

3D rekonstrukcije i vizualizacije arheološke baštine

Potočić, Patricia

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Humanities and Social Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Filozofski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:131:187309>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-04**



Sveučilište u Zagrebu
Filozofski fakultet
University of Zagreb
Faculty of Humanities
and Social Sciences

Repository / Repozitorij:

[ODRAZ - open repository of the University of Zagreb
Faculty of Humanities and Social Sciences](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FILOZOFSKI FAKULTET
ODSJEK ZA ARHEOLOGIJU
SMJER PRAPOVIJESNA ARHEOLOGIJA
Ak. god. 2023./2024.

Diplomski rad
3D rekonstrukcije i vizualizacije arheološke baštine
PATRICIA POTOČIĆ

Mentorica: dr. sc. Ina Miloglav

Zagreb, rujan 2024.

Patricia Potočić

Ime i prezime studenta/ice

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju korištene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada, te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Student/ica:

U Zagrebu, 24. rujna 2024.

Zahvala

Ovim putem želim izraziti svoju iskrenu zahvalnost svima koji su me podržavali i bili uz mene kroz proces pisanja ovog rada. Vaše riječi ohrabrenja, pohvale i konstruktivne kritike bile su moj oslonac i vjetar u leđa, a svaka vaša podrška imala je neprocjenjivu vrijednost.

Posebnu zahvalnost dugujem svojoj mentorici, dr. sc. Ini Miloglav, čija je stručnost i posvećenost bila ključna u ostvarenju moga cilja. Hvala joj na strpljenju, savjetima i kontinuiranoj podršci. Neizmjereno sam zahvalna svojoj majci, koja je bila uz mene na svakom koraku moga obrazovanja. Njena motivacija, ljubav i nepresušni smisao za humor dali su mi snagu i volju da ustrajem, čak i u najizazovnijim trenucima.

Od srca zahvaljujem svojoj najboljoj prijateljici i kolegici, dipl. Nikol Petelin, čija me neupitna podrška, motivacija i vjera u mene pratila od samog početka. Njena pozitivna energija i konstantno ohrabrivanje bili su od neprocjenjive pomoći.

Na kraju, hvala svima koji su na bilo koji način sudjelovali u ovom procesu. Vaša pomoć, bez obzira na oblik ili opseg, bila je dio mog uspjeha i ovom prilikom vas sve od srca pozdravljam i zahvaljujem.

Sadržaj

Popis kratica.....	5
Uvod.....	6
1. Povijest korištenja 3D rekonstrukcije.....	7
2. Što je 3D rekonstrukcija?	9
2.1. Zašto modeliranje? I zašto digitalno?	9
2.2. Metode 3D digitalizacije.....	9
2.3. Metode 3D rekonstrukcije.....	10
2.4. Konfiguracijski prostor 3D modela	11
3. Proces digitalne 3D rekonstrukcije.....	14
4. Smjernice i standardi za 3D rekonstrukciju.....	18
5. DIGITALNE REKONSTRUKCIJE	20
5.1. Veliko rimsko kazalište	22
5.2. Varaždinske toplice	25
5.3. Crkva sv. Marije Formozze	29
5.4. Banjače	32
6. VIZUALIZACIJA ARHEOLOŠKE BAŠTINE	36
6.1. Povezanost 3D vizualizacije i 3D rekonstrukcije	36
6.2. Aspekti digitalne 3D vizualizacije	38
6.2.1. Karakteristike 3D vizualizacije.....	38
6.3. Vizualizacija arheološke baštine kroz aplikacije, VR sustav i video igre.....	40
Zaključak.....	46
Popis tablica.....	49
Popis slika	49
Popis Literature.....	52

Popis kratica

3D – Trodimenzionalni/o

4D – Četverodimenzionalni/o

AHDS - eng. Arts and Humanities Data Service

AMZ – Arheološki muzej Zagreb

AR – eng. artificial reality, hrv. umjetna stvarnost

CAA - eng. Computer Applications in Archaeology

CAD – eng. Computer Aided Design

CGI – eng. Computer-generated imagery

CS3DP - eng. Community Standards for 3D Data Preservation

CT – hrv. Računalna tomografija

DFG - Deutsche Forschungsgemeinschaft ili Njemačka istraživačka zaklada

IBM - International Business Machines

insulae - inzule

LiDAR – eng. Light Detection and Ranging

NURBS - eng. Non-Uniform Rational B-Splines rendering

VR – eng. virtual reality, hrv. Virtualna stvarnost

UCLA - eng. University of California, Los Angeles

UNESCO – eng. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

Uvod

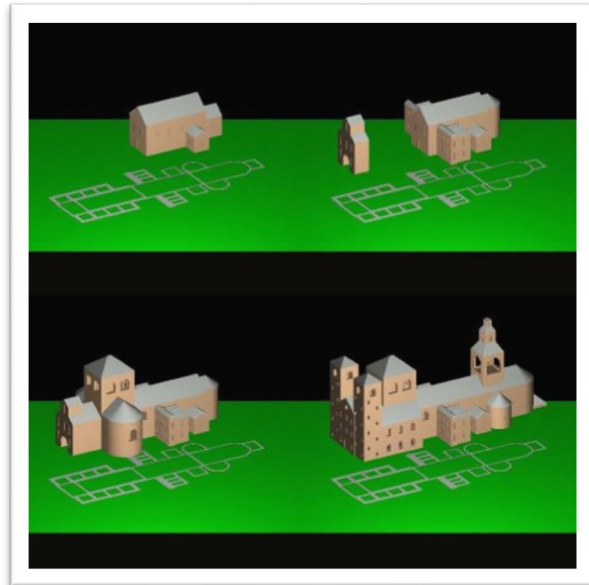
Kada govorimo o korištenju 3D rekonstrukcije unutar arheoloških istraživanja, govorimo o dijelu grane humanističkih znanosti koje je relativno novo i mlado područje istraživanja. Naime, radi se o digitalnim humanističkim znanostima za koje je važno napomenuti, pogotovo govoreći za arheologiju, da se bave vizualnim sadržajem i temelje se na mogućnosti razumijevanja i korištenja slika u svrhu učenja i kreiranja vizualnih sadržaja kako bi unaprijedile istraživanje (Münster i sur., 2024., 69). U tu svrhu se koristi 3D rekonstrukcija, kako bi pospješila i što bolje prikazala predmet za koji je stvorena. U radu će prvo biti naglasak na razvoju korištenja digitalnih rekonstrukcija u arheologiji, gdje će prvo biti definirani sam pojam 3D rekonstrukcije, koje su vrste modeliranja te će se obraditi povijest razvoja kako bi razumjeli važnost sadašnjih programa. Objasniti će se i generalni primjer procesa izrade 3D modela na primjeru 3D rekonstrukcije povijesne gradske kuće čiji je 3D model napravio S. Münster 2020. Godine. Nadalje, u radu će se govoriti i o pravilima i normama koje izrađivač modela mora pratiti. Glavni dio rada obuhvaća primjere prikaza 3D rekonstrukcije različitih vremenskih perioda koja su napravljena na području Hrvatske. Opisana su arheološka nalazišta te podaci koji su bili potrebni za samu realizaciju modela. Na kraju teorijskog dijela će biti govora o vizualizaciji jer je ona ključna u arheologiji za prezentiranje istraživačkih podataka proizašlih iz materijalnih ostataka. Konkretnije, danas digitalna 3D vizualizacija donosi razne prednosti, uključujući brzu obradu podataka, stvaranje realističnih simulacija i poboljšanu suradnju. Međutim, također se suočava s izazovima kao što su problemi očuvanja i potreba za točnim informativnim izvorima. Istaknuti će se većina prednosti i mana tijekom upotrebe 3D rekonstrukcije i 3D vizualizacije, a glavni cilj ovog diplomskog rada je ukazati kako se implementacijom 3D modela mogu poboljšati arheološka istraživanja, ukazati na to kako se stvorila sve veća upotreba i ovisnost o tehnologiji pri prezentaciji arheoloških nalazišta te naglasiti potencijal uvođenja postavka video igrice za bolju vizualizaciju arheoloških lokaliteta.

1. Povijest korištenja 3D rekonstrukcije

Danas digitalne 3D rekonstrukcije postaju sve više popularne te se pronalaze u različitim kontekstima kako kroz medije tako i kroz literaturu. U području arheologije koristile su se još od 1980-ih. Tada su se i prvi put digitalne 3D rekonstrukcije utemeljene na znanstvenim podacima počele izrađivati (Münster i sur., 2024., 3). Među prvima su rimski hramovski kompleks u Bathu (sl. 2) digitalno rekonstruiran 1983/84. godine te legionarske kupelji u Caerleonu (sl. 3) 1985. (Woodwark, 1991.). Obije su napravljene u Velikoj Britaniji te ih je izradio John Woodwark pomoću tadašnjih nacrti pojedinog objekta (Woodwark, 1991.).

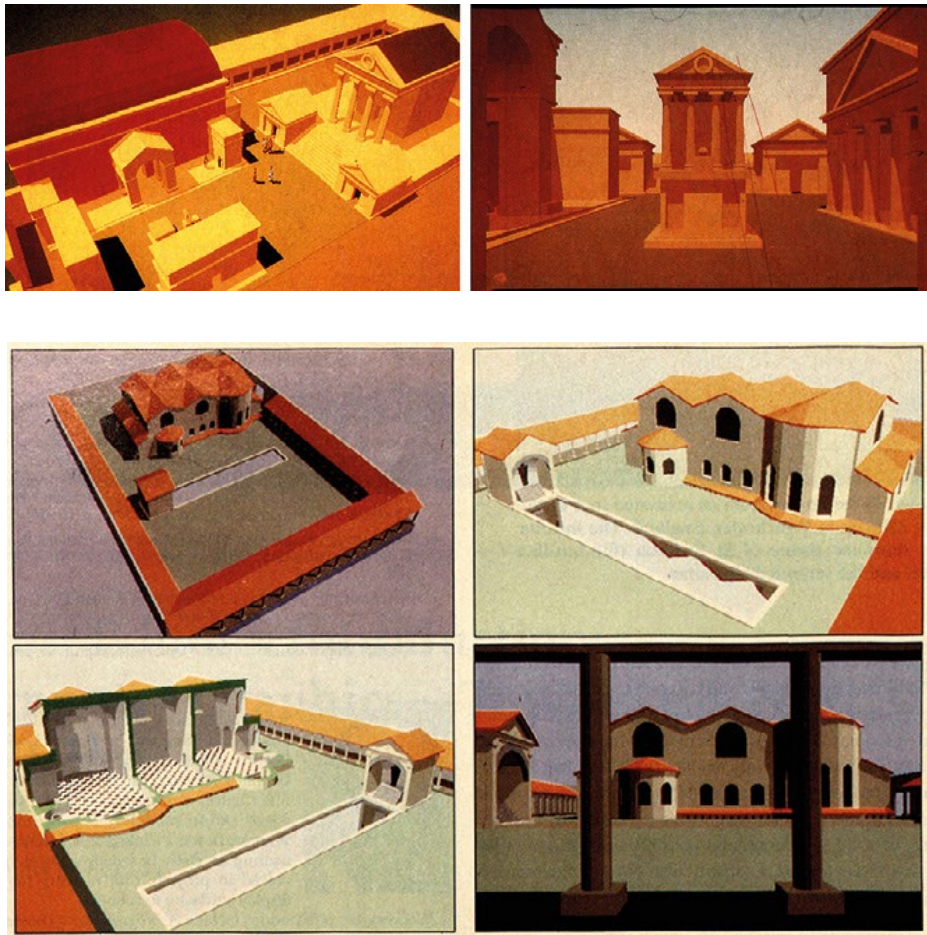
Woodwark je bio profesor strojarstva na Sveučilištu

u Bathu, a za svoje rekonstrukcije koristio je softver DORA (*Divided Object-Space Ray-Casting Algorithm*) (Woodwark, 1991.). Nakon njega, između 1984. i 1986., napravljena je rekonstrukcija katedrale Old Minister (sl. 1) koja je vremenski pripadala 7. stoljeću te se nalazila u Winchesteru (Reilly i sur., 2016., 33), Velika Britanija. Arheolozi Birthe Kjølbe-Biddle i Martin Biddle autori su rekonstrukcije te su surađivali s IBM UK Scientific Center (*International Business Machines United Kingdom*) kako bi upotpunili svoja istraživanja crkve koja više ne postoji. Važno je napomenuti da je tijekom ovog razdoblja arheološka zajednica bila mnogo manje upoznata s računalnim metodama, a računalna sučelja bila su daleko jednostavnija (Reilly i sur., 2016., 33). 3D rekonstrukcija se 1986. godine uvodi kao službeni istraživački alat (Münster i sur., 2024., 3). Daljnjim razvojem tehnologije dovodi do više interdisciplinarnih projekata koji koriste upravo 3D rekonstrukciju kao medij prijenosa informacija široj publici (npr. od 1986. do 1987. godine, mural "Atenska škola" Rafaela u Vatikanu (Krömker, Hofmann, 1987.)). Tako su se počeli otvarati i novi centri specijalizirani za 3D rekonstrukciju povijesne arhitekture te su se na sveučilištima počele osnivati i konferencije o samoj temi. Neke i dan danas postoje kao što je CAA (eng. *Computer*



Slika 1: Prikazi renderiranih slika Old Minister crkvenog kompleksa iz 1987. (preuzeto iz: Reilly i sur., 2016., 35)

Applications in Archaeology), serija konferencija *Computer Applications & Quantitative Methods in Archaeology, Electronic Information, the Visual Arts and Beyond* od 1994. godine te *International Society on Virtual Systems and Multimedia* od 1995. godine (Münster i sur., 2024., 3). One danas predstavljaju ključne događaje razmjene znanja, interdisciplinarnе suradnje te mjesta za raspravu o svijetu digitalne 3D rekonstrukcije.



Slika 2 (prve dvije gore): Digitalna rekonstrukcija predgrađa hrama u Bathu, Velika Britanija (izradio John Woodwark, oko 1983./1984. preuzeto iz: Messemer, 2020., 65)

Slika 3 (kolaž 4 slika): 3D legionarske kupelji u Caerleonu 1985. (izradili Dayong Zhang/John Woodwark, preuzeto iz: Messemer, 2020., 65)

2. Što je 3D rekonstrukcija?

3D rekonstrukcija predstavlja ponovno stvaranje nečega što je izgubljeno, nepoznato ili više ne postoji u digitalnom formatu. Pojam rekonstrukcije obuhvaća proces rekonstrukcije kao i ishod cijelog procesa. Rekonstrukcija uvijek treba biti zasnovana na izvorima koje prvotno trebamo znanstveno analizirati i interpretirati, inače ne bi bilo ništa više nego subjektivna stvar te su takve 3D rekonstrukcije neupotrebljive. Osim što vraća arheološku baštinu u njezino digitalno izvorno stanje, rekonstrukcijom se mogu prikazati i uzastopne faze korištenja objekta, faze groba ili kakve špilje. Kroz proces izrade digitalne rekonstrukcije može doći do preklapanja nacрта ili dimenzija te se tako može provjeriti dosljednost izvora te što nam paralelno može pomoći i u odgovaranju na istraživačka pitanja. Najosnovniji preduvjet za kritički pregled je objavljivanje izvora i znanstvenog obrazloženja na kojem se temelji model te dokumentiranje procesa stvaranja 3D rekonstrukcije (Münster i sur., 2024., 16).

2.1. Zašto modeliranje? I zašto digitalno?

Modeliranje je već općeprihvaćen način rekonstrukcije. Samo modeliranje možemo definirati kao pokušaj prenošenja znanja koristeći se pritom pojednostavljenim prikazima, odnosno modelima (Münster i sur., 2024., 21). 3D tehnologija postala je ključni faktor za očuvanje, istraživanje i široku dostupnost kulturne baštine, a koristi se kao istraživački alat, obrazovni materijal i sredstvo za prezentaciju (Sanders, 2001.). Naime, tu dolazi do razlike između metoda digitalne rekonstrukcije, odnosno 3D digitalizacije i 3D rekonstrukcije, koji se često miješaju kao pojmovi. 3D digitalizacija kao izvor koristi postojeći predmet kulturne baštine i modeliranje shvaća kao proces pretvaranja nečega u digitalni oblik, dok se rekonstrukcija temelji na originalu, no potrebni su joj drugi izvori koji ga opisuju (npr. planski dokumenti koji opisuju nikad realiziran, uništen ili izmijenjen objekt) (Münster i sur., 2024., 20). Druga razlika je u samom načinu prikupljanja podataka.

2.2. Metode 3D digitalizacije

Za digitalizaciju se koriste različite metode/tehnologije, no dijelimo ih prema sustavima koji su ovisni o svjetlu i sustavima neovisnima o svjetlu. Sustavi ovisni o svjetlu emitiraju svjetlost kako bi dobili informacije o 3D površini te se dijele na pasivne i aktivne pristupe. Aktivne metode snimanja koriste svoje zračenje za snimanje točaka u prostoru umjesto da očituju reflektirano

zračenje iz drugog izvora. Koriste se skeneri s bijelim svjetlom, koji koriste strukturiranu svjetlost za određivanje oblika površine te laserski skeneri koji šalju laserske zrake pod različitim kutovima kako bi odredio 3D površine koristeći princip vremena leta (*the time-of-flight principle*) (Hansard i sur., 2012.; Di Stefano i sur., 2021.) Koriste se različiti sustavi: The Total Station Theodolite (TST), Global Navigation Satellite Systems (GNSS), Terrestrial Laser Scanning (TLS) - zemaljska verzija zračnog LiDAR-a, Mobile Laser Scanners, Structured Light Scanning (SLS) sustavi (DG CNECT, 2022.). Proces 3D digitalizacije uključuje snimanje prostornih koordinata pojedinih površinskih točaka objekta u referentni koordinatni sustav. Što je više točaka uhvaćeno, veća je kvaliteta ili razlučivost digitalizacije. Ove izmjerene točke zajednički tvore ono što je poznato kao oblak točaka. Taj se oblak točaka zatim može koristiti za generiranje prostornog računalnog modela, što je uobičajena praksa u CAD programima (<https://www.enciklopedija.hr/clanak/digitalizacija>). Kao pasivan pristup mogu se koristiti fotografije ili videozapis kojima se dobiva gusti oblak 3D točaka (*3D point cloud*) koji se naknadno obrađuje u mrežastu površinu (*meshed surface*). Postoji široki izbor metoda koji ne koriste svjetlost kao što su topografske metode kao na primjer CT skeniranje za modeliranje unutarnjih struktura ili volumena objekta (Münster i sur., 2024., 30). Unutar EU VIGIE studije (DG CNECT, 2022.), koja ispituje slučajeve uporabe za 3D/4D digitalizaciju materijalne baštine, razvijena je taksonomija kvalitete 3D digitalizacije opipljive baštine koje ističu glavne značajke digitaliziranog objekta, a to su geometrija, sastav i proizvodnja, odnosno generalni proces dobivanja modela (Pritchard i sur. 2022.).

2.3. Metode 3D rekonstrukcije

Digitalna rekonstrukcija zahtijeva ljudsku interakciju i interpretaciju podataka kako bi se iznijela hipoteza o određenom objektu. Zato se za modeliranje koriste računalni softveri na kojima se modelira: softveri za modeliranje u CAD-u (*computer-aided design*) ili softveri u CGI-u (*computer-generated imaging*) (Münster i sur., 2024., 31) Tehnike 3D modeliranja služe za stvaranje 3D modela te one opisuju sam čin izgradnje oblika. Prema tome možemo razlikovati: proceduralno/algorithmsko modeliranje, parametarsko modeliranje, automatsko modeliranje temeljeno na stvarnosti, izravno ručno modeliranje i hibridno modeliranje (Münster i sur., 2024., 115). Zbog same teme rada, najvažnije je istaknuti izravno ručno modeliranje. Izravno ručno modeliranje je vjerojatno najpopularnija vrsta modeliranja. Radi se o ručnom generiranju 3D modela korištenjem softvera poput Rhinoceros, Autodesk Autocad, Maxon Zbrush, Blender,

Autodesk 3D Studio Max, Maxon Cinema 4D (Münster i sur., 2024., 118). Većina promjena na modelu je destruktivna, što znači da model ne može biti ažuriran mijenjanjem parametara unesenih u prethodnim koracima te zahtijeva stalnu interakciju s modelom. Na slici 4 se vide generirani primjeri napravljeni pomoću izravno ručnog modeliranja. Danas je teško pronaći aplikacije koje nude samo alate za izravno ručno modeliranje; gotovo svaka aplikacija integrira neke nedestruktivne radne procese za specifične operacije jer ubrzavaju proces oblikovanja. (Münster i sur., 2024., 119).



Slika 4: Produkti digitalnog ručnog modeliranja (preuzeto iz: Münster i sur., 2024., 120)

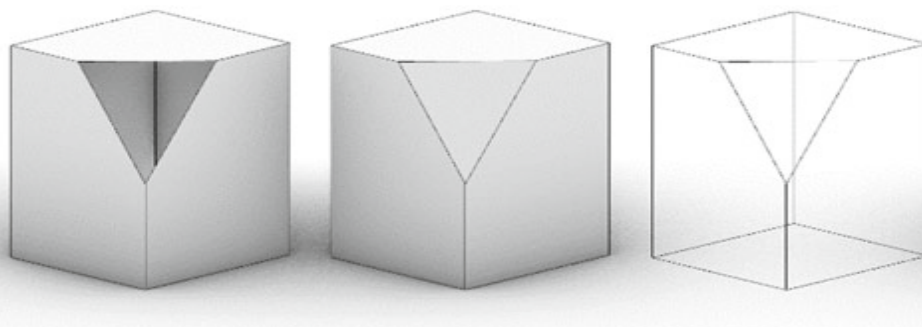
2.4. Konfiguracijski prostor 3D modela

Osim što prepoznavamo različite metode računalnog modeliranja, postoje i četiri glavna načina prepoznavanja konfiguracijskog prostora prema kojima softveri razlikuju modele. Konfiguracijski prostor je najbolje objasniti kao primjer. Zamislimo autić koji mora doći na svoj cilj, npr. doći s jedne strane sobe na drugu, no pritom da se ne sudari u niti jednu prepreku. Kada zamišljamo autić, zamišljamo njegovu veličinu, oblik i način na koji se kreće oko prepreka, usporedo sa digitalnim svijetom, cijelu prostoriju bi nazvali *3D workspace* ili 3D radni prostor u kojem autić postoji. Kada uzmemo u obzir da na ovaj način moramo razmišljati o svim komponentama autića i prepreka, sam proces se čini spor i zahtjeva iznimnu preciznost. Kako bismo olakšali situaciju, autić zamislimo kao točku koja se kreće u prostoru te sadrži sve smjerove i položaje autića. Ne moramo se izravno brinuti o obliku i veličini autića, već samo pronalazimo siguran put za autić. Taj prostor u kojem se kreće naša točkica se naziva konfiguracijski prostor (*configuration space*). Dakle, iako prostorija (3D workspace) ima puno detalja i prepreka, konfiguracijski prostor nam pomaže planirati putanju autića (3D model) na jednostavniji i jasniji način. Konfiguracijski prostor je ključni koncept koji se koristi za opisivanje i analizu gibanja mnogih sustava (Pan, Manocha, 2015.)

Tu dolazimo do četiri glavne metode kako softver razlikuje modele na osnovu njihovog konfiguracijskog prostora:

- Surface modeling (hrv. *Modeliranje površine*)
- Solid modeling (hrv. *Modeliranje čvrstog tijela*)
- Wireframe modeling (hrv. *Modeliranje žičanog okvira*)

Modeliranje površine opisuje modele kao skupove povezanih površina, osim što definiraju rubove objekata, definiraju se i površine objekata. Ova se metoda fokusira na vanjske površine oblika. Odličan je za predstavljanje vizualnih modela, ali budući da opisuje samo površine, ne daje informacije o volumenu iznutra (ADS, 2024., <https://shorturl.at/dPd5B>). Modeliranje čvrstog tijela izrađuju se pomoću Booleove geometrije - dodavanjem, oduzimanjem i razlikovanjem jednostavnih oblika kako bi se stvorili složeniji. Neophodan je način za precizne izračune volumena, a i općenito je lakše raditi s čvrstim modelima. Za razliku od modeliranja površina, ovaj način se fokusira na cijeli volumen, pazeći da oblik bude zatvoren i čvrst. Materijali se mogu dodijeliti čvrstim modelima i analizirati njihova svojstva – na primjer, može se izračunati masa i težište objekta. On, isto tako, osigurava valjanost oblika, da nema rupa ili otvorenih dijelova (ADS, 2024., <https://shorturl.at/dPd5B>).

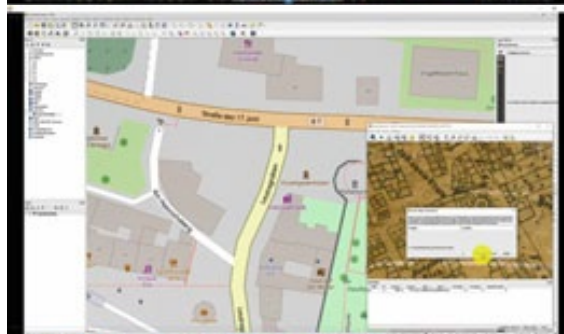
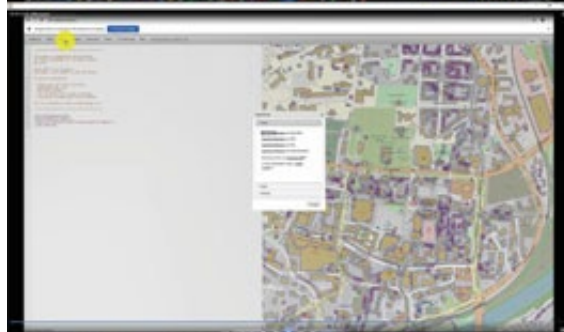


Slika 5: Modeliranje površine, modeliranje čvrstog tijela i modeliranje žičanog okvira (preuzeto iz: Münster i sur., 2024., 121).

Modeliranje žičanog okvira pruža samo okvir 3D modela, odnosno sastoji se jednostavno od točaka i linija nacrtanih u trodimenzionalnom prostoru (Slika 5.). U ovom slučaju nema razlike između vanjskog i unutarnjeg konfiguracijskog prostora i stoga nema izračunljiv volumen, no koristan je za razumijevanje osnovne strukture oblika i brze vizualizacije. Površinski i čvrsti modeli mogu se promatrati u CAD softveru kao žičani okviri radi brzine gledanja i manipulacije te mogu poslužiti kao osnova za druge vrste modela (ADS, 2024., <https://shorturl.at/dPd5B>).

Većina aplikacija za 3D modeliranje koristi mješavinu ovih metoda, a svaka metoda ima svoje prednosti i odabiru se na temelju onoga što je potrebno za zadatak koji je pri ruci. Većina aplikacija za 3D modeliranje koristi mješavinu ovih metoda, a svaka metoda ima svoje prednosti i odabiru se na temelju onoga što je potrebno za zadatak koji je pri ruci. Računalne aplikacije koje su prvenstveno dizajnirane za modeliranje površine također se mogu koristiti za spajanje pojedinačnih površina kako bi se stvorile zatvorene poli-površine, odnosno da bi se dobio volumen. Nasuprot tome, aplikacije dizajnirane za modeliranje čvrstog tijela mogu omogućiti korisnicima dekonstruiranje čvrstih tijela u njihove pojedinačne granične površine koje definiraju zatvoreni volumen te stoga većina aplikacija za 3D modeliranje usvaja hibridne pristupe. (Münster i sur., 2024., 121).

3. Proces digitalne 3D rekonstrukcije



Stvaranje digitalne 3D rekonstrukcije uključuje korištenje softverskih alata za izradu virtualnog modela. Specijalizirani stručnjaci koji izrađuju 3D modele se bave tim zadatkom, a zatim se model pretvara u prezentacijski format putem vizualizacije. Ovaj proces je podržan povijesnim istraživanjem, koje pomaže u stjecanju dubljeg razumijevanja objekta koji se modelira na temelju informacija iz prošlosti (Münster, 2022., 20). Proces stvaranja 3D modela povijesnih zgrada iz podataka Open Street Map (OSM) uključuje nekoliko faza, počevši od izvoza vektoriziranih otisaka zgrada (sl. 6). To se postiže preko Overpass Exportera, gdje se označuje kvadratno područje na karti te se za izvoz odabire sloj zgrade iz OSM-a (sl. 7) (Münster i sur., 2024.,

Slika 6 (prva od gore): Izvoz vektoriziranih obrise zgrada iz OSM-a putem Overpass Exportera (preuzeto iz: Münster i sur., 2024., 85)

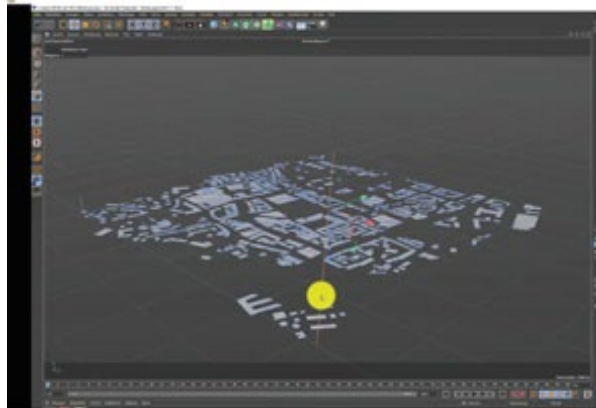
Slika 7 (druga): Označava se kvadrat na karti i sloj zgrade iz OSM-a odabran za izvoz (preuzeto iz: Münster i sur., 2024., 85)

Slika 8 (treća, u sredini): Uvezivanje osnovnog sloja OSM-a i povijesnog katastarskog plana kao rasterske slojeve (preuzeto iz: Münster i sur., 2024., 85)

Slika 9 (četvrta): Nakon definiranja odgovarajućih 6-10 točaka, transformirana karta se projicira na osnovni sloj OSM-a (preuzeto iz: Münster i sur., 2024., 85)

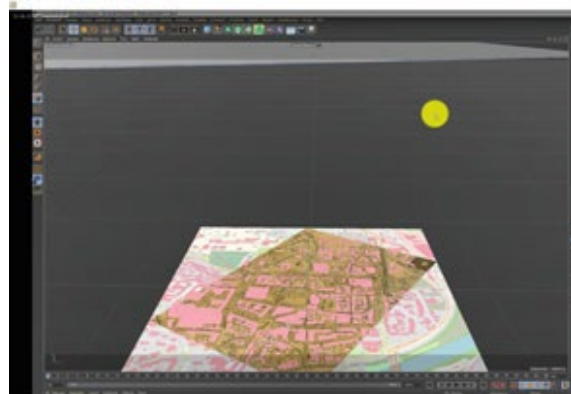
Slika 10 (peta, skroz dolje): Uvoz osnovnog sloja OSM-a i povijesnog katastarskog plana kao rasterski slojevi (preuzeto iz: Münster i sur., 2024., 86)

85). U drugoj fazi georeferenciranje se izvodi pomoću QGIS-a, GIS alata otvorenog koda (Münster i sur., 2024., 85). Osnovni sloj OSM-a i povijesni katastarski plan uvoze se kao rasterski slojevi, a odgovarajuće točke odabiru se pomoću alata za georeferenciranje (sl. 8). Nakon definiranja 6-10 odgovarajućih točaka, transformirana karta se projicira na osnovni sloj OSM-a (sl. 9) (Münster i sur., 2024., 85). OSM građevinske staze zatim se uvoze kao vektorski sloj, a transformirana katastarska karta izvozi se kao PNG rasterska grafika, dok se OSM sloj



Slika 11: Pretvoreni kml sloj datoteke se uvozi u konvertirani sloj kao dxf u Cinema4D (preuzeto iz: Münster i sur., 2024., 86)

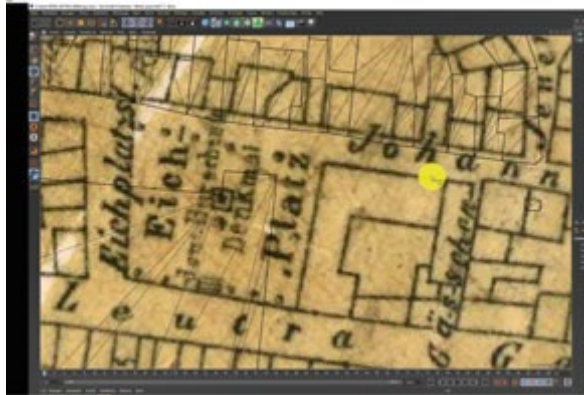
građevinske parcele izvozi kao *kml markup* datoteka (sl. 10). U završnoj fazi, 3D modeliranje i teksturiranje se provode u Maxon Cinema 4D. Budući da Cinema 4D ne podržava izravno KML datoteke, KML sloj se mora pretvoriti u dxf format (sl. 11). Konvertirani sloj se zatim uvozi u Cinema 4D zajedno s rasterskom grafikom (sl. 12). Slojevi se formiraju kako bi se vektorizirani tlocrti poravnali s povijesnom rasterskom grafikom (Münster i sur., 2024., 86). Obrisi tlocrtnog otiska zgrade crta se kao spline putanja (*spline path*) klikom na vanjske točke, koji se zatim ekstrudira putem NURBS-a (*Non-Uniform Rational B-Splines*)¹ kako bi se stvorila volumetrijska geometrija (sl. 13). Ovaj se objekt pretvara u poligonalnu geometriju i umeće se vodoravni rez (sl. 14). Dvije gornje suprotne točke su odabrane i postavljene na udaljenost od nule do središta. Stvorena je nova definicija materijala i učitana je



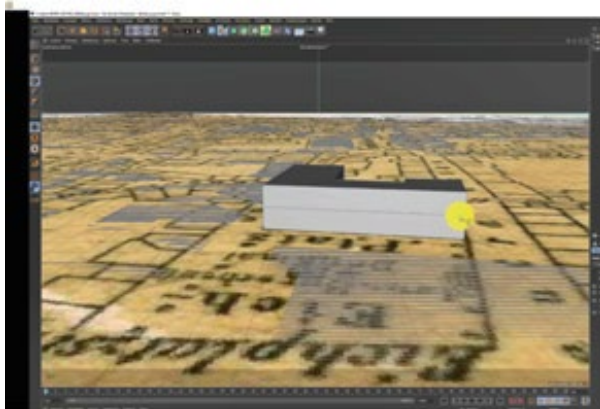
Slika 12: Uvoz rastera (preuzeto iz: Münster i sur., 2024., 86)

¹ Non-Uniform Rational B-Splines (hrv. Neuniformne racionalne B-krivulje: a) neuniformno što znači da način na koji je krivulja nacrtana može varirati, što omogućuje veću fleksibilnost i omogućuje stvaranje oštih kutova ili glatkih krivulja prema potrebi; b) racionalno se odnosi na matematički način definiranja krivulje te zbog toga NURBS može točno prikazati oblike poput parabola, krugova i elipsa, kao i nepravilnije oblike slobodnog oblika; c) B-spline je vrsta krivulje sastavljene od povezanih polinomskih dijelova i pomoću nje se ti dijelovi mogu kontrolirati i podešavati nizom točaka kako bi se glatko stvorili složeni oblici (<https://archaeologydataservice.ac.uk/help-guidance/guides-to-good-practice/data-analysis-and-visualisation/3d-models/creating-3d-data/sources-and-types-of-3d-data/>)

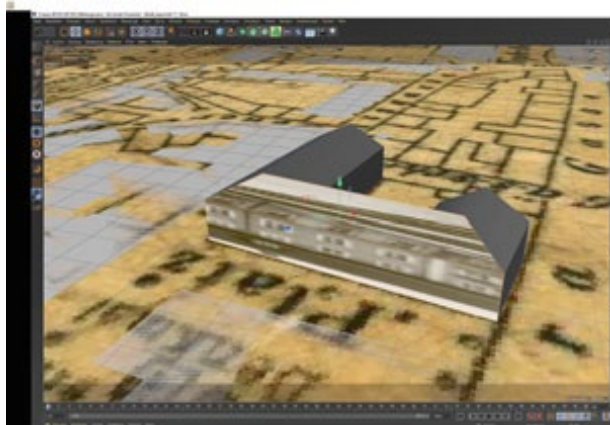
slika koja prikazuje pročelje zgrade (sl. 15). Odabiru se fasadni poligoni i na njih se nanosi materijal. U načinu teksturiranja, koordinate tekstre se prilagođavaju kako bi se poravnale s rubovima tekstre fotografije (sl. 16) (Münster i sur., 2024., 87). Konačno, tekstura se izračunava kao rasterska grafika i izvozi kao Collada datoteka za učitavanje u web preglednik (sl. 17) (Münster i sur., 2024., 88).



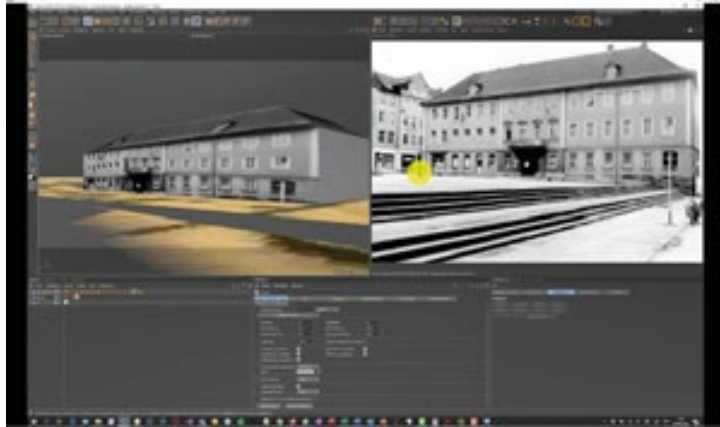
Slika 13: Crtanje obrisa tlocrta zgrade kao spline putanju (*spline path*) (preuzeto iz: Münster i sur., 2024., 87)



Slika 14: Pretvaranje objekta u poligonalnu geometriju i umetanje vodoravnog reza (preuzeto iz: Münster i sur., 2024., 87)



Slika 15: učitavanje slike koja prikazuje pročelje zgrade (preuzeto iz: Münster i sur., 2024., 88)



Slika 16: Poravnavanje vanjske točke koordinata tekstone s rubovima tekstone fotografije (preuzeto iz: Münster i sur., 2024., 88)



Slika 17: Renderiranje tekstone kao rasterske grafike i kasnije izvez kao Collada datoteku (preuzeto iz: Münster i sur., 2024., 88)

4. Smjernice i standardi za 3D rekonstrukciju

Kada je riječ o znanstvenim istraživanjima, ona uvijek imaju svoje norme, pravila ili barem standardizirane prakse koje se koriste u procesu. Za 3D rekonstrukciju su dosta logična pravila: svaka rekonstrukcija treba biti razumljiva, teorijski ponovljiva i provjerljiva te se za istraživanje treba temeljiti na načelima dobre znanstvene prakse (Münster i sur., 2024., 49). Smjernice DFG-a (Deutsche Forschungsgemeinschaft ili Njemačka istraživačka zaklada) promiče upravo takvu visoku kvalitetu istraživanja. Od kada je Kodeks stupio na snagu 1. kolovoza 2019., sve sveučilišne i znanstveno-istraživačke institucije moraju, na pravno obvezujući način, implementirati 19 smjernica i njihova objašnjenja kako bi mogla dobiti sredstva od DFG-a. Postoje i smjernice DFG-a koje su posebno relevantni za digitalnu rekonstrukciju. Prvo, raditi *lege artis* (lat. po pravilu umijeća); drugo, konstantno samokritički dovoditi u pitanje sve rezultate; treće, dokumentirati rezultate; četvrto, znanstvene publikacije primarno su sredstvo odgovornosti znanstvenika za njihov rad; i peto, osigurati i sačuvati primarne podatke (<https://www.dfg.de/de/ueber-uns/ueber-die-dfg/satzung>). Osim smjernica raznih organizacija, postoje i pravila i povelje za koje bi trebala biti iskazana posebna pozornost. UNESCO-ova povelja o digitalnoj baštini (<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000179529>) koja pruža okvir za stvaranje znanstveno utemeljenih 3D modela. Osoba koja je uključena u proces rekonstrukcije, odgovorna je podijeliti svoj rad sa znanstvenom zajednicom i šire. AHDS (*Arts and Humanities Data Service*) (<https://archaeologydataservice.ac.uk/help-guidance/guides-to-good-practice/>) vodiči, u svrhu poboljšanja, očuvanja i pristupa digitalnim zapisima arheoloških istraživanja, imaju cilj osigurati da podaci prikupljeni tijekom projekata ostanu netaknuti, dostupni i korisni cijelo vrijeme. Ključni cilj vodiča je uspostaviti radne procese za arheološke projekte koji će generirati digitalne skupove podataka prikladne za učinkovito arhiviranje i dijeljenje. Inicijativa za zajedničke standarde za očuvanje 3D podataka, odnosno CS3DP (eng. *Community Standards for 3D Data Preservation*) (<https://cs3dp.org/about/>) osnovana je radi pregleda prakse dokumentiranja, distribucije i očuvanja 3D podataka. Na toj osnovi razvile su se preporuke za standardizaciju i očuvanje 3D podataka, koje su danas općeprihvaćene smjernice u proizvodnji digitalnih rekonstrukcija i prezentacija u arheologiji (Rakvin i sur., 2022., 76). Londonska povelja (<https://londoncharter.org/>), pokrenuta 2006., "definiira principe za upotrebu računalnih vizualizacijskih metoda u odnosu na intelektualni integritet, pouzdanost, dokumentaciju, održivost i pristup.". Za specifične potrebe svakog

istraživanje, principi Londonske povelje se mogu prilagoditi na njih kako bi pospješili kvalitetu istraživanja. Specifično za arheologiju, objavljeni su Seviljski principi (*eng. The Seville Principles*) (<http://sevilleprinciples.com>) 2011. godine, s najnovijom verzijom iz 2017. godine. Obuhvaćaju osam principa: interdisciplinarnost, svrha, komplementarnost, autentičnost, povijesna rigoroznost, učinkovitost, znanstvena transparentnost, obuka i evaluacija (*The Seville Principles*, 2011.). Usporedno s Londonskom poveljom, koja uključuje samo autentičnost arheoloških ostataka, interdisciplinarnost i princip znanstvene transparentnosti, u dokumentu Seviljski principi uključene su i definirane četiri vrste virtualnih modela. Jedan od njih je virtualna restauracija (*eng. virtual restoration*). Ona se odnosi na korištenje digitalnog modela za manipulaciju postojećim materijalnim ostacima, nudeći jasniji uvid u povijesne objekte. Ovaj proces obuhvaća virtualnu anastilozu (*eng. virtual anastylosis*), koja uključuje spajanje različitih postojećih dijelova u cjelokupni virtualni model te je isto uvrštena kao jedan od modela. Dodatno, virtualna rekonstrukcija (*eng. virtual reconstruction*) uključuje korištenje digitalnih modela za vizualni prikaz zgrada ili objekata iz bilo kojeg razdoblja u povijesti, oslanjajući se na fizičke dokaze i znanstvene podatke, kao što su arheološka istraživanja. Naposljetku, virtualna reprodukcija (*eng. virtual recreation*) podrazumijeva korištenje digitalnih modela za virtualno predstavljanje arheoloških nalazišta iz različitih povijesnih razdoblja, uključujući pokretnu i nepokretnu kulturnu baštinu, okruženje, krajolike i društvene prakse (*The Seville Principles*, 2011.). Iako se sve discipline u humanističkim znanostima bave vizijom i vizualizacijom, arheologija je posebno angažirana u ovom području. Ona istražuje opipljive ostatke i dokaze ljudske kulture kako bi se stvorila reprezentacija onoga što postoji sada i što približno odgovara onome što je nekada bilo pritom stvarajući osjećaj povezanosti sadašnjih ljudi s ljudima iz prošlosti. Zbog toga moraju postojati norme u svrhu ograničavanja netočnih radova ili potpunih izmišljotina.

5. DIGITALNE REKONSTRUKCIJE

Pojava 3D rekonstrukcije revolucionirala je arheologiju, pružajući transformativne alate za znanstvena istraživanja, obrazovanje i očuvanje. Stvaranjem detaljnih i točnih digitalnih modela, 3D rekonstrukcija omogućuje znanstvenicima proučavanje i analizu arheoloških nalazišta te bolju interpretaciju arheološke baštine. Poboljšava obrazovna iskustva tako da nudi učenicima mogućnost istraživanja virtualnih modela arheoloških lokaliteta i nalaza, čime se dočarava arheologija na način na koji tradicionalne metode (makete, izrada slikovne perspektive) nisu uspjele (Nemeth-Ehrlich, 1997., 22). Digitalna rekonstrukcija postala je moćan alat u obrazovanju, nudeći studentima i istraživačima impresivne načine za istraživanje arheoloških lokaliteta i nalaza. Ne samo njima, nego i široj publici ako se rekonstrukcija koristi unutar muzeja, izložba ili drugih manifestacija. Važno je napomenuti i zanimljivo je istaknuti da je lokalitet Varaždinske toplice prvi digitalni model napravljen u Hrvatskoj (Nemeth-Ehrlich, 1997.). Model Velikog rimskog kazališta je napravljen u sklopu izložbe *Od ulomka do rekonstrukcije* (Starac, 2009.) zajedno s drugim lokalitetima (amfiteatar, forumski hramovi u Nezakciju itd.) u Puli s ciljem edukacije šire javnosti te predstavlja generalno dobar primjer obrade antičkog lokaliteta u digitalnom formatu. Trodimenzionalni model crkve sv. Marije Formozze predstavlja digitalni prikaz ranokršćanske bazilike koji je napravljen u svrhu digitalnog arheološkog parka, dok 3D modeli objekata na lokalitetu Banjače predstavljaju prikaze u svrhu prezentacije, no, isto tako, odlično su prikazani elementi interpretacije i same rekonstrukcije modela. Različite su svrhe u kojima se koriste 3D modeli, no za arheologiju je važno istaknuti da se primarno koriste za istraživanje, očuvanje i obrazovanje te teže poučavanju znanja o kulturnoj baštini (Münster, 2022., 5). Očuvanje u arheologiji značajno je poboljšano pojavom 3D modeliranja. Digitalni modeli služe kao ključni resursi za istraživače, omogućujući detaljno proučavanje i analizu bez opasnosti od oštećenja izvornih artefakata. Arheolozi mogu stvoriti točne, trodimenzionalne digitalne replike lomljivih predmeta i cijelih lokaliteta. Uz to, 3D modeli olakšavaju dijeljenje arheoloških nalaza s globalnom publikom, dopuštajući virtualno istraživanje i ispitivanje od strane znanstvenika i javnosti. Ova tehnologija također podržava restauraciju i rekonstrukciju oštećenih ili nepotpunih nalaza, pružajući uvid u njihovo izvorno stanje i funkciju. 3D modeliranje ne samo da štiti fizički integritet arheoloških nalaza, već također proširuje pristup kulturnoj baštini, osiguravajući da je buduće generacije mogu cijeniti i dalje proučavati. Prema Klariću i sur. (2021.), arheološka baština ima

ogroman potencijal za razvoj održivog kulturnog turizma. Kada se prezentira na pravi način, postoji mogućnost da se arheološka baština transformira u održivi kulturni resurs, no taj potencijal često ostaje nezapažen zbog nedovoljne vidljivosti u široj javnosti (Klarić i sur., 2021). Tablica pruža sažeti pregled ključnih prednosti i nedostataka korištenja 3D modeliranja u istraživanju i obrazovanju, pomažući razumijevanju potencijala i izazova ove tehnologije.

Prednosti	Mane
Istraživanje	
Omogućava detaljnu vizualizaciju složenih struktura i objekata	Može biti skupo i zahtjevno za izradu
Pružila alat za testiranje hipoteza i istraživačkih pitanja	Zahtijeva specijalizirane vještine i znanje
Omogućava analizu koja nije moguća s fizičkim modelima	Može doći do netočnosti zbog nedovoljnih ili pogrešnih podataka
Podržava interdisciplinarnu suradnju i integraciju različitih izvora podataka	Proces može biti dugotrajan i resursno intenzivan
Obrazovanje	
Povećava angažman i interes učenika kroz interaktivne i vizualne alate	Može zahtijevati skupu tehnologiju i opremu
Pružila jasniju predstavu o povijesnim objektima i događajima	Može biti izazovno za integraciju u postojeće kurikulume
Poboljšava razumijevanje i memoriju učenika kroz vizualne reprezentacije	Potrebno je redovito ažuriranje i održavanje softvera i hardvera
Podržava razvoj digitalnih kompetencija kod učenika	Neki učenici i nastavnici mogu imati poteškoća s tehnologijom

Tablica 1 : Pozitivne i negativne karakteristike korištenja 3D modela u svrhu istraživanja i obrazovanja (Izradila: P. Potočić, 2024.)

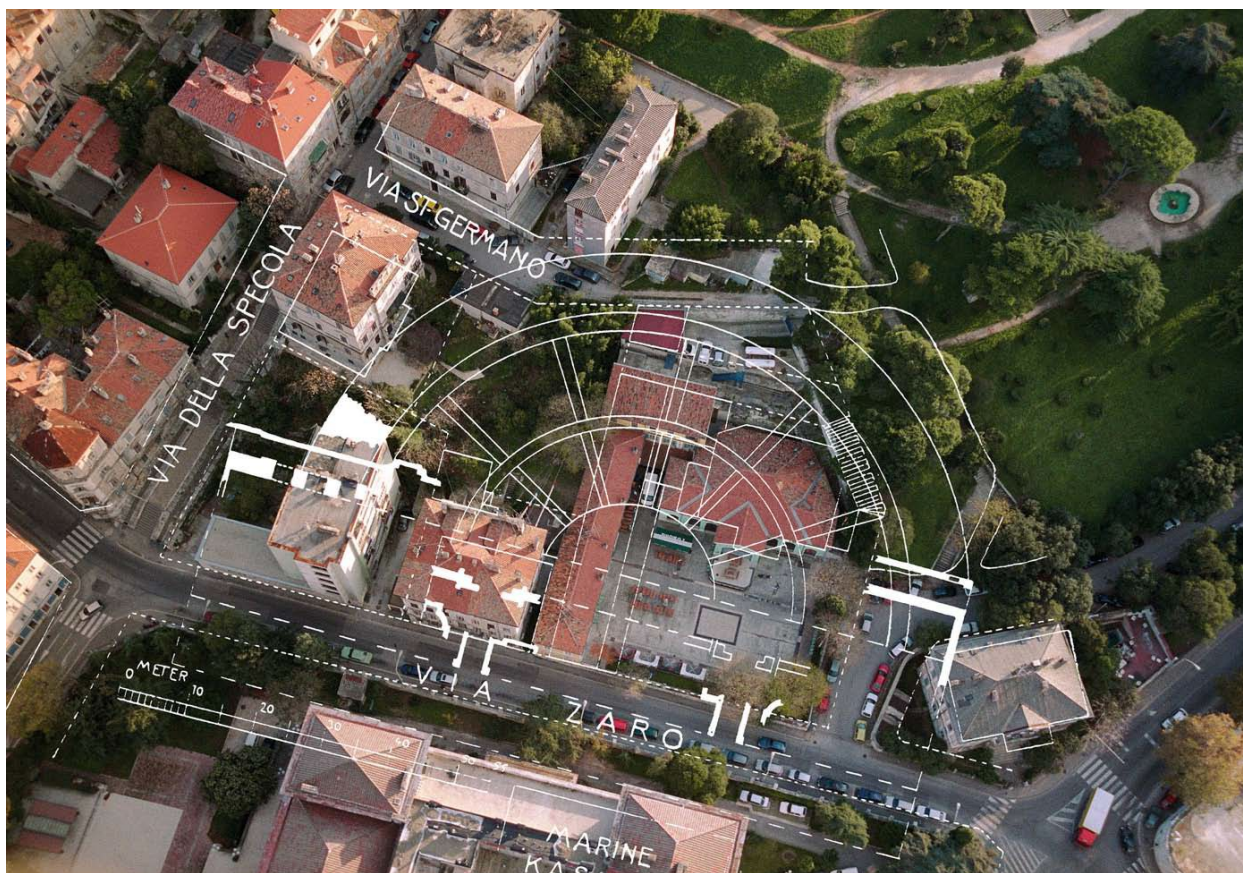
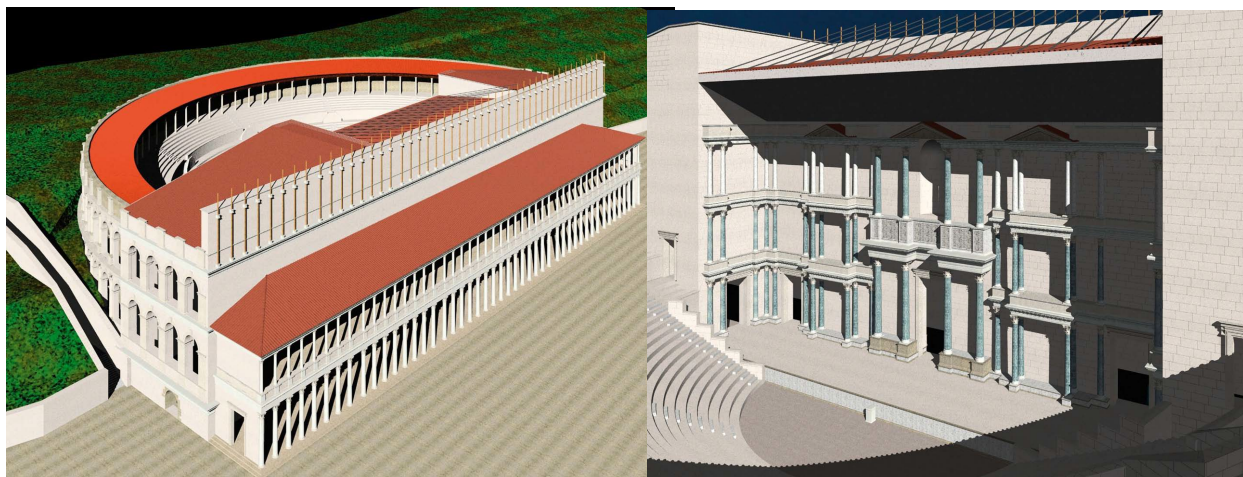
Korištenjem digitalnih rekonstrukcija možemo učinkovito poboljšati dostupnost arheološkog znanja i proširiti ga prvo na užu lokalnu zajednicu, a drugo na sve ostale zainteresirane sudionike. Ovaj pristup potiče dublje razumijevanje i uvažavanje naše kulturne baštine, a istovremeno omogućuje dinamično i interaktivno obrazovno iskustvo. U arheološkim istraživanjima 3D rekonstrukcije imaju više ključnih funkcija. One su od neprocjenjive vrijednosti za dokumentaciju i očuvanje lokaliteta, osiguravajući digitalni zapis koji štiti od potencijalnog gubitka ili uništenja fizičkih lokacija. Ovo digitalno očuvanje osigurava da, čak i ako je izvorni lokalitet ugrožen,

detaljan zapis ostaje dostupan za buduće proučavanje. Druga velika primjena 3D modela u arheologiji je virtualna rekonstrukcija. Stvaranjem digitalnih modela drevnih građevina ili čitavih naselja, arheolozi mogu vizualizirati i proučavati kako su ti lokaliteti mogli izgledati u izvornom kontekstu. Ova sposobnost pomaže istraživačima da razumiju tehnike gradnje, prostorne rasporede i ukupnu organizaciju prapovijesnih zajednica. Osim toga, prostorna analiza uvelike je poboljšana 3D modelima, omogućujući detaljno ispitivanje izgleda lokaliteta i distribucije nalaza. To pak daje informacije o ljudskom ponašanju u prošlosti, društvenoj organizaciji i kulturnim praksama. Sve to čini 3D rekonstrukciju moćnim alatom u proučavanju i podučavanju o prošlosti. Sljedeći primjeri prikazuju kako se u praksi primjenjuju 3D rekonstrukcije te kako one sudjeluju u poboljšanju našeg razumijevanja arheoloških lokaliteta, očuvanju kulturne baštine, kao i njene uloge u stvaranju zanimljivih i interaktivnih iskustava u učenju.

5.1. Veliko rimsko kazalište

Danas izgubljeno, Veliko rimsko kazalište se nalazilo na padini Monte Zaro u Puli (sl. 20) (Gudelj, 2011., 251). Zahvaljujući Sebastianu Serliu (1475-1554), sadašnje arheološke rekonstrukcije temelje se uglavnom na njegovoj Trećoj knjizi o arhitekturi, objavljenoj u Veneciji 1540. gdje je izložio prve detaljne tlocrte i nacрте kazališta te danas imamo sačuvane upisane mjere većine dimenzija (Gudelj, 2011., 252). U vrijeme kada ih je izrađivao, građevina je još imala veliki dio gledališta i scenske zgrade. Jedno jedino arheološko istraživanje na nalazištu je izveo Anton Gnirs 1908. godine, gdje je utvrdio cjelokupan broj stepenica gledališta, pronašao ulomke arhitektonske dekoracije koji danas pomažu u rekonstrukciji te veličinu orkestre (25m u promjeru). Poznate su i dimenzije kazališta (120m x 85m) (Starac, 2009., 37). Zanimljivo je da je visina izračunata koristeći usporedbu sa scenskom zgradom. Kazalište je dovoljno veliko za 5000 gledatelja, a samo gledalište je bilo ukomponirano u živu stijenu što je dodavalo grandioznosti cijele građevine (Starac, 2009., 37). Ono je bilo podijeljeno na 3 odjeljka, najniži je imao 18 stepenica, srednji 15, a najviši 7 te je imao 5 uspona koja su dijelila gledalište na 6 odlomaka (Starac, 2009., 40). Prisutna je bila i galerija na vrhu, no za nju se ne zna je li bila prekriveni krovom od tegula, je li bila dekorirana mramornim oblogama niti je li bila otvorena arkadama ili prozorima (Starac, 2009., 39). Scenska zgrada, čija je visina 32 metara, na vrhu je sadržavala nosače za jarbole (Starac, 2009., 40). Oni su služili kako bi se na njih privezala užad za platno koje je natkrivalo kazalište.

Nedostaci za 3D rekonstrukciju su se očitovali u detaljima (npr. vanjska fasada scenske zgrade), no problem je i u tome što su arhitektonske mramorne strukture (kapiteli, baze stupova, arhitravi, vijenci...) velikog kazališta potekle upravo iz scenske zgrade koja danas ne postoji. Serlio je napravio najpotpuniju sliku građevine, no i ona nije točna u detaljima, naprimjer, točno je upisano da je kazalište imalo tri ulaza (6m x 48m) na scenu, no arheološka istraživanja su ukazala na činjenicu da je postojao veći razmak između bočnih i srednjih vrata nego što je upisano (Starac, 2009., 40). Napravljena je usporedba sa sličnim kazalištima te se pretpostavlja da se u unutrašnjosti nalazio i rizalit (sl. 19), smješten u niši na katu, koji je sadržavao mramorni kip cara (Starac, 2009., 46). Trodimenzionalna rekonstrukcija je napravljena u sklopu izložbe *Od ulomka do rekonstrukcije* dr. Alke Starac u kojoj je prezentirala 3D modele odabranih rimskih spomenika Pule i Nezakcija (<https://www.regionalexpress.hr/site/more/izlozba-od-ulomka-do-rekonstrukcije-dr-alke-starac>). Osim što je za cilj imala popularizaciju znanstveno-istraživačkog rada Arheološkog muzeja Istre u Puli te time stvorila model u svrhu edukacije šire publike, nesvjesno je i napravljen model u svrhu očuvanja jer zadnje informacije o Kazalištu se datiraju u 16. stoljeće (sl. 18.). Autorica napominje da rekonstrukcija nije upotpunjena nego da će biti potrebna daljnja istraživanja za točniju prezentaciju (Starac, 2009., 46).



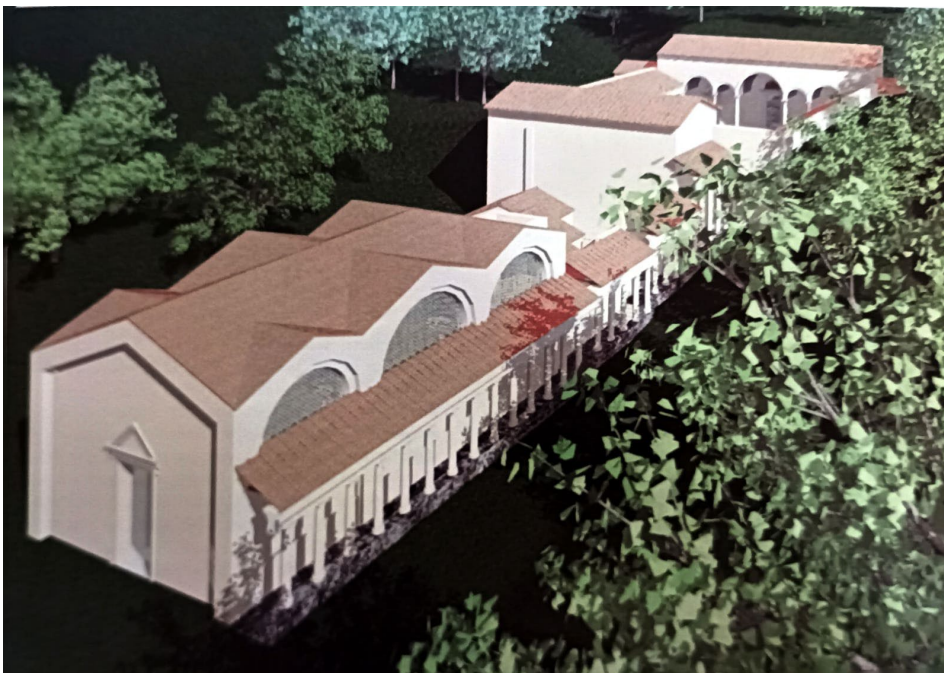
Slika 18 (gore lijevo): Renderirana slika 3D rekonstrukcije Velikog rimskog kazališta u Puli (preuzeto iz: Starac, 2009., 50)

Slika 19 (gore desno): Renderirana slika 3D rekonstrukcije unutrašnjosti Velikog rimskog kazališta u Puli (preuzeto iz: Starac, 2009., 48)

Slika 20: Prikaz tlocrta kazališta na mjestu gdje bi se ono danas nalazilo (preuzeto iz: Starac, 2009., 52)

5.2. Varaždinske toplice

Na prostoru današnjeg grada Varaždinske Toplice (sjeverozapadna Hrvatska) u rimsko vrijeme nalazilo se naselje *Aquae Iasae*, poznato lječilišno, kulturno i trgovačko središte. Glavni razlog kontinuiranog naseljavanja ovog prostora tijekom više tisućljeća bila je ljekovita termalna sumporna voda. Do sada je jedini sličan primjer ovakvog bazena poznat u Engleskoj u rimskom naselju *Aquae Sulis* (Bath), pa je ovaj primjer iz Varaždinskih Toplica od neprocjenjive vrijednosti za poznavanje dostignuća rimskog graditeljstva (<https://zmv.t.hr/arheoloski-park-aquae-lasae/>).

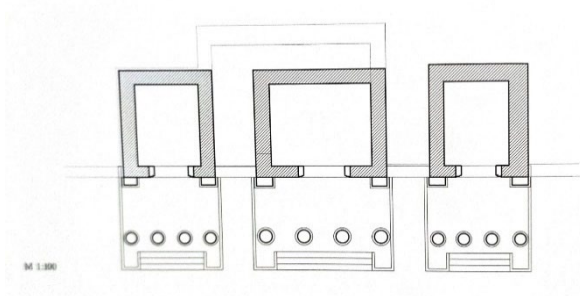


Slika 21:
Renderirana
slika 3D
kompleksa
rimske javne
arhitekture, 4.st.
(izradio: studio
Kušan; preuzeto
iz: Nemeth-
Ehrlich, 1997.,
13)

Važno je istaknuti da je ovo prva digitalna rekonstrukcija napravljena 1997. na prostoru Hrvatske (Nemeth-Ehrlich, 1997.). Rimski arhitektonski sklop bio je dovoljno dobro očuvan da su mogle rekonstruirati različite građevinske faze. Zbog loše očuvanosti strukture od 1. do 3. stoljeća rekonstruirani su samo dijelovi s dovoljno podataka. Objekti koji pripadaju Konstantinovom (306.-337.) vremenu su najbolje sačuvani monumentalni dijelovi kompleksa: bazilika, kupališne prostorije, kamenom opločeni forum s trijemovima te kapitolij s hramovima, koje je bilo moguće kompletno rekonstruirati. Osim toga, otkriće podova, pragova, dovratnika, sustava grijanja i brojnih drugih arhitektonskih elemenata kao što su kapiteli, baze stupova, konzole, svodovi, kao i zidne slike i skulpture, daju veliku vjerojatnost za rekonstrukciju eksterijera, a djelomično i unutrašnjost kompleksa (Nemeth-Ehrlich, 1997., 5). Rekonstrukcije su rezultat interdisciplinarne

suradnje usmjerene na interpretaciju lokaliteta. Izrađene su s ciljem muzeološke prezentacije lokaliteta čiji je proces započeo još ranih 50-ih godina prošlog stoljeća, no zbog prekida rada i financijske nestašice, prezentacija se nije uspjela realizirati do kasnih 90-ih (Kušan Špalj, Nemeth-Ehrlich, 2012., 112). Prezentacija je zamišljena kao šetnica kroz lokalitet koja je obogaćena dopunskim tekstualnim i slikovnim sadržajem koji opisuju rimsku arhitekturu na licu mjesta (sl. 21). Ovaj proces potkrijepljen je opsežnom tehničkom, fotografskom i tekstualnom dokumentacijom nastalom tijekom tridesetogodišnjih arheoloških istraživanja pod vodstvom prof. Marcela Gorenca, dr. Branke Vikić i prof. Valerije Damevski (AMZ) u suradnji s raznim stručnjacima (Nemeth-Ehrlich, 1997., 7). U današnjim Varaždinskim Toplicama postojalo je rimsko naselje *Aquae Iasae* – Jazajske Toplice od 1. do 4. stoljeća. Sam naziv otkriva da je prije dolaska Rimljana tu živjelo panonsko-ilirsko pleme Jasa, što ukazuje na dugogodišnje korištenje ljekovite vode i kupališno naselje još od prapovijesti. Raspored rimskog naselja bio je napravljen u sklopu prirodne topografije, s javnim dijelom smještenim na najvišoj terasi termalnog brežuljka, stambenim prostorima na terasama koje se spuštaju, a trgovačkim i sajamskim objektima u podnožju brda. Ova prilagodba prirodnom krajoliku odražava odmak od standardnog rasporeda koji se nalazi u tipičnim rimskim gradovima, dodajući jedinstvenost povijesnog značaja Varaždinskih toplica (Nemeth-Ehrlich, 1997., 8). Geodetski planovi i fotogrametrijske snimke nalazišta bili su ključni resursi za izradu 3D modela. Svaki dio kompleksa, odnosno terme, bazilika i kapitolij s hramovima, temeljito je proučen iz arheološke i arhitektonske perspektive kako bi se dobila čvršća podloga za izradu 3D modela. Za nepoznate podatke služilo se analognim primjerima poznatim iz literature, kao i Vitruvijevim djelom „De Architectura Libri Decem“ (Nemeth-Ehrlich, 1997., 23). U fazi Konstantinove obnove, rekonstruirane su kupelj i bazilika te za to razdoblje su prikupljeni najopsežniji podaci. Visine prostorija izračunate su prema dimenzijama sačuvanih pragova, a izgled krovišta rekonstruiran je prema položaju kanala za odvodnju vode i obliku prostorija (Nemeth-Ehrlich, 1997., 24). U predloženoj rekonstrukciji dimenzije i oblik svoda bazilike dijelom se oslanjaju na dimenzije eksedre i trijumfalnog luka. Tome u prilog ide i otkriće da se slavoluk srušio na pod ispred eksedre, a velika količina klinasto klesanog kamenja upućuje na to da je bazilika bila natkrivena svodom. Raster i dimenzije svodova mogu se očitati i s bočnih fasada razdijeljenih pilastrima koji predstavljaju nosače svodova u konstruktivnom smislu. Kapitolij i forum s istočnim i zapadnim trijemom iz 2. stoljeća (sl. 22. i 23.) rekonstruirani su na temelju arheoloških nalaza dok su se tragovi zidova i poda, nađeni u srednjem Jupiterovom hramu,

iskoristili za rekonstrukciju kapitolija s odvojenim krovovima. Pri rekonstrukciji kapitolija poslužile su usporedbe s hramovima iz Sufetule, datiranih u 2. stoljeće, koji su izvedeni u korinstkom stilu, slično hramovima iz Toplica (Nemeth-Ehrlich, 1997., 25). U rekonstrukciji hramova iz 4.st.(sl. 24 i 25), postupak je krenuo obrnutim putem te se iz ostataka pilastara i sačuvanih zidova očitao ritam kolonade. Slijedeći Vitruvijeve smjernice, rekonstrukcija vrata temeljila se na otkrivenom pragu i rasteretnom luku. Nadalje, dimenzije stupova u istočnoj, zapadnoj i južnoj kolonadi, kao i njihov raspored, određeni su iz baza pronađenih u južnom trijemu (Nemeth-Ehrlich, 1997., 28). Analiza pokretnih i nepokretnih nalaza u Varaždinskim toplicama daje uvid u evolucijske faze ovog svetišta kroz vrijeme te nam daje uvid u svakodnevicu ljudi koji su živjeli ovdje. Pokazuje sličnost s drugim rimskim svetištima, no također posjeduje jedinstvene karakteristike specifične za njegovu lokaciju (Kušan Špalj, 2015., 107).



Slika 22: (gore lijevo)
Tlocrt kapitolija iz 2.st.
(izradio: studio Kušan;
preuzeto iz: Nemeth-
Ehrlich, 1997., 20)

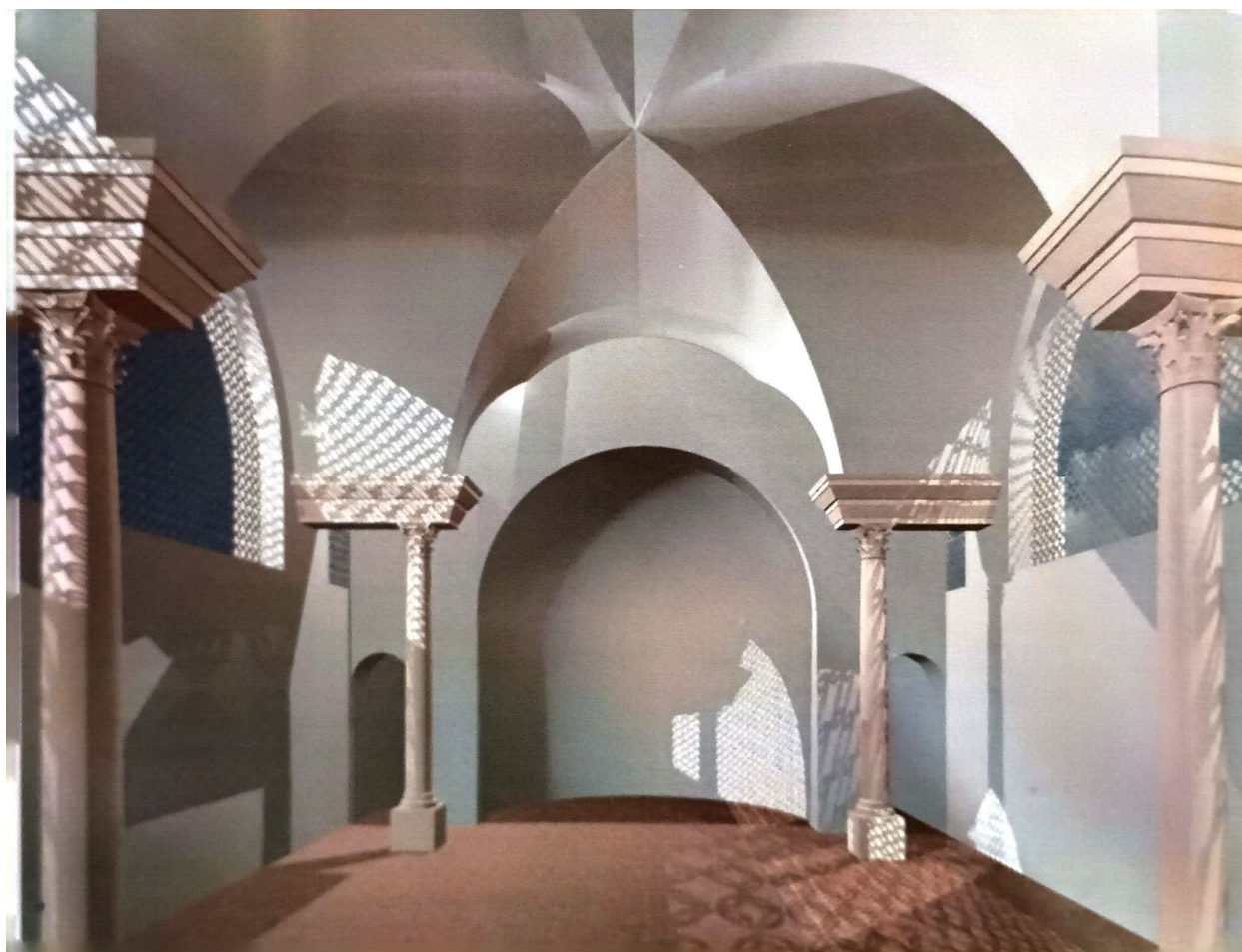
Slika 23: (lijevo)
Renderirana slika 3D
rekonstrukcije kapitolija iz
2. st. (izradio: studio
Kušan; preuzeto iz:
Nemeth-Ehrlich, 1997., 20)





Slika 24: (lijevo)
Renderirana slika 3D
rekonstrukcije kapitolija
iz 4. st. (izradio: studio
Kušan; preuzeto iz:
Nemeth-Ehrlich, 1997.,
21)

Slika 25: (dolje)
Renderirana slika 3D
rekonstrukcije bazilike iz
4.st. (izradio: studio
Kušan; preuzeto iz:
Nemeth-Ehrlich, 1997.,
14)



5.3. Crkva sv. Marije Formozze

Sv. Marija Formoza (sl. 28) je ranokršćanska bazilika koja pripada bizantskoj ravenskoj umjetnosti. Ova bazilika je “*najznačajniji spomenik za poznavanje sakralne umjetnosti na tlu Hrvatske iz vremena Justinijanova obnove Carstva.*” (Ujčić, 2007., 15). Radi se o trobrodnoj crkvi koja je sadržavala par kružnih pastoforija i križnih mauzoleja. Danas ne znamo kako je točno izgledala unutrašnjost, no možemo samo pretpostaviti raskoš ukrasa zidnog i podnog mozaika. Iz samog naziva *Formosa*, što znači krasna, možemo zaključiti da je bila upravo to, krasna i obogaćena s puno dekoracija (Ujčić, 2007., 16). Prvi tlocrt ove crkve nam donosi P. Kandler 1847. godine, a prvo zaštitno istraživanje je izvršio A. Gnirs (konzervator Središnjeg carskog i kraljevskog povjerenstva za zaštitu spomenika) na početku 20. stoljeća gdje su pronađeni mnogobrojni nalazi dekorativnog mozaika. Za određivanja vanjskog izgleda bazilike, poslužili su crteži Clerisseaua, francuskog graditelja i slikara. Naime, preko njih su izračunate visine centralne apside kao i visine vijenaca bočnih kupola. Za nepoznate podatke koristile su se usporedbe sa tipološko srodnim građevinama kao što su: Eufrazijeva bazilika u Poreču, S. Apollinare in Classe u Ravenni, Sv. Eufemia te Sv. Maria delle Grazie u Gradu (Ujčić, 2007., 53). Autor (Ujčić, 2007.) napominje da je model napravljen kao maketarni prikaz zbog toga što okruženje objekta nije bilo predmet istraživanja. Novinski članak (Palibrk, 2021.) govori o napretku izgradnje arheološkog parka te je napomenuto da je cilj projekta istraživanje, zaštita i prezentacija crkve. U sklopu toga napravljen je digitalni model koji se može vidjeti na slici 26 i 27. Na slici 27 prikazan je digitalni model uklopljen u realistično okruženje koji prikazuje kako bi crkveni kompleks danas izgledao.

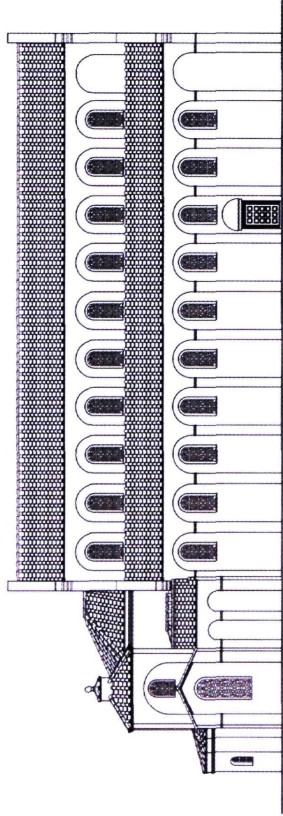


Slika 26: (gore) Prikaz 3D rekonstrukcije bazilike sv. Marije Formozze (preuzeto iz: Ujčić, 2007., 14)

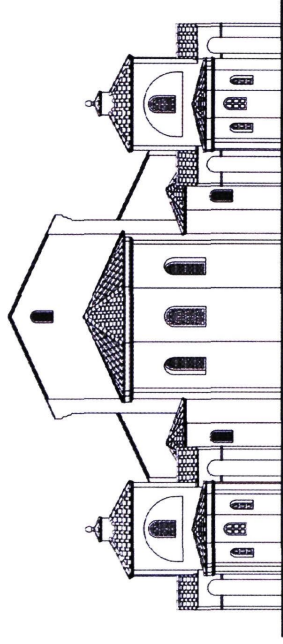
Slika 27: (dolje) Renderirana slika 3D rekonstrukcije bazilike sv. Marije Formozze uklopljena u krajolik (preuzeto iz: Ujčić, 2007., 50)



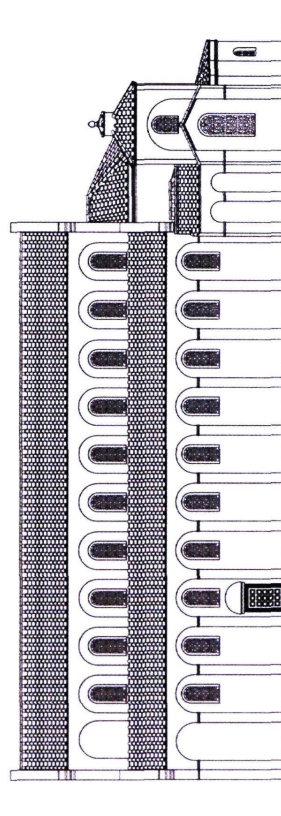
Pogled sjever



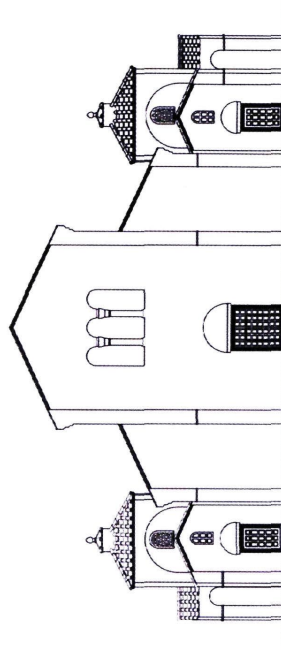
Pogled istok



Pogled jug



Pogled zapad



Slika 28: Nacrt različitih pogleda na baziliku (preuzeto iz: Ujčić, 2007., 48)

5.4. Banjače

Tijekom istraživanja 2005. godine na prostoru antičkog lokaliteta Banjače pronađene su dvije suhozidne arhitekture (Objekt 1 i Objekt 2) na kojima je napravljena 3D digitalna rekonstrukcija (Ožanić i sur., 2018.). Naime radi se o odvojenim strukturama (sl. 29) napravljenima u tehničar suhozidne gradnje te se utvrđena datacija postavlja u 5. stoljeće (Vuković i sur., 2020.). Prva građevina (sl. 31) se opisuje kao pravokutna građevina (9m x 6.8m), ukupne površine od 66 m², orijentacije JI-SZ, sa sjevernim ulazom za koji se smatra da se koristilo za skladištenje hrane na temelju nalaza (fragmenti amfora i drugih posuda) koji su tamo i pronađeni (Ožanić Roguljić, Miloglav, 2018.). Od pronađenih nalaza ističu se ulomci staklenih i keramičkih posuda, željezni noževi, ulomak koštanog češlja i značajna količina brončanog novca pretežno s početka 5. st. te jedan iz sredine 4. st. (Ožanić Roguljić, Miloglav, 2018.). Vrlo bitna stavka je da su temelji izvornih zidova ostali očuvani, no očuvana visina im iznosi 1 – 1,4 metara (Ožanić i sur., 2018.). Prema pokretnim arheološkim nalazima i načinu gradnje sličnim kao i Objekt 2, oba objekta se stavljaju pod istu dataciju. On se i nalazio zapadnije od Objekta 1 te ga kojeg omeđuju dva paralelna zida dužine 7 i 4 m, ukupne površine oko 30 m². Naime, za obje se smatra da su korištene kao radni prostori koje je koristilo lokalno stanovništvo. Kao i Objekt 1 i Objekt 2 je naslonjen na ogradnu konstrukciju koju čine 2 paralelna zida širine 1,5 m i dužine 13 m, a najvjerojatnije su služila kao prostor za stoku (Ožanić Roguljić, Miloglav, 2018.). Obzirom na nalaze, Objektu 2 se pripisuju karakteristike prostora za obradu žitarice. Nažalost, obje građevine su vidno oštećene, no zbog nalaza krovne opeke te željeznih čavala koji su se koristili u konstrukciji drvenog dijela krova, potvrđeno je i samo postojanje krova (Vuković i sur., 2020.). Same krovne tegule prikazuju standard u arhitekturi građevina seoskog karaktera. Rezultati prikazuju da je lokalitet Banjače funkcionirao kao ruralno naselje ili gospodarski kompleks početkom 5. stoljeća (Ožanić Roguljić, Miloglav, 2018.). Digitalnu reprezentaciju lokaliteta Banjače možemo usporediti s 3D modelom sojeničkog naselja na rijeci Cetini (Libernjak, 2011., Milošević, 2017., Švonja, 2022.), jer su obje napravljene u svrhu izložbe. 3D rekonstrukcija nalazišta Banjače je napravljena u sklopu izložbe "Arheološka istraživanja nalazišta Banjače" (Ožanić Roguljić, Miloglav, 2018.) te je praćena metodologija rada Dell'Unto i suradnika 2013. godine (Dell'Unto i sur., 2013.). Radi se o pristupu koji odmah na početku odvaja rekonstrukciju prema objektivnosti, dedukciji, analogiji/stilu i prema hipotezi (Vuković i sur., 2020., 536). Autori same rekonstrukcije su obilježili drugačijim

bojama te 4 kategorije te se legenda boja može vidjeti na slici 30. Koristio se Blender, softver koji služi za razne svrhe pa tako i za trodimenzionalnu rekonstrukciju arheoloških nalazišta. Što se tiče ovog primjera, kako su očuvani samo temelji, morala se koristiti usporedba drugih struktura suhozidne gradnje kako bi se što realnije prikazala rekonstrukcija. Naime, u Blender je uvezen originalan temelj struktura, korištena je usporedba drugih ali sličnih građevina te se za pozadinu koristila fotografija ruralnog područja koja je što bliža originalnom okruženju (Vuković i sur., 2020.). Autori upozoravaju da često rekonstrukcije ovise o subjektivnosti i samoj kreativnosti onoga koji proizvodi takve radove i da, koliko god elementi i animacije izgledaju kvalitetno, uvijek treba više težiti objektivnosti i realnosti same interpretacije (Vuković i sur., 2020., 537).

Slika 29: Tlocrta struktura Objekta 1 i 2 (izradila I. Miloglav, preuzeto iz: Ožanić Roguljić, Miloglav, 2018., 17)





Slika 30 (gore): prikaz obojenih dijelova rekonstrukcije u 4 kategorije i legenda boja (preuzeto iz: Ožanić Roguljić i sur., 2018.)

Slika 31: Renderirana slika 3D rekonstrukcije Objekta 1 (preuzeto iz: Ožanić Roguljić i sur., 2018.)

6. VIZUALIZACIJA ARHEOLOŠKE BAŠTINE

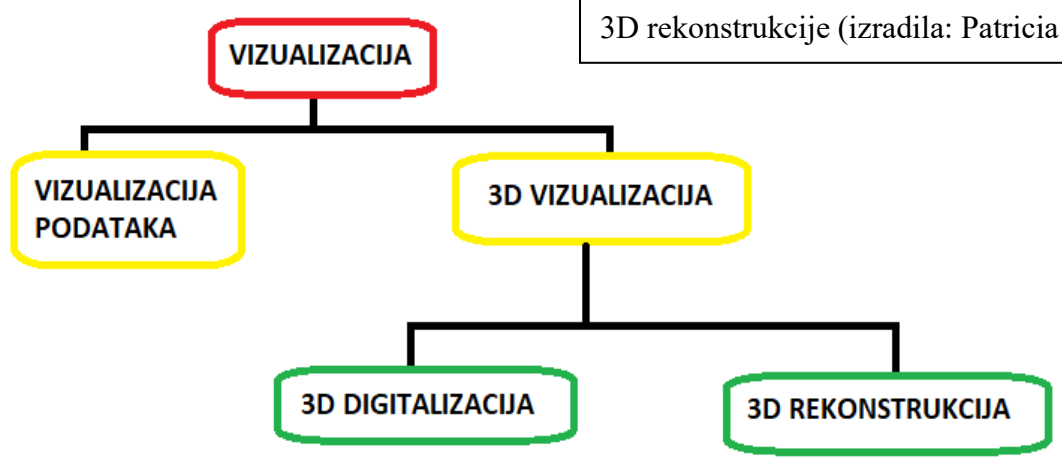
Vizualizacija je ključan aspekt u arheologiji. Kako je arheologija znanost koja se oslanja na ostatke materijalne kulture, pojam vizualizacije postaje važna komponenta u iznošenju podataka istraživanja. Pojam vizualizacije obuhvaća široko područje te označava svaki vizualni prikaz informacija (Friendly, Davis, 2009., 2). Zato je bolje koristiti uži pojam, vizualizacija podataka (*data visualization*), koji se veže uz samu arheologiju. Danas je 3D model sredstvo koje vizualizacija podataka koristi, no on je ujedno utjecao i promijenio sam način prikazivanja informacija. Toliko se razvio da se 3D računalno bazirana vizualizacija odnosi na sve metodologije korištene u svrhu proizvodnje, prikaza, opisa, prijenosa i prezentacije grafičkih/vizualnih digitalnih 3D modela (Friendly, Davis, 2009., 2).

6.1. Povezanost 3D vizualizacije i 3D rekonstrukcije

U današnjem svijetu napredne tehnologije, vizualizacija je integrirani dio 3D rekonstrukcije. 3D modeliranje i 3D vizualizacija su isprepleteni koncepti i jedan nema razloga za postojanje bez drugog. Najpopularnija su sučelja za prikaz digitalnih 3D modela 2D zaslone (računalo, pametni telefon, TV zaslon, projektor, itd.), no mnoge druge tehnologije preuzimaju ulogu kao dobre alternative: VR, AR, 3D zaslone, hologrami itd. (Münster i sur., 2024., 130). Tri glavna načina virtualnog prikaza 3D modela su: statička prezentacija (jedna slika/statički *rendering*), linearna prezentacija (video/animacije) i interaktivna prezentacija (realno vrijeme istraživanja/računalne igre) (Münster i sur., 2024., 130). Osim što služi u prezentacijske svrhe, vizualizacija podataka se koristi i u istraživanjima. Prema Wareu, vizualizacija podataka kao alat za analizu može na 5 načina podržati istraživanje. Naravno, može olakšati korištenje i znanje velike količine podataka, pomaže u formuliranju hipoteza, ističe probleme s kvalitetom podataka, može potaknuti percepciju neočekivanih svojstava te razjašnjava odnose između velikih i malih značajki (Ware 2004, 3; Frischer, 2021., 5). Način na koji vizualiziramo podatke potpuno je transformiran razvojem računala i računalne grafike. Moderna računala sposobna su brzo obraditi ogromne količine podataka, a računalna grafika nam omogućuje da te podatke predstavimo na načine koji su prije pola stoljeća bili nedokučivi. Uz napredak računala, važno je spomenuti i stvaranje SKETCHPAD-a Ivana Sutherlanda 1963. godine, programa koji je korisnicima omogućavao crtanje dvodimenzionalnih i trodimenzionalnih oblika (Gligora, 2018., 7). S napretkom tehnologije,

vizualizacija podataka u arheologiji postaje sve bolja i bolja. Danas se koriste različiti računalni programi za vizualno predstavljanje te se zbog tog razloga pojmovi vizualizacija, vizualizacija podataka i 3D vizualizacija obično koriste naizmjenično, odnosno uglavnom se koriste kao sinonimi. Stvar je u tome što je vizualizacija širi pojam, a vizualizacija podataka i 3D vizualizacija predstavljaju uže pojmove (Gligora, 2018., 8). Za vizualizaciju podataka zapravo nije potrebno računalo, no ono je znatno pojednostavilo i ubrzalo proces. U području arheologije, mnoge vizualizacije podataka bile bi nedostižne bez pomoći računala, što ilustrira sve veću ovisnost o tehnologiji za vizualizaciju podataka, sličnu 3D vizualizaciji. Zato se gore u tekstu spominje da su vizualizacija podataka i 3D vizualizacija isprepleteni koncepti (sl. 32). Primarni cilj vizualizacije podataka je ponuditi novi uvid u podatke prikupljene arheološkim istraživanjem, a takva vizualizacija služi kao temelj arheološke interpretacije. Suprotno tome, 3D vizualizacija uključuje izradu 3D modela pomoću računalnog programa. Uvelike se oslanja na računalne alate, a u području arheologije danas se razlikuju dva pojma u odnosu na 3D vizualizaciju: 3D digitalizacija i 3D rekonstrukcija, koji su već objašnjeni u tekstu (Gligora, 2018., 8). Što znači da je 3D rekonstrukcija samo dio cijelog procesa 3D vizualizacije, a njihova se povezanost očituje kroz korištenje 3D modela kao alat za prenošenje znanja (sl. 38)

Slika 32: Prikaz povezanosti vizualizacije i 3D rekonstrukcije (izradila: Patricia Potočić)



6.2. Aspekti digitalne 3D vizualizacije

Istaknuto je da 3D vizualizacija koristi 3D model kao svoj primarni fokus. Prije široke upotrebe digitalnih softvera za 3D modeliranje, koristio se ili 3D prikaz na 2D mediju (papiru ili tkanini) ili stvarna fizička maketa napravljena od drveta, kartona ili drugog materijala. Sam proces stvaranja fizičkih maketa je bio dugotrajan i iscrpan, obično ručno izrađena od strane umjetnika, arhitekata ili inženjera koji je trebao biti precizan i strpljiv. Što proces čini dužim je činjenica da, ponekad, svaka izmjena ili prepravka zahtjeva više vremena nego sam proces izrade. S druge strane, digitalna 3D vizualizacija prevladala je ograničenja i granice koja su karakterizirale fizičku reprezentaciju. Kada govorimo o karakteristikama 3D vizualizacije, u isto vrijeme uključujemo i karakteristike samog 3D modela. On je sredstvo 3D vizualizacije te jedno postoji u skladu s drugim (Münster i sur., 2024., 131).

6.2.1. Karakteristike 3D vizualizacije

Virtualnu baštinu možemo nazvati iskustveni medij koji spaja sadržaj kulturne baštine s tehnologijom virtualne stvarnosti, odnosno stvara arheološki utemeljene vizualizacije. Projekti virtualne baštine obično nisu dugotrajni, što otežava pronalaženje jasnih i značajnih rezultata, no ipak se temelje na rekonstrukciji podataka koji su znanstveno utemeljeni i izmjereni (Champion, 2021., 6). U područjima od velikog javnog interesa poput arheologije, važno je da teorije, podaci i rezultati budu dostupni kako stručnjacima, tako i široj javnosti. S razvojem novih vizualizacija i metodologija, poboljšana je prezentacija arheoloških otkrića u tradicionalnim formatima poput publikacija i izložbi, dok su istovremeno uvedena nova digitalna rješenja za pohranu i pristup znanju. Kada je suradnja između arheologa i računalnih znanstvenika dovela do stvaranja prvih 3D modela arheoloških nalazišta (Delooze & Wood 1991. za digitalizaciju; Woodwark, 1991. za rekonstrukciju), vidio se prvi veći razvoj u tehnologijama korištene za vizualizaciju (Barratt, 2021., 14). Razvoj vizualizacije bio je potaknut procesnom arheologijom, čiji je razvoj doveo do novih međudisciplinarnih pristupa. Prvenstveno se tu spominje uvođenje GIS softvera koji je pospješio arheološka istraživanja te je pokazao kako računalna tehnologija može pogodovati u prezentaciji nalaza. Suštinski, GIS sustavi nisu u prikladnom formatu za iskustvene aspekte tumačenja arheoloških lokaliteta zbog svoje dvodimenzionalne prirode te nedostatka interaktivnih i bogatih vizualnih reprezentacija (Ch'ng, 2007.). Danas govoreći, napredak računala je pridonijelo složenijim 3D modelima te je specijalizacija metodologije vizualizacije uzrokovala prelazak s

osnovnih 3D prikaza na širok spektar tehnika modeliranja. Vizualizacija se, kako je već rečeno, dijeli na tehnike temeljene na pregledu (kao što su fotogrametrija i lasersko skeniranje) i tehnike temeljene na rekonstrukciji. Tehnike 3D rekonstrukcije mogu na dinamičan i intuitivan način predstaviti hipoteze javnosti i pružiti okruženje za eksperimentiranje (Barratt, 2021., 14). Ono što 3D vizualizaciju izdvaja kao posebnu je mogućnost brzog generiranja i ažuriranja pogleda iz različitih perspektiva. Automatske provjere smetnji i nedosljednosti štede vrijeme, dok se analitički podaci poput površine i volumena mogu lako izdvojiti i koristiti. Fotorealistične simulacije dodaju životnost i realniju sliku nepostojećim objektima ili okruženjima, omogućujući virtualne posjete lokacijama koje su opasne, nepraktične ili nedostupne u stvarnom svijetu. Cilj je bolje razumjeti tehničke ili društvene procese kroz trodimenzionalnu simulaciju prapovijesnih prostora, arhitekture i konstruktivnih elemenata. Cilj je iz toga dobiti različito shvaćanje povijesnih procesa. U konačnici pojednostavljuje procese izrade, izmjena i ponavljanja, kao i što pojednostavljuje dijeljenje i sam pristup modelu (Münster i sur., 2024., 132). Zbog različitih područja koja doprinose razvoju i predstavljanju projekata virtualne baštine, nedostatka pristupa prošlim projektima i rezultatima te zbog brzih promjena u povezanim tehnologijama, studenti i znanstvenici u području arheologije suočavaju se s velikim izazovima učenja u pogledu tehničkih mogućnosti, izazovima dizajna interakcije i rizicima očuvanja (Champion, 2021., 6). Dugoročno očuvanje digitalnih vizualizacija predstavlja veći izazov u usporedbi s fizičkim kopijama, a pristup virtualnom sadržaju zahtijeva odgovarajući softver i hardver, što ga potencijalno čini manje dostupnim. Postoji rizik od gubitka podataka tijekom pretvorbe ili izvoza datoteka, a digitalne datoteke mogu biti osjetljive na oštećenja softverskih grešaka ili kvarova hardvera. Sve dopune trebaju biti utemeljene na znanstvenim spekulacijama i vidljivo istaknute u prezentaciji zato što se često događa da se projekt započinje nepotpunim planiranjem što dovodi do nepotpunih podataka. Posljedica toga može biti stvaranje modela koji nije znanstveno prepoznatljiv, što dovodi do iskrivljavanja realne slike prošlosti (Münster i sur., 2024., 132). Obzirom na to, u području stvaranja 3D rekonstrukcije često se koristi koncept skala nesigurnosti. Skala služi kako bi rekonstrukcije ostale transparentne, lako razumljive i procjenjive. Dok se izrađuje, svakoj razini ljestvice je dodijeljena boja i opis kako bi se dokumentirala kvaliteta izvora i priroda samog materijala. Boje se pripisuju elementima rekonstrukcije kako bi ukazali na razinu nesigurnosti (sl. 39) (Dell'Unto i sur., 2013.).



Slika 33: različite razine dosljednosti usvojena u rekonstrukciji atrija Case di Caecilius Iucundus (preuzeto iz: Dell'Unto i sur., 2013., 626)



6.3. Vizualizacija arheološke baštine kroz aplikacije, VR sustav i video igre

Nova generacija 3D rekonstrukcija koristi prednosti i postavke video igara u stvaranju osjećaja prisutnosti kako bi poboljšala prezentacijske vještine te tako i sam proces učenja o arheološkoj baštini. Prisutnost se odnosi na osjećaj pripadnosti digitalnom okruženju bez svijesti o medijaciji (Barratt, 2021., 16). Korisnici percipiraju taj digitalni svijet kao proširenje stvarnosti jer virtualno okruženje pruža odgovore slične onima iz stvarnog svijeta. Virtualna okruženja često uključuju karakteristike koje imitiraju stvarne reakcije, kao što su mogućnost hodanja kroz vodu ili blokiranje kretanja kroz zidove, stvarajući snažan osjećaj prisutnosti i omogućavajući korisnicima značajne interakcije s prostorom. Elementi kao što su interakcija i realizam doprinose osjećaju prisutnosti. Aktivnim sudjelovanjem u virtualnim okruženjima, korisnici mogu steći uvid u prošlost kroz znatiželju i osobni izbor, no ipak je potrebno uvrstiti i naraciju, likove i zadatke, kako bi sama vizualizacija omogućila bogato okruženje za stjecanje znanja bez ograničenja tradicionalnih metoda (na primjer, Champion et al. 2012). U sklopu projekta Danube's Archaeological eLandscapes (<https://dtp.interreg-danube.eu/approved-projects/danube-s-archaeological-elandscapes>), čiji je cilj povećati vidljivost i informiranost o arheološkoj baštini na području rijeke Dunav, napravljene su dvije aplikacije i jedna VR simulacija za hrvatsko područje (Rakvin & Balen, 2022.). Za Vindiju je razvijena aplikacija (sl. 34) koja korisnicima omogućava

istraživanje pećine koja predstavlja jedno od najvažnijih paleolitičkih nalazišta Neandertalaca, kako u Hrvatskoj tako i u Europi. Aplikacija uključuje 3D model pećine (sl. 35), prikaze slojeva u kojem se nalaze ostaci Neandertalaca te digitalne prikaze oruđa koji su oni koristili. Korisnici mogu istraživati unutrašnjost pećine, pregledavati slike i digitalne prikaze kamenog oruđa te učiti o životu i tehnologiji neandertalske populacije. Fokus scenarija je na svakodnevnim zadacima neandertalskog života kao što su izrada alata, lov, rad na skrivanju i briga za starije osobe (Rakvin & Balen, 2022.).



Slika 34 (lijevo): Glavni izbornik aplikacije (preuzeto iz: Rakvin & Balen, 2022., 71)

Slika 35 (desno): 3D rekonstrukcija ulaza u pećinu (preuzeto iz: Rakvin & Balen, 2022., 71)

Digitalna rekonstrukcija ranobrončanodobnog naselja Viškovci je ukomponirana u aplikaciju (sl. 36) koja je napravljena u svrhu prikaza svakodnevnog života u naselju i prikaza aktivnosti koje su se odvijale u njemu. Sama aplikacija je napravljena na osnovu geofizičkih istraživanja, palobotaničkih i paleozooloških analiza i 3D modela terena (sl. 38) što je omogućilo detaljniju prezentaciju lokaliteta te preko kojih se pruža bolje upoznavanje sa brončanodobnim naseljem i njegovom organizacijom. Rekonstruirane su kuće (sl. 37), radionice te značajni arheološki nalazi poput Vučedolske golubice koje korisnici mogu istraživati i proučavati. Ova rekonstrukcija, zajedno s pripremljenim tekstovima, video zapisima i fotografijama, ugrađena je u aplikaciju razvijenu za monitore osjetljive na dodir. Obje aplikacije za Vindiju i Viškovce izrađene su u softveru Unity, što ih čini visoko kompatibilnim s različitim hardverskim i računalnim sustavima (Rakvin & Balen, 2022.).



Slika 36 (lijevo): Glavni izbornik aplikacije (preuzeto iz: Rakvin & Balen, 2022., 73)

Slika 37(dolje lijevo): 3D rekonstrukcija kuća na lokalitetu Viškovci (preuzeto iz: Rakvin & Balen, 2022., 74)

Slika 38 (dolje): 3D rekonstrukcija krajolika oko lokaliteta Viškovci (preuzeto iz: Rakvin & Balen, 2022., 74)



Kaptol, s druge strane, je osmišljen unutar VR simulacije, koju sam osobno imala priliku isprobati. Naime, radi se o rekonstrukciji tumula IV, grobnog humka iz željeznog doba koji je korišten za ukop elite te sam scenarij simulacije uključuje scene s prikazom ratnika (sl. 40) i njegovog sprovođa (sl. 41). Simulacija omogućava istraživanje grobne komore (sl. 39) s bogatim grobnim priložima kao što su oružje, nakit i keramičko posuđe koji su odraz tog vremena. U procesu rekonstrukcije postojala su 2 koraka. Prvi je bio sakupiti sve dostupne podatke kao što su prostorni podaci dobiveni iz iskopavanja, LiDAR podaci i fotografska dokumentacija. U drugom koraku, ti podaci kao i tekstualne interpretacije strukture grobne komore i položaji nalaza poslani su programerima. Ključne su bile točne mjere nalaza, a cijeloj kreativnosti simulacije su pridodani i 3D modeli keramike, kao i animirana karta koja prikazuje opseg projekta i 3D rekonstrukciju naselja. Ovakva rekonstrukcija prikazuje važnost Kaptola kao ključnog arheološkog lokaliteta koji je imao značajnu ulogu u kulturnim i trgovačkim vezama tijekom željeznog doba. Kaptol se sustavno istražuje zadnjih 20 godina, dajući veliki skup podataka koji su ukomponirani u digitalnu

simulaciju koja omogućava istraživanje i interpretaciju arheoloških nalaza na nov način, što dalje omogućuje detaljno proučavanje i vizualizaciju povijesnog konteksta (Rakvin & Balen, 2022.).



Slika 39 (gore lijevo): 3D rekonstrukcija grobne komore tumula IV na Kaptolu (preuzeto iz: Rakvin & Balen, 2022., 76)

Slika 40 (gore): VR rekonstrukcija princa i konja (preuzeto iz: Rakvin & Balen, 2022., 76)

Slika 41 (lijevo): VR rekonstrukcija grobnog rituala (preuzeto iz: Rakvin & Balen, 2022., 76)

Prema osobnom mišljenju, danas najbolji svjetski primjer vizualizacije nalazišta je projekt *Rome Reborn*, pod vodstvom B. Frischera, čiji je cilj pretvoriti cijeli grad Rim u digitalnu verziju, odnosno prikazati Rim kako ga je prikazao Italo Gismondi. Naime, talijanski arheolog Gismondi je, u skali od 1:250, napravio fizički model antičkog Rima. Rim u Konstantinovom razdoblju (320 AD) koji je stvorio Gismondi, na kojem je radio od 1936. do 1974., čuva se u Muzeju rimske civilizacije u Rimu (Guidi i sur., 2007.). Iako fizički model nije istodoban s razdobljem koje opisuje, neki arheolozi vjeruju da sadrži valjane i logične zaključke koji nisu daleko od načina na koji je Rim stvarno izgledao u modeliranom razdoblju. Opseg ovog projekta bio je stoga iz fizičkog modela izvući one podatke korisne za rekonstrukciju digitalnog modela starog Rima, no uklanjale su se hipoteze rekonstrukcije koje su se smatrale nepouzdanima ili nevjerojatnima, odnosno rekonstrukcija je vezana samo za dio Gismondijevog fizičkog modela koji predstavlja urbano tkivo, što daje pouzdanu pozadinu za monumentalne građevine rekonstruirane u okviru drugih istraživačkih projekata na temelju preciznijih arheoloških podataka. (Guidi i sur., 2007.). Model je

u osnovi napravljen od mješavine dijelova koji predstavljaju sve neizgrađene dijelove, kao što je *Digital Terrain Model* (DTM), tj. oblik stijena i nasipa. Na njemu su umetnute dvije kategorije zgrada: monumentalne građevine modelirane od strane istraživačke grupe UCLA-a (*University of California, Los Angeles*) i Sveučilišta Virginia te urbano tkivo, koje se sastoji od hipotetskih *insulae*² nastalih kao kombinacija identificiranih arhetipova. Profesor Bernard Frischer je išao korak dalje te je statičnu virtualnu reprezentaciju pretvorio u virtualni obilazak Rima koji je praćen audio zvukom. Tijekom 39 postaja na kojem se mogu detaljnije pogledati rekonstrukcije, on pruža uvid u geografiju grada, gospodarstvo, stanovanje, urbanu infrastrukturu, prostornu organizaciju, zdravlje, rekreacijske sadržaje, vjerske institucije i drugo. Uz to, s 12 dostupnih vremenskih traka, gledatelji mogu neprimjetno prelaziti između prošlog rekonstruiranog grada i današnjih ruševina, tj. današnjeg izgleda nalazišta. Yorescape (<https://yorescape.com/>), a to je virtualna turistička *streaming* aplikacija koju je razvio Flyover Zone (<https://www.flyoverzone.com/about/>). Dostupan je globalnim pretplatnicima 24/7 te je kompatibilan s pametnim telefonima, tabletima (iOS/Android), osobnim računalima (Macintosh/Windows), a ima i VR aplikaciju. Ovaj projekt se svakih nekoliko godina nadograđuje pa je tako u 2023. godini B. Frischer napravio poboljšanu rekonstrukciju nazivajući je Rome Reborn 4.0. (sl. 42) (<https://www.youtube.com/watch?v=s50hT6SOdl4>). Ovakva digitalna platforma pruža znanstvenicima priliku da se uključe u rasprave o arheološkim teorijama. Također služi kao prostor za suradnju i za predlaganje izmjena i dopuna te uvođenja novih ideja. Isto tako, igra vitalnu ulogu u edukaciji studenata i šire javnosti o povijesnom izgledu grada. To olakšava prepoznavanje odnosa između sadašnjih ruševina i izvornih arhitektonskih struktura. Naknadno poboljšanje simulacije bi moglo ukomponirati postavke video igre te uključiti i subjekta u cijeli proces. To se može postići i VR metodom, no preko video igre može se privući veći broj korisnika što znači veću popularnost. Kroz staze Rome Reborna, mogu se utjeloviti zadatci kroz koje subjekt prolazi te na taj način uči o samom narativu antičkog Rima. Npr., kao dio igrice se može uvesti da subjekt može kupiti svoju insulu u kojoj može živjeti kao Rimljanin u to doba. O užem cilju igrice i samom scenariju bi se dalo raspravljati i dalo bi se dublje razraditi, no glavni cilj bi bio zadovoljiti prijenos

² U rekonstrukciji *insulae* Italo Gismondi iskoristio je sva svoja arheološka iskustva stečena na lokalitetu Ostia od 1910. godine, kada je pomogao u izradi hipotetske rekonstrukcije o istoj vrsti građevina kojih je u Ostiji dosta i vrlo su dobro očuvane (Guidi i sur., 2007.).

informacija široj publici o arheološkoj baštini, educirati ju i približiti sa svijetom starog Rima te potaknuti na razmišljanje i daljnje učenje i proučavanje arheologije.

Danas, usprkos tome što fleksibilnost modela i mogućnost korisnika da manipulira 3D geometrijom premašuje same prezentacijske svrhe te omogućuje istraživaču da iskoristi trodimenzionalno modeliranje u različite svrhe, ove metodologije su naišle na otpor unutar šire arheološke zajednice. Glavna kritika je da 3D rekonstrukcije mogu dovesti korisnike u zabludu zbog svoje visoke razine realističnosti te iako se osnovne pretpostavke u velikoj mjeri oslanjaju na arheološke dokaze, mnoge objavljene 3D rekonstrukcije ne uključuju izvorne podatke na kojima se temelje (Barratt, 2021., 18). Često im nedostaju alati za procjenu njihove točnosti, dok istovremeno stvaraju dojam autentičnosti. Ova percepcija realizma može dovesti do toga da korisnici automatski prihvate rekonstrukcije kao istinite, a bez dovoljno arheoloških dokaza moglo bi doći do predstavljanja hipoteze kao činjenice (Barratt, 2021., 18). Rekreacija arheoloških nalazišta putem virtualnih rekonstrukcija ima svoje nedostatke, posebno u kontekstu tumačenja i edukacije javnosti kroz interaktivne prikaze. Arheološka nalazišta su često nepotpuna, a prilikom stvaranja virtualne rekonstrukcije nepotpunog prapovijesnog nalazišta, proces se uvelike oslanja na akumulirano znanje i logične pretpostavke kako bi se upotpunili nedostajući dijelovi. Zato je važno detaljno objasniti metode i razloge zašto se nešto koristilo u procesu rekonstrukcije kako bi se osiguralo da su interpretacije koje se prezentiraju javnosti vjerodostojne i utemeljene na najboljim dostupnim dokazima (Ch'ng, 2007.).



Slika 42: *Rome Reborn™* 4.0.
(preuzeto sa: <https://www.flyoverzone.com/new-digital-model-of-ancient-rome-launched-november-8-2023/>)

Zaključak

3D rekonstrukcije predstavljaju moćan alat za prezentaciju stvarnih i hipotetskih arheoloških podataka. Od svojih početaka u 1980-ima, 3D rekonstrukcije su se koristile za dokumentiranje i interpretaciju arheoloških nalazišta. Rani primjeri poput rekonstrukcija rimskih hramova u Bathu i legionarskih kupelji u Caerleonu pionirski su pokušaji korištenja računalnih metoda u arheologiji. Prvi digitalni model u Hrvatskoj su Varaždinske Toplice iz 1997. godine. Kroz desetljeća, tehnologija je napredovala, omogućujući preciznije i detaljnije rekonstrukcije koje su transformirale način na koji arheolozi pristupaju istraživanju. Implementacija 3D modela značajno poboljšava arheološka istraživanja omogućujući precizniju vizualizaciju i analizu nalazišta, čime se dobivaju dublji uvidi i omogućuje bolja interpretacija arheoloških podataka. 3D rekonstrukcija uključuje ponovno stvaranje izgubljenih ili nepostojećih objekata na temelju dostupnih podataka i teorijskih modela. Ova tehnologija omogućuje arheolozima da vizualiziraju i analiziraju prostorne odnose koji nisu očiti iz 2D podataka, te da digitalno rekonstruiraju faze korištenja i promjenu objekata kroz vrijeme. To ne samo da obogaćuje našu sposobnost razumijevanja povijesnih konteksta, već i pruža nove uvide koji mogu promijeniti prethodne interpretacije. Korištenje i sve veća ovisnost o tehnologiji pri prezentaciji arheoloških nalazišta omogućuje širu dostupnost informacija istraživačima, studentima i široj javnosti, čime se promovira i veća svijest o kulturnoj baštini. Proces 3D rekonstrukcije zahtijeva pažljivu analizu i interpretaciju dostupnih podataka, a korištenje današnjih softverskih alata služi za stvaranje točnih i vjerodostojnih modela. Korištenjem programa poput SketchUp, Blender i 3ds Max, korisnici mogu stvoriti jednostavne oblike ili površine koje se mogu manipulirati kako bi se generirali složeniji elementi. Primjeri prikaza 3D rekonstrukcije arheoloških nalazišta iz Hrvatske pokazuju široku primjenu moderne tehnologije u arheološkim istraživanjima, a koriste se u obrazovne, konzervatorske i istraživačke svrhe, kao što je prezentacija Velikog rimskog kazališta i Varaždinskih Toplica, rekonstrukcije bazilike sv. Marije Formozze i objekata na lokalitetu Banjače. Ova tehnologija omogućuje studentima i široj publici pristup virtualnim prikazima arheoloških nalazišta, čime se poboljšava obrazovanje i svijest o kulturnoj baštini. U konzervatorskim radovima, precizni 3D modeli mogu se koristiti za planiranje restauracijskih postupaka i simulaciju radova prije njihove provedbe, smanjujući rizik od pogrešaka. 3D rekonstrukcije su značajno poboljšale i samo istraživanje jer omogućuju vizualizaciju predmeta u 3D prostoru kojim se može

manevrirati kako god izvori nalažu. 3D metode omogućuju istraživačima da testiraju hipoteze i vizualiziraju kompleksne prostorne odnose, što često rezultira otkrićima koja nisu bila očita u tradicionalnim 2D prikazima. Projekti poput Danube's Archaeological eLandscapes i Rome Reborn demonstriraju kako digitalne tehnologije mogu pružiti vizualizacije koje proširuju granice tradicionalnih metoda. Istraživanje i prikaz arheoloških lokaliteta kroz interaktivne platforme poput aplikacija i VR simulacija omogućuje korisnicima da dožive povijest na inovativan način, potičući tako i obrazovanje i istraživačku raspravu. Unatoč svim prednostima, 3D rekonstrukcija je relativno novo područje u arheologiji, sa neiskorištenim potencijalom i neriješenim pitanjima. Problemi poput netočnosti i mogućnosti zavaravanja javnosti kroz pogrešne hipoteze zahtijevaju dodatnu pažnju. Dokumenti poput *Seville Principles* i *London Charter* uspostavili su teoretski okvir za 3D rekonstrukciju, čime se osigurava formalizirana i standardizirana metodologija. Poštivanjem ovih smjernica smanjuje se rizik od pogrešnih interpretacija i osigurava znanstvena rigoroznost u procesu rekonstrukcije. Ove smjernice pružaju arheolozima jasne upute za etičko i precizno korištenje tehnologije. Arheolozi trebaju biti svjesni da 3D tehnologije stvaraju vrlo uvjerljive prikaze stvarnosti, a daljnja suradnja s područjem razvoja video igara mogla bi osigurati moćnije i usmjerenije 3D rekonstrukcije. Korištenjem tehnika koje potiču korisnike i stvaranjem jačeg osjećaja prisutnosti, arheološke informacije mogu se prezentirati učinkovitije. Iako je potencijal 3D rekonstrukcija velik, digitalna arheološka nalazišta još uvijek nisu na razini koja bi se očekivala u tehnološki razvijenom svijetu. Razlozi za to uključuju visoke troškove opreme i softvera, potrebu za specijaliziranim znanjima i vještinama, te vrijeme potrebno za stvaranje kvalitetnih rekonstrukcija. Međutim, kako tehnologija napreduje i postaje dostupnija, te kako se razvijaju novi alati i metodologije, očekuje se da će kvaliteta digitalnih arheoloških nalazišta značajno porasti.

Sve u svemu, kroz daljnji razvoj teorijskog okvira i suradnju s drugim disciplinama, 3D rekonstrukcije mogu značajno unaprijediti istraživanje, očuvanje i prezentaciju arheološke baštine. Gledajući s perspektive institucije višeg obrazovanja koje pripremaju buduće arheologe, one bi trebale aktivno uključiti u nastavu ne samo tehničke aspekte korištenja ovih tehnologija, već i osnovne principe na kojima se temelje. Na taj je način moguće osigurati višu kvalitetu arheološke dokumentacije u budućnosti, što je prvi korak ka suzbijanju glavne mane digitalnog svijeta; izmišljena stvarnost. Zbog razvoja tehnologije i sve veće primjene 3D rekonstrukcije u arheologiji, ne smije se zaboraviti da je to ipak samo digitalni primjer, a ne stvarni ostatak arheološkog dobra.

U bilo kojem koraku procesa stvaranja 3D modela uvijek se treba sjetiti izreke: *the map is not the territory mapped, and the name is not the thing named* (Bateson 1979: 30). Uz kontinuirano poboljšanje tehnoloških pristupa i metodoloških standarda, digitalne rekonstrukcije imaju potencijal da znatno obogate naše razumijevanje prošlosti, potičući daljnje istraživanje i promišljanje o arheološkoj baštini. Ove tehnologije ne samo da omogućuju novo iskustvo učenja, već i pružaju platformu za širenje znanstvenih saznanja i poticanje javnog interesa u arheologiji.

Popis tablica

Tablica 1 : Pozitivne i negativne karakteristike korištenja 3D modela u svrhu istraživanja i obrazovanja (izradila: P. Potočić, 2024.)

Popis slika

- Slika 1: Prikazi renderiranih slika Old Minister crkvenog kompleksa i 1987. (preuzeto iz: Reilly i sur., 2016., 35)
- Slika 2: Digitalna rekonstrukcija predgrađa hrama u Bathu, Velika Britanija, izradio John Woodwark, oko 1983./1984. (preuzeto iz: Messemer, 2020., 65)
- Slika 3: 3D legionarske kupelji u Caerleonu 1985., izradili Dayong Zhang/John Woodwark, (preuzeto iz: Messemer, 2020., 65)
- Slika 4: Produkti digitalnog ručnog modeliranja (preuzeto iz: Münster i sur., 2024., 120)
- Slika 5: Modeliranje površine, modeliranje čvrstog tijela i modeliranje žičanog okvira (preuzeto iz: Münster i sur., 2024., 121).
- Slika 6: Izvoz vektoriziranih obrise zgrada iz OSM-a putem Overpass Exportera (preuzeto iz: Münster i sur., 2024., 85)
- Slika 7: Označava se kvadrat na karti i sloj zgrade iz OSM-a odabran za izvoz (preuzeto iz: Münster i sur., 2024., 85)
- Slika 8: Uvezivanje osnovnog sloja OSM-a i povijesnog katastarskog plana kao rasterske slojeve (preuzeto iz: Münster i sur., 2024., 85)
- Slika 9: Nakon definiranja odgovarajućih 6-10 točaka, transformirana karta se projicira na osnovni sloj OSM-a (preuzeto iz: Münster i sur., 2024., 85)
- Slika 10: Uvoz osnovnog sloja OSM-a i povijesnog katastarskog plana kao rasterski slojevi (preuzeto iz: Münster i sur., 2024., 86)
- Slika 11: Pretvoreni kml sloj datoteke se uvozi u konvertirani sloj kao dxf u Cinema4D (preuzeto iz: Münster i sur., 2024., 86)
- Slika 12: Uvoz rastera (preuzeto iz: Münster i sur., 2024., 86)

- Slika 13: Crtanje obrisa tlocrta zgrade kao spline putanju (*spline path*) (preuzeto iz: Münster i sur., 2024., 87)
- Slika 14: Pretvaranje objekta u poligonalnu geometriju i umetanje vodoravnog reza (preuzeto iz: Münster i sur., 2024., 87)
- Slika 15: Učitavanje slike koja prikazuje pročelje zgrade (preuzeto iz: Münster i sur., 2024., 88)
- Slika 16: Poravnavanje vanjske točke koordinata teksture s rubovima teksture fotografije (preuzeto iz: Münster i sur., 2024., 88)
- Slika 17: Renderiranje teksture kao rasterske grafike i kasnije izvez kao Collada datoteku (preuzeto iz: Münster i sur., 2024., 88)
- Slika 18: Renderirana slika 3D rekonstrukcije Velikog rimskog kazališta u Puli (preuzeto iz: Starac, 2009., 50)
- Slika 19: Renderirana slika 3D rekonstrukcije unutrašnjosti Velikog rimskog kazališta u Puli (preuzeto iz: Starac, 2009., 48)
- Slika 20: Prikaz tlocrta kazališta na mjestu gdje bi se ono danas nalazilo (preuzeto iz: Starac, 2009., 52)
- Slika 21: Renderirana slika 3D kompleksa rimske javne arhitekture, 4.st. (izradio studio Kušan; preuzeto iz: Nemeth-Ehrlich, 1997., 13)
- Slika 22: Tlocrt kapitolija iz 2.st. (izradio: studio Kušan; preuzeto iz: Nemeth-Ehrlich, 1997., 20)
- Slika 23: Renderirana slika 3D rekonstrukcije kapitolija iz 2. st. (izradio: studio Kušan; preuzeto iz: Nemeth-Ehrlich, 1997., 20)
- Slika 24: Renderirana slika 3D rekonstrukcije kapitolija iz 4. st. (izradio: studio Kušan; preuzeto iz: Nemeth-Ehrlich, 1997., 21)
- Slika 25: Renderirana slika 3D rekonstrukcije bazilike iz 4.st. (izradio: studio Kušan; preuzeto iz: Nemeth-Ehrlich, 1997., 14)
- Slika 26: Prikaz 3D rekonstrukcije bazilike sv. Marije Formozze (preuzeto iz: Ujčić, 2007., 14)
- Slika 27: Renderirana slika 3D rekonstrukcije bazilike sv. Marije Formozze uklopljena u krajolik (preuzeto iz: Ujčić, 2007., 50)

- Slika 28: Nacrt različitih pogleda na baziliku (preuzeto iz: Ujčić, 2007., 48)
- Slika 29: Tlocrti struktura Objekta 1 i 2 (izradila I. Miloglav, preuzeto iz: Ožanić Roguljić, Miloglav, 2018., 17)
- Slika 30: Prikaz obojenih dijelova rekonstrukcije u 4 kategorije i legenda boja (preuzeto iz: Ožanić Roguljić i sur., 2018.)
- Slika 31: Renderirana slika 3D rekonstrukcije Strukture 1 (preuzeto iz: Ožanić Roguljić i sur., 2018.)
- Slika 32: Prikaz povezanosti vizualizacije i 3D rekonstrukcije (izradila: Patricia Potočić)
- Slika 33: Različite razine dosljednosti usvojena u rekonstrukciji atrija Case di Caecilius Iucundus (preuzeto iz: Dell'Unto i sur., 2013., 626)
- Slika 34 (lijevo): Glavni izbornik aplikacije (preuzeto iz: Rakvin & Balen, 2022., 71)
- Slika 35 (desno): 3D rekonstrukcija ulaza u pećinu (preuzeto iz: Rakvin & Balen, 2022., 71)
- Slika 36 (lijevo): Glavni izbornik aplikacije (preuzeto iz: Rakvin & Balen, 2022., 73)
- Slika 37(dolje lijevo): 3D rekonstrukcija kuća na lokalitetu Viškovci (preuzeto iz: Rakvin & Balen, 2022., 74)
- Slika 38 (dolje): 3D rekonstrukcija krajolika oko lokaliteta Viškovci (preuzeto iz: Rakvin & Balen, 2022., 74)
- Slika 39: 3D rekonstrukcija grobne komore tumula IV na Kaptolu (preuzeto iz: Rakvin & Balen, 2022., 76)
- Slika 40: VR rekonstrukcija princa i konja (preuzeto iz: Rakvin & Balen, 2022., 76)
- Slika 41: VR rekonstrukcija grobnog rituala (preuzeto iz: Rakvin & Balen, 2022., 76)
- Slika 42: Rome Reborn™ 4.0. (preuzeto sa: <https://www.flyoverzone.com/new-digital-model-of-ancient-rome-launched-november-8-2023/>)

Popis Literature

Bibliografija:

- Rakvin, M. & Balen, J., Ice Age Hunters, Bronze Age Farmers and Iron Age Warriors: Three Sites from Croatia's Past; U: Laharnar, B., Kusetič, J., Rudolf, S., Tratnik, V., Stories of the past: journey into lost landscapes, Narodni muzej Slovenije, Ljubljana, 2022., 68-79
- Ch'ng, E., Using Games Engines for Archaeological Visualisation: Recreating Lost Worlds, *11th International Conference on Computer Games: AI, Animation, Mobile, Educational & Serious Games*, La Rochelle, Francuska, 2007.
- Dell'Unto, N., Leander, A.M., Dellepiane, M., Callieri, M., Ferdani, D. and Lindgren, S., 2013. Digital reconstruction and visualization in archaeology: Case-study drawn from the work of the Swedish Pompeii Project, *DigitalHeritage*, Vol. 1, 2013., 621-628
- Di Stefano, F., Chiappini, S., Gorreja, A., Balestra, M., Pierdicca, R., Mobile 3D scan LiDAR: a literature review, *Geomatics, Natural Hazards and Risk* Vol. 12(1), 2021., 2387–2429
- Frischer. B., Personal History of the Rome Reborn Project, 2023.
- Friendly, M., Denis, D. J., Milestones in the History of Thematic Cartography, Statistical Graphics, and Data Visualization, Statistical Consulting Service, York University, 2009.
- Gligora, V., Korištenje 3D modela u arheologiji, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Filozofski fakultet, Zagreb, 2018.
- Gudelj, J., Serlio, Palladio, Vitruvio Ferrarese: Renesansna viđenja Velikog rimskog teatra u Puli, *Prilozi povijesti umjetnosti u Dalmaciji*, vol. 42 (1), 2011., 251-273
- Guidi. G, Frischer, B., Lucenti, I., Rome Reborn – virtualizing the ancient imperial Rome, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2007.
- Hansard, M., Seungkyu L., Choi, O., Horaud, R., Time of Flight Cameras: Principles, Methods, and Applications, Springer, 2012.
- Klarić, V., Kušan Špalj, D., Keča, K., ARHKONTUR Priručnik za interpretaciju u arheološkom turizmu, Libertas međunarodno sveučilište, Zagreb, 2021.

- Krömker, D., Hofmann, G.R., Rekonstruktion und Modellierung, U: Mazzola, G., Krömker, D., Rainer Hofmann, G., Rasterbild — Bildraaster. Beiträge zur Graphischen Datenverarbeitung, Springer, Berlin, 1987.
- Kušan Špalj, D., Nemeth-Erlich, D., Aquae Iasae - Varaždinske Toplice, arheološka istraživanja rimskog izvorišnog bazena i okolnog prostora; U: Librenjak, A., Tončinić, D. (ur.), Arheologija varaždinskog kraja i srednjeg Podravlja, znanstveni skup (Varaždin, 2010.), *Izdanja Hrvatskog arheološkog društva*, vol 28., Zagreb, 2012.
- Kušan Špalj, D., Rekonstrukcija prostora oko prirodnog izvora termalne vode – rituali i Namjena; U: Pirnat Spahić, N. (ur.), Aquae Iasae: Nova otkrića iz rimskog razdoblja na području Varaždinskih Toplica, katalog izložbe, Zagreb, Arheološki muzej u Zagrebu, 2015., 107 – 113
- Librenjak, A., Pregled arheoloških istraživanja u Cetinskoj krajini od 1980. do 2006. godine / Survey of archaeological excavations in the Cetina District (Cetinska krajina) between 1980 and 2006; U: Librenjak, A., Tončinić, D. (ur.), Arheološka istraživanja u Cetinskoj krajini: znanstveni skup, Sinj, 10.-13. listopada 2006, *Izdanja Hrvatskog arheološkog društva*, vol. 27, Zagreb, 2011.
- Messemer, H., Digitale 3D-Modelle historischer Architektur: Entwicklung, Potentiale und Analyse eines neuen Bildmediums aus kunsthistorischer Perspektive, *Computing in Art and Architecture*, vol. 3, Heidelberg, 2020.
- Milošević, A., Arheologija Sinjskoga polja, Muzej hrvatskih arheoloških spomenika – Split, *Katalozi i monografije MHAS-a*, Split, 2017.
- Mindrup, M., The architectural model. Histories of the miniature and the prototype, the exemplar and the muse, MIT Press, Cambridge, 2019.
- Münster, S., Digital 3D Technologies for Humanities Research and Education: An Overview. *Applied Sciences*, vol. 12(5), 2022.
- Münster, S. Apollonio, F. I., Bluemel, I., Fallavollita, F., Foschi, R., Grellert, M., Ioannides, M., Heinrich Jahn, P., Kurdiovsky, R., Kuroczyński, P., Lutteroth, J. E., Messemer, H., Schelbert, G., Handbook of Digital 3D Reconstruction of Historical Architecture, *Technology & Society*, vol 28., Springer, 2024.
- Nemeth-Ehrlich, D. (ur.), Aquae iasae Varaždinske toplice: Vizualizacija rimske arhitekture, Arheološki muzej Zagreb, Zagreb, 1997.

- Ožanić Roguljić, I., Miloglav, I., Arheološka istraživanja na lokalitetu Banjače, katalog izložbe, Dugopolje, 2018.
- Ožanić Roguljić, I., Miloglav, I., Tončinić, D. Arheološka istraživanja na lokalitetu Banjače, *Opuscula archaeologica*, 39-40, 2018, 1; 135-149
- Pan, J., Manocha, D., Efficient Configuration Space Construction and Optimization for Motion Planning, *Engineering*, vol. 1., 2015., 46-57
- Pritchard, D.; Rigauts, T.; Ripanti, F.; Ioannides, M.; Brumana, R.; Davies, R.; Avouri, E.; Clifffen, H.; Joncic, N.; Osti, G.; et al., Study on Quality in 3D Digitisation of Tangible Cultural Heritage, U: Zbornik zajedničkih događaja 9. ARQUEOLÓGICA 2.0 & 3. GEORES, Španjolska, 2021.
- Rakvin, M., Šćukanec-Rezniček, P., Balen, J., Presentacija arheološke baštine putem digitalnih vizualizacija: Primjer dobre prakse kroz projekt Danube's Archaeological eLandscapes. *Limes plus*, vol. 1, 2022., 59-85
- Reilly, P., Todd, S., Walter, A., Rediscovering and modernising the digital Old Minster of Winchester, *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, Vol. 3 (2), 2016, 33-41
- Rua, H., & Alvito, P., Living the past: 3D models, virtual reality and game engines as tools for supporting archaeology and the reconstruction of cultural heritage – the case-study of the Roman villa of Casal de Freiria, *Journal of Archaeological Science*, vol. 38(12), 2011.
- Sanders, D. H., Persuade or perish: moving virtual heritage beyond pretty pictures of the past, Proceedings Seventh International Conference on Virtual Systems and Multimedia, Berkeley, Kalifornija, SAD, 2001., 236-245
- Sanders, D. H., More than Pretty Pictures of the Past: An American Perspective on Virtual Heritage, U: Bentkowska-Kafel, A., Denard, H. (ur.), Paradata and Transparency in Virtual Heritage, Routledge, London, 2012.
- S. Serlio, Terzo libro d'architettura, Venecija, 1540. (https://archive.org/details/ldpd_12223131_000/page/n48/mode/1up pristupljeno online: 23.7.2024.)
- Starac, A. (ur.), Reljefni prikazi na rimskim nadgrobnim spomenicima u Arheološkom muzeju Istre u Puli, Arheološki muzej Istre, Pula, 2006.
- Starac, A., Od ulomka do rekonstrukcije, Arheološki muzej Istre, Pula, 2009.

- Švonja, N., Arheološko blago Cetine; U: OBAVIJESTI HRVATSKOG ARHEOLOŠKOG DRUŠTVA God. LIV., 2022.
- Vuković, M., Miloglav, I., Ožanić Roguljić, I., Methodological approach to a digital reconstructon of the Late Antiquity drywall structures from Banjače site (South Croatia), U: Miloglav, I. (ur.), Book of Abstracts from the 6th scientific conference Methodology and Archaemetry, Zagreb, 2018.
- Vuković, M., Miloglav, I., Mavrović Mokos, J., Metodologija izrade virtualnih rekonstrukcija u arheologiji; U: Tončinić, D., Kaić, I., Matijević, V. & Vukov, M. (ur.) *Studia honoraria archaeologica, Zbornik radova u prigodi 65. rođendana prof. dr.sc. Mirjane Sanader*, Filozofski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2020. 529-538
- Woodwark, J., Reconstructing history with computer graphics, *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 11, 1991.
- Ž., Ujčić, *Ranokršćanska Bazilika sv. Marije Formoze u Puli*, katalog izložbe, Arheološki muzej Istre, Pula, 2007.

Dokumenti

Seviljski principi

The Seville Principles: International Principles of Virtual Archaeology, 2011:
<http://smartheritage.com/seville-principles/seville-principles> (pristup: 11.7.2024.)

UNESCO povelja o digitalnoj baštini

UNESCO, Charter on the Preservation of the Digital Heritage, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 2009.
<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000179529> (pristupljeno 15.7.2024.)

Londonska povelja

Denard, H. (ur.), The London Charter, King's College London, 2009.,
<https://londoncharter.org/> (pristupljeno 11.7.2014.)

Elektronički izvori

- AHDS (2024.), Guides to Good Practice, <https://archaeologydataservice.ac.uk/help-guidance/guides-to-good-practice/> (pristupljeno: 15.7.2024.)
- CS3DP (2024.), Community standards for 3D data preservation, <https://cs3dp.org/about/> (pristupljeno: 15.7.2024.)
- DFG (2024.), Statutes of the German Research Foundation, <https://www.dfg.de/de/ueber-uns/ueber-die-dfg/satzung> (pristupljeno: 15.7.2024.)
- Digitalizacija (2024.), Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, <https://www.enciklopedija.hr/clanak/digitalizacija> (pristupljeno 10.7.2024.)
- DG CNECT (2022.), European Commission, Directorate-General for Communications Networks, Content and Technology, Study on quality in 3D digitisation of tangible cultural heritage – Mapping parameters, formats, standards, benchmarks, methodologies, and guidelines – Executive summary, Publications Office of the European Union, 2022, <https://data.europa.eu/doi/10.2759/581678> (pristupljeno: 15.7.2024.)
- Izložba „Od ulomka do rekonstrukcije“ dr. Alke Starac (2010.) <https://www.regionalexpress.hr/site/more/izloba-od-ulomka-do-rekonstrukcije-dr-alke-starac> (pristupljeno: 29.7.2024.)
- Muzej triljskog kraja (27. lis 2022.), Idealna rekonstrukcija sojenice na rijeci Cetini u Trilju, https://www.youtube.com/watch?v=XgF8cN_Pf-Q&ab_channel=Mujejtriljskogkraja (pristupljeno: 29.7.2024.)
- Palibrk, D., Arheološki park kod bazilike sv. Marije Formoze: Pjeskareni zacrnjeni dijelovi zidova, Glas Istre (online izdanje), 2021. <https://www.glasistre.hr/pula/arheoloski-park-kod-bazilike-sv-marije-formoze-pjeskareni-zacrnjeni-dijelovi-zidova-693805> (pristupljeno: 29.7.2024.)
- Pivić, E., Koja je razlika između digitizacije, digitalizacije i digitalne transformacije, Agilitas d.o.o., 2021., <https://www.agilitas.ba/post/koja-je-razlika-izme%C4%91u-digitizacije-digitalizacije-i-digitalne-transformacije-1> (pristupljeno: 5.8.2024)
- Frischer, B., Rome Reborn 4.0 Demo Reel Nov. 16, 2023, (pristupljeno: 5.8.2024. <https://www.youtube.com/watch?v=s50hT6SOdl4>)

- Zavičajni muzej Varaždinske Toplice (2024.) <https://zmvvt.hr/arheoloski-park-aquae-lasae/> (pristupljeno 23.7.2024.)
- Yorescape (2024.) <https://yorescape.com/>, (pristupljeno. 5.8.2024.)