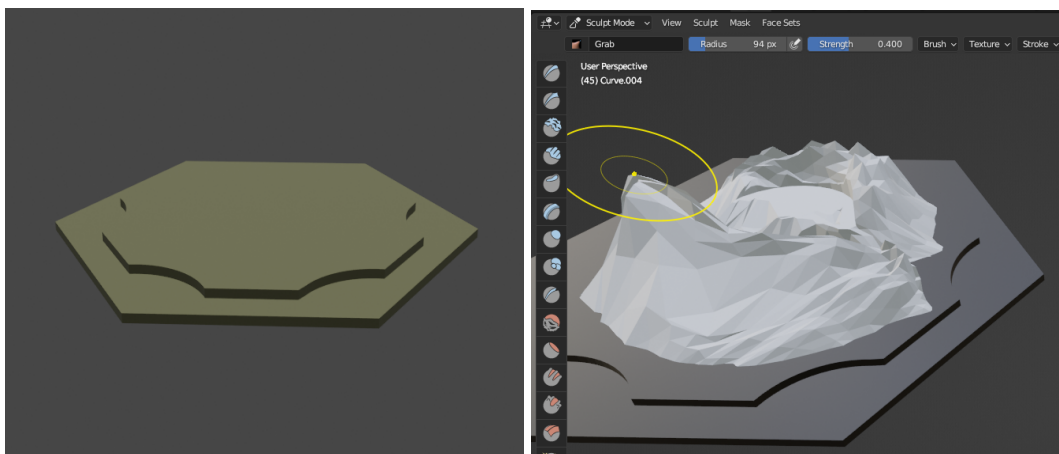
da plohe nemaju mjerljivu debljinu. Za 3D printanje je u pravilu bolje koristiti programe koji stvaraju solidne, tj *manifold* modele jer je ta vrsta modela potrebna za printanje. Ako se koriste poligonalni modeli, moraju se dodatno obrađivati. Ovakvi modeli su prvenstveno namijenjeni za računalnu grafiku zbog čega često dolazi do slučajeva u kojima prikazana geometrija ne može postojati u stvarnosti. Također može doći do problema pri printanju zbog dijeljenja brida modela među nekolicinom ploha. Ovi programi su unatoč navedenim manama puno fleksibilniji pri modeliranju. Među softverom za izradu *manifolda*, tj. solidnih ploha s debljinom najpopularniji su *Tinkercad*, *SolidWorks*, *SketchUp*, *Fusion360* i *Rhino3D*. Među jednostavnije spadaju *Tinkercad* i *SketchUp* koji se uglavnom koriste za izradu jednostavnih modela [11]. Oba imaju besplatnu verziju i mogu se koristiti u *web* pretraživaču. *Tinkercad* je najpopularniji među hobistima 3D printanja zbog svoje iznimne jednostavnosti i mogućnosti lakog dijeljenja modela. Na slici 19 se vidi *Tinkercad*-ovo sučelje, ono je jednostavno i lako razumljivo. *SketchUp* je tradicionalno poznat među arhitektima zbog činjenice da lako surađuje s *Autodesk AutoCAD-om* (program za izradu nacрта), što je prikazano na slici 20 gdje se nacrt iz *AutoCAD-a* koristi kao baza za izradu 3D modela [12]. *Rhino3D* program je također poznat među arhitektima ali i među industrijskim dizajnerima zbog svoje proširivosti pomoću dodataka i moćnim baratanjem geometrijom [13]. Slično moćan je i *SolidWorks* francuskog *Dassault Systemès-a* koji osim modeliranja nudi simulacije sile na model koje uzimaju u obzir i materijal od kojeg je proizvod. *SolidWorks* također omogućava animirani pregled rada mehanizama i procjenu troškova [14]. Među programima koji služe za izradu poligonalnih modela su *Blender*, *Cinema4D*, *Autodesk Maya* i *Autodesk 3DS Max* od kojih je unazad nekoliko godina najpoznatiji *Blender*. To je softver otvorenog koda, što znači da je besplatan i da ga bilo tko može prilagoditi za svoje potrebe. Ima snažne funkcije za 3D animaciju, veliku zbirku *tutorial-a* i podršku zajednice koja ga koristi. Teže ga je koristiti od *Cinema4D-a* koji je poznat po lakoći korištenja za nove korisnike i zahtijeva manje računalne snage od *Autodesk* programa [11].



slika 19 - prikaz Tinkercad-a, nije dostupno previše opcija, fokus je na jednostavnosti korištenja

slika 20 - prikaz SketchUp-a, koristi se arhitektonski nacrt iz AutoCad-a kao podloga za izradu 3D modela

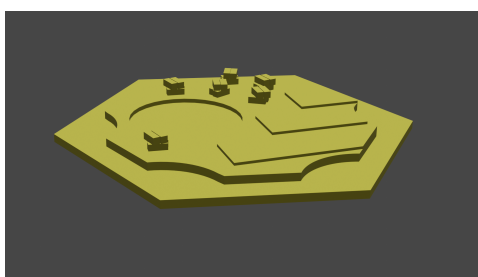
Za izradu ovog rada je izabran *Blender* zbog toga što ima jako puno resursa i materijala za učenje, snažne alate za skulpturiranje modela i besplatan je. Zbog toga što se radi u programu koji sam od sebe ne daje mogućnost rada s *manifold* površinama koristit će se *plug-in* po imenu *3D Printing Toolkit* koji omogućava korisnicima inspekciju modela, identifikaciju problema i rješavanje istih jednim klikom. Unatoč ovom alatu, pri izradi 3D modela namijenjenih za printanje treba voditi računa da je geometrija relativno jednostavna, pogotovo ako se koristi *FDM* tip printera zbog toga što se rastaljeni filament polaže u slojevima koji se spajaju taljenjem. Printeri koji koriste smolu, npr. printer na principu stereolitografije, dopuštaju puno detaljnije modele jer se slojevi kontaktno spajaju UV laserom.



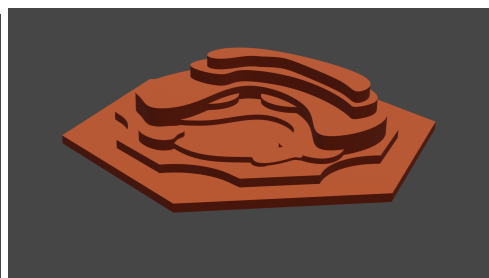
slika 21 (lijevo) - prikaz postolja pločice napravljeno pomoću SVG datoteke napravljene u Adobe Illustrator-u

slika 22 (desno) - prikaz alata za skulpturiranje u Blender-u. Aktivni izabrani alat je "pinch".

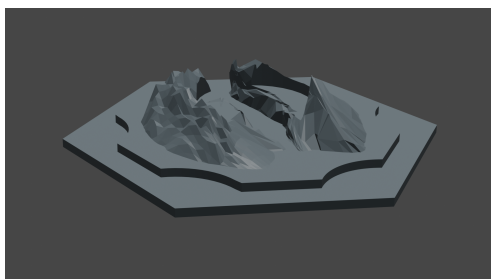
Blender dopušta uvođenje SVG vektorskih datoteka i korištenje putanji istog za izradu modela. Zato se može uvesti prethodno napravljen nacrt iz *Adobe Illustrator-a*. Pomoću opcije *extrude* iz ploha se može izvući visina tijela. Rezultat je prikazan na slici 21. Kako se ne bi stvarala nepotrebna geometrija na vanjski šesterokut je poželjno staviti *boolean* modifikator koji omogućava međusobno isključivanje ili presijecanje trodimenzionalnih modela, slično kao *pathfinder* u raznim vektorskim programima. Korištenjem *sculpting* alata modeli se mogu manipulirati u slobodne oblike. Na slici 22 se vidi kako se model može jednostavno izvlačiti, kao glinu s dva prsta.



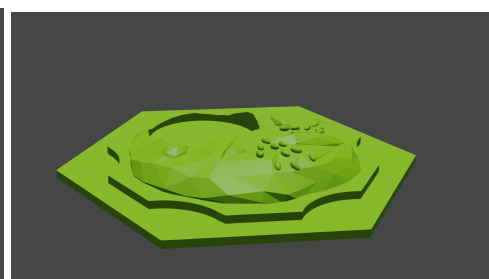
slika 23 - model polja njive



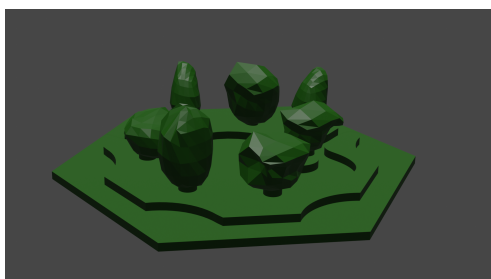
slika 24 - model polja gore



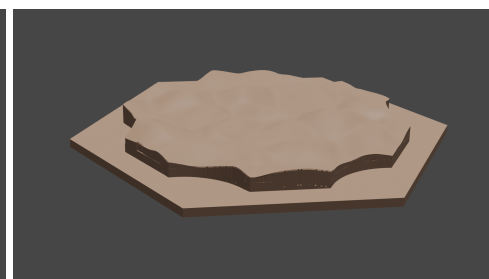
slika 25 - model polja planine



slika 26 - model polja pašnjaka



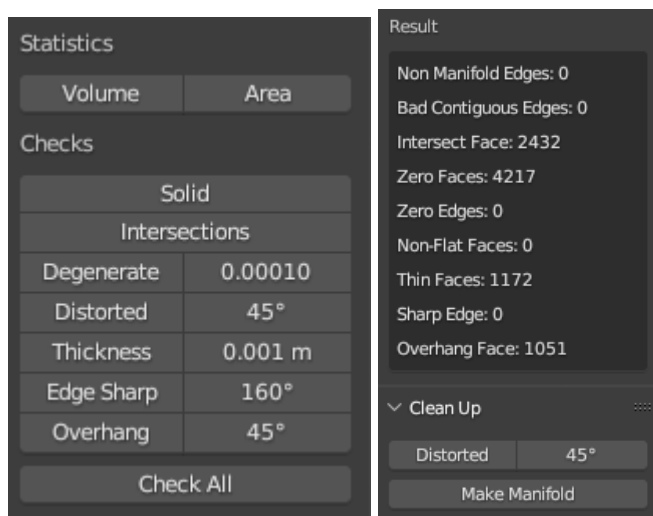
slika 27 - model polja šume



slika 28 - model polja pustinje

Geometrijski najjednostavniji modeli su oni za njivu i glinu. Model za njivu, prikazan na slici 23 sastoji se od pravokutnih oblika poslaganih u oblik njive i pravokutnih bala žita. Mjesto za žeton je određeno na praznom dijelu ploče. Model polja gore podsjeća na izrezbareni kamenolom gline kao što se vidi na slici 24. Oblici su dobiveni korištenjem alata za crtanje *NURBS* krivulja nakon čega su istisnuti prema gore u nekoliko slojeva kako bi podsjećali na terasasti oblik kojeg su obično industrijska nalazišta gline. Mjesto za žeton napravljeno je na sredini polja između unutarnjih lica gore. Četiri nepravilna oblika drže žeton kako se ne bi micao. Polje s planinom napravljeno je uz pomoć *Blender-ovog* alata za generiranje terena. Alat koristi uzorak šuma na bazi čega radi oblike koji izgledaju kao planina, što je vidljivo na slici 25. Dodatnim obrađivanjem alatima za skulpturiranje uklanja se nepotrebna i/ili problematična geometrija i definira se prostor između dva brda koji predstavlja rijeku. Prostor za žeton je napravljen slično kao i kod gore; između dva brda je napravljen kružni rez na koji se žeton može položiti. Zbog automatski generiranog terena ovaj model je od svih bio najproblematičniji za izradu zbog nerealistične geometrije nastale spajanjem baze pločice i rubnih bridova planine. Polje pašnjaka napravljeno je pomoću sfernog tijela. Ono je prilagođeno veličini uzvišenog dijela baze ploče sa slike 21 i dalje oblikovano alatima za skulpturiranje. Na slici 26 se vidi kako su dodane stijene koje vire iz pašnjaka što je kasnije stvorilo problem jer dolazi do presijecanja dva nesolidna tijela (površina pašnjaka i stijene) što nije realistično. Korištenjem *boolean* modifikatora moguće je ukloniti dijelove stijene koje su ispod površine pašnjaka čime se dobiva kompaktno tijelo koje se zatim može pretvoriti u *manifold*. Na pašnjak su stavljena eliptična tijela koja predstavljaju krdo ovaca koje idu prema jezeru, a ono služi za stavljanje žetona. Polje na kojem je šuma sastoji se od rijeke koja ide kroz cijelu pločicu nasred koje je okruglo udubljenje za žeton. Na slici 27 se vidi kako su stabla napravljena od cilindara koji predstavljaju deblo drva i nepravilnih oblika koji predstavljaju krošnju stabla. Zbog oblika drveća i činjenice da teški oblici stoje na vrlo tankim deblima ovaj model je trebalo najviše puta iterirati. Naposljetku je broj drveća smanjen a njihova veličina povećana. Zadnja pločica je pločica pustinje. Uzorak pustinjskih dina dobiven je korištenjem ravnine na koju je

aplicirana tekstura Voronoi šuma. Nadalje, korištenjem *boolean* modifikatora oblik ravnine (koji je inače pravokutan) odrezan je na dimenzije i oblik gornjeg dijela baze pločice. Rezultat je oblik s mnogo vrhova koji je moguće presjeći s čitavom bazom pločice i tako dobiti kompaktno tijelo. Nakon što su svi modeli izrađeni treba provjeriti moguće greške u geometriji i ispraviti ih. *Blender* podržava programski dodatak po nazivu *3D-Print Toolbox*. Ovaj alat pokazuje koliko ploha nije solidno, tj. koliko ih nije *manifold* (*Non Manifold Edges*) što se vidi na slici 28.



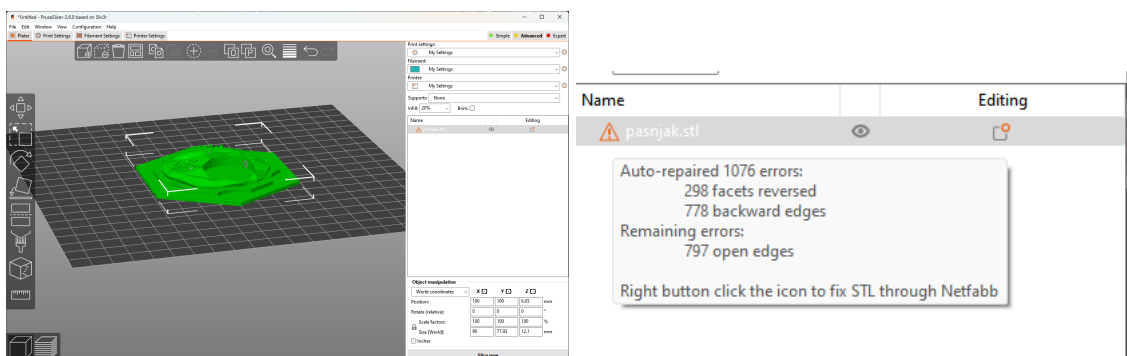
slika 29 - 3D-Print Toolbox

Nakon provjere alat može pokušati popraviti plohe što u nekim slučajevima (primjerice, kod modela polja pašnjaka) može dovesti do brisanja čitavih dijelova plohe. U tom je slučaju ipak bolje ručno ispraviti problematične dijelove modela. Kada su sve plohe modela solidne, može ga se spremirati u *.stl* oblik.

4.3. Slicing

Sama *.stl* datoteka ne može se odmah poslati printeru. Mora se dodatno obraditi procesom koji se zove *slicing*. To je proces u kojem softver analizira danu *.stl* datoteku i reže je vodoravno na slojeve. Dobivene slojeve *licer* sprema u obliku koda koji printer može pročitati. Radi se o *G-Code* formatu koji sadržava upute za micanje mlaznice printera, upravljanje temperature mlaznice i podloge na kojoj se printa te brzinu printanja. *G-Code* je više-manje

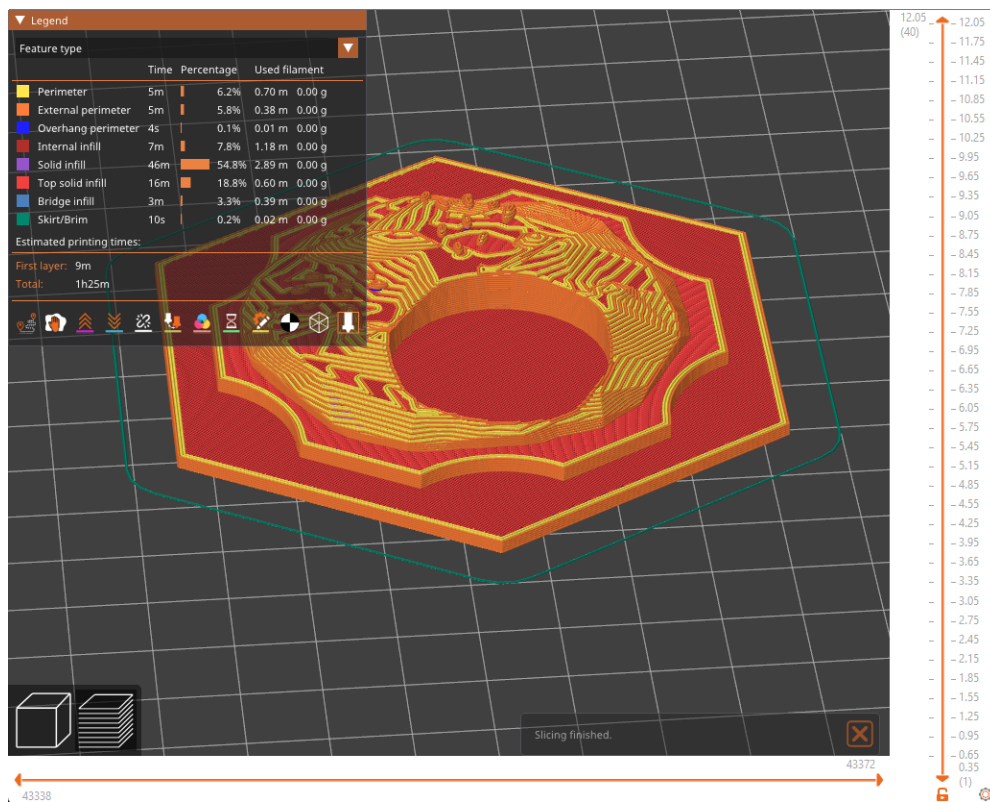
standardiziran stoga ga mogu pročitati gotovo svi 3D printeri [15]. Postoji širok izbor softvera za *slicing* od kojih je većina besplatno i/ili otvorenog koda, ali postoje i plaćene verzije. Najčešće se preporučuje *Cura Slicer*, program nizozemske tvrtke *Ultimake* koja prodaje 3D printere zbog jednostavnosti korištenja. Ovaj program je prvenstveno namijenjen za printere njihove proizvodnje, no kroz godine je dodana podrška i za printere drugih proizvođača. Ovaj softver može raditi sa *.stl*, *.3mf* i *.obj* datotekama. Također može popraviti i greške u modelima ako postoje. Besplatan je ali postoji i plaćena verzija ako se želi koristiti više printera. Za razliku od *Cura-e* koja nije otvorenog koda, softver imena *Slic3r* održava velika zajednica entuzijasta i poznat je po tome što ima funkcije koje se ne mogu pronaći u nijednom drugom programu. Rezultat je dugogodišnjeg razmjenjivanja iskustava s materijalima i printerima među entuzijastima. Namijenjen je prvenstveno korisnicima koji imaju iskustva s 3D printanjem zbog pregršt funkcija koje nudi. Još jedan poznati softver zove se *PursaSlicer*. Razvila ga je tvrtka *Pursa* koja proizvodi svoje 3D printere. Ovaj softver zasnovan je na kodu *Slic3r-a* tako da sadrži sve funkcije koje se mogu pronaći u njegovom prethodniku. Namijenjen je bilo kojem profilu korisnika i nudi tri stupnja opcija, za početnike, naprednije korisnike i stručnjake [16]. Za *slicing* je izabran *PursaSlicer* zbog omjera mogućnosti i jednostavnosti korištenja.



slika 30 - PursaSlicer nakon primanja .stl datoteke
slika 31 - Upozorenje softvera na neispravan model

Nakon spremanja modela u *.stl* datoteku ona se uvozi u *slicer* gdje se prvo može urediti raspored objekata, kao što se vidi na slici 30, u slučaju da se printa više od jednog modela. Ako model koji smo ubacili ima problem s geometrijom

PursaSlicer automatski nudi opciju popravka modela, što se vidi na slici 31. Nakon eventualnog popravljavanja modela mogu se izabrati opcije za potpore. Softver sam predviđa dijelove na kojima bi bilo dobro dodati potporu. Ako se koriste dva filameta (npr. jedna vrsta za model, druga vrsta za potpore) postavke za iste se postavljaju u ovom koraku. Također se može dodati i plosnata podloga ako se printa uski i visoki model za kojeg postoji mogućnost prevrtanja ili pucanja. Nakon ovih koraka nastavlja se na *slicing* pritiskom na "Slice now". Rezultat rezanja modela na dijelove može se odmah vidjeti. Za pisac su generirane upute koje sadrže koordinate putanje micanja mlaznice i temperatura koju pisac mora koristiti. Na slici 32 se vidi kako je putanja prikazana onako kako je printer radi u stvarnosti a u lijevom kutu se vidi legenda koja tumači svaki sloj koji će printer printati i koliko vremena će mu trebati za svaki sloj. Vidi se da će sloj punjenja (*solid infill*) uzeti najviše vremena, što je i logično jer čini većinu unutrašnjosti modela.



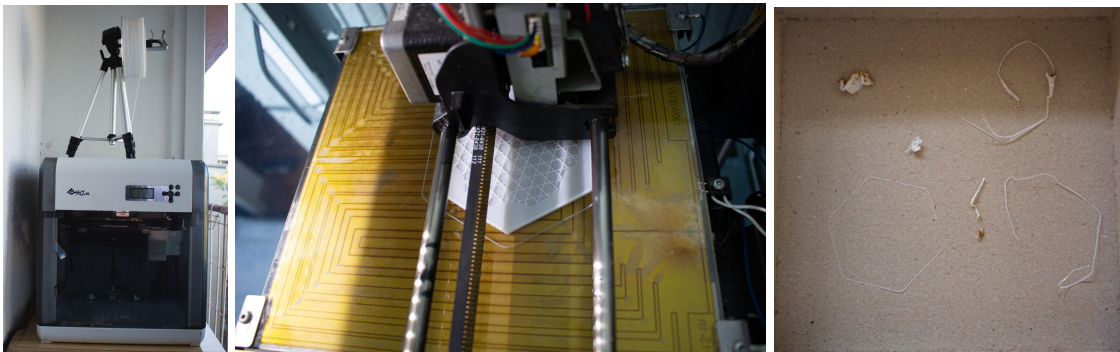
Slika 32 - Rezultat slicinga u PursaSlicer-u. Slijeva se vide različiti slojevi i vrijeme koje će trebati printeru da ih izradi

Nakon *slicing-a* model se može spremi u *G-Code* format koji zatim može pročitati većina dostupnih printera.

4.4. Rad s 3D printerom

Na tržištu postoji mnoštvo modela 3D printera koji su za kućnu upotrebu. Raznih su tipova, dimenzija i cijena, ali se uglavnom radi o dvije vrste: *FFF (fused filament fabrication)* printeri, koji filamente slaže kroz mlaznicu i stereolitografski printeri koji koriste smolu i ultraljubičasti laser [17]. 3D printer na kojem se radi rad, vidljiv na slici 33 je *DaVinci 1.0* američke tvrtke *XYZprinting*. Radi se o *FFF (FDM)* printeru koji je za kućne primjene. Može koristiti *ABS, PLA i HIPS* filamente iz kazeta proizvođača ili filamente istog tipa neke treće strane (u roli) ukoliko se softver modificira. Radna površina je veličine 200x200mm. Na ovaj printer je instaliran softver *Repetier* koji se naknadno instalira na printere. Može se koristiti na gotovo svim *FFF (FDM)* printerima i nudi mnoge funkcije koje su inače nedostupne na većini printera, poput slikanja uzoraka na površini isprintanih modela, daljinskog upravljanja, primanja informacija od nekoliko *slicer-a* i korištenje bilo kojeg filamenta za printanje. Upravo zbog posljednje funkcije ovaj softver koriste biomedicinske tvrtke za printanje podloga za organe i matične stanice [18]. Razlog zašto je *Repetier* instaliran na printer je činjenica da *DaVinci 1.0* tvornički prima isključivo filament proizvođača printera koji dolazi u kazetama, koji je skup i nedovoljno dostupan na hrvatskom tržištu. Tvornički, *DaVinci 1.0* prima instrukcije samo iz vlastitog softvera koji nema puno mogućnosti za prilagodbu. *Repetier* omogućuje primanje *G-Code-a* direktno od korisnika koristeći sučelje za *Arduino* mikrokontroler koji se nalazi u printeru. Za printanje je korišten *HIPS* filament zbog široke dostupnosti i relativno niske cijene, i ima preporučene temperature mlaznice od 230°C i podloge od 97°C kako nalaže ambalaža filamenta. Za slanje instrukcija na printer koristi se *Repetier-Host* softver koji prvenstveno služi za spajanje i direktnom kontrolom printera. Osim toga, uz ovaj softver automatski dolazi *PuraSlicer*, koji je korišten za *slicing* modela i nudi mogućnost obavljanja *slice-anja* jednim klikom, i *Cura*, prethodno spomenuti softver za *slicing*. Međutim, u ovom radu je uz *Repetier-Host* korištena i

zasebna verzija *PursaSlicer-a* jer nudi veću kontrolu nad printom. *Repetier-Host* uživo pokazuje tijek printanja i broj sloja koji trenutno obrađuje. Nudi opcije pauze i nastavka ili potpunog zaustavljanja printanja. Prije početka printanja staklenu radnu površinu printera je potrebno pripremiti uklanjanjem nečistoća visokopostotnim alkoholom i očistiti stvrdnute naslage filameta žiletom ili skalpelom. Prije slanja datoteke potrebno je provjeriti temperature mlaznice i radne površine. Ukoliko printanje počne s nedovoljno vrućom mlaznicom filament se neće rastaliti i mlaznica će se začepiti nakon čega je potrebno pokrenuti program samočišćenja. Ako je radna površina nedovoljno topla filament se na njoj neće zadržati, tj. uhvatiti će se za vruću mlaznicu koja će ga onda pomicati po radnoj površini i uništiti print kao što je prikazano na slici 35. Ako su temperature zadovoljavajuće, na radnu površinu se nanosi sloj ljepila u *sticku* i može se početi s printom. Na slici 34 se vidi glava pisača. Ona prima filament iz role i polaže ga na ugrijanu radnu površinu zadanom obliku. Proces se ponavlja sloj po sloj dok se ne dobije gotov proizvod.



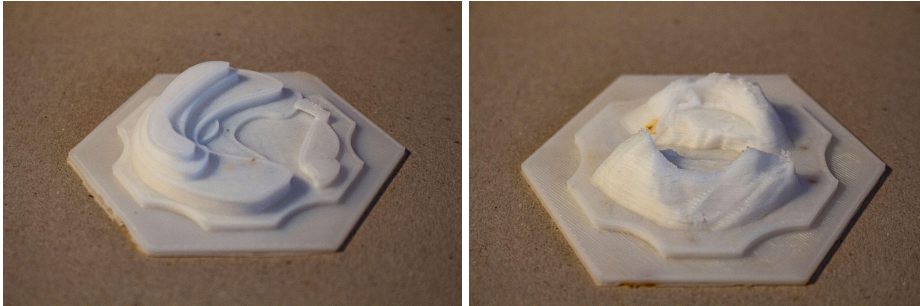
slika 33 (lijevo) - 3D printer DaVinci 1.0 s rolom filameta na vrhu.

slika 34 (sredina) - prikaz radne površine printera i glave na kojoj se nalazi mlaznica koja trenutno nanosi slojeve filameta na bazu pločice igre

slika 35 (desno) - rezultat nedovoljno vruće radne površine, filament je zgužvan i stvrdnut

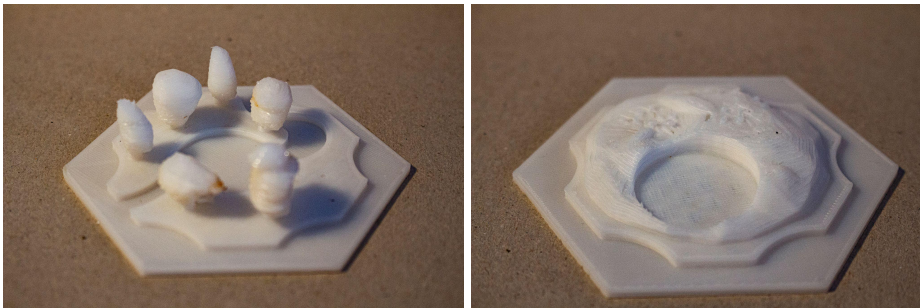
Nakon isprintanog modela preporuča se pričekati ~10 minuta kako bi se radna površina ohladila i otpustila filament.

5. Rezultati i rasprava



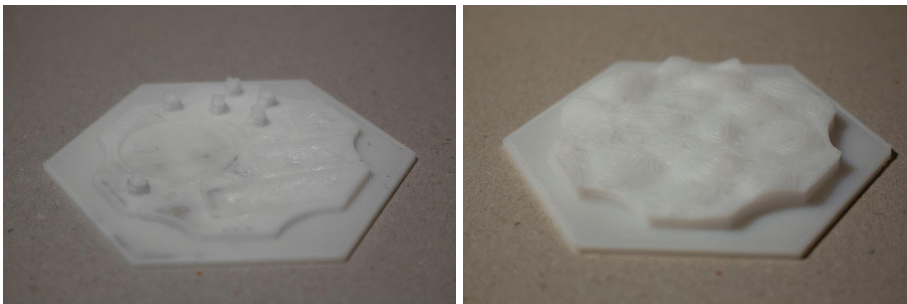
slika 36 (lijevo) - pločica koja predstavlja goru

slika 37 (desno) - pločica koja predstavlja planinu



slika 38 (lijevo) - pločica koja predstavlja šumu

slika 39 (desno) - pločica koja predstavlja pašnjak



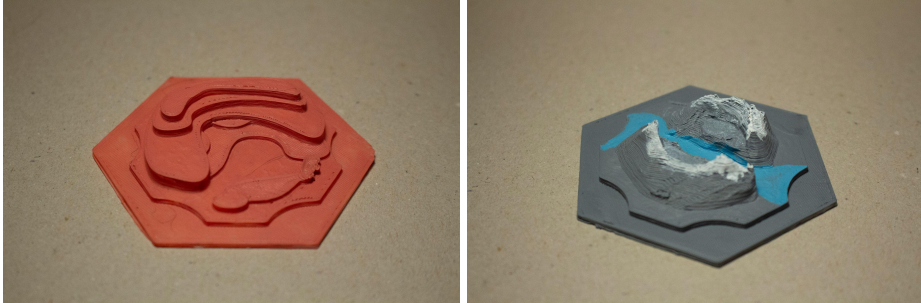
slika 40 (lijevo) - pločica koja predstavlja njivu

slika 41 (desno) - pločica koja predstavlja pustinju

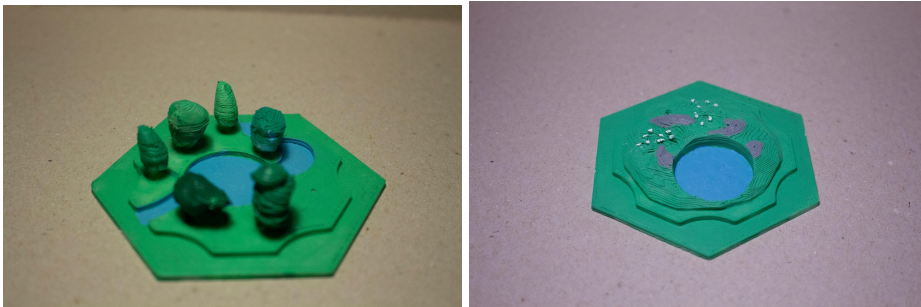
Kao što se vidi na slikama 36-41, dobivene su pločice srednje visoke vjernosti originalnom modelu. Osim zatamnjenja nekih dijelova uslijed visoke temperature mlaznice nema velikih mana. Stabla kod šume vjerojatno su nerealističniji dio ispisa. Ovakve krošnje je vrlo teško dobiti na ovim

dimenzijama i s ovom vrstom printera (*FDM*) zbog debla koje ne daje dovoljnu potporu krošnji i mekano je pa se savija tokom ispisa.

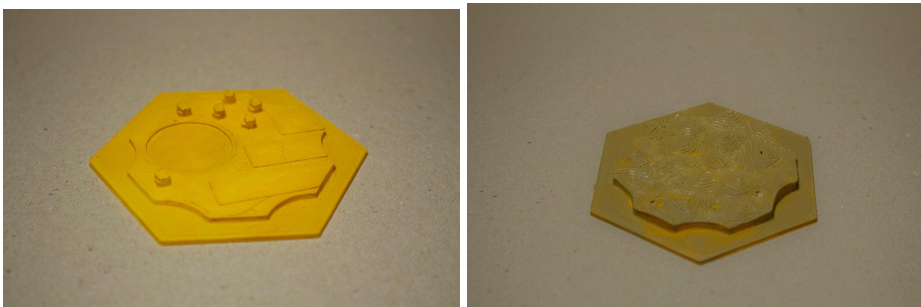
Nakon ispisa pločice su obojene akrilnim bojama a rezultati su vidljivi na slikama 42-47.



slika 42 (lijevo) - obojana pločica koja predstavlja goru
slika 43 (desno) - obojana pločica koja predstavlja pustinju



slika 44 (lijevo) - obojana pločica koja predstavlja šumu
slika 45 (desno) - obojana pločica koja predstavlja pašnjak



slika 46 (lijevo) - obojana pločica koja predstavlja njivu
slika 47 (desno) - obojana pločica koja predstavlja pustinju

Nakon ispisane igre odigrane su po jedna runda *Catan*-a s dvije grupe po 4iskusna igrača koristeći ploču. Nakon odigrane runde postavljena su 2 pitanja:

- I. *Smatrate li da je iskustvo igranja Naseljenika otoka Catan podignuto korištenjem personaliziranih 3D isprintanim dijelova ploče?*
- II. *Biste li se sami okušali u personalizaciji neke društvene igre pomoću 3D printera?*

U prvoj grupi je troje od četvero članova smatralo kako je personalizirana igra podigla iskustvo. Jedan član koji se nije složio je rekao kako jednostavno ne vidi razliku u igri u praksi osim što izgleda drugačije. Članovi prve grupe su se složili kako prostor između uzvišenih dijelova ploče pomažu pri držanju figura i žetona na svom mjestu. Figure se više ne mogu lako srušiti bacanjem kocke. Na pitanje bi li sami probali personalizirati igru trodimenzionalnim printanjem članovi prve grupe su bili podvojeni. Jedan član je rekao da misli kako se personalizacijom igre može stvoriti novi doživljaj, a drugi se složio i dodao kako bi se volio okušati u ovome, ako išta, da proba 3D printanje. Jedan koji je odgovorio “da” na prvo pitanje tvrdi da je personalizacija igre previše posla i da se ne isplati. Član koji ne smatra da je iskustvo podignuto smatra je koncept personalizacije igara zanimljiv ali ipak odgovara sa “ne” na pitanje bi li sam probao. Druga grupa je jednoglasno rekla “da” na prvo pitanje. Tijekom igre su pitali mnoga pitanja o 3D printanju i imali pohvale i kritike na račun izgleda ploče, a na pitanje bi li se sami okušali u 3D printanju odgovorili su većinski “da”, osim jednog člana koji tvrdi da nema vremena personalizirati svoje igre. Jedan od članova je rekao kako je već napravio nešto slično ovome: korištenjem laserskog rezača drveta je napravio kompletnu igru *Catan*. Rezultati pokazuju da personalizacija igre 3D printanjem velikoj većini podiže iskustvo igranja i da bi većina, iako u ne puno većem broju, pokušala koristiti 3D printer za personalizaciju. Ovime su potvrđene obe postavljene hipoteze:

- I. Kombinacijom 3D ispisa i grafičkog dizajna može se uzdignuti doživljaj igranja društvenih igara i uranjanje u iskustvo na viši nivo.
- II. Uvođenjem 3D ispisa omogućena je personalizacija društvenih igara.

Nadalje, prolaskom kroz proces personalizacije društvene igre zaključeno je kako bi se neke stvari u eksperimentalnom dijelu mogle drugačije napraviti. Na primjer, umjesto bojanja čitavih pločica u glavnu boju mogu se koristiti filamenti različitih boja a akrilom obojati detalje. Također bi možda bolje bilo koristiti printer koji funkcionira na bazi smole jer su rezultati puno čišći i točniji.

6. Zaključak

S ciljem istraživanja mogućnosti personalizacije društvenih igara pomoću 3D printanja, ovaj rad je dokazao dvije hipoteze: “Kombinacijom 3D ispisa i grafičkog dizajna može se uzdignuti doživljaj igranja društvenih igara i uranjanje u iskustvo na viši nivo” i “Uvođenjem 3D ispisa omogućena je personalizacija društvenih igara.” Teorijski dio rada pokazao je koliko široku primjenu ima aditivna proizvodnja u raznim industrijama: od građevine gdje se ogromni strojevi montiraju na gradilišta kako bi lijevali cement kod *contour crafting* tehnika do biomedicine gdje se principi aditivne proizvodnje koriste za izradu organa i kod izrade proteza. 3D printanje omogućilo je poduzećima i industrijskim dizajnerima izradu brzih, vjernih prototipa kako bi svoju ideju mogli vidjeti uživo i od relativno nepoznate i ezoterične metode postalo pristupačno i sveprisutno. Eksperimentalni dio rada dokazao je da prilagodbom igre svojim interesima i potrebama dostignut novi nivo imerzije u igru. Osim toga, ukazano je na razinu dostupnosti 3D printanja i relativnu lakoću korištenja opreme čime je dokazano da je 3D printanje učinkovit način personalizacije igre. Daljnjim razvojem tehnologije 3D printanje će postati sve dostupnije i lakše za korištenje, stoga će buduće generacije personalizirati ne samo društvene igre, već bilo koji predmet koji svakodnevno koriste.

Literatura

- [1]. - B. Berman (2012), *3-D printing: The new industrial revolution*, *Business Horizons*, 55, 155-162
- [2]. - T. Ngo, A. Kashani, G. Imbalzano, K. Nguyen, D. Hui (2018), *Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges*, *Composites Part B: Engineering*, 143, 172-196
- [3]. - M. Leinster (1945), *Things Pass By, Thrilling Wonder Stories*, ljeta 1945, 11
- [4]. - J. Horvath (2014), *Mastering 3D Printing*, 3-10
- [5]. - R. Sheng (2022), *3D Printing: A Revolutionary Process for Industry Applications*, *Woodhead Publishing*
- [6]. - MX3D (2021), *A Smarter Bridge*, dostupno na: <https://mx3d.com/industries/design/smart-bridge/>, pristupljeno 1. rujna 2023. godine
- [7]. - S.Vanderploeg, S. Lee, M. Mamp (2016), *The application of 3D printing technology in the fashion industry*, *International Journal of Fashion Design, Technology and Education*, 10, 170-179
- [8]. - Team Catan (2023), *About Catan*, dostupno na: <https://www.catan.com/catan>, pristupljeno 12. kolovoza 2023.

- [9]. - Ž. Pintar (2010), *Igrali smo: Catan*, dostupno na: <https://igranje.hr/igrali-smo-naseljenici-otoka-catan/>, pristupljeno 12. kolovoza 2023.
- [10]. - K. Kranjc, M. Tota (2015), *Almanah: Detaljna objašnjenja pravila i primjeri u igri (treće hrvatsko izdanje)*, Igraljubi d.o.o.
- [11]. - 3DPrinting.com, *Software For 3D Printing*, dostupno na: <https://3dprinting.com/software/>, pristupljeno 1.9.2023.
- [12]. - T. Dahl (2012), *3-D Design for Idiots: An Interview With Tinkercad Founder Kai Backman*, Wired Magazine, dostupno na: <https://www.wired.com/2012/06/interview-with-tinkercad-founder-kai-backman/>, pristupljeno 1.9.2023.
- [13]. - R. McNeel (2023), *Rhino-Features*, Rhinoceros, dostupno na: <https://www.rhino3d.com/features/>, pristupljeno 2.9.2023.
- [14]. - Dassault Systèmes (2023), *Why Choose SOLIDWORKS 3D CAD?*, dostupno na: <https://www.solidworks.com/product/solidworks-3d-cad>, pristupljeno 2.9.2023.
- [15]. - B. Evans (2012), *Practical 3D Printers: The Science and Art of 3D Printing*, Apress
- [16]. - A. Locker (2023), *Top 20: Best 3D Printer Slicer Software (Most Are Free)*, All3DP, dostupno na: <https://all3dp.com/1/best-3d-slicer-software-3d-printer/>, pristupljeno 4.9.2023.
- [17]. - M. Mensley (2023), *The Best 3D Printers in 2023 - Buyer's Guide*, All3DP, dostupno na:

<https://all3dp.com/1/best-3d-printer-reviews-top-3d-printers-home-3-d-printer-3d/>, pristupljeno 4.9.2023.

[18]. - Repetier Software (2023), *Features*, dostupno na:

<https://www.repetier.com/>, pristupljeno 4.9.2023.

Popis slika

1. - Dijagram koji prikazuje princip *FDM* vrste 3D printanja:

<https://www.custompartnet.com/wu/fused-deposition-modeling>

2 - Dijagram koji prikazuje princip *inkjet* vrste 3D printanja:

<https://www.custompartnet.com/wu/ink-jet-printing>

3. - Dijagram koji prikazuje princip *SLS* vrste 3D printanja:

<https://www.custompartnet.com/wu/selective-laser-sintering>

4 - Dijagram koji prikazuje princip stereolitografije:

<https://www.custompartnet.com/wu/stereolithography>

5 - Prvi 3D printer na svijetu:

<https://3dprint.com/72171/first-3d-printer-chuck-hull/>

6 - *RepRap Mendel* printer:

<https://reprap.org/wiki/File:Reprappro-Mendel.jpg>

7 - *Form 1*, *SLA* printer financiran na *Kickstarter-u*:

<https://www.plastics-technology.com/articles/formlabs-printer-revolution-in-3d-printing-worlds>

8 - *Stratasys F123*, industrijski 3D printer:

<https://emag.directindustry.com/2020/05/06/manufacturers-now-see-3d-printing-as-a-staple-part-of-the-industrial-production-floor-stratasys/>

9 - Dentalne krunice dobivene 3D printanjem:

<https://www.youtube.com/watch?v=IPqDIDsoUVM>

10 - Nožna proteza izrađena 3D printerom:

<https://www.forbes.com/sites/tjmccue/2014/08/31/3d-printed-prosthetics/>

11 - *Contour crafting* tehnika:

<https://www.sculpteo.com/blog/2018/06/27/3d-printing-for-construction-what-is-contour-crafting/>

12 - Isprintani most u Amsterdamu:

<https://www.dezeen.com/2021/07/19/mx3d-3d-printed-bridge-stainless-steel-amsterdam/>

13 - *Nike Vapor Laser Talon*:

<https://www.dezeen.com/2013/03/04/nike-vapor-laser-talon-3d-printed-football-boot-studs-by-nike/>

14 - Janka isprintana *PolyJet* tehnologijom:

<https://www.stratasys.com/en/resources/blog/direct-to-textile-3d-printing/>

15 - postavljena igra *Catan-a*:

https://www.researchgate.net/figure/Catan-The-base-version-of-Klaus-Teubers-tabletop-game-Image-c-Catan-GmbH_fig1_334632229

16 - Slike pojedinačnih pločica:

K. Teuber (2015), *Naseljenici otoka Catan*, Igraljub

17 - Slika igre *Catan-a* izbliza:

<https://www.shutterstock.com/image-photo/russiasaintpetersburg-3010-board-game-party-my-1548657425>

18 - Nacrt za pločice napravljen u *Adobe Illustratoru*

19 - Screenshot *Tinkercad-a*:

<https://i.materialise.com/fr/3d-design-tools/tinkercad>

120 - Screenshot *SketchUp-a*:

<https://agilicity.com/autocad-to-sketchup/>

21 - Screenshot baze pločice u *Blender-u* - autorska slika

22 - Screenshot alata za skulpturiranje u *Blender-u* - autorska slika

23 - 28 - Gotovi modeli - autorska slika

29 - *3D-Print Toolbox* alat u *Blender-u* - autorska slika

30 - *PursaSlicer* nakon primanja datoteke - autorska slika

31 - *PursaSlicer* nudi ispravak modela - autorska slika

32 - *PursaSlicer* nakon *slicinga* - autorska slika

33 - 3D printer *DaVinci 1.0* s rolom filamenta na vrhu - autorska slika

34 - Glava printera i radna površina - autorska slika

35 - Uništen filament zbog nedovoljno visoke temperature radne površine - autorska slika

36 - 41 - Fotografije isprintanih pločica prije bojanja akrilom - autorske slike

42 - 47 - Fotografije isprintanih pločica obojenih akrilom - autorske slike