

# Digitalni alati u rekonstrukciji arheoloških nalazišta

---

**Beljak, Jan**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2024**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zadar / Sveučilište u Zadru**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:162:854202>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-15**



**Sveučilište u Zadru**  
Universitas Studiorum  
Jadertina | 1396 | 2002 |

*Repository / Repozitorij:*

[University of Zadar Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Sveučilište u Zadru  
Odjel za informacijske znanosti  
Sveučilišni diplomski studij  
Informacijske znanosti



Zadar, 2024.

Sveučilište u Zadru  
Odjel za informacijske znanosti  
Sveučilišni diplomski studij  
Informacijske znanosti

## Digitalni alati u rekonstrukciji arheoloških nalazišta

Diplomski rad

Student/ica:

Jan Beljak

Mentor/ica:

Izv.prof. dr.sc. Marijana Tomić

Zadar, 2024.



## Izjava o akademskoj čestitosti

Ja, **Jan Beljak**, ovime izjavljujem da je moj **diplomski** rad pod naslovom „**Digitalni alati u rekonstrukciji arheoloških nalazišta**“ rezultat mojega vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na izvore i radove navedene u bilješkama i popisu literature. Ni jedan dio mojega rada nije napisan na nedopušten način, odnosno nije prepisan iz necitiranih radova i ne krši bilo čija autorska prava.

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

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

Zadar, 27. lipnja 2024.

## SAŽETAK

Upotreba digitalnih alata u kontekstu digitalne humanistike i digitalne arheologije donosi velike promjene u metodama uz pomoć kojih se arheološki lokaliteti analiziraju, dokumentiraju i interpretiraju. Korištenje tehnologija poput GIS-a, fotogrametrije, LiDAR-a i dronova značajno unapređuje metode prikupljanja, analize i prezentacije podataka u humanističkim znanostima. Digitalni alati značajno poboljšavaju preciznost i efikasnost arheoloških istraživanja, olakšavaju interdisciplinarnu suradnju te unapređuju analizu i dokumentaciju podataka. Napredni digitalni alati omogućuju izradu detaljnih 3D modela arheoloških lokaliteta, kao i detaljnu analizu i stvaranje digitalnih kopija rukopisa u visokoj rezoluciji, čineći ih dostupnima široj javnosti i istraživačima. Korištenje bespilotnih letjelica (UAV), fotogrametrijskih metoda, i digitalizacije rukopisa značajno unapređuje dokumentaciju i očuvanje kulturne baštine. Imersivna virtualna stvarnost (VR) i gamifikacija potiču angažman s kulturnom baštinom, stvarajući interaktivna i edukativna iskustva. Napredne digitalne tehnologije omogućuju multidisciplinarni pristup istraživanju i sveobuhvatan prikaz povijesnih događaja, a informacijski stručnjaci igraju ključnu ulogu u integraciji tih tehnologija, unaprjeđujući učinkovitost istraživanja i očuvanja kulturne baštine. Osim što podržavaju tehničke aspekte istraživanja, ključna je uloga informacijskih stručnjaka u razvoju i primjeni ovih digitalnih sustava, osiguravajući integritet podataka i podršku istraživačima. Uporabom metode studije slučaja, u ovom je radu istraženo na koji način se digitalni alati upotrebljavaju u projektima u području digitalne humanistike, osobito digitalne arheologije, te koja je uloga informacijskih stručnjaka u tim projektima.

Ključne riječi: *digitalna arheologija, digitalna humanistika, informacijske znanosti, informacijski stručnjaci, 3D, GIS*

# **DIGITAL TOOLS IN THE RECONSTRUCTION OF ARCHEOLOGICAL SITES**

## **SUMMARY**

The use of digital tools in digital humanities and digital archaeology is revolutionizing how archaeological sites are analyzed, documented, and interpreted. Technologies like GIS, photogrammetry, LiDAR, and drones are dramatically improving data collection, analysis, and presentation methods in the humanities. These digital tools enhance the accuracy and efficiency of archaeological research, promote interdisciplinary collaboration, and advance data analysis and documentation. They allow for the creation of detailed 3D models of archaeological sites and high-resolution digital copies of manuscripts, making them accessible to both the public and researchers. The use of UAVs, photogrammetry, and manuscript digitization greatly improves the documentation and preservation of cultural heritage. Immersive VR and gamification engage people with cultural heritage through interactive and educational experiences. Advanced digital technologies support a multidisciplinary approach to research and provide a comprehensive portrayal of historical events. Information specialists play a crucial role in integrating these technologies, ensuring the efficiency of research and cultural heritage preservation. Their role is not just technical; they are essential in developing and implementing these digital systems, ensuring data integrity, and supporting researchers. This paper uses case studies to explore how digital tools are applied in digital humanities projects, especially digital archaeology, and highlights the role of information specialists in these projects.

**Keywords:** digital archaeology, digital humanities, information sciences, information specialists, 3D, GIS

## KAZALO SADRŽAJA

<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>1.1. Arheološka rekonstrukcija</b> .....	3
<b>1.2. Pojava i razvoj digitalnih alata u arheologiji</b> .....	6
<b>1.3. Svrha rada</b> .....	7
<b>1.4. Cilj istraživanja</b> .....	8
<b>1.5. Istraživačka pitanja</b> .....	9
<b>2. DIGITALNA HUMANISTIKA</b> .....	10
<b>2.1. Povijesni pregled digitalne humanistike</b> .....	11
<b>2.2. Digitalna arheologija</b> .....	13
<b>2.3. Tradicionalne metode naspram digitalnih alata u arheologiji</b> .....	14
<b>3. DIGITALNI ALATI ZA REKONSTRUKCIJU ARHEOLOŠKIH NALAZIŠTA</b> .....	20
<b>3.1. Fotogrametrija i tehnologije 3D skeniranja</b> .....	20
<b>3.2. Geografski informacijski sustavi (GIS)</b> .....	26
<b>3.3. Aplikacije virtualne stvarnosti (VR) i proširene stvarnosti (AR)</b> .....	31
<b>3.4. Računalno modeliranje i simulacija</b> .....	35
<b>3.5. Izazovi i ograničenja digitalne rekonstrukcije</b> .....	37
<b>4. ULOGA INFORMACIJSKIH STRUČNJAKA U PODRUČJU DIGITALNE HUMANISTIKE</b> .....	39
<b>4.1. Interdisciplinarne inovacije u digitalnoj arheologiji</b> .....	41
<b>5. ISTRAŽIVANJE</b> .....	43
<b>5.1. Studije slučaja</b> .....	44
<i>5.1. UAV letjelica i fotogrametrijski softveri ContextCapture i Agisoft Metashape</i> .....	45
<i>5.2. Uloga informacijskih stručnjaka u projektu digitalizacije glagoljskih rukopisa</i> .....	47
<i>5.3. Digitalni alat Unity Engine, Crowd Simulation i Gamifikacija u projektu "I-Ulysses"</i> .....	51
<i>5.4. Uloga informacijskih stručnjaka u projektu „1914-1918-online“</i> .....	53
<b>6. RASPRAVA</b> .....	57
<b>7. ZAKLJUČAK</b> .....	63
<b>POPIS LITERATURE</b> .....	66

## KAZALO SLIKA

Slika 1. Arheološko iskopavanje.....	15
Slika 2. Analiza stratigrafije.....	16
Slika 3. 3D skeniranje nalazišta za koje se pretpostavlja da su ostaci ranokršćanske crkve ....	18
Slika 4. Arheološki prikaz uz Microsoft HoloLens .....	34
Slika 5. 3D rekonstrukcija grobnice .....	46
Slika 6. Pregled folija digitalne reprodukcije rukopisa na portalu Pisana Baština .....	50



## **POPIS KRATICA**

2D – dvodimenzionalno

3D – trodimenzionalno

ABM – agent-based modeling

ANN – umjetne neuronske mreže

AR – proširena stvarnost

CNN – konvolucijske neuronske mreže

DH – digitalna humanistika

GIS – geografski informacijski sustavi

LIS – knjižničarstvo i informacijske znanosti

UAV – bespilotne letjelice

VR – virtualna stvarnost

## *Zahvala*

*Želio bih se zahvaliti svojoj mentorici izv.prof.dr.sc. Marijani Tomić na izvanrednoj potpori i podršci u pisanju ovog diplomskog rada.*

## 1. UVOD

Arheološka istraživanja su ključna za proučavanje ljudske prošlosti, omogućujući detaljniji uvid u živote drevnih civilizacija. Njihova važnost leži u očuvanju kulturne baštine, sprječavajući uništavanje ili gubitak artefakata i ostataka starih civilizacija. Kroz sustavno istraživanje i dokumentiranje, arheolozi čuvaju vrijedne informacije o načinu života, običajima, vjerovanjima i tehničkim dostignućima prošlih vremena. To omogućuje dublje razumijevanje povijesti i razvoja društava kroz vrijeme. Osim što omogućuju uvid u prošlost, arheološka istraživanja pomažu u rekonstrukciji događaja i procesa koji su oblikovali svijet kakav danas postoji. Pronalasci poput ostataka naselja, grobnica i artefakata pomažu arheolozima da stvore priče o prošlim događajima i svakodnevnom životu drevnih ljudi. Ova rekonstrukcija pruža dublji uvid u međusobne interakcije i promjene kroz povijest.

Arheološka istraživanja također igraju važnu ulogu u razvoju znanstvenih metoda i tehnologija. Analiza arheoloških nalaza potiče razvoj novih tehnika datiranja, analiza materijala i istraživačkih metodologija koje se koriste ne samo u arheologiji, već i u drugim znanstvenim disciplinama. Kombinacija ovih metoda omogućuje preciznije datiranje i tumačenje prošlih događaja, pružajući dublje razumijevanje ljudske povijesti. Kroz primjenu digitalnih tehnologija, u okvirima digitalne humanistike, arheologija se transformira u dinamično i interdisciplinarno polje koje surađuje s različitim znanstvenim disciplinama kao što su informatika, geografija, povijest umjetnosti i konzervacija. Na primjer, 3D modeliranje i virtualna stvarnost omogućuju istraživačima i široj javnosti interaktivno istraživanje arheoloških nalazišta, stvarajući nove načine za edukaciju i popularizaciju arheologije. Digitalne platforme i baze podataka omogućuju centralizirano pohranjivanje i jednostavan pristup velikim količinama podataka, olakšavajući suradnju među znanstvenicima diljem svijeta. Jedan od ključnih aspekata digitalne arheologije je njezina sposobnost da čuva informacije na način koji je otporan na propadanje fizičkih artefakata. Digitalna dokumentacija osigurava dugoročno očuvanje podataka, a također omogućuje detaljnu analizu bez potrebe za fizičkom intervencijom na osjetljivim arheološkim lokacijama. Ovo je posebno važno za lokalitete koji su podložni prirodnim katastrofama, ratovima ili drugim prijetnjama.

Osim tehničkih i praktičnih prednosti, uporaba digitalnih tehnologija u arheologiji postavlja i važna etička pitanja. Potrebno je osigurati odgovorno korištenje tehnologija kako bi se zaštitila integritet i autentičnost arheoloških podataka. Pitanja o privatnosti, vlasništvu nad podacima i pravu na kulturnu baštinu zahtijevaju pažljivu razmatranje i međunarodnu suradnju kako bi se uspostavili standardi i smjernice za etičku praksu.

Predmet ovog rada je analiza i vrednovanje upotrebe digitalnih alata u digitalnoj humanistici, s posebnim fokusom na digitalnu arheologiju i rekonstrukciju arheoloških nalazišta uz pomoć digitalnih metoda i alata. U suvremenom svijetu, digitalna tehnologija pruža nevjerovatne mogućnosti za prikupljanje, analizu i prezentaciju arheoloških podataka, omogućujući istraživačima da preciznije i detaljnije rekreiraju prošlost. Ovaj rad istražuje razne digitalne alate koji se koriste u ovim procesima, kao što su 3D modeliranje, geografski informacijski sustavi, fotogrametrija i druge napredne tehnike. Cilj je identificirati najbolje prakse i metode koje se koriste za postizanje visokokvalitetnih i vjerodostojnih rekonstrukcija. Uz analizu alata, rad se bavi i potrebnim znanjima i vještinama za njihovu učinkovitu primjenu. To uključuje interdisciplinarna znanja koja povezuju arheologiju, informatiku, geografiju i druge srodne discipline. Posebna pažnja posvećuje se edukaciji i osposobljavanju stručnjaka koji sudjeluju u ovim projektima, istražujući kako se stječu potrebne kompetencije i koji su obrazovni programi najrelevantniji. Uz to, rad istražuje ključnu ulogu informacijskih stručnjaka u ovim projektima. Informacijski stručnjaci osiguravaju pravilno upravljanje podacima, razvoj i održavanje digitalnih sustava, te integraciju raznih tehnologija u koherentne i efikasne istraživačke projekte. Njihova ekspertiza omogućava učinkovitu suradnju među članovima interdisciplinarnih timova, što je ključno za uspjeh digitalnih projekata u humanistici i arheologiji. Kroz detaljnu analizu i studije slučaja, ovaj rad pruža uvid u trenutne prakse i izazove, te predlaže smjernice za buduće istraživanje i edukaciju, s ciljem unapređenja upotrebe digitalne tehnologije u rekonstrukciji arheoloških nalazišta i drugim projektima digitalne humanistike.

Informacijski stručnjaci, sa svojim znanjem i vještinama, igraju ključnu ulogu u osiguravanju uspješne implementacije digitalnih tehnologija u arheologiji. Njihova stručnost u upravljanju podacima, razvoju softvera i analizi podataka ključna je za razvoj novih metoda istraživanja i interpretacije arheoloških nalaza. Njihova suradnja s arheolozima i drugim stručnjacima osigurava da se potencijal digitalnih alata u potpunosti iskoristi, pridonoseći dubljem razumijevanju povijesti i očuvanju kulturne baštine za buduće generacije. Digitalne tehnologije ne samo da unapređuju metodologiju arheoloških istraživanja već također otvaraju nove

moćnosti za edukaciju, prezentaciju i očuvanje naše zajedničke povijesti. Kroz interdisciplinarnu suradnju i odgovorno korištenje tehnologija, digitalna arheologija može pružiti duboke uvide u prošlost, istovremeno osiguravajući da naslijeđe ostane dostupno i očuvano za buduće generacije. S obzirom na navedeno, struktura rada će sastojati od šest dijelova. Prvi dio rada pod nazivom *Uvod* prikazuje uvodne odrednice diplomskog rada s pojmovnim odrednicama u ovom području, pri čemu se posebno obrađuju arheološka rekonstrukcija, pojava i razvoj digitalnih alata u arheologiji, problem i predmet rada, kao i cilj rada, istraživačka pitanja i struktura rada. Drugi dio rada obrađuje područje digitalne humanistike, digitalne arheologije i posebice uloge informacijskih stručnjaka u digitalnoj humanistici. Treći dio rada pod nazivom *istraživanje* obrađuje iscrpan pregled važeće literature na ovom području. Prikazani su povijesni pregled arheoloških rekonstrukcija, tradicionalne metode naspram digitalnih metoda i izazovi i ograničenja digitalnih rekonstrukcija u arheologiji. Četvrti dio rada pod nazivom *Digitalni alati za rekonstrukciju arheoloških nalazišta* posebice obrađuje teme digitalnih alata, odnosno fotogrametrije i tehnologije 3D skeniranja, geografskih informacijskih sustava, aplikacija virtualne stvarnosti i proširene stvarnosti, te računalno modeliranje i simulacija. Peti dio rada pod nazivom *Studije slučaja* obrađuje dvije različite studije slučaja za uporabu digitalnih alata i dvije studije slučaja koje prikazuju ulogu informacijskih stručnjaka. Šesti dio rada je *Rasprava* u radu. Sedmi dio rada je *Zaključak* rada.

## **1.1. Arheološka rekonstrukcija**

Arheološka istraživanja su neizostavan dio proučavanja ljudske prošlosti, omogućujući nam dublje uvide u živote drevnih civilizacija. Njihova važnost leži u očuvanju kulturnog naslijeđa, sprječavajući uništavanje ili gubitak artefakata i ostataka starih civilizacija. Kroz sustavno istraživanje i dokumentiranje, arheolozi čuvaju vrijedne informacije o načinu života, običajima, vjerovanjima i tehničkim dostignućima prošlih vremena, što nam omogućuje dublje razumijevanje naše povijesti i kako su se društva razvijala tijekom vremena (Guidi et al., 2014). Osim što nam omogućuju uvid u prošlost, arheološka istraživanja pomažu nam u rekonstrukciji događaja i procesa koji su oblikovali svijet kakav danas poznajemo. Na temelju pronalazaka poput ostataka naselja, grobnica i artefakata, arheolozi stvaraju priče o prošlim događajima i

svakodnevnom životu drevnih ljudi. Ova rekonstrukcija događaja pruža nam dublji uvid u međusobne interakcije i promjene koje su se događale tijekom povijesti (Pyburn, 2007).

Arheološka istraživanja također imaju važnu ulogu u razvoju znanstvenih metoda i tehnologija. Analiza arheoloških nalaza potiče razvoj novih tehnika datiranja, analiza materijala i metodologija istraživanja koje se koriste ne samo u arheologiji, već i u drugim znanstvenim disciplinama. Kombinacija ovih metoda omogućuje preciznije datiranje i tumačenje prošlih događaja, pružajući nam dublje razumijevanje ljudske povijesti. Nadalje, arheološka istraživanja često dovode do otkrića koja mijenjaju naše dosadašnje razumijevanje prošlosti. Pronalasci poput drevnih gradova, izgubljenih civilizacija ili nepoznatih artefakata pružaju nova saznanja o prošlim vremenima i pomažu nam revidirati postojeće teorije ili razvijati potpuno nove. Ova otkrića obogaćuju naše znanje o ljudskoj povijesti i utječu na našu percepciju svijeta oko nas (Pyburn, 2007).

S napretkom ljudske civilizacije dolazi do poboljšanja i arheoloških digitalnih alata. AR (proširena stvarnost) i VR (virtualna stvarnost) tehnologije postaju sve značajnije u arheološkim istraživanjima, pružajući arheolozima inovativne načine za istraživanje i interpretaciju arheoloških nalazišta. Kroz AR tehnologiju, arheolozi mogu stvoriti interaktivne digitalne slojeve informacija koji se preklapaju s stvarnim svijetom, omogućavajući korisnicima da vide virtualne rekonstrukcije artefakata, građevina ili cijelih nalazišta dok istražuju stvarni teren. Ova tehnologija omogućava korisnicima da dožive prošlost na nov i dinamičan način, pomažući im da dublje razumiju kontekst i značaj arheoloških nalazišta (De la Fuente Prieto et al., 2017). S druge strane, VR tehnologija pruža korisnicima potpuno imerzivno iskustvo gdje mogu *zaroniti* u digitalne rekonstrukcije arheoloških nalazišta ili drevnih kultura. Kroz VR naočale ili druge uređaje, korisnici mogu šetati virtualnim rekonstrukcijama stvarnih ili imaginarnih arheoloških nalazišta, istraživati ih iz različitih perspektiva i doživjeti okolinu kao da su tamo. Ovo omogućava arheolozima i istraživačima da prezentiraju svoje rezultate na interaktivan i privlačan način, potičući javni interes za arheološka otkrića i povijesnu baštinu (Eggert et al., 2014). AR i VR tehnologije omogućavaju arheolozima da eksperimentiraju s virtualnim rekonstrukcijama koje bi inače bile teško ili nemoguće postići u stvarnom svijetu, pružajući nove perspektive i uvide u prošlost. Osim toga, ove tehnologije olakšavaju suradnju između arheologa, konzervatora, inženjera, dizajnera i drugih stručnjaka, što može rezultirati bogatijim i složenijim digitalnim modelima i rekonstrukcijama. Sve u svemu, AR i VR tehnologije imaju veliki potencijal za transformaciju načina na koji istražujemo, interpretiramo i komuniciramo arheološko naslijeđe. 3D printanje postaje sve značajnije u arheološkim istraživanjima kao

snažan alat za rekonstrukciju i interpretaciju arheoloških nalazišta. Koristeći napredne 3D printere, arheolozi mogu stvarati fizičke modele artefakata, struktura i čak cijelih nalazišta iz digitalnih podataka. Ovi modeli omogućavaju istraživačima da dobiju taktilni uvid u arheološke artefakte i strukture, što može biti od velike pomoći u proučavanju njihove konstrukcije, oblika i funkcije (Al Bagdhadi, 2017). Jedna od glavnih prednosti 3D printanja u arheologiji je što omogućava istraživačima da stvore vjerne reprodukcije artefakata koji su možda oštećeni ili nedostaju, čime se omogućuje daljnja analiza i proučavanje bez rizika od oštećenja originala. Osim toga, 3D printanje omogućava arheolozima da kreiraju replike arheoloških nalazišta koje se mogu koristiti u muzejskim postavkama, obrazovnim programima ili javnim prezentacijama, pružajući posjetiteljima jedinstveno iskustvo i dublje razumijevanje arheološke baštine (Montusiewicz et al., 2016).

Geografski informacijski sustavi (GIS) sve su važniji alat u arheološkim istraživanjima, pružajući arheolozima sofisticirane mogućnosti za prikupljanje, analizu, vizualizaciju i interpretaciju prostornih podataka. Korištenjem GIS-a, arheolozi mogu digitalno mapirati arheološka nalazišta, artefakte, terene, površinske i podzemne strukture te ih povezati s drugim relevantnim geografskim podacima poput topografije, klime ili hidrografije (Ebert, 2004). Jedna od glavnih prednosti GIS sustava u arheologiji je sposobnost integriranja i analize velikih količina prostornih podataka iz različitih izvora, omogućujući arheolozima da identificiraju obrasce, trendove i nedostatke u podacima. Ovi sustavi pružaju alate za izradu složenih prostornih analiza, kao što su prostorna interpolacija, prostorna statistika i modeliranje, što omogućava arheolozima da bolje razumiju prostorne distribucije artefakata, struktura ili naselja te da izvedu zaključke o njihovoj funkciji, organizaciji i povezanosti (Arias, 2013; Apollonio et al., 2013). GIS sustavi također omogućavaju arheolozima da vizualiziraju svoje rezultate na interaktivan način putem digitalnih karata, grafikona i modela, što olakšava komunikaciju s kolegama, stručnjacima iz drugih područja i javnošću. Ovi alati također pružaju mogućnost temporalne analize, omogućujući arheolozima da prate promjene u prostoru tijekom vremena te da istraže dinamiku i evoluciju arheoloških nalazišta (Ligang, 2014). GIS sustavi su korisni i za upravljanje arheološkim nalazištima, omogućujući arheolozima da kreiraju digitalne baze podataka arheoloških nalazišta, pratite njihovo stanje, zaštitite ih od prirodnih ili antropogenih ugroza te planiraju buduće istraživačke aktivnosti. GIS sustavi su snažan alat koji pruža arheolozima novi način za istraživanje i interpretaciju prostornih aspekata arheološke baštine te doprinosi napretku u razumijevanju prošlosti.

## 1.2. Pojava i razvoj digitalnih alata u arheologiji

Prvi digitalni alati u arheologiji počeli su se pojavljivati tijekom 1960-ih i 1970-ih godina, kada su se računalne tehnologije počele primjenjivati u različitim znanstvenim disciplinama. Ovi rani digitalni alati obično su se koristili za obradu podataka, analizu statistike i geoprostornu kartografiju. Primjerice, GIS tehnologija počela je dobivati na popularnosti tijekom 1970-ih godina kao alat za analizu prostornih podataka, što je imalo značajan utjecaj na arheološka istraživanja (Snow et al., 2006). Kroz 1980-e i 1990-e godine, razvoj računalnih tehnologija sve više je omogućavao arheolozima da koriste sofisticiranije digitalne alate. Primjena računalne grafike omogućila je stvaranje 3D modela arheoloških nalaza i lokaliteta, dok su se GIS sustavi razvijali u sve moćnije alate za analizu i interpretaciju prostornih podataka. S razvojem interneta i mobilnih tehnologija krajem 20. stoljeća i početkom 21. stoljeća, digitalni alati u arheologiji postali su još dostupniji i raznovrsniji. Mobilne aplikacije omogućile su arheolozima da dokumentiraju terenska istraživanja na licu mjesta, dok su se digitalne baze podataka i online platforme počele koristiti za pohranu i dijeljenje arheoloških podataka među istraživačima diljem svijeta.

Dakle, iako su prvi digitalni alati u arheologiji nastali još prije nekoliko desetljeća, kontinuirani razvoj tehnologije nastavlja donositi nove mogućnosti i napretke u istraživanjima i dokumentiranju arheološkog naslijeđa. Nadalje, s razvojem naprednih tehnologija poput 3D skeniranja, mogućnosti digitalnih alata u arheologiji su znatno proširene. 3D skeniranje omogućuje arheolozima da detaljno dokumentiraju artefakte, građevine i cjelokupne arheološke lokalitete na precizan i detaljan način. Ovi digitalni modeli omogućuju ne samo bolju dokumentaciju i analizu, već i virtualnu rekonstrukciju arheoloških objekata, pružajući dublje uvide u njihovu strukturu, funkciju i kontekst (Brutto i Meli, 2012).

U posljednjih nekoliko godina, napredak u područjima poput umjetne inteligencije, strojnog učenja i računalnog vida također je otvorio nova područja primjene digitalnih alata u arheologiji. Primjena ovih tehnologija omogućuje automatsko prepoznavanje, klasifikaciju i analizu arheoloških podataka, čime se ubrzava proces istraživanja i interpretacije. Suvremeni digitalni alati također omogućuju globalnu suradnju među arheolozima i istraživačima diljem svijeta. Putem online platformi, istraživači mogu dijeliti svoje podatke, rezultate istraživanja i metodologije, što doprinosi boljem razumijevanju različitih arheoloških konteksta i kultura. Uz sve ove napretke, digitalni alati u arheologiji i dalje se razvijaju i proširuju, otvarajući nova



područja istraživanja i omogućujući arheolozima da bolje razumiju prošlost, očuvaju arheološko naslijeđe i podijele svoje spoznaje s drugima. Digitalni alati su postali nezaobilazan dio arheoloških istraživanja, pružajući arheolozima nevjerojatne mogućnosti za istraživanje, dokumentiranje i interpretiranje arheoloških nalaza. Kroz geoprostorno mapiranje i GIS tehnologiju, arheolozi mogu analizirati prostornu distribuciju nalaza te pratiti promjene kroz vrijeme. 3D skeniranje omogućuje detaljnu dokumentaciju arheoloških objekata i građevina, dok digitalna rekonstrukcija pruža uvid u njihov izvorni izgled i funkciju. Digitalne baze podataka olakšavaju upravljanje velikim količinama arheoloških podataka i dijeljenje informacija s drugim istraživačima. Mobilne aplikacije olakšavaju terenska istraživanja, dok digitalna analiza artefakata omogućuje detaljnu analizu njihovih karakteristika i sastava. Svi ovi digitalni alati zajedno doprinose napretku u arheološkim istraživanjima, omogućujući arheolozima da bolje razumiju prošlost i očuvaju arheološko naslijeđe za buduće generacije.

### **1.3. Svrha rada**

Svrha ovog rada je steći uvid u to kako se digitalni alati mogu učinkovito upotrijebiti u istraživanjima koja se provode u okvirima digitalne humanistike, odnosno digitalne arheologije te koja je uloga informacijskih stručnjaka u projektima digitalne humanistike i digitalne arheologije. To uključuje identifikaciju specifičnih digitalnih alata koji se koriste u procesima rekonstrukcije arheoloških nalazišta, kao i analizu potrebnih znanja i vještina za njihovu primjenu. Razumijevanje ovih aspekata ključno je za unapređenje metodologija i praksi unutar digitalne humanistike. Učinkovita upotreba digitalne tehnologije zahtijeva ne samo poznavanje alata kao što su 3D modeliranje, GIS sustavi i fotogrametrija, već i sposobnost integracije tih tehnologija u sveobuhvatne projekte koji obuhvaćaju različite discipline. U ovom kontekstu, istraživanje će se usmjeriti na identificiranje najboljih praksi i tehnika koje omogućuju preciznu i vjerodostojnu rekonstrukciju arheoloških nalazišta. Također, potrebno je detaljno istražiti koja su specifična znanja i vještine potrebna za korištenje tih alata, uključujući tehničke vještine, kao i razumijevanje arheoloških teorija i metoda.

Posebna pozornost bit će posvećena ulozi informacijskih stručnjaka u projektima digitalne humanistike i digitalne arheologije. Informacijski stručnjaci imaju ključnu ulogu u upravljanju podacima, razvoju i održavanju digitalnih sustava, te osiguravanju kvalitete i sigurnosti podataka. Njihova ekspertiza omogućava učinkovitu suradnju između različitih članova interdisciplinarnih timova, čime se povećava ukupna efikasnost i inovativnost projekata. Kroz

istraživanje će se nastojati pružiti sveobuhvatan uvid u to kako informacijski stručnjaci mogu doprinijeti projektima digitalne arheologije, te kako njihova uloga može biti dalje razvijena i integrirana u buduće projekte. Ovo istraživanje će doprinijeti boljem razumijevanju kompleksnosti i izazova s kojima se suočavaju projekti digitalne humanistike, te će ponuditi smjernice za buduća istraživanja i obrazovne programe koji mogu unaprijediti korištenje digitalne tehnologije u ovom području.

#### **1.4. Cilj istraživanja**

Cilj ovog istraživanja je istražiti i vrednovati upotrebu digitalnih alata u projektima digitalne humanistike, s posebnim naglaskom na digitalnu arheologiju i procese rekonstrukcije arheoloških nalazišta. U suvremenom istraživačkom okruženju, digitalna tehnologija pruža inovativne načine za analizu, prikaz i interpretaciju arheoloških podataka, omogućujući preciznije i bogatije rekonstrukcije prošlosti. Ovim istraživanjem nastojat će se identificirati oni digitalni alate koji se koriste u projektima digitalne arheologije, kao i razumjeti njihove specifične funkcionalnosti i prednosti, osobito u odnosu na znanja i vještine potrebne za njihovo korištenje te ulogu koju u njihovu korištenju i projektima u području digitalne arheologije imaju informacijski stručnjaci.

Jedan od ciljeva je i istraživanje znanja i vještina potrebnih za učinkovitu primjenu ovih digitalnih alata. Razumijevanje interdisciplinarnih znanja koja obuhvaćaju arheologiju, informatiku, geografiju i srodne discipline ključno je za razvoj kompetencija potrebnih za uspješno vođenje digitalnih arheoloških projekata. Istraživanje će se fokusirati na ulogu informacijskih stručnjaka u ovim projektima. Informacijski stručnjaci su ključni za upravljanje podacima, razvoj i implementaciju digitalnih sustava, te osiguranje integriteta i sigurnosti prikupljenih podataka. Cilj ovog rada je istražiti u kojoj mjeri znanja i vještine informacijskih stručnjaka pridonose planiranju i provedbi projekata u području digitalne arheologije.

Kroz analizu postojećih praksi, studije slučaja i kritičku evaluaciju trenutnog stanja, nastojat će se analizirati trenutne mogućnosti informacijskih stručnjaka u području digitalne humanistike. Ovo istraživanje ima za cilj pružiti pregled trenutnih izazova i mogućnosti, te predložiti konkretne korake za poboljšanje i inovaciju u ovom dinamičnom području. Istraživanje će doprinijeti boljem razumijevanju složenosti i zahtjeva suvremenih digitalnih projekata u

digitalnoj humanistici i arheologiji. Time se nastoji unaprijediti cjelokupna praksa i dati bolje razumijevanje uloge informacijskih stručnjaka u digitalnoj humanistici.

### **1.5. Istraživačka pitanja**

Metodologija primijenjena u ovom istraživanju je studija slučaja. Primjena studije slučaja u ovom istraživanju omogućuje analizu projekata koji se provode u području digitalne humanistike, osobito analizu uloga koje u tim projektima imaju različiti stručnjaci, uključujući arheologe, informatičare, geografe i informacijske stručnjake. Zbog toga su studije slučaja za ovo istraživanje odabrane na način da se u njima može istražiti ne samo uporaba digitalnih metoda i alata u arheologiji, nego i uloga informacijskih stručnjaka u projektima u području digitalne humanistike općenito. Kroz analizu specifičnih projekata, u ovom istraživanju nastoji se identificirati ključne faktore koji pridonose primjeni digitalnih tehnologija u projektima u području digitalne humanistike, osobito digitalne arheologije.

Istraživačka pitanja u ovom radu su sljedeća:

1. Koji se digitalni alati koriste u projektima u digitalnoj humanistici, odnosno digitalnoj arheologiji, pri rekonstrukciji arheoloških nalazišta?
2. Koja su znanja i vještine potrebne za korištenje digitalnih alata koji se koriste u rekonstrukciji arheoloških nalazišta?
3. Koja je uloga informacijskih stručnjaka u projektima u digitalnoj humanistici, odnosno digitalnoj arheologiji, u kojima se koriste digitalni alati za rekonstrukciju arheoloških nalazišta?

Očekivani znanstveni doprinos ovog istraživanja leži u produbljivanju razumijevanja uloge digitalnih alata u arheološkim istraživanjima. Analizom specifičnih digitalnih alata i tehnika korištenih u rekonstrukciji arheoloških nalazišta, istraživanje će pružiti detaljan uvid u njihov doprinos točnosti, detaljnosti i interpretaciji nalazišta.

## 2. DIGITALNA HUMANISTIKA

Digitalna humanistika predstavlja interdisciplinarno područje koje integrira digitalne tehnologije i metode u istraživanja u području humanističkih znanosti. Jedna od ključnih karakteristika digitalne humanistike je interdisciplinarni pristup koji omogućava suradnju između različitih znanstvenih disciplina. Na primjer, projekti poput African American Digital and Experimental Humanities Initiative (AADHum) i Digital Ethnic Futures Consortium (DEFCon) pokazuju kako se digitalna humanistika može koristiti za istraživanje i očuvanje kulturnih i povijesnih podataka. Ovi projekti uključuju suradnju povjesničara, informatičara, knjižničara i drugih stručnjaka kako bi se stvorile opsežne baze podataka i digitalni resursi. U digitalnoj humanistici, razvoj digitalne infrastrukture je ključan za omogućavanje pristupa i analize velikih količina podataka. Projekti poput Monument Lab, koji se bavi analizom javne skulpture u SAD-u, pokazuju kako digitalna humanistika može služiti kao alat za javni angažman i društvenu promjenu. Kroz stvaranje otvorenih arhiva i digitalnih repozitorija, ovi projekti omogućuju zajednicama da istraže i interpretiraju vlastitu povijest na novi način (Gold i Klein, 2023).

Digitalna humanistika također igra važnu ulogu u obrazovanju, omogućavajući inovativne metode podučavanja i istraživanja. Na primjer, Colored Conventions Project koristi digitalne tehnologije za stvaranje edukativnih vodiča i resursa za K-12 obrazovne ustanove. Kroz integraciju digitalnih alata u nastavni plan i program, učenici i studenti mogu steći dublje razumijevanje povijesnih i kulturnih tema. Kroz radove i projekte predstavljene u "Debates in the Digital Humanities 2023", naglašava se potreba za inkluzivnošću i socijalnom pravdom u digitalnoj humanistici. Projekti kao što su Penn and Slavery Project koriste digitalne alate za istraživanje povijesnih nepravdi i podizanje svijesti o sustavnoj diskriminaciji. Ovi projekti ne samo da dokumentiraju povijesne činjenice, već i promiču društvenu pravdu i jednakost, pozivajući akademsku zajednicu da se aktivno uključi u borbu protiv rasizma i drugih oblika nepravde.

Digitalna humanistika također zahtijeva kritički pristup prema tehnologiji i njenim učincima na društvo. Kroz radove uključene u ovu seriju, autori istražuju kako digitalne tehnologije mogu biti korištene za promicanje transparentnosti, stvaranje zajednica temeljenih na suosjećanju i promjenu institucionalnih praksi. Ovaj kritički pristup uključuje promišljanje o etičkim

implikacijama korištenja digitalnih alata i podataka, osiguravajući da se oni koriste na način koji promiče dobrobit svih zajednica.

Digitalizacija tekstova omogućuje analizu velikih korpusa podataka, dok GIS tehnologije omogućuju prostorne analize povijesnih podataka. Ove tehnologije ne samo da poboljšavaju točnost i obuhvat istraživanja, već otvaraju nove perspektive i metodološke pristupe u humanističkim znanostima. Digitalna humanistika također naglašava važnost suradnje i dijeljenja resursa. Projekti često uključuju suradnju između institucija, što omogućuje širenje znanja i pristup resursima koji bi inače bili nedostupni. Digitalne platforme i baze podataka omogućuju istraživačima diljem svijeta da dijele svoja otkrića i surađuju na daljinu, čime se potiče globalna razmjena znanja (Scriebman i sur., 2008).

Još jedan ključni aspekt je etika i pristupačnost. Digitalna humanistika promiče otvoreni pristup podacima i resursima, omogućujući široj javnosti pristup istraživanjima i kulturnim materijalima. Također, naglašava se važnost etičkog korištenja podataka, posebno u kontekstu privatnosti i autorskih prava. Informacijski stručnjaci igraju ključnu ulogu u osiguravanju da digitalni projekti poštuju ove standarde. Ova znanost također pruža primjere uspješnih digitalnih projekata u humanistici. Na primjer, digitalne arhive, kao što su tekstualne baze podataka i digitalizirani muzejski eksponati, omogućuju istraživačima da analiziraju i interpretiraju povijesne podatke na nove načine. Ovi projekti često koriste napredne tehnologije, poput strojnog učenja i analize podataka, kako bi otkrili nove uvide i obrasce u podacima. Digitalna humanistika ističe važnost integracije tehnologije i humanističkih znanosti, naglašavajući interdisciplinarnost, suradnju, etiku i inovacije. Kroz korištenje digitalnih alata i metoda, istraživači mogu proširiti granice svojih istraživanja i pridonijeti dubljem razumijevanju ljudske kulture i povijesti. Ovaj rad predstavlja temeljni vodič za sve koji su zainteresirani za razvoj i primjenu digitalne humanistike.

## **2.1. Povijesni pregled digitalne humanistike**

U 16. i 17. stoljeću, humanisti poput Desideriusa Erasmusa i Johanna Keplera koristili su nove tehnologije tiska za širenje svojih radova. Razvoj sveučilišta i sveučilišnih knjižnica također je igrao ključnu ulogu u očuvanju i distribuciji znanja. Katalozi knjiga, koji su se počeli pojavljivati u knjižnicama, bili su rani oblici organizacije informacija, slični bazama podataka

koje danas koristimo u digitalnoj humanistici. Tijekom ovih stoljeća, prikupljanje, organizacija i analiza podataka bili su temeljni aspekti rada u humanističkim znanostima, iako su se ti procesi odvijali kroz ručne i analogne metode. Matematički proračuni, astronomske tablice i rani oblici kartografije, koje su razvijali znanstvenici poput Tychoa Brahea i Galilea Galileija, ilustriraju kako su složeni podaci bili sistematizirani i analizirani, često koristeći sofisticirane metode koje su prethodnice današnjim digitalnim alatima (Le Deuff, 2018).

Iako digitalna humanistika kao takva nije postojala prije razvoja računalnih tehnologija, povijest do 17. stoljeća pokazuje da su temelji za interdisciplinarno istraživanje, organizaciju informacija i analizu podataka bili čvrsto postavljeni. Ovi raniji oblici rada s tekstovima i podacima postavili su temelje za razvoj metodologija koje će, s dolaskom digitalne ere, evoluirati u ono što danas poznajemo kao digitalnu humanistiku.

U 19. stoljeću industrijska revolucija donijela je tehnološki napredak koji je uključivao razvoj novih komunikacijskih tehnologija poput telegrafa i telefona. Te tehnologije omogućile su bržu razmjenu informacija i postavile temelje za kasnije digitalne komunikacijske sustave. U ovom razdoblju također je došlo do značajnog razvoja u knjižničnim i informacijskim znanostima, s uvođenjem Deweyevog decimalnog sustava za klasifikaciju knjiga, što je olakšalo organizaciju i pristup informacijama. Prava prekretnica u razvoju digitalne humanistike dogodila se u 20. stoljeću s izumom računala. Početkom 1940-ih i 1950-ih, prva elektronička računala korištena su za znanstvena i vojna istraživanja, no brzo su prepoznata njihova mogućnost primjene u društvenim i humanističkim znanostima. Pioniri poput Roberta Busa i Hansa Peter Luhna razvili su metode za automatsku obradu jezika i tekstova, dok je IBM uveo prve sustave za pretraživanje informacija. Tijekom 1960-ih i 1970-ih, razvoj računala omogućio je stvaranje prvih digitalnih korpusa i računalnih sustava za obradu jezika. Projekt kao što je "Brown Corpus" (1961), prvi elektronički korpus engleskog jezika, bio je prekretnica u lingvistici i računalnoj analizi teksta. Ovo razdoblje obilježilo je početak računalne lingvistike i strojnog prevođenja (Le Deuff, 2018).

Od 1980-ih, s razvojem osobnih računala i interneta, digitalna humanistika počinje se oblikovati kao zasebno polje. Projekti digitalizacije kao što je "Project Gutenberg" (1971) omogućili su slobodan pristup klasičnim tekstovima, dok su se baze podataka i softver za analizu podataka počeli koristiti u povijesti, književnosti i drugim humanističkim disciplinama. Početkom 1990-ih, prvi internetski resursi za humanističke znanosti, poput elektroničkih časopisa i digitalnih arhiva, postali su dostupni, omogućujući globalnu suradnju i pristup informacijama. U 21. stoljeću, digitalna humanistika doživjela je eksplozivni rast. Razvoj novih tehnologija poput

digitalizacije, računalne obrade prirodnog jezika, mrežnih analiza i strojnog učenja omogućio je istraživačima da analiziraju ogromne količine podataka na načine koji prije nisu bili mogući. Inicijative poput Europeane i Digital Public Library of America omogućile su digitalizaciju i slobodan pristup kulturnoj baštini, dok su projekti poput "Google Books" dodatno proširili mogućnosti za istraživanje i analizu tekstualnih podataka.

Digitalna humanistika danas uključuje širok spektar aktivnosti, od digitalizacije arhivskih materijala i razvoja digitalnih arhiva do korištenja naprednih analitičkih alata za istraživanje velikih tekstualnih korpusa. Interdisciplinarna priroda ovog polja potiče suradnju između humanističkih znanstvenika, informatičara i drugih stručnjaka, čime se stvara bogatije i dublje razumijevanje ljudske kulture i povijesti. Kroz stoljeća, od prvih kvantitativnih metoda i organizacije informacija do suvremenih digitalnih tehnologija, razvoj digitalne humanistike ilustrira kontinuiranu evoluciju i prilagodbu humanističkih znanosti u odgovoru na nove tehnološke izazove i mogućnosti.

## **2.2. Digitalna arheologija**

Digitalna arheologija predstavlja spoj arheoloških istraživanja i naprednih digitalnih tehnologija, omogućujući novo razumijevanje prošlosti kroz inovativne metode analize i prezentacije podataka. Ova disciplina koristi različite digitalne alate i metode za prikupljanje, analizu i interpretaciju arheoloških nalaza, pružajući preciznije i detaljnije uvide u prošlost. Digitalna arheologija koristi širok spektar tehnologija, uključujući geografske informacijske sustave (GIS), 3D modeliranje, lasersko skeniranje (LiDAR), fotogrametriju i dronove. GIS omogućava stvaranje slojevitih karata koje pomažu u analizi prostornih odnosa i prepoznavanju obrazaca distribucije artefakata. 3D modeliranje i fotogrametrija omogućuju detaljnu rekonstrukciju arheoloških lokaliteta, pružajući uvid u arhitektonske strukture i konstrukcijske tehnike drevnih zajednica. LiDAR tehnologija koristi laserske zrake za mapiranje površina, otkrivajući skrivena arheološka nalazišta ispod vegetacije ili tla. Jedna od ključnih prednosti digitalne arheologije je mogućnost interdisciplinarne suradnje. Korištenje digitalnih alata omogućava integraciju različitih disciplina kao što su informatika, geografija, povijest umjetnosti i konzervacija. Ova suradnja rezultira holističkim pristupom istraživanju, gdje se kombiniraju različite metode i perspektive za dublje razumijevanje arheoloških lokaliteta i artefakata (Morgan i sur., 2022).

Digitalna arheologija također postavlja važna etička pitanja. Korištenje digitalnih podataka mora biti usklađeno s etičkim standardima, osiguravajući zaštitu privatnosti i poštivanje autorskih prava. Pored toga, digitalni alati omogućuju bolju pristupačnost arheoloških podataka široj javnosti, promovirajući transparentnost i participaciju u istraživačkim procesima. Digitalne platforme i repozitoriji omogućuju pohranu i dijeljenje velikih količina podataka, olakšavajući istraživačima diljem svijeta pristup informacijama i suradnju. Primjeri primjene digitalne arheologije uključuju projekte kao što su ArchAIDE aplikacija za automatsko prepoznavanje arheološke keramike putem slike, te različiti projekti koji koriste VR tehnologiju za stvaranje interaktivnih iskustava arheoloških lokaliteta. Ovi projekti ne samo da poboljšavaju učinkovitost istraživanja, već također omogućuju javnosti da doživi arheološka nalazišta na nov i uzbudljiv način (Aninchini i sur., 2020).

Digitalna arheologija predstavlja revolucionarni pomak u metodama arheoloških istraživanja, pružajući precizne i detaljne uvide u prošlost kroz korištenje naprednih tehnologija. Kroz interdisciplinarnu suradnju, etičko korištenje podataka i inovativne metode, digitalna arheologija ima potencijal transformirati naše razumijevanje i očuvanje kulturne baštine za buduće generacije.

### **2.3. Tradicionalne metode naspram digitalnih alata u arheologiji**

Jedna od najosnovnijih tehnika je arheološko iskopavanje (slika 1.), proces kojim se slojevi zemlje pažljivo uklanjaju kako bi se otkrili ostaci prošlih civilizacija. Ove ekspedicije često se provode ručno, koristeći lopate, krampove i sitne alate poput četkica i lopatica kako bi se sačuvala svaka moguća artefaktna ili strukturna ostavština. Pored iskopavanja, važna tradicionalna metoda je arheološko kartiranje. Ova tehnika uključuje precizno dokumentiranje lokacije i rasporeda arheoloških nalaza na terenu (Binford, 2017). Često se koriste različite tehnike, poput geodetskog snimanja i upotrebe kompasa, kako bi se dobila detaljna slika terena i arheoloških ostataka. Još jedna ključna tradicionalna metoda je analiza artefakata. Arheolozi pažljivo proučavaju predmete koje su pronašli tijekom iskopavanja kako bi dobili uvid u život i kulturu drevnih civilizacija. Ova analiza uključuje identifikaciju materijala, stilova, tehnika izrade i funkcija artefakata, što omogućuje stvaranje slike o svakodnevnom životu prošlih zajednica. Iako su tehnologija i digitalni alati postali sveprisutni u suvremenim istraživanjima,



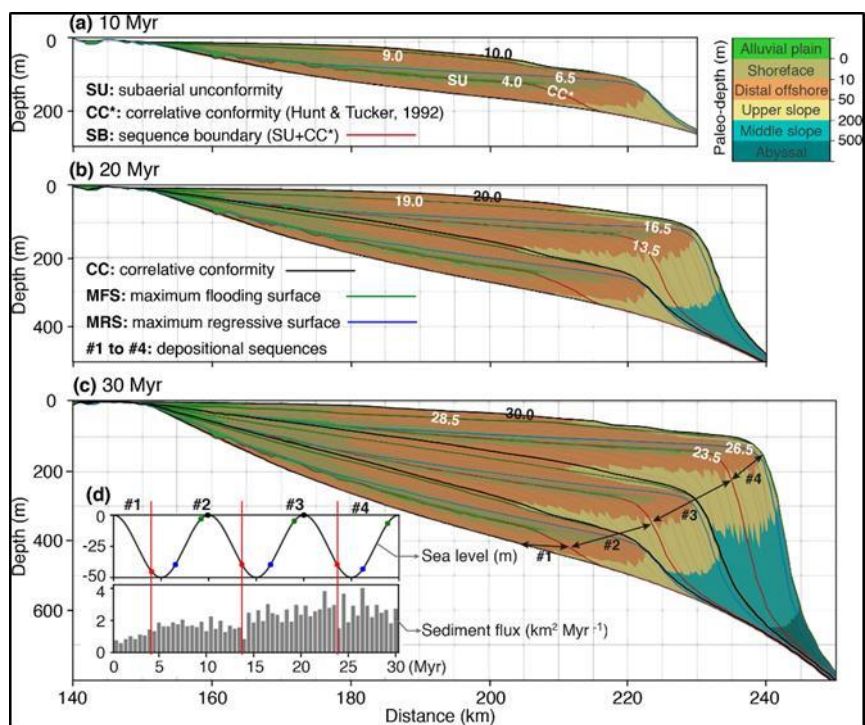
ove tradicionalne tehnike i dalje ostaju ključne za razumijevanje i interpretaciju arheoloških nalaza.



Slika 1. Arheološko iskopavanje

Izvor: DiggingArcheology, 2024

Jedna od ključnih tradicionalnih metoda koja se koristi u arheološkim istraživanjima jest analiza stratigrafije (slika 2.). Ovaj pristup omogućuje arheolozima da prouče slojeve zemlje i sedimenta na arheološkom nalazištu kako bi razumjeli redosljed događaja i promjena tijekom vremena. Promjene u slojevima mogu otkriti informacije o različitim fazama naseljavanja ili o događajima poput prirodnih katastrofa ili ratova.



Slika 2. Analiza stratigrafije

Izvor: Copernicus, 2024

Također, važna tradicionalna metoda u arheološkim istraživanjima je antropološka analiza. Ova analiza uključuje proučavanje ljudskih ostataka kako bi se dobili uvidi u fizičke karakteristike, zdravlje, prehrambene navike i druge aspekte života drevnih ljudi. Osim toga, antropološka analiza može pomoći u rekonstrukciji društvenih struktura i obreda povezanih s pokopima i ritualima. Još jedna ključna tradicionalna metoda jest istraživanje arhitekture i građevinskih ostataka. Arheolozi proučavaju ostatke građevina, kao što su temelji, zidovi i krovovi, kako bi dobili uvid u način života, društvene strukture i tehničke vještine drevnih zajednica. Analiza arhitekture može otkriti informacije o urbanizaciji, komunikaciji, trgovini i religiji u prošlosti. Ove tradicionalne metode zajedno omogućuju arheolozima da stvore sveobuhvatan pogled na prošlost, otkrivajući složenost i raznolikost drevnih civilizacija širom svijeta. Iako su tehnološki napredak i digitalni alati donijeli nove mogućnosti u istraživanju, ove tradicionalne tehnike i dalje ostaju temelj arheološke prakse i ključne su za naše razumijevanje ljudske povijesti (Binford, 2017).

Tradicionalne metode arheoloških istraživanja nose sa sobom niz prednosti koje su ključne za razumijevanje prošlosti. Jedna od osnovnih prednosti je fizičko iskustvo terena. Arheološka iskopavanja omogućuju istraživačima da osobno dožive lokaciju, omogućujući im da razumiju

kontekst i povezanost arheoloških ostataka s okolinom. Ovaj neposredni kontakt s terenom omogućuje arheolozima da primijete nijanse i detalje koji bi mogli biti izgubljeni u digitalnim ili udaljenim istraživanjima. Osim toga, tradicionalne metode omogućuju detaljnu analizu artefakata i ostataka. Rukovanje fizičkim predmetima omogućuje arheolozima da ih pažljivo prouče, osjećajući teksturu, težinu i druge karakteristike koje bi mogle pružiti važne uvide u njihovu svrhu, proizvodnju ili kontekst korištenja. Ova taktička komponenta istraživanja može biti neprocjenjiva za razumijevanje drevnih kultura i tehnologija.

Dodatna prednost tradicionalnih metoda je mogućnost otkrivanja neočekivanih nalaza. Budući da su arheološka iskopavanja interaktivni procesi, arheolozi često otkrivaju artefakte ili strukture koje nisu bile predviđene ili dokumentirane prije istraživanja. Ove neočekivane nalaze može pratiti uzbuđenje i novi uvidi koji mogu promijeniti tijek istraživanja i naše razumijevanje prošlosti. Tradicionalne metode arheoloških istraživanja naglašavaju važnost ljudskog angažmana i stručnosti. Arheolozi donose svoje znanje, iskustvo i intuiciju u proces istraživanja, što može obogatiti analize i interpretacije. Ova ljudska komponenta istraživanja omogućuje fleksibilnost, prilagodljivost i kreativnost u pristupu arheološkim nalazištima (Spaulding, 2017).

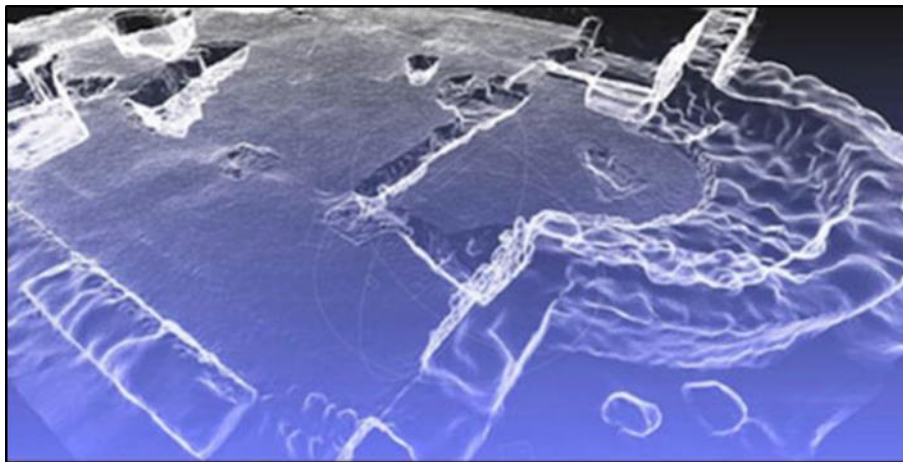
Iako su tradicionalne metode temelj arheoloških istraživanja, one također nose određene mane koje mogu ograničiti naše razumijevanje prošlosti. Jedna od glavnih mana je subjektivnost interpretacije. Budući da su arheološka iskopavanja i analize umjetnički procesi, različiti arheolozi mogu doći do različitih zaključaka o istim nalazima ili slojevima, što može dovesti do neslaganja i kontroverzi u akademskoj zajednici. Osim toga, tradicionalne metode često su invazivne i destruktivne po samu arheološku lokaciju. Iskopavanje može nepovratno uništiti arheološke ostatke i slojeve, ostavljajući iza sebe trajne promjene na terenu. To znači da jednom kad se lokacija iskopa, gubi se mogućnost budućih istraživanja koja bi mogla koristiti naprednije tehnike ili nove pristupe (Spaulding, 2017).

Još jedna mana tradicionalnih metoda je ograničenost u prikupljanju podataka. Iako su iskopavanja, analiza artefakata i antropološka istraživanja korisni u otkrivanju određenih informacija, ove metode često ne mogu otkriti suptilne ili nevidljive aspekte prošlosti. Na primjer, neki slojevi zemlje ili materijali mogu biti nedostupni za proučavanje ili interpretaciju, što može ograničiti naše razumijevanje konteksta arheoloških nalaza. Tradicionalne metode često zahtijevaju dugotrajne procese i velike financijske resurse. Arheološka iskopavanja mogu biti skupa i vremenski zahtjevna, posebno ako se provode na velikim ili složenim nalazištima.

Ovo može ograničiti broj istraživača i institucija koje imaju mogućnost provesti istraživanje, što rezultira nepotpunim ili selektivnim prikazom prošlosti.

Unatoč tim manama, tradicionalne metode i dalje ostaju ključne za arheološka istraživanja i pružaju nezamjenjiv uvid u prošlost. Međutim, važno je prepoznati ograničenja ovih metoda i otvoreno istraživati mogućnosti integracije s novim tehnologijama kako bismo poboljšali naše razumijevanje prošlosti.

Naspram tradicionalnih metoda, digitalne metode su postale neizostavan alat u arsenalu arheoloških istraživača, donoseći sa sobom niz prednosti koje revolucioniraju način na koji pristupamo prošlosti. Jedna od glavnih prednosti digitalnih metoda je preciznost i brzina prikupljanja podataka. Uz pomoć naprednih tehnologija poput 3D skeniranja (slika 3.), fotogrametrije i geografskih informacijskih sustava, arheolozi mogu brzo i precizno dokumentirati arheološka nalazišta i artefakte, omogućujući detaljne analize i interpretacije (Spaulding, 2017).



Slika 3. 3D skeniranje *nalazišta za koje se pretpostavlja da su ostaci ranokršćanske crkve*

Izvor: Aniwaa, 2024

Osim toga, digitalne metode omogućuju neinvazivno istraživanje arheoloških lokacija. Tehnike poput georadariranja, laserskog skeniranja i magnetske snimke omogućuju istraživačima da otkriju i kartiraju arheološke ostatke ispod površine tla bez potrebe za fizičkim iskopavanjem. Ova neinvazivna priroda istraživanja štedi vrijeme, novac i očuvava integritet arheoloških lokacija. Još jedna prednost digitalnih metoda je mogućnost multidisciplinarnog pristupa

istraživanju. Digitalni alati omogućuju arheolozima da surađuju s stručnjacima iz različitih područja poput računalne znanosti, geografije, fizike i inženjeringa kako bi razvili inovativne pristupe istraživanju i analizi arheoloških podataka. Ova interdisciplinarna suradnja može proširiti naše razumijevanje prošlosti i otvoriti nova područja istraživanja (Erlandson i Braje, 2013).

Digitalne metode omogućuju širu dostupnost arheoloških podataka i rezultata istraživanja. Digitalne platforme, baze podataka i alati za vizualizaciju omogućuju arheolozima da podijele svoje nalaze s kolegama, studentima i javnošću diljem svijeta. Ova otvorenost i transparentnost pridonose većem sudjelovanju i razmjeni ideja u arheološkoj zajednici, potičući daljnji napredak istraživanja. Zbog ovoga su ove metode nezamjenjiv alat u suvremenim arheološkim istraživanjima. Iako tradicionalne metode i dalje igraju važnu ulogu, digitalni alati pružaju nove mogućnosti i perspektive koje nadopunjuju i obogaćuju naše razumijevanje prošlosti.

### **3. DIGITALNI ALATI ZA REKONSTRUKCIJU ARHEOLOŠKIH NALAZIŠTA**

Digitalni alati u arheološkim istraživanjima počeli su se pojavljivati s razvojem informatičkih tehnologija i njihovom primjenom u raznim znanstvenim i humanističkim disciplinama, uključujući arheologiju. Početak korištenja digitalnih alata u arheologiji može se pratiti do sredine 20. stoljeća, kada su prve računalne tehnologije i metode počele biti integrirane u istraživanja. Jedan od prvih primjera formaliziranog korištenja informatičkih metoda u arheologiji je projekt ArchAIDE, koji je pokrenut s ciljem podrške klasifikaciji i interpretaciji arheološke keramike kroz razvoj softverske platforme dostupne na mobilnim uređajima i stolnim računalima. Ovaj projekt, koordiniran od strane Sveučilišta u Pisi, uključivao je istraživačke institucije i mala i srednja poduzeća iz pet zemalja: Italije, Španjolske, Ujedinjenog Kraljevstva, Njemačke i Izraela. Uz projekt ArchAIDE, značajan napredak je postignut u Italiji, gdje je informatizacija arheologije postala ključna za promociju formalizirane reprezentacije znanja, koristeći IT metode i tehnike za prikupljanje, obradu i prijenos podataka. Italija je bila među prvim zemljama koja je sistematski integrirala digitalne alate u arheološka istraživanja, posebno kroz publikacije i godišnje konferencije posvećene primjeni računalnih metoda u arheologiji (Aninchini, 2020).

Digitalni alati i tehnologije, kao što su geografski informacijski sustavi (GIS), 3D modeliranje, fotogrametrija i različite metode umjetne inteligencije, omogućili su arheolozima da prikupljaju, analiziraju i vizualiziraju podatke na načine koji su prije bili nezamislivi. Ovi alati su posebno korisni za identifikaciju potencijalnih arheoloških lokaliteta, rekonstrukciju oštećenih artefakata i analizu prostornih odnosa unutar arheoloških nalazišta (Aninchini, 2020). Korištenje digitalnih alata ne samo da je unaprijedilo metodologiju arheoloških istraživanja, već je također omogućilo širem krugu ljudi pristup i razumijevanje arheoloških nalazišta kroz virtualne ture i interaktivne izložbe. To je rezultiralo povećanom sviješću o važnosti očuvanja kulturne baštine i pružilo nove načine za edukaciju i angažman javnosti.

#### **3.1. Fotogrametrija i tehnologije 3D skeniranja**

Fotogrametrija je znanstvena metoda dobivanja pouzdanih informacija o fizičkim objektima i okolišu kroz proces snimanja, mjerenja i tumačenja fotografija. Ova tehnika se koristi u različitim disciplinama, uključujući geodeziju, arheologiju, građevinarstvo i kartografiju. U

osnovi, fotogrametrija omogućava stvaranje točnih trodimenzionalnih modela iz dvodimenzionalnih slika. Fotogrametrija može biti podijeljena na dvije glavne kategorije: aerialna fotogrametrija (snimanje iz zraka) i terenska fotogrametrija (snimanje s tla). Terenska fotogrametrija, ili *close-range* fotogrametrija, se često koristi za detaljno snimanje manjih objekata i struktura. Ova tehnika uključuje korištenje digitalnih kamera za hvatanje višestrukih preklapajućih slika objekta iz različitih kutova. Procesiranje tih slika pomoću specijaliziranih softvera rezultira preciznim 3D modelom objekta (Ferrari et al., 2021).

U arheologiji, fotogrametrija se koristi za dokumentiranje i analizu arheoloških lokaliteta. Ova metoda je posebno korisna za očuvanje kulturne baštine jer omogućava stvaranje detaljnih i točnih digitalnih modela povijesnih struktura i artefakata. Na primjer, istraživanje provedeno u Bagdadu korištenjem fotogrametrije dokumentiralo je Abasidsku palaču. Korištenjem Nikon D3100 kamere i Agisoft PhotoScan softvera, istraživači su stvorili 3D model palače koristeći 81 sliku, što je rezultiralo oblakom točaka od preko milijun točaka. Ovaj alat se provodi u sljedećim razvojnim procesima (Ferrari et al., 2021):

- snimanje
- obrada slika
- stvaranje oblaka točaka
- izrada mrežne strukture

Prije početka samog snimanja, potrebno je provesti nekoliko pripremnih koraka kako bi se osigurala kvaliteta i preciznost konačnih 3D modela. Prvo, odabire se odgovarajuća oprema, poput visokokvalitetne digitalne kamere. U slučaju istraživanja Abasidske palače, korištena je kamera Nikon D3100 koja nudi dovoljan broj megapiksela za detaljno snimanje. Također je važno pripremiti plan snimanja, odrediti ključne točke snimanja i osigurati da su sve potrebne slike snimljene s dovoljnim preklapanjem. Snimanje fotografija predstavlja ključni dio fotogrametrijskog procesa. Slike se moraju snimiti s dovoljno preklapanja kako bi se osiguralo da softver može identificirati zajedničke točke na različitim slikama. Preporučuje se preklapanje od najmanje 70%, a idealno i više. Fotografije se snimaju iz različitih kutova kako bi se obuhvatili svi detalji objekta. To znači da je potrebno kretati se oko objekta i snimati ga iz svih strana, uključujući i gornje i donje dijelove, ako je moguće. Prilikom snimanja, važno je paziti na nekoliko faktora (Ferrari et al., 2021):

- Stabilnost kamere: Korištenje stativa može pomoći u stabilizaciji kamere i osiguravanju oštarih slika.
- Osvjetljenje: Optimalno osvjetljenje je ključno za kvalitetu fotografija. Prirodno dnevno svjetlo je obično najbolji izbor, ali ako to nije moguće, potrebno je koristiti dodatne izvore svjetla.
- Postavke kamere: Ručne postavke kamere (manual mode) omogućuju kontrolu nad ekspozicijom, fokusom i dubinom polja, što može značajno poboljšati kvalitetu slika.

Nakon snimanja, slike se organiziraju i pripremaju za obradu. Prvi korak je pregledavanje i eliminacija loših ili mutnih slika. Ovo se može brzo identificirati i riješiti prije unosa u softver za fotogrametriju. Organizacija slika prema redoslijedu snimanja također može olakšati proces obrade. Softver za fotogrametriju, poput Agisoft PhotoScan, koristi ove slike za stvaranje početnog oblaka točaka. Program analizira slike i traži zajedničke točke koje se pojavljuju na više slika, a zatim ih povezuje kako bi stvorio rijedak oblak točaka. Ovaj rijedak oblak točaka daje osnovni pregled strukture objekta. Nakon stvaranja rijetkog oblaka točaka, softver generira gusti oblak točaka. Gusti oblak točaka sadrži milijune točaka i pruža detaljniju i precizniju reprezentaciju objekta. U slučaju istraživanja na Abasidskoj palači, gusti oblak točaka sastavljen je od preko 34 milijuna točaka, što omogućava izradu vrlo detaljnog 3D modela (Jones i Church, 2020).

Konačni korak uključuje validaciju i, ako je potrebno, korekciju 3D modela. Ovo uključuje provjeru točnosti modela usporedbom s poznatim mjerama objekta i, ako je potrebno, podešavanje modela kako bi se osigurala maksimalna preciznost. U istraživanju Abasidske palače, korišteno je šest kontrolnih točaka za provjeru točnosti modela, što je rezultiralo ukupnom greškom od samo nekoliko milimetara, što je izuzetno precizno za ovakvu vrstu dokumentacije. Fotogrametrijski proces snimanja i obrade slika je složen, ali vrlo učinkovit način za stvaranje detaljnih i točnih 3D modela. Korištenjem moderne tehnologije i softvera, moguće je dokumentirati i očuvati kulturnu baštinu na način koji je pristupačan, precizan i detaljan. Fotogrametrija se pokazala kao neprocjenjiv alat u mnogim disciplinama, omogućavajući stručnjacima stvaranje digitalnih reprezentacija koje mogu biti korištene za istraživanje, edukaciju i očuvanje povijesnih objekata (Simonyan et al., 2023)



Nakon završetka snimanja, drugi korak u procesu obrade je unos svih slika u fotogrametrijski softver. U ovom koraku važno je osigurati da su sve slike pravilno organizirane i imenovane kako bi se olakšao daljnji rad. Fotografije se unose u softver kao niz slika koje se moraju pregledati i, ako je potrebno, filtrirati kako bi se uklonile sve one koje su mutne ili izvan fokusa. Ovaj korak je kritičan jer kvaliteta ulaznih slika izravno utječe na kvalitetu konačnog 3D modela. Poravnavanje slika ili *camera alignment* je prvi korak u stvarnoj obradi unesenih slika. Softver analizira svaku sliku kako bi identificirao zajedničke točke između njih. Ove zajedničke točke omogućuju softveru da izračuna relativne položaje kamera tijekom snimanja. Rezultat ovog koraka je stvaranje rijetkog oblaka točaka, koji predstavlja osnovnu strukturu objekta. Softver koristi ove točke za stvaranje mreže koja identificira gdje je svaka slika snimljena u odnosu na druge.

Nakon poravnavanja kamera, softver stvara rijedak oblak točaka. Ovaj oblak točaka je osnovna rekonstrukcija objekta s minimalnim detaljima. Rijedak oblak točaka koristi se za provjeru ispravnosti poravnanja slika i daje prvi pogled na osnovnu geometriju objekta. U ovoj fazi, korisnik može pregledati oblak točaka kako bi osigurao da su sve ključne točke pravilno identificirane i poravnane. Nakon što je gusti oblak točaka stvoren, softver koristi ove točke za izradu mreže (mesh) koja definira površinu objekta. Ova mreža je 3D struktura sastavljena od trokuta koji zajedno tvore površinu objekta. Stvaranje mreže je ključno jer omogućava dodavanje tekstura koje daju vizualni realizam 3D modelu. Teksture se stvaraju korištenjem originalnih slika, koje se primjenjuju na mrežu kako bi se dobio realističan izgled objekta. Proces teksturiranja uključuje mapiranje svake slike na odgovarajući dio mreže, osiguravajući da su svi detalji točno prikazani. Konačni korak u obradi slika je validacija i, ako je potrebno, korekcija 3D modela. Validacija uključuje provjeru točnosti modela usporedbom s poznatim mjerama objekta. Ako postoje odstupanja, korisnik može ručno prilagoditi određene točke kako bi osigurao maksimalnu preciznost. U slučaju istraživanja Abasidske palače, korišteno je šest kontrolnih točaka za provjeru točnosti modela, što je rezultiralo ukupnom greškom od nekoliko milimetara. Ova razina preciznosti je kritična za dokumentiranje arheoloških i povijesnih objekata, gdje su točni detalji od velike važnosti (Simonyan et al., 2023).

Nakon što su slike unesene u fotogrametrijski softver i pravilno poravnate, treći korak u stvaranju 3D modela je generiranje rijetkog oblaka točaka. Ovaj proces započinje analizom svake fotografije kako bi se identificirale zajedničke točke koje se pojavljuju na više slika. Softver koristi te zajedničke točke za određivanje relativnih položaja kamera u trenutku snimanja. Rezultat ovog koraka je rijedak oblak točaka, koji daje osnovnu strukturu i oblik

objekta. Rijedak oblak točaka predstavlja temeljni 3D prikaz objekta, ali s minimalnim detaljima. On služi kao preliminarni korak koji omogućava daljnju obradu i preciznije modeliranje. Korištenje rijetkog oblaka točaka također omogućava korisniku da provjeri točnost poravnanja slika i identificira potencijalne probleme prije prelaska na stvaranje gustog oblaka točaka. Nakon što je stvoren rijedak oblak točaka, sljedeći korak je analiza i filtriranje tih točaka. Softver pregledava oblak točaka kako bi identificirao i uklonio eventualne greške ili točke koje ne pridonose točnosti modela. Ovo uključuje uklanjanje točaka koje su možda pogrešno identificirane ili one koje su izvan granica interesa. Filtriranje točaka pomaže u poboljšanju kvalitete i preciznosti konačnog 3D modela.

Jednom kada je rijedak oblak točaka očišćen i verificiran, softver prelazi na generiranje gustog oblaka točaka. Ovaj korak uključuje detaljniju analizu svih unesenih slika kako bi se stvorio mnogo precizniji i detaljniji 3D model objekta. Gusti oblak točaka sastoji se od milijuna točaka koje predstavljaju svaki detalj površine objekta. Za generiranje gustog oblaka točaka, softver koristi napredne algoritme koji identificiraju i povezuju sve relevantne točke iz različitih slika. Ovo omogućava stvaranje vrlo detaljne reprezentacije objekta, gdje svaka točka ima precizne 3D koordinate. Ovaj proces može biti računalno intenzivan i može potrajati, ovisno o broju slika i rezoluciji. Nakon generiranja gustog oblaka točaka, slijedi faza optimizacije. Optimizacija uključuje prilagodbu točaka kako bi se osigurala maksimalna preciznost i uklanjanje eventualnih preostalih grešaka. Softver koristi kontrolne točke, koje su unaprijed izmjerene točke na objektu, kako bi dodatno prilagodio oblak točaka i osigurao da se stvarni mjereni podaci poklapaju s generiranim modelom. Također, tijekom ove faze može se provesti klasifikacija točaka, gdje se točke dijele u različite kategorije prema njihovoj poziciji ili karakteristikama. Na primjer, točke koje predstavljaju tlo mogu se odvojiti od točaka koje predstavljaju strukture ili vegetaciju. Klasifikacija točaka olakšava daljnju obradu i analizu modela (Jones i Church, 2020).

Stvaranje gustog oblaka točaka ima široku primjenu u različitim industrijama. U arheologiji, gusti oblak točaka omogućava precizno dokumentiranje arheoloških lokaliteta i artefakata. U građevinarstvu, može se koristiti za stvaranje detaljnih modela građevina i infrastrukture, što pomaže u planiranju i praćenju projekata. U geodeziji, gusti oblak točaka koristi se za izradu topografskih karata i modela terena.

Nakon što je gusti oblak točaka stvoren i optimiziran, sljedeći korak u fotogrametrijskom procesu je generiranje mrežne strukture, poznate kao mesh. Ova mreža predstavlja geometrijsku površinu objekta i sastoji se od mnoštva sitnih trokuta. Mrežna struktura omogućava detaljno

modeliranje oblika i površine objekta, pružajući temelj za daljnje korake poput teksturiranja. Softver za fotogrametriju koristi gusti oblak točaka kao osnovu za izradu mreže. Korištenjem algoritama, softver povezuje točke iz oblaka točaka i stvara mrežu trokuta. Ova mreža je precizna i detaljna, omogućavajući stvaranje vrlo realističnog 3D modela objekta.

Proces izrade mrežne strukture može se podijeliti u nekoliko ključnih koraka (Ikeuchi et al., 2020):

- Definiranje parametara mreže: Prije početka stvaranja mreže, potrebno je definirati parametre poput gustoće mreže, koja određuje koliko će sitni trokuti biti. Veća gustoća mreže rezultira detaljnijom površinom, ali zahtijeva više računalnih resursa.
- generiranje površine: Softver koristi gusti oblak točaka kako bi stvorio početnu površinu mreže. Ova površina je sastavljena od sitnih trokuta koji povezuju točke oblaka točaka. Algoritmi u softveru osiguravaju da su trokuti pravilno povezani, što rezultira glatkom i preciznom površinom.
- optimizacija mreže: Nakon početnog generiranja, mreža se optimizira kako bi se uklonile eventualne nepravilnosti i poboljšala kvaliteta površine. Ovo uključuje izravnavanje trokuta i prilagodbu njihove veličine kako bi se postigla optimalna ravnoteža između detalja i učinkovitosti.

Jednom kada je mrežna struktura generirana i optimizirana, sljedeći korak je primjena tekstura i materijala. Teksture se stvaraju korištenjem originalnih fotografija, koje se mapiraju na mrežnu strukturu kako bi se dobio realističan izgled objekta. Proces teksturiranja uključuje nekoliko koraka:

- UV mapiranje: Prvi korak je stvaranje UV mape, koja definira kako će se tekstura primijeniti na mrežnu strukturu. UV mapa je dvodimenzionalna reprezentacija trodimenzionalne površine objekta, omogućavajući točno mapiranje tekstura na mrežu.
- primjena tekstura: Nakon stvaranja UV mape, teksture se primjenjuju na mrežnu strukturu. Originalne fotografije se koriste za stvaranje realističnih tekstura koje vjerno prikazuju boje, uzorke i detalje površine objekta.

- finetuning: Završni korak uključuje prilagodbu tekstura kako bi se osiguralo da su sve površine pravilno i precizno teksturirane. Ovo može uključivati prilagodbu boja, kontrasta i drugih vizualnih parametara kako bi se postigao što realističniji izgled.

Nakon što je mrežna struktura generirana i teksture primijenjene, slijedi faza validacije i provjere kvalitete. U ovom koraku, 3D model se detaljno pregledava kako bi se osiguralo da nema grešaka ili nepravilnosti. Ovo uključuje provjeru geometrije mreže, ispravnost tekstura i opću konzistenciju modela. U slučaju potrebe za dodatnim prilagodbama, mreža se može dalje optimizirati i teksture revidirati. Cilj je osigurati da konačni 3D model bude što precizniji i detaljniji, spreman za upotrebu u različitim aplikacijama. Nakon završetka svih koraka izrade mrežne strukture i teksturiranja, konačni 3D model može se koristiti u različitim aplikacijama. U arheologiji, takvi modeli omogućavaju detaljnu analizu i dokumentiranje povijesnih objekata. U građevinarstvu, 3D modeli se koriste za planiranje i praćenje projekata, dok u geodeziji omogućavaju preciznu izradu topografskih karata. 3D modeli stvoreni pomoću fotogrametrije pružaju detaljne i precizne digitalne reprezentacije koje su neprocjenjiv alat u mnogim disciplinama. Korištenjem naprednih tehnika i softverskih rješenja, moguće je dokumentirati, analizirati i očuvati kulturnu i povijesnu baštinu na način koji je učinkovit, pristupačan i precizan.

### **3.2. Geografski informacijski sustavi (GIS)**

GIS imaju značajnu ulogu u arheološkim istraživanjima, omogućujući preciznu analizu i vizualizaciju prostornih podataka. GIS tehnologija omogućuje arheolozima da prikupljaju, upravljaju, analiziraju i prikazuju prostorne podatke s visokom razinom detalja. Korištenje GIS-a olakšava identifikaciju potencijalnih arheoloških nalazišta kroz analizu geografskih karakteristika poput reljefa, hidrologije i vegetacije. GIS također omogućuje integraciju različitih tipova podataka, uključujući povijesne karte, satelitske snimke i podatke s terenskih istraživanja, čime se dobiva sveobuhvatniji uvid u arheološki kontekst. Jedna od ključnih prednosti GIS-a je njegova sposobnost analize prostornih odnosa i uzoraka. Arheolozi mogu koristiti GIS za izradu prostornih modela koji pomažu u razumijevanju kako su drevne zajednice koristile prostor i kako su se njihove aktivnosti razvijale kroz vrijeme. GIS alati omogućuju i simulaciju prošlih krajobrazova, što pomaže u rekonstruiranju povijesnih okoliša i

razumijevanju kako su prirodni resursi i klimatske promjene utjecali na ljudske populacije. Također, GIS omogućuje precizno mapiranje arheoloških nalazišta i artefakata, što olakšava dokumentaciju i analizu pronađenih materijala.

Korištenje GIS-a u arheologiji također poboljšava suradnju i dijeljenje podataka među istraživačima. Prostorni podaci mogu se lako dijeliti putem digitalnih platformi, omogućujući istraživačima diljem svijeta da pristupe i analiziraju iste podatke. To potiče interdisciplinarnu suradnju i integraciju različitih istraživačkih pristupa. GIS tehnologija također igra važnu ulogu u očuvanju i zaštiti kulturne baštine. Kroz precizno mapiranje i praćenje arheoloških lokaliteta, moguće je bolje planirati zaštitu i upravljanje tim resursima, minimizirajući rizike od oštećenja ili uništenja.

Proces korištenja GIS-a u arheološkim istraživanjima uključuje nekoliko ključnih koraka koji omogućuju učinkovitu primjenu ove tehnologije. Prvi korak je prikupljanje podataka, što može uključivati različite izvore kao što su terenska istraživanja, povijesne karte, satelitske snimke, LIDAR podaci i drugi prostorni izvori. Podaci prikupljeni s terena obično uključuju geografske koordinate arheoloških nalazišta i artefakata, topografske značajke i druge relevantne informacije. Nakon prikupljanja podataka, slijedi faza unosa i pohrane podataka u GIS softver. Ovaj korak uključuje digitalizaciju analognog materijala, georeferenciranje karata i fotografija te unos atributivnih podataka koji prate prostorne informacije. Georeferenciranje je posebno važno jer omogućuje usklađivanje različitih izvora podataka u jedinstveni koordinatni sustav, što omogućuje njihovu integraciju i usporedbu.

Nakon unosa podataka slijedi faza analize. GIS alati omogućuju različite vrste analiza, uključujući prostornu analizu, analizu udaljenosti, visinsku analizu i analizu vidljivosti. Prostorna analiza može uključivati identifikaciju uzoraka u distribuciji arheoloških nalazišta, dok analize udaljenosti mogu pomoći u razumijevanju odnosa između različitih lokaliteta. Visinska analiza i analiza vidljivosti često se koriste za rekonstrukciju povijesnih krajobraza i razumijevanje kako su prirodni okoliši utjecali na ljudske aktivnosti (Verhagen, 2023).

Vizualizacija je sljedeći važan korak u procesu GIS-a. GIS softver omogućuje izradu detaljnih karata i 3D modela koji prikazuju rezultate analize na vizualno intuitivan način. Ovi vizualni prikazi mogu uključivati tematske karte koje prikazuju različite slojeve podataka, kao što su distribucija artefakata, topografske karakteristike i povijesne rute. 3D modeli omogućuju detaljnu vizualizaciju rekonstrukcija povijesnih lokaliteta i okoliša, što može biti vrlo korisno za interpretaciju i prezentaciju rezultata. Posljednji korak u procesu GIS-a je dijeljenje i

prezentacija podataka. GIS platforme omogućuju jednostavno dijeljenje prostornih podataka i rezultata analiza s drugim istraživačima i institucijama. To se može ostvariti putem web-GIS aplikacija, digitalnih baza podataka i drugih mrežnih platformi. Dijeljenje podataka potiče suradnju i interdisciplinarno istraživanje, omogućujući različitim stručnjacima da pridonose svojim znanjima i perspektivama. Kroz sve ove korake, GIS tehnologija značajno doprinosi napretku arheoloških istraživanja, omogućujući preciznu analizu i vizualizaciju prostornih podataka te olakšavajući dijeljenje i suradnju među istraživačima. Unatoč tehničkim i financijskim izazovima, GIS ostaje ključan alat za suvremenu arheologiju, pružajući nove uvide i mogućnosti za istraživanje i očuvanje kulturne baštine.

Neke od prednosti korištenja GIS-a su (Apollonio et al., 2011):

- Precizna analiza prostornih podataka: GIS omogućuje detaljnu analizu prostornih odnosa i uzoraka, što je ključno za razumijevanje distribucije arheoloških nalazišta, artefakata i drugih značajki. Prostorna analiza pomaže u identificiranju novih nalazišta i razumijevanju kako su drevne zajednice koristile prostor.
- Integracija različitih izvora podataka: GIS omogućuje integraciju podataka iz različitih izvora, uključujući povijesne karte, satelitske snimke, LIDAR podatke i podatke s terenskih istraživanja. Ova integracija omogućuje sveobuhvatniji uvid u arheološki kontekst i olakšava komparativne studije.
- Vizualizacija: GIS alati omogućuju izradu detaljnih karata i 3D modela koji pomažu u vizualizaciji rezultata istraživanja. Ovi vizualni prikazi olakšavaju interpretaciju podataka i mogu biti korisni za prezentaciju rezultata široj javnosti i donosiocima odluka.
- Povećana učinkovitost istraživanja: Korištenje GIS-a omogućuje učinkovitije planiranje terenskih istraživanja, identificiranje prioritetnih područja za iskopavanja i optimizaciju resursa. GIS može smanjiti vrijeme i troškove potrebne za prikupljanje podataka na terenu.
- Bolja dokumentacija i očuvanje podataka: GIS omogućuje precizno mapiranje arheoloških nalazišta i artefakata, što olakšava dokumentaciju i trajno pohranjivanje podataka. Ova digitalna dokumentacija može biti korisna za buduća istraživanja i očuvanje kulturne baštine.

- Povećana suradnja i dijeljenje podataka: GIS tehnologija olakšava dijeljenje prostornih podataka i rezultata analiza među istraživačima i institucijama putem digitalnih platformi. To potiče interdisciplinarnu suradnju i omogućuje različitim stručnjacima da doprinesu svojim znanjima.
- Simulacija i modeliranje povijesnih krajobraza: GIS omogućuje rekonstrukciju povijesnih krajobraza i simulaciju kako su prirodni resursi i klimatske promjene utjecali na ljudske populacije. Ovo pomaže u boljem razumijevanju ekoloških i društvenih uvjeta u prošlosti.
- Potpora za očuvanje kulturne baštine: GIS pomaže u praćenju i zaštiti arheoloških lokaliteta. Precizno mapiranje i analiza prostornih podataka omogućuju bolje planiranje zaštitnih mjera i upravljanje kulturnim resursima, smanjujući rizik od oštećenja ili uništenja.

Mane korištenja GIS-a su (Apollonio et al., 2011):

- Visoki troškovi: Nabava i održavanje GIS softvera, opreme i pratećih tehnologija može biti skupo. Financijska ograničenja mogu predstavljati značajan problem za manje arheološke projekte ili institucije s ograničenim budžetom.
- Tehnička složenost: GIS alati često zahtijevaju visoku razinu tehničke stručnosti. Arheolozi koji nemaju formalno obrazovanje u geografskim informacijskim sustavima ili računalnoj znanosti mogu imati poteškoća u učinkovitoj primjeni ovih alata bez dodatne obuke.
- Potrebno vrijeme za učenje i implementaciju: Učenje kako koristiti GIS i implementirati ga u arheološka istraživanja može zahtijevati značajno vrijeme i resurse. To može biti izazov za projekte s ograničenim vremenskim rokovima.
- Kvaliteta i točnost podataka: Kvaliteta i točnost GIS analiza uvelike ovise o kvaliteti ulaznih podataka. Ako su podaci nepotpuni, netočni ili zastarjeli, rezultati GIS analiza mogu biti nepouzdana. Prikupljanje visokokvalitetnih podataka često je složeno i zahtijeva dodatne resurse.
- Kompatibilnost i interoperabilnost: Različiti GIS softverski paketi i formati podataka nisu uvijek međusobno kompatibilni. To može otežati suradnju i dijeljenje podataka

među različitim istraživačkim timovima i institucijama. Standardizacija podataka može biti dugotrajan i složen proces.

- Tehnička podrška i održavanje: Korištenje GIS-a zahtijeva stalnu tehničku podršku i održavanje softvera i opreme. Problemi s tehničkom podrškom mogu dovesti do gubitka podataka ili prekida u radu, što može ometati istraživačke aktivnosti.
- Subjektivnost u interpretaciji podataka: GIS alati omogućuju vizualizaciju i analizu prostornih podataka, ali interpretacija tih podataka može biti subjektivna. Različiti istraživači mogu imati različite interpretacije istih podataka, što može dovesti do neslaganja ili različitih zaključaka.
- Održavanje sigurnosti podataka: Digitalizacija i pohrana podataka u GIS-u zahtijevaju pažnju na sigurnost podataka. Postoji rizik od gubitka podataka zbog tehničkih kvarova, cyber napada ili drugih problema vezanih uz sigurnost informacija.
- Evolucija tehnologije: GIS tehnologija se stalno razvija, što znači da alati i metode koji su danas učinkoviti mogu brzo zastarjeti. Arheolozi moraju biti spremni na kontinuirano učenje i prilagodbu kako bi ostali u koraku s tehnološkim napretkom.

GIS se preporučuje kod sljedećih arheoloških rekonstrukcija (Verhagen, 2023):

- Rekonstrukcija povijesnih krajobrazova: GIS omogućuje rekonstrukciju i analizu drevnih krajobrazova, uključujući prirodne značajke poput rijeka, šuma, i planina te antropogenih elemenata kao što su poljoprivredne površine, ceste i naselja. Analiza povijesnih krajobrazova pomaže u razumijevanju kako su drevne zajednice koristile resurse i prilagodile se okolišu.
- Prostorna analiza naselja i urbanizma: GIS se koristi za proučavanje prostornog rasporeda i organizacije drevnih naselja i urbanih centara. Omogućuje analizu distribucije stambenih objekata, javnih zgrada, trgova i ulica, što pomaže u razumijevanju socijalne strukture i urbanističkog planiranja.
- Analiza prometnih mreža i komunikacija: GIS sustavi omogućuju rekonstrukciju drevnih prometnih mreža, uključujući ceste, staze i trgovačke rute. Analiza ovih mreža pomaže u razumijevanju kretanja ljudi, robe i ideja te njihove interakcije s okolišem.



- Rekonstrukcija poljoprivrednih i ekonomskih sustava: GIS omogućuje analizu prostornih aspekata drevne poljoprivrede i ekonomskih aktivnosti, uključujući distribuciju poljoprivrednih površina, sustava navodnjavanja i trgovinskih centara. Ove analize pomažu u razumijevanju ekonomskih temelja drevnih društava.
- Arheološka predikcija i modeliranje: GIS se koristi za prediktivno modeliranje i identifikaciju potencijalnih arheoloških lokaliteta. Analiza prostornih podataka može pomoći u predviđanju lokacija gdje su veće šanse za pronalazak arheoloških ostataka, što optimizira resurse i vrijeme u terenskim istraživanjima.
- Studije okolišnih promjena i klimatskih utjecaja: GIS omogućuje analizu kako su klimatske promjene i okolišni čimbenici utjecali na drevne zajednice. Proučavanje prostornih podataka o promjenama u vegetaciji, hidrologiji i geomorfologiji može pružiti uvid u adaptacijske strategije drevnih populacija.
- Rekonstrukcija kulturnih krajolika: GIS se koristi za analizu i rekonstrukciju kulturnih krajolika, uključujući sveta mjesta, groblja i ritualne prostore. Ova analiza pomaže u razumijevanju duhovnih i kulturnih aspekata drevnih društava.
- Vizualizacija i prezentacija arheoloških nalaza: GIS omogućuje stvaranje detaljnih vizualizacija i karata arheoloških nalaza, što je korisno za prezentaciju rezultata istraživanja javnosti i stručnjacima. Vizualizacije mogu uključivati 3D modele, tematske karte i interaktivne mape.

### **3.3. Aplikacije virtualne stvarnosti (VR) i proširene stvarnosti (AR)**

Alati virtualne stvarnosti (VR) postaju sve važniji u arheološkim rekonstrukcijama, pružajući nove mogućnosti za istraživanje, prezentaciju i edukaciju. Virtualna stvarnost omogućuje stvaranje immersivnih, trodimenzionalnih prikaza arheoloških lokaliteta i artefakata, što korisnicima daje osjećaj prisutnosti u rekonstruiranim povijesnim okruženjima. Korištenje VR-a u arheologiji omogućuje istraživačima da detaljno prouče i analiziraju strukture i krajolike koji su možda oštećeni ili nedostupni u stvarnom svijetu. VR također pruža mogućnost simulacije različitih povijesnih scenarija, omogućujući istraživačima da testiraju hipoteze o izgledu i funkciji drevnih prostora.

Jedna od najvećih prednosti VR-a u arheološkim rekonstrukcijama je njegova sposobnost poboljšanja edukacije i angažmana javnosti. Posjetitelji muzeja i edukativnih centara mogu koristiti VR tehnologiju za virtualne obilaske arheoloških lokaliteta, doživljavajući prošlost na način koji je mnogo interaktivniji i dojmljiviji od tradicionalnih prikaza. Ova tehnologija omogućuje korisnicima da istražuju povijesne lokalitete i objekte u njihovom izvornom kontekstu, što pomaže u boljem razumijevanju kulturnih i povijesnih aspekata. Također, VR rekonstrukcije mogu biti korištene u obrazovnim programima kako bi se studentima pružila prilika za „terenska“ istraživanja bez napuštanja učionice.

Korištenje VR-a u arheologiji također ima značajan potencijal za očuvanje kulturne baštine. Digitalne rekonstrukcije mogu sačuvati vizualne i prostorne informacije o arheološkim lokalitetima koji su ugroženi ili teško dostupni. Na taj način, istraživači i javnost mogu nastaviti proučavati i doživljavati ove lokalitete čak i ako su fizički oštećeni ili uništeni. Osim toga, VR tehnologija omogućuje arheolozima da dijele svoje nalaze s kolegama diljem svijeta na način koji je mnogo pristupačniji i kolaborativniji. Unatoč brojnim prednostima, korištenje VR-a u arheološkim rekonstrukcijama također nosi određene izazove, uključujući visoke troškove opreme i softvera te potrebu za specijaliziranim znanjima iz područja računalne grafike i programiranja. No, uz kontinuirani tehnološki napredak i sve veću dostupnost VR tehnologije, ovi alati postaju sve pristupačniji i korisniji za arheološke istraživače i širu javnost.

Procesi primjene alata virtualne stvarnosti (VR) u arheološkim rekonstrukcijama uključuju nekoliko ključnih koraka koji omogućuju učinkovitu i preciznu rekonstrukciju prošlih okoliša i objekata. Ovi koraci uključuju prikupljanje podataka, digitalizaciju, modeliranje, implementaciju VR tehnologije i prezentaciju. Svaki od ovih koraka igra vitalnu ulogu u stvaranju impresivnih i edukativnih virtualnih iskustava (Lozić i Štular, 2011). Prvi korak u VR rekonstrukciji je prikupljanje detaljnih podataka s arheološkog lokaliteta. Ovo može uključivati terensko snimanje pomoću fotogrametrije, LIDAR skeniranja, 3D skenera i tradicionalnih arheoloških metoda poput crtanja i fotografiranja. Podaci prikupljeni na ovaj način osiguravaju točne i precizne informacije o strukturi i izgledu nalazišta (Lozić i Štular, 2011).

Nakon prikupljanja podataka, slijedi faza digitalizacije. Prikupljeni podaci se pretvaraju u digitalne formate koji se mogu koristiti u VR aplikacijama. To može uključivati stvaranje 3D modela struktura, artefakata i krajolika pomoću softvera za 3D modeliranje. Proces digitalizacije također može uključivati georeferenciranje podataka kako bi se osigurala točnost prostornih odnosa. U ovoj fazi, arheološki podaci se koriste za stvaranje detaljnih 3D modela koji će biti uključeni u VR okruženje. Softveri kao što su Blender, 3ds Max i Unity često se

koriste za ovu svrhu. Arheolozi i digitalni umjetnici surađuju kako bi osigurali da modeli budu povijesno točni i vizualno privlačni. Ovaj korak može uključivati rekonstrukciju zgrada, interijera, krajolika i drugih značajki koje su ključne za razumijevanje prošlih kultura.

Nakon što su modeli izrađeni, oni se implementiraju u VR platformu. Ovo može uključivati optimizaciju modela za VR prikaz kako bi se osigurala ugodna iskustva za korisnike. VR platforme kao što su Oculus Rift, HTC Vive i druge koriste se za prikazivanje virtualnih rekonstrukcija. Softverski alati kao što su Unity i Unreal Engine omogućuju programerima da stvore interaktivna i impresivna okruženja. Interaktivnost je ključna komponenta VR rekonstrukcija. Korisnici mogu istraživati virtualne lokalitete, komunicirati s virtualnim objektima i učiti o povijesti na način koji je mnogo angažiraniji nego tradicionalne metode. Dodavanje audio zapisa, vodiča i informativnih točaka unutar VR okruženja može dodatno obogatiti korisničko iskustvo (Ash, 2023).

Konačni korak je prezentacija VR rekonstrukcija široj javnosti i edukativnim institucijama. VR rekonstrukcije mogu biti korištene u muzejima, školama i istraživačkim centrima kako bi posjetitelji mogli doživjeti prošlost na interaktivan način. Također, VR može biti korišten za virtualne terenske izlete, omogućujući studentima i istraživačima da posjete i istraže arheološke lokalitete bez fizičkog prisustva na terenu. Ovi procesi omogućuju arheolozima da stvore detaljne i točne rekonstrukcije prošlih svjetova, pružajući korisnicima jedinstvena iskustva koja poboljšavaju razumijevanje povijesti i kulture. Virtualna stvarnost ne samo da pomaže u očuvanju kulturne baštine, već također omogućuje širem krugu ljudi da istražuju i uče o arheološkim nalazima na način koji je prethodno bio nezamisliv.

Proširena stvarnost (AR) postaje sve važnija metoda u arheološkim rekonstrukcijama, pružajući nove načine za interakciju s povijesnim lokalitetima i artefaktima. AR omogućuje korisnicima da na svoje mobilne uređaje ili kroz specijalizirane naočale projiciraju digitalne informacije i modele preko stvarnih objekata i lokacija. Ova tehnologija donosi mnoge prednosti, uključujući poboljšanu vizualizaciju, interaktivnost i dostupnost podataka. Jedna od najčešćih metoda primjene AR-a u arheologiji je kroz mobilne aplikacije koje korisnicima omogućuju da pomoću svojih pametnih telefona ili tableta istražuju arheološke lokalitete. Koristeći GPS i kamere svojih uređaja, korisnici mogu vidjeti virtualne rekonstrukcije drevnih građevina i artefakata na njihovim stvarnim lokacijama. Ove aplikacije često uključuju interaktivne elemente kao što su informativni tekstovi, audio zapisi i animacije koje obogaćuju korisničko iskustvo i pružaju dodatni kontekst. AR naočale, poput Microsoft HoloLens, omogućuju korisnicima da vide i interagiraju s digitalnim informacijama dok još uvijek vide stvarni svijet oko sebe. U

arheološkim istraživanjima, ove naočale mogu se koristiti za projektiranje rekonstrukcija zgrada, kipova i drugih artefakata na njihove stvarne lokacije, pružajući istraživačima i posjetiteljima realističan prikaz kako su ti objekti izgledali u prošlosti.



Slika 4. Arheološki prikaz uz Microsoft HoloLens

Izvor: Reality News, 2024

Obogaćeni muzejski eksponati: Muzeji diljem svijeta sve više koriste AR tehnologiju kako bi obogatili svoje eksponate. Posjetitelji mogu koristiti AR uređaje ili aplikacije kako bi vidjeli dodatne informacije o izloženim artefaktima, uključujući 3D rekonstrukcije, slojeve informacija i povijesne kontekste. Ova tehnologija omogućuje muzeima da pruže dublje i angažiranije iskustvo bez potrebe za fizičkom izmjenom izložbenog prostora. AR može biti korišten na samim arheološkim lokalitetima kako bi posjetitelji vidjeli kako su mjesta izgledala u prošlosti. Primjenom AR tehnologije, istraživači mogu projicirati slike zgrada, spomenika i krajolika na njihove stvarne lokacije, omogućujući posjetiteljima da vizualiziraju povijesne scene dok se kreću kroz lokalitet. Ova metoda je posebno korisna na lokalitetima gdje su fizički ostaci fragmentirani ili teško prepoznatljivi (Leslie, 2023). AR može biti korišten za stvaranje edukativnih igara i simulacija koje pomažu učenicima i entuzijastima da bolje razumiju arheološke procese i povijesne događaje. Ove igre često uključuju zadatke poput pronalaska i analize artefakata, rješavanja povijesnih zagonetki i rekonstrukcije drevnih zgrada, čime se potiče aktivno učenje kroz interakciju i igru. AR tehnologija može pomoći arheolozima u dokumentaciji i analizi nalazišta. Na primjer, AR može projektirati slojeve informacija preko

stvarnih lokaliteta, pomažući istraživačima da identificiraju i analiziraju artefakte i strukture bez potrebe za njihovim fizičkim premještanjem. Ova tehnologija također omogućuje detaljnu vizualizaciju slojeva iskopavanja, olakšavajući razumijevanje složenih stratigrafskih odnosa.

Primjena proširene stvarnosti u arheološkim rekonstrukcijama nudi brojne prednosti, uključujući poboljšanu vizualizaciju, interaktivnost i pristupačnost podacima. Ove metode omogućuju arheolozima, edukatorima i široj javnosti da dožive i razumiju prošlost na novi, dinamičan način, obogaćujući naše znanje i očuvanje kulturne baštine.

### **3.4. Računalno modeliranje i simulacija**

Računalni modeli i simulacije postali su ključni alati u arheološkim istraživanjima, pružajući nove načine za analiziranje, vizualiziranje i interpretiranje arheoloških podataka. Ovi alati omogućuju istraživačima da testiraju hipoteze, predviđaju nalaze i rekreiraju povijesne scenarije s visokim stupnjem preciznosti. 3D modeliranje koristi se za stvaranje detaljnih i preciznih prikaza arheoloških lokaliteta, objekata i krajolika. Softveri poput Blender, 3ds Max i AutoCAD omogućuju arheolozima da izrađuju trodimenzionalne modele koji mogu prikazati kako su drevni objekti izgledali u prošlosti. Ovi modeli mogu uključivati teksture, boje i materijale koji odražavaju povijesnu stvarnost, pružajući bogate vizualne informacije (Mantovani i Nanni, 2020). ABM (engl. *Agent-based modeling*) simulacije koriste se za proučavanje ponašanja i interakcija drevnih populacija. Ovi modeli simuliraju djelovanje pojedinačnih agenata (npr. ljudi, životinja) u određenim okolišima, omogućujući istraživačima da analiziraju socijalne, ekonomske i ekološke dinamike. Primjerice, ABM može biti korišten za simulaciju migracijskih obrazaca, poljoprivrednih praksi ili trgovinskih mreža (Crooks et al., 2021).

Prostorne simulacije koriste GIS kako bi analizirale i vizualizirale prostorne odnose i distribucije arheoloških nalaza. Ove simulacije omogućuju istraživačima da identificiraju obrasce u distribuciji naselja, grobova, artefakata i drugih značajki. Prostorne simulacije također mogu pomoći u prediktivnom modeliranju, identificirajući potencijalne lokacije za buduća iskapanja. Ekonomske simulacije koriste se za proučavanje drevnih ekonomskih sustava i trgovinskih mreža. Korištenjem matematičkih i računalnih modela, arheolozi mogu

analizirati proizvodne procese, distribuciju resursa i trgovinske tokove. Ove simulacije mogu pružiti uvid u ekonomske temelje drevnih društava i njihovu sposobnost prilagodbe promjenama u okolišu ili političkim uvjetima. Klimatske i okolišne simulacije pomažu u razumijevanju kako su drevne populacije reagirale na promjene u okolišu, uključujući klimatske promjene, eroziju tla i promjene u vegetaciji. Korištenjem podataka iz paleoklimatologije i ekologije, istraživači mogu modelirati povijesne uvjete i analizirati njihove utjecaje na ljudske zajednice. Arhitektonske simulacije koriste se za rekonstrukciju drevnih građevina i urbanih prostora. Arhitektonski modeli mogu prikazivati konstrukcijske tehnike, materijale i funkcionalnost zgrada. Simulacije također mogu uključivati strukturne analize kako bi se procijenila stabilnost i trajnost drevnih konstrukcija.

Korištenjem računalnih modela, arheolozi mogu proučavati društvene interakcije, hijerarhije i političke strukture drevnih društava. Ove simulacije mogu analizirati kako su društvene promjene, konflikti ili inovacije utjecali na društvenu strukturu i kulturne prakse. Računalne simulacije omogućuju naprednu vizualizaciju arheoloških podataka, uključujući interaktivne karte, grafove i 3D prikaze. Ove vizualizacije pomažu istraživačima da identificiraju obrasce i trendove te olakšavaju komunikaciju nalaza s drugim stručnjacima i širom javnosti.

Računalni modeli i simulacije u arheološkim istraživanjima omogućuju dublje razumijevanje složenih dinamika drevnih društava i okoliša. Ovi alati omogućuju istraživačima da testiraju različite scenarije, identificiraju uzročno-posljedične veze i generiraju nove hipoteze. U kombinaciji s tradicionalnim arheološkim metodama, računalni modeli i simulacije pružaju moćne alate za proučavanje i interpretaciju prošlosti. Računalni modeli i simulacije postali su neizostavan alat u arheološkim rekonstrukcijama. Primjenom ovih tehnologija, arheolozi mogu stvoriti detaljne 3D modele arheoloških lokaliteta i artefakata, omogućujući im da analiziraju i interpretiraju podatke na način koji je prije bio nezamisliv. Ovi modeli omogućuju simulaciju različitih scenarija, kao što su procesi erozije, utjecaj klimatskih promjena ili ljudskih aktivnosti na arheološke lokalitete, što pomaže u boljem razumijevanju prošlih civilizacija i njihovih okoliša (Berger i Mahdavi, 2021).

Primjena računalnih modela u arheološkim istraživanjima omogućuje detaljnu analizu i rekonstrukciju artefakata poput keramike. Primjer toga je projekt ArchAIDE koji koristi algoritme dubokog učenja za automatsko prepoznavanje i klasifikaciju arheološke keramike na temelju fotografija snimljenih na terenu. Ovi sustavi mogu identificirati oblike i ukrase na keramici, omogućujući arheolozima brže i točnije klasificiranje nalaza te bolju interpretaciju arheoloških konteksta. Sustavi umjetne inteligencije, poput konvolucijskih neuronskih mreža

(CNN), također su primijenjeni za prepoznavanje fragmenata i rekonstrukciju oštećenih tekstova i epigrafa. Ovi sustavi omogućuju identifikaciju sličnih parova fragmenata te njihovu automatsku rekonstrukciju, što značajno ubrzava i olakšava proces arheološkog istraživanja.

Računalni modeli su također korisni u identifikaciji potencijalnih arheoloških lokaliteta pomoću prediktivnog modeliranja. Korištenjem GIS-a i umjetnih neuronskih mreža (ANN), arheolozi mogu identificirati područja s visokim potencijalom za arheološka istraživanja na temelju različitih okolišnih karakteristika, poput konfiguracije tla, udaljenosti od vodnih površina i kvalitete tla (Berger i Mahdavi, 2021). Sve ove tehnologije pomažu arheolozima da steknu dublje razumijevanje prošlih civilizacija, omogućujući im da preciznije rekonstruiraju i interpretiraju povijesne podatke. Osim toga, digitalni modeli i simulacije pružaju mogućnost šire javnosti da pristupi i istraži arheološke lokalitete kroz virtualne ture i interaktivne izložbe, čime se povećava svijest o kulturnoj baštini i njenoj važnosti

### **3.5. Izazovi i ograničenja digitalne rekonstrukcije**

Korištenje digitalnih alata u arheološkim rekonstrukcijama donosi brojne prednosti, ali istovremeno nosi i niz izazova i ograničenja. Jedan od glavnih izazova je tehnička složenost samih alata. Zahtijevaju visoku razinu stručnosti i specifična znanja, što može biti prepreka za arheologe koji nisu obučeni u digitalnim tehnologijama. Potrebna je kontinuirana edukacija i usavršavanje kako bi se održao korak s brzim razvojem tehnologije. Još jedan izazov predstavlja financijski aspekt. Digitalni alati, softveri i oprema često su vrlo skupi, što može biti problem za mnoge institucije s ograničenim proračunima. Održavanje i ažuriranje tih alata također iziskuje dodatne resurse, što može dodatno opteretiti financijske kapacitete arheoloških projekata. Pitanje točnosti i pouzdanosti digitalnih rekonstrukcija također je značajno.

Digitalni modeli se često temelje na nepotpunim podacima, a interpretacije mogu biti subjektivne. Bez čvrstih fizičkih dokaza, digitalne rekonstrukcije mogu odražavati pretpostavke i teorije koje nisu nužno točne. To može dovesti do iskrivljenih prikaza povijesnih objekata i događaja. Interoperabilnost i kompatibilnost različitih digitalnih alata i platformi također mogu biti problematični. Različiti softverski paketi i formati podataka ne uvijek se međusobno slažu,

što može otežati suradnju među timovima i dijeljenje podataka. Potrebni su standardi i protokoli koji bi osigurali da različiti sustavi mogu učinkovito komunicirati i razmjenjivati informacije.

Postoji i kulturni aspekt korištenja digitalnih alata. Digitalne rekonstrukcije mogu utjecati na percepciju povijesti i kulturne baštine. Postoji opasnost da se digitalni modeli percipiraju kao apsolutne istine, što može umanjiti važnost fizičkih artefakata i terenskog istraživanja. Također, digitalizacija kulturne baštine otvara pitanja autorskih prava i etičkog korištenja podataka, što zahtijeva pažljivo razmatranje i regulaciju. Unatoč ovim izazovima, digitalni alati pružaju izvanredne mogućnosti za arheološke rekonstrukcije, omogućujući detaljnu analizu, vizualizaciju i dijeljenje informacija na načine koji su prije bili nezamislivi. Međutim, važno je pristupiti njihovom korištenju s oprezom, uzimajući u obzir sve potencijalne izazove i ograničenja (Durak et al., 2020).

Korištenje digitalnih alata u arheološkim rekonstrukcijama nosi sa sobom određena ograničenja koja mogu utjecati na kvalitetu i točnost rezultata. Prvo i osnovno ograničenje je tehnička složenost. Digitalni alati često zahtijevaju specifična znanja iz područja računalnih znanosti i tehnologije, što može biti prepreka za arheologe koji nisu educirani u tim područjima. Bez adekvatne obuke i kontinuirane edukacije, korištenje ovih alata može biti ograničeno i neefikasno. Točnost digitalnih rekonstrukcija može biti upitna zbog nepotpunih ili fragmentiranih podataka na kojima se temelje (Durak et al., 2020). Često se interpretacije moraju temeljiti na pretpostavkama koje mogu biti subjektivne, što dovodi do potencijalnih netočnosti. Digitalne rekonstrukcije mogu stvoriti iluziju potpune i precizne povijesne slike, dok u stvarnosti mogu odražavati samo jednu moguću verziju događaja ili objekata.



#### **4. ULOGA INFORMACIJSKIH STRUČNJAKA U PODRUČJU DIGITALNE HUMANISTIKE**

Informacijski stručnjaci imaju ključnu ulogu u digitalnoj humanistici, pružajući potrebne vještine i znanja za upravljanje, analiziranje i prezentaciju digitalnih podataka. Njihova uloga obuhvaća više aspekata, od tehničke podrške do strateškog planiranja i etičkog nadzora. Informacijski stručnjaci su odgovorni za prikupljanje, pohranu i organizaciju velikih količina podataka. Kroz razvoj i održavanje baza podataka, osiguravaju da su podaci pravilno strukturirani i lako dostupni. To uključuje implementaciju sustava za pohranu podataka koji omogućuju učinkovito pretraživanje i analizu, čime se olakšava istraživanje i interpretacija.

Osim upravljanja podacima, informacijski stručnjaci razvijaju i implementiraju digitalne alate i platforme koje omogućuju pristup i analizu podataka. To uključuje razvoj korisničkih sučelja koja su intuitivna i pristupačna, te integraciju različitih tehnologija poput GIS sustava, 3D modeliranja i analize velikih podataka. Ovi alati omogućuju istraživačima i širem društvu da interaktivno istražuju kulturnu baštinu i povijesne podatke. Informacijski stručnjaci imaju važnu ulogu u osiguravanju etičke uporabe podataka. Razvijaju politike i procedure koje osiguravaju zaštitu privatnosti i autorskih prava, te se brinu o etičkom korištenju digitalnih resursa. Njihova stručnost u području pravne usklađenosti i etičkih standarda ključna je za očuvanje integriteta i autentičnosti istraživačkih projekata (Nicholson, 2005).

Edukacija je također važan aspekt njihove uloge. Informacijski stručnjaci organiziraju radionice, seminare i druge oblike obuke kako bi istraživačima prenijeli potrebne vještine za korištenje digitalnih alata i platformi. Osiguravaju da istraživači i studenti imaju pristup najnovijim tehnologijama i metodama, čime se povećava njihova tehnička kompetencija i sposobnost za inovacije. Informacijski stručnjaci često djeluju kao most između različitih znanstvenih disciplina, omogućujući interdisciplinarnu suradnju. Njihova sposobnost da razumiju i integriraju različite metode istraživanja ključna je za uspjeh digitalnih humanističkih projekata. Kroz suradnju s povjesničarima, arheolozima, umjetnicima i drugim stručnjacima, omogućuju stvaranje sveobuhvatnih i inovativnih istraživačkih projekata.

Informacijski stručnjaci igraju ključnu ulogu u promociji i diseminaciji rezultata istraživanja. Razvijaju digitalne platforme za objavljivanje i dijeljenje istraživačkih rezultata, čime osiguravaju da su rezultati dostupni široj javnosti i drugim istraživačima. Ovaj otvoreni pristup informacijama potiče daljnje istraživanje i suradnju, te omogućuje široj javnosti da se uključi u

očuvanje i razumijevanje kulturne baštine. Informacijski stručnjaci, kroz svoje raznolike i ključne uloge, omogućuju da digitalna humanistika postigne svoj puni potencijal u istraživanju, očuvanju i dijeljenju znanja o ljudskoj povijesti i kulturi.

Informacijski stručnjaci također igraju ključnu ulogu u povećanju dostupnosti i pristupa podacima. Razvijaju i održavaju digitalne repozitorije i arhive koji omogućuju pohranu i dijeljenje velikih količina podataka. Kroz otvoreni pristup (open access) osiguravaju da rezultati istraživanja budu dostupni široj javnosti i istraživačima diljem svijeta. Ovaj pristup promiče transparentnost, omogućuje brzu razmjenu informacija i potiče suradnju na globalnoj razini. Osim što razvijaju digitalne alate, informacijski stručnjaci pružaju stalnu tehničku podršku korisnicima. Oni rješavaju tehničke probleme, optimiziraju performanse sustava i osiguravaju da alati i platforme rade besprijekorno. Njihova tehnička podrška ključna je za nesmetano provođenje istraživačkih projekata, a njihova sposobnost da inoviraju i prilagode tehnologiju specifičnim potrebama istraživača omogućuje učinkovitije i preciznije istraživanje.

Informacijski stručnjaci također se bave analizom podataka. Korištenjem naprednih analitičkih alata i metoda, oni interpretiraju podatke i izvlače relevantne informacije koje istraživačima pomažu u donošenju zaključaka. Njihova sposobnost da analiziraju velike količine podataka i prepoznaju obrasce i trendove ključna je za razvoj novih spoznaja i teorija u humanističkim znanostima. Uloga informacijskih stručnjaka uključuje i digitalnu konzervaciju i očuvanje kulturne baštine. Kroz digitalizaciju i pohranu osjetljivih materijala, oni osiguravaju da povijesni dokumenti, artefakti i drugi važni kulturni objekti budu sačuvani za buduće generacije. Ovaj proces uključuje korištenje naprednih tehnologija za skeniranje i digitalizaciju te implementaciju sigurnosnih mjera za zaštitu digitalnih podataka. Informacijski stručnjaci kontinuirano rade na prilagodbi i unapređenju tehnologija kako bi odgovarali potrebama istraživača. Oni testiraju nove tehnologije, integriraju ih u postojeće sustave i prilagođavaju ih specifičnim zahtjevima projekata. Njihova sposobnost da brzo usvajaju nove tehnologije i prilagođavaju ih promjenjivim potrebama istraživača ključna je za napredak i inovacije u digitalnoj humanistici (Nicholson, 2005).

Kroz svoju svestranu ulogu, informacijski stručnjaci omogućuju da digitalna humanistika postigne svoj puni potencijal, pružajući tehničku podršku, osiguravajući etičku upotrebu podataka, promičući otvoreni pristup i inovacije te omogućujući učinkovitu analizu i interpretaciju podataka. Njihova stručnost i posvećenost ključni su za razvoj i uspjeh istraživačkih projekata u digitalnoj humanistici.

#### **4.1. Interdisciplinarne inovacije u digitalnoj arheologiji**

Istraživanje digitalnih alata u arheološkim studijama pokazalo se kao duboko intrigantan proces. Počevši od povijesti računalstva u arheološkim praksama pa sve do najnovijih inovacija u području digitalne forenzike, pregled literature otkrio je bogatstvo ideja i tehnologija koje su utkane u ovu znanstvenu disciplinu. Uzimajući u obzir različite aspekte istraživanja, od fotogrametrije do geoinformatike, istaknuti su ključni radovi koji su oblikovali razumijevanje kako tehnologija može revolucionirati način na koji pristupamo arheološkim nalazištima. Dok su neki istraživači naglašavali važnost preciznih laserskih skeniranja, drugi su isticali snagu geografskih informacijskih sustava u rekonstrukciji prošlosti. Kroz pažljivu analizu različitih pristupa, identificirani su ključne nedostatci i prednosti pojedinih alata te su kontekstualizirani unutar istraživačke svrhe. Pregled literature također je naglasio važnost interdisciplinarnog pristupa u istraživanju.

Digitalna arheologija je dinamično i interdisciplinarno polje koje integrira napredne tehnologije s tradicionalnim arheološkim metodama, odnosno, tehnologije kao što su 3D skeniranje i fotogrametrija, geografski informacijski sustavi, dronovi, digitalne baze podataka i softver za upravljanje podacima ( ArcGis, Qgis, Arches), računalna tomografija i rendgensko snimanje te mnoge druge. Pregled literature otkriva bogatstvo metoda i alata koji su ključni za suvremena arheološka istraživanja. Kroz analizu povijesnog razvoja digitalnih alata, od fotogrametrije do geoinformatike, možemo bolje razumjeti kako su tehnologije transformirale arheološku praksu, uključujući fotogrametriju, prostornu analizu i mapiranje, neinvazivne tehnike istraživanja kao što je LIDAR i geofizikalna skeniranja, vizualizaciju i rekonstrukciju te genetsku i biološku analizu. Kroz pažljivu analizu različitih digitalnih alata, identificirane su njihove prednosti i nedostaci. Na primjer, dok lasersko skeniranje pruža visoku preciznost, ono može biti skupo i zahtijevati specijaliziranu obuku. S druge strane, GIS nudi širok spektar primjena, ali zahtijeva visoku razinu stručnosti za pravilnu interpretaciju podataka. Iz pregleda literature možemo zaključiti da interdisciplinarni pristup i korištenje naprednih digitalnih alata značajno unapređuju arheološka istraživanja. Digitalna arheologija ne samo da omogućava preciznije i detaljnije rekonstrukcije prošlosti, već i otvara nove mogućnosti za suradnju među različitim znanstvenim disciplinama. Kroz integraciju novih tehnologija i metoda, moguće je postići dublje razumijevanje povijesnih konteksta i očuvati kulturnu baštinu za buduće generacije. Nastavljajući razvijati i implementirati ove tehnologije, istraživači mogu nadvladati mnoge izazove s kojima se suočavaju tradicionalne arheološke metode. Kroz kritičku evaluaciju i

kontinuirano prilagođavanje, digitalna arheologija će nastaviti igrati ključnu ulogu u modernom istraživačkom okruženju.

## 5. ISTRAŽIVANJE

Ovo istraživanje ima za cilj istražiti i analizirati upotrebu digitalnih alata u projektima digitalne humanistike, s posebnim naglaskom na digitalnu arheologiju i procese rekonstrukcije arheoloških nalazišta. U današnjem istraživačkom okruženju, digitalna tehnologija omogućava inovativne načine za analizu, prikaz i interpretaciju arheoloških podataka, što rezultira preciznijim i bogatijim rekonstrukcijama prošlosti. Istraživanje nastoji identificirati ključne digitalne alate korištene u ovim projektima, kao i razumjeti njihove specifične funkcionalnosti i prednosti. Stoga su u ovom poglavlju izdvojene četiri studije koje prikazuju dva digitalna alata koja se koriste u procesima digitalne humanistike i dvije različite uloge informacijskih stručnjaka u tom području.

Jedan od ciljeva istraživanja je mapiranje znanja i vještina potrebnih za učinkovitu primjenu ovih digitalnih alata. Razumijevanje interdisciplinarnih znanja koja obuhvaćaju arheologiju, informatiku, geografiju i srodne discipline ključno je za razvoj kompetencija potrebnih za uspješno vođenje digitalnih arheoloških projekata. Istraživanje će se također fokusirati na ulogu informacijskih stručnjaka u ovim projektima. Informacijski stručnjaci su ključni za upravljanje podacima, razvoj i implementaciju digitalnih sustava, te osiguranje integriteta i sigurnosti prikupljenih podataka. Cilj je detaljno analizirati kako njihova ekspertiza doprinosi uspjehu interdisciplinarnih timova i kako njihova znanja i vještine pridonose planiranju i provedbi projekata.

Kroz analizu postojećih praksi, studije slučaja i kritičku evaluaciju trenutnog stanja, nastojat će se identificirati najbolji pristup za unapređenje metodologija i praksi u digitalnoj arheologiji. Ovo istraživanje ima za cilj pružiti pregled trenutnih izazova i mogućnosti. Također će doprinijeti boljem razumijevanju složenosti i zahtjeva suvremenih digitalnih projekata u humanistici, čime se nastoji unaprijediti cjelokupna praksa i podići standardi kvalitete u rekonstrukciji arheoloških nalazišta, omogućujući bogatiju i točniju interpretaciju povijesti. U konačnici, cilj je stvoriti temelje za buduće interdisciplinarnu suradnju i inovacije koje će unaprijediti područje digitalne humanistike. Metodologija ovog istraživanja temelji se na studijama slučaja. Primjena studije slučaja omogućava analizu trenutnih praksi u području digitalne humanistike. Ova metoda omogućava istraživanje kako se različite vještine i znanja mogu integrirati u jedinstven i koherentan istraživački projekt. Kroz analizu specifičnih projekata, moguće je identificirati ključne faktore koji doprinose uspjehu ili neuspjehu u primjeni digitalnih tehnologija te predložiti smjernice za buduća istraživanja i prakse.

Istraživačka pitanja u ovom radu su postavljena kao sljedeća:

- Koji se digitalni alati koriste u projektima digitalne humanistike, odnosno digitalne arheologije, pri rekonstrukciji arheoloških nalazišta?
- Koja su znanja i vještine potrebne za korištenje digitalnih alata koji se koriste u rekonstrukciji arheoloških nalazišta?
- Koja je uloga informacijskih stručnjaka u projektima digitalne humanistike, odnosno digitalne arheologije, u kojima se koriste digitalni alati za rekonstrukciju arheoloških nalazišta?

Očekivani znanstveni doprinos ovog istraživanja leži u produbljivanju razumijevanja uloge digitalnih alata u arheološkim istraživanjima. Analizom specifičnih digitalnih alata i tehnika korištenih u rekonstrukciji arheoloških nalazišta, istraživanje će pružiti detaljan uvidu mogućnosti informacijskih stručnjaka u digitalnoj humanistici, te prikazati koje su to vještine potrebne za korištenje digitalnih alata. Kroz identifikaciju ograničenja i preporuka za buduća istraživanja, ovaj rad će pružiti smjernice za daljnje istraživanje u području primjene digitalnih alata u arheologiji te potaknuti interdisciplinarnu suradnju i razmjenu znanja između različitih stručnih područja. Time će doprinijeti napretku arheološke znanosti i razvoju novih metodoloških pristupa u istraživanju prošlosti i kulturnog naslijeđa.

## **5.1. Studije slučaja**

Odabrane studije slučaja izabrane su zbog svoje značajne primjene napredne digitalne tehnologije u arheološkom istraživanju i dokumentiranju kulturne baštine. Jedna od studija fokusira se na upotrebu bespilotnih letjelica (UAV) i fotogrametrijskih metoda za izradu trodimenzionalnih modela arheoloških lokaliteta, konkretno monumentalne grobnice, demonstrirajući kako takve tehnologije mogu unaprijediti dokumentaciju i očuvanje arheoloških nalazišta kroz precizne 3D modele koji omogućuju detaljnu analizu i planiranje restauracije. Druga studija odabrana je zbog svog doprinosa metodama istraživanja, dokumentiranja i očuvanja kulturno-pisane baštine. Fokusira se na konkretne primjene digitalnih alata u istraživanju i očuvanju rukopisa, pokazujući kako digitalizacija može poboljšati metode dokumentacije i analize u digitalnoj humanistici, posebno u kontekstu kulturno-pisane baštine. Treća studija odabrana je zbog inovativnih metoda za očuvanje i

prezentaciju kulturne baštine kroz primjenu imersivne virtualne stvarnosti (VR) i gamifikacije. Ova studija koristi ove tehnologije za angažiranje korisnika s kulturnom baštinom na interaktivan i edukativan način, posebno usredotočujući se na literarnu baštinu. Posljednja studija izabrana je zbog demonstracije kako digitalni alati mogu unaprijediti istraživanje i očuvanje kulturne baštine kroz multidisciplinarnu suradnju. Fokusira se na upotrebu naprednih digitalnih tehnologija za prikupljanje, organizaciju i prezentaciju podataka u kontekstu velike međunarodne enciklopedije posvećene važnom povijesnom razdoblju, pokazujući kako takva integracija može poboljšati razumijevanje i očuvanje povijesnih informacija.

### *5.1. UAV letjelica i fotogrametrijski softveri ContextCapture i Agisoft Metashape*

Studija slučaja koju su proveli Kanun i sur. (2021) istražuje upotrebu bespilotnih letjelica (UAV) i fotogrametrijskih metoda u arheologiji, s posebnim fokusom na izradu trodimenzionalnih modela arheoloških lokaliteta. Ova studija je odabrana zbog svoje relevantnosti u prikazivanju konkretne primjene napredne digitalne tehnologije u arheološkom istraživanju i dokumentiranju kulturne baštine. Studija konkretno istražuje upotrebu UAV fotogrametrije za izradu detaljnog 3D modela monumentalne grobnice Aba u Kanlıdivaneu, Turska, čime pruža primjer kako suvremene digitalne metode mogu unaprijediti procese dokumentacije i očuvanja arheoloških nalazišta.

Prvo istraživačko pitanje ovog istraživanja odnosi se na digitalne alate koji se koriste u digitalnoj arheologiji. Studija Kanuna i sur. odgovara na ovo pitanje kroz detaljan opis korištenja UAV tehnologije i softvera za fotogrametriju kao što su ContextCapture i Agisoft Metashape. Ovi alati omogućuju precizno snimanje i obradu podataka kako bi se stvorili visoko kvalitetni 3D modeli arheoloških nalazišta. Korištenje Parrot Anafi HDR drona s naprednim tehničkim karakteristikama ilustrira kako moderni digitalni alati mogu revolucionirati način na koji se arheološki podaci prikupljaju i analiziraju.

Drugo istraživačko pitanje istražuje znanja i vještine potrebne za korištenje digitalnih alata u arheologiji. Studija slučaja pokazuje važnost interdisciplinarnih znanja koja obuhvaćaju arheologiju, informatiku i fotogrametriju. Proces kao što su kalibracija kamere, aero triangulacija i analiza preklapanja modela zahtijevaju specifična tehnička znanja i vještine. Istraživanje prikazuje kako stručnjaci kombiniraju svoje znanje iz različitih područja kako bi postigli precizne rezultate u dokumentiranju i rekonstrukciji arheoloških lokaliteta.

Treće istraživačko pitanje odnosi se na ulogu informacijskih stručnjaka u projektima digitalne arheologije. Studija Kanuna i sur. naglašava važnost upravljanja podacima i obrade slika u računalnom okruženju, što je ključna uloga informacijskih stručnjaka. Njihova ekspertiza u radu s naprednim softverskim alatima za obradu podataka doprinosi stvaranju visokokvalitetnih 3D modela koji su esencijalni za buduće restauracijske projekte i daljnja istraživanja.

Kanun i sur. (2021) su istraživali upotrebu bespilotnih letjelica (engl. *Unmanned Aerial Vehicles*, UAV) i fotogrametrijskih metoda u arheologiji donijela je revoluciju u načinu na koji se kulturna baština dokumentira i čuva. Ova studija prikazuje primjenu UAV fotogrametrije za izradu trodimenzionalnih modela arheoloških lokaliteta, s posebnim naglaskom na monumentalnu grobnicu Aba u Kanlıdivaneu, Turska. Studija se sastojala od dvije faze: terenskog rada i rada u uredu. Terenski rad uključivao je dobivanje potrebnih dozvola za let bespilotnim letjelicama u regiji Kanlıdivane, određivanje visina leta i snimanje slika grobnice pomoću Parrot Anafi HDR drona. Ukupno je snimljena 101 slika koje su kasnije obrađene u softverima ContextCapture i Agisoft Metashape kako bi se stvorio detaljan 3D model grobnice. Korišteni dron, Parrot Anafi HDR, ima impresivne tehničke karakteristike koje omogućuju precizno snimanje. Dron može letjeti do 25 minuta s maksimalnom horizontalnom brzinom od 15 m/s i maksimalnom otpornošću na vjetar od 50 km/h. Kamera drona ima senzor 1/2.4'' CMOS i mogućnost digitalnog zumiranja do 3x, što omogućuje snimanje u visokoj rezoluciji od 21 MP.

Za visoku preciznost spajanja i preklapanja slika, kalibracija kamere je provedena u softveru ContextCapture. Nakon prikupljanja slika na terenu, podaci su preneseni u računalno okruženje gdje je započela obrada podataka.



Slika 5. 3D rekonstrukcija grobnice



Proces aero triangulacije rezultirao je s 45125 veznih točaka, a ukupno je detektirano 31719 ključnih točaka po slici. Nakon završetka terenskih i uredskih radova, dobiven je 3D solid model monumentalne grobnice Aba. Model je izrađen u stvarnoj veličini, omogućujući mjerenje duljina, površina i volumena. Zahvaljujući visokoj kvaliteti tekture modela, deformacije, pukotine i oštećenja na strukturi mogu se lako uočiti. Ovi podaci su ključni za buduće restauracijske projekte. Modeli dobiveni u softverima ContextCapture i Agisoft Metashape uspoređeni su u softveru Rhinoceros 7. Analiza preklapanja pokazala je da, iako su dimenzije modela vrlo bliske, algoritmi oba programa ne mogu proizvesti identične modele. Manja odstupanja u koordinatama značajno utječu na preklapanje modela. Upotreba UAV fotogrametrije u dokumentiranju arheoloških lokaliteta poput grobnice Aba u Kanlidivane pokazala se kao učinkovit alat za očuvanje kulturne baštine. Dobiveni 3D modeli omogućuju detaljnu analizu i precizno mjerenje, što je ključno za restauraciju i buduće istraživačke projekte. Ova tehnologija ne samo da olakšava dokumentaciju, već i doprinosi turističkoj promociji lokaliteta, čime se osigurava njegovo očuvanje za buduće generacije.

### *5.2. Uloga informacijskih stručnjaka u projektu digitalizacije glagoljskih rukopisa*

Tomić i Grzunov (2022) su primijenili postulate digitalne tehnologije na korištenje digitalnih alata u istraživanju pisane baštine na glagoljici u okviru humanističkih znanosti. Takav slijed predstavlja značajan napredak u metodama istraživanja, dokumentiranja i očuvanja hrvatske kulturno-pisane baštine. Ova studija je odabrana jer demonstrira konkretne primjene digitalnih alata u istraživanju i očuvanju kulturne baštine, te kako takvi alati mogu unaprijediti metode dokumentacije i analize u arheologiji. Ova studija slučaja prikazuje kako je projekt digitalizacije glagoljskih rukopisa iz zadarskog područja, proveden od strane Sveučilišta u Zadru u suradnji s Vestigia Institutom za istraživanje rukopisa Sveučilišta u Grazu, uspješno integrirao digitalne alate za unapređenje istraživanja i očuvanja kulturne baštine.

Odgovarajući na prvo istraživačko pitanje, studija Tomića i Grzunova prikazuje korištenje specifičnih digitalnih alata kao što su mobilni stalak za digitalizaciju, fotogrametrija, GIS, lasersko skeniranje (LiDAR), te dronovi. Ovi alati omogućuju detaljnu analizu i stvaranje

digitalnih kopija arheoloških rukopisa u visokoj rezoluciji, čime se osigurava njihova dostupnost široj javnosti i istraživačima. Konkretno, alati kao što su Voyant Tools, Recogito i DocMark koriste se za strojnu analizu, vizualizaciju teksta i kvantitativnu analizu digitaliziranih slika rukopisa.

Drugo istraživačko pitanje, koje se odnosi na potrebna znanja i vještine, jasno je adresirano kroz opis interdisciplinarnе suradnje u projektu. Studija naglašava važnost suradnje između humanističkih i informacijskih znanosti, gdje su informacijski stručnjaci radili na tehnološkim aspektima digitalizacije i izrade kataloga, dok su humanisti pružali ekspertizu u analizi i interpretaciji rukopisa. Studenti su također aktivno sudjelovali u projektu, stječući praktična znanja i vještine koje su ključne za buduće istraživačke projekte. Ovo pokazuje kako su interdisciplinarna znanja ključna za uspješno vođenje digitalnih arheoloških projekata.

Treće istraživačko pitanje istražuje ulogu informacijskih stručnjaka u digitalnoj arheologiji. Studija Tomića i Grzunov (2022) detaljno opisuje kako su informacijski stručnjaci bili ključni u razvoju i implementaciji digitalnih sustava za pohranu i organizaciju podataka. Njihova uloga uključuje osiguravanje pravilne organizacije i dugoročne pohrane podataka, kao i osiguranje etičke upotrebe tih podataka. Informacijski stručnjaci također su razvili politike i prakse koje osiguravaju zaštitu privatnosti, autorskih prava i drugih etičkih standarda. Kroz edukaciju i obuku drugih istraživača, oni su omogućili učinkovitu upotrebu digitalnih alata i promoviranje rezultata istraživanja.

Tomić i Grzunov (2022) su primijenili postulate digitalne tehnologije na korištenje digitalnih alata u istraživanju pisane baštine na glagoljici u okviru humanističkih znanosti. Ova studija slučaja prikazuje kako je projekt digitalizacije glagoljskih rukopisa iz zadarskog područja, proveden od strane Sveučilišta u Zadru u suradnji s Vestigia Institutom za istraživanje rukopisa Sveučilišta u Grazu, uspješno integrirao digitalne alate za unapređenje istraživanja i očuvanja kulturne baštine. Projekt "Pisana Baština" započeo je 2016. godine s ciljem digitalizacije, istraživanja i komunikacije pisane baštine, prvenstveno glagoljskih rukopisa iz zadarskog i šibenskog područja. Projekt je uključivao tri temeljna cilja:

1. Digitalizacija i komunikacija pisane baštine: Stvaranje digitalnih kopija glagoljskih rukopisa kako bi bili dostupni široj javnosti i istraživačima.
2. Istraživanje glagoljskih rukopisa: Korištenje suvremenih istraživačkih metoda i digitalnih alata za analizu rukopisa.

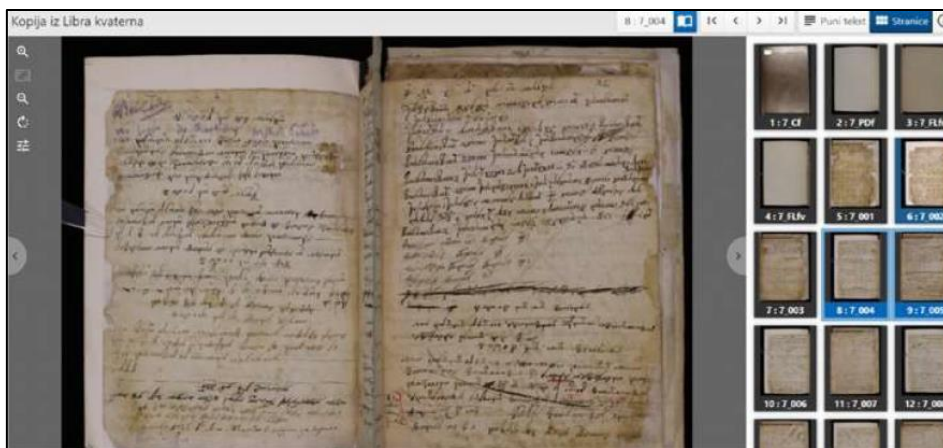
3. Uključivanje studenata: Aktivno uključivanje studenata svih razina studija u projektne aktivnosti, čime se podiže svijest o potrebi interdisciplinarnе suradnje.

Digitalizacija rukopisa (slika 6.) provodila se uz pomoć konzervatorski sigurnih metoda, koristeći mobilni stalak za digitalizaciju koji omogućuje minimalno rukovanje i osigurava očuvanje rukopisa. Rukopisi su skenirani u visokoj rezoluciji i pohranjeni u digitalni format. Posebna pažnja posvećena je zaštiti materijala od oštećenja, koristeći hladna svjetla i lasersku kontrolu kvalitete slika. Jedan od glavnih rezultata projekta je izrada online kataloga glagoljskih rukopisa. Katalog je izgrađen u skladu s međunarodnim standardima za opis građe, koristeći UNIMARC format za strojno čitljiv zapis. Ovaj katalog omogućuje pretraživanje i pregled rukopisa, pružajući istraživačima alat za detaljnu analizu.

U kontekstu ovog rada, informacijski stručnjaci su neophodni za razvoj i implementaciju digitalnih sustava za pohranu i organizaciju podataka. Rad se bavi primjenom tehnologija poput geografskih informacijskih sustava (GIS), fotogrametrije, laserskog skeniranja (LiDAR) i dronova, koje generiraju velike količine podataka. Informacijski stručnjaci osiguravaju da su ti podaci pravilno organizirani i dostupni istraživačima. Kroz stvaranje i održavanje digitalnih arhiva, oni omogućuju dugoročnu pohranu i pristup podacima, što je ključno za kontinuitet istraživanja i očuvanje kulturne baštine. Pored tehničkih aspekata, informacijski stručnjaci imaju važnu ulogu u osiguravanju etičke upotrebe podataka. U radu se naglašava potreba za odgovornim korištenjem digitalnih tehnologija kako bi se očuvala integritet i autentičnost arheoloških istraživanja. Informacijski stručnjaci razvijaju politike i prakse koje osiguravaju zaštitu privatnosti, autorskih prava i drugih etičkih standarda. Njihova stručnost omogućuje da se podaci koriste na način koji je u skladu s pravnim i etičkim normama, čime se štiti kulturna baština i osigurava odgovorno istraživanje. Također, informacijski stručnjaci igraju ključnu ulogu u edukaciji i obuci drugih istraživača i korisnika digitalnih alata. Kroz organiziranje radionica, seminara i drugih oblika edukacije, oni prenose svoje znanje i vještine na istraživače, čime povećavaju tehničku kompetenciju i omogućuju učinkovitu upotrebu digitalnih alata. Ovaj rad koristi napredne digitalne tehnologije, te je uloga informacijskih stručnjaka ključna u osiguravanju da istraživači mogu učinkovito koristiti ove tehnologije za prikupljanje i analizu podataka.

Konačno, informacijski stručnjaci doprinose promoviranju i diseminaciji rezultata istraživanja. Kroz razvoj digitalnih platformi za objavljivanje i dijeljenje istraživačkih rezultata, oni

osiguravaju da su rezultati dostupni široj javnosti i drugim istraživačima. U radu se naglašava važnost interdisciplinarne suradnje i otvorenog pristupa informacijama, a informacijski stručnjaci omogućuju da se ovi ciljevi postignu. Njihova uloga u razvoju digitalnih platformi omogućuje da rezultati istraživanja budu dostupni globalno, potičući daljnje istraživanje i suradnju. Ovaj rad jasno pokazuje koliko su informacijski stručnjaci nezamjenjivi u digitalnoj humanistici. Njihova tehnička podrška, osiguravanje etičke upotrebe podataka, edukacija istraživača i promoviranje rezultata istraživanja ključni su za napredak i uspjeh istraživačkih projekata. Kroz svoje različite uloge, informacijski stručnjaci omogućuju da se potencijal digitalnih tehnologija u potpunosti iskoristi, pridonoseći dubljem razumijevanju i očuvanju naše kulturne i povijesne baštine.



Slika 6. Pregled folija digitalne reprodukcije rukopisa na portalu Pisana Baština

Izvor: Tomić i Grzunov, 2022., str. 507.

Projekt je uključivao upotrebu nekoliko digitalnih alata za analizu i interpretaciju rukopisa:

- Voyant Tools: Alat za strojnu analizu i vizualizaciju teksta, koji omogućuje stvaranje konkordancija, oblaka riječi i drugih grafičkih prikaza.
- Recogito: Alat za označivanje teksta i povezivanje geografskih i drugih entiteta u tekstovima, omogućujući vizualizaciju podataka na kartama.
- DocMark: Alat za označivanje i kvantitativnu analizu digitaliziranih slika rukopisa.

Projekt je naglasio važnost suradnje između humanističkih i informacijskih znanosti. Informacijski stručnjaci su radili na tehnološkim aspektima digitalizacije i izrade kataloga, dok su humanisti pružali ekspertizu u analizi i interpretaciji rukopisa. Studenti su aktivno sudjelovali u projektu, stječući praktična znanja i vještine koje su ključne za buduće istraživačke projekte. Projekt "Pisana Baština" pokazuje kako digitalni alati mogu značajno unaprijediti istraživanje i očuvanje kulturne baštine. Integracija digitalnih tehnologija omogućila je detaljnu analizu i široku dostupnost glagoljskih rukopisa, dok je interdisciplinarna suradnja između humanističkih i informacijskih znanosti postavila temelje za daljnji razvoj digitalne humanistike. Uključivanje studenata u projektne aktivnosti osiguralo je prijenos znanja i vještina na nove generacije istraživača, čime se osigurava kontinuitet i daljnji napredak u ovom području.

### *5.3. Digitalni alat Unity Engine, Crowd Simulation i Gamifikacija u projektu "I-Ulysses"*

Studija slučaja O'Connora i sur. (2020) istražuje korištenje digitalnih alata u arheologiji kroz projekt "I-Ulysses", koji koristi imersivnu virtualnu stvarnost (VR) i gamifikaciju za poticanje angažmana s kulturnom baštinom. Ova studija je odabrana jer prikazuje inovativne metode za očuvanje i prezentaciju kulturne baštine, specifično usredotočene na irsku literarnu baštinu i roman "Ulysses" Jamesa Joycea. Odgovarajući na prvo istraživačko pitanje, studija O'Connora i sur. detaljno opisuje korištenje digitalnih alata kao što su Unity Engine za razvoj virtualnog okruženja, Crowd Simulation za stvaranje dinamičnog i povijesno uvjerljivog Dublina, te gamifikacijske elemente za povećanje angažmana korisnika. Ovi alati omogućuju stvaranje imersivnog iskustva koje korisnicima omogućuje istraživanje povijesnih i kulturnih aspekata Dublina iz 1904. godine, pružajući autentičan kontekst Joyceova djela.

Drugo istraživačko pitanje, koje se odnosi na potrebna znanja i vještine, jasno je adresirano kroz opis interdisciplinarne suradnje u projektu. Projekt "I-Ulysses" integrira stručnosti iz područja virtualne stvarnosti, gamifikacije, povijesti i književnosti. Razvoj virtualnog okruženja i simulacije gomile zahtijeva tehnička znanja u korištenju Unity Engine-a i programiranju simulacija, dok analiza i prezentacija Joyceova narativa zahtijeva duboko razumijevanje književnih tehnika i povijesnog konteksta. Ova interdisciplinarna suradnja omogućuje stvaranje sveobuhvatnog i edukativnog iskustva za korisnike.

Treće istraživačko pitanje istražuje ulogu informacijskih stručnjaka u digitalnoj arheologiji. Studija O'Connora i sur. naglašava važnost informacijskih stručnjaka u razvoju i implementaciji VR tehnologije i gamifikacije. Njihova stručnost omogućuje stvaranje interaktivnih narativa i zadataka koji potiču korisnike na istraživanje i učenje. Informacijski stručnjaci također su ključni u analiziranju povratnih informacija korisnika i optimizaciji dizajna igre kako bi se osigurali edukativni ciljevi.

O'Connor i sur. (2020) su pregledavali korištenje digitalnih alata u arheologiji donosi nove metode za očuvanje i prezentaciju kulturne baštine. Ova studija istražuje kako projekt "I-Ulysses" koristi imersivnu virtualnu stvarnost i gamifikaciju za poticanje angažmana s kulturnom baštinom, specifično usredotočen na irsku literarnu baštinu, koristeći roman "Ulysses" Jamesa Joycea kao osnovu za igru. Projekt "I-Ulysses" razvijen je s ciljem da edukativno angažira korisnike kroz virtualno iskustvo koje integrira narativne tehnike Joyceova romana. Ključni ciljevi projekta uključivali su:

- Edukaciju korisnika o narativnim tehnikama kroz VR iskustvo: Prikazivanje Joyceovih narativnih metoda u imersivnom okruženju.
- Korištenje VR tehnologije za očuvanje i prijenos kulturne baštine: Omogućavanje korisnicima da istražuju povijesne i kulturne aspekte Dublina iz 1904. godine.
- Gamifikacija za povećanje angažmana: Integracija igračkih elemenata kako bi se potaknuo veći interes i sudjelovanje korisnika.

Projekt je koristio nekoliko digitalnih alata i tehnologija za postizanje svojih ciljeva:

- Unity Engine: Korišten za razvoj virtualnog okruženja i simulaciju gomile ljudi, stvarajući autentično i interaktivno iskustvo za korisnike.
- Crowd Simulation: Implementacija simulacije gomile za stvaranje dinamičnog i uvjerljivog okruženja koje odražava povijesni kontekst Joyceova Dublina.
- Gamifikacija: Korištenje elemenata igre poput zadataka, bonus misija i interaktivnih narativa kako bi se potaknulo istraživanje i učenje.

"I-Ulysses" projekt omogućava korisnicima da urone u virtualni Dublin iz Joyceova romana, pružajući im priliku da istraže povijesni kontekst i kulturne aspekte grada. Korištenjem VR tehnologije, korisnici mogu prošetati ulicama Dublina, susresti likove iz romana i sudjelovati u

narativima koji su ključni za razumijevanje Joyceova djela. Projekt je također uključivao pedagoške elemente kako bi osigurao učinkovito učenje i prijenos znanja. Fokus grupe i povratne informacije korisnika korišteni su za poboljšanje dizajna igre i osiguranje da su edukativni ciljevi postignuti. Ključne pedagoške komponente uključivale su:

- Interaktivni narativi: Korisnici su mogli istraživati priče likova iz romana kroz interaktivne zadatke i misije, što je omogućilo dublje razumijevanje narativnih tehnika.
- Fokus na učenje kroz Igru: Gamifikacija je omogućila korisnicima da uče kroz igru, povećavajući angažman i motivaciju.
- Rezultati i Zaključci

Rezultati projekta "I-Ulysses" pokazali su da imersivna VR i gamifikacija mogu biti učinkoviti alati za edukaciju i očuvanje kulturne baštine. Korisnici su izrazili visok stupanj zadovoljstva i angažmana, a povratne informacije iz fokus grupa ukazale su na uspješno postizanje edukativnih ciljeva. Ova studija naglašava važnost korištenja suvremenih digitalnih alata u arheologiji i očuvanju kulturne baštine. Integracija VR tehnologije i gamifikacije može značajno unaprijediti iskustvo učenja i omogućiti širu dostupnost kulturnih i povijesnih informacija. Potencijal za daljnji razvoj i primjenu sličnih projekata je velik. Daljnje istraživanje i integracija novih tehnologija mogu dovesti do još veće učinkovitosti i angažmana u očuvanju i edukaciji o kulturnoj baštini. Projekti poput "I-Ulysses" postavljaju temelje za inovativne pristupe u digitalnoj humanistici i arheologiji, otvarajući nove mogućnosti za interaktivno učenje i očuvanje kulturnih blaga.

#### *5.4. Uloga informacijskih stručnjaka u projektu „1914-1918-online“*

Studija slučaja "1914-1918-online" prikazuje sveobuhvatnu međunarodnu enciklopediju posvećenu Prvom svjetskom ratu, koja koristi napredne digitalne tehnologije za prikupljanje, organizaciju i prezentaciju podataka. Ova studija je odabrana jer demonstrira kako digitalni alati mogu značajno unaprijediti istraživanje i očuvanje kulturne baštine kroz multidisciplinarnu suradnju.

Odgovarajući na prvo istraživačko pitanje, studija prikazuje korištenje različitih digitalnih alata za integraciju tekstualnih, vizualnih i kartografskih podataka. Korištenjem digitalne platforme, projekt omogućuje korisnicima pristup člancima, kartama, slikama i drugim izvorima koji detaljno prikazuju različite aspekte Prvog svjetskog rata. Ova integracija različitih tipova podataka stvara bogatu i interaktivnu bazu podataka, čime se poboljšava razumijevanje povijesnih događaja.

Drugo istraživačko pitanje, koje se odnosi na potrebna znanja i vještine, jasno je adresirano kroz opis multidisciplinarnе suradnje u projektu. Više od tisuću stručnjaka iz cijelog svijeta, uključujući povjesničare, arhiviste, bibliotekare i informacijske stručnjake, sudjeluje u projektu. Ova suradnja omogućuje kombiniranje različitih perspektiva i metoda kako bi se stvorio sveobuhvatan prikaz Prvog svjetskog rata. Informacijski stručnjaci igraju ključnu ulogu u koordinaciji i organizaciji podataka, osiguravajući da su informacije lako dostupne i pouzdane.

Treće istraživačko pitanje istražuje ulogu informacijskih stručnjaka u digitalnoj arheologiji i humanistici. Studija naglašava višeslojnu ulogu ovih stručnjaka u upravljanju podacima, razvoju digitalnih sustava, osiguravanju etičkih standarda i pružanju podrške istraživačima i korisnicima. Njihova uloga uključuje organizaciju, pohranu i indeksiranje tekstualnih, vizualnih i multimedijalnih sadržaja. Također, informacijski stručnjaci razvijaju korisnička sučelja koja su intuitivna i jednostavna za korištenje, omogućujući korisnicima da lako navigiraju kroz sadržaje enciklopedije.

Projekt "1914-1918-online" predstavlja sveobuhvatnu, međunarodnu enciklopediju posvećenu Prvom svjetskom ratu. Ova enciklopedija je primjer upotrebe digitalnih tehnologija i suradnje u okviru digitalne humanistike, omogućujući multidisciplinarno istraživanje i pristup bogatom izvoru znanja o jednom od najvažnijih događaja u svjetskoj povijesti. Projekt koristi napredne digitalne tehnologije za prikupljanje, organizaciju i prezentaciju podataka. Digitalna platforma omogućava korisnicima pristup člancima, kartama, slikama i drugim izvorima koji detaljno prikazuju različite aspekte Prvog svjetskog rata. Korištenje digitalnih alata omogućuje integraciju različitih tipova podataka, kao što su tekstualni, vizualni i kartografski, čime se stvara bogata i interaktivna baza podataka. "1914-1918-online" je rezultat suradnje više od tisuću stručnjaka iz cijelog svijeta, uključujući povjesničare, arhiviste, bibliotekare i informacijske stručnjake. Ova suradnja omogućava multidisciplinarni pristup istraživanju, kombinirajući različite perspektive i metode kako bi se stvorio sveobuhvatan prikaz rata. Informacijski stručnjaci igraju ključnu ulogu u koordinaciji i organizaciji podataka, osiguravajući da su informacije lako dostupne i pouzdane (1914-1918 online, 2024.).



Jedna od glavnih značajki projekta je otvoreni pristup. Svi članci i resursi su besplatno dostupni putem interneta, čime se potiče široka diseminacija znanja i omogućuje pristup istraživačima, studentima i široj javnosti. Ova pristupačnost promovira daljnje istraživanje i obrazovanje, omogućujući korisnicima diljem svijeta da istraže povijest Prvog svjetskog rata na nov i interaktivan način. Enciklopedija obuhvaća različite aspekte Prvog svjetskog rata, uključujući vojne, političke, društvene i kulturne dimenzije. Korištenjem multidisciplinarnog pristupa, projekt pruža sveobuhvatan pogled na rat, uključujući manje poznate aspekte kao što su uloga žena, kolonijalna iskustva i utjecaj rata na različite društvene skupine. Ova široka perspektiva omogućuje dublje razumijevanje kompleksnosti i utjecaja rata na globalnoj razini. Projekt "1914-1918-online" je odličan primjer kako digitalne tehnologije i međunarodna suradnja mogu unaprijediti istraživanje i obrazovanje u okviru digitalne humanistike. Kroz integraciju različitih izvora i pristupa, ovaj projekt omogućava sveobuhvatan i interaktivan pristup povijesti Prvog svjetskog rata, čime se potiče daljnje istraživanje i razumijevanje ovog ključnog perioda u svjetskoj povijesti.

Informacijski stručnjaci imaju ključnu ulogu u uspjehu i održavanju projekta "1914-1918-online", međunarodne enciklopedije posvećene Prvom svjetskom ratu. Njihova uloga je višeslojna i obuhvaća različite aspekte upravljanja podacima, razvoja digitalnih sustava, osiguravanja etičkih standarda te podrške istraživačima i korisnicima. Jedna od najvažnijih zadaća informacijskih stručnjaka u ovom projektu je upravljanje velikim količinama podataka koje enciklopedija obuhvaća. To uključuje organizaciju, pohranu i indeksiranje tekstualnih, vizualnih i multimedijalnih sadržaja. Informacijski stručnjaci razvijaju i održavaju baze podataka te osiguravaju da su podaci strukturirani na način koji omogućuje jednostavan i učinkovit pristup. Kroz korištenje naprednih alata za pretraživanje i filtriranje, oni omogućuju korisnicima da brzo pronađu relevantne informacije unutar ogromne količine dostupnih podataka. Informacijski stručnjaci su ključni u razvoju i implementaciji digitalnih alata i platformi koje omogućuju pristup enciklopediji. Oni rade na dizajnu korisničkih sučelja koja su intuitivna i jednostavna za korištenje, čime se osigurava da korisnici mogu lako navigirati kroz sadržaje enciklopedije. Također, odgovorni su za integraciju različitih digitalnih tehnologija, kao što su GIS sustavi za prikazivanje kartografskih podataka, te napredne metode za vizualizaciju povijesnih podataka. Kroz ove alate, korisnici mogu interaktivno istraživati povijesne događaje i geografske podatke, čime se obogaćuje njihovo iskustvo i razumijevanje Prvog svjetskog rata.

Informacijski stručnjaci također igraju ključnu ulogu u osiguravanju etičkih standarda i pravne usklađenosti projekta. Oni razvijaju politike i procedure koje osiguravaju zaštitu privatnosti i autorskih prava, te se brinu o etičkoj uporabi podataka. U projektu poput "1914-1918-online", koji obuhvaća osjetljive povijesne podatke i materijale, ova uloga je izuzetno važna. Informacijski stručnjaci osiguravaju da su svi podaci korišteni na način koji je u skladu s pravnim i etičkim normama, čime se štiti integritet projekta i povjerenje korisnika. Edukacija i podrška korisnicima još je jedna važna uloga informacijskih stručnjaka u projektu. Oni organiziraju radionice, seminare i druge oblike obuke kako bi istraživačima i korisnicima prenijeli potrebne vještine za korištenje digitalnih alata i sustava. Kroz ovu edukaciju, istraživači stječu tehničku kompetenciju koja im omogućuje učinkovito korištenje digitalnih resursa za svoja istraživanja. Informacijski stručnjaci također pružaju stalnu tehničku podršku, pomažući korisnicima u rješavanju problema i optimizaciji korištenja digitalnih platformi.

Informacijski stručnjaci djeluju kao poveznica između različitih znanstvenih disciplina koje sudjeluju u projektu. Njihova sposobnost da razumiju specifične potrebe istraživača iz različitih područja i da razviju rješenja koja odgovaraju tim potrebama ključna je za uspjeh projekta. Kroz integraciju različitih tehnologija i metoda, oni omogućuju stvaranje inovativnih pristupa istraživanju i prezentaciji povijesnih podataka. Ova interdisciplinarna suradnja potiče inovacije i omogućuje dublje razumijevanje kompleksnih povijesnih fenomena. Uloga informacijskih stručnjaka u projektu "1914-1918-online" je od vitalnog značaja. Njihova stručnost u upravljanju podacima, razvoju digitalnih alata, osiguravanju etičkih standarda i podršci korisnicima omogućuje da enciklopedija bude pouzdan, pristupačan i koristan resurs za istraživače i širu javnost. Kroz njihov rad, projekt ne samo da unapređuje razumijevanje Prvog svjetskog rata, već također predstavlja model za buduće digitalne projekte u humanističkim znanostima.

## 6. RASPRAVA

Korištenje digitalnih alata u arheološkoj humanistici značajno je transformiralo način na koji se istraživanja provode, podaci analiziraju i rezultati prezentiraju. Digitalni alati omogućuju arheolozima da učinkovitije prikupljaju, obrađuju i interpretiraju podatke, čineći ih dostupnima široj zajednici istraživača i javnosti. Ovi alati donose nove mogućnosti za istraživanje, dokumentiranje i očuvanje arheoloških nalazišta, kao i za integraciju multidisciplinarnih pristupa. Odabrane studije slučaja u ovom radu ilustriraju primjenu digitalnih alata u arheološkim istraživanjima i naglašavaju ulogu informacijskih stručnjaka u tim procesima. Studije slučaja pružaju konkretne primjere kako digitalne tehnologije unapređuju arheološka istraživanja, te kako informacijski stručnjaci doprinose razvoju i implementaciji tih tehnologija.

U prvoj studiji slučaja, GIS se koristi za stvaranje slojevitih karata koje prikazuju topografske, hidrološke i vegetacijske karakteristike lokaliteta. Korištenje GIS-a omogućuje analizu prostornih odnosa i prepoznavanje obrazaca u distribuciji artefakata. Informacijski stručnjaci igraju ključnu ulogu u razvoju i održavanju GIS sustava, osiguravajući da su podaci pravilno strukturirani i lako dostupni istraživačima. Kroz ovu studiju, informacijski stručnjaci mogu vidjeti kako se podaci o topografiji, hidrološkim i vegetacijskim karakteristikama moraju pažljivo prikupljati, unositi i organizirati unutar GIS sustava kako bi bili korisni za istraživače. Ovi podaci, kada su pravilno strukturirani, omogućuju slojevitu analizu koja može otkriti prostorne odnose i obrasce distribucije artefakata, pružajući dublji uvid u povijesne i kulturne kontekste istraživanih lokaliteta. Informacijski stručnjaci uče o tehnikama održavanja i ažuriranja GIS sustava. U brzo razvijajućem polju poput digitalne humanistike, podaci se stalno prikupljaju i ažuriraju, što zahtijeva sustav koji može brzo i učinkovito obraditi ove promjene. Kroz studiju, stručnjaci uče o implementaciji najboljih praksi za održavanje podataka, uključujući redovite provjere kvalitete, sigurnosne kopije i protokole za ažuriranje. Ovi procesi osiguravaju da podaci ostanu točni i pouzdani, što je ključno za dugoročno istraživanje i očuvanje. Studija pruža uvid u interdisciplinarnu suradnju koja je ključna za uspješno upravljanje GIS sustavima. Informacijski stručnjaci uče kako raditi u timovima koji uključuju arheologe, geografe, ekološke znanstvenike i druge stručnjake. Ova suradnja je vitalna za integraciju različitih tipova podataka i osiguranje da GIS sustav može odgovoriti na specifične potrebe istraživača iz različitih disciplina. Razumijevanje kako učinkovito komunicirati i surađivati s drugim stručnjacima pomaže informacijskim stručnjacima da bolje podrže istraživačke projekte i doprinesu njihovom uspjehu.

Druga studija slučaja fokusira se na korištenje fotogrametrije i 3D modeliranja za stvaranje trodimenzionalnih rekonstrukcija arheoloških lokaliteta. Informacijski stručnjaci koriste svoje tehničke vještine za obradu fotografija snimljenih iz različitih kutova i izradu detaljnih 3D modela. Ovi modeli omogućuju arheolozima da detaljno proučavaju arhitektonske strukture i konstrukcijske tehnike drevnih zajednica. Osim tehničkih vještina, informacijski stručnjaci mogu steći duboko razumijevanje metodologije stvaranja detaljnih 3D modela iz dvodimenzionalnih slika. Ovi modeli nisu samo vizualni prikazi; oni su bogati izvori podataka koji mogu pružiti precizne mjere i analize arhitektonskih struktura. Stručnjaci uče kako koristiti softverske alate za poravnanje i spajanje fotografija, generiranje mreža i modela kako bi se postigla visoka razina detalja i točnosti. Ovi procesi zahtijevaju temeljito poznavanje algoritama koji stoje iza fotogrametrijskih softvera, kao i sposobnost prilagodbe parametara kako bi se postigli optimalni rezultati.

Informacijski stručnjaci imaju ključnu ulogu u svakom aspektu digitalne arheologije. Njihove zadaće uključuju:

- Upravljanje podacima: Razvoj i održavanje baza podataka koje omogućuju učinkovito pohranjivanje i pretraživanje velikih količina arheoloških podataka.
- Razvoj digitalnih alata: Korištenje svojih tehničkih vještina za razvoj i implementaciju digitalnih alata i platformi koje omogućuju pristup i analizu podataka.
- Edukacija i podrška: Organiziranje radionica i seminara za obuku arheologa u korištenju digitalnih alata, te pružanje stalne tehničke podrške.

Etika i zaštita podataka: Razvoj politika i procedura za osiguranje zaštite privatnosti i autorskih prava, te osiguravanje etičkog korištenja digitalnih resursa.

Analiza odabranih studija slučaja pokazuje da digitalne tehnologije značajno unapređuju arheološka istraživanja, dok uloga informacijskih stručnjaka ostaje ključna u osiguravanju uspješne implementacije i korištenja tih tehnologija. Kroz svoje vještine i znanja, informacijski stručnjaci omogućuju da digitalna arheologija postigne svoj puni potencijal, pridonoseći dubljem razumijevanju i očuvanju kulturne baštine za buduće generacije.

Na temelju dostupnog pregleda literature i konstruktivne rasprave, moguće je odgovoriti na postavljena istraživačka pitanja:

1. Koji se digitalni alati koriste u projektima u digitalnoj humanistici, odnosno digitalnoj arheologiji, pri rekonstrukciji arheoloških nalazišta?

U kontekstu rekonstrukcije arheoloških nalazišta unutar digitalne humanistike i digitalne arheologije, koristi se širok spektar digitalnih alata koji omogućuju precizno mapiranje, analizu i vizualizaciju podataka. Ovi alati omogućuju istraživačima ne samo da rekonstruiraju fizički izgled nalazišta, već i da bolje razumiju kulturne i društvene aspekte drevnih zajednica. Za takva istraživanja uspješno se koriste fotogrametrija i tehnologije 3D skeniranja, geografski informacijski sustavi, aplikacije virtualne stvarnosti i proširene stvarnosti, računalno modeliranje i simulacija, digitalna dokumentacija, dronovi i zračno snimanje, softver za vizualizaciju podataka, UAV letjelice, digitalni čitači i brojni drugi alati.

2. Koja su znanja i vještine potrebne za korištenje digitalnih alata koji se koriste u rekonstrukciji arheoloških nalazišta?

Korištenje digitalnih alata u arheološkoj humanistici zahtijeva niz specifičnih znanja i vještina koje su ključne za učinkovitu primjenu tehnologije u rekonstrukciji arheoloških nalazišta. Ova znanja obuhvaćaju tehničke kompetencije, analitičke sposobnosti, interdisciplinarne vještine te kritičko razmišljanje i etička razmatranja. Kroz ove široke pasuse, istražimo detaljno koja su znanja i vještine potrebne za korištenje digitalnih alata u digitalnoj arheologiji. Analitičke vještine i sposobnost statističke obrade podataka su također ključne. Arheolozi trebaju imati osnovno znanje programiranja, posebno u jezicima kao što su Python i R, koji se često koriste za analizu podataka. Ovi alati omogućuju izradu skripti za automatizaciju procesa, statističku analizu podataka te primjenu machine learning algoritama za prepoznavanje obrazaca u arheološkim podacima. Analiza podataka uključuje kvantitativne metode koje pomažu u razumijevanju distribucije artefakata, socijalnih i ekonomskih aspekata prošlih zajednica te identifikaciji novih nalazišta. Digitalna dokumentacija i upravljanje bazama podataka su ključni aspekti u očuvanju i dijeljenju arheoloških podataka. Arheolozi trebaju biti vješti u radu s digitalnim bazama podataka kao što je Arches Project, koje omogućuju strukturiranje, pohranu i pretraživanje velikih količina podataka. Znanje o standardizaciji podataka i metapodataka je važno za osiguranje interoperabilnosti i dugoročne dostupnosti informacija. Digitalna dokumentacija uključuje organizaciju tekstualnih podataka, slika, crteža i 3D modela, što omogućuje lakši pristup i dijeljenje podataka među istraživačima. Interdisciplinarne i komunikacijske vještine su ključne za uspjeh u digitalnoj arheologiji. Rad u multidisciplinarnim

timovima zahtijeva učinkovitu komunikaciju, koordinaciju projekata i zajedničko rješavanje problema. Arheolozi trebaju biti sposobni surađivati s povjesničarima, geografima, računalnim znanstvenicima i drugim stručnjacima. Osim toga, prezentacijske vještine su važne za dijeljenje rezultata istraživanja kroz akademske publikacije, interaktivne izložbe i javne prezentacije. Kritičko razmišljanje i etička razmatranja također igraju važnu ulogu u korištenju digitalnih alata u arheologiji. Arheolozi trebaju imati sposobnost kritičke evaluacije tehnologija, prepoznavanja njihovih ograničenja i potencijalnih utjecaja na interpretaciju podataka. Etička pitanja vezana uz digitalizaciju kulturne baštine, uključujući privatnost, vlasnička prava i kulturnu osjetljivost, moraju biti pažljivo razmotrena kako bi se osigurala odgovorna i etički ispravna praksa.

3. Koja je uloga informacijskih stručnjaka u projektima u digitalnoj humanistici, odnosno digitalnoj arheologiji, u kojima se koriste digitalni alati za rekonstrukciju arheoloških nalazišta?

Informacijski stručnjaci igraju ključnu ulogu u projektima digitalne humanistike i digitalne arheologije, posebno kada se koriste digitalni alati za rekonstrukciju arheoloških nalazišta. Njihova stručnost obuhvaća niz tehničkih, analitičkih i organizacijskih vještina koje su ključne za uspješnu primjenu i upravljanje digitalnim alatima i tehnologijama u ovim interdisciplinarnim projektima. U nastavku, kroz široke pasuse, istražimo detaljno koja je uloga informacijskih stručnjaka u ovim projektima. Prije svega, informacijski stručnjaci su vitalni za upravljanje i organizaciju podataka. Digitalni alati u arheologiji generiraju ogromne količine podataka, uključujući tekstualne zapise, slike, 3D modele i geografske informacije. Informacijski stručnjaci posjeduju vještine potrebne za strukturiranje, pohranu i pretraživanje ovih podataka u digitalnim bazama podataka. Oni koriste specijalizirane softvere i alate za upravljanje podacima kao što je Arches Project, koji omogućuje standardizaciju podataka i osigurava njihovu interoperabilnost. Ovo je ključno za održavanje kvalitete podataka i omogućavanje njihovog dugoročnog očuvanja i pristupa istraživačima.

Uloga informacijskih stručnjaka također uključuje razvoj i održavanje digitalnih modela i vizualizacija. Koristeći tehnologije poput fotogrametrije i laserskog skeniranja (LiDAR), informacijski stručnjaci pomažu u stvaranju detaljnih trodimenzionalnih modela arheoloških nalazišta. Oni koriste softvere kao što su Blender, MeshLab i Agisoft Metashape za kreiranje i manipulaciju 3D modela. Ovi modeli omogućuju arheolozima detaljnu analizu struktura,

planiranje konzervatorskih radova te stvaranje virtualnih rekonstrukcija koje se mogu koristiti za edukativne svrhe i popularizaciju arheologije. Analitičke vještine informacijskih stručnjaka su od ključne važnosti za statističku obradu i interpretaciju podataka. Korištenje programskih jezika poput Pythona i R-a omogućuje im izradu skripti za automatizaciju procesa, statističku analizu podataka te primjenu machine learning algoritama za prepoznavanje obrazaca u arheološkim podacima. Ove analize pomažu arheolozima u razumijevanju distribucije artefakata, socijalnih i ekonomskih aspekata prošlih zajednica te u predikciji novih nalazišta.

Moguća ograničenja ovog istraživanja uključuju oslabljen pristup digitalnim alatima, jer neki od njih možda nisu dostupni ili nisu dovoljno poznati istraživačima. Tehnička ograničenja su također važna, jer korištenje digitalnih alata zahtijeva specifične tehničke vještine i opremu, a problemi poput nedostupnosti ili nefunkcionalnosti softvera ili hardvera mogu značajno ometati istraživanje. Kvaliteta podataka može biti varijabilna, što utječe na točnost i pouzdanost rezultata. Subjektivnost interpretacije predstavlja još jedan izazov, budući da interpretacija digitalnih rekonstrukcija može ovisiti o individualnom iskustvu, znanju i pretpostavkama istraživača. Etička pitanja su također važna, jer korištenje digitalnih alata može postaviti pitanja o privatnosti, zaštiti kulturne baštine i odnosu prema lokalnim zajednicama. Nadalje, vremenska ograničenja i ograničenja resursa mogu utjecati na opseg istraživanja i detaljnost analize. Konačno, interdisciplinarni pristup koji zahtijeva suradnju s različitim stručnjacima može biti izazovan zbog razlika u stručnim terminima i metodologijama rada. Sve ove čimbenike važno je uzeti u obzir prilikom planiranja i provođenja istraživanja o ulozi digitalnih alata u arheološkim istraživanjima. Za buduća istraživanja u području primjene digitalnih alata u arheološkim istraživanjima, preporuke uključuju proširenje opsega istraživanja kako bi se bolje razumjela raznolikost digitalnih alata i tehnika te njihov potencijal. Opsežnija analiza utjecaja digitalnih alata na točnost, detaljnost i interpretaciju rekonstrukcija arheoloških nalazišta također je ključna za daljnji napredak u području. Standardizacija metodologija za korištenje digitalnih alata može olakšati usporedbu rezultata i promicati dosljednost u pristupu.

Nadalje, potrebno je poticati interdisciplinarnu suradnju između arheologa, informatičara, geoinformatičara i drugih stručnjaka radi razvoja integriranih metoda koje maksimiziraju potencijal digitalnih alata. Krićka refleksija o etičkim pitanjima, uključujući zaštitu privatnosti, kulturnu osjetljivost i odnos prema lokalnim zajednicama, važna je za osiguranje odgovornog korištenja tehnologije. Također, ulaganje u obuku i edukaciju arheologa i istraživača o primjeni digitalnih alata ključno je za njihovu kompetenciju i učinkovitu primjenu u praksi. Konačno, kontinuirano praćenje tehnološkog napretka i integracija najnovijih

tehnologija u arheološka istraživanja osigurat će da se iskoriste sve mogućnosti koje digitalni alati pružaju u proučavanju prošlosti.



## 7. ZAKLJUČAK

Korištenje digitalnih alata u arheologiji značajno je unaprijedilo sposobnost istraživača da analiziraju, dokumentiraju i interpretiraju arheološke nalaze. Digitalni alati omogućuju preciznije rekonstrukcije, poboljšavaju dostupnost podataka te olakšavaju interdisciplinarnu suradnju. Ovaj zaključak analizira ključne aspekte i prednosti korištenja digitalnih alata u rekonstrukciji arheoloških lokaliteta, naglašavajući njihovu važnost za budućnost arheoloških istraživanja. Jedna od najznačajnijih prednosti digitalnih alata u arheologiji je njihova sposobnost da pruže detaljne i precizne podatke o arheološkim lokalitetima. Korištenje tehnologija kao što su fotogrametrija, lasersko skeniranje (LiDAR) i GIS omogućuje istraživačima da stvore trodimenzionalne modele nalazišta koji pružaju bogate informacije o topografiji, arhitektonskim strukturama i prostornim odnosima. Ovi 3D modeli omogućuju arheolozima da analiziraju strukture na način koji nije moguć tradicionalnim metodama iskopavanja. Primjerice, lasersko skeniranje može otkriti skrivene strukture ispod guste vegetacije ili slojeva zemlje, pružajući uvid u konfiguraciju nalazišta bez potrebe za opsežnim iskopavanjima. GIS igraju ključnu ulogu u organizaciji i analizi prostornih podataka. GIS omogućuje arheolozima da mapiraju distribuciju artefakata, analiziraju promjene u korištenju prostora kroz vrijeme i integriraju različite izvore podataka u jedinstven sustav. Kroz GIS, istraživači mogu stvarati slojevite karte koje prikazuju topografske, hidrološke i vegetacijske karakteristike nalazišta, omogućujući sveobuhvatnu analizu prostora. Ovi podaci mogu se koristiti za prepoznavanje obrazaca u distribuciji artefakata, identificiranje potencijalnih mjesta iskopavanja te planiranje konzervatorskih radova.

Ovo istraživanje imalo je za cilj temeljito ispitati i evaluirati upotrebu digitalnih alata u projektima digitalne humanistike, s posebnim naglaskom na digitalnu arheologiju i procese rekonstrukcije arheoloških nalazišta. U današnjem istraživačkom okruženju, digitalna tehnologija omogućavala je inovativne načine za analizu, prikaz i interpretaciju arheoloških podataka, što je rezultiralo preciznijim i bogatijim rekonstrukcijama prošlosti. Istraživanje je nastojalo identificirati ključne digitalne alate korištene u ovim projektima, kao i razumjeti njihove specifične funkcionalnosti i prednosti.

Studija slučaja koju su proveli Kanun i sur. (2021) istraživala je upotrebu bespilotnih letjelica (UAV) i fotogrametrijskih metoda u arheologiji. Ova studija prikazala je primjenu UAV fotogrametrije za izradu detaljnih 3D modela arheoloških lokaliteta, s posebnim naglaskom na monumentalnu grobnicu Aba u Kanlıdivaneu, Turska. Studija je pokazala kako moderni

digitalni alati mogu revolucionirati način na koji se arheološki podaci prikupljaju i analiziraju. Korištenje softvera kao što su ContextCapture i Agisoft Metashape omogućilo je precizno snimanje i obradu podataka kako bi se stvorili visoko kvalitetni 3D modeli, što je bilo ključno za buduće restauracijske projekte.

Studija slučaja koju su proveli Tomić i Grzunov (2022) prikazivala je značajan napredak u korištenju digitalnih tehnologija, odnosno digitalnih alata u istraživanju pisane baštine na glagoljici u okviru humanističkih znanosti. Projekt "Pisana Baština" pokazao je kako integracija digitalnih alata može unaprijediti metode istraživanja i očuvanja kulturne baštine. Korištenje alata kao što su Voyant Tools, Recogito i DocMark omogućilo je detaljnu analizu i stvaranje digitalnih kopija rukopisa u visokoj rezoluciji, čime su postali dostupni široj javnosti i istraživačima. Studija je naglasila važnost interdisciplinarnе suradnje između humanističkih i informacijskih znanosti.

Studija slučaja O'Connora i sur. (2020) istraživala je korištenje digitalnih alata u arheologiji kroz projekt "I-Ulysses". Ovaj projekt koristio je imersivnu virtualnu stvarnost (VR) i gamifikaciju za poticanje angažmana s kulturnom baštinom, specifično usredotočen na irsku literarnu baštinu i roman "Ulysses" Jamesa Joycea. Studija je pokazala kako VR tehnologija i gamifikacija mogu značajno unaprijediti iskustvo učenja i omogućiti širu dostupnost kulturnih i povijesnih informacija. Korištenje Unity Engine-a za razvoj virtualnog okruženja i Crowd Simulation-a za stvaranje dinamičnog Dublina iz 1904. godine, pružilo je korisnicima autentično i interaktivno iskustvo.

Studija slučaja "1914-1918-online" prikazivala je međunarodnu enciklopediju posvećenu Prvom svjetskom ratu, koja je koristila napredne digitalne tehnologije za prikupljanje, organizaciju i prezentaciju podataka. Ova studija je demonstrirala kako digitalni alati mogu unaprijediti istraživanje i očuvanje kulturne baštine kroz multidisciplinarnu suradnju. Projekt je omogućio integraciju različitih tipova podataka, stvarajući bogatu i interaktivnu bazu podataka dostupnu široj javnosti i istraživačima. Studija je naglasila važnost otvorenog pristupa i suradnje među više od tisuću stručnjaka iz cijelog svijeta.

Sve četiri studije slučaja naglašavale su ključnu ulogu informacijskih stručnjaka u uspjehu digitalnih humanističkih projekata. Informacijski stručnjaci bili su neophodni za razvoj i implementaciju digitalnih sustava, osiguranje integriteta i sigurnosti podataka, te pružanje tehničke podrške istraživačima. Njihova stručnost omogućila je stvaranje visokokvalitetnih digitalnih modela, učinkovitu organizaciju i pohranu podataka, te osiguranje etičke upotrebe

podataka. Edukacija i obuka drugih istraživača također je bila ključna, omogućujući učinkovitu upotrebu digitalnih alata i promoviranje rezultata istraživanja. Kroz svoj rad, informacijski stručnjaci omogućili su da se potencijal digitalnih tehnologija u potpunosti iskoristi, pridonoseći dubljem razumijevanju i očuvanju kulturne i povijesne baštine.

## POPIS LITERATURE

1. Anichini, F., Banterle, F., Buxeda i Garrigós, J., Callieri, M., Dershowitz, N., Dubbini, N., Zallocco, M. (2020). Developing the ArchAIDE application: a digital workflow for identifying, organising and sharing archaeological pottery using automated image recognition. *Internet Archaeology*, 2020, num. 52.
2. Al-Baghdadi, M. A. S. (2017). 3D printing and 3D scanning of our ancient history: Preservation and protection of our cultural heritage and identity. *International Journal of Energy and Environment*, 8(5), 441-456.
3. Anichini, F., & Gattiglia, G. (2020). The ArchAIDE Archive: The open-data policy and management of material covered by copyright. *ArcheoFOSS XIV*, 101-107.
4. Aniwaa. (2024). 3D Scanning (online). Dostupno na: <https://www.aniwaa.com/guide/3d-printers/3d-printing-for-archeology-and-museology/>. Datum pristupa: 1. 5. 2024.
5. Apollonio, F. I., Benedetti, B., Gaiani, M., & Baldissini, S. (2011). Construction, management and visualization of 3D models of large archeological and architectural sites for e-Heritage GIS systems.
6. Arias, V. (2013). Application of GIS and spatial data modeling to archaeology: a case study in the American Southwest.
7. Ash, H. J. M. (2023). Experiencing the past: experiential mediums in digital public archaeology (Doctoral dissertation, Northern Arizona University).
8. Berger, C., & Mahdavi, A. (2021). Approaching the human dimension of building performance via agent-based modeling. In *ECPPM 2021-eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction* (pp. 171-176). CRC Press.
9. Binford, L. R. (2017). Archeological perspectives. In *Archeology in Cultural Systems* (pp. 5-27). Routledge.
10. Bradley, J. (2019). Digital tools in the humanities: Some fundamental provocations?. *Digital Scholarship in the Humanities*, 34(1), 13-20.
11. Brutto, M. L., & Meli, P. (2012). Computer vision tools for 3D modelling in archaeology. *International Journal of Heritage in the Digital Era*, 1(1\_suppl), 1-6.
12. Copernicus. (2024). Stratigraphy (online). Dostupno na: <https://gmd.copernicus.org/articles/12/2571/2019/>. Datum pristupa: 28. 4. 2024.

13. Crooks, A., Heppenstall, A., Malleson, N., & Manley, E. (2021). Agent-based modeling and the city: A gallery of applications. *Urban informatics*, 885-910.
14. De la Fuente Prieto, J., Castaño Perea, E., Labrador Arroyo, F. (2017). Augmented reality in architecture: Rebuilding archeological heritage. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 311-315.
15. DiggingArcheology. (2024). Vindolada (online). Dostupno na: [https://socialsci.libretexts.org/Bookshelves/Anthropology/Introductory\\_Anthropology/Introduction\\_to\\_Anthropology\\_\(OpenStax\)/02%3A\\_Methods-\\_Cultural\\_and\\_Archaeological/2.02%3A\\_Archaeological\\_Research\\_Methods](https://socialsci.libretexts.org/Bookshelves/Anthropology/Introductory_Anthropology/Introduction_to_Anthropology_(OpenStax)/02%3A_Methods-_Cultural_and_Archaeological/2.02%3A_Archaeological_Research_Methods). Datum pristupa: 1. 5. 2024.
16. Drucker, J. (2021). *The digital humanities coursebook: an introduction to digital methods for research and scholarship*. Routledge.
17. Durak, H. Y., Sarıtepeci, M., & Çam, F. B. (2020). Examination of university students' opinions on use of augmented reality technology in archeology field. *Journal of Qualitative Research in Education*, 8(1).
18. Ebert, D. (2004). Applications of archaeological GIS. *Canadian Journal of Archaeology/Journal Canadien d'Archéologie*, 319-341.
19. Eggert, D., Hücker, D., & Paelke, V. (2014). Augmented reality visualization of archeological data. In *Cartography from Pole to Pole: Selected Contributions to the XXVIth International Conference of the ICA, Dresden 2013* (pp. 203-216). Springer Berlin Heidelberg.
20. Erlandson, J. M., & Braje, T. J. (2013). Archeology and the Anthropocene. *Anthropocene*, 4, 1-7.
21. ković, P. (2008). *Arheologija prostora i arheologija krajolika*.
21. Ferrari, R., Lachs, L., Pygas, D. R., Humanes, A., Sommer, B., Figueira, W. F., ... & Guest, J. R. (2021). Photogrammetry as a tool to improve ecosystem restoration. *Trends in Ecology & Evolution*, 36(12), 1093-1101.
22. Guidi, G., Russo, M., Angeleddu, D. (2014). 3D survey and virtual reconstruction of archeological sites. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 1(2), 55-69.
23. Ikeuchi, K., Matsushita, Y., Sagawa, R., Kawasaki, H., Mukaigawa, Y., Furukawa, R., & Miyazaki, D. (2020). E-Heritage. *Active Lighting and Its Application for Computer Vision: 40 Years of History of Active Lighting Techniques*, 263-287.

24. Jones, C. A., & Church, E. (2020). Photogrammetry is for everyone: Structure-from-motion software user experiences in archaeology. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 30, 102261.
25. Kanun, E., Alptekin, A., & Yakar, M. (2021). Cultural heritage modelling using UAV photogrammetric methods: a case study of Kanlıdivane archeological site. *Advanced UAV*, 1(1), 24-33.
26. Koltay, T. (2016). Library and information science and the digital humanities: perceived and real strengths and weaknesses. *Journal of Documentation*, 72(4), 781-792.
27. Leslie, C. (2023). Archeology of the Future. In *From Hyperspace to Hypertext: Masculinity, Globalization, and Their Discontents* (pp. 175-235). Singapore: Springer Nature Singapore.
28. Ligang, C., Xuben, W. (2014). GIS For Archeological Data. *International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems*, 7(3), 1347-1363.
29. Lozić, E., & Štular, B. (2021). Documentation of archaeology-specific workflow for airborne LiDAR data processing. *Geosciences*, 11(1), 26.
30. Mantovan, L., & Nanni, L. (2020). The computerization of archaeology: Survey on artificial intelligence techniques. *SN Computer Science*, 1(5), 267.
31. Montusiewicz, J., Miłosz, M., Kayumov, R. (2016). 3D digital technologies in the practical training of archaeologists. In *INTED2016 Proceedings* (pp. 7451-7458). IATED.
32. Morgan, C. (2022). Current digital archaeology. *Annual Review of Anthropology*, 51, 213-231.
33. Nicholson, S. (2005). A framework for Internet archeology: Discovering use patterns in digital library and Web-based information resources. *First Monday*.
34. O'Connor, S., Colreavy-Donnelly, S., & Dunwell, I. (2020). Fostering engagement with cultural heritage through immersive vr and gamification. *Visual computing for cultural heritage*, 301-321.
35. Pyburn, K. A. (2007). Archeology as activism. In *Cultural heritage and human rights* (pp. 172-183). New York, NY: Springer New York.
36. Reality News. (2024). Microsoft HoloLens (online). Dostupno na: <https://img.reality.news/img/29/97/63677957351084/0/microsofts-hololens-morphs-paris-museum-model-mont-saint-michel-into-masterpiece-ar.1280x600.jpg>. Datum pristupa: 2. 5. 2024.

37. Schreibman, S., Siemens, R., & Unsworth, J. (Eds.). (2008). *A companion to digital humanities*. John Wiley & Sons.
38. Simonyan, H., Kalantaryan, N., & Gyulamiryan, G. (2023). Photogrammetry in Archeology According to Verin Naver Burial Ground and the Shengavit Settlement. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 48, 225-231.
39. Snow, D. R., Gahegan, M., Giles, C. L., Hirth, K. G., Milner, G. R., Mitra, P., & Wang, J. Z. (2006). Cybertools and archaeology. *Science*, 311(5763), 958-959.
40. Spaulding, A. C. (2017). Explanation in archeology. In *Archeology in cultural systems* (pp. 33-39). Routledge.
41. Tomić, M., Grzunov, L. (2022). Digitalna humanistika kao područje suradnje humanističkih i informacijskih znanosti: digitalizacija glagoljskih rukopisa zadarskog područja kao suradnički model. Fenomen glagoljice: zbornik radova s međunarodnog znanstvenog skupa Fenomen glagoljice, održanog u Biogradu i u Zadru, 12. i 13. svibnja 2017. / Došen, Božo ; Lisac, Josip (ur.). Zadar: Matica hrvatska, 2022. str. 487-517.
42. Verhagen, P. (2023). Spatial Information in Archaeology. *Handbook of Archaeological Sciences*, 2, 1163-1181.
43. White, R. (2010). What is spatial history. *Spatial History Lab*, 1, 1-6.
44. Wong, S. H. R. (2016). Digital humanities: what can libraries offer?. *portal: Libraries and the Academy*, 16(4), 669-690.
45. 1914-1918 online. (2024). *International Encyclopedia of First World War* (online). Dostupno na: <http://www.1914-1918-online.net/>. Datum pristupa: 5. 6. 2024.