



DIGI-ARCHEO-SPACE
MODERN TOOLS FOR DOCUMENTING & PRESENTING
THE CULTURAL HERITAGE IN ARCHEOLOGY



Sufinancira
Europska unija

PRAKTIČNI VODIČ

MODERNI ALATI ZA DOKUMENTIRANJE I PREZENTIRANJE KULTURNE BAŠTINE U ARHEOLOGIJI



digiarcheospace.eu

SUVREMENI ALATI ZA DOKUMENTIRANJE I PREZENTACIJU KULTURNE BAŠTINE U ARHEOLOGIJI

Praktični vodič razvijen u okviru Erasmus+ projekta "DigiArcheoSpace"

(KA220-HED)

Zahvale

Ovaj vodič izrađen je u okviru Erasmus+ projekta DigiArcheoSpace (KA220-HED), uz doprinos svih projektnih partnera:

- Povijesni muzej Primorsko, Bugarska
- Studentsko društvo za računalnu umjetnost (SCAS), Bugarska
- Sveučilište „Episkop Konstantin Preslavski“ u Šumenu (SHU), Bugarska
- Sveučilište „Sv. Ćiril i Metod“ u Skoplju (UKIM), Sjeverna Makedonija
- Sveučilište u Bartinu (BARÜ), Turska
- Institut za etnologiju i folkloristiku (IEF), Hrvatska

Financirano sredstvima Europske unije. Izneseni stavovi i mišljenja pripadaju isključivo autorima te ne odražavaju nužno stavove Europske unije ili Izvršne agencije za obrazovanje i kulturu (EACEA). Ni Europska unija ni EACEA ne mogu se smatrati odgovornima za njih.

Sadržaj:

1. Uvod

2. Svrha i način korištenja vodiča

3. Odabir alata i metodološki pristup

4. Suvremeni trendovi u prezentaciji kulturne baštine

5. Struktura vodiča i radni proces (*workflow*)

6. Predlošci za digitalne alate

7. Zaključak

1. Uvod: svrha i način korištenja

Vodič DigiArcheoSpace izrađen je u okviru Erasmus+ projekta *DigiArcheoSpace: Modern Tools for Documenting and Presenting the Cultural Heritage in Archaeology* (KA220-HED), s glavnim ciljem jačanja digitalnih kapaciteta visokoobrazovnih institucija u području arheologije i znanosti o baštini. Arheologija prolazi kroz duboku transformaciju u kojoj digitalni alati iz temelja mijenjaju načine na koje istraživači dokumentiraju, interpretiraju, čuvaju i komuniciraju materijalne tragove prošlosti. Taj digitalni zaokret ne pridonosi samo većoj preciznosti i učinkovitosti prikupljanja podataka, nego i demokratizira pristup kulturnoj baštini putem novih oblika vizualizacije i diseminacije. Polazeći od tih promjena, projekt DigiArcheoSpace usmjeren je na osnaživanje studenata i nastavnika za kompetentno i samouvjereno djelovanje u takvom okruženju. Vodič donosi odabrani pregled digitalnih alata i aplikacija relevantnih za arheološku dokumentaciju, analizu i prezentaciju. Osmišljen je kao dopuna obrazovnim modulima razvijenima u okviru projekta te kao otvoreni obrazovni resurs namijenjen sveučilištima, muzejima i stručnjacima u području baštine. Ujedno, vodič ima didaktičku i praktičnu funkciju te je namijenjen nastavnicima, studentima, muzejskim kustosima i stručnjacima za baštinu zainteresiranima za primjenu digitalnih alata i metodologija u arheološkoj dokumentaciji, analizi i prezentaciji.

Predviđen je za fleksibilnu primjenu u visokom obrazovanju — kao dio postojećih kurikuluma iz arheologije i kulturne baštine — ali i u kontekstima neformalnog i cjeloživotnog učenja.

Povezujući teoriju i praksu, vodič potiče iskustveno razumijevanje primjene digitalnih tehnologija u arheološkom radu — od prikupljanja podataka na terenu do 3D vizualizacije, digitalnog pripovijedanja (*digital storytelling*) i uključivanja javnosti. Vodič podupire šest obrazovnih modula razvijenih u okviru projekta DigiArcheoSpace te je usklađen s projektom Okvirom kompetencija (*Competence Framework*) i pristupom mikrokvalifikacija (*micro-credentials*), čime se osigurava postupno usvajanje, primjena i vrednovanje digitalnih kompetencija relevantnih za arheologiju.

U konačnici, ova publikacija utjelovljuje temeljnu misiju projekta: poticanje održivog, inovativnog i inkluzivnog pristupa obrazovanju u području kulturne baštine u Europi. Ona poziva korisnike da promišljaju izvan okvira tradicionalnih

metoda, razvijaju digitalnu pismenost i integriraju tehnologiju kao sastavni dio arheološkog istraživanja i interpretacije.

2. Kako su alati odabrani

Digitalni alati predstavljeni u ovom vodiču identificirani su kroz suradnički proces svih projektnih partnera. Početni popis od više od trideset potencijalnih alata sužen je na dvadeset ključnih tehnologija na temelju sljedećih kriterija:

1. **Pedagoška relevantnost:** prikladnost za poučavanje i učenje u području arheologije i studija kulturne baštine;
2. **Trošak i dostupnost:** prednost imaju alati otvorenog koda (*open-source*) ili oni s niskim troškovima, kako bi se osigurala široka primjenjivost;
3. **Interdisciplinarni potencijal:** sposobnost povezivanja arheologije s područjima poput računalnih znanosti, geografije i vizualnih umjetnosti;
4. **Održivost:** podrška otvorenim standardima, interoperabilnosti i dugoročnom očuvanju;
5. **Praktična vrijednost:** primjenjivost u stvarnim istraživačkim kontekstima, uključujući terenski rad, laboratorijsku analizu i prezentaciju baštine.

Proces glasanja među partnerima definirao je konačan popis alata, koji su grupirani u kategorije niskog, srednjeg i visokog troška. Svaki partner doprinosi s dva alata, slijedeći zajednički predložak (*template*) priložen na kraju ovog dokumenta.

Zajedno, ovi alati obuhvaćaju cjelokupan arheološki *workflow* — od prikupljanja i upravljanja podacima do analize, vizualizacije i javne diseminacije — te pružaju temelj za razvoj digitalne pismenosti unutar kurikuluma arheologije.

3. Suvremene tendencije u prezentaciji dokumentiranih podataka

Digitalna transformacija temeljito je preoblikovala načine na koje se kulturna baština bilježi, vizualizira i dijeli s profesionalnom i širom javnošću. Ovo poglavlje ističe suvremene pristupe prezentaciji dokumentiranih arheoloških podataka, odražavajući kontinuirane inovacije u vizualizaciji, pripovijedanju i dostupnosti.

3.1 Interaktivne digitalne platforme

Alati temeljeni na webu, poput *story maps*, interaktivnih vremenskih linija i GIS web preglednika, omogućuju istraživačima i široj javnosti dinamično istraživanje arheoloških skupova podataka. Online platforme poput *ArcGIS StoryMaps*, *IIIF* i *Sketchfab* omogućuju otvoreni pristup 3D modelima, kartama i slikama, čime interpretacija baštine postaje participativnija i transparentnija.

3.2 Virtualne i proširene stvarnosti

Integracija tehnologija virtualne stvarnosti (*Virtual Reality – VR*) i proširene stvarnosti (*Augmented Reality – AR*) otvara dosad neviđene mogućnosti za vizualizaciju baštine. Virtualne rekonstrukcije drevnih prostora omogućuju korisnicima kretanje kroz povijesna okruženja, dok AR aplikacije nadograđuju postojeće krajolike ili artefakte arheološkim rekonstrukcijama. Ovi pristupi povećavaju edukativni učinak i razinu uključenosti posjetitelja.

3.3 Muzejske i diseminacijske primjene

Suvremeni muzeji sve se više oslanjaju na digitalno pripovijedanje (*digital storytelling*) — putem dodirnih zaslona, interaktivnih projekcija ili online izložbi — kako bi stvorili višesenzorna iskustva. Primjene arheoloških podataka usmjerene prema javnosti osiguravaju dostupnost rezultata istraživanja izvan akademske zajednice, potičući povezanost s lokalnom zajednicom i razvoj kulturne svijesti.

3.4 Dostupnost, etika i održivost

Digitalna baština mora biti usklađena s etičkim i inkluzivnim standardima. Politike otvorenog pristupa, višejezični resursi te osiguravanje alternativnih tekstova, titlova i verzija prilagođenih slabijim internetskim vezama omogućuju dostupnost digitalnih sadržaja različitim skupinama korisnika. Nadalje, etičko dijeljenje osjetljivih podataka — osobito onih koji se odnose na sakralne ili ugrožene lokalitete — zahtijeva promišljenu kuraciju i suradnju s relevantnim zajednicama.

4. Korištenje ovog vodiča u nastavi

Ovaj vodič zamišljen je kao nastavno pomagalo koje nadopunjuje teorijsku i praktičnu nastavu u arheologiji. Pruža nastavnicima strukturirane primjere načina na koje se digitalni alati mogu integrirati u kurikulum te kako polaznici mogu postupno razvijati kompetencije u digitalnoj arheologiji.

Opis svakog alata usklađen je s ishodima učenja (*Learning Outcomes – LOs*) i pokazateljima Okvira kompetencija (*Competence Framework*), čime se olakšava njegova integracija u kolegije koji koriste ECTS-temeljene mikrokvalifikacije (*micro-credentials*). Nastavnici mogu odabrati relevantne alate ovisno o ciljevima kolegija — od osnovne terenske dokumentacije do napredne vizualizacije podataka.

Vodič također podržava samostalno učenje: samostalni korisnici mogu istraživati alate, upute i skupove podataka vlastitim tempom, razvijajući praktične digitalne vještine uz razumijevanje njihova arheološkog značaja.

5. Digitalni alati za arheologiju

Ovo poglavlje predstavlja digitalne alate koje su predložili projektni partneri, a koriste se za dokumentiranje, analizu i prezentaciju kulturne baštine u arheologiji.

Metapodaci o prijavi

Partner (institucija)	Povijesni muzej Primorsko
Suradnici (imena i uloge)	Dr. Daniel Pantov (autor), Borislava Kirova (istraživačica)
Jezik	Engleski
Datum	25.11.2025.
Kontakt e-mail	museum.primorsko@gmail.com, kirova.borislava77@gmail.com

Alat 1: LiDAR

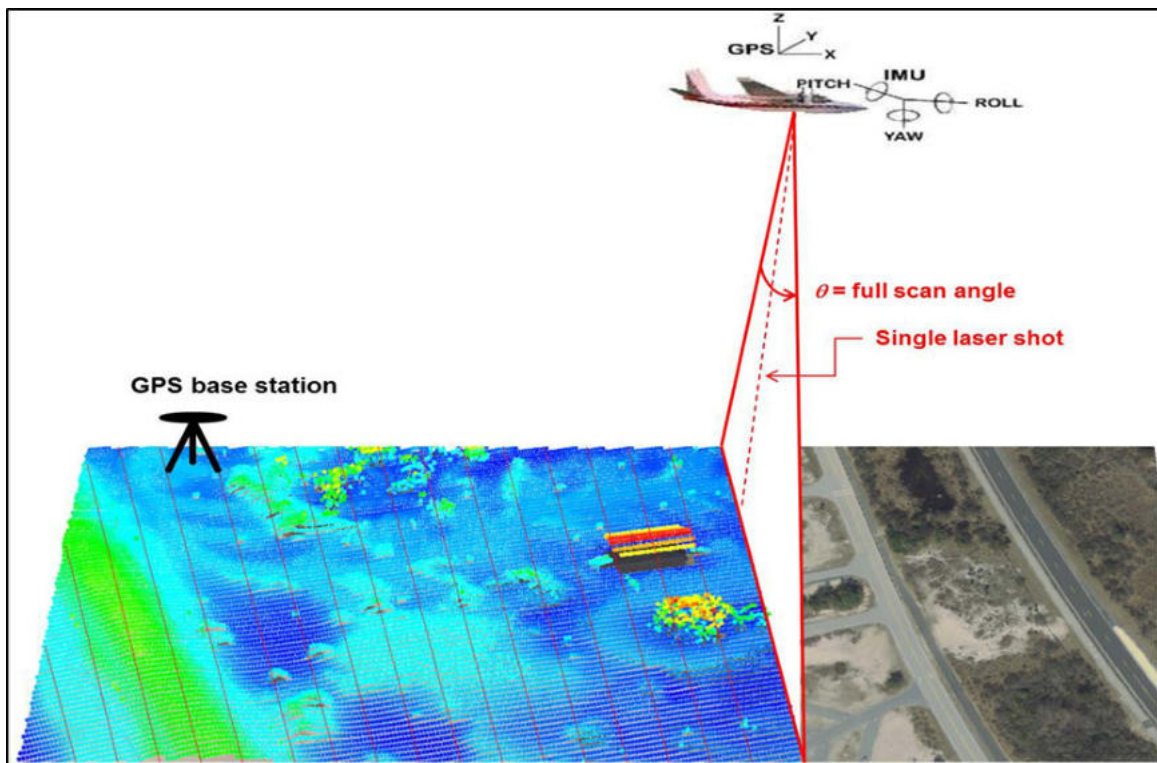
Kategorija (razina troška)	Visoka
Razvijatelj / pružatelj	Hesai, Velodyne Lidar, Luminar, Leice, Ouster
Platforme	Global Mapper (s LiDAR modulom), CloudCompare, QGIS, GRASS GIS, LAsTools, UgCS
Tipična licenca	Uglavnom komercijalna; GRASS GIS je otvorenog koda (<i>open-source</i>); LAsTools i UgCS također imaju alate otvorenog koda.
Razina znanja	Visoka razina obrazovanja i praktičnog iskustva
Tipična primjena u arheologiji	LiDAR sustav može detektirati površinske anomalije. Batimetrijski LiDAR također se koristi za istraživanje podvodnih objekata poput potopljenih naselja i plovila.

1) Što alat radi (kratki opis)

LiDAR — laserska altimetrija (grana geometrije koja se bavi mjerenjem visina) — akronim je za *light detection and ranging*. Odnosi se na tehnologiju daljinskog istraživanja koja emitira intenzivne, fokusirane snopove svjetlosti i mjeri vrijeme potrebno da se reflektirani signal vrati do senzora. Trodimenzionalne koordinate

(npr. x, y, z ili geografska širina, dužina i visina) ciljnih objekata izračunavaju se na temelju vremenske razlike između emisije i povratka laserskog impulsa, kuta pod kojim je impuls emitiran te apsolutne lokacije senzora na ili iznad površine promatranog objekta.

Mapiranje svjetlom metoda je za generiranje točnih i izravno georeferenciranih prostornih podataka o obliku i karakteristikama objekata. Ove tehnologije omogućuju znanstvenicima, kartografima i arheolozima proučavanje prirodnog i izgrađenog okoliša na različitim prostornim razinama uz veću točnost, preciznost i fleksibilnost (sl. 1).



Slika 1: Shematski prikaz zračnog LiDAR sustava koji provodi linearno skeniranje, pri čemu nastaju paralelne linije izmjerenih točaka. *Workflow* i obrazovna primjena. Izvor slike: <https://www.cnblogs.com/>

2) Workflow i obrazovna primjena

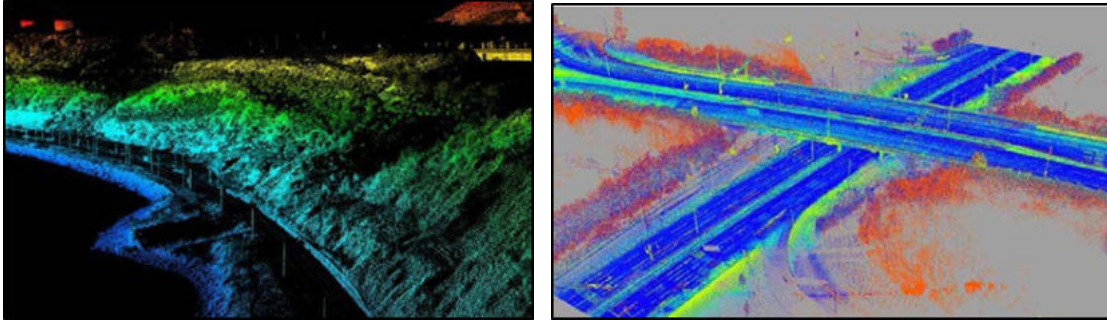
Tehnologije daljinskog istraživanja dijele se na pasivne i aktivne, ovisno o izvoru energije koji se koristi za detekciju ciljanog objekta. Pasivni sustavi detektiraju zračenje koje potječe iz vanjskog izvora energije, poput Sunca, dok aktivni

sustavi generiraju i usmjeravaju energiju prema cilju te potom detektiraju reflektirano zračenje. LiDAR sustavi pripadaju aktivnim sustavima; oni emitiraju svjetlosne impulse (tj. laserske zrake) i detektiraju reflektiranu svjetlost. Ova značajka omogućuje prikupljanje podataka i noću, kada je zrak obično čišći, a zračni promet manji nego tijekom dana. LiDAR ne može prodrijeti kroz oblake, kišu ili gustu maglu te se mora koristiti u povoljnim vremenskim uvjetima.

LiDAR sustavi omogućuju „probijanje“ kroz vegetacijski pokrov, što olakšava prikupljanje visinskih podataka putem daljinskog istraživanja iznad Zemljine površine. Većina većih skupova podataka generira se tehnologijama koje ne mogu prodrijeti kroz vegetaciju, no obično postoji dovoljan broj pojedinačnih „točaka“ za odgovarajuću pokrivenost šumskih područja. U praksi, LiDAR može „vidjeti“ kroz praznine u krošnjama ili vegetaciji, što je iznimno korisno u arheološkim istraživanjima.

LiDAR senzori mogu se postaviti na statične, fiksne stative te pritom generirati točkaste podatke s centimetarskom točnošću, što se često koristi za kartiranje terena u okviru istraživanja.

Suvremeni navigacijski i pozicijski sustavi omogućuju korištenje mobilnih platformi na kopnu i vodi za prikupljanje podataka sa zemlje i iz zraka. Ovi sustavi obično se postavljaju na vozila s povišenim podvozjem pri prikupljanju podataka sa zemlje, odnosno na dronove, helikoptere, male zrakoplove i druga letjelice pri prikupljanju podataka iz zraka. Zrakoplovi i helikopteri najčešće su i najisplativije platforme za prikupljanje LiDAR podataka na velikim, kontinuiranim područjima. Željeni podaci dobivaju se postavljanjem sustava unutar letjelice i prelijetanjem ciljanog područja. Većina zračnih platformi može pokriti oko 50 četvornih kilometara na sat, uz zadržavanje visoke točnosti podataka koja zadovoljava zahtjeve primjene. Zračne platforme također su idealne za prikupljanje batimetrijskih podataka u relativno čistim i plitkim vodama. Kombinirani topografski i batimetrijski LiDAR sustavi na zračnim platformama koriste se za kartiranje obala i obalnih područja, što je posebno korisno za podvodna istraživanja (sl. 2).

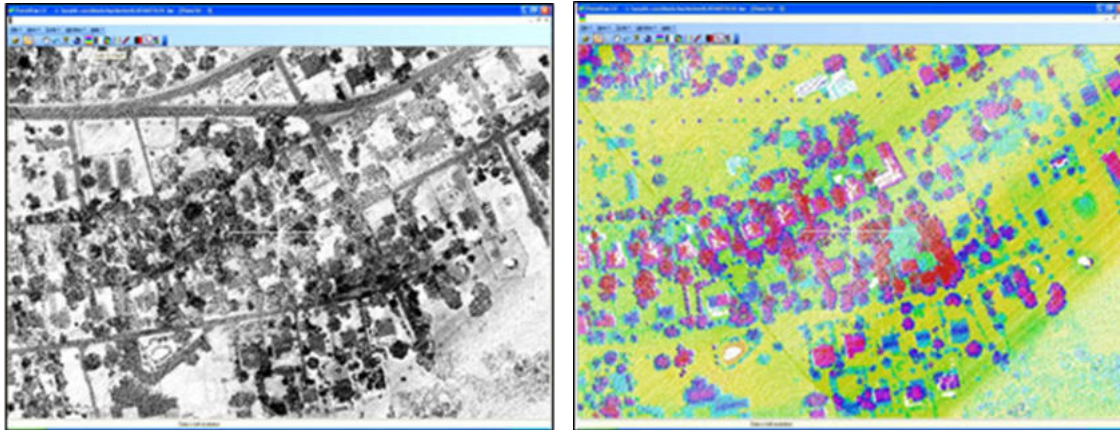


Slika 2. Mobilni LiDAR podaci prikupljeni s vozila (lijevo) i plovila (desno). Slike ustupili Sanborn i Fugro.

Primjena LiDAR tehnologije u arheologiji ponajprije je povezana s pronalaženjem i lociranjem arheoloških lokaliteta koji su znanosti još nepoznati i koji još nisu privukli pozornost stručnjaka. Jedan od razloga za to može biti prisutnost guste vegetacije i otežan pristup lokalitetu. Korištenjem ove inovativne tehnologije vegetacija se učinkovito „uklanja“, a nakon detaljnog pregleda površine tla i obrade podataka prikupljenih na istraživanom području postaju vidljivi tragovi materijalnih struktura koji nisu dio prirodnog okoliša. Zahvaljujući LiDAR tehnologiji, broj poznatih arheoloških lokaliteta značajno je porastao posljednjih godina. Ova vrsta istraživanja primjenjuje se u slučajevima kada je teren izrazito razveden, strm ili gusto obrastao, što otežava kretanje. Najčešće se koristi za otkrivanje tragova naselja, utvrda, građevina, pojedinačnih grobnih humaka, nekropola i sl. Nakon što se pretpostavi postojanje lokaliteta, određeno područje detaljno se istražuje i obilaze ga stručnjaci. Provode se mjerenja prostornog obuhvata lokaliteta te se prikuplja površinski materijal kako bi se što preciznije odredilo razdoblje njegova korištenja..

Inercijske mjerne jedinice (*Inertial Measurement Units – IMU*) i inercijski navigacijski sustavi (*Inertial Navigation Systems – INS*) ključni su za osiguravanje točnog pozicioniranja istraživanih objekata. Ovi sustavi mogu mjeriti kretanje u svim smjerovima i pretvarati ta mjerenja u konkretnu poziciju. Međutim, nisu savršeni i gube točnost nakon kratkog vremena (npr. 1 sekunde). Stoga se za „ažuriranje“ ili ponovno kalibriranje INS-a ili IMU-a svake sekunde koristi visoko sofisticiran GPS uređaj koji bilježi više vrsta signala GPS satelita. GPS pozicije bilježe se kako iz letjelice, tako i s referentne zemaljske stanice poznate lokacije. Podaci su najčešće u obliku raster datoteka, u formatima kao što su GeoTIFF (.tif), Esri Grid (.adf), floating point raster (.flt) ili ERDAS Imagine (.img). U

nekim slučajevima podaci su dostupni u TIN formatu (npr. Esri TIN). U slučaju rastera, oni se generiraju iz točkastih podataka i mogu se interpolirati različitim metodama (sl. 3).



Slika 3. LiDAR točke obojene prema različitim atributima podataka. Izvor slike: <https://www.cnblogs.com/>

3) Primjer(i) / terenski rad s LiDAR-om

U radnom okruženju studenti se upoznaju sa specifičnostima rada s LiDAR sustavom. Potrebne su određene specifične vještine koje se stječu kroz dostupnost LiDAR tehnologije i završetak specijalizirane obuke. Ako je sustav montiran na dron, studenti moraju steći i odgovarajuću pilotsku kvalifikaciju. Polaznicima se osiguravaju sirovi podaci izdvojeni iz LiDAR sustava, koje pokušavaju interpretirati i usporediti sa satelitskim snimkama iz različitih vremenskih razdoblja (s vegetacijom i bez nje), te ih međusobno uspoređuju. Nakon detaljne analize prikupljenih materijala, terenskog obilaska lokacije pretpostavljenih struktura i pregleda terena, moguće je identificirati područje koje se može interpretirati kao arheološki lokalitet koji još nije registriran.

4) Prednosti i ograničenja (LiDAR)

Prednosti	Ograničenja / zahtjevi
<ul style="list-style-type: none"> Mogućnost korištenja LiDAR sustava instaliranih na malim letjelicama (dronovi, laki zrakoplovi) i vozilima s povišenim podvozjem, koji su lako dostupni i podržavaju rad stručnjaka. 	<ul style="list-style-type: none"> Rad s LiDAR sustavom zahtijeva specijaliziranu obuku. Nabava LiDAR opreme zahtijeva značajna financijska sredstva.

Prednosti	Ograničenja / zahtjevi
<ul style="list-style-type: none"> • Pomaže u otkrivanju novih arheoloških lokaliteta na daljinu. • Omogućuje proširenu preglednost velikih područja te praćenje pojedinačnih lokaliteta i njihove povezanosti s kompleksima i strukturama. • Zračno LiDAR skeniranje omogućuje pristup informacijama kroz drveće i drugu vegetaciju, što olakšava arheološka istraživanja. • Dobiveni podaci pogodni su za automatiziranu obradu i analizu. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ugradnja sustava na bespilotne i pilotirane letjelice zahtijeva posebne operativne vještine. • Učinkovitost LiDAR sustava opada u nepovoljnim vremenskim uvjetima, jer se laserski impulsi mogu raspršiti ili blokirati, što dovodi do netočnih podataka i praznina u skeniranju. • LiDAR sustavi generiraju složene i opsežne skupove podataka te zahtijevaju specijalizirani softver za obradu i analizu.

5) Tehnički zahtjevi

Softver: LP360 univerzalni softver za obradu LiDAR podataka, lasersko skeniranje i fotogrametriju; besplatni alati i preglednici za LiDAR podatke: QGIS 3, Fugro Viewer, Plas.io, SAGA GIS (*System for Automated Geoscientific Analyses*), GRASS (*Geographic Resource Analysis Support System*)

Hardver: LiDAR senzor/skener. Sustav za pozicioniranje i navigaciju (GPS/GNSS i IMU). Minimalno 8 GB RAM-a, uz preporuku od 32 GB ili više za obradu velikih oblaka podataka. Procesor (CPU): dvojezgreni Intel Core i5/i7 ili jači, s osnovnim taktom od najmanje 4 GHz. Grafička kartica (GPU) s moćnom NVIDIA grafikom i najmanje 2–4 GB video memorije, uz podršku za tehnologije poput OpenGL 4.6. SSD (solid-state drive) za brz pristup i obradu velikih količina podataka.

Formati datoteka: LAS, LAZ, ASCII, E57.

6) Etička i podatkovna pitanja

Pri započinjanju planiranih arheoloških istraživanja, tijekom obilaska lokaliteta, ako se lokalitet nalazi na privatnom posjedu, potrebno je zatražiti dopuštenje vlasnika za provođenje istraživanja. U slučaju otkrića novih objekata nepoznatih znanosti, kao prvi korak potrebno je obavijestiti vlasnike.

7) Brzi početak

- Otkrivanje novih arheoloških lokaliteta, područja, građevina i drugih struktura skrivenih ispod vegetacije ili tla pomoću LiDAR-a, bez potrebe za fizičkim iskopavanjem.
- Precizno kartiranje arheoloških lokaliteta pomoću LiDAR-a i izrada točnih i detaljnih kartografskih modela arheoloških lokaliteta radi lakšeg planiranja iskopavanja, očuvanja i upravljanja istraživanim lokalitetom.
- Analiza raspodjele arheoloških lokaliteta unutar cjelokupne strukture krajolika, uz pružanje informacija o drevnim prometnim mrežama, vodnim sustavima i poljoprivrednim praksama.
- Praćenje i procjena dinamike okoliša te potencijalnih prijetnji arheološkim lokalitetima, poput erozije, pošumljavanja ili ljudske aktivnosti.
- Obnova i vizualizacija arheoloških lokaliteta. Trodimenzionalni prikazi izrađeni pomoću LiDAR-a olakšavaju obnovu i vizualizaciju arheoloških lokaliteta i struktura.

8) Reference i poveznice

Službena stranica / dokumentacija	www.csc.noaa.gov
Web stranice	www.asprs.org/a/society/committees/lidar/lidar_format.html www.asprs.org/a/society/committees/lidar/Downloads/Vertical_Accuracy_Reporting_for_Lidar_Data.pdf
Literatura	Campana, S., & Dabas, M. (2011). <i>Archaeological research and remote sensing sensors</i> . Cambridge University Press. White, S., Parrish, C., Calder, B., Pe'eri, S., & Rzhanov, Y. (2011). LIDAR-derived national shoreline: Empirical and stochastic uncertainty analyses. <i>Journal of Coastal Research, Special Issue</i> 62. ASPRS. (2007). <i>Common lidar data exchange format (.LAS) industry initiative</i> .

Alat 2: Geografski informacijski sustav (GIS)

Kategorija (razina troška)	Srednja
Razvijatelj / pružatelj	Razvoj softvera: dizajn i implementacija GIS aplikacija, web karata i alata korištenjem programskih jezika poput C#, Python i JavaScript
Platforme	ArcGIS (Esri), ArcGIS Pro, ArcMap, ArcGIS Online, GeoNode
Tipična licenca	Uglavnom komercijalna, ali postoji i mogućnost korištenja alata otvorenog koda.
Razina znanja	Napredna
Tipična primjena u arheologiji	GIS is used as the preferred tool in archaeology when it comes to hard-to-reach areas for surveying and discovering new sites.

1) Što alat radi (kratki opis)

Geografski informacijski sustav (GIS) računalni je sustav za izradu, objavu, evidentiranje i pohranu elektroničkih dokumenata. Uključuje osnovni softver i katastarske aplikacijske sustave. Njegove mogućnosti omogućuju integraciju zasebnih tematskih slojeva prostornih informacija koji odražavaju različite geografske podatke — nadmorsku visinu, tlo, vegetacijski pokrov, vode, naselja, prometnice itd. Kombinacija tih podataka omogućuje postavljanje različitih upita i provedbu sveobuhvatne analize geografskog okruženja i njegovih pojedinih elemenata, uzimajući u obzir različite čimbenike utjecaja. Geografski podaci u GIS-u temeljni su element koji omogućuje precizno određivanje položaja određenog objekta, uključujući i arheološke, na Zemljinoj površini putem koordinatnog sustava prikazanog u odgovarajućem koordinatnom sustavu i datumu. U osnovi, koordinatni sustav, kao matematička apstrakcija nepovezana sa Zemljom koja omogućuje određivanje položaja točke pomoću koordinata (najčešće geografske širine, dužine i visine), te datum, koji definira semantiku koordinatnog sustava i njegovu povezanost sa Zemljom u horizontalnoj i vertikalnoj ravnini, čine temeljne sastavnice koordinatnog referentnog sustava.

Za prikaz modela trodimenzionalne Zemljine površine (aproksimirane kao elipsoid, sfera ili geoid) u dvodimenzionalnoj ravninskoj slici na karti potrebno je

primijeniti kartografsku projekciju, koja određuje oblik, površinu, udaljenost i smjer prostornih objekata.

Koncept i filozofija razvoja GIS-a usmjereni su na stvaranje čvrste podatkovne osnove za uspostavu jedinstvenog informacijskog sustava, kao nezaobilaznog alata za nadogradnju konvencionalnih metoda, uz korištenje snažnih alata poput GIS-a za upravljanje i analizu tekućih procesa (sl. 1).



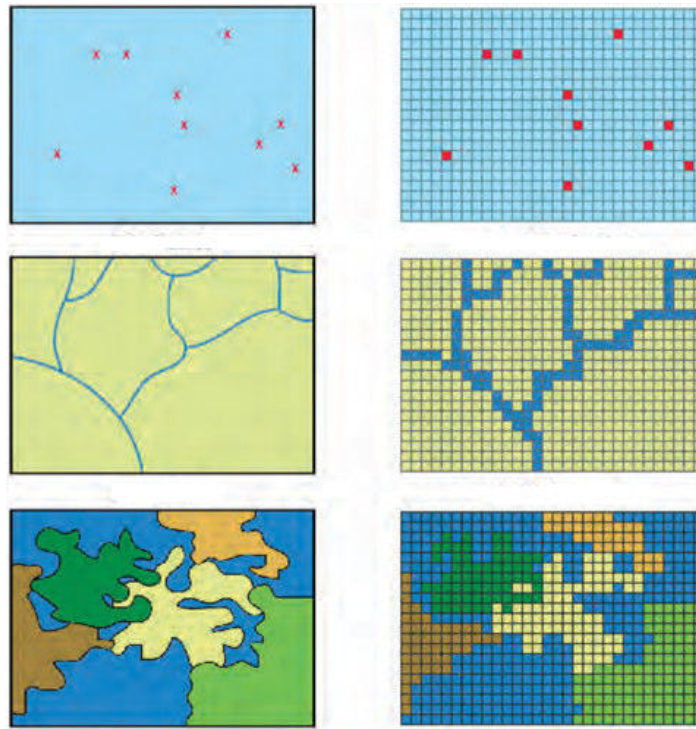
Slika 1. GIS. Izvor slike: <https://www.online.uc.edu/>

2) Rad s rasterskim i vektorskim formatima

GIS softver omogućuje rad s različitim vektorskim i rasterskim formatima datoteka — GeoTIFF, ECW, Esri GRID, IMG, AutoCAD, DXF, *Keyhole Markup Language* (KML), Esri Shapefile, GeoJSON itd., pri čemu se izbor pojedinog formata prilagođava ciljevima analize koja se provodi. U usporedbi s rasterskim formatima, vektorski formati sadrže informacije o koordinatama točaka duž konture objekta, zbog čega su manji po veličini datoteke (sl. 1).

Za potrebe arheologije, GIS se koristi za evidentiranje novootkrivenih arheoloških lokaliteta.

Tijekom posljednjeg desetljeća arheolozi su se brzo prilagodili GIS-u, što se može pripisati činjenici da je većina stručnjaka već dobro upoznata s računalnim tehnologijama i spremno prihvaća inovacije u ovom području. Najčešće korištene funkcije odnose se na rekonstrukciju modela terena, računalno kartiranje i korištenje digitalnih modela reljefa (DEM) na istraživanim područjima, i to za vizualizaciju, računalne simulacije ili prediktivno modeliranje u svrhu prostornog odlučivanja, kao i za kontrolirano upravljanje kulturnom baštinom (sl. 2).



Slika 2: Usporedba između rasterskog i vektorskog modela geometrijskih podataka. Izvor slike: Esri

2a) Geografski informacijski sustavi za arheološke potrebe

Za potrebe arheologije, GIS se ponajprije koristi za evidentiranje novootkrivenih arheoloških lokaliteta.

Tijekom posljednjeg desetljeća arheolozi su se brzo prilagodili GIS-u, što se može pripisati činjenici da je većina stručnjaka već dobro upoznata s računalnim tehnologijama i lako prihvaća inovacije u ovom području. Najčešće korištene funkcije odnose se na rekonstrukciju modela terena, računalno kartiranje i

korištenje digitalnih modela reljefa (DEM) na istraživanim područjima, i to za vizualizaciju, računalne simulacije ili prediktivno modeliranje u svrhu prostornog odlučivanja, kao i za kontrolirano upravljanje kulturnom baštinom.

GIS pruža arheolozima široke mogućnosti za prikupljanje podataka i georeferenciranje putem integracije slojeva, prostorne analize, vizualizacije i interpretacije. Opći pristup arheologije GIS-u omogućuje da se njegova uporaba promatra ne samo kao alat za pohranu, obradu i vizualizaciju, nego prije svega kao sredstvo za složenu prostornu analizu putem brojnih funkcija koje softver pruža. Otkrivanje analitičkog potencijala GIS-a u središtu je istraživanja brojnih autora koji potvrđuju njegovu primjenu u arheologiji i postavljaju temelje prediktivnog modeliranja za identifikaciju pretpostavljenih lokacija objekata putem statističkih ekstrapolacija i korelacija. U tom smislu mogu se izdvojiti dvije glavne perspektive njegove uporabe — u upravljanju kulturnom baštinom i u prostornoj analizi arheoloških krajolika — koje u najširem smislu odgovaraju njegovoj praktičnoj i znanstvenoj vrijednosti.

Iako koriste iste alate, te perspektive imaju različite krajnje ciljeve i stoga zahtijevaju različite pristupe. U kontekstu upravljanja kulturnom baštinom, GIS pruža dobre mogućnosti za organizaciju velikih skupova podataka i vođenje registara kulturnih dobara omogućujući brz pristup informacijama iz različitih državnih ili znanstvenih institucija. Kao metoda, prediktivno modeliranje omogućuje procjenu potencijalnog broja arheoloških lokaliteta na područjima gdje ne postoji cjelovito arheološko istraživanje. Dok u čistim znanstvenim istraživanjima prediktivno modeliranje služi za formuliranje i testiranje hipoteza, u upravljanju kulturnom baštinom ono mora osigurati pouzdanu procjenu vjerojatnosti pojave arheoloških lokaliteta na određenom području. Od velike je važnosti za znanstveni aspekt i tzv. pluralizam u GIS-u, odnosno mogućnost prihvaćanja, konstruiranja i argumentiranja višestrukih hipoteza u arheološkom istraživanju ovisno o varijacijama. U tom smislu, GIS ne treba promatrati kao alat koji potvrđuje jedno ispravno rješenje, što je ujedno i središnja postavka znanstvenog pristupa u humanističkim znanostima.

Suvremeni razvoj znanosti dovodi do sve šire integracije različitih istraživačkih područja u okviru interdisciplinarnog i transdisciplinarnog pristupa. Izraz tog trenda jest predloženi koncept „digitalne gearheologije“ — koji objedinjuje razvoj krajobrazne arheologije, gearheologije, arheometrije, znanosti o Zemlji i računalnih tehnologija — a koji se oblikuje kao područje primjene GIS-a.

Značajan poticaj uvođenju GIS-a među alate arheologije, a time i razvoju njegovih ključnih funkcija pohrane, obrade i vizualizacije podataka, dali su terenski pregledi provedeni u okviru velikih infrastrukturnih projekata, realizirani prema standardiziranoj metodologiji uz korištenje mobilnog GIS-a.

3) Primjer(i) / studija slučaja (GIS)

Kako bi se precizno odredila lokacija novootkrivenog arheološkog lokaliteta, skupina studenata mora posjetiti lokalitet zajedno sa stručnjacima (arheolozima i geodetima). Nakon njegova otkrića na terenu, studenti provode pregled okolnog područja s ciljem prikupljanja površinskog materijala i njegova predavanja stručnim arheolozima radi početnog datiranja. Nakon toga slijedi snimanje struktura geodetskim instrumentima te obrada dobivenih podataka. GIS omogućuje unos specifičnih podataka o karakteru i dataciji arheološkog lokaliteta, uz njegovu točnu lokaciju.

4) Prednosti i ograničenja

Prednosti	Ograničenja / zahtjevi
<ul style="list-style-type: none"> • Brza i precizna lokalizacija. • Mogućnost utvrđivanja detaljnih parametara na daljinu. • Mogućnost identifikacije drugih arheoloških lokaliteta i kompleksa u blizini, temeljem prethodnih istraživanja. • Detaljne informacije o dataciji i funkciji arheološkog lokaliteta. • GIS pomaže u donošenju informiranijih i kvalitetnijih odluka. • Ova se tehnologija primjenjuje u proučavanju objekata i pojava te u analizi u arheologiji. • Korištenje geografskih informacijskih sustava (GIS) tijekom istraživanja omogućuje prikupljanje velike količine podataka i uvažavanje postojećih uvjeta. • GIS omogućuje objedinjavanje svih podataka vezanih uz istraživanje arheoloških lokaliteta, kao i pristup tim 	<ul style="list-style-type: none"> • Plaćanje ili ograničen pristup usluzi može biti potreban. • Poslužitelj zahtijeva veliku bazu podataka.

Prednosti	Ograničenja / zahtjevi
informacijama na različitim razinama — za znanstvenike, javnost, obrazovne svrhe itd. <ul style="list-style-type: none"> Također pruža dobru priliku za promicanje kulturnih vrijednosti otkrivenih tijekom istraživanja. 	

5) Tehnički zahtjevi

- Softver: ArcGIS Pro (vodeći komercijalni softver), QGIS (besplatni softver otvorenog koda), gvSIG, MapInfo, ArcGIS Server, MapServer, ArcGIS for Mobile, GISExplorer Desktop; QGIS.bg.
- Hardver: EDM – ITRC; GRASS; SAGA.

6) Etička i podatkovna pitanja

U slučajevima kada je lokacija na kojoj se planira provesti interdisciplinarno istraživanje u privatnom vlasništvu, uz pravodobno ishođenje potrebnih dozvola, potrebno je zatražiti i suglasnost vlasnika za provođenje istraživanja.

7) Brzi početak

- Kartiranje arheoloških lokaliteta prema njihovu statusu; analiza njihove lokacije u odnosu na suvremeno geografsko okruženje.
- Dodavanje geopodataka, atributnih podataka i podataka o pokrovu zemljišta u osnovni GIS.
- Identifikacija čimbenika koji pridonose nastanku i funkcioniranju naselja.
- Parametrizacija prostornih odnosa na temelju već utvrđenih povezanosti, određivanje pokazatelja za prediktivnu procjenu, izrada GIS slojeva koji odgovaraju čimbenicima i njihovim pokazateljima (buffer – voda, buffer – humci itd.).
- Kategorizacija ćelija prema pojedinačnim pokazateljima i integrirani GIS model sa slojevima — prediktivni moduli i mogućnosti filtriranja ćelija s najvećim potencijalom.
- Proširenje referentnog područja, sinteza najvažnijih obilježja sustava naselja i utjecaja čimbenika tijekom različitih razdoblja povijesnog razvoja, povećanje razine detalja korištenjem manjih prostornih jedinica, preciziranje vrijednosti rangiranja, uključivanje točnijih geopodataka itd.

8) Reference i poveznice

Web stranica	<p>www.ndep.gov/NDEP_Elevation_Guidelines_Ver1_10May2004.pdf www.csc.noaa.gov/digitalcoast/_/pdf/Lidar-provisioning-guidance.pdf http://campus.esri.com http://www.spatialanalysisonline.com/index.html</p>
Literatura	<p>Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2005). Geographical information systems and science (2nd ed.). John Wiley & Sons.</p> <p>Kemp, K. K. (Ed.). (2008). Encyclopedia of geographic information science. SAGE Publications.</p> <p>Kraak, M.-J., & Ormeling, F. (2010). Cartography: Visualization of geospatial data (3rd ed.). Pearson.</p> <p>de Smith, M. J., Goodchild, M. F., & Longley, P. A. (2015). Geospatial analysis: A comprehensive guide to principles, techniques and software tools (5th ed.).</p>

Metapodaci o prijavi

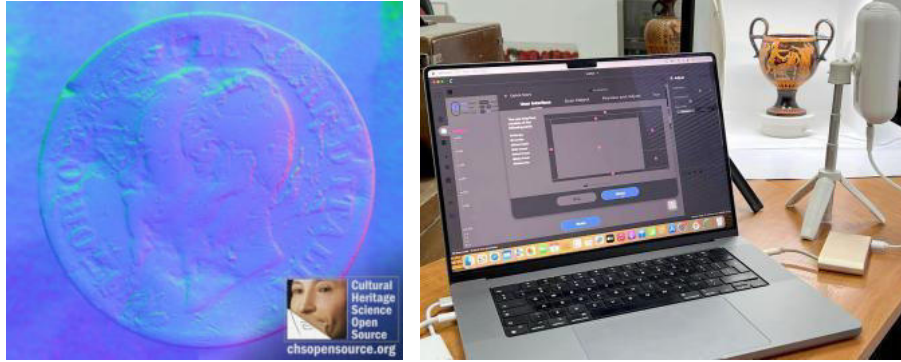
Partner (institucija)	SCAS
Suradnici (imena i uloge)	Dr. Rosen Petkov (autor), Boryana Savova (istraživačica)
Jezik	Engleski
Datum	19.11.2025.
Kontakt e-mail	rosen@scas.bg, bsavova@scas.bg

Alat 3: Digitalna epigrafija: korištenje RTI-ja i 3D skeniranja za dokumentiranje i analizu urezanih površina

Kategorija (razina troška)	Niska / srednja
Razvijatelj / pružatelj	Relight: relightable images (RTI) Visual Computing Lab, ISTI / CNR (Pisa, Italija). Otvoreni kod
Platforme	Windows / macOS / Linux
Tipična licenca	Otvoreni kod (<i>open-source</i>)
Razina znanja	Početna / srednja
Tipična primjena u arheologiji	Dokumentiranje i analiza urezanih površina

1) Što alat radi (kratki opis)

Područje prakse unutar arheologije i epigrafskih studija koje koristi digitalne alate (RTI, fotogrametrija, 3D skeniranje, lasersko skeniranje, digitalno crtanje) za dokumentiranje, analizu i objavu natpisa. *Reflectance Transformation Imaging* (RTI) je digitalna metoda snimanja koja bilježi interakciju svjetlosti s površinom fotografiranjem objekta više puta pod različitim kutovima osvjetljenja. 3D skeniranje u arheologiji koristi laserske skenere ili uređaje sa strukturiranim svjetlom za bilježenje precizne geometrije artefakata, natpisa i arhitektonskih elemenata, pri čemu nastaju digitalni modeli visoke rezolucije. Obje metode omogućuju digitalno poboljšanje vidljivosti površine u znatno većoj mjeri nego standardna fotografija, što ih čini vrlo korisnima za očitavanje tragova, površinskih oštećenja ili tehnika obrade, osobito kod oštećenih ili erodiranih arheoloških natpisa.



Slika 1: Vizualizacija normala u RTI Vieweru 1.1. Riječ je o prikazu u lažnim bojama koji prikazuje orijentaciju normala svakog piksela i olakšava čitanje površinskih obilježja. Izvor slike: Cultural Heritage Science Open Source

Slika 2: 3D skeniranje pomoću prijenosnog skenera, male svjetlosne komore (*lightroom*) i rotirajuće platforme (*turntable*). Izvor slike: Student Computer Art Society.

2) Workflow i obrazovna primjena

RTI se prirodno uklapa u dokumentaciju na terenu i nakon iskapanja. Istraživači mogu fotografirati artefakte, natpise ili arhitektonske površine iz fiksne pozicije kamere uz sustavno mijenjanje kuta osvjetljenja. U fazi naknadne obrade, ti se skupovi slika kombiniraju u softveru (npr. RTIBuilder (zastarjeli softver) ili RelightLab) kako bi se generirala RTI datoteka koja omogućuje interaktivno upravljanje osvjetljenjem.

Tipičan *workflow* započinje snimanjem objekta ili površine pomoću uređaja sa strukturiranim svjetlom ili laserskog skenera, čime se dobivaju gusti oblaci točaka. Ti se podaci zatim čiste, poravnavaju i spajaju u softveru kako bi se dobila zatvorena (*watertight*) i precizno skalirana 3D mreža. Završni model može se analizirati s obzirom na detalje površine, uspoređivati s drugim skupovima podataka ili objaviti u svrhu istraživanja, očuvanja i uključivanja javnosti. Softver otvorenog koda koji može pomoći u tom procesu uključuje MeshLab, CloudCompare, Blender i druge.

Tijekom analize istražuju se fini detalji poput tragova alata, izbljedjelih natpisa, dubine urezivanja ili obrazaca trošenja koje je teško uočiti standardnom fotografijom. Na kraju, u fazi prezentacije i diseminacije, RTI datoteke i 3D modeli mogu se prikazivati i dijeliti sa studentima, kolegama i širom javnošću, omogućujući virtualno, nedestruktivno proučavanje objekata.

Predloženi ishodi mikroučenja:

- Prepoznati osnovne funkcije RTI-ja relevantne za arheologiju.
- Provesti osnovni RTI *workflow*: snimiti manji skup fotografija uz variranje osvjetljenja, obraditi ih u softveru i pregledati rezultat.
- Interpretirati RTI rezultate opisivanjem uočenih površinskih obilježja i raspravom o ograničenjima.

2a) Znanja i vještine stručnjaka (3D skeniranje + RTI)

- **Temeljna znanja:** Osnove digitalnog snimanja i 3D geometrije; interakcija svjetlosti s površinama; oblaci točaka, mreže (*meshes*) i RTI formati datoteka.
- **Praktične vještine:** Upravljanje skenerima ili fotografskim postavama, prikupljanje visokokvalitetnih podataka, poravnanje/čišćenje mreža, obrada RTI slika i izvoz upotrebljivih rezultata.
- **Preporučena podloga:** Uvodna obuka u digitalnoj dokumentaciji; poznavanje alata poput MeshLab, CloudCompare ili RTIBuilder/RelightLab.
- **Vrijeme potrebno za ovladavanje:** 10–20 sati za osnovne *workflow* procese.

3) Primjer(i) / studija slučaja (RTI s minimalnom opremom)

U nastavnom laboratoriju studenti dokumentiraju novčić koristeći fiksnu kameru i više ručnih izvora svjetlosti iz različitih smjerova. Dobivene slike obrađuju se u RelightLabu kako bi se izradila RTI datoteka koja omogućuje interaktivno upravljanje osvjetljenjem površine novčića. Rezultirajući model otkriva fine detalje poput istrošenih natpisa, oznaka kovnice i suptilnih reljefnih obilježja koja je teško uočiti pri uobičajenom osvjetljenju. Studenti vježbaju interpretaciju tih obilježja, uspoređuju obrasce trošenja i stilove graviranja te raspravljaju o tome što oni upućuju o cirkulaciji i kovanju. Ova vježba pokazuje kako RTI i RelightLab unapređuju analizu površine i podupiru iskustveno učenje u digitalnoj epigrafiji.

4) Prednosti i ograničenja (3D Scanning + RTI)

Prednosti	Ograničenja / zahtjevi
Visokodetaljno bilježenje površine Nedestruktivno	Potrebna oprema (skener, kamera, izvor svjetlosti, stativ)

Prednosti	Ograničenja / zahtjevi
Interaktivna analiza i vizualizacija Podržava dokumentiranje, nastavu i objavu Integrira se s drugim digitalnim <i>workflow</i> procesima	Softver zahtijeva određeno vrijeme za učenje Osjetljivo na reflektirajuće/velike površine — RTI u tim slučajevima ne daje dobre rezultate Vrijeme obrade i pohrana podataka Potrebna je određena razina tehničkog znanja

5) Tehnički zahtjevi

- Softver: RelightLab, MeshLab, CloudCompare, Blender, COLMAP/OpenMVS (fotogrametrija).

6) Etička i podatkovna pitanja

Za 3D skeniranje i RTI, etička i podatkovna pitanja uključuju pažljivo rukovanje artefaktima, poštivanje dozvola za kulturno osjetljive objekte te izbjegavanje otkrivanja točnih lokacija lokaliteta.

7) Brzi početak

- Postavljanje – Postaviti objekt na stabilnu površinu; fiksirati kameru/skener i kontrolirati osvjetljenje.
- Snimanje – Snimiti više fotografija za RTI ili skenirati objekt za 3D model.
- Obrada – Koristiti RelightLab (RTI) ili MeshLab/CloudCompare (3D).
- Istraživanje – Interaktivno pregledavati RTI ili 3D model.
- Izvoz – Spremiti rezultate za analizu ili prezentaciju.
- Dokumentiranje – Zabilježiti osnovne metapodatke radi ponovljivosti.

8) Reference i poveznice

Službena stranica RelightLaba	https://vcg.isti.cnr.it/vcgtools/relight/
Online Web3D prezentacija rada <i>A Compact Representation of Relightable Images for the Web</i>	Online Web3D prezentacija
Rad: <i>A Compact Representation of Relightable Images for the Web</i>	https://vcg.isti.cnr.it/vcgtools/relight/compact-representation-relightable.pdf

3D lasersko skeniranje za baštinu: smjernice i preporuke za primjenu laserskog skeniranja u arheologiji i arhitekturi	https://historicengland.org.uk/images-books/publications/3d-laser-scanning-heritage/heag155-3d-laser-scanning
Dense Point Cloud	https://pressbooks.bccampus.ca/ericsaczuk/chapter/chapter-2-1-dense-point-cloud/

Alat 4: Masena spektrometrija (AMS, ICP-MS): visokoprecizna analiza za radiokarbonsko datiranje, određivanje podrijetla i analizu ostataka

Kategorija (razina troška)	Visoka
Razvijatelj / pružatelj	Uobičajeni pružatelji uključuju tvrtke poput Thermo Fisher Scientific, Bruker, Agilent Technologies te specijalizirane istraživačke centre ili sveučilišne laboratorije koji koriste AMS ili ICP-MS instrumente za arheološke analize.
Platforme	Ovisi o hardveru.
Tipična licenca	U pravilu komercijalna, ovisno o pružatelju.
Razina znanja	Napredna
Tipična primjena u arheologiji	Koristi se za precizno radiokarbonsko datiranje, određivanje elementarnog sastava i analizu ostataka radi rekonstrukcije kronologije i prošlih ljudskih aktivnosti.

1) Što alat radi (kratki opis)

Masena spektrometrija (AMS / ICP-MS) visokoprecizna je analitička metoda koja se koristi za određivanje elementarnog ili izotopnog sastava arheoloških materijala. Akceleratorna masena spektrometrija (AMS) omogućuje iznimno precizno radiokarbonsko datiranje iz vrlo malih uzoraka, dok masena spektrometrija s induktivno spregnutom plazmom (ICP-MS) omogućuje identifikaciju tragova elemenata i izotopa radi određivanja podrijetla sirovina ili

analize ostataka. Ove metode omogućuju uvid u kronološke odnose, podrijetlo i obrasce korištenja artefakata poput keramike, metala ili organskih ostataka.



Slika 3: Konzervatorski znanstvenik u Muzeju umjetnosti u Indianapolisu provodi tekućinsku kromatografiju–masenu spektrometriju. Izvor slike: Wikimedia Commons, CC BY-SA 3.0

2) Workflow i obrazovna primjena

Masena spektrometrija primarno se koristi u fazi analize nakon iskapanja. Uzorci prikupljeni na terenu (npr. ugljen, kost, keramika, metal ili ostaci) pažljivo se pripremaju u laboratoriju, često uz kemijsku obradu ili digestiju. AMS ili ICP-MS instrument mjeri izotopni ili elementarni sastav, generirajući precizne podatke za radiokarbonsko datiranje, istraživanja podrijetla ili analizu ostataka. Analitičari potom interpretiraju rezultate kako bi rekonstruirali kronologiju, izvore sirovina ili prošla ljudska ponašanja, a rezultati se mogu predstaviti u izvješćima, publikacijama ili integrirati u 3D vizualizacije artefakata i lokaliteta.

Nastavnici mogu uključiti masenu spektrometriju u nastavu kroz mini-projekt temeljen na dostupnim skupovima podataka. Studenti mogu istraživati stvarne AMS/ICP-MS rezultate, vježbati interpretaciju izotopnih ili elementarnih obrazaca te povezivati nalaze s arheološkim pitanjima. Zadaci mogu uključivati usporedbu skupova podataka ili procjenu utjecaja kvalitete uzorka na rezultate. Također, edukativni posjet laboratoriju koji se bavi masenom spektrometrijom i razgovor sa stručnjakom mogu biti vrlo korisni za studente.

2a) Znanja i vještine stručnjaka (tehničar / analitičar za masenu spektrometriju)

- Temeljna znanja: Analitička kemija, masena spektrometrija (AMS / ICP-MS), izotopi, elementi u tragovima, priprema uzoraka, laboratorijski standardi, formati podataka, kontrola kvalitete.
- Praktične vještine: Upravljanje instrumentima i softverom, sigurna priprema i obrada uzoraka, provedba kontrole kvalitete, rješavanje problema, izvoz podataka, interpretacija spektara i rezultata.
- Preporučena podloga: Studij ili obuka iz kemije/geokemije, laboratorijsko iskustvo s kemikalijama i instrumentima, suradnja s arheolozima i konzervatorima.
- Vrijeme potrebno za ovladavanje: Za samostalan rad — nekoliko mjeseci rada uz mentorstvo; za naprednu razinu — godine prakse.

3) Primjer(i) / studija slučaja

Realistično početno iskustvo za studente može biti edukativni posjet laboratoriju za AMS ili ICP-MS, koji može uključivati uvod u rad laboratorija i obilazak uz stručno vodstvo specijalista za masenu spektrometriju, uz pregled instrumenata i radnih protokola. Tehničar može demonstrirati način pripreme i mjerenja uzoraka, naglašavajući ključne korake u radu s AMS ili ICP-MS uređajima. Studenti potom mogu istražiti dobivene podatke koristeći softver instrumenta. Sesija može završiti zajedničkom raspravom s grupom i stručnjakom/tehničarom, nakon čega slijedi kratka refleksija studenata.

4) Prednosti i ograničenja

Prednosti	Ograničenja / zahtjevi
Visoka preciznost i osjetljivost. Zahtijeva minimalnu količinu uzorka. Omogućuje datiranje, određivanje podrijetla i analizu ostataka. Podržava pouzdanu arheološku interpretaciju. Generira kvantitativne, ponovljive podatke.	Visoki troškovi opreme i održavanja. Zahtijeva specijalizirani laboratorij i stručno osoblje. Priprema uzoraka može biti složena. Destruktivno za male uzorke. Zahtjevna krivulja učenja za rad i interpretaciju podataka.n

5) Tehnički zahtjevi

- Minimalni hardver: Laboratorijski AMS ili ICP-MS instrument; oprema za pripremu uzoraka (vage, posude za digestiju, pipete, digestor); računalo za upravljanje instrumentom i analizu podataka.
- Preduvjeti/ napomene: Zahtijeva uvjete čistog laboratorija i sigurnosne protokole; kemikalije i potrošni materijal za digestiju uzoraka; kalibracijski standardi i referentni materijali za osiguravanje točnosti; rad pod nadzorom osposobljenog osoblja.

6) Etička i podatkovna pitanja

AMS i ICP-MS često zahtijevaju male, ali destruktivne uzorke, stoga su pribavljanje dozvola i minimiziranje uzorkovanja ključni.

7) Reference i poveznice

Video: Kako radi ICP-MS: detaljan vodič kroz principe rada	https://youtu.be/Zer537veqW0?si=NFpljZQazDUfFat_&t=1
Akceleratorska masena spektrometrija (AMS) — datiranje	https://www.radiocarbon.com/accelerator-mass-spectrometry.htm

Metapodaci o prijavi

Partner (institucija)	UKIM
Suradnici (imena i uloge)	Kiril Denkovski, MA (autor), prof. Irena Teodora Vesevska (autorica)
Jezik	Engleski
Datum	13.10.2025.
Kontakt e-mail	k.denkovski@gmail.com , irenap@fzf.ukim.edu.mk

Alat 5: Geofizička prospekcija (GPR, magnetometrija): neinvazivno snimanje podzemnih struktura za detekciju zakopanih obilježja

Kategorija (razina troška)	Visoka
Razvijatelj / pružatelj	Tvrtke (proizvođači opreme i softvera).
Platforme	Windows / macOS (obrada); terenski sustavi ovise o proizvođaču.
Tipična licenca	Komercijalna (uobičajeno); dostupne su i neke akademske/obrazovne licence.
Razina znanja	Srednja
Tipična primjena u arheologiji	Neinvazivne metode snimanja podzemlja koriste se za detekciju i kartiranje zakopanih arheoloških obilježja, struktura ili anomalija mjerenjem varijacija u svojstvima tla i magnetskim poljima.

1) Što alat radi (kratki opis)

Geofizičke metode istraživanja ključni su alati u digitalnoj arheologiji za neinvazivno istraživanje zakopanih arheoloških lokaliteta. Georadar (*Ground Penetrating Radar – GPR*) i magnetometrija tehnike su koje koriste elektromagnetske valove i mjerenja magnetskog polja za detekciju podzemnih anomalija koje mogu upućivati na zidove, grobove ili artefakte bez potrebe za iskopavanjem.

Georadar (GPR) uređaj je koji detektira prisutnost objekata u tlu emitiranjem radiovalova i analizom povratnih signala nastalih refleksijom valova na mjestima gdje postoje razlike u dielektričnim svojstvima materijala. Magnetska mjerenja bilježe prostorne varijacije Zemljina magnetskog polja, a magnetometrija se koristi i u kopnenoj i u podvodnoj arheologiji. Prostorni podaci dobiveni primjenom GPR-a ili magnetometrije obrađuju se u detaljne karte ili trodimenzionalne površine, pružajući uvid u strukturu i stratigrafiju lokaliteta. Primjenom ovih metoda arheolozi mogu učinkovitije dokumentirati i interpretirati lokalitete. Geofizička istraživanja doprinose očuvanju kulturne baštine, uz istodobno povećanje točnosti istraživanja i kvalitete njihove javne prezentacije.

2) Workflow i obrazovna primjena

Unutar tipičnog arheološkog *workflowa*, ove se tehnike primjenjuju prvenstveno prije početka iskapanja. Podaci izmjereni na terenu potom se obrađuju u specijaliziranom softveru kako bi se uklonio šum, poboljšao kontrast i prenijele prostorne informacije na odgovarajuću platformu za daljnju analizu i interpretaciju. Arheolozi analiziraju i interpretiraju anomalije u odnosu na poznate kontekste na lokalitetu, usmjeravajući ciljano iskopavanje i smanjujući nepotrebno narušavanje lokaliteta. Podaci dobiveni GPR-om i magnetometrijom, uz podršku drugih suvremenih digitalnih tehnika (digitalne platforme, GIS, 3D rekonstrukcije itd.), doprinose prezentaciji i promociji kulturne baštine akademskoj i široj javnosti.

Radi bolje kontinuiteta u nastavi, nastavnici mogu predstaviti ove alate kroz 90-minutnu laboratorijsku vježbu koja kombinira kratke demonstracije opreme i zadatke interpretacije podataka u softveru. Kao domaći zadatak, studenti mogu analizirati zadani skup podataka kako bi identificirali moguće arheološke strukture. Razvoj mini-projekta koji uključuje usporedbu prednosti i ograničenja GPR-a i magnetometrije na različitim tipovima lokaliteta potiče kritičko razmišljanje o načinima istraživanja i interpretacije podataka.

Predloženi ishodi mikroučenja:

- Prepoznati odgovarajuće geofizičke metode (GPR ili magnetometrija) za određeno arheološko istraživačko pitanje i uvjete lokaliteta.
- Provesti osnovne korake planiranja istraživanja i prikupljanja podataka (postavljanje mreže, kalibracija, prikupljanje podataka) te izvesti rezultate za daljnju analizu.

- Interpretirati ključne anomalije i procijeniti nesigurnosti/ograničenja, povezujući rezultate s arheološkim obilježjima i odlukama o ciljanom iskopavanju.

2a) Znanja i vještine stručnjaka (profil uloge)

Geofizičke metode istraživanja poput georadara (*Ground Penetrating Radar – GPR*) i magnetometrije zahtijevaju kombinaciju tehničkih, analitičkih i interpretativnih vještina. Iako ovim alatima mogu upravljati geofizičari ili osposobljeni tehničari, i arheolozi moraju razumjeti principe njihove primjene i interpretacije.

- Temeljna znanja: Razumijevanje geofizičkih principa, vodljivosti tla i magnetske susceptibilnosti; poznavanje arheološke stratigrafije i kontekstualne interpretacije.
- Praktične vještine: Kalibracija i upravljanje opremom, prikupljanje podataka u različitim terenskim uvjetima, obrada i vizualizacija geofizičkih podataka pomoću specijaliziranog softvera (npr. TerraSurveyor, Geoplot).ž
- Preporučena podloga: Prethodno terensko iskustvo u arheološkoj prospekciji, obuka u geofizičkom kartiranju i poznavanje GIS-a za integraciju prostornih podataka.
- Vrijeme potrebno za ovladavanje: Osnovno rukovanje može se steći nakon 1–2 tjedna rada na terenu uz mentorstvo; potpuna kompetencija u planiranju istraživanja, analizi podataka i interpretaciji obično zahtijeva nekoliko mjeseci prakse i obuke.

3) Primjer(i) / studija slučaja

Arheološki lokalitet Gradište, selo Crnobuki, grad Bitola, Makedonija. Lokalitet je utvrđeno naselje iz helenističkog i kasnoantičkog razdoblja. Otkriveni su dijelovi helenističke kuće, u kojoj je pronađen velik broj uzoraka i fragmenata kvalitetne keramike te brončanih i srebrnih kovanica iz istog razdoblja. Na lokalitetu su provedena mjerenja georadarom (GPR) radi preciznog planiranja arheoloških iskopavanja (sl. 1).

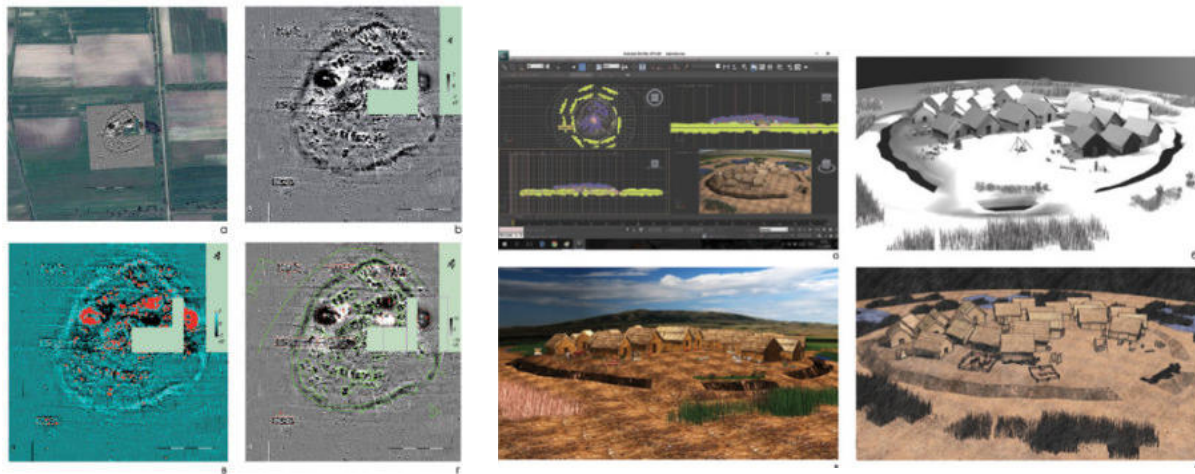


a)

b)

Slika 1. a) Mjerenje georadarom (GPR). b) Rezultati mjerenja georadarom (GPR). Izvor: arhiv autora (UKIM), 2025.

Arheološki lokalitet Vrbjanska Čuka, selo Vrbjani, grad Prilep, Makedonija, predstavlja humak i neolitičko naselje karakteristično za pelagonijsku regiju. Na lokalitetu su provedena multidisciplinarna istraživanja, uključujući i geomagnetsko snimanje. Zahvaljujući rezultatima istraživanja i magnetskog snimanja izrađena je virtualna rekonstrukcija (sl. 2).



a)

b)

Slika 2. a) Rezultati geomagnetskog snimanja; b) Konceptualna virtualna rekonstrukcija. Izvor: arhiv autora (UKIM), 2025.

4) Prednosti i ograničenja

Tehnika	Prednosti	Ograničenja / zahtjevi
Georadar (Ground Penetrating Radar – GPR)	<ul style="list-style-type: none"> • Omogućuje vertikalne i 3D prikaze podzemnih slojeva. • Detektira širok raspon materijala (kamen, opeka, šupljine). 	<ul style="list-style-type: none"> • Učinkovitost ovisi o uvjetima tla (suha, pjeskovita tla su idealna; glinovita/vlažna tla smanjuju penetraciju). • Zahtijeva pažljivu kalibraciju i stručnu obradu podataka.
Magnetometrija	<ul style="list-style-type: none"> • Omogućuje brzo prikupljanje podataka na velikim površinama. • Osjetljiva na antropogene strukture (spaljena područja, jarke, zidove). 	<ul style="list-style-type: none"> • Ne omogućuje jednostavno određivanje dubine struktura. • Ograničena u detekciji nemagnetskih materijala (npr. kamen).

5) Tehnički zahtjevi

Aspekt	Georadar (Ground Penetrating Radar – GPR)	Magnetometrija
Minimalni hardver	<ul style="list-style-type: none"> • GPR uređaj s upravljačkom konzolom i antenom (200–900 MHz, ovisno o dubini istraživanja); GPS ili totalna stanica za georeferenciranje. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fluxgate ili cesijev gradiometarski sustav; GPS ili totalna stanica za postavljanje mreže i georeferenciranje.
Softver	<ul style="list-style-type: none"> • Vlasnički alati za obradu (npr. GSSI RADAN, Mala Object Mapper, EKKO_Project). 	<ul style="list-style-type: none"> • Alati za obradu i vizualizaciju (Geoplot, ArchaeoSurveyor, MagPick).
Podržani formati podataka	<ul style="list-style-type: none"> • Izvorni GPR formati: .rd3, .dzt, .gpr, .DT1; mogućnosti izvoza: .csv, .txt, .tiff, .las, .shp. 	<ul style="list-style-type: none"> • Izvorni magnetometrijski formati: .xyz, .dat, .grd; mogućnosti izvoza: .csv, .txt, .tiff, .shp.

6) Etička i podatkovna pitanja

Zaštita podataka od ključne je važnosti, jer su lokacijske koordinate osjetljive; javno dijeljenje točnih lokacija može dovesti do pljačke nalazišta. Korištenje standardnih formata podataka pri dokumentiranju osigurava mogućnost ponovne uporabe skupova podataka. Kulturni i pravni aspekti zahtijevaju od istraživača

pridržavanje lokalnih zakona o zaštiti kulturne baštine i odgovoran odnos prema lokalnim zajednicama. Etička praksa osigurava i zaštitu arheoloških resursa i unaprjeđenje znanstvenog istraživanja.

7) Reference:

Conolly, J., & Lake, M. (2006). Geographical information systems in archaeology. Cambridge University Press.

Dalu, P., & Evans, T. L. (2005). Digital archaeology: Bridging method and theory. Routledge.

Oswin, J. (2009). A field guide to geophysics in archaeology. Springer.

Vukadinović, M. (2011). Primena geofizike u arheologiji. Kraljevo.

Witten, A. J. (2005). Handbook of geophysics and archaeology. Routledge.

Alat 6: Umjetna inteligencija i strojno učenje: automatizacija zadataka poput analize podataka, prepoznavanja obrazaca i klasifikacije artefakata

Kategorija (razina troška)	Srednja
Razvijatelj / pružatelj	Zajednica otvorenog koda i tvrtke (ekosustav alata)
Platforme	Windows / macOS / Linux / Web (npr. cloud okruženja)
Tipična licenca	Otvoreni kod (uobičajeno) + komercijalne cloud usluge (opcionarno)
Razina znanja	Srednja
Tipična primjena u arheologiji	Napredne računalne metode koje automatiziraju analizu podataka, prepoznavanje obrazaca i klasifikaciju artefakata povećavaju učinkovitost i točnost arheoloških istraživanja.

1) Što alat radi (kratki opis)

UI i alati strojnog učenja transformiraju digitalnu arheologiju automatizacijom složenih zadataka poput analize podataka, prepoznavanja obrazaca i klasifikacije artefakata. Ovi sustavi mogu brzo obraditi velike skupove podataka s

iskopavanja, satelitskih snimaka i 3D skenova, prepoznajući obrasce i odnose koji bi mogli promaknuti ljudskim istraživačima. Treniranjem algoritama na postojećim arheološkim zapisima, alati mogu klasificirati artefakte, detektirati obilježja lokaliteta pa čak i predvidjeti potencijalna područja za iskopavanje. Takva automatizacija ubrzava istraživanja, povećava točnost i smanjuje mogućnost ljudske pogreške. U konačnici, analize temeljene na umjetnoj inteligenciji podupiru dokumentiranje i očuvanje kulturne baštine čineći arheološke podatke dostupnijima, dosljednijima i lakšima za interpretaciju.

2) Workflow i obrazovna primjena

UI i strojno učenje pojednostavljuju workflow procese, otkrivaju skrivene obrasce i podupiru donošenje odluka u arheološkim istraživanjima. Studenti mogu uvježbavati osnovne postupke poput pripreme podataka, treniranja/testiranja modela i interpretacije rezultata, uz razvoj kritičke svijesti o kvaliteti podataka i pristranosti u arheološkim primjenama.

Predloženi ishodi mikroučenja:

- Prepoznati prikladne UI/ML pristupe (npr. klasifikacija, grupiranje, predviđanje) za određene arheološke skupove podataka i istraživačka pitanja.
- Provesti osnovni ML *workflow* koristeći pripremljeni skup podataka (predobrada, treniranje, evaluacija i izvoz rezultata).
- Kritički interpretirati rezultate modela, uključujući nesigurnosti, pristranosti i ograničenja validacije, te ih povezati s arheološkom interpretacijom.

U obrazovanju se UI može uvesti kroz laboratorijske vježbe, domaće zadatke i mini-projekte. Primjerice, 90-minutna laboratorijska vježba može osposobiti studente za klasifikaciju slika artefakata i evaluaciju točnosti modela. Domaći zadaci mogu uključivati primjenu grupiranja ili regresije na manjim skupovima podataka, dok mini-projekti omogućuju prediktivno kartiranje ili naprednu klasifikaciju artefakata. Ove aktivnosti razvijaju tehničke vještine i kritičko razumijevanje uloge UI-a u arheologiji.

2a) Znanja i vještine stručnjaka (profil uloge)

Primjene umjetne inteligencije (UI) i strojnog učenja (ML) u arheologiji zahtijevaju i računalnu stručnost i razumijevanje domene. Iako arheolozi ne moraju nužno sami razvijati algoritme, moraju razumjeti pripremu podataka, interpretaciju rezultata i etičke dimenzije automatizirane analize.

- **Temeljna znanja:** Razumijevanje principa UI-a i ML-a, struktura podataka i treniranja modela; poznavanje arheoloških skupova podataka i tipologija koje se koriste za prepoznavanje obrazaca i klasifikaciju.
- **Praktične vještine:** Korištenje otvorenih ili komercijalnih ML platformi (npr. TensorFlow, PyTorch, Weka); priprema i čišćenje podataka; označavanje i evaluacija rezultata modela; interpretacija automatiziranih rezultata u arheološkom kontekstu.
- **Preporučena podloga:** Obuka iz podatkovne znanosti ili digitalne arheologije, iskustvo u programiranju (Python ili R), statističko razmišljanje i interdisciplinarna suradnja s računalnim stručnjacima.
- **Vrijeme potrebno za ovladavanje:** Osnovno razumijevanje može se postići kroz kratkotrajne tečajeve (20–40 sati); razvoj vlastitih modela ili istraživanja na naprednoj razini može zahtijevati nekoliko mjeseci intenzivnog rada.

3) Studija slučaja – automatizirana klasifikacija keramike

Na neolitičkom lokalitetu studenti rade sa skupom podataka koji sadrži slike keramičkih ulomaka prikupljenih tijekom iskopavanja. Korištenjem modela strojnog učenja klasificiraju ulomke prema tipu, ukrasu i tehnici izrade. Očekivani rezultati uključuju označene slike, izvješća o točnosti i vizualizacije distribucije artefakata. Obrazovna vrijednost proizlazi iz praktičnog rada s UI-potpomognutom analizom artefakata, razumijevanja kako automatizirana klasifikacija ubrzava obradu podataka nakon iskapanja te kritičkog vrednovanja učinkovitosti i ograničenja modela.

4) Prednosti i ograničenja

Faza <i>workflowa</i>	Prednosti	Ograničenja
Istraživanje	Ubrzava istraživanje, otkriva suptilna obilježja.	Zahtijeva visokokvalitetne snimke; može propustiti male ili skrivene elemente.
Iskopavanje	Smanjuje potrebu za ručnim bilježenjem, povećava točnost.	Ovisi o treniranosti modela; može pogrešno klasificirati neuobičajene artefakte.
Naknadna obrada	Štedi vrijeme, osigurava dosljedno označavanje.	Zahtijeva velike skupove podataka; rijetki ili oštećeni artefakti mogu biti pogrešno klasificirani.

Analiza	Otkriva skrivene obrasce.	UI ne može u potpunosti interpretirati kulturni i povijesni kontekst.
Prezentacija	Unaprjeđuje komunikaciju, integrira se s GIS-om.	Zahtijeva značajne resurse i tehničke vještine.

5) Tehnički zahtjevi

Kategorija	Preporučeno
Hardver	GPU preporučeno za duboko učenje (NVIDIA GTX 1050+), 16 GB RAM-a preporučeno za velike skupove podataka, SSD poboljšava brzinu obrade; veliki ili dvostruki monitori korisni za vizualizaciju.
Programsko okruženje	Jupyter Notebook ili Google Colab preporučeni.
Biblioteke i alati	Duboko učenje za klasifikaciju slika; klasični ML algoritmi; obrada slika; upravljanje podacima i vizualizacija.
Alati za vizualizaciju	Za prostorno kartiranje ili 3D rekonstrukcije.

6) Etička i podatkovna pitanja

UI u arheologiji zahtijeva pažnju pri licenciranju podataka, uz osiguravanje pravilnog korištenja i navođenja izvora skupova podataka i rezultata. Zaštita privatnosti ključna je za osjetljive lokacije lokaliteta kako bi se spriječila pljačka. Pristupačnost osigurava da alati i podaci budu dostupni svim studentima i istraživačima. Također je važno obratiti pozornost na pristranost u UI modelima, koja može utjecati na klasifikaciju artefakata ili interpretaciju obrazaca.

7) Brzi početak

- Priprema podataka – Prikupiti i organizirati slike artefakata u označene mape (npr. tipovi keramike).
- Postavljanje okruženja – Instalirati Python, Jupyter Notebook (ili koristiti Google Colab) te biblioteke i alate: TensorFlow/PyTorch, OpenCV, NumPy, pandas.
- Učitavanje i predobrada slika – Promijeniti veličinu, normalizirati i podijeliti slike na skupove za treniranje i testiranje.
- Treniranje modela – Koristiti jednostavan ili prethodno trenirani model za klasifikaciju slika.

- Evaluacija performansi – Provjeriti točnost, matricu zabune (confusion matrix) i po potrebi prilagoditi parametre.
- Vizualizacija i interpretacija – Prikazati klasificirane slike, trendove ili obrasce radi analize.

8) Reference

Juan A. Barcelo & Igor Bogdanovic., Mathematics and Archaeology., CRC Press., 2020.

Katja Müller., Digital Archives and Collections - Creating Online Access to Cultural Heritage., Berghahn Books., 2021.

Claire Warwick, Katherine Aske., Navigating Artificial Intelligence for Cultural Heritage Organisations., UCL Press 2025.

Maurizio Forte, Stefano Campana., Digital Methods and Remote Sensing in Archaeology., Springer 2017.

Simon Lindgren., Handbook of Critical Studies of Artificial Intelligence., Edward Elgar Publishing 2023.

Metapodaci o prijavi

Partner (institucija)	BARU
Suradnici (imena i uloge)	Doc. dr. sc. Lale Özdemir-Şahin (autorica); prof. dr. sc. Şahin Yıldırım (recenzent); doc. dr. sc. Ali Bora (autor)
Jezik	Engleski / turski
Datum	16.12.2025.
Kontakt e-mail	lsahin@bartin.edu.tr sahinyildirim@bartin.edu.tr aliborabora@bartin.edu.tr

Alat 7: Fotogrametrija i 3D modeliranje: izrada detaljnih 3D modela sitnih arheoloških nalaza na temelju fotografija

Kategorija (razina troška)	Niska / srednja
Razvijatelj / pružatelj	U području računalnog softvera dostupne su različite besplatne, otvorenokodne i komercijalne digitalne opcije za osobnu, obrazovnu ili komercijalnu uporabu u bliskometražnoj fotogrametriji i 2D–3D dokumentiranju. Neki od proizvođača i/ili pružatelja, kao i softverska rješenja koja nude, uključuju: Drone Emotions Ltd. – Agisoft Metashape; AliceVision – Meshroom; The Inkscape Project – Inkscape.
Platforme	Windows / macOS / Linux / Web / mobilne platforme
Tipična licenca	Besplatna / otvoreni kod / akademska / komercijalna / osobna / obrazovna
Razina znanja	Srednja / napredna
Tipična primjena u arheologiji	2D i 3D snimanje i dokumentiranje arheološke kulturne baštine; izrada 3D modela; 2D crtanje sitnih arheoloških nalaza.

1) Što alat radi (kratki opis)

Dokumentiranje u arheologiji jedan je od temeljnih zahtjeva i primjena znanosti. Točno dokumentiranje i arhiviranje stvarnosti, njezina dostupnost za korištenje

stručnjacima i akademskoj zajednici, njezina objava te prijenos budućim generacijama kao dijela kulturne baštine imaju iznimno važno mjesto u ovoj disciplini. U tom kontekstu, uz razvoj tehnologije, jedan od temeljnih alata i metoda koji se koriste u arheološkoj dokumentaciji jest fotogrametrija (Cerasoni et al. 2022). U arheologiji se fotogrametrija i 2D–3D dokumentiranje artefakata trebaju promatrati kao digitalni alat, metoda ili *workflow*, budući da zahtijevaju korištenje specifičnog softvera u računalnom okruženju.

Fotogrametrija se ukratko može definirati kao disciplina mjerenja i interpretacije fotografskih snimaka objekata primjenom digitalnih metoda (Aber et al. 2010, 23 ff). Ima širok raspon primjena — od detekcije i identifikacije vrlo velikih arheoloških lokaliteta kombiniranjem vizualnih informacija dobivenih iz izvora poput dronova, LiDAR-a, satelitskih snimaka i digitalnih kamera s metodama daljinskog istraživanja, do 3D vizualizacije i dokumentiranja manjih elemenata kulturne baštine (Renfrew i Bahn 2016, 82–86; Dall’Asta et al. 2016, 243–245).

Fotogrametrija je važna jer omogućuje primjenu suvremenih metoda dokumentiranja i prezentacije arheološke kulturne baštine, pruža brže i točnije rezultate u odnosu na starije metode, učinkovita je u izradi 3D prikaza te nudi raznovrsnije mogućnosti diseminacije informacija (Aber et al. 2010; Marín-Buzón et al. 2021). Nadalje, raznolikost danas dostupnog fotogrametrijskog softvera omogućuje vrlo niskobudžetna, pa čak i besplatna rješenja za 3D snimanje i modeliranje. Primjerice, korisnici s osobnim računalom, prijenosnim računalom i pametnim telefonom mogu, uz učenje i određenu obuku u tehnikama 3D snimanja, izraditi različite modele.

2) Workflow i obrazovna primjena

Neke od osnovnih funkcija bliskometražnih fotogrametrijskih aplikacija (poput Meshrooma i sl.) u arheološkoj znanosti mogu se sažeti kako slijedi:

- a) Horizontalno i vertikalno dokumentiranje i vizualizacija stratigrafije sondi tijekom arheološkog iskapanja,
- b) Dokumentiranje i 3D vizualizacija nalaza otkrivenih tijekom iskapanja i površinskih istraživanja,
- c) Prezentacija arheološkog materijala i diseminacija informacija javnosti.

Nastavnici mogu integrirati bliskometražne fotogrametrijske aplikacije u nastavne procese u okviru gore navedenih točaka a, b i c.

Predloženi ishodi mikroučenja:

- Prepoznati i primijeniti brze, niskobudžetne i suvremene metode za 3D modeliranje sitnih nalaza dobivenih arheološkim iskopavanjima i/ili površinskim istraživanjima.
- Osigurati osnovne preduvjete (hardver, softver, računalo, laboratorij/učionica), steći iskustvo (interakcija nastavnik–student; učenje softvera, digitalne fotografije, digitalnog snimanja i modeliranja) te primijeniti osnovne korake modeliranja. Pripremiti 3D podatke za uporabu, objavu i diseminaciju.
- Interpretirati tehnike 3D modeliranja kako bi se stekla odgovarajuća perspektiva o elementima arheološke kulturne baštine poput sitnih nalaza. Razumjeti minimalne zahtjeve za izradu modela i uočiti proporcionalni odnos između modela i stvarnog objekta. Razviti svijest o brzini i jednostavnosti koje digitalni alati omogućuju u prikupljanju podataka i njihovoj transformaciji u virtualne objekte. Razumjeti stanje suvremenog tehnološkog okruženja u smislu njegove primjerenosti, primjenjivosti, troška i dostupnosti.

Uspjeh na razini polaznika/studenta može se postići nakon nekoliko nastavnih faza u ukupnom trajanju od približno 240 minuta te izvršavanja potrebnih domaćih zadataka. Analitičke i stilističke analize sitnih nalaza identificiranih tijekom arheoloških iskapanja ili terenskih istraživanja mogu se unaprijediti primjenom navedenih metoda snimanja, što dovodi do učinkovitijeg učenja.

Primjer osnovnog zadatka / mini-workflowa:

Digitalna stereoskopska fotografija i vizualizacija sitnog nalaza otkrivenog tijekom iskapanja i/ili površinskog istraživanja mogu se praktično provoditi u laboratorijskom ili učioničkom okruženju, koristeći osnovni softver.

Rezultati i ograničenja:

Rezultati će biti u visokokvalitetnim digitalnim formatima. Za pravilnu i dugoročnu pohranu podataka preporučuje se izrada višestrukih sigurnosnih kopija i pohrana na medije dovoljnog kapaciteta.

Postupno zastarijevanje pohranjenih i sigurnosno kopiranih formata datoteka zahtijeva poduzimanje mjera kako bi se izbjegla ovisnost o zastarjelim softverskim paketima.

Podatke je potrebno ažurirati kako bi ostali kompatibilni s novim metodama i formatima datoteka u kontekstu promjenjivih i razvijajućih tehnologija.

Rezultati su primarno namijenjeni korisnicima upoznatima s računalnim okruženjem. Osnovne računalne vještine možda neće biti dovoljne. I nastavnik i zajednica učenja trebaju imati srednju do naprednu razinu znanja i iskustva u radu s hardverom, softverom i aplikacijama.

3) Primjer(i) / studija slučaja

Kratki primjer: 3D snimanje i dokumentiranje sitnog nalaza

30–40 digitalnih stereoskopskih fotografija nalaza,

Učitavanje slika pohranjenih u mapu u osnovni fotogrametrijski softver,

Osnovni automatski procesi u softveru: poravnanje slika, uparivanje, oblak točaka, izrada mreže (*meshing*), teksturiranje,

Rezultat: *Structure from Motion* (SfM), 3D objekt (.obj).

4) Prednosti i ograničenja

Prednosti	Ograničenja / zahtjevi
<ul style="list-style-type: none"> • Relativno nizak trošak, • Jednostavno za učenje, • Detaljno snimanje, • Omogućuje brzu diseminaciju prema javnosti, • Dugoročna zaštita, • Udaljeni pristup, • Dosezanje znatno šireg kruga korisnika i/ili polaznika, • Dostupnost besplatnog i/ili otvorenog softvera. 	<ul style="list-style-type: none"> • Iskustvo rada na stolnim i prijenosnim računalima, • Potreban GPU, • Troškovi licenci, • Napredni zahtjevi za računalni hardver i softver, • Potrebna srednja razina računalnih vještina, • Uređaji za digitalno snimanje (digitalni fotoaparati, rotirajuća platforma (<i>turntable</i>), stativ, rasvjetni uređaj itd.).

5) Tehnički zahtjevi

- Zahtijeva napredan računalni hardver.
Zahtijeva odgovarajuću grafičku karticu i ažurirane upravljačke programe.
Zahtijeva dovoljan kapacitet GPU-a, RAM-a, SSD-a i VRAM-a.
- Licencirani, besplatni, otvoreni ili ograničeni softver:
Softver za obradu fotografija: Photoshop, Gimp, Krita, Affinity Photo
Fotogrametrijski softver: Agisoft MetaShape, RealityCapture – RealityScan, Meshroom
3D ilustracija i renderiranje: 3Ds Max, Blender, Cinema 4D
- Podržani formati podataka uključuju osnovne ekstenzije koje koriste navedeni programi (.jpeg, .bitmap, .mp4, .psd, .blend, .obj itd.).

Minimalni zahtjevi	
Operativni sustavi	Windows x64, Linux, macOS
CPU	Noviji Intel ili AMD
RAM	8 Gb
Tvrđi disk	~400 MB za Meshroom +
GPU	NVIDIA GPU s podrškom za CUDA (compute capability ≥ 2.0)

6) Etička i podatkovna pitanja

Etička razmatranja: Glavna razmatranja uključuju, ali nisu ograničena na, kulturnu aroprijaciju, oskrnuće svetih lokaliteta te neovlaštenu komercijalnu eksploataciju i uništavanje arheoloških lokaliteta, artefakata, struktura i prirodnih resursa. Razvijatelji moraju pribaviti izričitu i informiranu suglasnost istraživača, lokalnih autohtonih zajednica i upravitelja zemljišta.

- Prava istraživača i prava objavljivanja.
- Pitanja autorskih prava, privatnosti i sigurnosti.
- Zabrinutosti zbog kulturne aroprijacije koje izražavaju lokalne zajednice.
- Problemi dugoročnog očuvanja i arhiviranja podataka.
- Zabrinutosti zbog nejednakog pristupa u obrazovne i diseminacijske svrhe.

7) Brzi početak

- Pripremiti 30–40 digitalnih stereoskopskih fotografija sitnog nalaza,
- Spremiti slike u odgovarajuću mapu,
- Učitati slike ili mapu u osnovni fotogrametrijski softver,
- Pokrenuti proces digitalnog 3D snimanja: poravnanje slika, uparivanje, oblak točaka, izrada mreže (meshing), teksturiranje, rezultat: Structure from Motion (SfM), 3D objekt (.obj),
- Provjeriti završni model. Po potrebi očistiti mrežu i ukloniti neželjene točke i oblake točaka kako bi se dobio model s pravilnom i čistom površinom.

8) Reference i poveznice

Službena stranica / dokumentacija	Primjeri softvera: Meshroom (https://alicevision.org/), (https://alicevision.org/#meshroom), Agisoft Metashape, (https://www.agisoft.com/), The Inkscape Project Website (https://inkscape.org/).
Izvori za učenje	(https://www.youtube.com/watch?v=yKbyVDK2Ep8), (https://www.youtube.com/watch?v=tiOeMgLHSrA)

Aber, James S.; Marzloff, Irene; Ries, Johannes B., *Small-Format Aerial Photography Principles, Techniques and Geoscience Applications*, Elsevier, Amsterdam, 2010.

Cerasoni, Jacopo Niccolò; do Nascimento Rodrigues, Felipe; Tang, Yu; Yuko Hallett, Emily, "Do-It-Yourself Digital Archaeology: Introduction and Practical Applications of Photography and Photogrammetry For the 2D and 3D Representation of Small Objects and Artefacts", *Plos One*, 17/4, 2022, s. e0267168, s. 1-6.

Dall'Asta, E.; Bruno, N.; Bigliardi, G.; Zerbi, A.; R. Roncella, "Photogrammetric Techniques for Promotion of Archaeological Heritage: The Archaeological Museum of Parma (Italy)", *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 51-B5, 2016 23 ISPRS Congress, 12-19 July 2016, Czech Republic, Prague, 2016, s. 243-250.

Lifestyle Sustainability Directory (2024).
<https://lifestyle.sustainability-directory.com/learn/what-are-the-ethical-risks-of-usi>

[ng-photogrammetry-or-lidar-scanning-in-sacred-or-protected-natural-areas-for-vr](#)
(accessed on 22nd November 2025).

Marín-Buzón, Carmen; Pérez-Romero, Antonio; López-Castro, José Luis; Jerbania, Imed Ben; Manzano-Agugliaro, Francisco, "Photogrammetry as a New Scientific Tool in Archaeology: Worldwide Research Trends", *Sustainability*, 13, 5319, 2021, s. 1-27.

Renfrew, Colin; Bahn, Paul, *Archaeology Theories Methods and Practice*, Thames & Hudson Ltd., London, 2016.

Alat 8: Virtualna i proširena stvarnost (VR/AR): rekonstrukcija lokaliteta i objekata za vizualizaciju, edukaciju i uključivanje javnosti

Kategorija (razina troška)	Srednja – visoka
Razvijatelj / pružatelj	Ovaj vodič upućuje na ekosustav digitalnih alata te koristi različite primjere konkretnih rješenja. U području VR/AR-a postoji niz otvorenokodnih, zajedničkih i komercijalnih alata zatvorenog koda. Među tvrtkama su, primjerice, Unity i Nexus Studios, uz mnoge druge.
Platforme	U određenoj mjeri koriste se sve sljedeće platforme: Windows / macOS / Linux / Web / mobilne platforme.
Tipična licenca	Besplatno: Blender i Google ARCore Otvoreni kod: Godot i A-Frame Akademska Komercijalna: Unity Neke VR/AR tehnologije u početku su besplatne za korištenje, no licence za komercijalne alate mogu biti skupe.
Razina znanja	Početna: korisnici mogu izrađivati jednostavne rekonstrukcije ili AR modele (npr. Blender, Sketchfab). Srednja: potrebna su tehnička znanja za izradu interaktivnih VR obilazaka istraženih lokaliteta ili AR slojeva na lokalitetima; alati uključuju Blender i Maya.

	Napredna: omogućuje arheolozima, stručnjacima za baštinu i developerima izradu visokorealističnih, znanstveno utemeljenih i interaktivnih iskustava koja nadilaze osnovnu vizualizaciju.
Tipična primjena u arheologiji	Proširena stvarnost (AR) omogućuje izradu interaktivnih 3D modela arheoloških lokaliteta i artefakata, dok virtualna stvarnost (VR) pruža računalno generirano, potpuno uranjajuće iskustvo uz korištenje odgovarajuće opreme.

1) Što alat radi (kratki opis)

Proširena stvarnost (AR) i virtualna stvarnost (VR) odvojene su tehnologije koje koriste računalno generirana okruženja za nadogradnju ili zamjenu stvarnih iskustava (Kukreja, V. et al., 2024: 1). Korištenjem simuliranih okruženja, AR i VR pružaju jedinstven uvid u kulturnu baštinu arheologije, omogućujući korisnicima istraživanje rekonstruiranih lokaliteta kao da su fizički prisutni te interakciju s povijesnim artefaktima i naslijeđem na načine koje tradicionalne metode ne mogu ponuditi. AR i VR također imaju važnu ulogu u očuvanju arheoloških lokaliteta i artefakata.

Iz perspektive diseminacije, AR i VR nadilaze granice geografije, vremena i prostora, omogućujući pristup svima. To je osobito važno za osobe iz ranjivih skupina te za one pogođene ratom i raseljavanjem, koji mogu imati znatnu korist od ovih tehnologija koje pomažu očuvati kolektivno pamćenje i kulturnu baštinu. AR i VR ujedno su vrijedni alati za obrazovno obogaćivanje, uvodeći inovativne tehnologije studentima i učenicima svih dobnih skupina.

2) Workflow i obrazovna primjena

AR i VR unapređuju više faza arheološkog *workflowa* poboljšavajući vizualizaciju, prostornu percepciju i interpretativne mogućnosti. Tijekom istraživanja i iskapanja, AR omogućuje preklapanje prostornih ili stratigrafskih podataka izravno na terensko okruženje, dok VR omogućuje virtualne obilaske i simulaciju istraživačkih strategija. U fazi naknadne obrade i analize, uranjajuća okruženja omogućuju studentima i korisnicima pregled 3D modela, stratigrafije i rekonstrukcija iz različitih perspektiva, što doprinosi kvalitetnijoj interpretaciji i suradničkoj analizi. U prezentaciji obje tehnologije potiču angažirajuću

komunikaciju s javnošću putem AR rekonstrukcija na lokalitetu i udaljenih VR obilazaka.

Za potrebe nastave, AR/VR se može integrirati u 90-minutnu laboratorijsku vježbu koja uključuje kratki uvod, praktično istraživanje VR modela sonde ili AR rekonstrukcija te završnu analitičku aktivnost. Ovakva struktura osposobljava studente za prepoznavanje obilježja, razumijevanje prostornih odnosa i procjenu arheoloških interpretacija unutar uranjajućih okruženja. Cilj je omogućiti studentima da uoče kako AR/VR mijenja njihovu percepciju podataka u odnosu na tradicionalne 2D nacрте ili fotografije.

Zadaci za studente mogu uključivati anotiranje VR modela, kritičku analizu AR rekonstrukcije ili usporedbu 2D i 3D dokumentacije. Opsežniji projekti mogu obuhvaćati izradu jednostavne AR rekonstrukcije, osmišljavanje kratkog interpretativnog VR obilaska ili analizu načina na koji AR/VR podupire određenu fazu arheološkog *workflowa*. Ove aktivnosti pomažu studentima povezati uranjajuće tehnologije sa stvarnom arheološkom praksom te razviti kritičke digitalne vještine.

3) Primjer(i) / studija slučaja

Tip lokaliteta: Izrada novog VR iskustva usmjerenog na arheološki lokalitet Tios u Zonguldaku. VR omogućuje virtualno „kretanje“ kroz rekonstruirane objekte poput hramova na akropoli, bazilike, nekropole, obalnog zida i drugih struktura. AR se koristi za prikaz digitalnih modela keramike i drugih artefakata.

Aktivnost: Izrada jedinstvene 3D rekonstrukcije korištenjem proširene i virtualne stvarnosti.

Očekivani rezultat: Pružanje realističnog dojma života u rimskom razdoblju.

Ishod učenja: Učenje primjene tehnologija proširene i virtualne stvarnosti u obrazovne i diseminacijske svrhe.

4) Prednosti i ograničenja

Prednosti	Ograničenja / zahtjevi
<ul style="list-style-type: none">• Visoka razina uranjanja i prisutnosti.	<ul style="list-style-type: none">• Visokokvalitetni VR i AR modeli zahtijevaju značajnu računalnu

Prednosti	Ograničenja / zahtjevi
<ul style="list-style-type: none"> • Tehnologije virtualne i proširene stvarnosti uranjaju korisnike u povijesna okruženja, omogućujući istraživanje antičkih lokaliteta i artefakata iz jedinstvenih perspektiva. • Neke tehnologije su otvorenog koda i temeljene na zajednici, što omogućuje niskobudžetna rješenja. • Omogućuju arheolozima digitalnu rekonstrukciju drevnih krajolika, struktura i urbanih cjelina. • Unaprjeđuju uključivanje javnosti i društvenu diseminaciju. • Koristan alat za diseminaciju u obrazovne svrhe i za ranjive skupine. • Vještine i iskustva koja je teško steći na stvarnim lokalitetima mogu se razviti korištenjem ovih tehnologija. 	<p>snagu i napredne hardverske kapacitete.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Softver potreban za izradu, održavanje i ažuriranje uranjajućih iskustava ima zahtjevnu krivulju učenja. • Ograničenja proračuna mogu onemogućiti potrebna ulaganja u opremu i obuku. • Neki arheološki lokaliteti nemaju potrebnu infrastrukturu za podršku naprednim digitalnim alatima, što dodatno pogađa slabije razvijene regije. • Pitanja privatnosti i sigurnosti podataka. • Izazovi dugoročnog očuvanja.

5) Tehnički zahtjevi

Zahtjevi	AR	VR
Minimalni hardver	<p>Mobilni uređaj (A12 Bionic / Snapdragon 845+)</p> <p>3–4 GB RAM-a</p> <p>Kamera i senzori pokreta</p> <p>Opcionalno: AR naočale</p>	<p>Samostalni VR uređaj (Quest 2/3, Pico 4) ili</p> <p>PC-VR (i5/Ryzen 5+, GTX 1060+, 8–16 GB RAM-a)</p> <ul style="list-style-type: none"> • USB/DP/HDMI priključci • Integrirano ili vanjsko praćenje

Zahtjevi	AR	VR
Minimalni softver	iOS 13+ (ARKit) ili Android 8+ (ARCore) Unity/Unreal (AR Foundation) Xcode / Android Studio	Meta Quest OS, SteamVR, Windows MR Unity (XR Toolkit), Unreal VR OpenXR, Oculus SDK, SteamVR SDK
Podržani formati podataka	3D: USDZ, GLTF/GLB, FBX, OBJ Slike: PNG, JPEG Datoteke za markere/scenu	3D: FBX, OBJ, GLTF/GLB Teksture: PNG, JPEG, HDR 360° video (MP4 H.264/H.265)
Preduvjeti / napomene	VR runtime (OpenXR/Oculus/SteamVR) Ažurirani GPU upravljački programi Opcionalno: praćenje ruku, haptički sustavi	VR runtime (OpenXR/Oculus/SteamVR) Ažurirani GPU upravljački programi Opcionalno: praćenje ruku, haptički sustavi

U kontekstu dugoročnog očuvanja, AR i VR modeli najčešće se izrađuju kao 3D modeli, stoga je ključno posvetiti posebnu pažnju njihovom dugoročnom očuvanju i arhiviranju.

6) Etička i podatkovna pitanja

Pitanja privatnosti i sigurnosti.

Zabrinutosti zbog kulturne aproprijacije koje izražavaju lokalne zajednice.

Problemi dugoročnog očuvanja i arhiviranja podataka.

Zabrinutosti zbog nejednakog pristupa u obrazovne i diseminacijske svrhe.

U AR i VR aplikacijama nužno je jasno razlikovati rekonstrukcije temeljene na dokazima od hipotetskih rekonstrukcija kako bi se osiguralo transparentno, autentično i etički odgovorno korisničko iskustvo.

7) Brzi početak

VR brzi početni prikaz (općenito):

- Korisnik stavlja VR uređaj i postiže sljedeće:
- 6DoF praćenje pokreta glave
- Interakciju rukama/kontrolerom

- Osnovni osjećaj uranjanja

8) Reference i poveznice

Kukreja, V., Singh, A., Kaur, D., & Kaur Bajwa, J. (Eds.). (2024). *Digital cultural heritage: Challenges, solutions, and future directions* (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781032630564>

Preserving 3D data types series: Artefactual systems and the Digital Preservation Coalition. (2021). <https://www.dpconline.org/docs/technology-watch-reports/2479-preserving-3d/file>

Shih, N.-J., & Chen, H.-X. (2020). Digital preservation of old cultural elements in AR and VR. In *2020 3rd IEEE International Conference on Knowledge Innovation and Invention (ICKII)* (pp. 125–127). <https://doi.org/10.1109/ICKII50300.2020.9318838>

Tsetskhladze, G. R., & Yildirim, Ş. (Eds.). (2023). *Tios/Tieion on the southern Black Sea in the broader context of Pontic archaeology*. Archaeopress.

Turkish Museums. (n.d.). <https://turkishmuseums.com/Uploads/M%C3%BCze/Dosya/77106171-c599-49f0-abe6-3ebcfc8d8b9b.pdf>

Virtual reality (VR), augmented reality (AR) and gaming. (n.d.). <https://www.wessexarch.co.uk/archaeological-services/virtual-reality-vr-augmented-reality-ar-and-gaming>

Virtual reality and augmented reality in archaeological interpretation. (2025). <https://www.idigsheffield.org.uk/virtual-reality-and-augmented-reality-in-archaeological-interpretation.html>

Werner, L., Brey, P., & Henschke, A. (2025). Augmented reality and ethics: Key issues. *Virtual Reality*, 29, 122. <https://doi.org/10.1007/s10055-025-01172-7>

The ethical challenges of AR and VR. (2023).
<https://medium.com/@alex24dutertre/the-ethical-challenges-of-ar-vr-a5333594f909>

Metapodaci o prijavi

Partner (institution)	IEF
Contributors (names & roles)	Dr. Koraljka Kuzman Šlogar (author), Dr. Ivana Štokov (author)
Language	Engleski, hrvatski
Date	28. 11. 2025.
Contact email	koraljka@ief.hr stokov@ief.hr

Alat 9: Prikupljanje terenskih podataka (mobilne aplikacije): korištenje tableta i pametnih telefona za standardizirano bilježenje podataka na terenu

Kategorija (razina troška)	Niska
Razvijatelj / pružatelj	Primarno manji otvorenokodni i komercijalni pružatelji: OPENGIS.ch (QField), Softwel (SW Maps), Lutra Consulting (Mergin Maps)
Platforme	Windows / macOS / Linux / Web / mobilne platforme
Tipična licenca	QField – besplatan, otvoreni kod; SW Maps – besplatan; Mergin Maps – freemium (komercijalno rješenje s besplatnom razinom)
Razina znanja	Početna – srednja (preporučeno osnovno poznavanje GIS-a)
Tipična primjena u arheologiji	Koristi se za standardizirano, georeferencirano bilježenje podataka tijekom terenskih istraživanja i iskapanja (lokaliteti, strukture, sonde, nalazi, fotografije, bilješke) na pametnim telefonima ili tabletima, uz sinkronizaciju podataka s QGIS-om za kartiranje, analizu i dugoročno arhiviranje.

1) Što alat radi (kratki opis)

Mobilne aplikacije za prikupljanje terenskih podataka, poput QFielda, SW Mapsa i Mergin Mapsa, omogućuju arheolozima korištenje pametnih telefona i tableta za standardizirano, georeferencirano bilježenje podataka izravno na terenu. Nadovezujući

se na niskobudžetni i modularni *workflow* koji opisuje Isaac Ullah (2017), gdje su hardver (tablet i GNSS prijemnik) i softver (mobilna aplikacija i desktop GIS) jasno razdvojeni, ovi alati omogućuju digitalizaciju točaka, linija i poligona, dodavanje fotografija i bilješki te pohranu atributnih podataka u strukturiranim obrascima.

Projekti pripremljeni u QGIS-u mogu se prenijeti na mobilne uređaje, koristiti izvan mreže na terenu te se potom sinkronizirati natrag u desktop okruženje za daljnje kartiranje i analizu, pri čemu se odabrani skupovi podataka pripremaju za dugoročno arhiviranje (Montagnetti i Guarino, 2021; QGIS Development Team, n.d.). U kontekstu kulturne baštine u arheologiji, ove su aplikacije posebno pogodne za dosljedno dokumentiranje lokaliteta, struktura, iskapanja i krajobraza baštine te mogu značajno smanjiti pogreške pri prijepisu u odnosu na papirnate obrasce.

2) Workflow i obrazovna primjena

U tipičnom *workflowu*, nadahnutom Ullahovim modelom mobilnog prikupljanja podataka (Ullah, 2017), istraživački tim najprije definira model podataka i strategiju bilježenja (što se mapira, koji se atributi bilježe i koja su obavezna polja), zatim priprema projekt u QGIS-u i prenosi ga na mobilne uređaje. Tijekom terenskog istraživanja ili iskapanja, arheolozi koriste QField, SW Maps ili Mergin Maps za prikupljanje geometrijskih podataka (lokacije lokaliteta, strukture, sonde, mjesta nalaza), ispunjavanje standardiziranih atributnih obrazaca i dodavanje fotografija, pri čemu rade i bez internetske veze. Na kraju dana podaci se izvoze ili sinkroniziraju natrag u QGIS, gdje se provjeravaju, čiste i integriraju s drugim prostornim skupovima podataka, poput digitalnih modela reljefa (DEM), povijesnih karata ili slojeva daljinskih istraživanja.

U nastavnom kontekstu, ovi alati podržavaju jasno strukturirane aktivnosti učenja:

- Kratka laboratorijska vježba i terenski zadatak (90–120 minuta): studenti učitavaju unaprijed pripremljen QGIS projekt u mobilnu aplikaciju, prikupljaju ograničen broj testnih elemenata u prostoru za vježbu te potom vizualiziraju rezultate u QGIS-u.
- Mini-projekt u sklopu terenske nastave: studenti sudjeluju u izradi atributnih obrazaca, prikupljaju podatke tijekom nekoliko dana terenskog rada, a zatim evaluiraju kvalitetu podataka, njihovu cjelovitost i prostorne obrasce.

Predloženi ishodi mikroučenja:

- Prepoznati glavne funkcije i tipične načine primjene mobilnih aplikacija za prikupljanje terenskih podataka u arheološkim istraživanjima i iskapanjima.

- Provesti osnovni workflow prikupljanja terenskih podataka koristeći unaprijed pripremljen QGIS projekt i mobilnu aplikaciju (QField / SW Maps / Mergin Maps).
- Interpretirati prikupljene podatke u QGIS-u analizom atributnih tablica i karata, prepoznati osnovne probleme kvalitete podataka te predložiti moguća poboljšanja sustava bilježenja.

2a) Znanja i vještine stručnjaka (profil uloge)

Ove alate najčešće postavlja i održava arheolog ili stručnjak za baštinu s poznavanjem GIS-a.

- Temeljna znanja: osnovni GIS koncepti i rad u QGIS-u; standardi arheološkog bilježenja (konteksti, strukture, oznake lokaliteta, kontrolirani rječnici); razumijevanje upravljanja podacima i dugoročnog očuvanja.
- Praktične vještine: priprema QGIS projekata za terenski rad (slojevi, obrasci, simbolika, offline bazne karte); konfiguriranje i korištenje aplikacija QField / SW Maps / Mergin Maps, uključujući rad bez internetske veze i, po potrebi, korištenje vanjskog GNSS-a; izvoz, sinkronizacija i dokumentiranje skupova podataka.
- Vrijeme potrebno za ovladavanje: za rad s unaprijed pripremljenim projektom (osnovno bilježenje i izvoz) približno 4–8 sati vođenog učenja uz jednu ili dvije terenske vježbe; za izradu robusnih projekata, integraciju GNSS-a visoke preciznosti i upravljanje radom više korisnika, potrebno je nekoliko dana prakse kroz više terenskih kampanja.

3) Primjer(i) / studija slučaja

Konkretan i dobro dokumentiran primjer jest arheološki terenski kolegij na Sveučilištu u Uppsali, gdje su studenti koristili Mergin Maps i QGIS za prikupljanje standardiziranih terenskih podataka. U okviru tog kolegija Mergin Maps korišten je za prijenos QGIS projekata na mobilne uređaje, čime je studentima omogućeno bilježenje struktura s koordinatama, atributima i fotografijama, čak i u offline uvjetima (Aherin et al., 2024). Prikupljeni podaci potom su sinkronizirani u zajednički projekt, čime su poboljšani kvaliteta i struktura skupa podataka, ali i razumijevanje geoprostornih *workflowa* te angažman studenata u terenskom radu.

Drugi primjer je projekt građanske znanosti u Nizozemskoj, u kojem su volonteri koristili Mergin Maps za mapiranje i dokumentiranje tumula i drugih arheoloških obilježja. Time se pokazuje kako mobilni GIS može podržati participativno dokumentiranje baštine, uz istodobno generiranje podataka pogodnih za istraživanje (Petrík et al., 2021).

Ovi se primjeri mogu prilagoditi u okviru DigiArcheoSpace: studenti dokumentiraju elemente arheološke ili pokretne baštine (puteve, strukture, vidikovce) pomoću mobilnih aplikacija, a zatim koriste QGIS za analizu prostorne distribucije, stanja i rizika.

4) Prednosti i ograničenja

Prednosti	Ograničenja / zahtjevi
<ul style="list-style-type: none"> • Niskobudžetan, modularan sustav: standardni pametni telefon ili tablet (uz opcionalni GNSS) i besplatni/otvorenokodni GIS alati. • Potpuni rad bez internetske veze, pogodan za udaljene arheološke i baštinske lokalitete. • Izravna integracija s QGIS-om, čime se smanjuju pogreške pri ponovnom unosu i prijepisu podataka. • Prilagodljivi obrasci s fotografijama i bilješkama, koji podržavaju lokalne prakse bilježenja. • Jednako pogodan za profesionalne timove, studentske terenske škole i projekte građanske znanosti. 	<ul style="list-style-type: none"> • Zahtijeva dobro osmišljen model podataka; loše strukturirani obrasci brzo dovode do neurednih podataka. • Ograničena točnost GPS-a na mobilnim uređajima; za visoku preciznost potreban je vanjski GNSS/RTK i složena konfiguracija. • Ovisnost o trajanju baterije, robusnosti uređaja i vremenskim uvjetima na terenu. • Veći ili višekorisnički projekti s mnogo fotografija mogu zahtijevati plaćene cloud usluge i pažljivo upravljanje podacima.

5) Tehnički zahtjevi

- Hardver: Pametni telefon ili tablet (Android ili iOS) s ugrađenim GPS-om; preporučuju se zaštitne maske i prijenosni punjači za terenski rad; opcionalno vanjski Bluetooth GNSS/RTK prijemnik za postizanje sub-metarske ili centimetarske preciznosti.
- Softver: QGIS (desktop) za pripremu projekata i analizu; jedna ili više mobilnih aplikacija: QField, SW Maps, Mergin Maps, ovisno o potrebama projekta; opcionalno sinkronizacijske usluge poput QFieldClouda ili platforme Mergin Maps.
- Formati podataka: Vektorski podaci – uobičajeni formati uključuju GeoPackage, Shapefile i GeoJSON, svi izvorno podržani u QGIS-u i kompatibilni s mobilnim alatima; Rasterski podaci – offline bazne karte i

ortofoto snimke pripremljene u QGIS-u ili predmemorirane putem aplikacije, ovisno o licencnim uvjetima.

6) Etička i podatkovna pitanja

Osjetljive lokacije nalazišta: Precizne koordinate ranjivih arheoloških lokaliteta ili grobnih mjesta ne bi se smjele javno objavljivati bez pažljive procjene rizika; u javnim prikazima može biti potrebno generalizirati ili prikriti podatke.

Osobni podaci: Ako obrasci uključuju imena vlasnika zemljišta, nalaznika ili članova zajednice, primjenjuju se GDPR i drugi propisi o zaštiti privatnosti. Identifikatore treba minimizirati, pseudonimizirati ili isključiti iz otvorenih skupova podataka.

Licenciranje: Projekti trebaju jasno definirati vlasništvo, prava pristupa i licence za prostorne podatke i slikovne materijale (npr. CC BY / CC BY-NC za atributne podatke, uz poštivanje licencnih uvjeta baznih karata).

Upravljanje podacima: Mobilno prikupljanje podataka treba biti uključeno u jasan plan upravljanja podacima koji obuhvaća sigurnosne kopije, dokumentaciju, dugoročno pohranjivanje te mogućnost pohrane odabranih skupova podataka u institucionalne ili nacionalne repozitorije.

7) Brzi početak

- Instalirati QGIS na prijenosno računalo i izraditi jednostavan projekt s jednim vektorskim slojem (npr. „Features“) i manjim skupom atributa (tip, stanje, bilješke).
- Konfigurirati projekt za terenski rad (simbolika, obrasci, offline bazna karta) i izvesti ga u mobilnu aplikaciju poput QFielda ili Mergin Mapsa.
- Na terenu koristiti aplikaciju na pametnom telefonu ili tabletu za bilježenje 10–20 testnih elemenata, uz dodavanje fotografija i kratkih opisa.
- Po povratku u učionicu sinkronizirati ili izvesti podatke u QGIS, pregledati atributne tablice i geometrije te raspraviti kvalitetu podataka i moguća poboljšanja sustava bilježenja.

8) Reference i poveznice

Aherin, R., Paulovic, J., & Lindgren, S. (2024, August 9). Digging into the benefits of Mergin Maps for archaeological research. Mergin Maps.	https://merginmaps.com/case-studies/digging-into-the-benefits-of-mergin-maps-for-archaeological-research merginmaps.com
Montagnetti, R., & Guarino, G. (2021). From QGIS to QField and vice versa: How	https://doi.org/10.3390/environsciproc2021010006

the new Android application is facilitating the work of the archaeologist in the field. Environmental Sciences Proceedings, 10(1), 6.	
Petrík, P., Harris, P., & Pruiksma, K. (2021, December 7). Archaeological discoveries in the hands of citizens. Mergin Maps.	https://merginmaps.com/case-studies/archaeological-discoveries merginmaps.com
QGIS Development Team. (n.d.). QGIS documentation. QGIS Project.	https://docs.qgis.org
Ullah, I. I. (2017, April 28). A mobile data-collection workflow for archaeologists. CompArch: Computational Archaeology Lab.	https://isaacullah.github.io/A-mobile-field-data-collection-workflow/ isaacullah.github.io

Alat 10: Digitalna konzervacija i očuvanje: praćenje i dokumentiranje stanja lokaliteta i artefakata kulturne baštine

Kategorija (razina troška)	Srednja
Razvijatelj / pružatelj	Mješoviti ekosustav (zajednice otvorenog koda i komercijalni pružatelji usluga)
Platforme	Windows / macOS / Linux / Web
Tipična licenca	Mješoviti model licenciranja: otvorenokodni softver uz opcionalne komercijalne licence i cloud usluge
Razina znanja	Srednja
Tipična primjena u arheologiji	Koristi se za praćenje promjena stanja lokaliteta i artefakata kroz vrijeme te za podršku planiranju konzervatorskih zahvata unutar integriranog sustava digitalne dokumentacije.

1) Što alat radi (kratki opis)

Digitalna konzervacija i očuvanje odnosi se na digitalne metode koje se koriste za praćenje i dokumentiranje stanja lokaliteta i artefakata kulturne baštine. Uključuje vizualnu makroskopsku i mikroskopsku analizu, digitalnu fotografiju, fotogrametriju te metode daljinskih istraživanja poput skeniranja strukturiranim

svjetlom i LiDAR-a. Ovi alati omogućuju sustavno bilježenje erozije, degradacije, promjena boje i drugih fizičkih promjena vidljivih na objektima kulturne baštine.

Generiranjem ponovljivih, visokorezolucijskih vizualnih i metričkih podataka omogućuju usporedbu kroz vrijeme te pružaju temelje za planiranje konzervatorskih zahvata i procjenu rizika. U arheologiji su ove metode ključne jer omogućuju nedestruktivnu dokumentaciju i dugoročno praćenje, čime se osigurava učinkovito istraživanje, zaštita i prezentacija baštine.

2) Workflow i obrazovna primjena

Digitalno praćenje stanja obično započinje procjenom stanja, koja se provodi prije, tijekom i nakon arheoloških istraživanja ili konzervatorskih zahvata. Proces započinje vizualnim pregledom uz podršku digitalne fotografije, kojom se mapiraju obrasci oštećenja (npr. pukotine, ljuštenje, biološki rast, promjene boje). Zatim se koristi fotogrametrija za izradu 3D modela i teksturiranih površina koje omogućuju usporedbu reljefa i boje kroz različita vremenska razdoblja.

Za veće strukture ili stijenske formacije na otvorenom koriste se metode poput skeniranja strukturiranim svjetlom te terestričkog ili zračnog LiDAR-a kako bi se prikupili metrički podaci za dugoročno praćenje. Dobiveni skupovi podataka potom se obrađuju, interpretiraju i arhiviraju te služe kao podloga za donošenje konzervatorskih odluka ili za javnu prezentaciju.

Predloženi ishodi mikroučenja:

- Prepoznati glavne metode digitalnog praćenja relevantne za arheologiju.
- Provesti osnovni workflow (fotografiranje, mapiranje oštećenja, izrada jednostavnog 3D modela).
- Interpretirati rezultate i raspraviti tehnička i metodološka ograničenja.

2a) Znanja i vještine stručnjaka (profil uloge)

Ukratko opisati kompetencije potrebne za praktičnu primjenu ovog alata (ulogu može imati i tehničar, a ne nužno arheolog):

- Temeljna znanja: osnove konzervacije i procesa propadanja; principi vizualne dokumentacije; osnove fotogrametrije, skeniranja strukturiranim svjetlom i LiDAR-a; formati slika (JPEG, TIFF, RAW) i 3D formati (OBJ, PLY, LAS/LAZ); standardi za metapodatke i konzervatorsku dokumentaciju (npr. CIDOC-CRM).
- Praktične vještine: rukovanje digitalnim kamerama i skenerima; snimanje visokokvalitetnih fotografija; priprema i provedba fotogrametrijskih snimanja; kontrola kvalitete skupova podataka; obrada i usklađivanje 3D

modela; izrada karata oštećenja; izvoz, arhiviranje i održavanje dugoročnih skupova podataka.

- Preporučena podloga: edukacija u području digitalne dokumentacije i konzervatorskih workflowa; prethodno terensko iskustvo; pridržavanje sigurnosnih protokola (osobito pri radu na otvorenom); sposobnost suradnje s arheolozima, konzervatorima i stručnjacima za upravljanje baštinom.
- Vrijeme potrebno za ovladavanje: osnovna razina kompetencija obično zahtijeva 10–20 sati vođenog rada; napredna razina u fotogrametriji, LiDAR-u i analizama promjena može zahtijevati nekoliko mjeseci obuke i rada na projektima.

3) Primjer(i) / studija slučaja

Projekt Mravinca dokumentira prapovijesnu nekropolu sastavljenu od kamenih tumula u Dubrovačkom primorju u Hrvatskoj. Istraživački tim koristio je bespilotnu letjelicu (UAV) niske cijene za prikupljanje fotografija iz visokih i niskih visina te primijenio fotogrametriju za izradu detaljnih 3D modela pojedinih tumula i digitalnog modela reljefa (DTM) cijelog lokaliteta.

Očekivani rezultati uključivali su precizne prostorne i volumetrijske podatke, visokorezolucijske modele površine te poboljšanu dokumentaciju trenutačnog stanja lokaliteta. Istraživanje je također dovelo do identifikacije prethodno nezamijećenog arheološkog obilježja vidljivog na DTM-u.

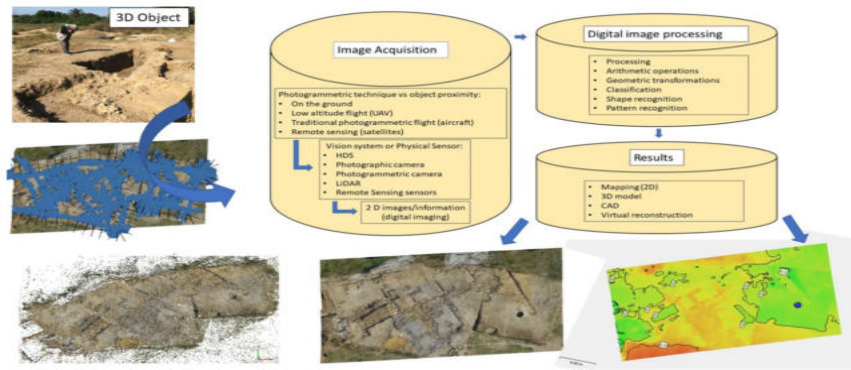
Vrijednost ovog primjera u nastavnom kontekstu očituje se u prikazu kako fotogrametrija temeljena na UAV-u može podržati analizu, otkrivanje i komparativna istraživanja, osobito u krajobrazima s velikim brojem sličnih obilježja (Perkić i Vuković, 2018).

4) Prednosti i ograničenja

Prednosti	Ograničenja / zahtjevi
<ul style="list-style-type: none">• Omogućuje visokorezolucijske vizualne i metričke podatke.• Omogućuje ponovljivu, dugoročnu usporedbu.• Podržava donošenje odluka u konzervaciji temeljenih na dokazima i procjenu rizika.• Primjenjivo na male artefakte, ali i velike strukture i krajobrazne.• Nedestruktivne metode dokumentacije.• Olakšava interdisciplinarnu suradnju između arheologa, konzervatora i stručnjaka za baštinu.	<ul style="list-style-type: none">• Zahtijeva tehničku obuku i metodološku dosljednost.• Zahtijeva pristup specijaliziranoj i često skupoj opremi (npr. LiDAR, skeneri strukturiranim svjetlom).• Veliki skupovi podataka zahtijevaju pouzdana rješenja za dugoročnu pohranu.• Kvaliteta prikupljenih podataka ovisi o uvjetima okoline (npr. osvjetljenje, vremenski uvjeti).• Neki alati i workflowi ovisi o komercijalnim softverskim licencama.• Dugoročna usporedivost zahtijeva pridržavanje standarda dokumentacije.

5) Tehnički zahtjevi

- Hardver: Digitalni fotoaparati (DSLR ili mirrorless), stativ, kontrolirano osvjetljenje (opciono); skener sa strukturiranim svjetlom; terestrički ili zračni LiDAR.
- Softver: Fotogrametrijski alati (Agisoft Metashape, RealityCapture); alati za obradu 3D podataka (CloudCompare, MeshLab); GIS za kartiranje; softver za obradu slika (Photoshop, GIMP).
- Formati podataka: JPEG, TIFF, RAW (fotografija); OBJ, PLY, STL (3D modeli); LAS/LAZ (LiDAR); CSV, XML za metapodatke.
- Preduvjeti / napomene: Pouzdana rješenja za pohranu podataka (vanjski HDD, NAS, serverski sustavi); kalibracijski ciljevi i kontrolirani uvjeti kada je to moguće.



Slika 1. Sažetak fotogrametrijskih procesa u arheologiji.

Izvor: Marín-Buzón, C., Pérez-Romero, A., López-Castro, J. L., Ben Jerbania, I., i Manzano-Agugliaro, F. (2021). *Photogrammetry as a New Scientific Tool in Archaeology: Worldwide Research Trends*. Sustainability, 13(9), 5319. <https://doi.org/10.3390/su13095319>

6) Etička i podatkovna pitanja

Podaci moraju biti usklađeni s odgovarajućim praksama autorskih prava i licenciranja (npr. Creative Commons za otvorene skupove podataka). Osjetljive informacije — poput preciznih koordinata ranjivih lokaliteta — moraju biti dostupne samo ovlaštenim korisnicima kako bi se izbjegli rizici poput pljačke nalazišta. Dugoročno očuvanje zahtijeva korištenje stabilnih, ne-vlasničkih formata datoteka i kvalitetnih metapodataka. Etičko objavljivanje treba izbjegavati otkrivanje informacija koje bi mogle ugroziti lokalitet ili omogućiti njegovo oštećenje te se treba uskladiti s lokalnim i institucionalnim konzervatorskim politikama.

7) Reference i poveznice

Agisoft Metashape	https://www.agisoft.com/
Official Adobe Photoshop	https://www.adobe.com/products/photoshop.html
GIMP - GNU Image Manipulation Program	https://www.gimp.org/
MeshLab	https://www.meshlab.net/
Bentowska-Kafel A. & L. MacDonald. 2017. Digital technologies for documenting and preserving cultural heritage. ARCHumanities Press.	https://library.oapen.org/bitstream/id/741cdc96-14f1-475a-8339-b71328800c6b/9781942401353.pdf
Perkić, D. & Vuković, M. (2018). Documenting an archaeological landscape and its features using a low cost UAV – Case study: Mravinca in Dubrovačko primorje. <i>Opvscvla archaeologica</i> , 39/40 (1), 75-83.	https://hrcak.srce.hr/en/214173

Vuković, M. (2015): Photogrammetric 3D Models in Archaeology. Ekscentar, br. 18, pp. 44-46	https://hrcak.srce.hr/file/230962
Bekić, L., Scholz, R. & Pešić, M. (2017). Photography-based documentation methods in underwater archaeology as applied at the Veruda wreck near Pula. <i>Histria archaeologica</i> , 48. (48.), 151-168.	https://hrcak.srce.hr/212904
Marinos Ioannides, Eleanor Fink, Lorenzo Cantoni & Erik Champion, ed. 2021. Digital Heritage. Progress in Cultural Heritage: Documentation, Preservation, and Protection. Springer.	https://www.springerprofessional.de/en/digital-heritage-progress-in-cultural-heritage-documentation-pre/19062194?tocPage=1
Panayot, N., Bou-Rizk, A., Yassine, M.K., Kawtharani, R., Asmar, D. (2025). Digital Heritage Documentation for Protecting and Rebuilding Tangible Heritage in Natural Disaster and Conflict Zones. In: Ioannides, M., Issini, G., Oliveira, D. (eds) 3D Research Challenges in Cultural Heritage IV. Lecture Notes in Computer Science, vol 13577. Springer, Cham.	https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-93753-8_12#citeas
Archaeology Guidelines Supplement Photogrammetry, 2022, Ohio History Connection.	https://www.ohiohistory.org/wp-content/uploads/2022/12/Archaeology_Guidelines_Supplement_Photogrammetry.pdf

Metapodaci o prijavi

Partner (institucija)	<i>Konstantin Preslavsky</i> University of Shumen
Suradnici (imena i uloge)	izv. prof. Konstantin Konstantinov, asst. Jordan Arnaudov
Jezik	Engleski / BG / MK / TR / HR
Datum	20.11.2025.
Kontakt e-mail	k.konstantinov@shu.bg t.todorov@shu.bg y.arnaudov@shu.bg

Alat 11: Upravljanje podacima i kuriranje: izrada strukturiranih baza podataka i digitalnih repozitorija za očuvanje i dijeljenje istraživačkih podataka

Kategorija (razina troška)	Varira – niska / srednja / visoka
Razvijatelj / pružatelj	Tvrtke / zajednica otvorenog koda
Platforme	Windows / macOS / Linux / Web / mobilne platforme
Tipična licenca	Besplatna / otvoreni kod / akademska / komercijalna
Razina znanja	Početna / srednja / napredna
Tipična primjena u arheologiji	Izrada strukturiranih baza podataka i digitalnih repozitorija s ciljem očuvanja i dijeljenja istraživačkih podataka ključna je za rad arheologa, muzejskih stručnjaka, drugih stručnjaka za baštinu, kao i studenata i istraživača. Osobe koje rade s arheološkim podacima mogu istodobno biti i razvijatelji i korisnici takvih baza podataka.

1) Što alat radi (kratki opis)

Izrada strukturiranih baza podataka i digitalnih repozitorija za očuvanje i dijeljenje istraživačkih podataka sama po sebi nije tehnologija ili alat. Riječ je prije o rezultatu primjene kombinacije različitih odabira koji uključuju stručnjake, alate i tehnologije, utemeljene na određenim kriterijima koji ovise o svrsi i cilju koji se želi postići. Ako je cilj očuvanje i dijeljenje istraživačkih podataka, način

njihove realizacije ovisi o tome tko je razvijatelj — pojedinac, tim ili institucija — kao i o dostupnim resursima.

S jedne strane, baze podataka se izrađuju kako bi se potencijalno velike količine arheoloških podataka učinile upravljivima — kako bi se mogle organizirati, pretraživati, uređivati, štititi i lako dohvaćati. To uključuje i stvaranje novog sadržaja, što ponekad provode sami korisnici tih podataka.

Profil osoba koje razvijaju takve baze podataka često se preklapa s profilom njihovih korisnika. Tako strukturirane informacije koriste se u radu arheologa, muzejskih stručnjaka, drugih stručnjaka za baštinu, kao i studenata i istraživača.

2) Workflow i obrazovna primjena

Radni proces izrade digitalne baze podataka specifičan je i razlikuje se od uobičajenog arheološkog rada, koji sa svoje strane generira izvore koji se koriste za stvaranje digitalnih podataka. Ipak, arheolozi mogu biti uključeni u proces izrade baze podataka. Isto vrijedi i za muzejske stručnjake i druge stručnjake za baštinu koji katalogiziraju artefakte i izrađuju inventare.

Ovisno o željenom ishodu, proces izrade strukturiranih baza podataka i repozitorija može uključivati unos podataka u web platformu ili računalni sustav, kao i pohranu primarnih podataka na elektroničkom mediju. Postupak će biti drugačiji ako se skup podataka čuva u fizičkom obliku — kao papirnata baza podataka.

Ako se baza podataka izrađuje u mrežnom okruženju, potreban je IT stručnjak specijaliziran za to područje ili tim web programera. Ukratko, potrebno je razviti sustav za upravljanje bazom podataka (*Database Management System – DBMS*). To je zahtjevan zadatak koji traži značajna financijska sredstva i specijalizirane ljudske resurse. Može uključivati usluge i/ili proizvode tvrtki specijaliziranih za izradu mrežnih baza podataka.

Ako se baza podataka razvija na lokalnom računalnom sustavu, potreban je odgovarajući softver prilagođen svrsi. Moguće je da softver sadrži osnovne podatke i metapodatke, dok se primarni podaci u obliku digitalnih datoteka pohranjuju odvojeno na tvrdom disku (rjeđe na SSD-u) ili na serverskom sustavu. Odabir softvera i način njegove primjene ovise o pojedincu ili instituciji/tvrtki koja razvija strukturiranu bazu podataka, kao i o ciljevima razvijatelja.

Ako je razvijatelj privatna osoba, primjerice arheolog, on ili ona prikuplja podatke o arheološkim lokalitetima tijekom terenskih istraživanja i iskapanja (fotografije, karte, geoprostorne podatke, crteže, dnevnike itd.) te može izraditi vlastitu digitalnu bazu podataka na osobnom računalu. To se najčešće provodi u Windows okruženju, primjerice u programu Microsoft Excel, gdje tablice sadrže različite kategorije podataka i metapodataka. Primarni podaci mogu se pohranjivati na vanjskim tvrdim diskovima i/ili serverskim sustavima.

Ako je izrađivač baze podataka institucija baštine, primjerice muzej, podaci se organiziraju i koriste za izradu baza većeg opsega. U njima se koriste podaci koje generiraju arheolozi, ali i primarni podaci drugih stručnjaka — povjesničara, etnologa, sociologa, stručnjaka za baštinu i drugih. Institucije ponekad mogu angažirati tvrtku ili tim IT stručnjaka za izradu digitalne baze podataka. Druga mogućnost, prikladnija za muzeje, jest nabava softvera za upravljanje bazama podataka uz dodatnu obuku za njegovu primjenu i prilagodbu potrebama institucije.

Ako se u nastavnom procesu želi pokazati kako izraditi vlastitu digitalnu bazu podataka (npr. koristeći Microsoft Excel) za projekt manjeg opsega, osnovni koraci su sljedeći:

- Objasniti što su baze podataka i koje su specifičnosti digitalnih baza podataka. To treba uključivati pojašnjenje što je sustav za upravljanje bazom podataka (Database Management System – DBMS) te njegove glavne komponente (osnovni podaci, metapodaci, shema baze podataka itd.).
- Ako je glavna tema arheologija, potrebno je ukratko predstaviti specifičnosti arheoloških baza podataka. To uključuje strukturu baze podataka (nužno je obuhvatiti informacije o shemi baze podataka u arheologiji i sektoru baštine), kao i standarde metapodataka poput Dublin Core, Europeana Semantic Elements i Europeana Data Model.
- U kontekstu oblikovanja zadatka ili vrednovanja (mini-projekta), potrebno je jasno definirati što će skup podataka sadržavati, kako će se razlikovati veličine pojedinih datoteka primarnih podataka, koje vrste datoteka skup podataka uključuje te koji su sistemski zahtjevi za njihovo pokretanje u svrhu testiranja. Također treba navesti ukupnu veličinu skupa podataka i specifikacije hardvera potrebnog za pohranu primarnih podataka. Zadatak treba biti formuliran tako da ga svi studenti mogu izvršiti u relativno poznatom i pristupačnom softverskom okruženju (npr. Microsoft Excel).

Može uključivati praktičan rad na izradi strukture baze podataka i njezinoj primjeni u praksi, imenovanju unosa podataka, odabiru odgovarajućih kategorija unosa prema standardiziranoj shemi (npr. Dublin Core), određivanju putanje do primarnih podataka te, po mogućnosti, uspostavljanju poveznica između zapisa.

Primjer ishoda mikroučenja može biti sljedeći:

- Prepoznati glavne kriterije unosa podataka relevantne za arheologiju.
- Provesti osnovni zadatak izrade baze podataka.
- Interpretirati rezultate i raspraviti ograničenja.

2a) Znanja i vještine stručnjaka (profil uloge)

Općenito govoreći, osoba koja izrađuje digitalnu bazu podataka, unosi podatke i organizira informacije, ne može obavljati taj posao bez odgovarajućeg softvera i/ili tima s kojim surađuje. U sektoru baštine baze podataka najčešće se izrađuju po mjeri, u skladu s potrebama pojedine institucije, za razliku od osobnih baza podataka. Ako stručnjak ima pristup DBMS-u koji može prilagođavati i njime upravljati (gotova platforma ili rješenje razvijeno uz pomoć IT tima), potrebno je posjedovati sljedeće kompetencije:

- Poznavanje komponenti baze podataka ovisno o DBMS-u.
- Vještine uređivanja DBMS-a, izrade zapisa, uspostavljanja poveznica između zapisa i upravljanja strukturom baze podataka.
- Poznavanje strukture baze podataka primjerene sektoru baštine i arheologiji (npr. razumijevanje i primjena standarda DC i EDM).
- Razumijevanje znanstvenog područja kojem pripadaju primarni podaci.
- Vrijeme potrebno za ovladavanje: približno 2–4 tjedna za stjecanje osnovnih kompetencija. Razvoj naprednih sposobnosti za izradu baza podataka, uz pristup DBMS-u koji se može prilagođavati i njime upravljati (gotova platforma ili rješenje razvijeno uz pomoć IT tima), može trajati mjesecima pa i godinama.

3) Primjer(i) / studija slučaja

Ako uzmemo teorijski primjer u kojem muzejski stručnjak treba izraditi digitalnu bazu podataka s podacima i materijalima prikupljenima tijekom jednomjesečnog arheološkog iskapanja, bit će potrebno prikupiti obrađene podatke od arheologa, geodeta i drugih stručnjaka koji su sudjelovali u istraživanjima i terenskim

radovima. Prije organiziranja i unosa primarnih podataka u bazu, osobe zadužene za muzejski inventar trebaju ih inventarizirati.

Takvi podaci mogu uključivati fotografije, karte, geoprostorne podatke, crteže i skice, metričke i opisne podatke o artefaktima, arheološke dnevnike, fotogrametrijska snimanja, geofizička istraživanja, izvješća o stanju koja izrađuju konzervatorski stručnjaci itd.

Prilikom unosa podataka u bazu, stručnjak koji obavlja taj zadatak treba slijediti muzejski protokol za organizaciju i strukturiranje podataka te, prema potrebi, uvoditi nove kategorije informacija. Svi ti procesi mogu se odvijati postupno, u serijama, a ne nužno odjednom, ovisno o različitim čimbenicima.

4) Prednosti i ograničenja

Prednosti	Ograničenja / zahtjevi
<ul style="list-style-type: none">• održivost;• prenosivost;• skalabilnost;• fleksibilnost.	<ul style="list-style-type: none">• troškovi su obično visoki kada je riječ o institucijama;• složen razvoj softvera, često podložan licenciranju;• s hardverskog aspekta, optimalno rješenje je izgradnja serverskog sustava, što je složeno i skupo;• zahtjevna krivulja učenja.

5) Tehnički zahtjevi

Ovisi o tome provodi li se na razini pojedinca ili institucije.

- pojedinci trebaju koristiti odgovarajući licencirani softver u skladu s potrebama;
- pojedinci trebaju stabilan računalni sustav i odgovarajući prostor za pohranu;
- za institucionalnu primjenu potreban je složen razvoj softvera koji je podložan licenciranju;
- s hardverskog aspekta, za institucije je optimalno uspostaviti serverski sustav.

6) Etička i podatkovna pitanja

Softver bi uvijek trebao biti licenciran.

Arheološki podaci su osjetljivi i nisu uvijek otvoreno dostupni. Arheološke i muzejske baze podataka mogu imati ograničen pristup. Ako se takvim podacima pristupa u svojstvu istraživača, odgovornost je korisnika da ih čuva i štiti.

7) Brzi početak

Glavni koraci za projekt manjeg opsega navedeni su u odjeljku „2) Workflow i obrazovna primjena“.

8) Reference i poveznice

Službena stranica / dokumentacija	https://www.dublincore.org https://pro.europeana.eu/
Izvori za učenje	https://www.geeksforgeeks.org https://www.techtarget.com https://www.jstor.org/stable/j.ctv29sfzfx

Alat 12: Digitalno objavljivanje i otvoreni pristup: objava istraživanja i podataka na mreži radi pronalaženja, dostupnosti i ponovne uporabe

Kategorija (razina troška)	Niska / srednja / visoka
Razvijatelj / pružatelj	Tvrtke / zajednica otvorenog koda
Platforme	Windows / macOS / Linux / Web / mobilne platforme
Tipična licenca	Besplatna / otvoreni kod / akademska / komercijalna
Razina znanja	Početna / srednja / napredna
Tipična primjena u arheologiji	Digitalno objavljivanje znanstvenih radova u elektroničkom obliku koristi se za optimalnu diseminaciju rezultata arheoloških istraživanja. Online katalogi i repozitoriji s cjelovitim tekstovima olakšavaju pronalaženje, dostupnost i citiranje znanstvenih publikacija.

1) Što alat radi (kratki opis)

Objavljivanje rezultata znanstvenih istraživanja iz područja arheologije u digitalnim izdanjima povećava mogućnost njihova lakšeg pronalaženja i

dostupnosti široj i specijaliziranoj publici. Time se povećava i citiranost objavljenih radova. Također se olakšava proučavanje i popularizacija kulturne i povijesne baštine u arheološkom kontekstu.

Budući da se elektroničke publikacije objavljuju na mreži, pristup im može biti ograničen putem naplate ili registracije unutar digitalnih repozitorija i platformi. U drugim slučajevima publikacije mogu biti otvorenog pristupa, što znači da su dostupne svima s pristupom internetu i preglednikom. Publikacije otvorenog pristupa zadržavaju autorska prava izdavača i autora nad tekstem. Ograničeni i otvoreni pristup digitalnim znanstvenim publikacijama u arheologiji odnosi se i na digitalizirane publikacije čiji su izvornici u tiskanom obliku. Elektroničke publikacije mogu se dugoročno čuvati i uklanjaju rizik od nestanka primjeraka, što je čest slučaj s tiskanim izdanjima.

2) Workflow i obrazovna primjena

U kontekstu arheološke prakse, digitalne publikacije omogućuju pravodobnu diseminaciju rezultata arheoloških istraživanja. U tom slučaju objava većeg broja fotografija i priloga nije ograničena troškovima kolor tiska, kao što je to slučaj kod tiskanih izdanja. Digitalne fotografije također omogućuju objavu slika više kvalitete koje pri uvećanju prikazuju više detalja. Digitalno objavljivanje optimizira proces diseminacije i povećava dostupnost rada. Objavljivanje u elektroničkim izdanjima često je znatno brže od objavljivanja u tiskanom obliku.

Pri izvođenju nastave vezane uz objavljivanje znanstvenih radova u elektroničkim i otvorenim publikacijama, nastavnik može uključiti sljedeće elemente:

- Upoznavanje studenata s glavnim aspektima procesa objavljivanja u znanstvenim časopisima iz područja arheologije te kulturne i povijesne baštine.
- Razlikovanje glavnih obilježja tiskanih i elektroničkih izdanja.
- Raspravu o pitanjima pristupa elektroničkim izdanjima te pojašnjenje specifičnosti otvorenog pristupa digitalnim materijalima.
- Predlaganje primjera elektroničkih izdanja i digitaliziranih publikacija dostupnih na mreži, uz razlikovanje onih s ograničenim i otvorenim pristupom.
- Osvrt na prednosti ubrzanog objavljivanja, lakše pronalaženje, potencijal povećane citiranosti i širu diseminaciju znanstvenih rezultata, kao i na rizike slobodnog mrežnog pristupa.

- Komentiranje ključnih odredbi relevantnog zakonodavstva vezanog uz autorska prava znanstvenih radova i materijala (posebno u arheologiji).
- Preporuku mrežnih platformi na kojima znanstvenici i istraživači mogu pratiti citiranost i odjek vlastitih radova.

Predloženi ishodi mikroučenja:

- Stjecanje znanja i vještina vezanih uz elektroničko objavljivanje znanstvenih radova u području arheologije i kulturne baštine.
- Stjecanje vještina za donošenje informiranih odluka i poduzimanje odgovarajućih koraka pri objavi digitalnih verzija vlastitih radova.
- Razvoj kompetencija za praćenje odjeka vlastitih znanstvenih publikacija, uključujući citiranost.

2a) Znanja i vještine stručnjaka (profil uloge)

Preduvjeti za pisanje znanstvenih radova za objavu u području arheologije i kulturne i povijesne baštine:

- Preporučuje se završeni studij arheologije ili kulturne i povijesne baštine.
- Znanja i vještine iz područja arheologije i kulturne i povijesne baštine.
- Sposobnost provođenja znanstvenih istraživanja i oblikovanja rezultata u formu znanstvenog rada.
- Visoka razina jezične kompetencije.

Znanja i vještine stručnjaka za objavljivanje istraživanja i pripadajućih podataka u elektroničkim publikacijama:

- Poznavanje specijaliziranih elektroničkih izdanja i izdavača u području arheologije te kulturne i povijesne baštine.
- Znanja i vještine vezane uz proces i specifičnosti elektroničkog objavljivanja znanstvenih radova u području arheologije i kulturne baštine.
- Poznavanje prednosti ubrzanog objavljivanja, poboljšane pronalazljivosti, povećanog potencijala citiranosti i šire diseminacije znanstvenih rezultata, kao i rizika slobodnog mrežnog pristupa.
- Poznavanje ključnih odredbi relevantnog zakonodavstva o autorskim pravima u vezi sa znanstvenim radovima i materijalima (posebno u arheologiji).
- Znanja i vještine korištenja vjerodostojnih mrežnih platformi na kojima znanstvenici i istraživači mogu registrirati i pratiti citiranost i odjek vlastitih radova (npr. baze podataka znanstvenih publikacija i citata).

Vrijeme potrebno za ovladavanje: Ako stručnjak već ispunjava preduvjete za pisanje znanstvenih radova za objavu, stjecanje znanja i vještina potrebnih za objavljivanje radova i podataka u elektroničkim publikacijama može trajati od nekoliko dana do nekoliko mjeseci, ovisno o dinamici istraživanja i razini obuke.

3) Primjer(i) / studija slučaja

Primjer procesa digitalnog objavljivanja:

Slijede neki od glavnih koraka koje istraživač prolazi pri objavi putem platforme <https://litermedia.com/>:

1. Autor članka šalje tekst rada zajedno sa sažetkom i ključnim riječima zamjeniku urednika.
2. Zamjenik urednika prosljeđuje rad recenzentu koji procjenjuje njegovu kvalitetu.
3. Recenzent vraća rad zamjeniku urednika, koji ga zatim prosljeđuje glavnom uredniku radi provjere sažetka na engleskom jeziku.
4. Glavni urednik šalje rad tehničkom uredniku na objavu u Litermediji.
5. Članak se objavljuje u odjeljku „Library“ na mrežnoj stranici: www.litermedia.com

Postoje određeni urednički i citatni zahtjevi za rad, kao i minimalna duljina teksta te zahtjevi vezani uz format i veličinu datoteke.

4) Prednosti i ograničenja

Prednosti	Ograničenja / zahtjevi
<ul style="list-style-type: none">• Niski do srednji troškovi• Velik broj resursa otvorenog pristupa• Jednostavno za korištenje• Lako dostupno	<ul style="list-style-type: none">• U nekim časopisima teško je objaviti rad• Plaćene verzije podrazumijevaju troškove u rasponu od niskih do srednjih

5) Tehnički zahtjevi

Pristup odgovarajućem uređivaču teksta (npr. Microsoft Word).

Povremeno može biti potreban softver za obradu slika, jer kvaliteta vizualnih materijala mora biti zadovoljavajuća.

Za pristup materijalima potrebni su stabilna internetska veza, web preglednik i određeni prostor na tvrdom disku za pohranu preuzetih datoteka.

6) Etička i podatkovna pitanja

Ako se rad objavljuje u mrežnom izdanju otvorenog pristupa, sadržaj je lako pronalaziv i dostupan široj javnosti. Potrebno je biti svjestan potencijalnih rizika od plagijata zbog visoke dostupnosti svima s pristupom internetu i web preglednikom.

Kod objavljivanja u okruženju s ograničenim pristupom postoji određeni filter za korisnike podataka.

Pri korištenju materijala otvorenog pristupa potrebno je voditi računa o ograničenjima uporabe teksta i autorskim pravima.

7) Brzi početak

N/A

8) Reference i poveznice

Službena stranica / dokumentacija	https://publications.naim.bg/index.php/CBA/about https://be-ja.org/index.php/journal https://www.archaeologia-bulgarica.com/archaeologia-bulgarica-supplement/ https://litermedia.com/ https://www.academia.edu/ https://www.researchgate.net/ https://archive.org/ https://scholar.google.com/ https://www.elsevier.com/products/scopus https://clarivate.com/academia-government/scientific-and-academic-research/research-discovery-and-referencing/web-of-science/
Izvori za učenje	https://videos.clarivate.com/watch/Zi1sNSbHDWM9y7UZiCq3En https://litermedia.com/index.php?pid=9

6. Primjeri nastavnih paketa

Kako bi se podržala modularna implementacija, vodič uključuje primjere nastavnih paketa koji kombiniraju komplementarne alate. Ovi paketi pokazuju kako se različite tehnologije mogu koristiti zajedno u strukturiranim obrazovnim okruženjima.

Paket 1: Brza terenska dokumentacija

Alati: Fotogrametrija, prikupljanje terenskih podataka (mobilne aplikacije), GIS
Svrha: Upoznati studente s *workflowom* prikupljanja, obrade i vizualizacije terenskih podataka u kratkom vremenskom okviru.

Paket 2: 3D rekonstrukcija i vizualizacija

Alati: 3D skeniranje, fotogrametrija, Blender / Meshroom
Svrha: Poučiti načela digitalne rekonstrukcije, renderiranja i vizualizacije za potrebe znanstvenog istraživanja i muzejskog prikaza.

Paket 3: Uključivanje javnosti u arheologiju

Alati: Digitalno pripovijedanje, otvoreni pristup objavljivanju, virtualna stvarnost
Svrha: Potaknuti studente na osmišljavanje pristupačnih i angažirajućih digitalnih sadržaja kulturne baštine namijenjenih široj javnosti.

7. Zaključak

Vodič DigiArcheoSpace: Suvremeni alati za dokumentiranje i prezentaciju kulturne baštine u arheologiji ima za cilj premostiti jaz između tradicionalne arheološke prakse i promjenjivog krajolika digitalnih tehnologija. Nudeći jasan i strukturiran pregled alata, metoda i *workflow* procesa, vodič podržava i nastavnike i studente u razvoju potrebnih znanja, vještina i kompetencija za učinkovito djelovanje u području digitalne arheologije.

Predstavljeni alati pokazuju raznovrsnost i dostupnost digitalnih rješenja, od niskobudžetnih i otvorenokodnih aplikacija do specijaliziranih naprednih tehnologija. Svaki alat, ako se pravilno primijeni, doprinosi većoj preciznosti, održivosti i vidljivosti arheoloških istraživanja i dokumentiranja baštine. Još važnije, vodič potiče integrirano razumijevanje digitalnih *workflow* procesa, naglašavajući interdisciplinarnu suradnju između arheologa, IT stručnjaka, dizajnera i stručnjaka za baštinu.

Ovom inicijativom DigiArcheoSpace pridonosi modernizaciji kurikuluma visokog obrazovanja i obogaćivanju mogućnosti cjeloživotnog učenja u području arheologije i studija baštine. Vodič je zamišljen ne samo kao nastavni resurs, već i kao dinamičan referentni okvir koji se može razvijati u skladu s tehnološkim napretkom i budućim obrazovnim potrebama. U konačnici, potiče digitalnu pismenost, kreativnost i inovativnost, pridonoseći tome da dokumentiranje i prezentacija naše zajedničke kulturne baštine ostanu i znanstveno utemeljeni i dostupni široj javnosti.

8. Reference i dodatna literatura

Barceló, J. A. (2000). *Visualizing what might be: An introduction to Virtual Reality techniques in archaeology*.

Bruno, F. et al. (2019). *Virtual tour in the sunken "Villa con ingresso a protiro" within the Underwater Archaeological Park of Baiae*. ISPRS Archives XLII-2/W10.

Dallas, C. (2015). *Curating archaeological knowledge in the digital continuum: from practice to infrastructure*.

Kansa, E., et al. (2014). *Open Context and data reuse in archaeology*.

Morgan, C., & Eve, S. (2012). *DIY and digital archaeology: what are you doing to participate?*

Renfrew, C., & Bahn, P. (2018). *Archaeology: Theories, Methods and Practice*.

Verhoeven, G. (2011). *Taking computer vision aloft—Archaeological 3D reconstructions from aerial photographs with PhotoScan*.

Wheatley, D., & Gillings, M. (2002). *Spatial Technology and Archaeology: The Archaeological Applications of GIS*.



DIGI·ARCHEO·SPACE

MODERN TOOLS FOR DOCUMENTING & PRESENTING
THE CULTURAL HERITAGE IN ARCHEOLOGY

Zahvale

Ovaj je vodič izrađen u sklopu Erasmus+ projekta DigiArcheoSpace, uz doprinos svih projektnih partnera:

- Povijesni muzej Primorsko, Bugarska
- Student Computer Art Society (SCAS), Bugarska
- Sveučilište u Šumenu „Episkop Konstantin Preslavski“ (SHU), Bugarska
- Sveučilište Sv. Ćirila i Metoda u Skoplju (UKIM), Sjeverna Makedonija
- Sveučilište Bartın (BARÜ), Turska
- Institut za etnologiju i folkloristiku (IEF), Hrvatska

Posjetite mrežnu stranicu projekta:

digiarcheospace.eu



**Sufinancira
Europska unija**

Projekt je financiran sredstvima Europske unije. Izneseni stavovi i mišljenja pripadaju isključivo autorima te ne odražavaju nužno stavove Europske unije ili Europske izvršne agencije za obrazovanje i kulturu (EACEA). Ni Europska unija ni EACEA ne mogu se smatrati odgovornima za njihov sadržaj.