

Primjena 3D tehnologija u izuzimanju i identifikaciji tragova obuće

Bašić, Andrej

Master's thesis / Diplomski rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Split, University Department for Forensic Sciences / Sveučilište u Splitu, Sveučilišni odjel za forenzične znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:227:942889>

Rights / Prava: [Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International/Imenovanje-Nekomercijalno-Bez prerada 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-05**

SVEUČILIŠTE
U
SPLITU



SVEUČILIŠNI
ODJEL ZA
FORENZIČNE
ZNANOSTI

Repository / Repozitorij:

[Repository of University Department for Forensic Sciences](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



SVEUČILIŠTE U SPLITU
SVEUČILIŠNI ODJEL ZA FORENZIČNE ZNANOSTI

ISTRAŽIVANJE MJESTA DOGAĐAJA

DIPLOMSKI RAD

PRIMJENA 3D TEHNOLOGIJA U IZUZIMANJU I
IDENTIFIKACIJI TRAGOVA OBUĆE

ANDREJ BAŠIĆ

Split, studeni 2021.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
SVEUČILIŠNI ODJEL ZA FORENZIČNE ZNANOSTI
ISTRAŽIVANJE MJESTA DOGAĐAJA

DIPLOMSKI RAD

PRIMJENA 3D TEHNOLOGIJA U IZUZIMANJU I
IDENTIFIKACIJI TRAGOVA OBUĆE

MENTOR: izv. prof. dr. sc. TONI PERKOVIĆ
KOMENTOR: SLOBODAN MARENDIĆ, dipl. crim.

ANDREJ BAŠIĆ
475/2019

Split, studeni 2021.

Rad je izrađen u Laboratoriju za istraživanje mjesta događaja na Sveučilišnom odjelu za forenzične znanosti nakon obuke u PU sektoru kriminalističke policije pod nadzorom mentora i komentora u vremenskom razdoblju od 20. srpnja 2021. do 9. studenog 2021.

Datum predaje diplomskog rada: _____

Datum prihvaćanja rada: _____

Datum usmenog polaganja: _____

Povjerenstvo: 1. _____

2. _____

3. _____

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. FORENZIČNA OBRADA TRAGOVA	2
1.2. VRSTE TRAGOVA	5
1.3. TRAGOVI OTISAKA I UTISAKA	9
1.3.1. PRONALAZENJE I EVIDENTIRANJE TRAGOVA UTISAKA I OTISAKA POTPLATA	9
1.3.2. METODE IZAZIVANJA I IZUZIMANJA PLOŠNIH (DVODIMENZIONALNIH) TRAGOVA POTPLATA	12
1.3.2.1. IZUZIMANJE TRAGOVA ELEKTROSTATIČKIM PODIZAČEM	14
1.3.2.2. IZUZIMANJE TRAGOVA ŽELATINOZNO FOLIJOM	17
1.3.2.3. IZUZIMANJE TRAGOVA SILIKONOM	19
1.3.2.4. IZAZIVANJE TRAGOVA PRAŠKOVIMA	19
1.3.2.5. IZAZIVANJE I IZUZIMANJE TRAGOVA FOTOGRAFSKIM POJAČAVANJEM OTISKA	19
1.3.2.6. IZAZIVANJE I IZUZIMANJE TRAGOVA KEMIJSKIM METODAMA POJAČAVANJA	19
1.3.3. METODE IZUZIMANJA UTISAKA (RELJEFNIH) TRAGOVA POTPLATA	20
1.3.4. ANALIZA TRAGOVA POTPLATA KONVENCIONALNIM METODAMA IZUZIMANJA UTISAKA	24
1.4. NEKONVENCIONALNE METODE IZUZIMANJA UTISAKA (RELJEFNIH) TRAGOVA POTPLATA – 3D SKENIRANJE I FOTOGRAMetriJA	26
1.4.1. KORACI U PRIMJENI ADITIVNE PROIZVODNJE – OD IDEJE DO 3D ISPISA	28
1.4.2. 3D SKENIRANJE	30
1.4.2.1. KONTAKTNI SKENERI	30
1.4.2.2. BESKONTAKTNI SKENERI	31
1.4.2.2.1. BESKONTAKTNI AKTIVNI UREĐAJI	31
1.4.2.2.2. BESKONTAKTNI AKTIVNI SKENERI	32
1.4.2.2.2.1. 3D SKENERI SA STRUKTURIRANIM SVJETLOM	32
1.4.2.2.3. BESKONTAKTNI PASIVNI SKENERI	34
1.4.2.2.3.1. STEREOSKOPSKI SUSTAVI	34
1.4.2.2.3.2. SUSTAV SILUETE	34
1.4.2.2.3.3. MODELIRANJE BAZIRANO NA SLICI	35
1.4.2.2.3.4. FOTOGRAMetriJA	35
1.4.3. 3D PRINTANJE - TALOŽNO OČVRŠĆIVANJE MATERIJALA	37
1.4.3.1. FDM/FFF - MATERIJALI ZA 3D ISPIS	40
2. CILJ RADA	43

3. MATERIJALI I METODE	44
4. REZULTATI	45
4.1. POSTUPAK MULAŽIRANJA	45
4.1.1. MULAŽIRANJE UTISKA U VLAŽNOJ ZEMLJI	45
4.1.2. MULAŽIRANJE UTISKA U SUHOJ ZEMLJI	48
4.2. FOTOGRAMetriJA	53
4.3. 3D SKENIRANJE	61
4.4. 3D PRINTANJE	73
4.4.1. 3D ISPIS MODELA DOBIVENOG POSTUPKOM 3D SKENIRANJA	73
5. RASPRAVA	80
6. ZAKLJUČCI	82
7. LITERATURA	83
SAŽETAK	86
ŽIVOTOPIS	88

1. UVOD

Tragovi obuće jedni su od češćih tragova na mjestu događaja. Oni mogu biti iznimno važni u otkrivanju počinitelja kaznenoga djela te je njihovo pravilno prikupljanje, dokumentiranje i analiza ponekad presudno u analizi mjesta događaja. Tragovi obuće mogu se pronaći na različitim površinama, i to glatkim poput podova ili pak specifičnijim (blato, snijeg, zemlja). Prikupljanje tragova obuće, ovisit će dakle i o vrsti podloge pri čemu je u određenim vremenskim uvjetima (npr. utisak u blatu po kišnome vremenu) nužno brzo djelovati i pronaći pravi način prikupljanja. Najrasprostranjenija tehnika prikupljanja utisaka je ona mulažiranja, no ovisno o uvjetima moguće je primijeniti i druge tehnike. S obzirom na napredak tehnologije, u ovome slučaju 3D skeniranja i printanja, i u metodologiju prikupljanja utisaka potrebno je uvesti nove metode koje će omogućiti brže, sigurnije i preciznije prikupljanje traga, uz maksimalno očuvanje integriteta traga.

Stoga će u ovome istraživanju biti dan pregled dosadašnjih metodologija prikupljanja tragova utisaka potplata, s posebnim osvrtom na klasične i moderne te njihove prednosti i nedostatke, a potom provesti i istraživanje koje će na jednome primjeru pokazati koje su prednosti i nedostaci klasičnih tehnika u odnosu na moderne i obratno, s posebnim naglaskom na trajanje i jednostavnost izvedbe svakoga pojedinoga postupka.

Opisat će se tako vrste tragova s posebnim osvrtom na tragove utiska i otisaka, njihovo pronalaženje, evidentiranje, izuzimanje. Objasnit će se metode izuzimanja dvodimenzionalnih i trodimenzionalnih tragova te potom analiza tragova potplata konvencionalnim (mulažiranje) i nekonvencionalnim (3D skeniranje, fotogrametrija i 3D printanje taložnim očvršćivanjem materijala) metodama uz detaljnu razradu navedenih metoda.

Potom će se svaka od navedenih metoda provesti i eksperimentom uz mjerenje duljine trajanja pojedinoga postupka te će se prikazati dobiveni rezultati i kvaliteta izuzetoga traga. Raspraviti će se o najboljim metodama te prednostima i njihovim nedostacima te dati preporuke za budući rad u praksi ali i buduća znanstvena istraživanja iz ovoga područja.

Može se pretpostaviti da će klasične metode prikupljanja uzoraka biti brže i jednostavnije od modernih, a da će moderne metode biti manje destruktivne od klasičnih metoda te je stoga cilj ovoga rada istražiti navedene metode te preporučiti postupanje u budućnosti.

1.1. FORENZIČNA OBRADA TRAGOVA

Izraz *forenzika* dolazi od latinskog pridjeva *forensis* što ima značenje *pred forumom* odnosno *pred sudom* (1).

Enciklopedijsko značenje forenzičnih znanosti definirano je kao primjena znanosti u pravnim stvarima te prema tome svaka znanstvena disciplina ima potencijal postati dijelom forenzične znanosti. Forenzična znanost obuhvaća niz različitih znanstvenih disciplina, od kriminalistike, forenzične antropologije, forenzične (sudske) medicine, sudske genetike, forenzične odontologije, forenzične toksikologije, forenzične entomologije, forenzičnog inženjerstva, sudske balistike, forenzične fotografije, forenzičnog ispitivanja mehaničkih tragova, ispitivanja dokumenata i rukopisa te daktiloskopije. Svaka od navedenih disciplina razvija svoje znanstvene metode kojima se služi za rješavanje problema pravnih pitanja na području građanskog i kaznenog prava (2).

Jedan od osnovnih principa forenzične znanosti je individualizacija, odnosno može se reći da sam pojam individualizacije definira forenzičnu znanost jer individualizirati znači dokazati zajedničko podrijetlo (poveznicu) materijalnih dokaza s neospornim uzorcima. Ta individualizacija se temelji na podudaranju u morfološkim, biokemijskim, fizičkim, fizikalnim ali i genetskim značajkama pri usporedbi materijalnih dokaza s nespornim uzorcima. U slučaju istrage počinjenog kaznenog djela, individualizirati znači dokazati od koje osobe potječe pronađeni trag - vlakno, otisak prsta, otisak/utisak obuće, pronađena tjelesna tekućina/izlučevina i dr. Na temelju pronađenih tragova na mjestu događaja, primjenjujući neku od znanstvenih metoda u forenzici, potrebno je ustanoviti težinu podudaranja između dokaza i neospornog uzorka odnosno predočiti dokaz o njihovu zajedničkom podrijetlu izvedenom na osnovu rezultata istrage kao i znanja te iskustva sudskog vještaka (2).

Mjesto događaja na kojem je počinjeno neko kazneno djelo može biti prostor ili samo mjesto ili je u vezi s počinjenom kaznenom radnjom (3). Ono je ujedno i izvor raznovrsnih informacija koje vode ka odgovorima na pitanja o vrsti, motivu i okolnostima kaznenog djela kao i o samoj strukturi njegova tijeka događanja (4).

Tragovi pronađeni na mjestu događaja su oni tragovi koji pripadaju počinitelju kaznenog djela, oštećeniku, predmetu kojim je izvršeno kazneno djelo te oni tragovi koji su proizašli iz samog načina izvršenja kaznenog djela (3). Iznimno je važno prije obavljanja očevida osigurati mjesto događaja kako bi se ono zaštitilo i spriječila njegova kontaminacija. Sam

postupak osiguranja mjesta događaja uključuje cijeli spektar policijskih istražnih radnji koji obuhvaćaju ograničenje i zabranu kretanja, blokade, zadržavanje osoba, prikupljanje obavijesti, provjeru autentičnosti, osiguranje od vanjskih utjecaja i sl. kao i konstruktivne mjere i radnje s ciljem očuvanja tragova i traseološke situacije mjesta događaja počinjenog kaznenog djela (4).

Svaki materijal može postati materijalnim dokazom, a odluku o korištenju materijalnih tragova prikupljenih u postupku kriminalističke obrade mjesta događaja donose kriminalistički službenici, operativni djelatnici i kriminalistički tehničari. O njima ovisi odluka koji materijalni tragovi će se izuzimati s mjesta događaja i koji od njih će se proslijediti na analizu u forenzični laboratorij (5).

Materijalni ili fizički tragovi mogu se podijeliti u četiri osnovna oblika: prolazni ili kratkotrajni tragovi, tragovi osobita izgleda, uvjetni ili kondicijski tragovi i kontaktni tragovi (5).

Prolazni ili kratkotrajni trag je privremeni trag koji se lako može izmijeniti ili iščeznuti. Iz toga razloga potrebno je da osoba koja se prva zatekne na mjestu događaja propisno dokumentira i opiše takvu vrstu pronađenog traga. U kategoriju prolaznih tragova ubrajaju se miris, temperatura, otisci i utisci te mrlje (5).

Osobit izgled odnosno izgled tragova i predmeta je vrsta dokaznog materijala koja nastaje kao posljedica snažnog direktnog kontakta između osobe i predmeta ili između dva predmeta (5). Iako se ovoj vrsti materijalnog traga ne posvećuje tolika pozornost kao što je to slučaj s drugim tragovima, oni su iznimno važni kao dokazni materijal pri rekonstrukciji događaja, u postupku potvrđivanja ili osporavanja alibija osumnjičene osobe kao i pri povezivanju ili isključivanju drugih aktera ili predmeta u pojedinim događajima. Ova vrsta traga nalazi se u obliku otisaka, utisaka, brazdi, mrlja, lomova, rasporeda, položaja i izgleda tijela, putanje projektila i dr.

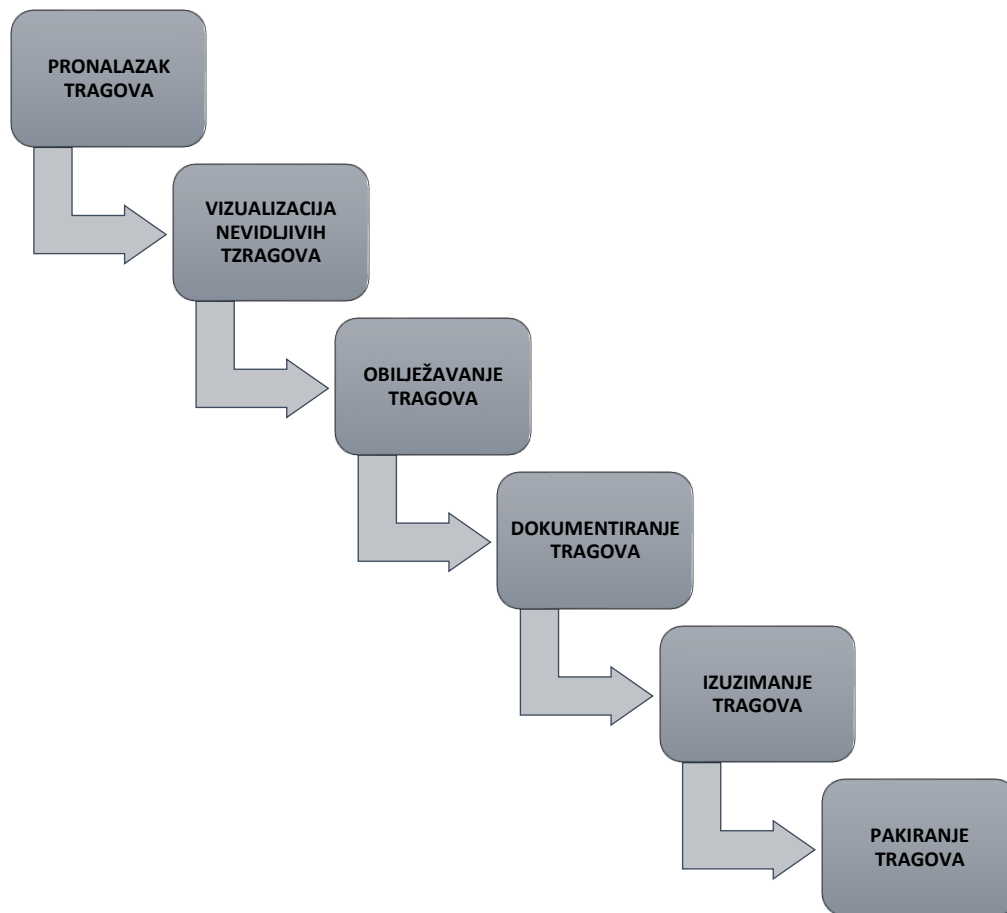
Uvjetni ili kondicionalni tragovi nastaju kao posljedica pojedinog događaja ili djelovanja te ih je potrebno pravovremeno temeljito opisati i evidentirati jer postoji mogućnost da dođe do njihove promijene ili gubitka (5). Takva vrsta tragova od velike je važnosti za rekonstrukciju mjesta događaja kao i za određivanje okolnosti koje su dovele do određenog kaznenog dijela (5). Uvjetni tragovi koji se uglavnom zatječu na mjestu događaja su na primjer svjetlo u prostoriji ili vozilu, dim, smjer i brzina širenje vatre, položaj žrtve i vozila te pripadajućih

komponenti, kao i stanje u kojem je vozilo pronađeno te stadij i stanje pronađenog tijela žrtve (5).

Kontaktne tragove može se definirati i kao klasičnu vrstu tragova koji nastaju fizičkim kontaktom između osobe, odnosno osoba i/ili predmeta. Prema pojedinim kriterijima ovu vrstu tragova može se kategorizirati u sedam najčešćih koncepcija: prema vrsti kaznenog djela (nasilja, provale, ubojstva, silovanja i dr.), prema vrsti materijala (metal, staklo, plastika i dr.), prema podrijetlu (fizički, kemijski, biološki), prema agregatnom stanju (kruti, tekući i plinoviti), prema pitanjima na koje treba odgovoriti (hoće li se pronađeni trag koristiti pri rekonstrukciji događaja za povezivanje sudionika s mjestom počinjenja kaznenog djela te njegov utjecaj na oslobađanje ili isključivanje osumnjičenog), prema načinu nastanka (međusobna povezanost pronađenog traga s osumnjičenim osobama i okolinom s obzirom na kazneno djelo) i prema vrsti traga (oruđa, oružja, papilarnih linija, pneumatika, tjelesnih tekućina, vlakana, dlaka, krvi, zemlje, prašine, videosnimki i dr.) (5).

Materijalni tragovi pri postupku izuzimanja moraju se primjereno zaštititi i dokumentirati. Od iznimne je važnosti da se pri postupanju s tragovima pronađenim na mjestu događaja pridržava jasno propisanih pravila. Pravila su definirana za sve postupke očevida, počevši od samog pronalaska tragova, načina obilježavanja, njihova dokumentiranja u izvornom obliku, izuzimanja, postupaka pri pakiranju, rukovanju te očuvanju pa sve do krajnjeg postupka vještačenja (4). Samo oni tragovi kod kojih su se pri postupku izuzimanja poštovala i pridržavale propisane procedure bit će prihvaćeni kao dokazni materijal, Slika 1. (4). Izuzeti materijalni trag na temelju kojeg se može donijeti presuda, postaje valjani dokaz za sud vještačenjem s neospornim uzorkom koji obavlja stručnjak iz određenog polja znanosti, upućivanjem na vještačenje u obliku pisanog naloga na temelju kojeg vještak provodi ispitivanja te daje svoj stručni nalaz koje se zasniva na rezultatima dokazivih i iskušanih metoda i postupaka, kad se pisani nalaz i mišljenje vještaka dostavi tijelu koje je izdalo nalog za vještačenje kao i nadležnom sudu te ako su se slijedila i poštovala propisana pravila rukovanja s materijalnim tragovima (4).

U ovom radu prikazat će se presjek klasičnih metoda izuzimanja tragova utiska s modernim metodama te će se na osnovu provedenih eksperimenata donijeti zaključci o njihovim prednostima i nedostacima.



Slika 1. Postupanje s tragovima (4).

1.2. VRSTE TRAGOVA

Locardov princip ili načelo razmjene glasi, „*Svaki kontakt ostavlja trag*“ (5). Prema ovom načelu koje ujedno predstavlja i temelj forenzičnih znanosti, pri svakom kontaktu između subjekta i/ili objekta dolazi do prijenosa tvari i energije ili oboje. Otkrivanjem i prikupljanjem tragova s mjesta događaja, koje se odvija u dinamičkoj fazi očevida, te njihovim tumačenjem bavi se posebna grana kriminalistike koja se zove traseologija (2). Prilikom provođenja očevida i izuzimanja tragova s mjesta događaja potrebno je imati u vidu neponovljivost tragova kao i samog mjesta gdje se dogodila neka kriminalna aktivnost. Iz tog razloga nužno je svako mjesto događaja tretirati zasebno, odnosno izbjegavati njegovu šablonsku obradu jer nikakvi naknadni postupci ne mogu ispraviti pogrešno izuzimanje tragova (4). Izuzimanje i pohrana tragova s mjesta događaja u ovisnosti je o vrsti počinjenog kaznenog dijela te se razlikuje i redoslijed postupanja s tragovima. Stoga se najprije tretiraju tragovi koji su po

svojoj prirodi najosjetljiviji i skloni vremenskom utjecaju koji može dovesti do njihova gubitka ili promjene. Bitno je da se prilikom postupka izuzimanja svaki trag poprati odgovarajućom dokumentacijom koja obuhvaća pisane ili audio bilješke, fotografije ili video snimke te skice (4).

Trag izuzet s mjesta događaja u svojstvu dokaznog materijala može uključivati grupna i individualna obilježja te iz tog razloga biti i osnova za identifikaciju, individualizaciju i rekonstrukciju nekog događaja. Da bi se neki pronađeni trag ili materijalna promjena smatrala kriminalističkim tragom nužno je da oni budu u uzročno posljedičnoj vezi s počinjenim kaznenim djelom ili nekim drugim događajem čije bi se razjašnjavanje vezalo uz kriminalističko tehničke poslove (2). Razne su kategorizacije tragova no one najznačajnije za forenzični pristup identifikacije mogu se podijeliti u četiri osnovne skupine, prema podrijetlu, prema načinu nastanka, prema prirodi nastanka i prema značaju traga za razrješavanje kaznenog dijela (5).

Tragovi prema podrijetlu dijele se na kemijske, fizikalne i biološke tragove unutar kojih se dalje dijele na tragove ljudskog, životinjskog i biljnog odnosno mineralnog podrijetla (4). U Tablici 1. prikazana je podjela bioloških tragova prema podrijetlu nastanka (6 - 9).

Tablica 1. Vrste bioloških tragova prema podrijetlu nastanka (prilagođeno prema (6 - 9)).

Tragovi ljudskog podrijetla	Tragovi životinjskog podrijetla	Tragovi biljnog i mineralnog podrijetla
<ul style="list-style-type: none"> • Krv • Kosa • Dlaka • Sperma • Slina • Znoj • Urin i/ili felkalije • Kost • Mišići • Epitelne stanice • Nokti 	<ul style="list-style-type: none"> • Dlaka • Perje • Krljušt • Krv • Tkivo • Zubi • Kukci • Ličinke • Larve 	<ul style="list-style-type: none"> • Sjeme • Pelud • Biljna vlakna • Plod • Lišće • Trava • Grančice

Tablica 2. prikazuje fizikalne, kemijske i druge tragove koji spadaju u kategoriju bioloških tragova i mogu se pronaći na mjestu događaja te na osumnjičenom odnosno žrtvi kaznenog djela (6 - 9).

Tablica 2. Vrste fizikalnih, kemijskih i ostalih tragovi prema podrijetlu nastanka (prilagođeno prema (6 - 9)).

Fizikalni tragovi	Kemijski tragovi	Ostali tragovi
<ul style="list-style-type: none">• Otisci prstiju• Otisci stopala• Otisci potplata• Otisci uha• Otisci usana• Tragovi kandži• Tragovi ugriza	<ul style="list-style-type: none">• Vlakna• Staklo• Zemlja• Minerali• Droge• Metali• Kemikalije• Barut	<ul style="list-style-type: none">• Glas• Poligraf• Marka odjeće• Fotografije• Snimke• Video snimke• Crteži• Rukopis• Potpis

Prema načinu nastanka tragovi se dijele na one nastale pod utjecajem sile, tragove predmeta i tragove materijala. Ovi tragovi zasnivaju se na uvjetima nastanka kontaktnog traga te njihovoj povezanosti s počinjenjem kaznenog djela te su idealni za stvaranje pretpostavke na temelju koje se može napraviti rekonstrukcija događaja (4). U Tablici 3. prikazana je skupina tragova prema načinu nastanka (6 - 9).

Tablica 3. Tragovi prema načinu nastanka (prilagođeno prema (6 - 9)).

Tragovi nastali pod utjecajem sile	Tragovi predmeta	Tragovi materijala
<ul style="list-style-type: none"> • Tragovi električnog udara • Tragovi na staklu • Tragovi požara • Tragovi eksplozije 	<ul style="list-style-type: none"> • Tragovi vatrenog oružja • Tragovi hladnog oružja • Tragovi oruđa • Tragovi vozila • Tragovi obuće 	<ul style="list-style-type: none"> • Tragovi metala • Tragovi boja • Tragovi prašine • Tragovi zemlje • Tragovi otrova • Tragovi opojnih i narkotičnih sredstava • Tragovi zapaljivih sredstava • Tragovi eksploziva • Tragovi građevinskog materijala • Materijalni tragovi nepoznatog podrijetla

Prema prirodi postojećeg stanja tragovi se dijele na makrotragove i mikrotragove odnosno na vidljive i nevidljive (latentne) tragove (8).

Kod podijele tragova prema značaju za rješavanje kaznenog djela ili prema pitanjima na koja treba odgovoriti može se primijeniti osam zlatnih pravila (8):

- Tragovi koji ukazuju na postojanje kaznenog djela
- Tragovi koji ukazuju na način izvršenja kaznenog djela
- Tragovi koji ukazuju na sredstva s kojima je izvršeno kazneno djelo
- Tragovi koji ukazuju na vrijeme počinjenja kaznenog djela
- Tragovi koji ukazuju na mjesto počinjenja kaznenog djela
- Tragovi koji ukazuju na identitet počinitelja kaznenog djela
- Tragovi koji ukazuju na identitet oštećenika u počinjenom kaznenom djelu
- Tragovi koji ukazuju na motiv počinjenog kaznenog djela.

1.3. TRAGOVI OTISAKA I UTISAKA

Izuzevši daktiloskopske tragove, tragovi otisaka i utisaka ispituju se u okviru mehanoskopskih vještačenja. Oni nastaju kontaktom jednog objekta o površinu drugog pri čemu dolazi do prijenosa prepoznatljivog uzorka na temelju kojega se mogu vršiti analize utvrđivanja grupnih karakteristika i pojedinačnih obilježja (9).

U tragove koji nastaju mehanizmom prijenosa na podlogu spadaju tragovi stopala, potplata obuće, pneumatika vozila, zuba i tragovi dijelova tijela kao što su koljeno, usnice, uho i dr. Metoda izuzimanja navedenih tragova slična je metodi izuzimanja otisaka prstiju (daktiloskopiji) dok se metoda koja analizira papilarne linije stopala pronađenih tragova zove pedoskopija (8).

Nužno je razlikovati tragove otisaka od tragova utisaka. Tragovi otiska su plošni (dvodimenzionalni) tragovi koji nastaju prijenosom nekog medija kao što su zemlja, blato, krv, masnoća i sl. na čvrstu glatku površinu. Ovi se tragovi uglavnom nalaze unutar prostorije, a rijetko ih se može pronaći i na otvorenome. Takvi tragovi mogu biti vidljivi ili nevidljivi te se uporabom određenih tehnika mogu izazvati u vidljivo stanje (9). Neki od takvih uobičajenih tragova koji se mogu pronaći na mjestu događaja su otisak zakrvavljene tkanine ili rukavica na čvrstoj podlozi i otiska potplata obuće na prozorskoj klupici ili vratima (9).

Za razliku od otiska, utisak je reljefni trodimenzionalni trag koji nastaje utiskivanjem objekta uz djelovanje sile u mekanu površinu medija kao što je snijeg, blato, zemlja i pijesak (9). Takav trag, za primjer, nastaje utiskivanjem automobilskih pneumatika, obuće, oruđa i sl. u prethodno navedene medije nakon čega ostaje detaljna trodimenzionalna slika u obliku negativa.

1.3.1. PRONALAZENJE I EVIDENTIRANJE TRAGOVA UTISAKA I OTISAKA POTPLATA

Tragovi potplata obuće na mjestu događaja u većini slučajeva pronalaze se na površini tla i kao takvi su iznimno podložni promjeni i kontaminaciji, Slika 2. (10, 11). Kako bi se spriječila njihova kontaminacija i slučajno uništavanje od velike je važnosti po dolasku na mjesto događaja započeti s dinamičkim dijelom očevida (10). Ovaj dio očevida obuhvaća detaljno proučavanje i izuzimanje spornih tragova te se njihovim pravilnim tumačenjem mogu

dobiti potrebni podaci o broju osoba, načinu i smjeru kretanja kao i informacije o tragovima nošenja ili vuči teških predmeta koji su pronađeni na mjestu događaja (9).



Slika 2. Tragovi potplata obuće na različitim površinama (11).

Za razliku od trodimenzionalnih tragova, vidljivost dvodimenzionalnih (plošnih) tragova je lošija jer se najčešće radi o tragovima koji su nastali prijenosom čestica prašine s potplata na tvrdi ravnu površinu. Kako bi se povećala uočljivost takvih tragova potrebno je koristiti izvor jakog bijelog svjetla uz mogućnost povećanja širine njegova snopa dok bi se za tragove unutar prostorije trebala poduzeti dodatna radnja zamračenja iste jer dnevno, a i umjetno svjetlo otežavaju pronalazak tragova. Iznimka su dvodimenzionalni tragovi nastali prijenosom medija na površinu kao što su krv ili blato (10).

Pronađene tragove potrebno je pravilno označiti, fotografirati i dokumentirati prije izuzimanja. Svaki sporni trag otiska ili utiska pronađen na mjestu događaja potrebno je označiti jedinstvenim brojem radi lakšeg prepoznavanja i praćenja tijekom daljnjih postupaka te položiti mjernu traku u ravnini s tragom, Slika 3. (9 - 11). Fotografiranje spornog traga je najosnovniji način njegova osiguranja od mogućeg gubitka. Kod postupka fotografiranja potrebno je napraviti više makro i mikro snimaka, fotografije šireg područja mjesta događaja (situacijska snimka), neposredne lokacije (bliža snimka) i spornog traga (10). Najveću pažnju treba usmjeriti na rubove otiska koji su bitni za određivanje grupnih i individualnih karakteristika (9).



Slika 3. Označeni sporni trag pronađen na mjestu događaja (11).

Nakon što su sporni tragovi označeni te fotografirani slijedi njihovo izuzimanje odnosno prikupljanje s mjesta događaja. Svaka vrsta traga potplata ima svoju metodu izuzimanja koja je najprimjerenija za trenutno stanje u ovisnosti o podlozi na kojoj je trag pronađen (blato, zemlja, snijeg, pijesak, tkanina, pločice i dr.) kao i o materijalu koji tvori sam trag (blato, prašina, krv i dr.) (9, 10). Za razliku od metode fotografiranja koja je nedestruktivna metoda evidentiranja traga, sam postupak izuzimanja je destruktivan te ujedno i neponovljiv (10). Iz tog se razloga kod postupka izuzimanja mora striktno pridržavati propisanih pravila za svaku

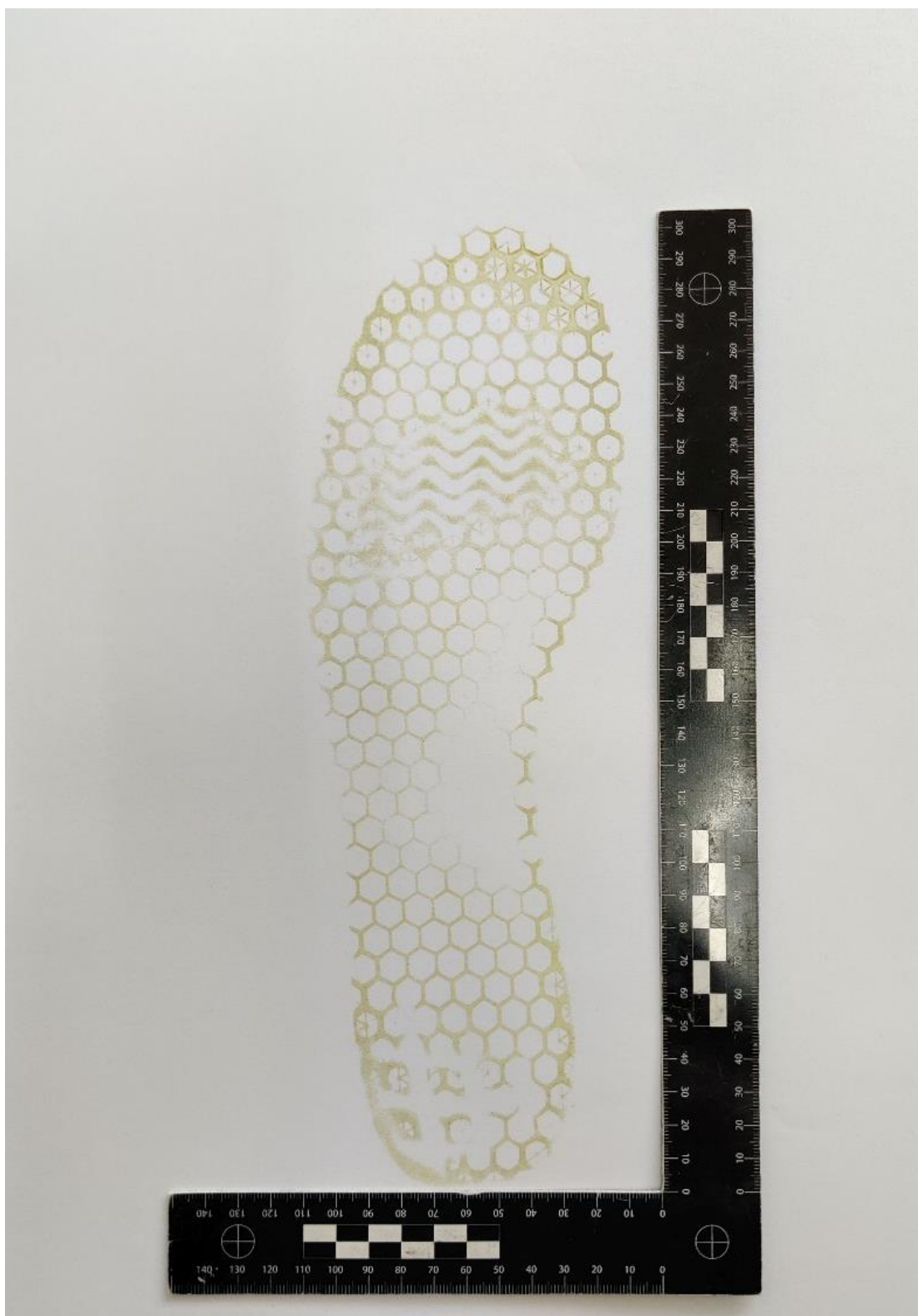
od metoda. Tragovi potplata pronađeni na predmetu koji je dovoljno malen da se može u cijelosti transportirati (tkanina, papir i dr.), potrebno je izuzeti i pakirati u komadu kako bi se sačuvala karakteristika otiska (9). Ako se radi o tragu potplata koji je pronađen na površini predmeta koji fizički nije prenosiv u cijelosti, potrebno je trag izrezati tako da se obuhvati što veća površina materijala na kojem je trag pronađen te ga takvog izuzeti i primjereno pakirati (10). Nekoliko je metoda koje se primjenjuju za postupak izuzimanja ovisno o podlozi i prirodi pronađenog traga (9).

1.3.2. METODE IZAZIVANJA I IZUZIMANJA PLOŠNIH (DVODIMENZIONALNIH) TRAGOVA POTPLATA

Većinom se plošni odnosno dvodimenzionalni tragovi, nastali prijenosom čestica, nalaze na tvrdim neprenosivim površinama te ih je potrebno nekom od metoda izuzeti s podloge i prenijeti na prenosivu podlogu bez oštećenja. Slika 4. prikazuje set za izuzimanje nespornog otiska potplata koji se sastoji od podloge za izuzimanje u kojoj se nalazi tinta za preslik otiska i kutnog mjerila, dok Slika 5. prikazuje izuzeti nesporni otisak.



Slika 4. Set za izuzimanje nespornog otiska potplata obuće (izvor: autor).



Slika 5. Izuzeti nesporni otisak potplata (izvor: autor).

Nekoliko je metoda za izuzimanje spornog otiska potplata od kojih prve dvije imaju najučestaliju primjenu:

- Elektrostatičkim podizačem
- Želatinoznom folijom
- Silikonom
- Praškovima
- Fotografskim pojačavanjem otiska
- Kemijskim metodama pojačavanja.

1.3.2.1. IZUZIMANJE TRAGOVA ELEKTROSTATIČKIM PODIZAČEM

Izuzimanje elektrostatičkim podizačem je najčešće korištena metoda za izuzimanje spornih otisaka sa svih glatkih površina pa i tiskovine (časopisa, kartona, novina, omotnica i sl.), a ujedno i jedina metoda kojom je moguće izuzimati tragove s tkanine (jastučnica, plahti, odjeće i sl.) (9, 10). Ova metoda nalazi svoju primjenu pri izuzimanju tragova s većih površina kod kojih se zbog karakteristične površine tragovi ne mogu opaziti vizualnim pregledom uz pomoć svjetiljke (10). Za elektrostatsko izuzimanje tragova koristi se elektrostatski podizač i folija, koja je za razliku od želatinozne folije dosta tanja, nije ljepljiva, s jedne strane je presvučena crnom bojom, a s druge strane tankim slojem aluminijskog filma, Slika 6. (9).



Slika 6. Set za izuzimanje otiska elektrostatičkim podizačem (izvor: autor).

Postupak izuzimanja je sljedeći:

Prije provođenja postupka potrebno je dokumentirati i fotografirati otisak koji se planira izuzeti na elektrostatsku foliju te se pažljivo uklone nečistoće koje bi mogle kontaminirati trag (10). Crna strana folije postavi se cijelom dužinom preko otiska dok se metalna pločica koja služi za uzemljenje postavi na udaljenosti približno 2 cm od ruba otiska (9, 10). Instrument se jednom stranom koja sadrži dvije elektrode položi na metalnu pločicu, a drugom se stranom koja sadrži jednu elektrodu položi na foliju koja pokriva otisak (10). Ako se otisak nalazi na metalnoj podlozi potrebno je iz sigurnosti postaviti gumenu podlogu ili

neki drugi izolacijski materijal ispod metalne pločice za uzemljenje kako se ne bi izazvao kratki spoj (10). Uključivanjem naprave zatvara se strujni krug i nakon intervala u trajanju od 5 do 15 sekundi dolazi do prijenosa otiska na foliju (9, 10). Valjkom za izuzimanje otisaka prolazi se cijelom dužinom folije kako bi se istisnuli zarobljeni mjehurići zraka (9, 10). Po isključivanju instrumenta potrebno je pričekati dodatnih 20-tak sekundi prije dodirivanja folije budući je u tom periodu ona još uvijek pod naponom, Slika 7. (10). Pažljivo uklonjena folija s izuzetim tragom pakira se u papirnatu preklopnu mapu ili još bolje u plitku kartonsku kutiju, koja se ljepljivom trakom zalijepi za njeno dno i poklopi (10). Ako na stražnjoj strani folije nisu ispisani podaci o vrsti kaznenog dijela, datumu izuzimanja, broju pronađenog traga, imenu oštećenika te potpis kriminalističkog tehničara, oni se ispisuju na preklopnu mapu ili poklopac kutije u koju je izuzeti trag spremljen (10).



Slika 7. Faze izuzimanja otiska elektrostatskim podizačem i izuzeti trag (izvor: autor).

1.3.2.2. IZUZIMANJE TRAGOVA ŽELATINOZNOU FOLIJOM

Ova metoda izuzimanja tragova primjenjuje se onda kada ne postoji mogućnost da se pronađeni trag izuzme elektrostatičkim podizačem (9). Tada se koriste želatinozne ili ljepljive folije koje su idealne za izuzimanje tragova otiska s tvrdih i ravnih površina kao i onih tragova koji su nastali prijenosom krvi na pologu, Slika 8. Dok se za razliku od metode elektrostatičkim podizačem ova metoda ne može primijeniti za izuzimanje tragova pronađenih na tkanini, svoju primjenu može pronaći kod izuzimanja otisaka s vlažnih ili mokrih površina (9). Želatinozne folije mogu biti prozirne, bijele i crne a tvore ih tri sloja od kojih prvi gumirani sloj služi kao nosač, drugi je želatinozna masa kojom se izuzima sporni otisak te prozirna folija koja služi za zaštitu izuzetog spornog traga u želatinoznoj masi (10). Najidealnija želatinozna folija za izuzimanje tragova otiska je ona crne boje jer su kod nje najizraženiji detalji otiska i najuočljivije individualne karakteristike profila (10).



Slika 8. Pakiranje sa želatinoznom folijom za izuzimanje traga otiska (izvor: autor).

Postupak izuzimanja je sljedeći:

Prije izuzimanja, trag je potrebno dokumentirati i fotografirati te ukloniti prisutno onečišćenje koje se nakupilo preko traga. Želatinozna masa se odvoji od zaštitne folije te se koristeći valjak položi tako da u potpunosti prekrije sporni trag (10). Tako nanosena folija ostavi se da odstoji nekoliko minuta prije nego se skine, a u međuvremenu se na njenu poleđinu upisuju podaci o vrsti kaznenog djela, datumu izuzimanja, broju pronađenog traga, imenu oštećenika kao i potpis kriminalističkog tehničara koji je trag izuzeo (10). Prije odljepljivanja želatinozne folije s podloge ista se fotografira sa svim upisanim podacima na poleđini, a

zatim se na nju vraća prozirna zaštitna folija i to na istu stranu s koje je prije bila odstranjena. Slika 9. prikazuje postupak izuzimanja otiska pomoću želatinozne folije u kombinaciji s daktiloskopskim prahom.



Slika 9. Postupak izuzimanja otiska želatinoznom folijom i izuzeti otisak potplata (izvor: autor).

Da bi se izbjeglo stvaranje mjehurića između zaštitne i želatinozne folije koristi se valjčić kako bi površine dobro nalegle jedna na drugu bez prisustva zračnih mjehurića između njih (10). U slučaju da je sporni trag onečišćen, što za rezultat ima slabu vidljivost izuzetog traga na želatinoznoj podlozi, potrebno je postupak ponoviti na dvije do tri želatinozne podloge te ih označiti pripadajućim rednim brojem i brojem izuzimanja (npr. Trag 3 – prvo izuzimanje) (10).

1.3.2.3. IZUZIMANJE TRAGOVA SILIKONOM

Ova metoda izuzimanja otiska s tvrde površine slična je metodi izuzimanja utiska. Tekućim silikonom prelije se otisak te se pusti da smjesa otvrdne nakon čega dolazi do preslikavanja otiska na površini smjese. Ovom se metodom izričito mogu izuzimati otisci s neporoznih površina (9).

1.3.2.4. IZAZIVANJE TRAGOVA PRAŠKOVIMA

U ovoj metodi radi se o izuzimanju otiska potplata pomoću daktiloskopskih praškova koji služe kao pojačivači u slučajevima tragova koje je ostavila mokra obuća na tvrdoj ulaštenoj podlozi (9, 10).

1.3.2.5. IZAZIVANJE I IZUZIMANJE TRAGOVA FOTOGRAFSKIM POJAČAVANJEM OTISKA

Nekoliko je metoda koje se mogu koristiti za izazivanje i tragova otiska ovom tehnikom koja je ujedno i nerazorna metoda izuzimanja (9):

- Korištenjem različitih filtera kojima se povećava kontrast otiska na podlozi
- Korištenjem različitih izvora svjetla za osvjetljavanje otiska na podlozi, kao što je IR svjetlo, UV svjetlo, polarizirano svjetlo, monokromatsko svjetlo koje se dobije kombinacijom nekonvencionalnih izvora svjetla uz određeni filter i kosim osvjetljavanjem otiska (9).

1.3.2.6. IZAZIVANJE I IZUZIMANJE TRAGOVA KEMIJSKIM METODAMA POJAČAVANJA

Ovom se metodom pomoću određenih reagensa izaziva otisak potplata na podlozi. Korištenjem određenih kemikalija kao što su jod, 8-hidroksikinolin, ninhidrin, amidno-crno, luminol i dr. dolazi do reakcije s određenim komponentama (mikro česticama) koje je potplat obuće prenio na površinu (9). Ukoliko otisak sadrži čestice Ca, Al, Mg i sl., korištenjem 8-hidroksikinolina dolazi do reakcije koja generira fluorescenciju vidljivu pod UV svjetlom. Korištenjem joda kao reagensa pri izazivanju traga dolazi do stvaranja vidljivog žutosmeđeg otiska ako trag sadrži čestice masnih kiselina ili uljastih tvari. Bitno je napomenuti da se trag nakon izazivanja jodom mora obavezno fiksirati kako ne bi došlo do njegova gubitka jer je jod izrazito hlapljiva tekućina (9). Neki od prije spomenutih reagensa koriste se za izazivanja

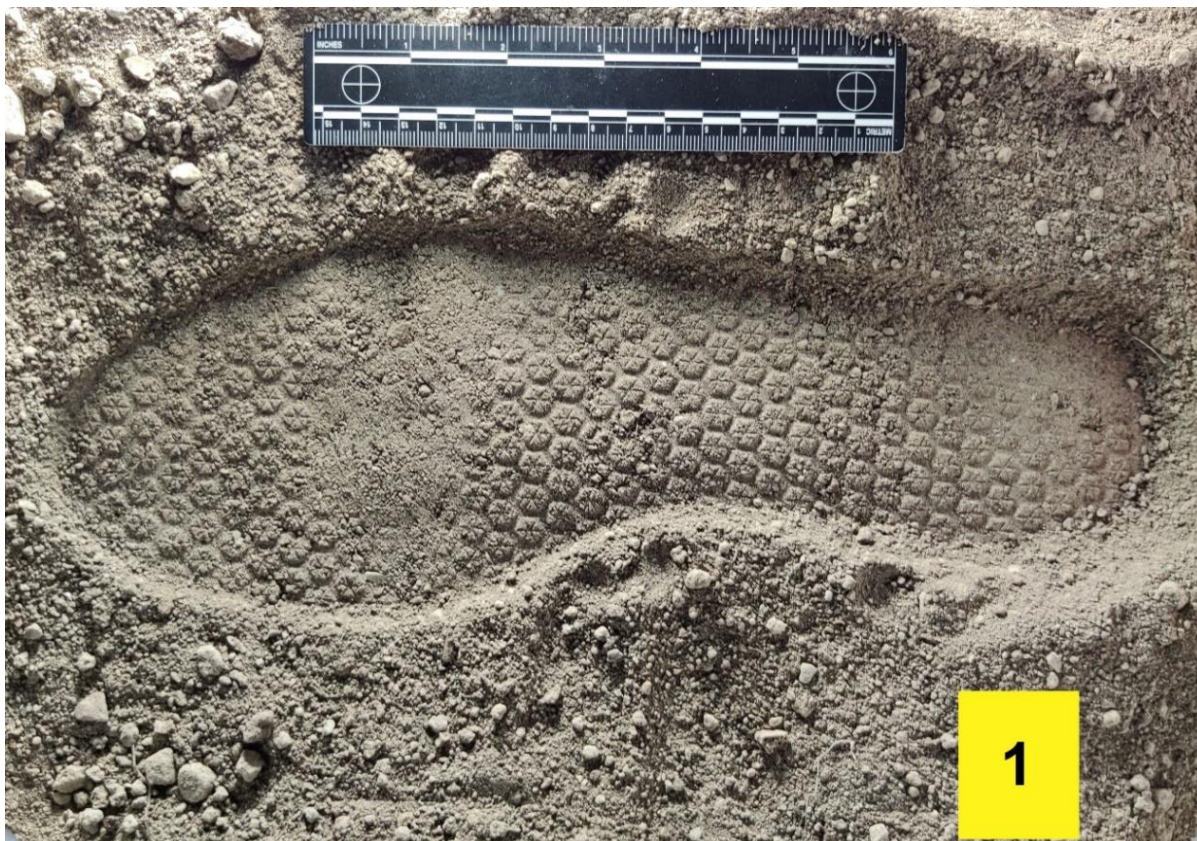
otisaka koji sadrže krv ili druge ljudske izlučevine. Tako za primjer korištenjem ninhidrina, otisak se oboji ljubičasto ako su prisutne određene ljudske aminokiseline i peptidi. Ako je prisutna krv u otisku, korištenjem amidno-crne, dolazi do njegova bojanja u tamnoplavu, a isto vrijedi i za korištenje luminola koji reagira s derivatima hemoglobina u krvi te otisak svijetli plavom bojom. Da bi trag postao vidljiv pri korištenju luminola kao reagensa potrebno je postupak obaviti u zamračenoj prostoriji (9).

1.3.3. METODE IZUZIMANJA UTISAKA (RELJEFNIH) TRAGOVA POTPLATA

Reljefni tragovi ne predstavljaju veći problem u pronalasku na mjestu događaja za razliku od otisaka, a nastaju utiskivanjem objekta kao što je npr. obuća, pneumatici ili alat u mekši medij uz djelovanje sile što za rezultat ostavlja detaljnu trodimenzionalnu sliku u vidu negativa. Dobivena preslika pronađenog traga daje podatke o grupnim karakteristikama koje mogu poslužiti za identifikaciju i za individualizaciju ako se kod izuzetog otiska preslikaju i neuobičajena obilježja potplata ili pneumatika (9).

Postupak izuzimanja reljefnih tragova (izrada odljevka) izvodi se tehnikom mulažiranja, a najčešće korišteni materijal je gips zbog svoje cijene i lake dostupnosti. Ovisno o vrsti podloge koriste se još i sumpor, parafin te vosak koji je idealan za izuzimanje reljefnih tragova u snijegu (10).

Prije postupka mulažiranja bilo da se radi o tragu utisnutom u suhu ili vlažnu zemlju, snijeg, blato ili pijesak, pronađeni trag se uvijek fotografira uz postavljenu pripadajuću brojčanu oznaku i mjernu traku te ga se na taj način trajno dokumentira u zatečenom stanju, Slika 10. (10).



Slika 10. Utisak evidentiran uz pripadajući broj i mjernu traku (izvor: autor).

Trag utisnut u vlažnu zemlju prije mulažiranja se ogradi pripadajućim okvirom koji može biti izveden od drvenih letvica, plastike ili tvrdog kartona, kako bi se spriječilo prelijevanje gipsa, te se iz njega odstrane sve nečistoće (kamenčići, grančice i sl.) koje bi mogle ostati zarobljene u odljevku. Zatim se trag popraska tankim slojem silikonskog ulja kako se zemlja ne bi zaljepila za podlogu te se naliže prvi sloj gipsa na visinu od približno 1 cm, koji se učvrsti drvenim štapićima, metalnom mrežicom ili nekim drugim adekvatnim materijalom koji će osigurati postojanost odljevka, te se preko toga prelije završni sloj gipsane mase koji je gušći od prvotne. Dok je odljevak još djelomično suh na njegovom gornjem dijelu upisuju se podaci o broju traga i vremenu kada je postupak izuzimanja izveden te se pakira u kartonsku ambalažu i ostavi idućih 24 do 48 sati da se potpuno osuši. Nakon što se odljevak u potpunosti osušio ispiru se pod mlazom vode uz pomoć četkice kako bi se odstranila sva zemlja zaostala na podlozi. Čist i suh odljevak je zatim spreman za vještačenje (10).

Opisani postupak mulažiranja jednak je i za tragove pronađene u blatu ili one utisnute u vodi s razlikom što se kod ovih potonjih višak vode iz traga odvaja pomoću spužve, pumpice, sisaljke ili drugim adekvatnim sredstvom pri tome pazeći da se ne unište bitne značajke traga (10).

Mulažiranje utisaka pronađenih u suhoj zemlji ili pijesku slično je prethodno opisanom. Prvo se trag fotografira, a zatim ogradi okvirom unutar kojeg će se izliti smjesa gipsa. Uklone se nečistoće (grančice, kamenčići i sl.), trag se fiksira učvršćivačem kojeg se raspršuje s veće visine u više prelaza da se ne bi poremetila njegova struktura. Sljedeći korak je prskanje traga silikonskim uljem koje sprječava materijal podloge (zemlja ili pijesak) da se zalijepi za gipsani odljevak. Na tako pripremljen trag nanosi se rijetka smjesa gipsa u visinu od približno 1 cm koja mora u potpunosti prekriti utisak. Na površinu nanesenog gipsa postavlja se armatura (drveni štapići, mrežica i sl.) koja daje potrebnu čvrstoću uzorka te se sve ponovno prelije još više razrijeđenom smjesom gipsa, Slika 11. (11). Daljnji koraci postupanja s odljevkom jednaki su onima prije opisanim u postupku mulažiranja traga na vlažnoj zemlji (10).



Slika 11. Postupak mulažiranja (11).

Izuzimanje tragova na mediju kao što je snijeg se bitno razlikuje od prije opisanih postupaka izuzimanja reljefnih tragova na zemlji, blatu i pijesku. Reljefni tragovi pronađenih u ovom mediju mogu se izuzeti pomoću gipsa, voska te uporabom daktiloskopskog praška i fotografiranjem (10). Ono što je uvijek zajedničko za sve postupke mulažiranja je fotografiranje traga uz pripadajući broj i mjernu traku radi njegova dokumentiranja.

Cijela površina traga se prekrije suhim gipsom koji se prosijava kroz fino sito koji se zatim popraska hladnom vodom nakon čega dolazi do skrutnjivanja nanesenog sloja gipsa (10). Nakon potpunog skrutnjivanja gipsa njegova se površina prelijeva gipsanom smjesom koja je razrijeđena hladnom vodom (uglavnom otopljeni snijeg, voda iz potoka i sl.), uz istodobno dodavanje armature (mrežica, štapići i sl.) kako bi se osigurala čvrstoća odljevka. Na površinu djelomično suhog odljevka upisuje se broj traga i datum te se takav pažljivo vadi, pakira i ostavlja sušiti na sobnoj temperaturi u vremenu od 24 do 48 sati nakon čega se primjereno obilježen i pakiran može poslati na vještačenje (10).

Kod mulažiranja traga u snijegu metodom korištenja voska bitno je da je vosak u spreju kako bi se izbjegla termička reakcija između ta dva medija. Vosak se raspršivanjem ravnomjerno nanese na površinu traga u tri do četiri tanka sloja pri čemu između svakog nanošenja treba pričekati od 1 do 2 minute. Važno je da udaljenost između podloge i spremnika s voskom bude dovoljna kako potisni plin iz spremnika ne bi uništio bitne značajke traga (10). Nakon što je nanesen i zadnji sloj voska potrebno je pričekati 10-tak minuta prije ulijevanja smjese gipsa kako bi se vosak stabilizirao. Trag se zatim fotografira i preko voska se nanosi smjesa gipsa razrijeđena hladnom vodom uz istodobno dodavanje armature. Kada se gips nakon 30-tak minuta u potpunosti stvrdne odljevak se može odvojiti od podloge i staviti na sušenje na sobnu temperaturu. Za razliku od prije spomenutih metoda kod metode mulažiranja voskom odljevak se nakon sušenja ne čisti (10). Bitna značajka ove metode mulažiranja je da se korištenjem voska dobije iznimna vidljivost u detaljima pronađenog traga.

Neovisno o strukturi snježne podloge izuzimanje reljefnih tragova u ovom mediju je iznimno teško s aspekta dobivanja odljevka visoke kvalitete u traženim detaljima nužnim za identifikaciju. Iz tog razloga, kako bi se povećala vidljivost traga i poboljšao kontrast u snijegu s karakteristikama bitnim za njegovo izuzimanje može se koristiti i tamniji daktiloskopski prašak (npr. aluminijski prašak) (10).

Postupak izuzimanja reljefnog traga započinje fotografiranjem istog uz pripadajuću mjernu traku i oznaku. Zatim se trešnjom daktiloskopske četkice, koja je prethodno uvaljana u daktiloskopski prašak, ravnomjerno nanosi na visini od nekoliko centimetara preko cijeloga traga. Postupak se ponavlja sve dok se površina u potpunosti ne prekrije tankim slojem daktiloskopskog praška pri čemu se dobije poboljšani kontrast reljefnog traga koji se zatim fotografira (10).

1.3.4. ANALIZA TRAGOVA POTPLATA KONVENCIONALNIM METODAMA IZUZIMANJA UTISAKA

Laboratorijska mikroskopska i makroskopska analiza tragova otisaka i utisaka omogućava utvrđivanje grupnih obilježja u koje spadaju veličina obuće, oblik, izgled, uzorak potplata i sl. te individualnih obilježja kao što su istrošenost potplata/materijala zbog načina korištenja, vidljivih oštećenja i ostalih nepravilnosti specifičnih za određenu vrstu obuće (10). Kod uspoređivanja grupnih i individualnih obilježja utiska potplata izuzetog jednom od prije spomenutih metoda bitno je imati na umu da se otvrdnjavanjem materijala za izradu odljevka uzorak steže (10).

Temeljem gore navedenih obilježja moguće je odrediti koja je vrsta obuće izazvala pronađeni trag te pretragom različitih baza podataka dobiti informacije o njegovu proizvođaču.

Nekoliko je takvih baza podataka korištenjem kojih se mogu dobiti potrebne informacije o vrsti tražene obuće:

- TreadMark™ je komercijalni proizvod kod kojeg se na temelju četiri parametra, uzorka potplata, veličine obuće, oštećenja i istrošenosti može identificirati pojedinačni otisak. Otisak odnosno utisak, izuzet jednom od prikladnih metoda, unosi se u analitički sustav u obliku digitalne fotografije visoke rezolucije s navedenim podacima nakon čega operater može mjeriti, analizirati te uspoređivati slike s mjesta događaja (12).
- SoleMate je komercijalna baza podataka koja sadrži podatke o proizvođaču obuće, datumu izlaska na tržište, sliku (eng. offset) otiska potplata kao i slikovne prikaze gornjeg dijela obuće za više od 12.000 sportskih, radnih i ležernih vrsta obuće. Ova se baza podataka svaka tri mjeseca nadopunjuje novim podacima. Jedno njeno ograničenje može predstavljati to što različiti proizvođači često znaju koristiti istu vrstu potplata što može otežati identifikaciju točne marke i modela obuće. Softver radi na principu povezivanja svih unesenih podataka tako da se može razmotriti sva obuća koja bi mogla odgovarati onoj pronađenoj na mjestu događaja (13).
- Hobbit Imaging Solutions sa svojim PRIDE sustavom je također komercijalna baza podataka otisaka obuće, u potpunosti automatizirana i temelji se na usporedbi slika te ne zahtjeva ručno označavanje bitnih značajki za razliku od drugih sličnih. Bitna značajka PRIDE-a je mogućnost stvaranja centralne baze podataka s referencama i

tragovima obuće te sprječava potrebu za stvaranjem lokalnih datoteka koje su sklone dupliciranju informacija (14).

- Everspry EverASM™ je softver za automatsko usklađivanje otisaka obuće s vlastitom bazom podataka EverSole™ koja sadrži podatke od oko 60.000 različitih modela i marki obuće s točnošću podudaranja od 80 %. Proces unosa podataka je jednostavan i sustav podržava različite formate slika otisaka (npr. fotografije, skenovi, EverOS™ - skener vanjskog potplata itd.). Sustav omogućuje unos, obradu, pretraživanje, povezivanje slučajeva i usporedbu otiska traga, a podržana je i obrada djelomičnih otisaka obuće. Povijest pretraživanja baze podataka automatski se sprema te je pristup ponovnom pretraživanju istog slučaja iznimno jednostavan (15).
- SICAR® (Shoeprint Image Capture and Retrieval Database) je softverski program koji služi za pretraživanje baze podataka koja se sastoji od nekoliko tisuća uzoraka otisaka obuće i gaznog sloja koje su dostavile proizvodne tvrtke, forenzični laboratoriji i agencije za provedbu zakona. Ovaj program omogućava pretraživanje baze podataka i sa slikama niske rezolucije, slikama snimljenim pod kutom ili onima na kojima su prisutni limitirani elementi dizajna, oblika ili logotipa obuće. Postupak kodiranja generira popis poznate vrste obuće i/ili guma sa sličnim karakteristikama koje se zatim mogu ispitati kako bi se utvrdio potencijalni izvor otiska (16).

1.4. NEKONVENCIONALNE METODE IZUZIMANJA UTISAKA (RELJEFNIH) TRAGOVA POTPLATA – 3D SKENIRANJE I FOTOGRAMetriJA

Na temelju provedenih istraživanja, pronalazak otiska/utiska potplata obuće na mjestu događaja obuhvaća ukupno 35 % od svih pronađenih tragova (17). Tragovi potplata obuće mogu upućivati na to je li osoba hodala ili trčala, je li nosila neki teški predmet kao i informaciju o poznavanju terena na kojem je osoba djelovala. Pronađeni tragovi također mogu dati fizičke informacije o osobi, poput njene visine, težine, problema s hodanjem kao i karakteristike hoda koji mogu poslužiti kao usporedni uzorci s obućom osumnjičenika (16). Lokacija pronalaska traga otisaka/utisaka na mjestu događaja također može pomoći u rekonstrukciji kaznenog dijela (17).

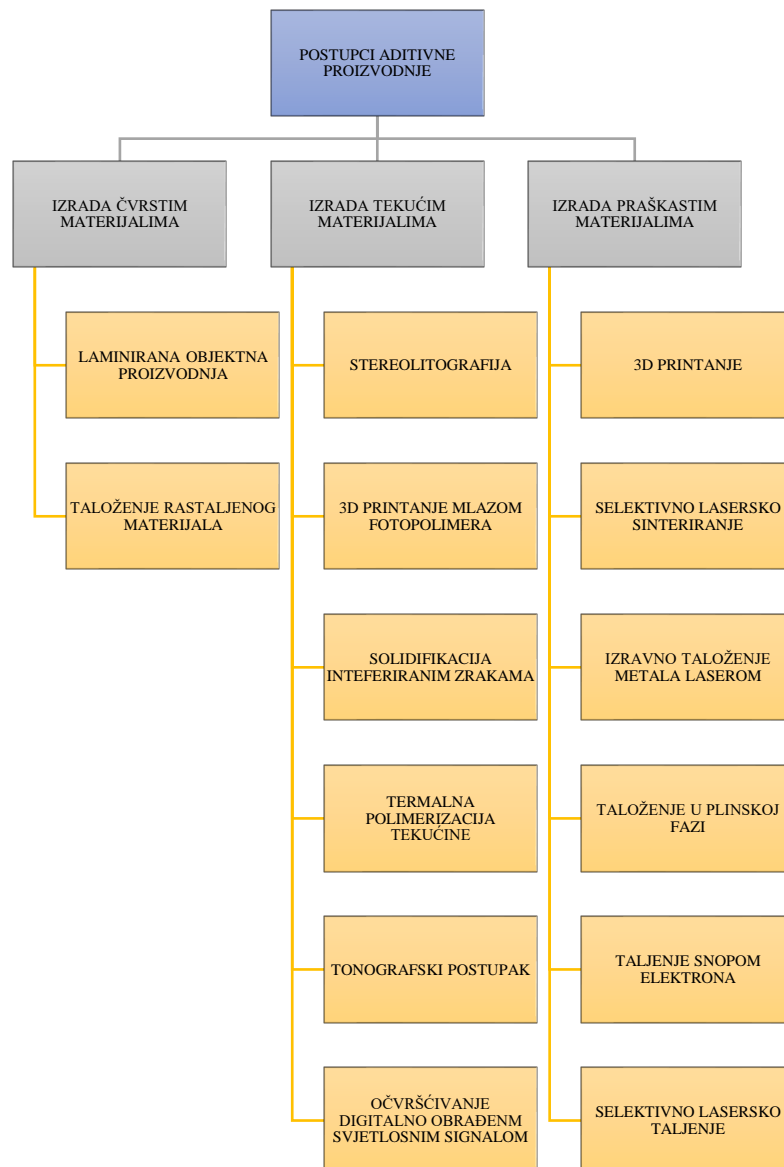
Metode evidentiranja tragova utiska potplata s mjesta događaja desetljećima su ostale nepromijenjene i uglavnom se temelje na njihovu fotografiranju (2D) ili izuzimanju lijevanjem gipsa (3D). Obje su tehnike obilježene nedostacima gdje za primjer fotografijom nije moguće dobiti podatke o dubini utiska, a proces lijevanja gipsa može biti dugotrajan s rizikom od neuspjeha; trajno se uništava trag i nema mogućnosti obuhvaćanja svih detalja traga (18). Zbog navedenih razloga, uporaba 3D skenera i aditivne tehnologije sve više pronalazi svoju primjenu u forenzičnoj znanosti kao dio jedne od znanstvenih metoda, koja objedinjuje prije spomenute, pod nazivom računalna forenzika.

Primjena aditivne tehnologije i 3D skeniranja pruža nekoliko potencijalnih prednosti naspram standardnih metoda: veću učinkovitost pri višestrukim preklapanjima utisaka obuće nakon obrade podataka prikupljenih skeniranjem, mogućnost segmentiranja slike kako bi se istaknule individualne karakteristike, izrada fizičkog 3D modela visoke rezolucije u detaljima kao i druge potencijalne prednosti zbog svoje nerazorne prirode (19).

Bez obzira na složenost modela, tehnologija aditivne proizvodnje omogućuje brzu izradu osnovnog modela u kratkom vremenu. Aditivna proizvodnja ili brza izrada prototipa definirana je kao automatizirani postupak izrade fizičkog 3D modela konstruiranog računalnim CAD (eng. Computer Aided Design - Oblikovanje s pomoću računala) programom za modeliranje ili pretvorbom trodimenzionalnog oblika nekog postojećeg objekta u digitalni oblik uporabom 3D skenera (20).

Nanošenjem dvodimenzionalnih slojeva materijala jednakih debljina, gdje svaki sloj predstavlja poprečni presjek 3D modela generiranog u nekom od CAD programa, dobije se

trodimenzionalni oblik modela stepenastog izgleda površine. Svaki nanese sloj definiran je određenom debljinom prema stvarnom fizičkom objektu te što su slojevi tanji i gušće položeni to je izradak sličniji originalnom modelu (20). Na tržištu je prisutan veliki broj različitih postupaka aditivne tehnologije koje obilježava jednostavnost korištenja kao i mogućnost izrade kompleksnih i zahtjevnih geometrijskih oblika. Postupci aditivne tehnologije najčešće se dijele prema materijalu koji se koristi za izradu gotovog modela no podjela je moguća i prema načinu oblikovanja sloja, obliku gotovog modela te prema izvoru energije (20). Na Slici 12. prikazana je podjela najčešće korištenih postupaka aditivne proizvodnje, no najviše riječi bit će posvećeno metodi taloženja rastaljenog materijala (eng. Fused Deposition Modeling - FDM) koja će se i primijeniti u ovom radu.



Slika 12. Postupci aditivne proizvodnje (prilagođeno prema (20)).

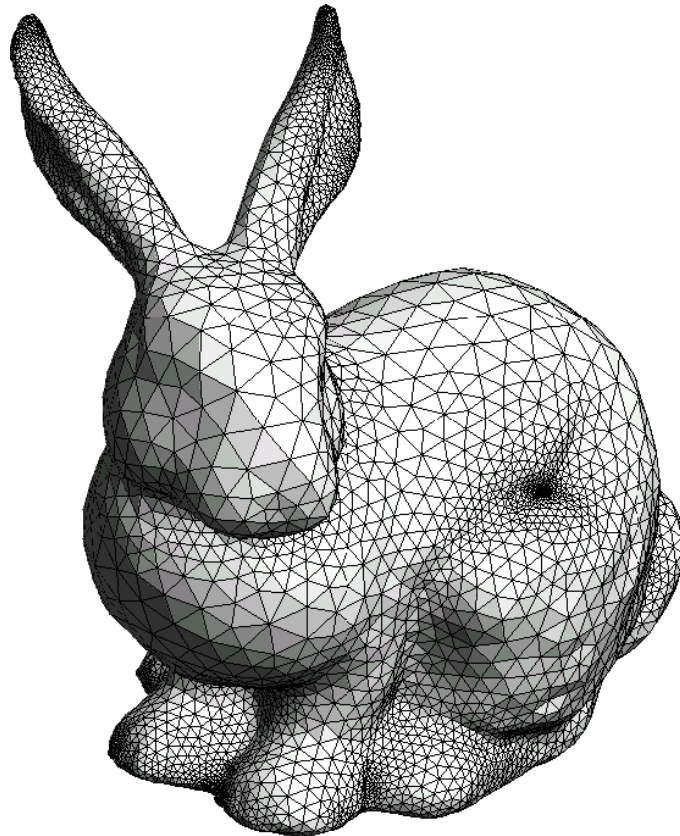
1.4.1. KORACI U PRIMJENI ADITIVNE PROIZVODNJE – OD IDEJE DO 3D ISPISA

Kod svih navedenih aditivnih postupaka osnovni redoslijed faza za dobivanje konačnog modela je jednak, Slika 13. (21).



Slika 13. Koraci u primjeni aditivne proizvodnje – od ideje do 3D ispisa (21).

Prvi korak je dizajniranje 3D modela do kojeg se može doći izravnim dizajnom u nekom od CAD programa ili putem reverzibilnog inženjerstva uz pomoć 3D skeniranja. Dizajnirani 3D model pohranjuje se u STL formatu (eng. StereoLithography – u prijevodu Stereolitografija, naziva se još i Standardni jezik trokuta ili Standardni jezik teselacije) koji pojednostavljuje opisanu geometriju razvijenog modela putem 3D CAD programa. STL datoteka predstavlja neobrađenu površinu modela s malim trokutima. Što je struktura složenija i detaljnija to će se više trokuta koristiti za predstavljanje modela. Svaki od tih trokuta definiran je s tri točke koje prikazuju njegove vrhove i orijentaciju unutar rešetke, Slika 14. (11). STL datoteka sadrži informacije koje opisuju samo geometriju modela no ne i specifikacije o teksturi, boji ili materijalu modela. S obzirom na vrstu programskog sustava, umjesto STL može se koristiti i AMF datoteka (eng. Additive manufacturing file format – u prijevodu Format datoteke aditivne proizvodnje) koja za razliku od STL datoteke može dati informacije o boji pojedinog trokuta u mreži kao i o boji određenog volumena, informacije o vrsti materijala, a ima i mogućnost oblikovanja zakrivljenih rubova trokuta koji pridonose boljoj aproksimaciji geometrije uz smanjenu količinu podataka održavajući jednaku razlučivost geometrije (20).



Slika 14. Rešetkasta geometrija objekta definirana trokutima unutar STL datoteke (11).

Tako pripremljena STL datoteka prebacuje se izravno kabelom ili putem USB memorijskog stika na 3D printer gdje softver uređaja, uz vizualni prikaz modela omogućuje korisniku i određenu manipulaciju postavkama kao što su položaj i orijentacija modela na radnoj ploči printera, optimizacija veličine modela, broj komada za ispis, debljina sloja koji se nanosi, brzina nanošenja sloja, vrsta materijala i sl. (20). Nakon što su svi potrebni parametri podešeni slijedi ispis modela na 3D printeru.

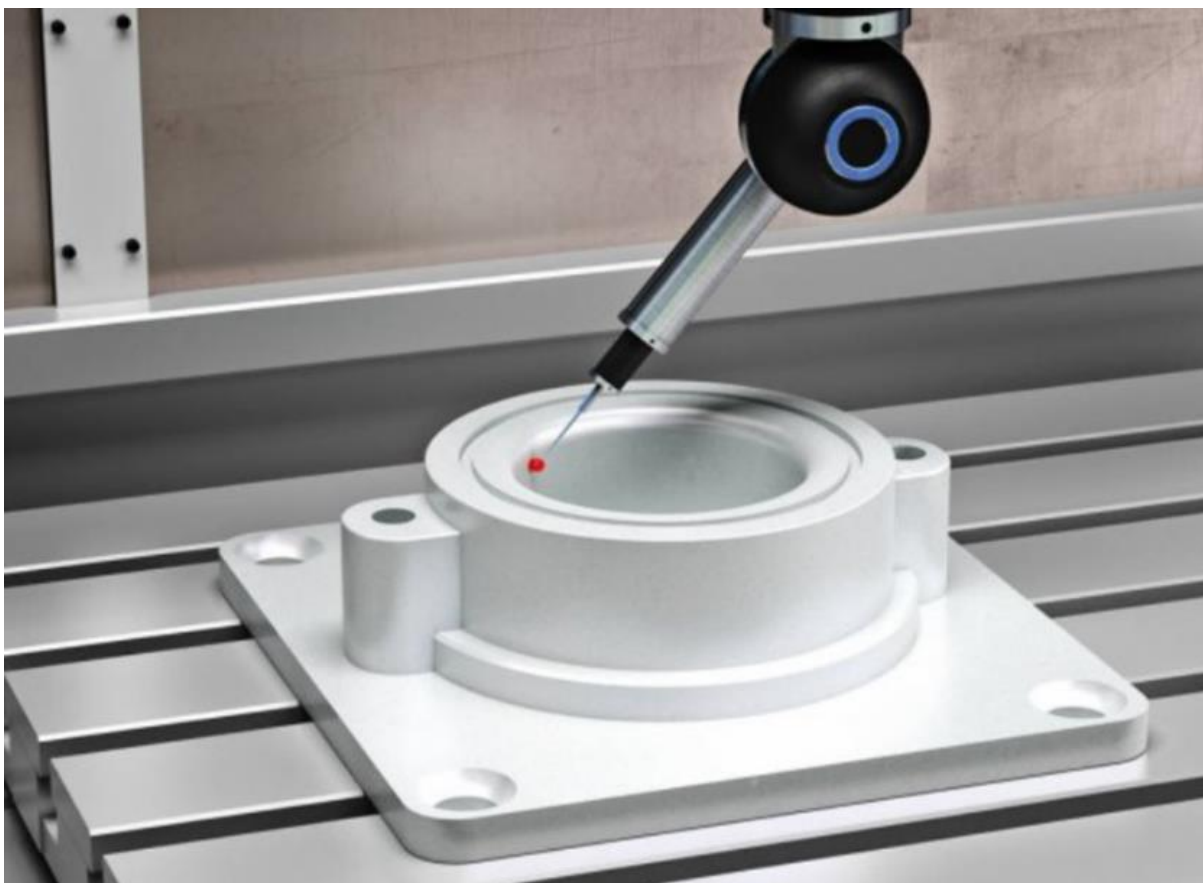
Slojevi materijala nanose se gotovo jednako na svim uređajima za 3D printanje, pomoću vertikalno prilagodljive platforme na kojoj se uzorak generira taloženjem materijala u slojevima, od dna prema vrhu modela. Po završetku ispisa 3D modela slijedi njegovo odvajanje od radne ploče i uklanjanje potpornog materijala nakon čega, ako je to potrebno, model treba dodatno obraditi brušenjem, poliranjem kao i zaštititi premazivanjem što uvelike ovisi o njegovoj krajnjoj uporabi. Nakon navedenih radnji ispisani 3D model je spreman za korištenje (20).

1.4.2. 3D SKENIRANJE

3D skeniranje predstavlja postupak analize objekta iz realnog svijeta s ciljem prikupljanja podataka o njegovu obliku i/ili izgledu (boji) na temelju kojih se stvara digitalni model tog objekta. Zahvaljujući ovom postupku svaki objekt može postati digitalni model što predstavlja idealnu osnovu za njegovu rekonstrukciju (reverzibilno inženjerstvo), analizu i simulaciju. 3D skener radi na principu video kamere s tom razlikom što video kamera stvara 2D zapise snimanog objekta, a skener bilježi geometrijske snimke (točke) površine objekta na temelju kojih se izrađuje njegov virtualni 3D model. U osnovi se 3D skeneri klasificiraju na kontaktne i beskontaktne skenere te će se o njima nešto više reći u idućim poglavljima.

1.4.2.1. KONTAKTNI SKENERI

Kontaktne skeneri (eng. Coordinate measuring machine - CMM) su uređaji postavljeni na fiksnu platformu koji s posebno konstruiranim ticalom (sondom) prikupljaju podatke o koordinatnim točkama modela pričvršćenog na podlogu kojom se sprječava njegovo pomicanje tijekom izvođenja postupka skeniranja, Slika 19 (21).



Slika 19. Kontaktno skeniranje (21).

Glavna prednost ovog postupka skeniranja je iznimna točnost u prikupljanju podataka no veliki nedostatak predstavlja potreban kontakt s površinom skeniranog objekta zbog kojeg može doći do njegova oštećenja, npr. prilikom skeniranja arheoloških spomenika (20).

1.4.2.2. BESKONTAKTNI SKENERI

Beskontaktni skeneri dijele se na aktivne skenere i uređaje te pasivne skenere, kod kojih za razliku od kontaktnih nema potrebe za fizičkim dodiranjem s površinom skeniranog objekta. Rezultat ovih tehnika skeniranja je oblak točaka koji predstavlja skup podatkovnih točaka u prostoru (eng. Cloud of points). Točke predstavljaju vanjsku površinu nekog 3D oblika ili objekta i pozicija svake točke ima svoj skup kartezijanskih koordinata, odnosno definirana je prostorno unutar koordinatnog sustava (X, Y, Z).

1.4.2.2.1. BESKONTAKTNI AKTIVNI UREĐAJI

Ovi uređaji rade na principu detektiranja određene vrste radijacije ili svjetlosti koja se odbija od površine objekta i na taj način određuju njegovu geometriju. S obzirom na vrstu zračenja aktivni beskontaktni uređaji dijele se na one koji rade na principu ultrazvuka, svjetlosti i rendgenskih zraka (20).

Neki od primjera beskontaktnih aktivnih uređaja su:

- Pulsni (eng. Time-of-flight - ToF) – rade na principu mjerenja vremena odaslane i reflektirane laserske zrake (točke) između senzora i površine objekta (22). Laserski daljinomjer detektira udaljenost svake točke zasebno u smjeru gledanja te je za prikupljanje potpune slike modela potrebno izdvojiti dosta vremena što ujedno predstavlja i nedostatak ove metode. Točnost ove metode uvelike ovisi i o preciznosti izmjerenog vremena refleksije od objekta do detektora. Maksimalna mjerna udaljenost kod ToF metode iznosi od 200 do 300 metara.
- Triangulacijski (eng. Triangulation) – rade na principu triangulacije između laserskog odašiljača, laserske točke i kamere. Za razliku od ToF-a a koji projicira lasersku točku, kod ovog se uređaja uz pomoć kamere hvata projicirani svjetlosni uzorak koji prelazi preko površine objekta. Taj svjetlosni uzorak može biti u obliku pruga, linije ili točke. Ovisno o površini (reljefu) objekta projicirani uzorak pojavljuje se na različitim dubinama koje kamera zatim bilježi i stvara njegovu digitalnu sliku (22).

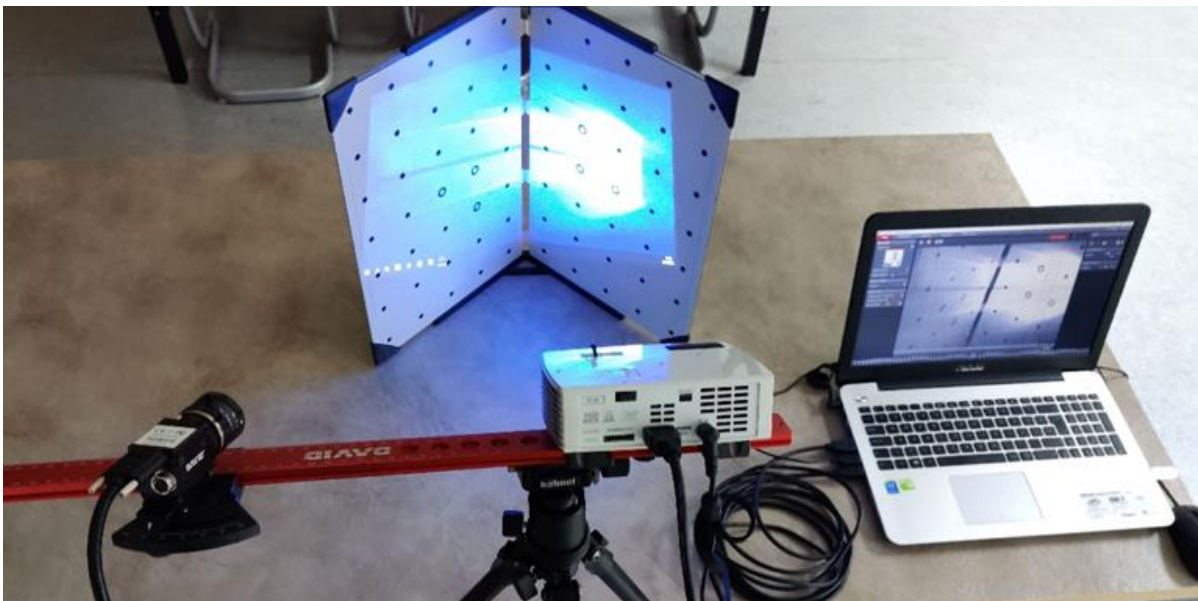
- Fazni (eng. Phase) - rade na principu mjerenja razlike u fazi odašlanog i primljenog signala. Fazni uređaj prema objektu odašilje lasersku zraku poznate frekvencije, a detektira reflektirajuću zraku od površine koja ima određeni fazni pomak od one koja je projicirana (22). Ova metoda ima velike sličnost s ToF metodom s razlikom što je kod ove metode detektor faze reflektirajuće zrake više osjetljiv te je za rezultat veća preciznost i brže očitavanje. Maksimalna mjerna udaljenost kod ove metode kreće se od 70 do 80 metara (22).

1.4.2.2.2. BESKONTAKTNI AKTIVNI SKENERI

Ova kategorija skenera uključuje topografske skenere, laserske skenere, skenere s magnetnom rezonancom, svjetlosne skenere, skenere sa strukturiranim svjetlom kao i mnoge druge, od kojih će najviše riječi biti upravo o potonjim.

1.4.2.2.2.1. 3D SKENERI SA STRUKTURIRANIM SVJETLOM

Skeneri sa strukturiranim svjetlom najrasprostranjeniji su i najpoznatiji način 3D skeniranja. Ovi skeneri rade na principu prije spomenute metode, triangulacije između kamere, izvora svjetla i skeniranog objekta. Izvor svjetla koji se projicira na površinu objekta može biti u formi jednodimenzionalne linije bijelog svjetla koja potječe od projektora (eng. White light scanner) ili se radi o IR laseru klase 1 koji je jednak onima koje nalazimo kod CD i DVD čitača, Slika 20.



Slika 20. DAVID SLS 3D skener – *White light* skener (izvor: autor).

IR skener koristi infracrveno strukturirano svjetlo i stereo sustav kamera za skeniranje, Slika 21. Dva IR senzora koja se nalaze na krajevima uređaja djeluju poput ljudskog vida, te služe za otkrivanje uzorka s površine objekta kojeg je na njega projicirao projektor smješten na sredini skenera. Skener mjeri površinu objekta projicirajući IR zrake koje nisu vidljive ljudskom oku, spremajući brojne mjerne točke s velikom točnošću što omogućuje stvaranje 3D slika visoke rezolucije, 1000 x 1000 piksela pri 36 3D slika u sekundi.



Slika 21. REVOPPOINT POP 3D skener s IR strukturiranim svjetlom (izvor: autor).

Oblak točaka koji bilježi geometriju modela pretvara se u mrežu (eng. Mesh) iz koje se može izvesti virtualni 3D model. Na skeneru se nalazi i RGB senzor koji prikuplja i pohranjuje boje skeniranog objekta.

Prednost ovog načina skeniranja naspram triangulacijske metode očituje se u brzini njegova provođenja kao i mogućnosti hvatanja teksture površine skeniranog objekta, a kao nedostatak može se izdvojiti ograničena uporaba pri skeniranju reflektirajućih i transparentnih objekata kao i skeniranje pri direktnoj izloženosti sunčevom svjetlu što dosta utječe na hvatanje detalja skeniranog objekta.

1.4.2.2.3. BESKONTAKTNI PASIVNI SKENERI

Za razliku od aktivnih, kod pasivnih skenera nema emitiranja nikakve vrste zračenja nego se rad zasniva na principu otkrivanja reflektiranog ambijentalnog zračenja od strane objekta. Izvor zračenja može biti dnevno ili umjetno svjetlo pa čak i infracrveno zračenje (22). Skeniranje pasivnim metodama može biti iznimno jeftino jer ne zahtijevaju nikakav poseban hardver za emitiranje signala već je za detekciju dovoljno imati jednostavnu digitalnu kameru. U skupinu pasivnih metoda skeniranja spadaju stereoskopski sustavi, fotogrametrija, sustavi siluete i sustavi za modeliranje temeljeno na slici (22).

1.4.2.2.3.1. STEREOSKOPSKI SUSTAVI

Stereoskopski sustavi (eng. Stereoscopic systems, Stereo imaging) - metoda skeniranja koja koristi dvije odvojene video kamere fokusirane na istu scenu. Princip rada temelji se na jednakom principu kao i rad ljudskog vidnog sustava. Kamere su postavljene na malu međusobnu udaljenost i svaka od njih hvata sliku unutar svoga vidnog polja. Analizom slika mogu se utvrditi male razlike između njih i odrediti udaljenost svake točke na slikama (22).

1.4.2.2.3.2. SUSTAV SILUETE

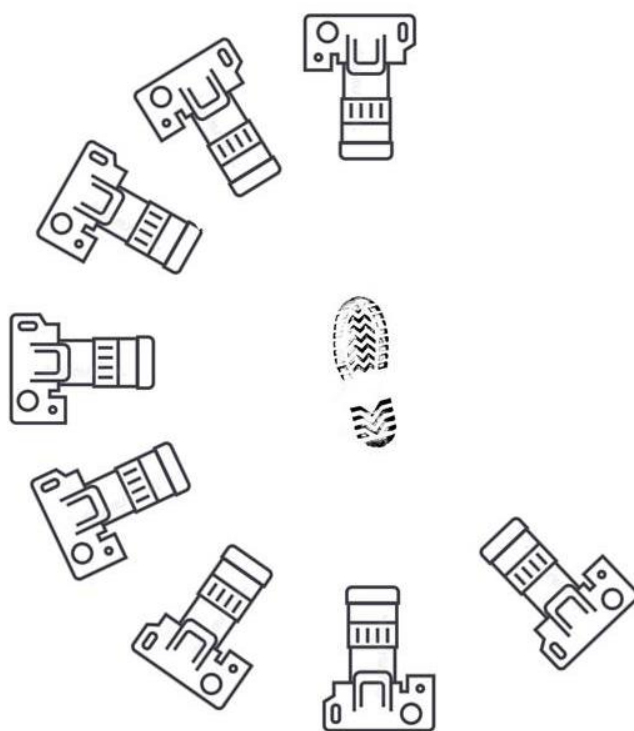
Sustav siluete ili sustav sjene (eng. Silhouette system) je tehnika koja daje informacije o rubovima (silueti) objekta nastalih iz fotografija stvorenih oko trodimenzionalnog objekta na kontrastnoj površini. Zakretanjem kamere i promjenom osvjetljenja oko središnjeg objekta moguće je dobiti različite izvedbe silueta (22).

1.4.2.2.3.3. MODELIRANJE BAZIRANO NA SLICI

Modeliranje temeljeno na slici (eng. Image-based modeling and rendering - IMBR) odnosi se na postupak korištenja dvodimenzionalnih slika za stvaranje trodimenzionalnih modela, odnosno princip rada ove metode zasniva se na metodi fotogrametrije. Koncept je sličan stvaranju panoramske fotografije s razlikom što se fotografira jedan objekt iz svih kutova umjesto iz jedne točke. Ova metoda skeniranja idealna je za stvaranje brze aproksimacije objekata jednostavnih oblika, npr. zgrade. Dostupni softveri su iModeller, Autodesk ImageModeler, D-Sculptor, i PhotoModeler i dr. (22).

1.4.2.2.3.4. FOTOGRAMETRIJA

Fotogrametrija (eng. Photogrammetry – Image Based Modeling) je metoda u kojoj se obično koristi jedna kamera za snimanje fotografija modela iz više kutova kako bi se uhvatile sve potrebne informacije o obliku njegove površine, Slika 22. Ovaj postupak omogućuje dobivanje 3D koordinatnih točaka uz pomoć 2D fotografskih snimki. Analiziranjem snimljenih fotografija, softver očitava sličnosti unutar zabilježenih kadrova na temelju kojih zatim spaja fotografije u jednu cjelinu. Predmet koji se želi digitalizirati potrebno je obuhvatiti sa što više slika iz različitih kutova i strana te iz više različitih pozicija (normalna, žablja i ptičja), Slika 23. Po sistemu traženja paralakse između njih dobiva informacije o obliku, dubini i teksturi snimljenog objekta (22). Tehnika je u potpunosti usavršena razvojem digitalnih fotoaparata visoke rezolucije. U današnje vrijeme nije potrebno imati neki skupocjen komad fotografske opreme kako bi se zadovoljila potreba za kvalitetom fotografije već bilo tko s boljom kamerom na mobitelu, držeći se osnovnih pravila fotografiranja, te naknadnom analizom informacija iz fotografija te primjenom određenog računalnog programa za fotogrametriju, može kreirati svoj 3D model. Prednost ove tehnike skeniranja je pristupačna cijena uređaja kao i dostupni softveri za obradu fotografije (Visual SFM, Autodesk Remake, 3DF Zephyr AgiSoft i dr.), a nedostatak bi bio nemogućnost obrade objekata koji su transparentni, sjajni i reflektivni (23). Također je važno napomenuti da za razliku od virtualnog modela dobivenog 3D skeniranjem, model dobiven fotogrametrijom nije dimenzijski jednak realnom objektu već ga je potrebno naknadno skalirati na stvarnu veličinu.



Slika 22. Postupak fotogrametrije (izvor: autor).

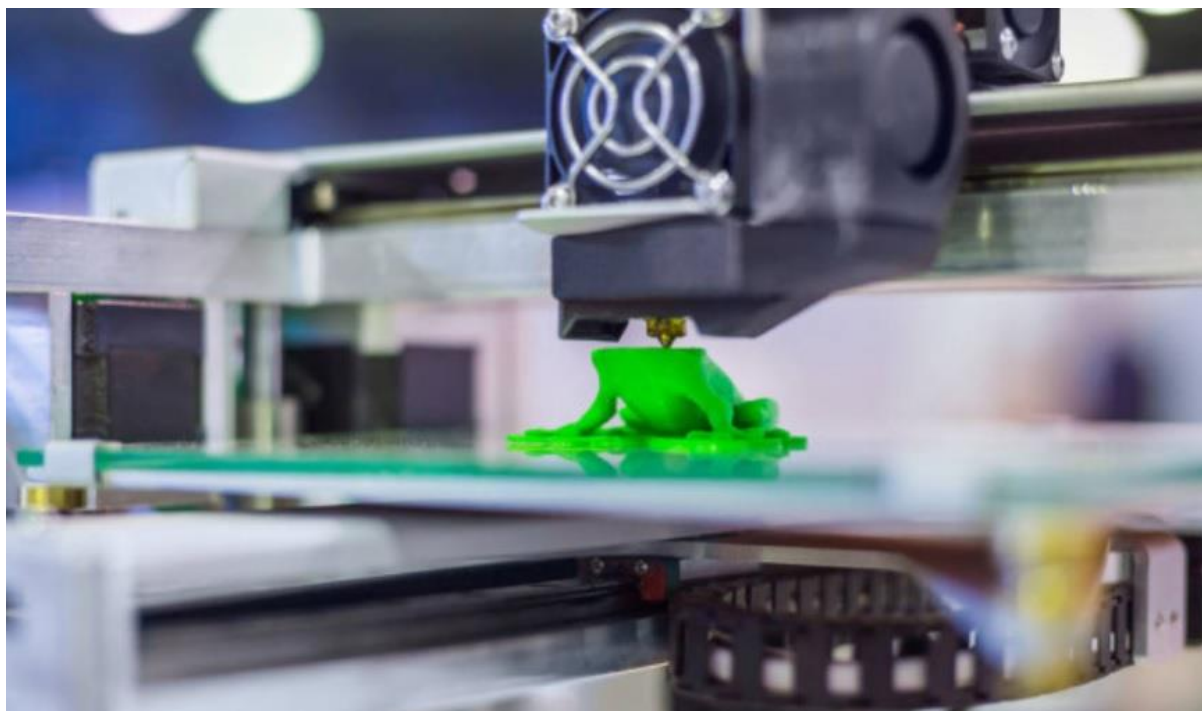


Slika 23. Snimanje fotografija postupkom fotogrametrije uporabom mobitela (izvor: autor).

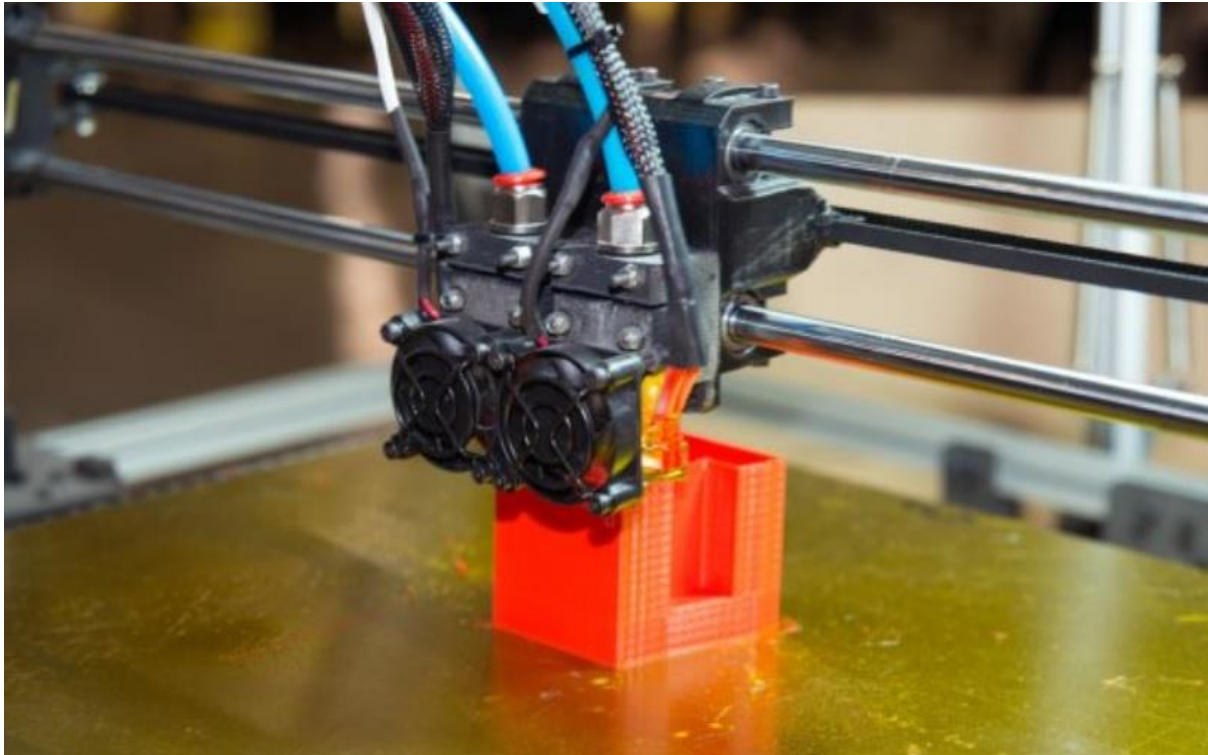
1.4.3. 3D PRINTANJE - TALOŽNO OČVRŠĆIVANJE MATERIJALA

Početak 90-tih godina 20. stoljeća tvrtka Advanced Ceramics Research razvila je postupak taložnog očvršćivanja materijala (eng. Fused deposition modeling – FDM) koji je kasnije unaprijedila i patentirala tvrtka Stratasys. Tvrtka Stratasys danas je jedna od vodećih na području izrade 3D pisača s postupkom taložnog očvršćivanja materijala ili FDM (24). Postupak taložnog očvršćivanja materijala danas je najrašireniji postupak brze izrade prototipova i zauzima više od 50 % svjetskog tržišta (20).

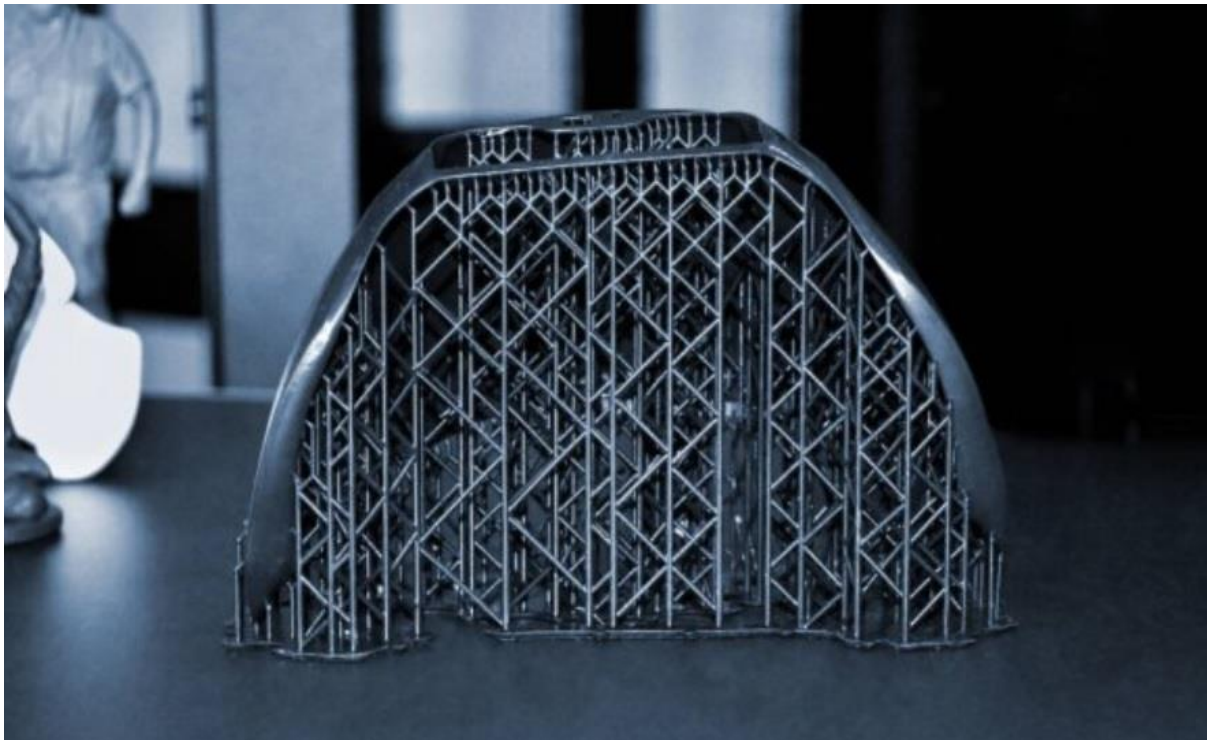
Uređaj za FDM ispis sastoji se od radne ploče na kojoj se izrađuje model, ekstruzijske glave s mlaznicom kroz koju prolazi polurastaljeni materijal te spremnika iz kojeg se kontinuirano do ekstruzijske glave dovodi namotani polimerni materijal u obliku žice (20). U ovisnosti o broju mlaznica na ekstruzijskoj glavi pisača, uređaj za FDM ispis može koristiti jednu ili dvije različite vrste materijala. Dok pisač s jednom mlaznicom koristi samo jednu vrstu materijala za izradu modela; kod pisača s dvije mlaznice jedna mlaznica služi za protok materijala kojim se izrađuje model, a drugom mlaznicom prolazi materijal za izradu potpore osnovnom modelu (24). Na Slikama 15. i 16. prikazani su FDM pisači s jednom i dvije mlaznice na ekstruzijskoj glavi, a slika 17. prikazuje strukturu potpornog materijala kojim se pridržava i sprječava urušavanje ispisa modela kompleksnijih oblika (25).



Slika 15. FDM pisač s jednom mlaznicom (25).



Slika 16. FDM pisac s dvije mlaznice (25).



Slika 17. Struktura potpornog materijala kod FDM pisaca (25).

Materijal u djelomično rastaljenom stanju prolazi kroz mlaznicu čiji promjer otvora definira debljinu nanošenja sloja na radnu ploču. Kretanje mlaznice po radnom prostoru kontrolirano je od strane upravljačkog programskog sustava koja lijepi rastopljenu plastičnu nit na podlogu, sloj po sloj, formirajući konture modela (20). Radna ploča na koju se nanosi materijal može i ne mora biti zagrijana što uglavnom ovisi o samome proizvođaču. Ako se radi o ploči koja nema funkciju zagrijavanja, kako bi se prihvatio i pozicionirao izradak, koriste se posebna ljepila koja istu ulogu. Nedostatak ovih ljepila očituje se kod dužeg vremenskog ispisa pri višim temperaturama što je slučaj pri radu s ABS materijalom.

Princip rada ovih ekstrudera je slojevit, što znači da se po završetku svakog sloja radna ploča ili ekstruzijska glava podigne za visinu novog sloja i nastavi se sa izradom tog sloja (20).

Vanjski izgled i glatkoća površine gotovog modela uvelike ovise o debljini nanošenja sloja. Tanji sloj nanošenja uvjetuje duže vrijeme ispisa ali je rezultat veća završna kvaliteta modela i obratno, Slika 18. (25). Uobičajene vrijednosti visine sloja kreću se u rasponu od 0,15 do 0,25 mm no ovisno o primjeni i promjeru mlaznice visina sloja može biti i u rasponu od 0,05 do 0,5 mm (24). Visina sloja ispisa uvelike definira troškove cijelog postupka jer se robusniji i grublji modeli mogu relativno brže izraditi s većim promjerom mlaznice što za rezultat bitno smanjuje vrijeme izrade modela.



Slika 18. Razlika u visini slojeva pri ispisu s manjim i većim promjerom mlaznice (25).

Po završetku ispisa 3D modela potrebno je s njega ukloniti potporni materijal koji je po strukturi krhki od osnovnog. Ovisno o vrsti potpornog materijala uklanjanje se može obaviti njegovim otapanjem u otopini tople vode i deterdženta ili kao što je u većini slučajeva, lomljenjem bez oštećenja osnovnog modela i uporabe dodatnog alata (20).

Napretkom strojeva i materijala, implementacija FDM metode u našoj svakodnevici počela je dobivati sve širi spektar uporabe što se uvelike očituje u kvaliteti konačnih modela i njihovoj uporabi. U početku se primjena gotovih modela temeljila samo na vizualnoj prezentaciji prototipa nekog dijela u postupku njegova dizajna i razrade dok se sad radi o modelima visoke kvalitete koji mogu odmah pronaći svoju primjenu. Promjenom trendova radi se na postizanju modela iznimno visoke kvalitete koji su po završetku izrade spremni za korištenje direktno iz 3D printera bez naknadne obrade (26).

Dobre značajke ove metode ispisa su tih rad i jednostavnost uporabe od strane krajnjeg korisnika, mogućnost izrade višebojnih modela korištenjem široke palete raznobojnih filamenata, male dimenzije uređaja kao i njegova pristupačna cijena te minimalno rasipanje materijala (20).

Danas se sve više susrećemo i s nazivom FFF (eng. Fused Filament Fabrication) što u prevodu znači izrada taljenjem niti. Iako sam naziv naoko izgleda kao da se radi o nekoj novoj metodi 3D ispisa u principu se radi o metodi potpuno jednakoj FDM-u. Razlika je jedino u povijesnom razvoju ove dvije metode. Dok se u većini slučajeva FDM printeri nalaze u kućištu koji kontrolirano održava temperaturu komore na nekih 90 °C, FFF printeri napravljeni su bez komore te je model koji se ispisuje izložen utjecaju vanjske temperature koja može utjecati na kvalitetu ispisa. U nekim slučajevima FFF printeri nemaju niti grijanu radnu ploču te se prihvata filamenta, odnosno modela, na nju ostvaruje pomoću posebno predviđenog ljepila. Početno se FDM postupak primjenjivao uglavnom u industrijskoj proizvodnji, dok su uređaji na bazi FFF-a uglavnom koristili hobisti. S vremenom se taj odnos promijenio te su FDM printeri postali dostupni svakom kućanstvu.

1.4.3.1. FDM/FFF - MATERIJALI ZA 3D ISPIS

Termoplastika je vrsta polimera koja pronalazi široku primjenu u FDM/FFF postupku 3D ispisa, a najčešće korišteni materijal te vrste je PLA (polilaktična kiselina) i ABS (akrilonitril butadien stiren). Bitna karakteristika ovih materijala je zadržavanje fizikalnih i kemijskih svojstava bez obzira koliko se puta rastale i ponovno očvrstnu. Svaki od tih materijala zbog

različitosti u kemijskom sastavu ima svoju temperaturu prelaska iz krutog u rastaljeno stanje. Razlika u temperaturi prelaska iz krutog u rastaljeno stanje očita je do te mjere da čak i isti materijali, istog proizvođača imaju različitu temperaturu taljenja uvjetovanu bojom filameta (26). Kako bi materijal bio dovoljno rastaljen da može kontinuirano, bez prekida i stvaranja grudica izlaziti kroz mlaznicu, potrebno je postaviti odgovarajuću temperaturu na grijaču implementiranom u glavi ekstrudera kao i temperaturu radne površine na koju se rastaljeni filament lijepi i gradi model (26). U novije vrijeme spremnici s filamentom imaju ugrađeni čip na kojem su zapisani podaci o vrsti materijala, potrošenoj količini materijala te njegovoj boji, tako da 3D pisac automatski očitava stanje i postavi potrebne parametre za ispis u ovisnosti o vrsti materijala.

Idealna temperatura za PLA materijal je u području od 180 °C do 220 °C što uvelike ovisi o količini apsorbirane vlage u materijalu, proizvođaču i boji filamentna. Za PLA materijal nije nužno imati grijanu radnu ploču jer se radi o materijalu koji je temperaturno dovoljno stabilan da prilikom ispisa ne dolazi do odvajanja modela od radne ploče kao ni njegova deformiranja u fazi hlađenja (26). Tijekom procesa 3D ispisa PLA materijal ne ispušta nikakve mirise za razliku od ABS-a čiji miris se osjeti odmah po izlasku iz mlaznice. PLA materijal dobiva se od dekstroze (šećera) dobivenog od bio-materijala te je 100 % biorazgradiv.

Za razliku od PLA, ABS i njemu srodni materijali moraju imati grijanu ploču (od 70 °C do 100 °C) ili kako je to slučaj kod FFF printera posebno predviđeno ljepilo kojim se filament, odnosno model, fiksira na radnu ploču. Ploča se grije da ne bi došlo do brzog hlađenja modela u samom postupku ispisa što može dovesti do razdvajanja slojeva ili deformacije modela (26). Temperatura na kojoj se ovaj materijal grije je u rasponu od 230 °C do 250 °C.

Dok se PLA materijal uglavnom koristi za izradu dekorativnih elemenata, izradu umjetnina i u modelarstvu, ABS svoju uporabu pronalazi kada bi model trebao biti izložen uvjetima trošenja i povišenih temperatura jer zbog svojih svojstava bolje podnosi temperaturu što je i vidljivo iz temperaturnih parametara potrebnih za izradu modela (26).

Materijali koji se još koriste u FDM/FFF postupku 3D ispisa su: PC/ABS - kombinacija polikarbonata i akrilonitril butadien stirena koja spaja njihova najbolja svojstva. Čvrstoća i toplinska otpornost PC-a s fleksibilnošću ABS-a čini ga idealnim izborom za zahtjevnije inženjerske izvedbe. PC (Polikarbonat); PPSF/PPSU – ovaj materijal ima najveću toplinsku i kemijsku otpornost od svih FDM materijala. Idealan je za primjenu u zrakoplovnoj i automobilskoj industriji i te u industriji medicinske tehnike kao i za bilo koju primjenu gdje

bi izvedeni modeli bili izloženi ekstremnim uvjetima. Modeli proizvedeni od PPSF/PPSU materijala nisu samo mehanički superiorni, već su i dimenzijski točni. PP (Polipropilen); PEHD (HDPE) - Polietilen visoke gustoće je termoplastični polimer proizveden od monomera etilena. Zbog visokog omjera čvrstoće i gustoće koristi se u proizvodnji plastičnih boca, daske za rezanje, geomembrana, cjevovoda otpornih na koroziju i dr. Budući da je otporan na većinu otapala nije ga moguće lijepiti kao ostale materijale te se za primjer spojevi cijevi moraju izvesti zavarivanjem. Materijal ima dobru udarnu čvrstoću čak i pri niskim temperaturama, dok su čvrstoća i krutost relativno mali. PELD (LDPE) - Polietilen niske gustoće je termoplastika izrađena od monomernog etilena. Uveliko se koristi za proizvodnju ambalaže za namirnice, plastičnih folija i listova, fleksibilnih crijeva kao i izolacije kabela te razne laboratorijske opreme. Ova je vrsta plastike vrlo izdržljiva i može podnijeti trošenje te se zato može više puta koristiti. Ostali poznati materijali su TPE – termoplastični elastomeri ili termoplastična guma. Prednost korištenja termoplastičnih elastomera je mogućnost rastezanja modela do umjerenih produljenja i vraćanja u gotovo izvorni oblik uz duži vijek trajanja i bolja fizička svojstva od ostalih materijala. TPU – termoplastični poliuretani je termoplastični elastomer koji se sastoji od linearnih segmentiranih blok kopolimera sastavljenih od tvrdih i mekih segmenata. Odsustvo savijanja i činjenica da nije potreban temeljni premaz čine ga idealnim za FDM pisače kada je potrebno izraditi predmete koji moraju biti fleksibilni i elastični. Termoplastični poliuretani osim uz svojstvo elastičnosti ima i svojstva otpornosti na ulje, masnoće i habanje. Može se koristiti kao mekana inženjerska plastika ili kao zamjena za tvrdu gumu. Preporučena temperatura ispisa je od 220 °C do 240 °C, a temperatura radne podloge od 50 °C do 60 °C (26).

2. CILJ RADA

Cilj ovoga rada je dati pregled klasičnih i modernih metoda izuzimanja tragova utiska obuće te temeljem pprovedenih eksperimenata donijeti zaključke o prednostima i nedostacima tih metoda.

Hipoteze:

1. Klasične metode prikupljanja uzoraka bit će brže i jednostavnije od modernih.
2. Moderne metode prikupljanja bit će manje destruktivne od klasičnih metoda.
3. Moderne metode prikupljanja uzoraka omogućit će ponovno izučavanje dokaza kao i primjenu dodatnih analiza na tragu.

3. MATERIJALI I METODE

Eksperimentalne metode izuzimanja tragova utiska obuće provedene su u prostorijama Laboratorija za istraživanje mjesta događaja na Sveučilišnom odjelu za forenzične znanosti nakon obuke u PU sektoru kriminalističke policije.

Za potrebe izvođenja eksperimenata rabljene su dvije plastične posude, dimenzija 400x280x80 mm, zapremnine 9 litara koje su zapunjene prosijanom zemljom. Jedna posuda sadržavala je uzorak potpuno suhe zemlje dok se u drugoj nalazila vlažna zemlja. Postupak izuzimanja tragova prvo je izveden klasičnim postupkom, mulažiranjem, gdje se korištenjem gipsa kao osnovnog materijala pokušao dobiti model utiska obuće istovjetan originalu sa svim svojim karakteristikama. Druga metoda uključivala je postupak fotogrametrije gdje je uporabom mobitela kao osnovnog alata, napravljeno minimalno 48 fotografija utiska potplata u punom opsegu od 360° kako bi se obuhvatili svi detalji traga. Za ovu svrhu, kao prigodno sredstvo, koristio se mobitel kineskog proizvođača OnePlus, model OnePlus 8 (OnePlus, NR Kina, 2020.). Napravljene fotografije obrađene se korištenjem softvera Agisoft Metashape (Agisoft LLC, Rusija, 2021., verzija 1.7.2) te je njihovim spajanjem dobiven virtualni model utiska. Dobiveni virtualni model izvezen je u OBJ formatu, te je obrađen korištenjem Microsoftova 3D Buildera (Microsoft, USA, 2017., verzija 18.01931.0). Nakon obrade u 3D Builderu model je spremljen u STL formatu za potrebe ispisa na 3D printeru. Treća metoda izuzimanja tragova utiska potplata obavila se korištenjem REVOPOINT POP 3D skenera (REVOPOINT, SAD, 2021.). Skenirano je minimalno 1500 pozicija traga kako bi se obuhvatili svi detalji traga. Napravljene skenovi prvo su obrađeni u softveru koji dolazi u paketu s 3D skenerom, a zatim u probnoj verziji Zbrush softvera (Pixologic, USA, 2020., verzija 1709). Dobiveni virtualni trodimenzionalni model naknadno se obradio pomoću Microsoftova 3D Buildera te spremio u STL format koji je pogodan za obradu u softveru koji dolazi u paketu s 3D printerom. Model utiska potplata izuzet 3D skenerom ispisan je na 3D printeru, PRUSA i3 Mk3 (PRUSA, R. Češka, 2018.). Materijal koji se koristio za izradu modela je Flexfill TPU 92A, češkog proizvođača Fillamentum (Fillamentum, R. Češka, 2018.) kojega odlikuje fleksibilnost i elastičnost te otpornost i izdržljivost na udarce.

4. REZULTATI

4.1. POSTUPAK MULAŽIRANJA

4.1.1. MULAŽIRANJE UTISKA U VLAŽNOJ ZEMLJI

Rezultati mulažiranja u vlažnoj zemlji prikazani su u šest koraka (Slika 24. – Slika 30.).



Slika 24. Korak 1. - Fotografiranje traga uz pripadajuću brojčanu oznaku i mjernu traku (izvor: autor).



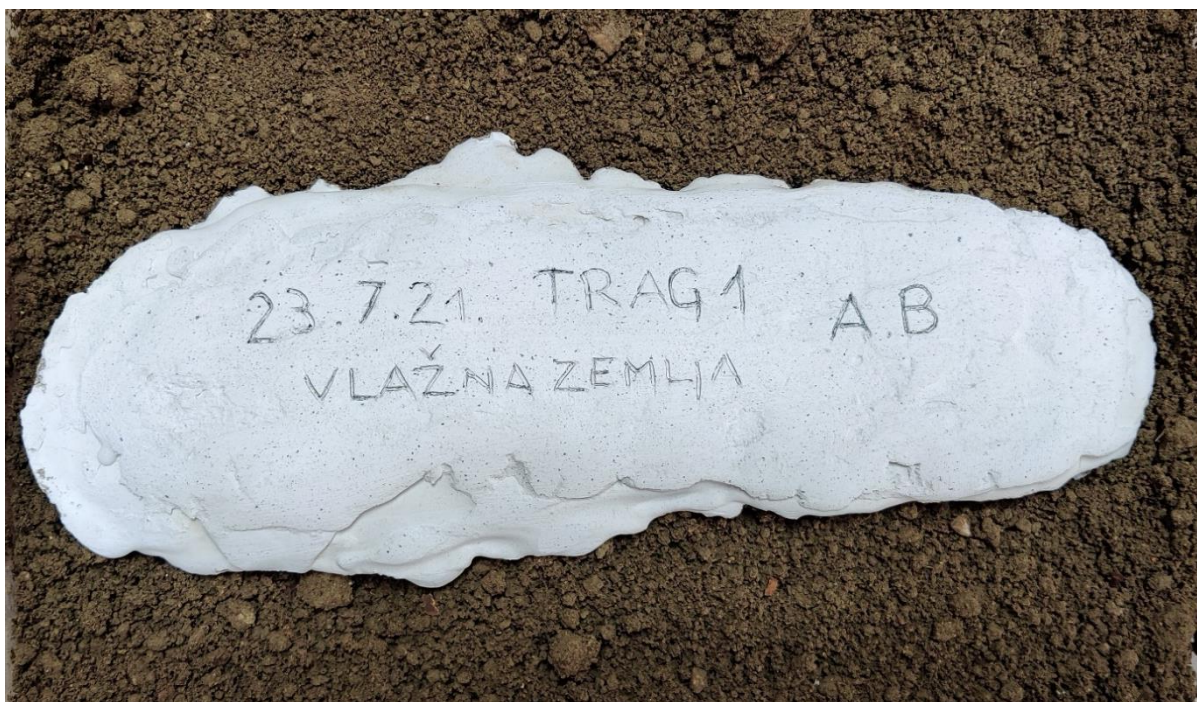
Slika 25. Korak 2. - Prekrivanje utiska prvim slojem gipsane mase rjeđe konzistencije (izvor: autor).



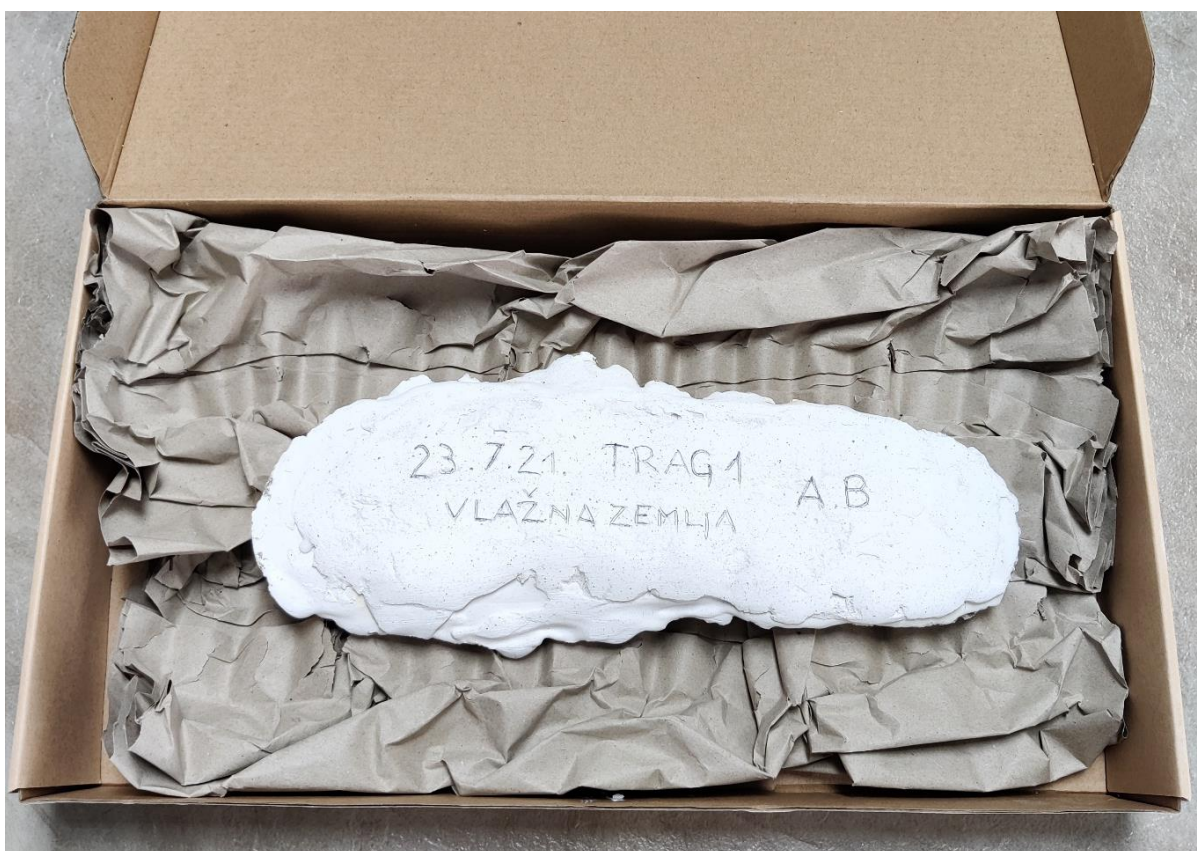
Slika 26. Korak 3. - Ojačavanje strukture odljevka stavljanjem drvenih štapića kao potpore (izvor: autor).



Slika 27. Korak 4. - Prekrivanje odljevka drugim slojem gipsane mase (izvor: autor).



Slika 28. Korak 5. - Upisivanje podataka o broju traga i vremenu kada je postupak izveden (izvor: autor).



Slika 29. Korak 6. - Pakiranje u kartonsku ambalažu i stavljanje na sušenje (izvor: autor).



Slika 30. Rezultat mulažiranja nakon sušenja i čišćenja izvedenog odljevka utiska (izvor: autor).

4.1.2. MULAŽIRANJE UTISKA U SUHOJ ZEMLJI

Rezultati mulažiranja u suhoj zemlji prikazani su u osam koraka (Slika 31. – Slika 39.).



Slika 31. Korak 1. - Fotografiranje traga uz pripadajuću brojčanu oznaku i mjernu traku (izvor: autor).



Slika 32. Korak 2. - Odstranjivanje nečistoća iz traga (izvor: autor)



Slika 33. Korak 3. -. Fiksiranje utiska lakom za kosu (izvor: autor).



Slika 34. Fiksirani trag (izvor: autor).



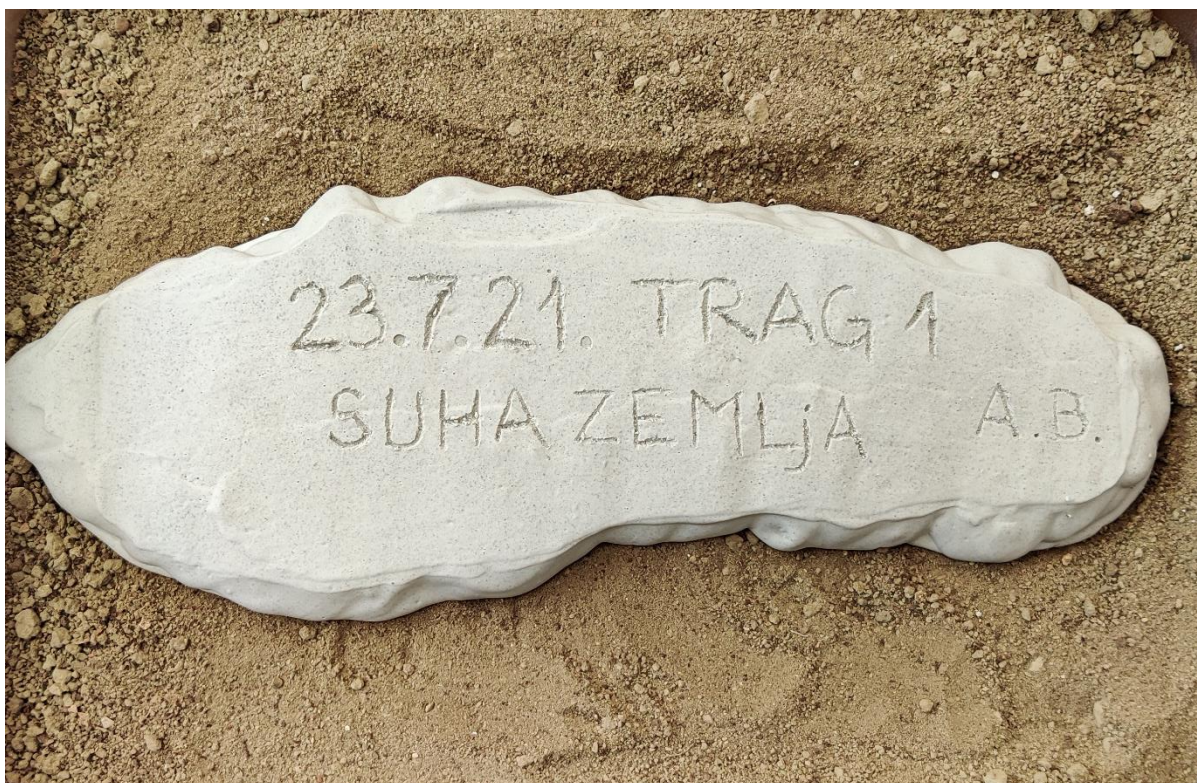
Slika 35. Korak 4. - Prekrivanje utiska prvim slojem gipsane mase rjeđe konzistencije (izvor: autor).



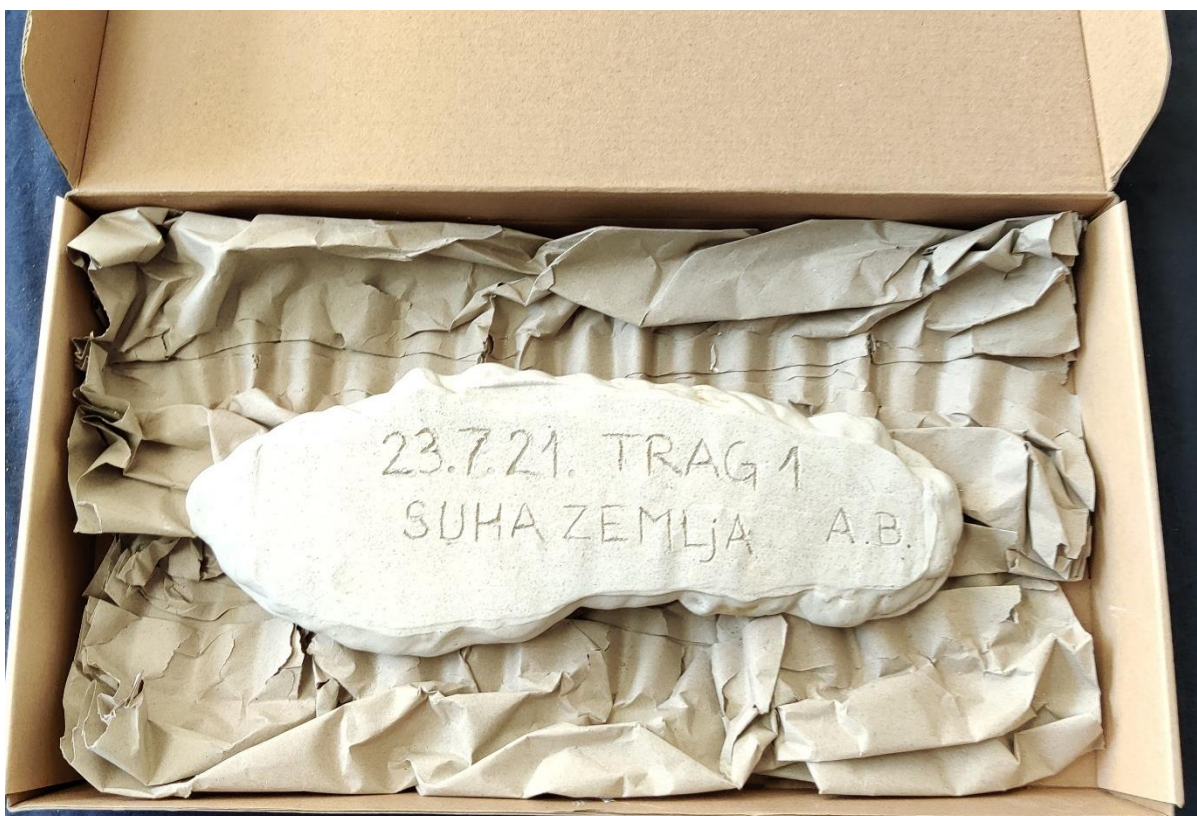
Slika 36. Korak 5. - Ojačavanje strukture odljevka stavljanjem drvenih štapića kao potpore (izvor: autor).



Slika 37. Korak 6. - Prekrivanje drugim slojem gipsane mase (izvor: autor).



Slika 38. Korak 7 - Upisivanje podataka o broju traga i vremenu kada je postupak izveden (izvor: autor).



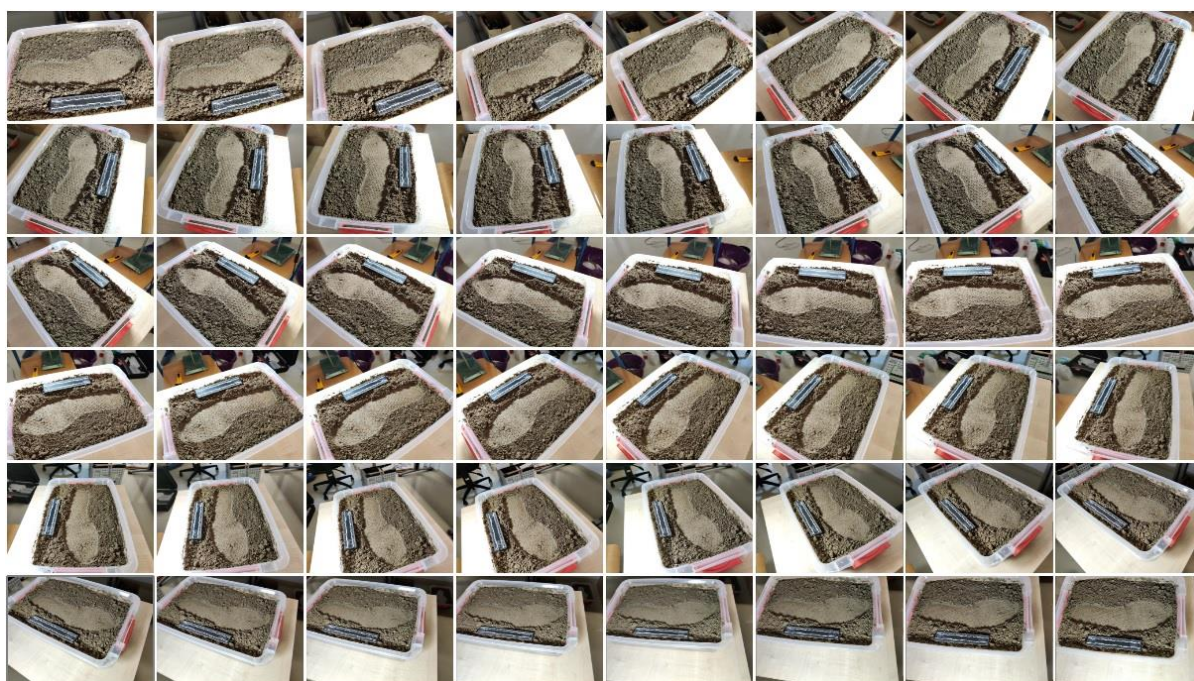
Slika 39. Korak 8. - Pakiranje u kartonsku ambalažu i stavljanje na sušenje (izvor: autor).



Slika 39. Rezultat mulariranja nakon sušenja i čišćenja izvedenog odljevka utiska (izvor: autor).

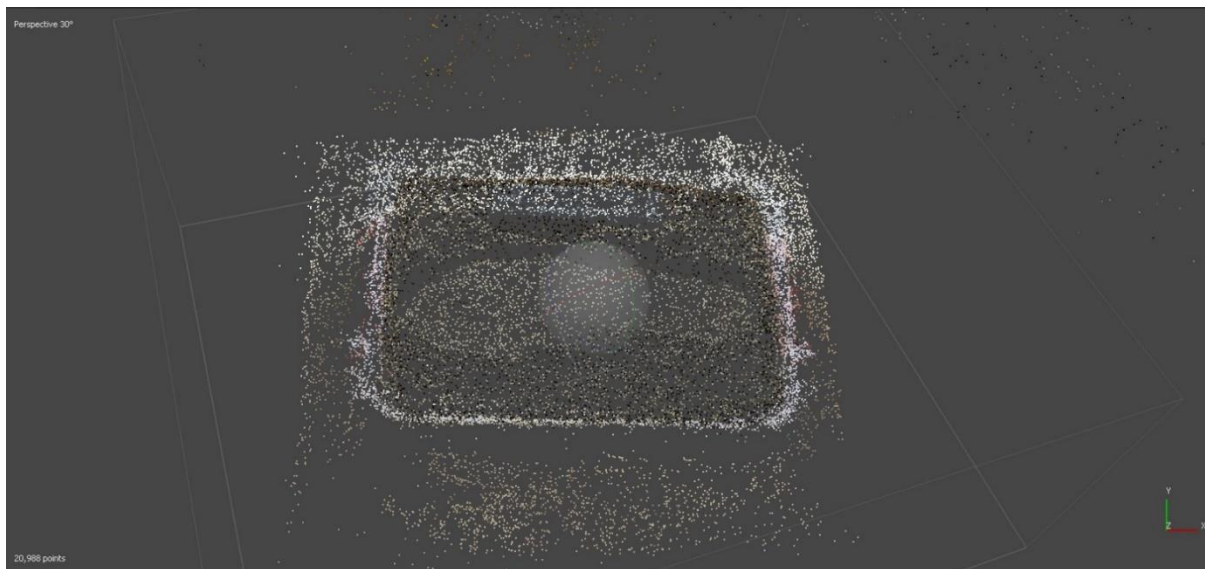
4.2. FOTOGRAMetriJA

Budući da je postupak izuzimanje traga metodom fotogrametrije jednak za oba slučaja, ovaj praktični dio izveden je samo na utisku potplata izazvanog u vlažnoj zemlji, Slika 41.

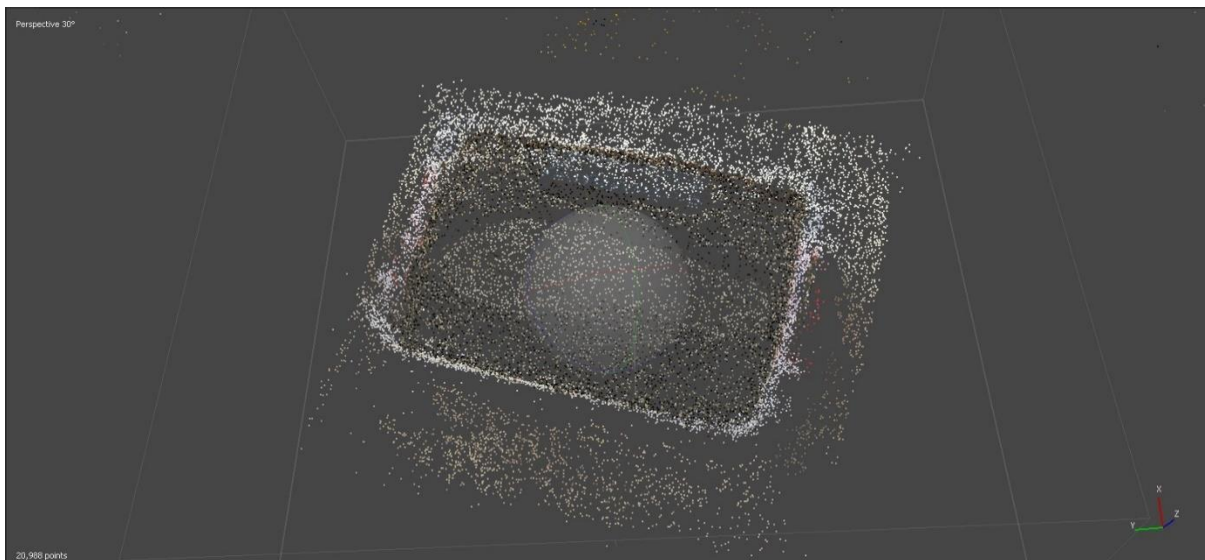


Slika 41. Korak 1. - Fotografiranje utiska potplata u radijusu od 360° (izvor: autor).

Izrada oblaka točaka (eng. Point cloud) dobivenog od niza fotografija s dovoljnim međusobnim preklapanjima prikazana je na Slici 42. i Slici 43. Oblak točaka prikazuje skup podatkovnih točaka modela u prostoru gdje svaka od tih točaka sadrži svoje koordinatne vrijednosti unutar X, Y i Z osi, te dodatne podatke poput vrijednosti boje pohranjene u RGB formatu i vrijednosti osvjetljenja. Ti podaci određuju osvjetljenost pojedine točke u prostoru.

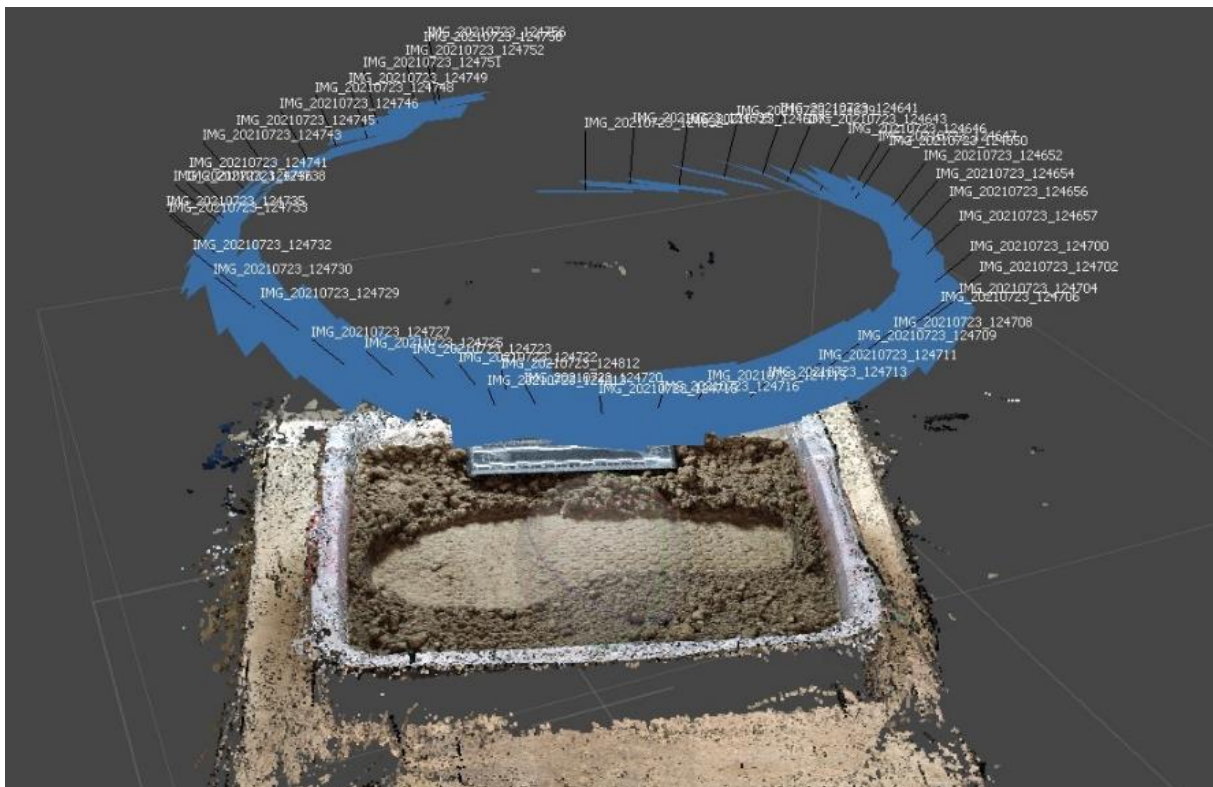


Slika 42. Korak 2. – Izrada oblaka točaka (izvor: autor).



Slika 43. Oblak točaka (izvor: autor).

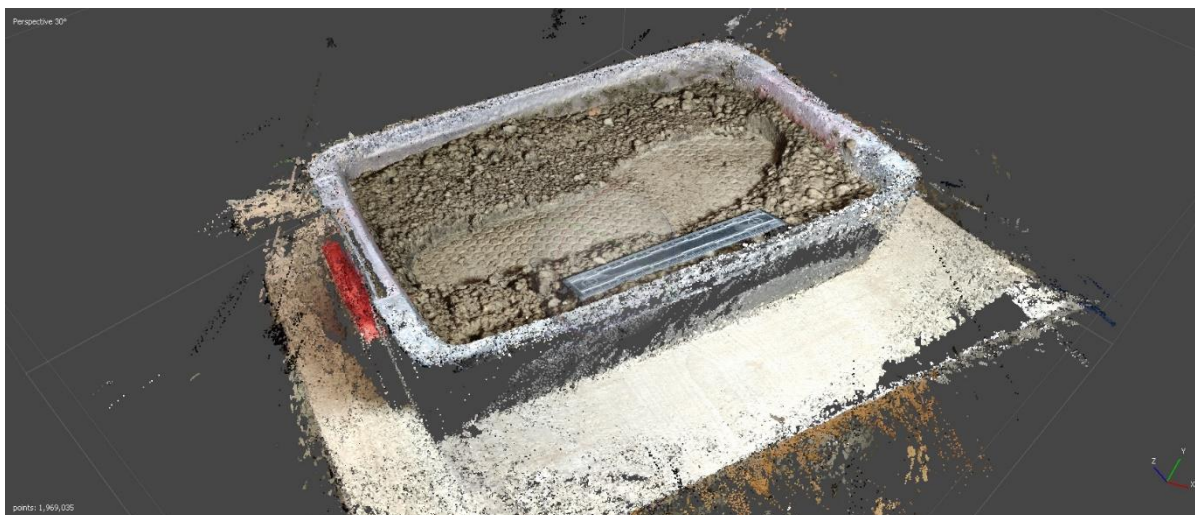
Izrada oblaka gustoće (eng. Dense cloud) koji predstavlja niz definiranih točaka u 3D prostoru, koje stvaraju virtualnu sliku modela dajući mu dimenziju, prikazana je na sljedećim slikama (Slika 44. – Slika 49.). Program izračunava položaj točaka ispravljanjem parova slika tako da epipolarne linije (projekcija geometrije između dva pogleda) postaju paralelne, te preko zadanog algoritma za usklađivanje piksela s pikselima u parovima fotografija, dolazi do njihova poravnjanja čime se tvori model.



Slika 44. Korak 3. – Izrada oblaka gustoće (izvor: autor).



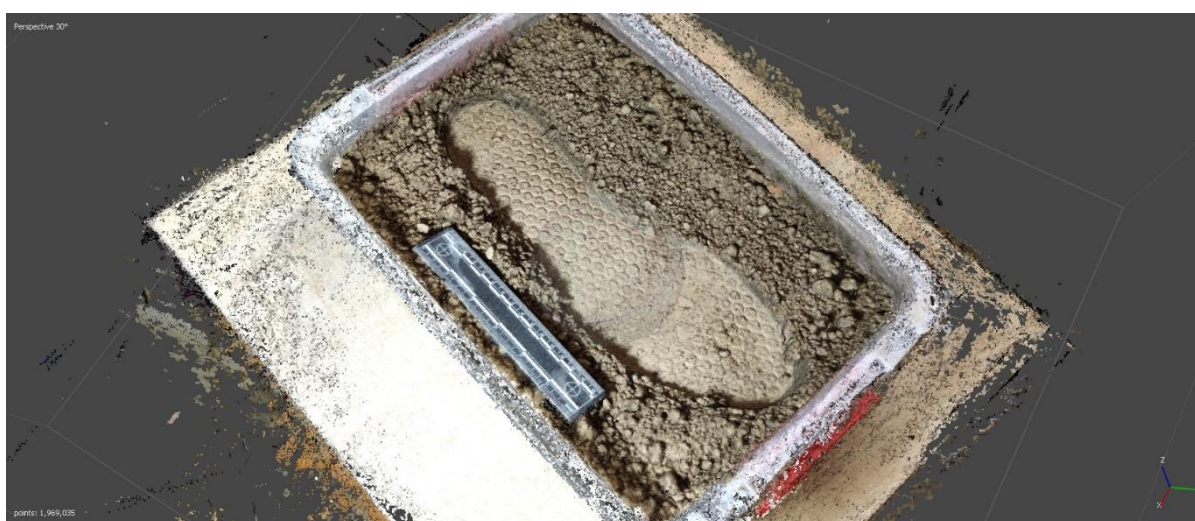
Slika 45. Oblak gustoće, pogled 1 (izvor: autor).



Slika 46. Oblak gustoće, pogled 2 (izvor: autor).



Slika 47. Oblak gustoće, pogled 3 (izvor: autor).

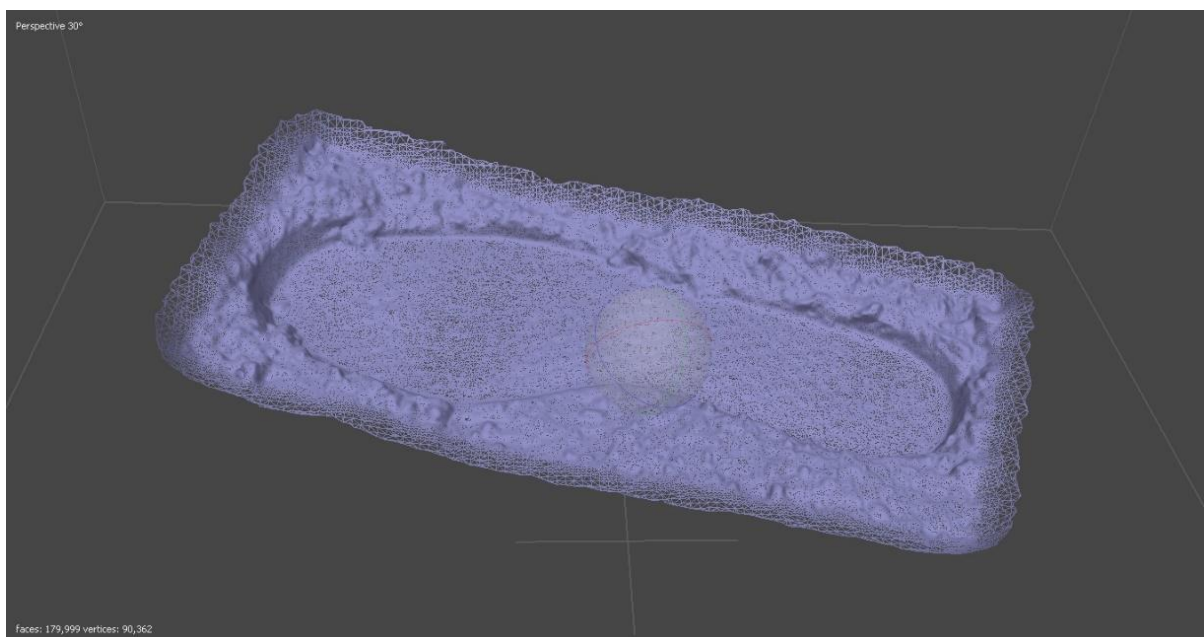


Slika 48. Oblak gustoće, pogled 4 (izvor: autor).



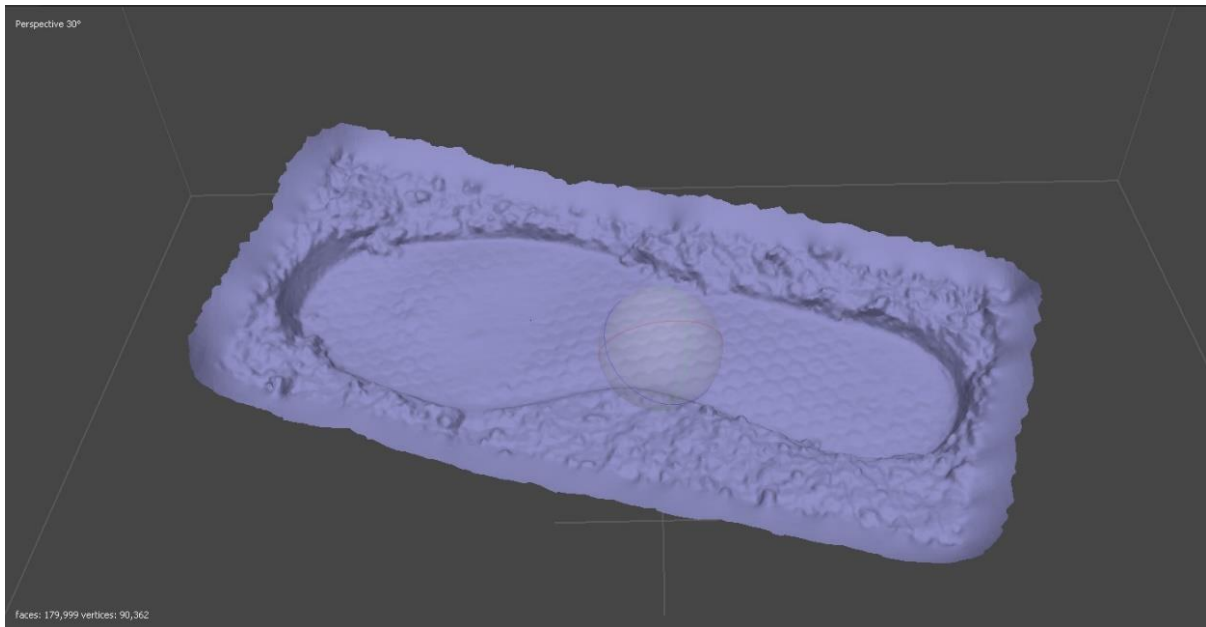
Slika 49. Oblak gustoće, pogled 5 (izvor: autor).

Izrada žičanog modela (eng. Wire-frame model), koji predstavlja vizualni prikaz trodimenzionalnog fizičkog objekta te omogućuje vizualizaciju temeljne strukture dizajna 3D modela prikazana je na Slici 50. Žičani model tvore točke, linije, lukovi, krugovi i ostale krivulje koje definiraju rubove ili središnje linije objekta.



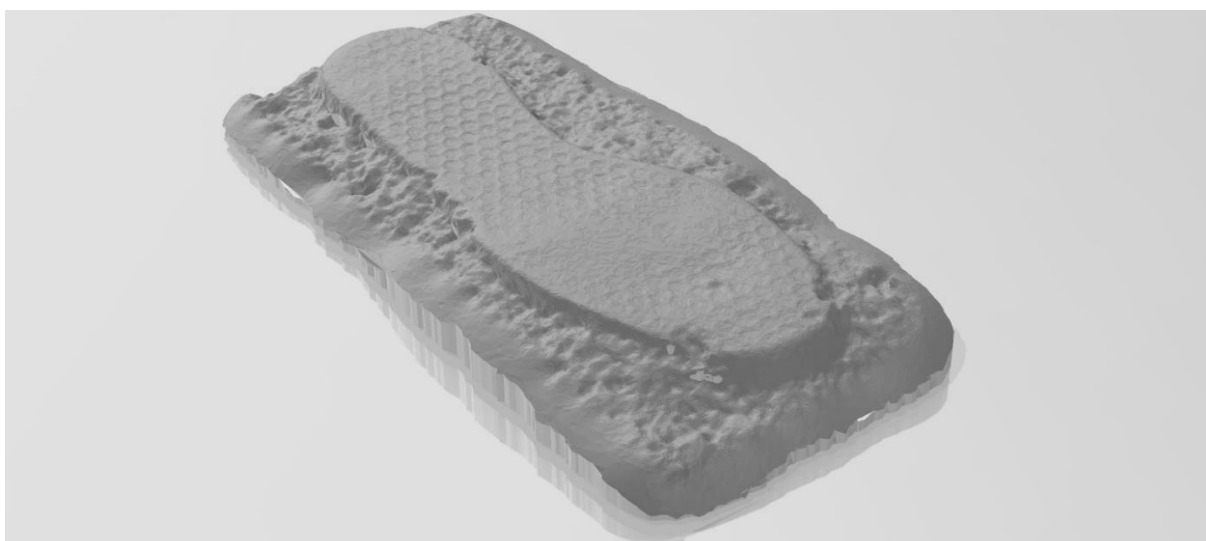
Slika 50. Korak 4. - Izrada žičanog modela (izvor: autor).

Izrada čvrstog virtualnog 3D modela (eng. Solid model) dobivenog spajanjem izvornih fotografija sa žičanim modelom čime se daje konačni izgled objekta u virtualnom prostoru prikazana je na Slici 51. Dobiveni model sprema se u OBJ formatu koji predstavlja geometriju objekta, odnosno položaj svakog koordinatnog vrha tekstone izvedenog modela.

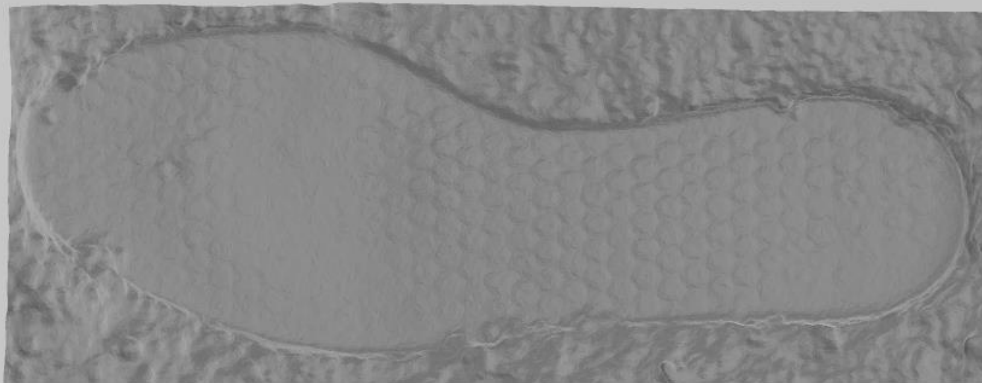


Slika 51. Korak 5. - Izrada čvrstog virtualnog 3D modela (izvor: autor).

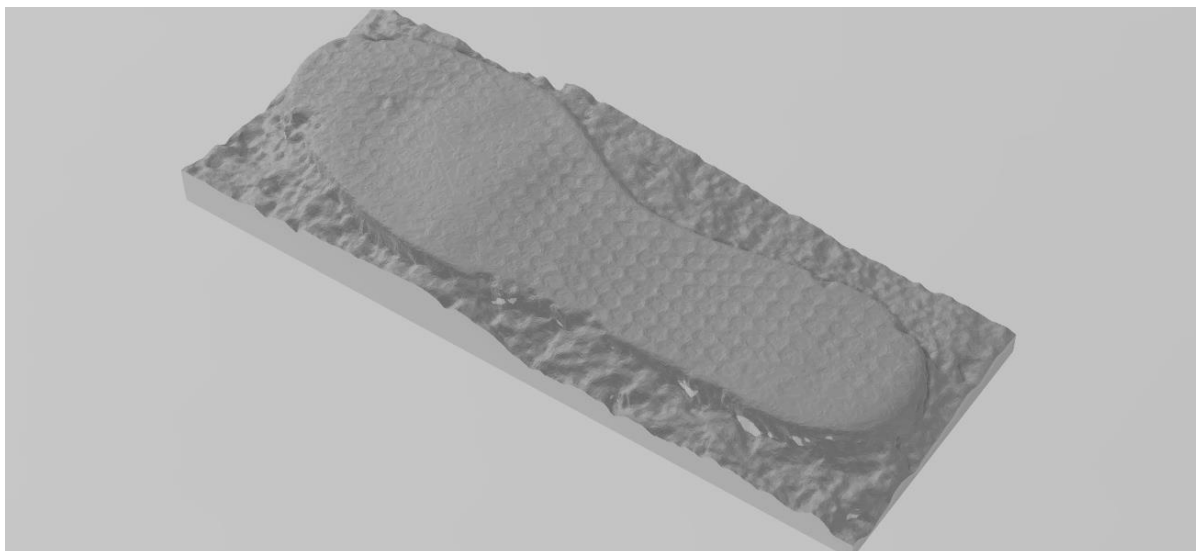
Korištenjem 3D Buildera, izveden je pozitiv modela utiska, te je dodatnom obradom prilagođen za ispis. U ovom slučaju model je pohranjen u STL formatu kojeg softver 3D printera može otvoriti i na temelju kojeg se postavljaju parametri za ispis modela utiska (Slika 52. - Slika 59.).



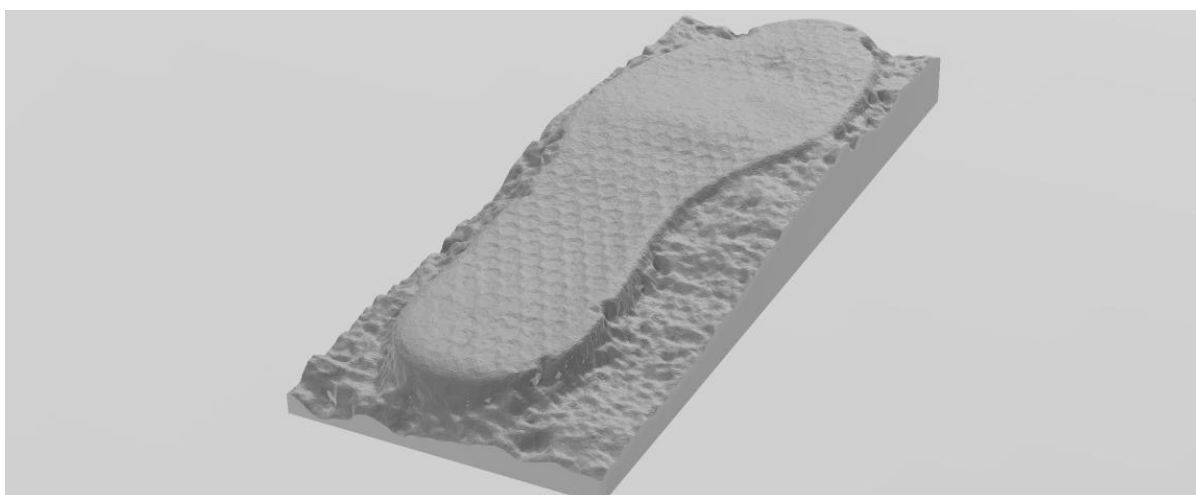
Slika 52. Korak 6. – Izvedeni virtualni model utiska pomoću 3D Buildera (izvor: autor).



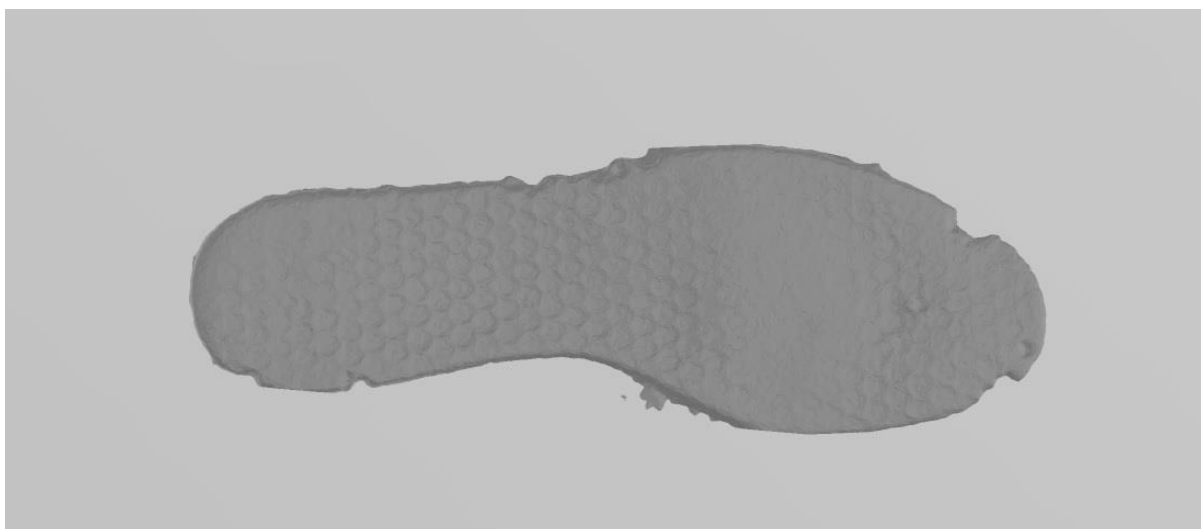
Slika 53. Izvedeni virtualni model utiska pomoću 3D Buildera, pogled 1 (izvor: autor).



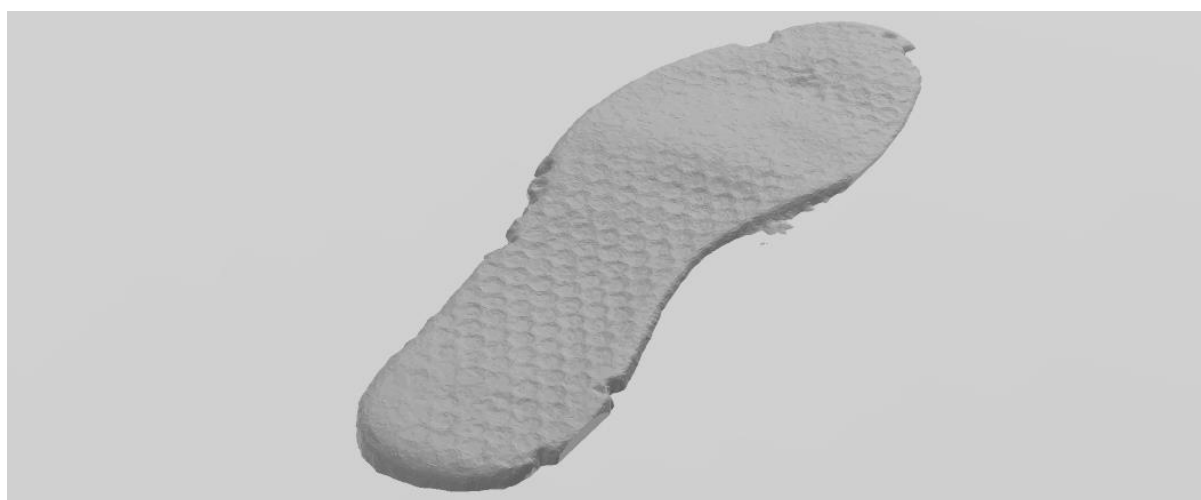
Slika 54. Izvedeni virtualni model utiska pomoću 3D Buildera, pogled 2 (izvor: autor).



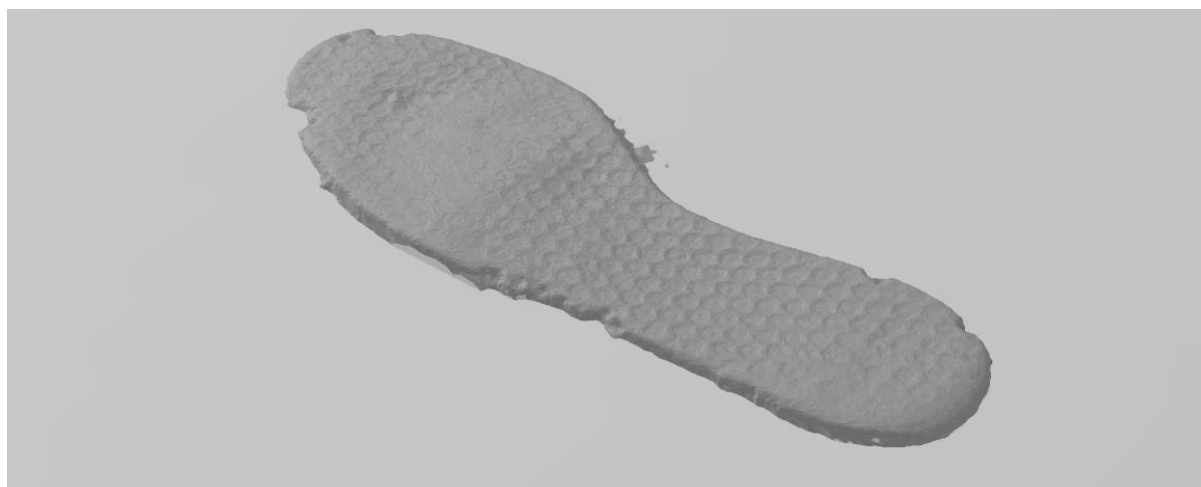
Slika 55. Izvedeni virtualni model utiska pomoću 3D Buildera, pogled 3 (izvor: autor).



Slika 56. Izvedeni virtualni model utiska pomoću 3D Buildera, pogled 4 (izvor: autor).



Slika 57. Izvedeni virtualni model utiska pomoću 3D Buildera, pogled 5 (izvor: autor).



Slika 58. Izvedeni virtualni model utiska pomoću 3D Buildera, pogled 6 (izvor: autor).



Slika 59. Izvedeni virtualni model utiska pomoću 3D Buildera, pogled 7 (izvor: autor).

4.3. 3D SKENIRANJE

Postupak skeniranja utiska iz više pozicija, kako bi se uhvatile sve karakteristike traga, prikazan je na sljedećim slikama (Slika 60. – Slika 63.).



Slika 60. Korak 1. - . 3D skeniranje utiska, pogled 1 (izvor: autor).



Slika 61. 3D skeniranje utiska, pogled 2 (izvor: autor).

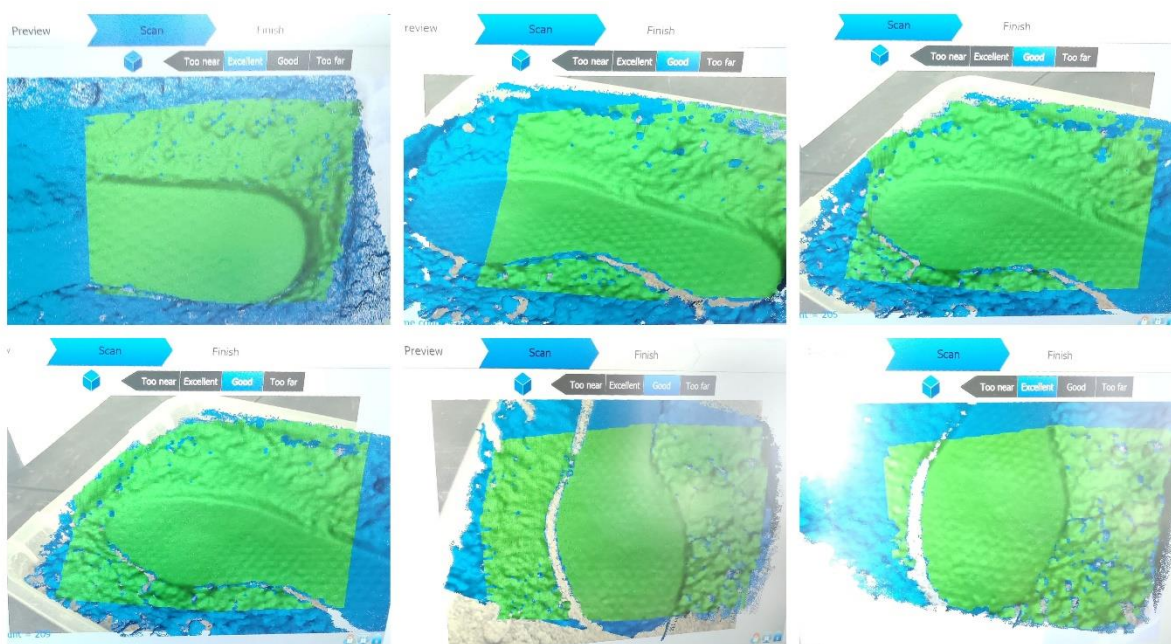


Slika 62. 3D skeniranje utiska, pogled 3 (izvor: autor).



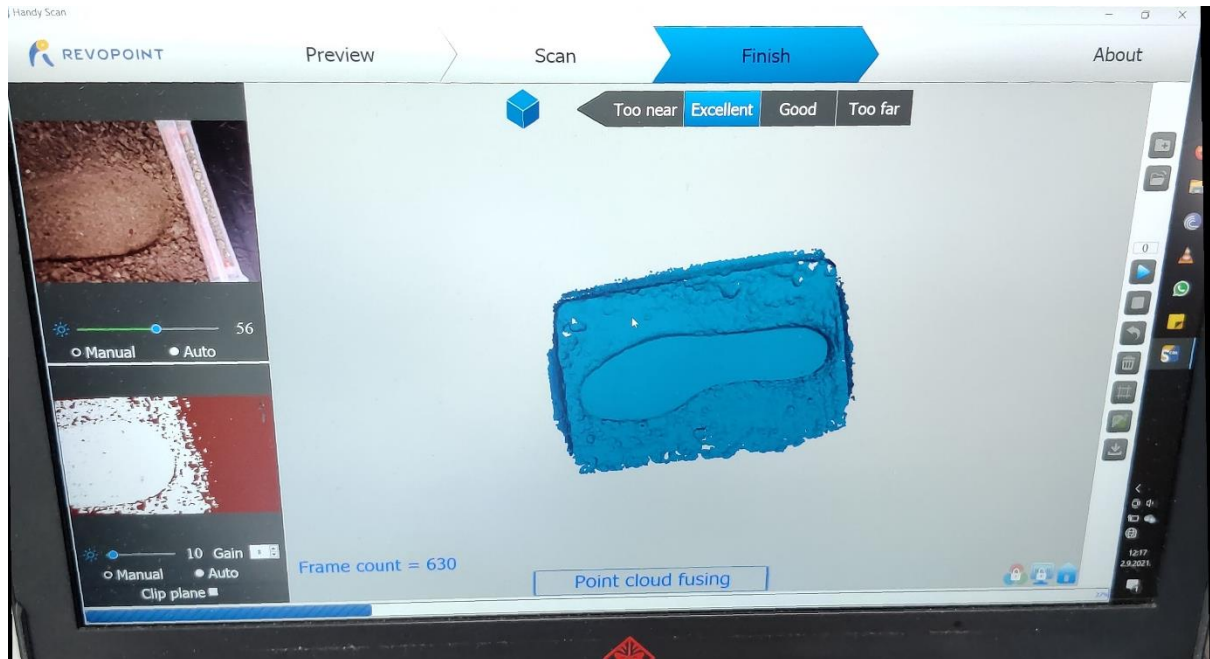
Slika 63. 3D skeniranje utiska, pogled 4 (izvor: autor).

Softver automatski preklapa okvire (eng .Frames) uhvaćenih kadrova utiska. U ovom slučaju radi se od otprilike 1500 skeniranih kadrova pozicije utiska, Slika 64.

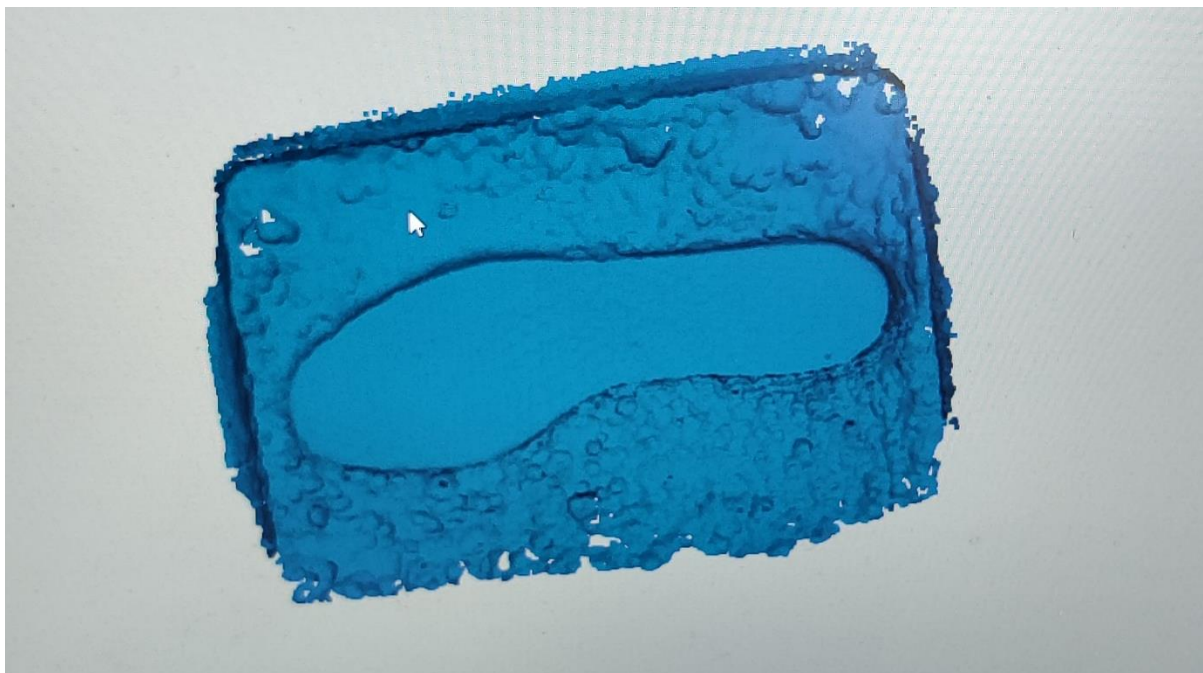


Slika 64. Prikaz preklapanja kadrova utiska pri postupku 3D skeniranja (izvor: autor).

Po završetku skeniranja, kao i kod postupka fotogrametrije, softver stvara oblak točaka poravnavajući pozicije točaka koje se međusobno preklapaju unutar uhvaćenih kadrova kreirajući virtualnu sliku budućeg modela. Oblak točaka je 3D vizualizacija modela sastavljena od nekoliko tisuća ili čak milijuna točaka s georeferencijom, odnosno svaka od tih točaka sadrži podatke o svom mjestu unutar skeniranog prostora, Slika 65 i Slika 66.



Slika 65. Korak 2. – Izrada oblaka točaka (izvor: autor).

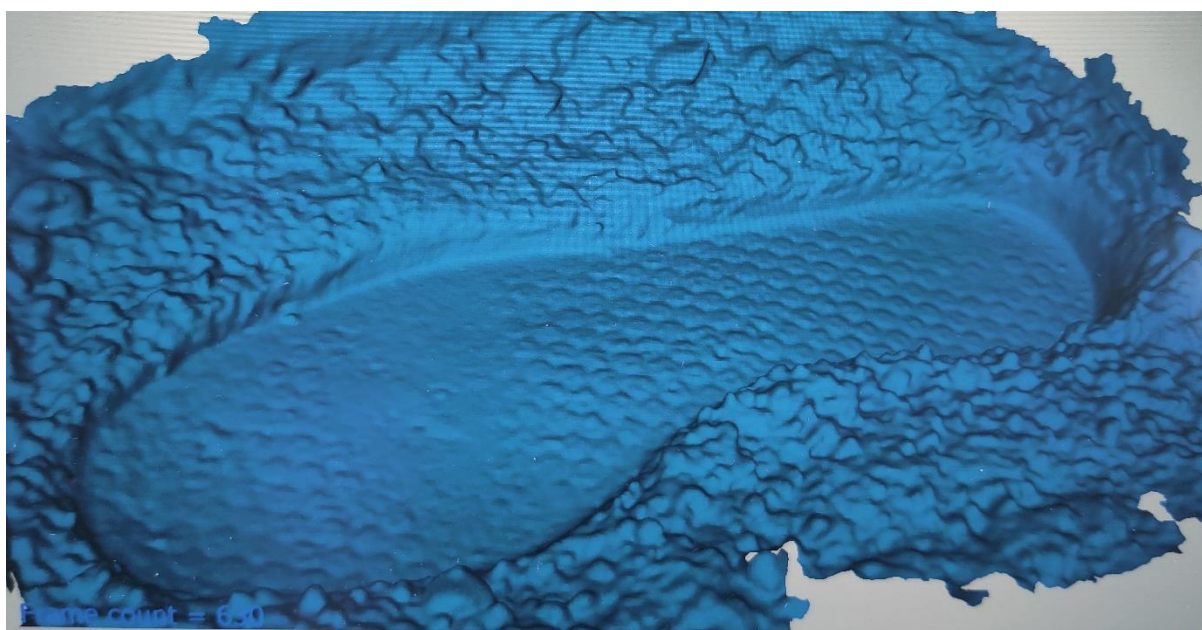


Slika 66. Oblak točaka (izvor: autor).

Izrada žičanog ili mrežnog modela (eng. Meshing) iz oblaka točaka. Dok se oblakom točaka, koji se može sastojati i od nekoliko milijuna točaka u prostoru, vizualizira trodimenzionalni model, postupkom izrade mrežnog modela te se točke pretvaraju u trokute koji tvore površinu modela. Dobiveni trokuti i dalje sadrže informacije o lokaciji, RGB osvjetljenju i vrijednosti intenziteta izvornih točaka ali se smanjuje rezolucija virtualnog modela što omogućuje njegovu bržu obradu i jednostavniji rad, Slika 67 i Slika 68.



Slika 67. Korak 3. – Izrada žičanog ili mrežnog modela iz oblaka točaka (izvor: autor).

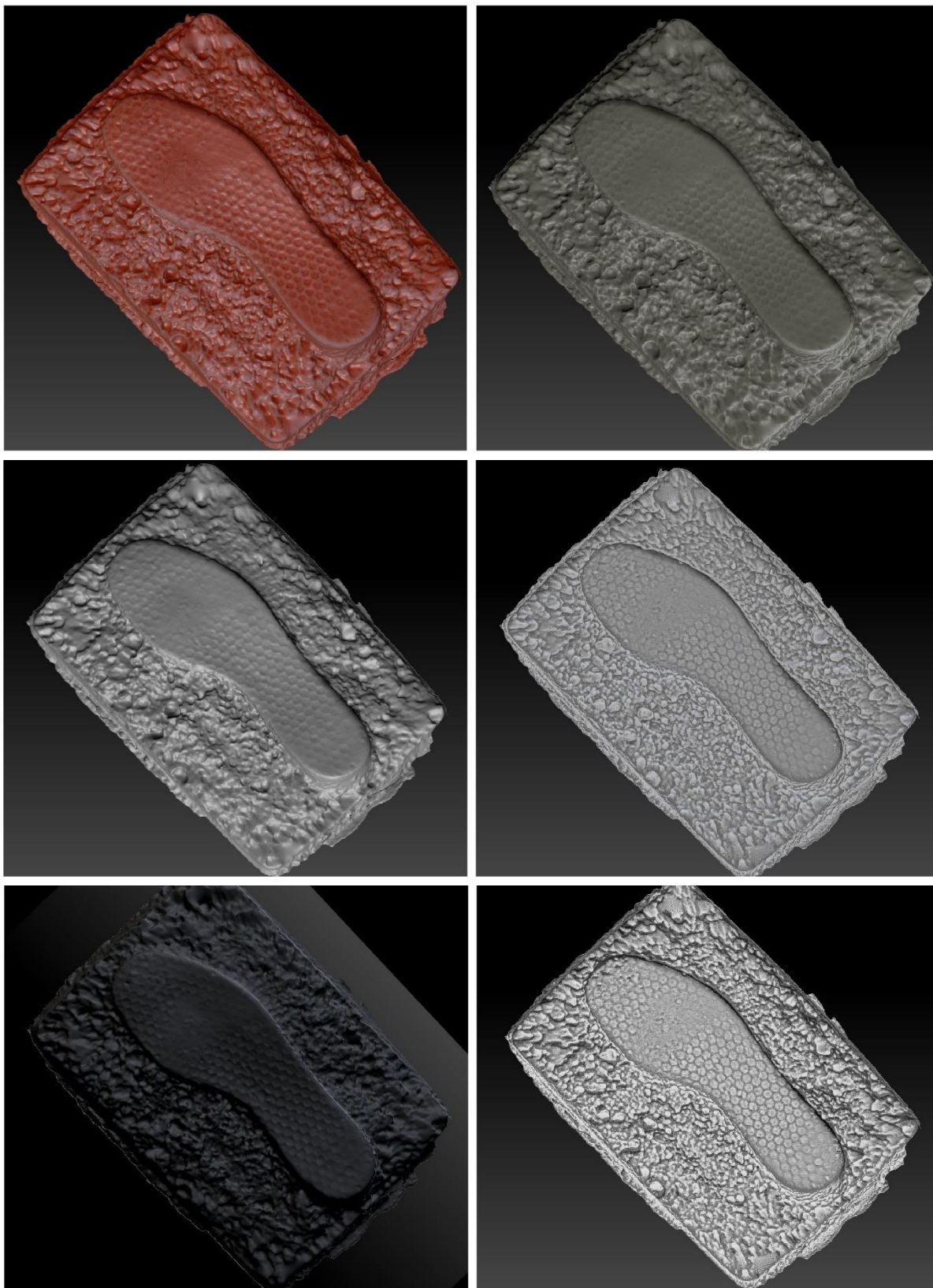


Slika 68. Dobiveni mrežni model iz oblaka točaka (izvor: autor).

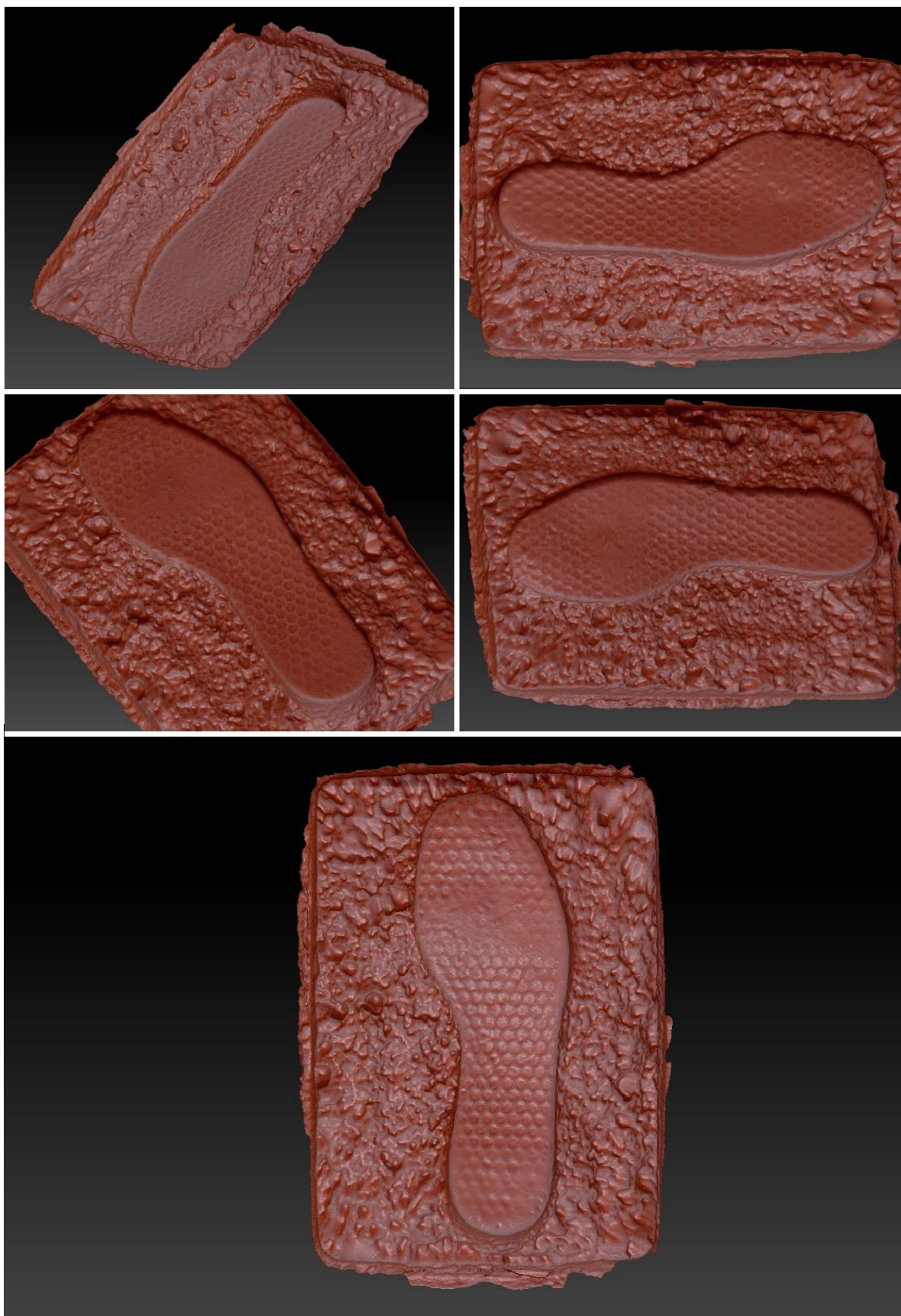
Završeni mrežni model spremljen je u OBJ formatu te dodatno obrađen uz pomoć *Zbrush* softvera kako bi se dobio virtualni 3D model. Provlačenjem modela kroz različite filtere mogu se vidjeti i istaknuti karakteristike skeniranog utiska. U svrhu demonstracije virtualni 3D model je prikazan s tri do četiri različita filtera površinskog osvjetljenja i teksture kako bi se istaknule pojedine individualne karakteristike traga (Slika 69 - Slika 72.).



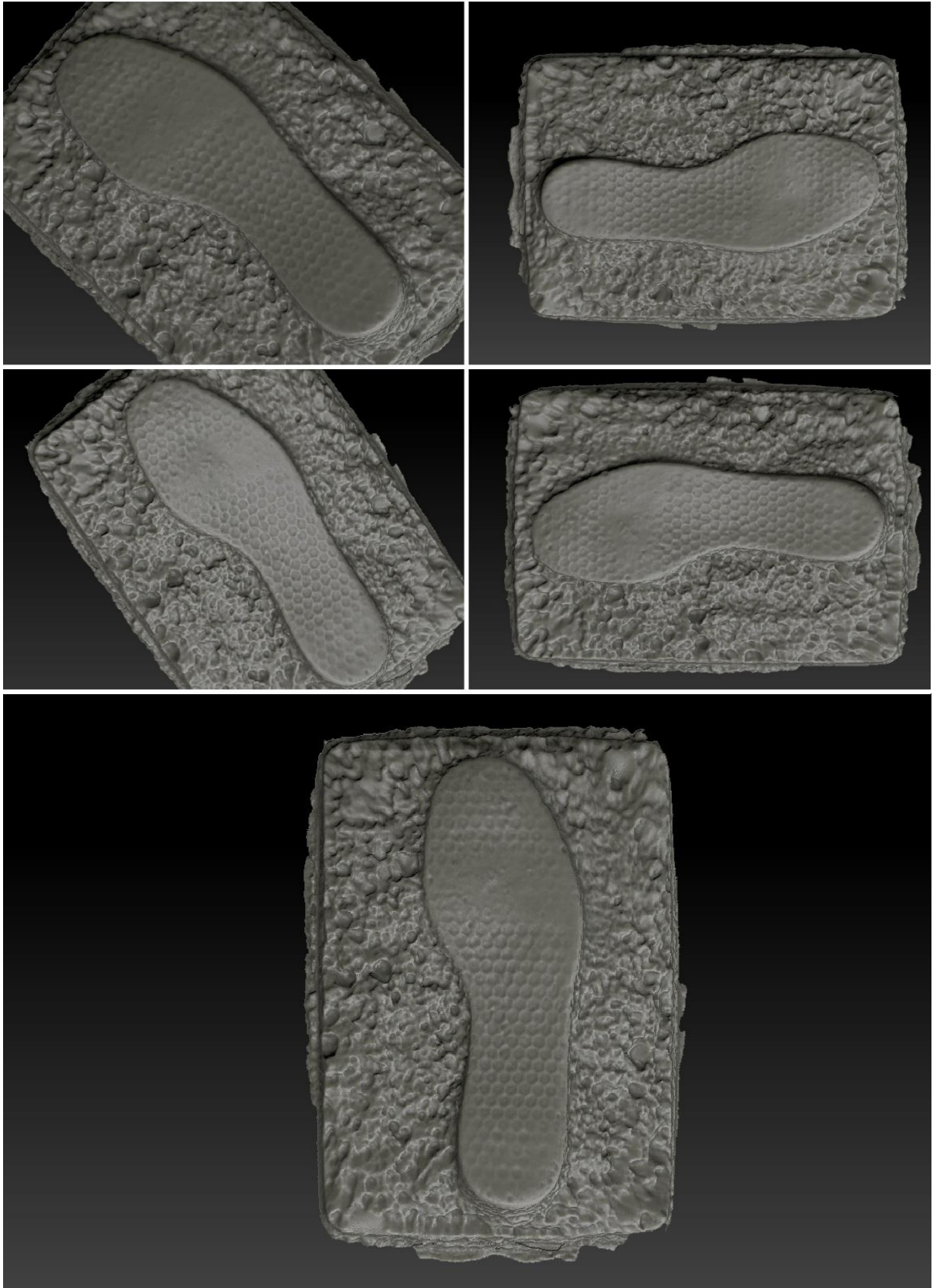
Slika 69. Korak 4. Virtualni model utiska prikazan kroz različite filtere (izvor: autor).



Slika 70. Virtualni 3D model utiska potplata prikazan kroz različite filtere (izvor: autor).

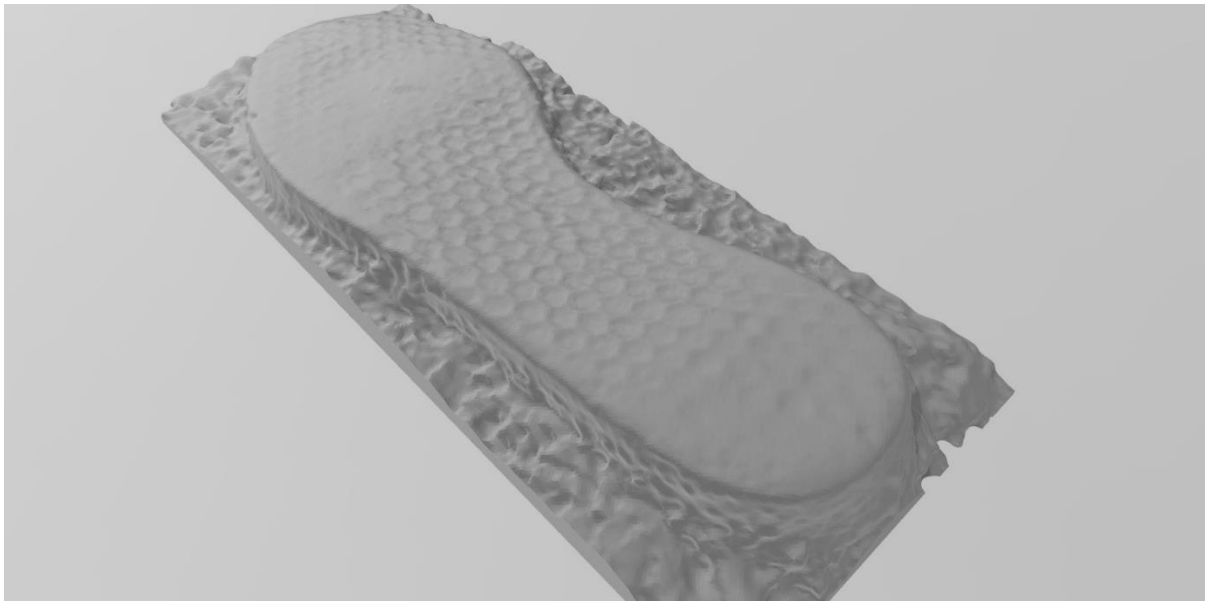


Slika 71. Virtualni model utiska prikazan crvenim filterom (izvor: autor).

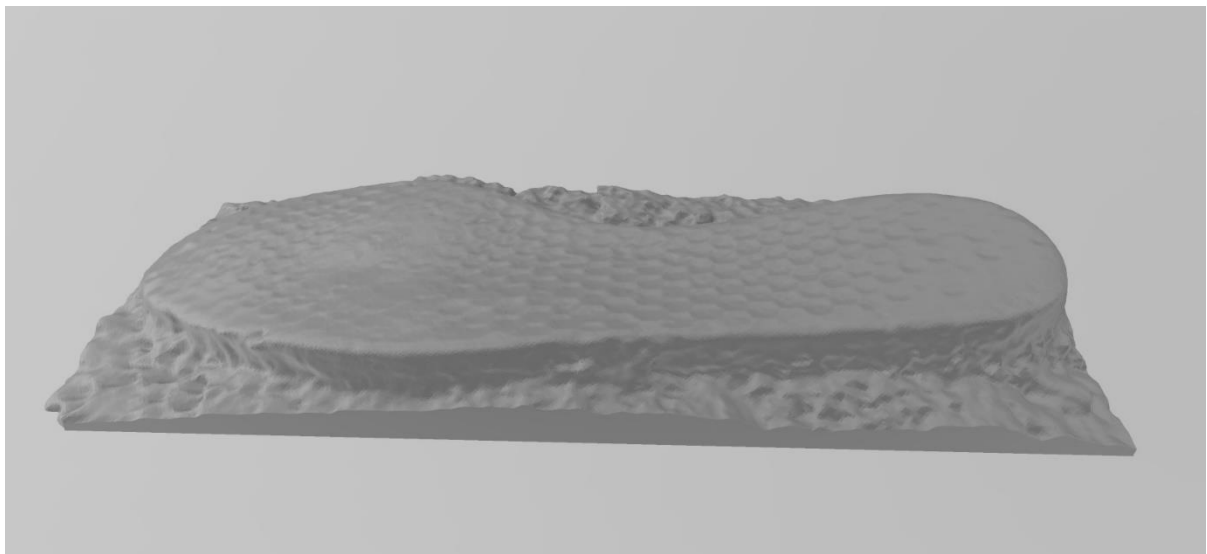


Slika 72. Virtualni model utiska prikazan sivim filterom (izvor: autor).

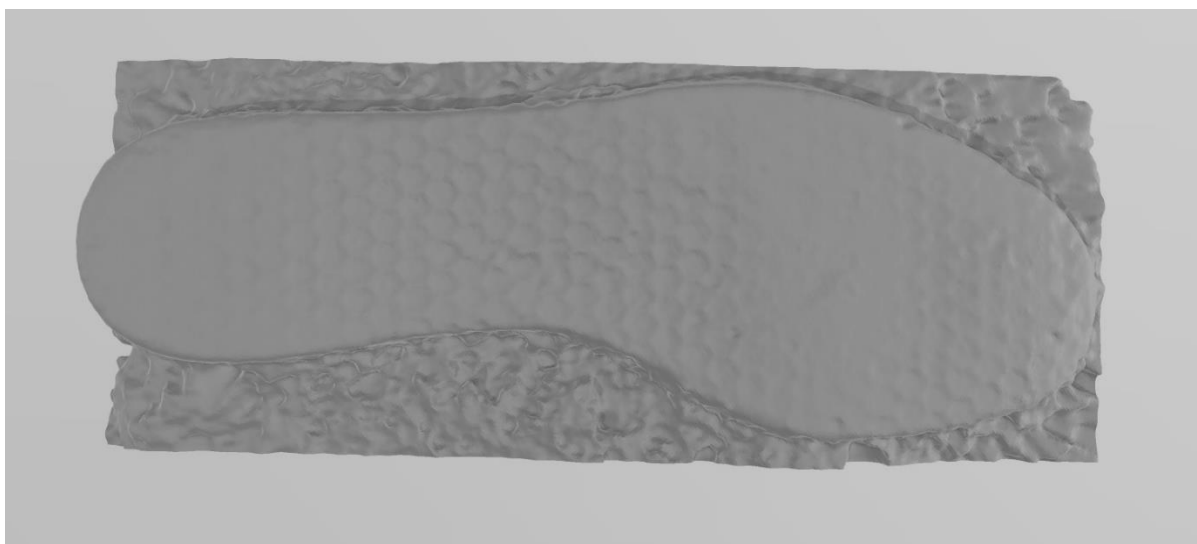
Korištenjem Microsoftova 3D Buildera model je obrađen i prilagođen kako bi se pripremio za ispis, te pohranjen u STL formatu (Slika 70. - Slika 73.).



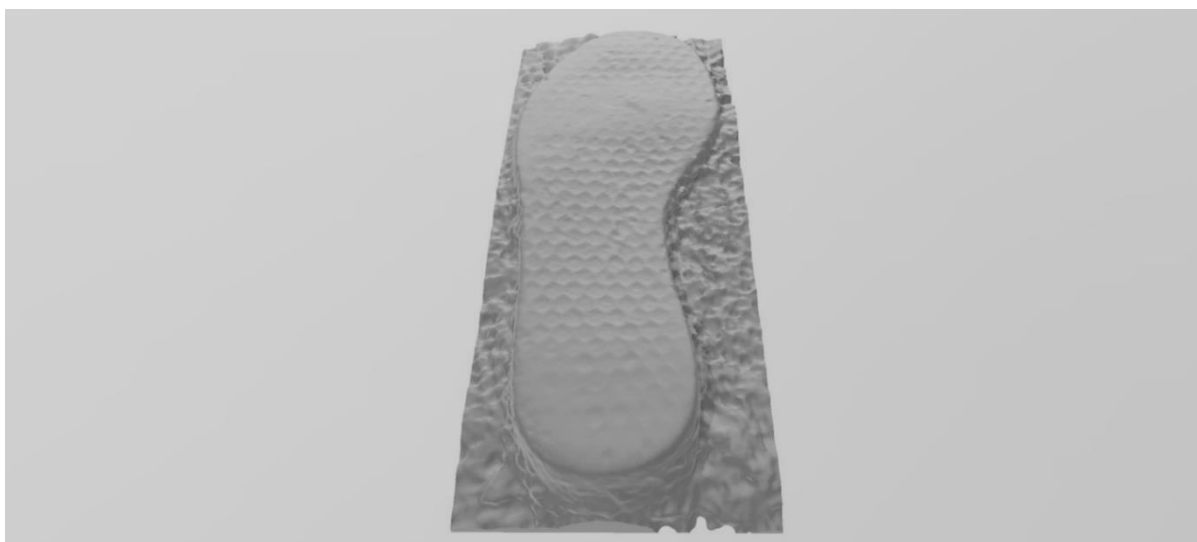
Slika 73. Virtualni model utiska izveden pomoću 3D Buildera, pogled 1 (izvor: autor).



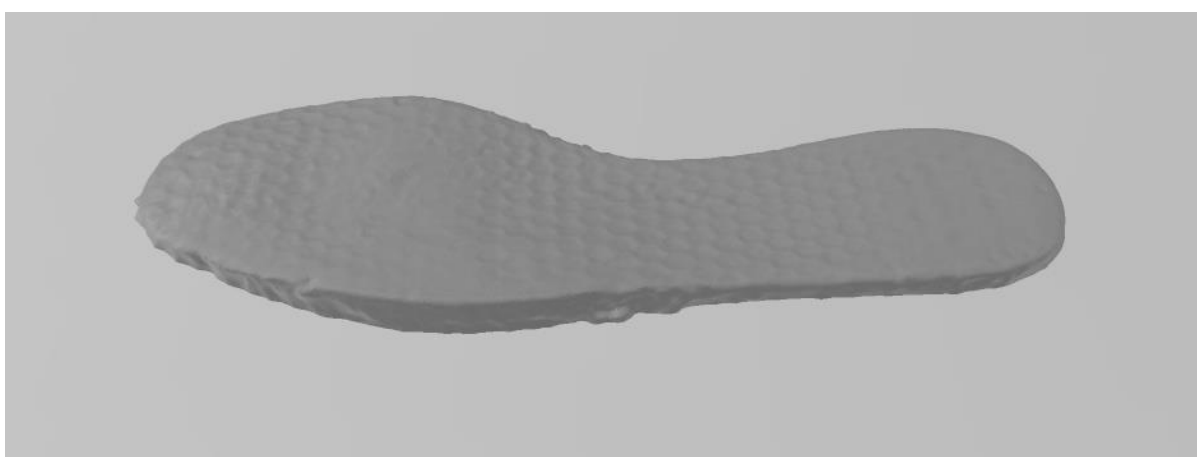
Slika 74. Virtualni model utiska izveden pomoću 3D Buildera, pogled 2 (izvor: autor).



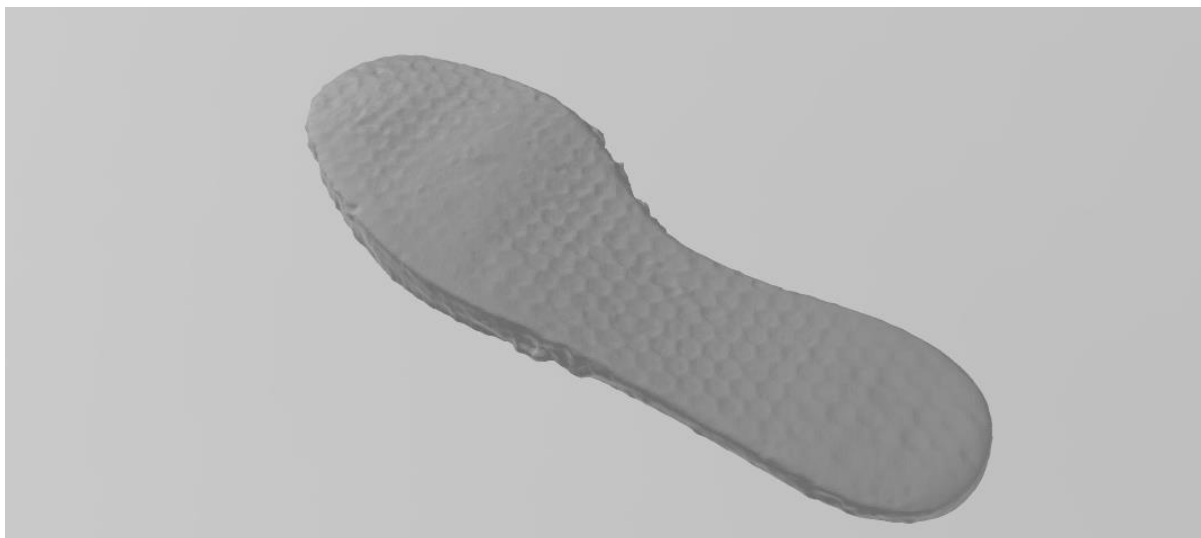
Slika 75. Virtualni model utiska izveden pomoću 3D Buildera, pogled 3 (izvor: autor).



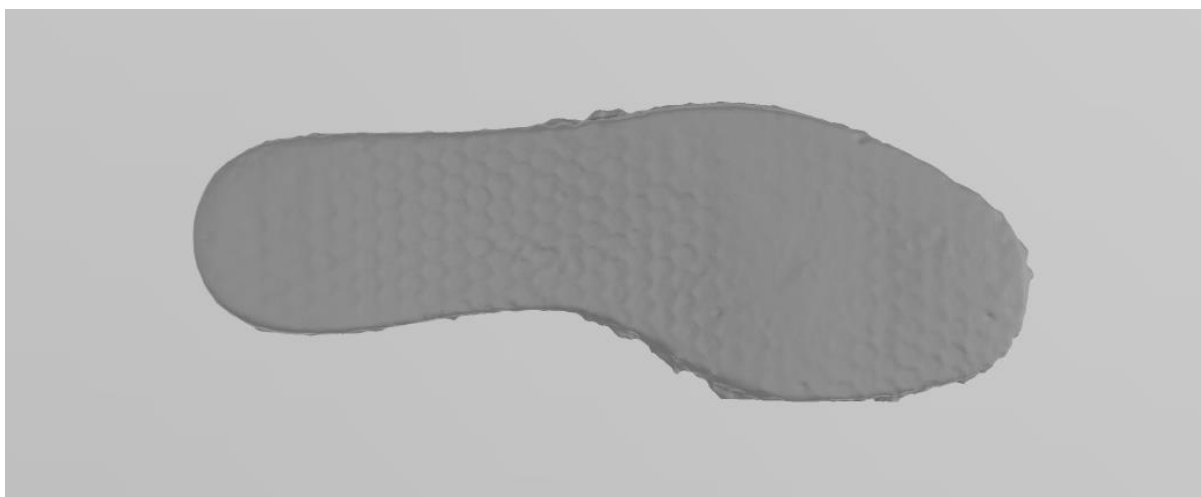
Slika 76. Virtualni model utiska izveden pomoću 3D Buildera, pogled 4 (izvor: autor).



Slika 77. Virtualni model utiska izveden pomoću 3D Buildera, pogled 5 (izvor: autor).



Slika 78. Virtualni model utiska izveden pomoću 3D Buildera, pogled 6 (izvor: autor).



Slika 79. Virtualni model utiska izveden pomoću 3D Buildera, pogled 7 (izvor: autor).



Slika 80. Virtualni model utiska izveden pomoću 3D Buildera, pogled 8 (izvor: autor).

4.4. 3D PRINTANJE

Priprema za ispis virtualnog modela utiska potplata dobivenog postupkom 3D skeniranja izvedena je softverom *PrusaSlicer*, te je model ispisan na 3D printeru, PRUSA i3 Mk3. Materijal korišten za izradu modela je Flexfill TPU 92A, kojim se zbog njegova svojstva elastičnosti postiže da je konačni model mekan na dodir kao što je slučaj i sa pravim potplatom obuće.

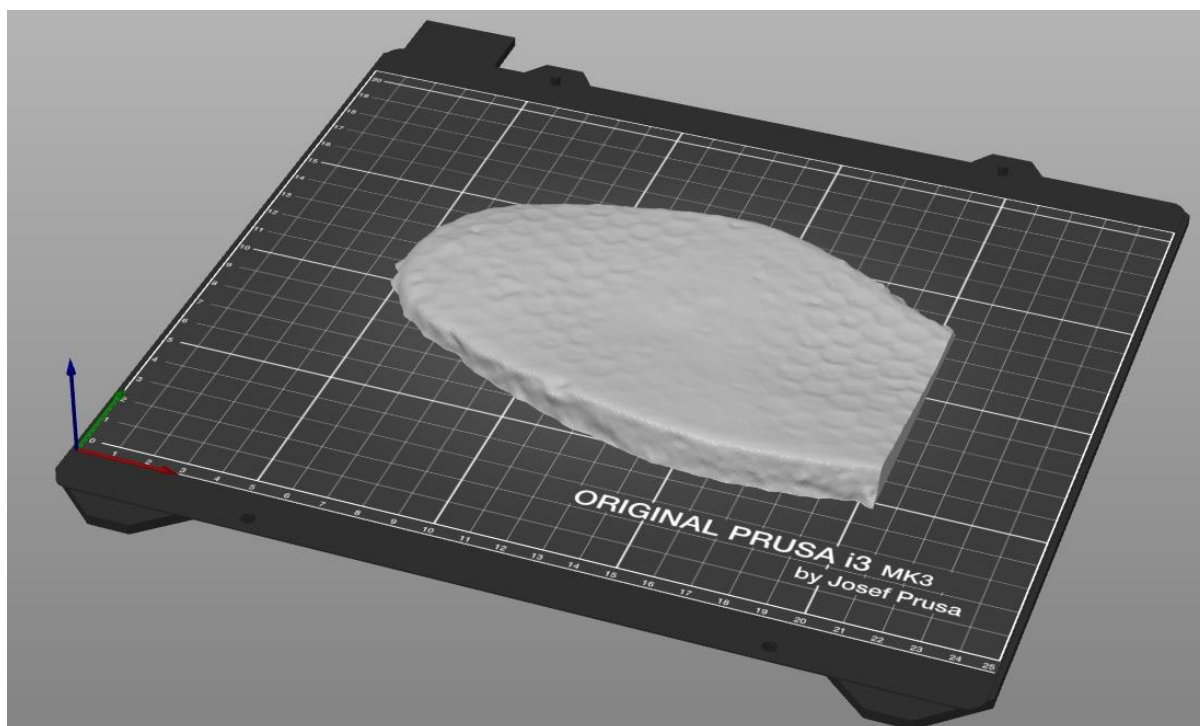
Model je ispisan pridržavajući se preporučenih postavki proizvođača za navedeni materijal:

- temperatura ispisa: 220 – 240 °C
- preporučena brzina za ispisa: 25 – 50 mm/s
- preporučena temperatura grijane radne podloge: 50 – 60 °C

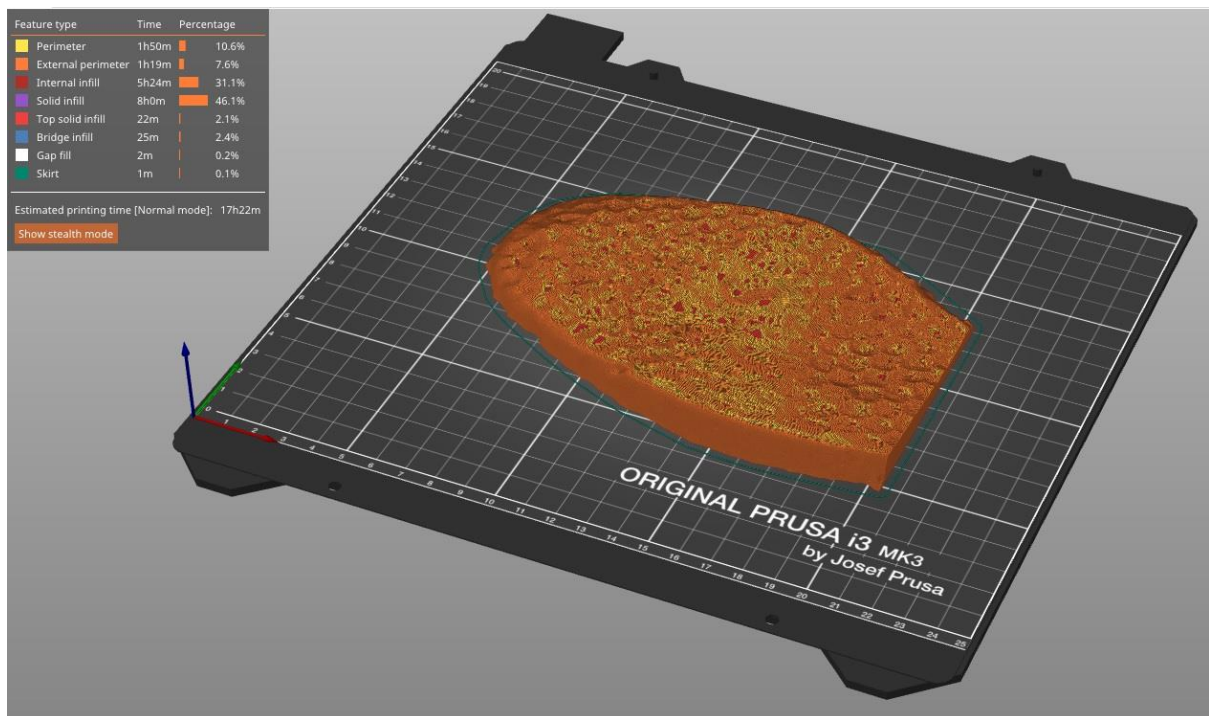
S obzirom na veličinu radne površine 3D printera, 250x210x210 mm, model nije bilo moguće ispisati u punoj veličini te je ispis izveden iz dva dijela.

4.4.1. 3D ISPIS MODELA DOBIVENOG POSTUPKOM 3D SKENIRANJA

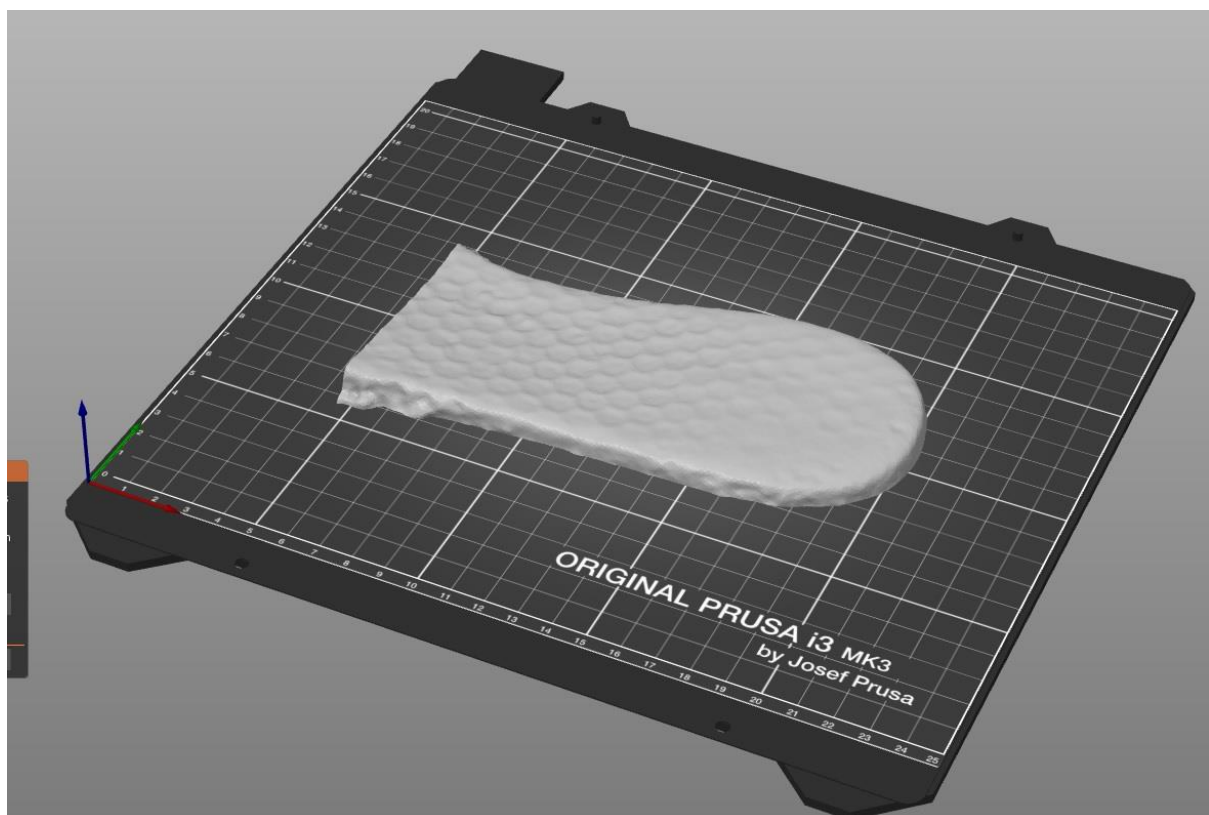
Koraci potrebni za pripremu i ispis modela na 3D printeru prikazani su na sljedećim slikama (Slika 81. – Slika 84.).



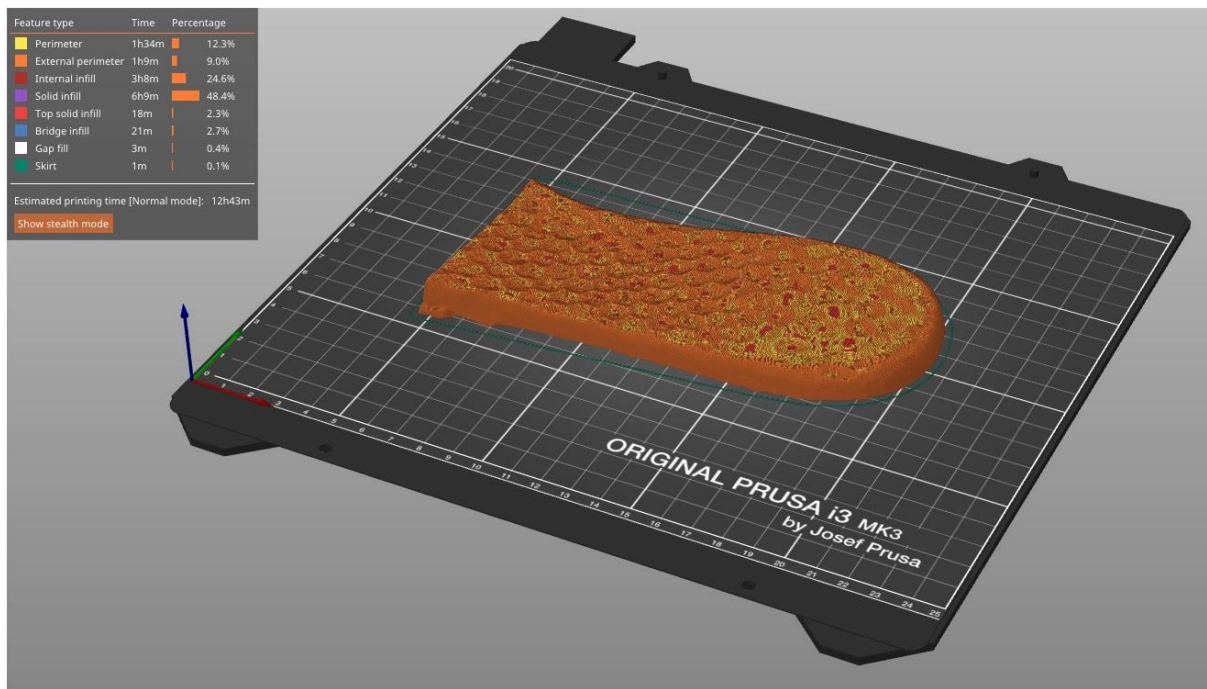
Slika 81. Korak 1 - Model prednjeg dijela potplata (prsti) uvezen i postavljen na koordinatnom radnom stolu 3D printera (izvor: autor).



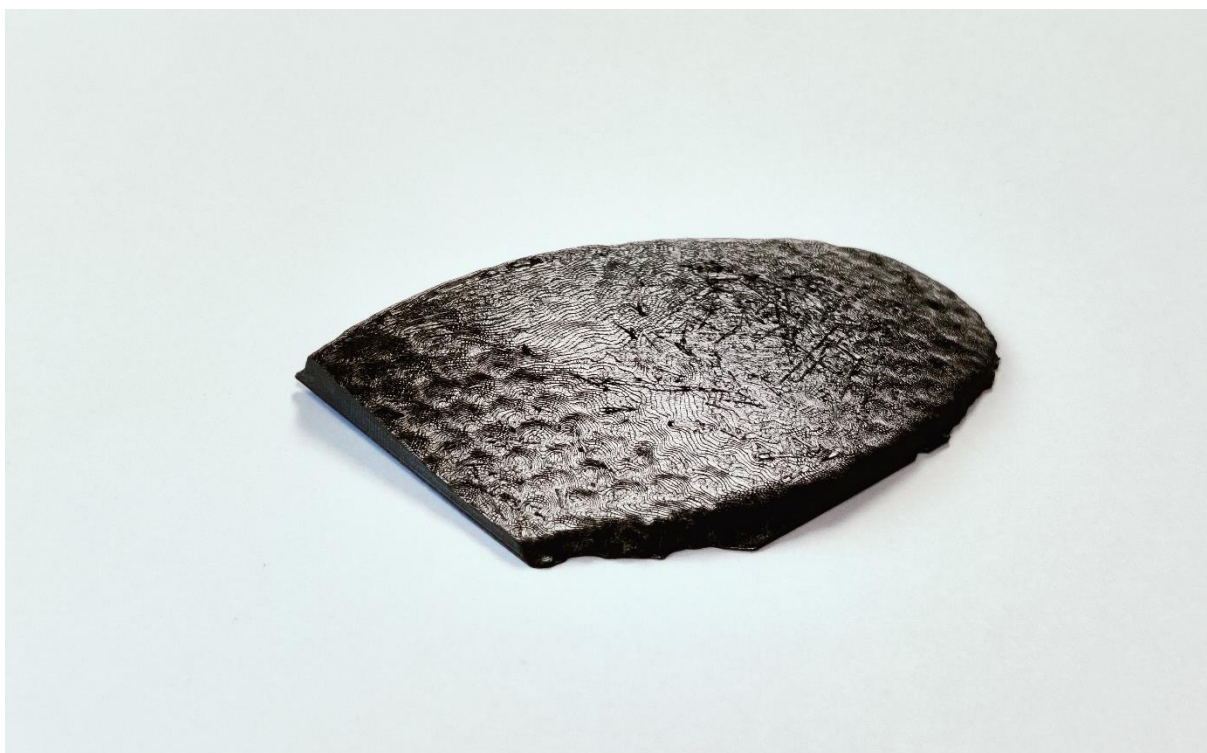
Slika 82. Korak 2. - Izvedeni G-kod modela prednjeg dijela potplata spremnog za ispis s karakteristikama svakog sloja i predviđenim vremenom završetka modela (izvor: autor).



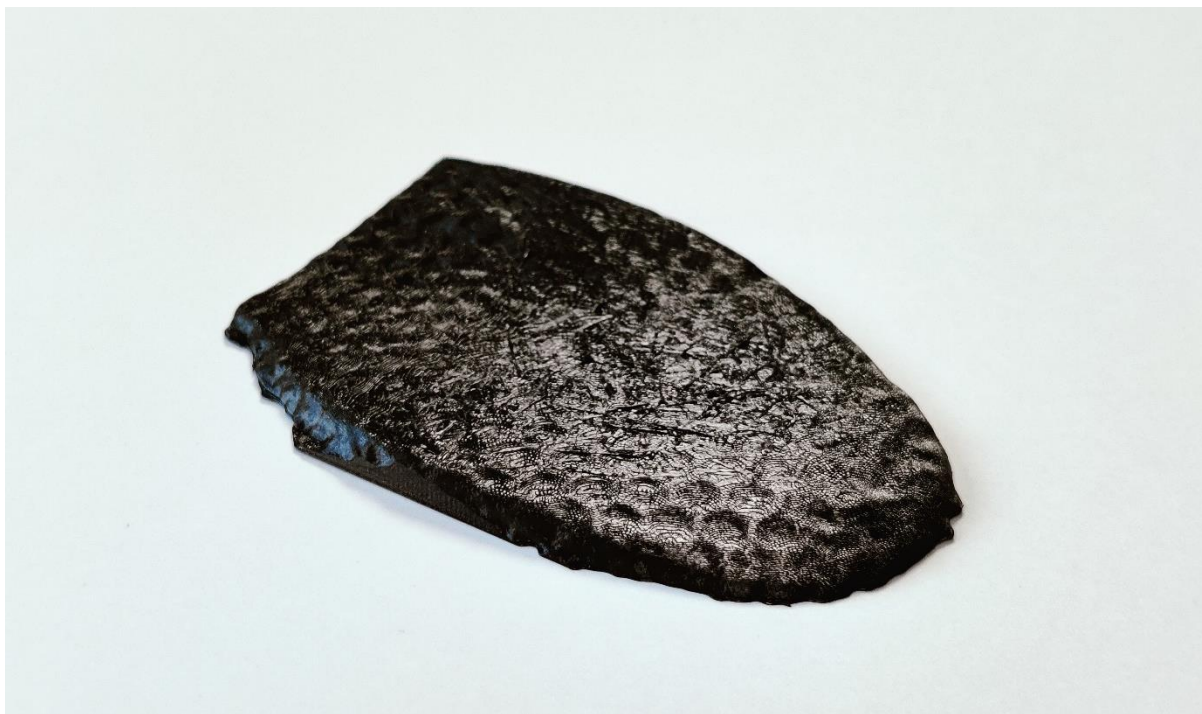
Slika 83 . Korak 1. - Model stražnjeg dijela potplata (peta) uvezen i postavljen na koordinatnom radnom stolu 3D printera (izvor: autor).



Slika 84. Korak 2. - Izvedeni G-kod modela stražnjeg dijela potplata spremnog za ispis s karakteristikama svakog sloja i predviđenim vremenom završetka modela (izvor: autor).



Slika 85. 3D model prednjeg dijela potplata ispisan na 3D printeru, pogled 1 (izvor: autor).



Slika 86. 3D model prednjeg dijela potplata ispisan na 3D printeru, pogled 2 (izvor: autor).

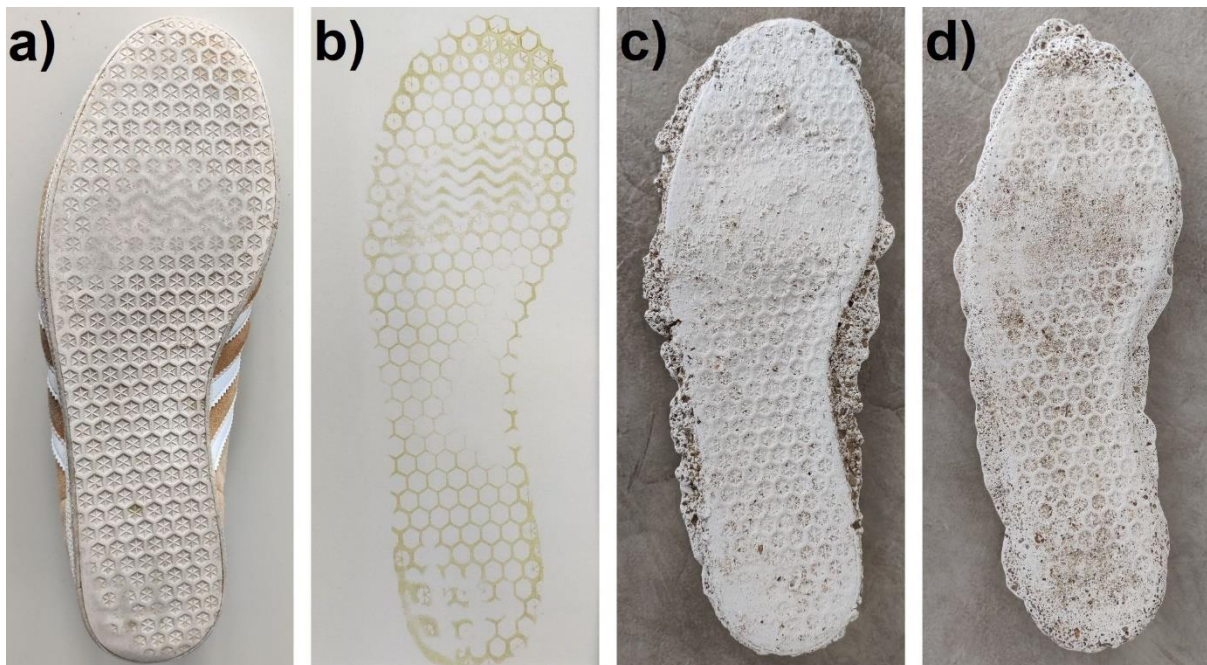


Slika 87. 3D model stražnjeg dijela potplata ispisan na 3D printeru (izvor: autor).

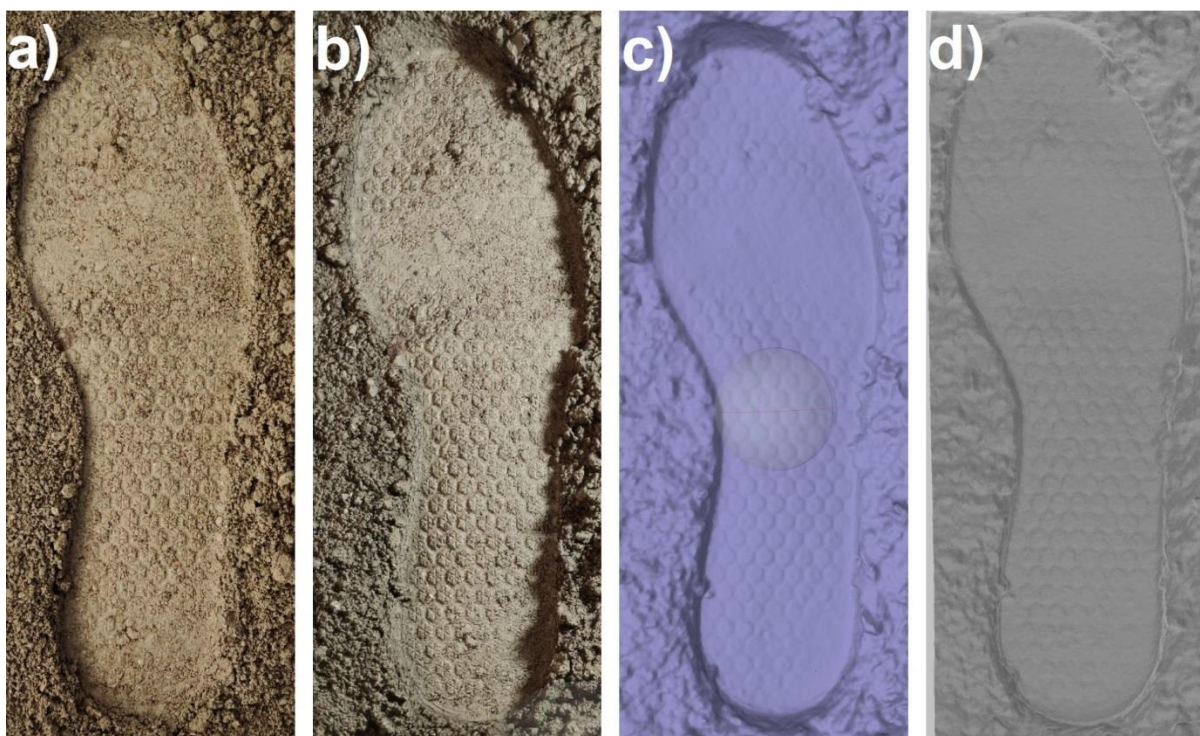


Slika 88. 3D model kompletnog potplata ispisanog na 3D printeru (izvor: autor).

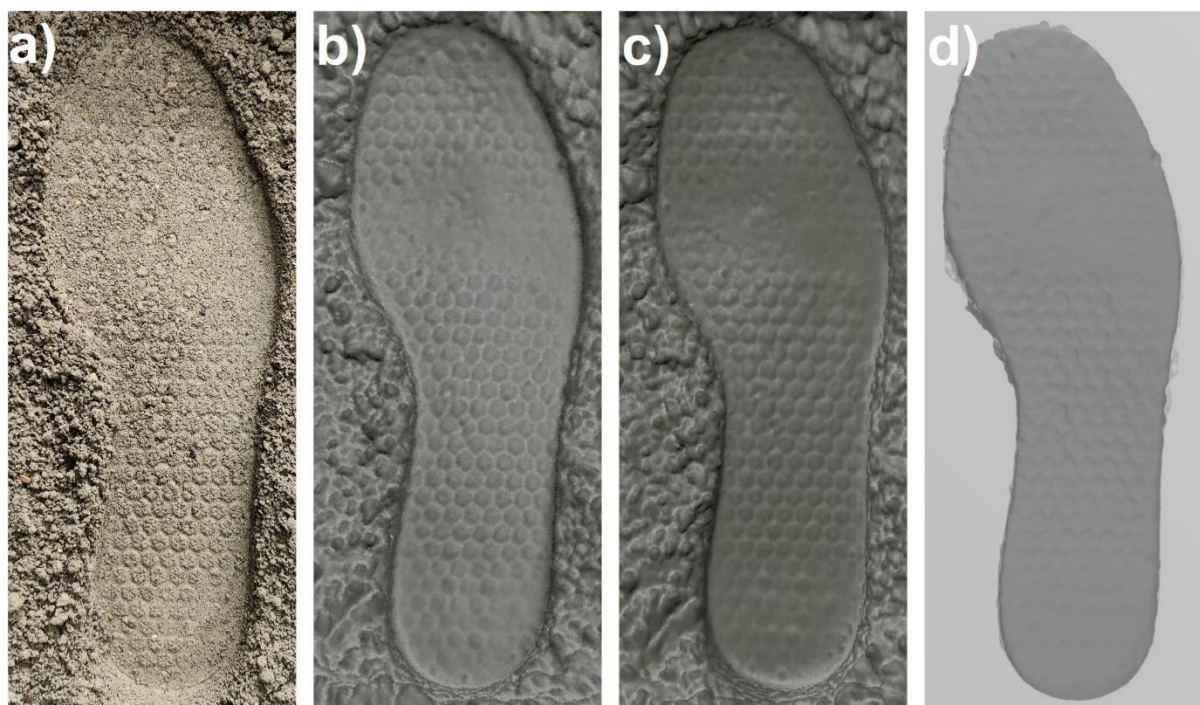
Na sljedećim slikama usporedno su prikazani rezultati provedenih metoda izuzimanja tragova utiska potplata obuće na kojima su vidljive njegove individualne karakteristike (Slika 89 – Slika 91.).



Slika 89. a) Potplat obuće, b) neosporni uzorak, c) model potplata iz vlažne zemlje dobiven postupkom mulažiranja, d) model potplata iz suhe zemlje dobiven postupkom mulažiranja (izvor: autor).



Slika 90. Postupak dobivanja modela fotogrametrijom: a) utisak potplata u vlažnoj zemlji, b) virtualni model – oblak gustoće c) virtualni 3D model, d) model izveden 3D Builderom (izvor: autor).



Slika 91. Postupak dobivanja modela 3D skeniranjem: a) utisak potplata u vlažnoj zemlji, b) virtualni model utiska potplata– sivi filter c) virtualni model utiska potplata– zeleni filter, d) model izveden 3D Builderom (izvor: autor).

U Tablici 4. prikazana je usporedba utrošenog vremena za izuzimanje utiska potplata obuće korištenjem različitih metoda.

Tablica 4. Usporedba utrošenog vremena za izvođenje pojedinog postupka izuzimanja (izvor: autor).

POSTUPAK	VRSTA RADNJE	UTROŠENO VRIJEME (h/min/sec)
MULAŽIRANJE - VLAŽNA ZEMLJA	IZRADA GIPSANOG ODLJEVKA	9' 38"
	VADENJA I PAKIRANJE UZORKA	15' 22"
	SUŠENJE UZORKA	24h
	ČIŠĆENJE UZORKA	5' 20"
	UKUPNO VRIJEME	24h 30' 20"
MULAŽIRANJE - SUHA ZEMLJA	IZRADA GIPSANOG ODLJEVKA	10' 44"
	VADENJA I PAKIRANJE UZORKA	17' 28"
	SUŠENJE UZORKA	24h
	ČIŠĆENJE UZORKA	5' 45"
	UKUPNO VRIJEME	24h 33' 57"
FOTOGRAMetriJA - VLAŽNA ZEMLJA	FOTOGRAFIRANJE	5'
	OBRRADA FOTOGRAFIJA - AgiSoft	6h 5'
	OBRADA 3D MODELA – 3D Builder	25'
	UKUPNO VRIJEME	6h 30'
3D SKENIRANJE - VLAŽNA ZEMLJA	SKENIRANJE	15'
	OBRADA SKENOVA	1h 45'
	OBRADA 3D MODELA – 3D Builder	20'
	UKUPNO VRIJEME	2h 20'
3D PRINTANJE - UZORAK IZVEDEN 3D SKENIRANJEM	3D PRITANJE - PETA	12h 43'
	3D PRINATNJE - PRSTI	17h 22'
	UKUPNO VRIJEME	30h 5'

5. RASPRAVA

Završetkom praktičnog dijela izuzimanja utiska potplata obuće vidljivo je da svaki od tri korištena postupka ima svoje očekivane prednost i nedostatke. Konvencionalan postupak izuzimanja mulažiranjem pogodan je zbog jeftinog i lako dostupnog materijala. Gips koji se koristi dostupan je u svakoj bolje opskrbljenoj prodavaonici, što je slučaj i s lakom za kosu koji je imao svrhu fiksiranja traga prilikom izuzimanja utiska pronađenog na suhoj zemljanoj podlozi. Sam postupak ne zahtijeva previše vremena, u prosjeku se radi o 20-tak minuta koji uključuju i samu pripremu, no sušenje dobivenog uzorka zahtijeva razdoblje od 24 do 48 sati prije daljnjeg korištenja i arhiviranja. Gustoća pripremljene smjese ovisi o vrsti podloge (suha, vlažna, mokra) te je za pravi omjer komponenata ipak neophodno određeno iskustvo. Postupak je sam po sebi destruktivan, nije ponovljiv, što dovodi do gubitka traga ako se ne provede propisno izuzimanje, a isto tako dolazi i do gubitka dijela uzoraka koji bi mogli pomoći u rekonstrukciji počinjenog djela, kao što su određeni biološki, kemijski i drugi mikrotragovi. Mulažiranjem se nepotrebno gomilaju uzorci, što može dovesti do njihovog propadanja i gubitka forenzičnog traga što ne vrijedi za postupke fotogrametrije i 3D skeniranja.

Za razliku od mulažiranja postupak fotogrametrije je ponovljiv jer se trag ne uništava, a samim time nema ni gubitka mikrotragova. Sam postupak nije složen i nije potrebna nikakva skupocjena oprema jer danas gotovo svi mobiteli imaju kameru koja zadovoljava uvjete dobivanja kvalitetne fotografije. Postoji i širok spektar besplatnih softvera za obradu fotografija postupkom fotogrametrije ili onih probnih na razdoblje od 30 dana s mogućnošću kupnje, a koji nude pregršt dodatnih funkcija za bolju obradu, izradu i analizu virtualnog modela. Izuzimanje traga ovim postupkom omogućava i izradu virtualne baze podataka te samim time nema gomilanja uzoraka, što je slučaj kod mulažiranja, već se prema potrebi model utiska može ispisati na 3D printeru. Također, omogućena je i bolja preglednost izuzetog utiska jer se fotografijom hvataju njegovi bitni segmenti te se detaljnije mogu uočiti i analizirati individualne karakteristike utiska. Kao nedostatak ovog postupka može se izdvojiti dodatna investicija u profesionalniju opremu ako se želi dobiti veća kvaliteta fotografija i konačnog proizvoda, odnosno modela. Potrebna je i dodatna investicija u računalo koje zahtijeva brži procesor i više radne memorije za procesuiranje fotografija u nekom od funkcionalnijih softvera, te prema potrebi i u 3D printer boljih performansi kako bi konačni model bio veće točnosti sa što realnijim prikazom značajnih karakteristika traga. Uza sve navedeno potrebno je i određeno informatičko znanje za rad s prije spomenutim

uređajima i programima za obradu fotografija. Nedostatak ovog postupka predstavlja i to što virtualni konačni model nije izveden u stvarnom mjerilu već ga je potrebno naknadno skalirati na njegove realne dimenzije. Kao što je slučaj i kod postupka 3D skeniranja, preporučljivo je da se postupak fotografiranja ne odvija izravno pod sunčevom svjetlošću jer bi to moglo dovesti do smanjenja kvalitete fotografije, a samim time i do smanjenja kvalitete virtualnog modela utiska i njegovih bitnih značajki. Ova se značajka uglavnom odnosi na niskobudžetne 3D skenere.

Izuzimanje utiska postupkom 3D skeniranja ima svojih sličnosti s postupkom fotogrametrije; ponovljivost bez gubitka mikrotragova, mogućnost izrade virtualne baze podataka, mogućnost dodatne obrade virtualnog modela utiska unutar softvera (zumiranje detalja, bolja preglednost uzorka, mogućnost preklapanja s postojećim itd.) te nema suvišnog gomilanja uzorka koji se u slučaju potrebe mogu ispisati na 3D printeru. Prednost ovog postupka naspram fotogrametrije je ta što virtualni model nije potrebno naknadno skalirati na dimenziju stvarnog uzorka jer 3D skener hvata i pohranjuje njegove realne vrijednosti. Skeniranjem utiska IR 3D skenerom nije bilo potrebe za pokrivanjem svih 360° za izradu modela kao što je to bio slučaj s fotogrametrijom. Postupak 3D skeniranja odlikuje se i boljom rezolucijom za razliku od postupka fotogrametrije i nema utjecaja vremenskih prilika na rad ako se koristi profesionalni forenzički 3D skener.

Nedostatak se očituje u potrebnom ulaganju u profesionalniju i sofisticiraniju opremu (3D skener, 3D printer, računalo i dr.) koja nema svojih ograničenja kao što je to slučaj s niskobudžetnim 3D skenerom korištenim u ovom radu. Prema svojim karakteristikama i potrebi za forenzičnim skeniranjem može se za primjer izdvojiti 3D-FORENSICS/FTI (GEXCEL, 2019, Italija) (27). Prednost ovog 3D skenera očituje se u tome što vremenski uvjeti ne ograničavaju njegovu uporabu kao ni vrsta terena, a uz to ga odlikuje dimenzijska točnost snimljenog modela i količina uhvaćenih detalja traga utiska bitnih za njegovu individualizaciju.

Kao što je slučaj i s fotogrametrijom potrebno je poznavanje osnova rada s opremom i određeno informatičko znanje kako bi se iskoristio puni potencijal ove metode izuzimanja tragova utiska.

6. ZAKLJUČCI

- Klasične metode izuzimanja uzoraka jeftinije su, brže i jednostavnije od modernih.
- Moderne metode izuzimanja manje su destruktivne od klasičnih metoda i omogućavaju ponovno izučavanje dokaza kao i primjenu dodatnih analiza na samome tragu.
- Preporuka je da se uz klasičnu metodu izuzimanja utiska provede i jedna od modernih metoda kako bi se omogućile dodatne i preciznije analize traga.

7. LITERATURA

1. Forensic | Definition of Forensic by Merriam-Webster [Internet]. Merriam-Webster. 2021 [citirano 11. studenog 2021.]. Dostupno na: <https://www.merriam-webster.com/dictionary/forensic>
2. Modly, D., Mršić, G. Uvod u kriminalistiku / Šikić, A., Mršić, G. (ur.). Hrvatska sveučilišna naklada, Zagreb. 2014.
3. Ministarstvo unutarnjih poslova Republike Hrvatske. Priručnik za kriminalističke tehničare. Zagreb: Policijska akademija; 2010.
4. Ministarstvo unutarnjih poslova Republike Hrvatske. Priručnik za istraživanje mjesta teških kaznenih djela. Zagreb: Policijska akademija; 2019.
5. Marendić, S., Anđelinović, Š., Kružić, I., Bašić, Ž, editors. Forenzička analiza tragova krvi. Split: Sveučilište u Splitu, Sveučilišni odjel za forenzične znanosti; 2021.
6. Šatrak M, Hobljaj S, Stemberga V, Šoša I, Cuculić DJMFMF. Biološki tragovi na mjestu događaja. 2018;54(2):129-39.
7. Primorac D, Marjanović D. Analiza DNA u sudskoj medicini i pravosuđu: Medicinska naklada; 2008.
8. Stanković, N. Krivično pravo: Opšti dio. Brčko: Evropski univerzitet; 2016.
9. Lee, C. Henry i sur. Materijalni tragovi. Zagreb: Birotisak, 1998.
10. Mindum, Z., Švec, Ž. Radna uputa obrada tragova potplata obuće i pneumatika. Centar za forenzična ispitivanja, istraživanja i vještačenja „Ivan Vučetić“; 2015.
11. Dostupno na: <https://www.shutterstock.com/> [Pristupljeno: 28. lipnja 2021.].
12. National Institute of Justice. 2021. Forensic Databases: Paint, Shoe Prints, and Beyond. [online] Dostupno na: <https://nij.ojp.gov/topics/articles/forensic-databases-paint-shoe-prints-and-beyond#treadmark%E2%84%A2> [Pristupljeno: 6. kolovoza 2021.].
13. User, S., 2021. SoleMate®. [online] Fosterfreeman.com. Dostupno na: <http://www.fosterfreeman.com/index.php/trace-evidence/357-sicar-6-solemate-2> [Pristupljeno: 6. kolovoza 2021.].

14. Hobbit Imaging Solutions. 2021. Shoeprint matcher - Hobbit Imaging Solutions. [online] Dostupno na: <<https://hobbit-is.nl/forensic-intelligence/pride/?lang=en>> [Pristupljeno: 6. kolovoza 2021.].
15. Everspry.com. 2021. Everspry - Automated Shoeprint Recognition. [online] Dostupno na: <http://www.everspry.com/en/products/products_01.htm> [Pristupljeno: 6. kolovoza 2021.].
16. SICAR® (Shoeprint Image Capture and Retrieval Database) 2021. [online] Dostupno na: <<https://dps.mn.gov/divisions/bca/bca-divisions/forensic-science/Pages/trace-shoeprints-tiretracks.aspx>> [Pristupljeno: 6. kolovoza 2021.].
17. Andaló FA, Goldenstein S. Computer vision methods applicable to forensic science: University of Campinas, Brazil; 2012.
18. Crabbe S, Kühmstedt P, Ramm R, Hendrix A, Smolders P, van Spanje W, et al., editors. Results from 3D-forensics—mobile high-resolution 3D-scanner and 3D data analysis for forensic evidence. Proceedings 10th Future Security-Security Research Conference; 2015.
19. Thompson T, Norris PJS, Justice. A new method for the recovery and evidential comparison of footwear impressions using 3D structured light scanning. 2018;58(3):237-43.
20. Peko, I., Bašić, A., Aljinović, A. Računalom podržani dizajn, aditivna proizvodnja i 3D skeniranje proizvoda. U: Inovativno pametno poduzeće. Split: Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje; 2018.
21. Slika dostupna na: <https://imgur.com/> [Pristupljeno: 25. kolovoza 2021.].
22. Thompson T, Norris PJS, Justice. A new method for the recovery and evidential comparison of footwear impressions using 3D structured light scanning. 2018;58(3):237-43.
23. Bernik A, Cetina L. USPOREDBA 3D SKENIRANJA I FOTOGRAMetriJE A COMPARISON OF 3D SCANNING AND PHOTOGRAMMETRY.
24. Staroveški M. Vrste ispuna unutrašnjosti proizvoda načinjenih taložnim očvršćivanjem: University of Zagreb. Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture; 2015.
25. Slika dostupna na: <https://depositphotos.com/> [Pristupljeno: 25. kolovoza 2021.].
26. Barešić V. Izrada FDM uređaja: Karlovac University of Applied Sciences. The Department of Mechanical Engineering; 2016.

27. Treccani, S., 2021. 3D-Forensics - Gexcel. [online] Gexcel.it. Dostupno na: <<https://gexcel.it/en/solutions/3d-forensics>> [Pristupljeno: 6. kolovoza 2021.].

SAŽETAK

PRIMJENA 3D TEHNOLOGIJA U IZUZIMANJU I IDENTIFIKACIJI TRAGOVA OBUĆE

Ciljevi: Dokazati prednosti i nedostatke klasičnih i modernih načina izuzimanja tragova utiska.

Materijali i metode: Provedene metode izuzimanja traga utiska su: mulažiranje kao klasična metoda te fotogrametrija i 3D skeniranje kao moderne metode izuzimanja. Materijal korišten u klasičnoj metodi je gips dok su se za moderne metode izuzimanja koristile fotografije i 3D sken kako bi se dobio virtualni model utiska. Dobiveni 3D modeli ispisani su na 3D printeru korištenjem fleksibilnog filameta za dobivanje konačnog modela.

Rezultati: Virtualni modeli utiska dobiveni modernim metodama izuzimanja, fotogrametrijom i 3D skeniranjem, sadrže više vidljivih individualnih karakteristika za razliku od modela dobivenog standardnom metodom, mulažiranjem. Kvaliteta konačnih modela dobivenih modernim metodama uvelike ovisi o kvaliteti korištene opreme.

Zaključci: Klasične metode izuzimanja uzoraka jeftinije su, brže i jednostavnije od modernih. Moderne metode izuzimanja manje su destruktivne od klasičnih metoda i omogućavaju ponovno izučavanje dokaza kao i primjenu dodatnih analiza na samome tragu. Sofisticiraniji i profesionalniji fotoaparati, 3D skener i 3D printer, dat će bolje rezultate od niskobudžetnih uređaja korištenih u ovom radu, iako je napredak vidljiv i pri radu s ovima naspram metode mulažiranja. Preporuka je da se uz klasično izuzimanje utiska izvede i jedna od modernih metoda kako bi se omogućile dodatne i preciznije analize traga.

Ključne riječi: utisak potplata, mulažiranje, fotogrametrija, 3D skeniranje, 3D ispis

SUMMARY

APPLICATION OF 3D TECHNOLOGIES IN FOOTWEAR TRACE EVIDENCE COLLECTION AND IDENTIFICATION

Aims: To test the advantages and disadvantages of classical and modern approaches of collecting sole imprint trace evidence.

Materials and methods: The methods used in this research were: sole imprint casting, as a classical method; and photogrammetry and 3D scanning as modern collection methods. The material used in the classical method was gypsum; while for the modern collection methods photographs and 3D scans were used to obtain a virtual impression model. Obtained 3D models were printed on a 3D printer using a flexible filament to obtain the final model.

Results: Virtual sole impression models obtained by modern collection methods - photogrammetry and 3D scanning contained more visible individual characteristics in contrast to the model obtained by standard method, sole imprint casting. The quality of the final models obtained by modern methods largely depends on the quality of the equipment used.

Conclusion: Classical collection methods are cheaper, faster and simpler than the modern ones. Modern collection methods are less destructive than classical methods and allow the possibility to re-examine the evidence and to apply additional analyses of trace evidence. A more sophisticated and professional camera, 3D scanner and 3D printer, will give better results than the low-budget ones used in this research, although progress was already visible in contrast to the standard method. We recommended that, in addition to the classic impression collection, one of the modern methods should be used to enable additional trace analyses.

Keywords: Sole impression, Sole imprint casting, Photogrammetry, 3D scanning, 3D printing

ŽIVOTOPIS

Ime i prezime:	Andrej Bašić
Godina rođenja:	30.7.1975.
Država rođenja:	R. Hrvatska
Obrazovanje:	<p>2014. Sveučilište u Splitu Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Ruđera Boškovića 32, 21000 Split Bakalaureat/Bachelor inženjer strojarstva univ. bacc. ing. mech.</p> <p>2004. Sveučilište u Splitu Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Ruđera Boškovića 32, 21000 Split inženjer strojarstva</p> <p>1994. Tehnička škola za strojarstvo i mehatroniku Zrinsko-Frankopanska 23, 21000 Split opći strojarski tehničar</p>
Radno iskustvo:	<p>2007. Sveučilište u Splitu Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Ruđera Boškovića 32, 21000 Split Viši laborant</p> <p>2006. Brodosplit d.d. (BRODOSPLIT d.d.) Put Supavla 19, 21000 Split Voditelj proizvodne linije</p> <p>2005. AD Plastik d.d. Matoševa 8, 21210 Solin Tehnolog proizvodnje</p> <p>2004. Rezal d.o.o. Dračevac 9, 21000 Split Tehnolog proizvodnje</p>

Publikacije:

1. Čatipović, Nikša; Gjeldum, Nikola; Bašić, Andrej; Turković, Ante; Dadić, Zvonimir
Using reverse engineering for optimization and modeling of motorcycle brake caliper brackets // Proceedings of International conference "Mechanical Technologies and Structural Materials" / Jozić, Sonja ; Lela, Branimir ; Gjeldum, Nikola (ur.). Split, 2021. str. 23-28 (poster, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (in extenso), stručni)
2. Bašić, Andrej; Peko, Ivan; Krolo, Jure; Bagavac, Petra
Fuzzy logic modeling of ultimate tensile strength and cost in fused deposition modeling process of additive manufacturing // Proceedings of 10th International conference "Mechanical technologies and structural materials" / Jozić, Sonja ; Lela, Branimir ; Gjeldum, Nikola (ur.). Split: CROATIAN SOCIETY FOR MECHANICAL TECHNOLOGIES, Croatia, 2021. str. 9-18 (predavanje, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (in extenso), znanstveni)
3. Mladineo, Marko; Gjeldum, Nikola; Crnjac Zizic, Marina; Aljinovic, Amanda; Basic, Andrej; Bilic, Bozenko; Veza, Ivica
Tackling the Problem of Defective Components in the Learning Factory Assembly Process by Using the Intelligent Assembly Line // SSRN Electronic Journal - Proceedings of the Conference on Learning Factories (CLF) 2021 Graz, Austrija: Elsevier BV, 2021. str. 1-3 doi:10.2139/ssrn.3858428 (poster, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (in extenso), znanstveni)
4. Baketić, Ante; Šimić, Sitpe; Ljubić, Toni; Kružić, Ivana; Anđelinović, Šimun; Bulić, Miloslav; Šimić, Stipe; Šutalo, Slaven; Bašić, Željana; Doko, Davor et al.
Forenzička analiza tragova krvi, Split: Slobodna Dalmacija, 2021 (monografija)

5. Aljinović, Amanda; Crnjac, Marina; Gjeldum, Nikola; Mladineo, Marko; Bašić, Andrej; Veža, Ivica
Integration of the human-robot system in the learning factory assembly process // *Procedia manufacturing.*, 45 (2020), 158-163 doi:10.1016/j.promfg.2020.04.088 (međunarodna recenzija, članak, znanstveni)
6. Mladineo, Marko; Veza, Ivica; Gjeldum, Nikola; Crnjac, Marina; Aljinovic, Amanda; Basic, Andrej Basic
Integration and testing of the RFID-enabled Smart Factory concept within the Learning Factory // *Procedia Manufacturing*, 31 (2019), 384-389 (međunarodna recenzija, članak, znanstveni)
7. Peko, Ivan; Bašić, Andrej; Aljinović, Amanda
Računalom podržani dizajn, aditivna proizvodnja i 3D skeniranje proizvoda // *Inovativno pametno poduzeće / Veža, Ivica ; Gjeldum, Nikola ; Mladineo, Marko (ur.)*.
Split: Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, 2018. str. 178-192
8. Bašić, Andrej; Mladineo, Marko; Peko, Ivan; Aljinović, Amanda
3D Scanning, CAD Optimization and 3D Print Application in Cultural Heritage: An Example on Statue from the Ancient Salona // *Conference Proceedings "International conference "Mechanical Technologies and Structural Materials" 2018.* / Gjeldum, Jozić (ur.).
Split, 2018. str. 1-6 (ostalo, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (in extenso), stručni)
9. Peko, Ivan; Krolo, Jure; Bagavac, Petra; Đurić, Stefan; Kostić, Nikola; Bašić, Andrej Basic
Modeling and Optimization of Tensile Strength of ABS Parts Manufactured by the Fused Deposition Modeling Process // *Conference Proceedings "International conference "Mechanical Technologies and Structural Materials" 2017.* / Jozić, Sonja ;

	<p>Lela, Branimir (ur.). Split: CROATIAN SOCIETY FOR MECHANICAL TECHNOLOGIES, 2017. str. 103-110 (predavanje, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (in extenso), znanstveni)</p> <p>10. Peko, Ivan; Špar, Ivan; Bašić, Andrej Basic <i>Rapid Prototyping of Mechanical Measurement Level Device // Conference Proceedings "International conference "Mechanical Technologies and Structural Materials" 2016. / Jozić, Sonja ; Lela, Branimir (ur.).</i> Split: CROATIAN SOCIETY FOR MECHANICAL TECHNOLOGIES, 2016. str. 113-118 (predavanje, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (in extenso), stručni)</p>
Projekti:	Inovativno pametno poduzeće (eng. Innovative Smart Enterprise - INSENT – suradnik, (2014 – 2018)
Konferencije:	<p>International Scientific Conference "MTSM 2021", Split, Croatia International Scientific Conference "MTSM 2019", Split, Croatia International Conference „Security of Historical Cities – Challenges of Tourism“, 2019, Split, Croatia International Scientific Conference "MTSM 2018", Split, Croatia International Scientific Conference "MTSM 2017", Split, Croatia International Scientific Conference "MTSM 2016", Split, Croatia 5th Conference of on Learning Factory, 2015, Bochum, Germany</p>
Seminari i tečajevi:	Siemens NX seminar, TECHNOMATIX plant simulation, Zagreb 2011.
Organizacije:	Član organizacijskog odbora za međunarodni znanstveni skup "MTSM" - Međunarodna konferencija o mehaničkim tehnologijama i građevinskim materijalima, Split, Hrvatska.

SVEUČILIŠTE U SPLITU

Sveučilišni odjel za forenzične znanosti

Izjava o akademskoj čestitosti

Ja, Andrej Bašić, izjavljujem da je moj diplomski rad pod naslovom PRIMJENA 3D TEHNOLOGIJA U IZUZIMANJU I IDENTIFIKACIJI TRAGOVA OBUĆE

rezultat mojega vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na izvore i radove navedene u bilješkama i popisu literature. Nijedan dio ovoga rada nije napisan na nedopušten način, odnosno nije prepisan bez citiranja i ne krši ičija autorska prava.

Izjavljujem da nijedan dio ovoga rada nije iskorišten u ijednom drugom radu pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj, obrazovnoj ili inoj ustanovi.

Sadržaj mojega rada u potpunosti odgovara sadržaju obranjenoga i nakon obrane uređenoga rada.

Split, _____

Potpis studenta: _____