

Primjeri trodimenzionalne (3D) dokumentacije nepokretne materijalne baštine

Lovrić, Dario

Master's thesis / Diplomski rad

2024

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:162:275368>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-26**



Sveučilište u Zadru
Universitas Studiorum
Jadertina | 1396 | 2002 |

Repository / Repozitorij:

[University of Zadar Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Sveučilište u Zadru

Odjel za geografiju

Diplomski jednopredmetni sveučilišni studij primjenjene geografije

Dario Lovrić

**Primjeri trodimenzionalne (3D) dokumentacije
nepokretne materijalne baštine**

Zadar, 2024.

Sveučilište u Zadru

Odjel za geografiju

Diplomski jednopredmetni sveučilišni studij primjenjene geografije

Primjeri trodimenzionalne (3D) dokumentacije nepokretne
materijalne baštine

Diplomski rad

Student/ica:

Dario Lovrić

Mentor/ica:

Izv. prof. dr. sc. Lena Mirošević

Komentor/ica:

Dr. sc. Fran Domazetović

Zadar, 2024.



Izjava o akademskoj čestitosti

Ja, **Dario Lovrić**, ovime izjavljujem da je moj diplomski rad pod naslovom **Primjeri trodimenzionalne (3D) dokumentacije nepokretne materijalne baštine** rezultat mojega vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na izvore i radove navedene u bilješkama i popisu literature. Ni jedan dio mojega rada nije napisan na nedopušten način, odnosno nije prepisan iz necitiranih radova i ne krši bilo čija autorska prava.

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

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

Zadar, 10. siječnja 2024.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zadru

Odjel za geografiju

Diplomski rad

PRIMJERI TRODIMENZIONALNE (3D) DOKUMENTACIJE NEPOKRETNE MATERIJALNE BAŠTINE

Dario Lovrić

Sažetak

Napredak geoprostornih tehnologija u posljednja dva do tri desetljeća otvorio je mnoge mogućnosti u području zaštite materijalne kulturne baštine. Korištenjem inovativnih beskontaktnih metoda prikupljanja podataka poput laserskog skeniranja i fotogrametrije te primjenom pravilne metodologije, znatno se smanjuju troškovi, ubrzava proces i jamči kvalitetan rezultat u obliku 3D modela visoke detaljnosti. U svijetu ima na stotine primjera korištenja 3D dokumentacije u svrhu zaštite i valorizacije kulturne baštine u 21. stoljeću, dok situacija u Hrvatskoj ponešto zaostaje za tim trendom. U ovom radu istražuje se trenutno stanje zastupljenosti 3D dokumentacije nepokretne kulturne baštine u Republici Hrvatskoj pretraživanjem nacionalnog Registra kulturnih dobara, postojeće literature i provođenjem anketnog upitnika među konzervatorskim odjelima.

Kroz studiju slučaja na mletačkim Kopnenim vratima u Zadru pruža se metodološki pregled 3D dokumentacije kulturne baštine korištenjem TLS i GeoSLAM terestričkih LiDAR-skih tehnologija. Cilj primjene ovih dvaju tehnologija je kreiranje smjernica za buduće 3D dokumentiranje materijalne kulturne baštine uz isticanje prednosti i nedostataka svake od njih. Podaci prikupljeni TLS-om koristit će se kao referentni podaci za procjenu detaljnosti GeoSLAM podataka.

Objekt istraživanja je nepokretna materijalna UNESCO-ova Svjetska baština u Republici Hrvatskoj te materijalna kulturna baština Grada Zadra. Prema dostupnim podacima iz Registra kulturnih dobara koji su nadopunjeni podacima iz konzervatorskih odjela, izrađena je karta dosad digitalno dokumentirane kulturne baštine.

Ključne riječi: kulturna baština; 3D dokumentacija; Hrvatska; Svjetska baština; Kopnena vrata; TLS; GeoSLAM

Voditelj: izv. prof. dr. sc. Lena Mirošević; dr. sc. Fran Domazetović (komentor)

Povjerenstvo: izv. prof. dr. sc. Lena Mirošević

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zadar

Department of Geography

Graduation thesis

EXAMPLES OF THREE-DIMENSIONAL (3D) DOCUMENTATION OF IMMOVABLE TANGIBLE HERITAGE

Dario Lovrić

Abstract

The progress of geospatial technologies in the last two to three decades has opened up many possibilities in the field of protection of material cultural heritage. By using innovative non-contact data collection methods such as laser scanning and photogrammetry and applying the correct methodology, costs are significantly reduced, the process is accelerated and a quality result in the form of a 3D model of high detail is guaranteed. In the world, there are hundreds of examples of the use of 3D documentation for protection and valorization of cultural heritage in the 21st century, while the situation in the Croatia lags somewhat behind this trend. This paper investigates the current state of representation of 3D documentation of immovable cultural heritage in the Republic of Croatia by searching the National Register of Cultural Property, existing literature and conducting a survey among conservation departments.

Through the case study of the venetian Land Gate in Zadar, a methodological review of 3D documentation of cultural heritage is provided using terrestrial LiDAR technologies, TLS and GeoSLAM. The goal of applying these two technologies in documenting the Land Gate is to create guidelines for future 3D documentation of material cultural heritage while highlighting the advantages and disadvantages of each of them. Data collected by TLS will be used as reference data to assess the quality of GeoSLAM data.

The object of the research is the material UNESCO World Heritage in the Republic of Croatia and the material cultural heritage of the city of Zadar. According to the available data from the Register of Cultural Properties, supplemented by data from the conservation departments, a map of the digitally documented cultural heritage has been created.

Keywords: Cultural Heritage; 3D documentation; Croatia; World Heritage; Land Gate; TLS; GeoSLAM

Supervisor: Associate Professor Lena Mirošević, PhD

Reviewers: Associate Professor Lena Mirošević, PhD; Fran Domazetović, PhD

SADRŽAJ

Predgovor.....	5
1. Uvod.....	6
1.1. Objekt i cilj istraživanja	7
1.2. Svrha istraživanja	7
1.3. Hipoteze istraživanja	8
2. Pregled dosadašnjih istraživanja	9
3. Područje istraživanja.....	14
4. Teorijska osnova	16
4.1. Kulturna baština	16
4.1.1. Razlikovanje pokretne i nepokretne kulturne baštine	18
4.1.2. Globalna zaštita kulturne baštine i UNESCO	18
4.1.3. Nepokretna kulturna dobra RH na Popisu svjetske kulturne baštine.....	20
4.1.4. Zaštita kulturne baštine u RH i nastanak nacionalnog registra kulturnih dobara	29
4.2. 3D dokumentacija kulturne baštine.....	33
4.2.1. Značaj digitalnog 3D dokumentiranja kulturne baštine.....	33
4.2.2. Ugroženost nepokretnih kulturnih dobara	35
4.2.3. Metode 3D dokumentacije kulturne baštine	37
4.2.4. Platforme za digitaliziranu kulturnu baštinu.....	42
4.3. Nepokretna materijalna baština Grada Zadra.....	46
4.3.1. Geopolitičke okolnosti u Dalmaciji u 16. i 17. stoljeću.....	47
4.3.2. Značaj Kopnenih vrata Michele Sanmichelija.....	48
5. Metodologija istraživanja.....	51
5.1. Pregled metodologije makro razine istraživanja	51
5.2. Pregled metodologije mezo razine istraživanja.....	51
5.3. Pregled metodologije mikro razine istraživanja.....	52

5.3.1.	Prikupljanje i obrada podataka prikupljenih TLS-om	53
5.3.2.	Prikupljanje i obrada podataka prikupljenih GeoSLAM-om.....	61
5.3.3.	Usporedba modela Kopnenih vrata izrađenih TLS-om i GeoSLAM-om.....	67
6.	Rezultati	68
6.1.	Analiza anketnog upitnika provedenog na makro razini istraživanja	68
6.2.	Rezultati mezo razine istraživanja.....	73
6.3.	Rezultati mikro razine istraživanja.....	75
6.3.1.	Značajke izrađenih oblaka točaka Kopnenih vrata	75
6.3.2.	Relativna usporedba TLS-a i GeoSLAM-a.....	78
6.3.3.	Detektirana oštećenja na Kopnenim vratima	85
7.	Rasprava.....	87
8.	Zaključak.....	90
	Literatura.....	92
	Izvori.....	105
	Popis grafičkih priloga.....	107
	Popis tabličnih priloga	109

Predgovor

Popularnost digitalnih geoprostornih tehnologija i potreba za njima u sektoru kulturne baštine nezaustavljivo rastu. Primjene sežu od dokumentiranja zatečenog stanja spomenika, stvaranja digitalnih arhiva, izrade projekata obnove i restauracije, procjene rizika pa sve do virtualnih izložbi i drugih suvremenih načina promocije kulturne baštine. Mogućnosti primjene ograničene su jedino kreativnošću i sposobnošću korisnika.

Tisućljetna povijest na prostoru današnje Republike Hrvatske ostavila je trag u obliku kulturne baštine neprocjenjive vrijednosti među kojom se ističe Grad Zadar sa svojom dugom urbanom poviješću i brojnim kulturno-povijesnim građevinama iz različitih vremenskih razdoblja što ga čini svojevrsnim muzejom na otvorenom. U urbanoj strukturi posebno se ističu Bedemi zadarskih pobuna (gradske zidine, Muraj), značajan fortifikacijski sustav-utvrda samog središta Grada Zadra. Bedemi su izgrađeni u 12 i 13. stoljeću, te su ojačani u 16. stoljeću, za potrebe obrane mletačkih posjeda od strane turskih osvajača. Odlukom UNESCO-vog Odbora za svjetsku baštinu (2017.) uključeni su na Popis svjetske baštine kao dio kulturnog dobra: *Obrambeni sustavi Republike Venecije 16. i 17. stoljeća*. Uz Bedeme zadarskih pobuna kao zaseban fortifikacijski sklop ističu se Kopnena vrata. Kopnena vrata (*Porta terraferma*, vrata Michelea Sanmichelija, Vrata u Foši, Tri vrata) jedna su od prvih asocijacija na spomen zadarskog fortifikacijskog sustava i Grada Zadra općenito, a kao prizor koji mnogi građani Zadra gledaju svaki dan, čine jedan od „stupova“ zadarskog identiteta. Tvoreći cjelinu s lučicom Foša i gradskim bedemima, Kopnena vrata kreiraju jedan od estetski i kulturno najatraktivnijih prostora stare zadarske jezgre.

Odabrao sam ovu temu za svoj diplomski rad jer sadrži gotovo sve moje interese, a to su geografija, povijest i tehnologija. Također, budući da sam rođen u Zadru i živim ondje cijeli svoj život, želio sam upoznati svoj grad iz jedne nove perspektive. Ovom prigodom zahvaljujem se svim profesorima s Odjela za geografiju Sveučilišta u Zadru, ali i profesorima s drugih odjela koji su mi predavali ovih godina i od kojih sam naučio mnogo o znanosti, znanstvenom radu, ali i o životu. Zahvalio bih se Konzervatorskom odjelu Zadar na ustupljenim podacima te ostalim konzervatorskim odjelima koji su odgovorili na anketu. Zahvaljujem se naravno i prijateljima s kojima sam dijelio lijepe trenutke tijekom studija. Velika hvala mojoj obitelji što je vjerovala u mene i motivirala me da diplomiram. Hvala dragom rođaku Luki na temeljitoj lekturi diplomskog rada. Naposljetku, zahvaljujem se mentorici izv. prof. dr. sc. Leni Mirošević i komentoru doc. dr. sc. Franu Domazetoviću na opsežnoj pomoći i konstruktivnoj kritici bez koje ne bih uspio napisati ovaj diplomski rad.

1. UVOD

Kulturna baština odraz je prošlosti i identiteta određenog prostora te kao takva predstavlja neprocjenjivu vrijednost za čovječanstvo. Međutim, očuvanje kulturne baštine iziskuje veliki trud i troškove, posebice u pogledu održavanja i obnove. Protok vremena i djelovanje prirodnih i antropogenih čimbenika uvelike utječu na stanje spomenika kulture (Cassar i Pender 2005; Owda, i dr., 2018; Coelho i dr., 2019; Saiz-Jimenez i dr., 2011). Oštećenja kulturne baštine događaju se u većini slučajeva vrlo sporo i često su neprimjetna golom oku. Posljedice koje nastaju mogu biti vidljive tek nakon određenog vremenskog odmaka i uspoređivanjem trenutnog stanja s prijašnjim (Themistocleous, 2016). Geoprostorne tehnologije i metodologija trodimenzionalne (3D) dokumentacije kulturne baštine postali su ključni alati za unaprjeđenje zaštite i očuvanja, te povećanje dostupnosti kulturne baštine. Suvremene geoprostorne tehnologije omogućavaju proučavanje materijalne kulturne baštine na milimetarskoj razini i iz različitih perspektiva što olakšava uočavanje negativnih promjena prije negoli se dogodi veća šteta (Remondino i Rizzi, 2010). Unutar šireg područja dokumentiranja karakteristika kulturne baštine, ističe se 3D dokumentacija koja je postala standardna praksa širom svijeta pri zabilježavanju i analiziranju trenutnog stanja kulturne baštine. Zbog toga se 3D dokumentacija smatra ključnim instrumentom za proučavanje kulturnih dobara, arheoloških nalazišta i brojnih drugih objekata u 3D okruženju bez izravnog fizičkog kontakta s njima (Remondino, 2011; Gomes i dr., 2014).

Neke od prednosti koju nudi 3D dokumentacija kulturne baštine naspram dosadašnjih tehnika su iznimna točnost i detaljnost prikupljenih podataka, mogućnost preciznih cikličkih snimanja za praćenje fizičkih promjena ili pak izrada modela (modeliranje) nepristupačnih dijelova kulturne baštine (Remondino i Rizzi, 2010; Remondino, 2011; Mateus i dr., 2019). Rezultat 3D dokumentacije jest visokorezolucijski 3D model koji se može koristiti za primjerice (1) *promociju i popularizaciju kulturne baštine* (npr. virtualne šetnje (Marić i dr., 2019; Napolitano i dr., 2018; Manić i dr., 2013), generiranje 3D modela (Remondino i dr., 2012; Ulvi 2021), izradu vjerne fizičke replike (Balletti i Ballarin 2019; Bonora i dr., 2021), (2) *unaprjeđenje zaštite i upravljanja kulturnom baštinom* (Smith i Příkryl, 2007; Armesto-González i dr., 2010) ili (3) *izrade plana obnove ugrožene baštine* (Parfenov i dr., 2022; Tucci i dr., 2017). Za prikupljanje prostornih podataka koriste se različite metode od kojih su najčešće fotogrametrija (Guery i dr., 2018; Dörtbudak i dr., 2023), terestričko ili zračno LiDARsko skeniranje (npr. Terestrički lidarski skeneri (TLS) (Tirado i dr., 2017; Korumaz i dr., 2018), Geo-SLAM (Gautier i dr., 2020; Ulvi i Yiğit 2022; Tanduo i dr., 2023), aeroLiDAR i 3D

skeniranje strukturiranim svjetlom (Garcia-Molina i dr., 2021; Kosciuk i dr., 2020). Često se radi postizanja optimalne detaljnosti i pokrivenosti za dokumentaciju kulturne baštine koristi više različitih geoprostornih tehnologija u jednom istraživanju koje se međusobno nadopunjuju (Remondino 2011, Shao i dr., 2019; Lerma i dr., 2010). Odabir optimalne geoprostorne tehnologije za 3D dokumentaciju kulturne baštine ovisi prije svega o svrsi istraživanja i načinu korištenja konačnog generiranog modela.

1.1. Objekt i cilj istraživanja

Objekt istraživanja diplomskog rada je trodimenzionalna (3D) dokumentacija nepokretne materijalne baštine. Cilj prvog dijela rada je procjena trenutne zastupljenosti 3D dokumentacije nepokretne materijalne kulturne baštine na primjeru UNESCO-ove nepokretne kulturne baštine u Republici Hrvatskoj (makro razina) te nepokretne kulturne baštine na području Grada Zadra (mezo razina). Drugi dio rada se bavi testiranjem primjene dvije različite terestričke geoprostorne tehnologije u 3D dokumentaciji mletačkih Kopnenih vrata u Zadru (mikro razina) kao jednog od najreprezentativnijih primjera nepokretne kulturne baštine na području Grada Zadra. Osnovni cilj mikro razine istraživanja je bila izrada 3D oblaka točaka Kopnenih vrata, koji može poslužiti kao podloga za očuvanje, odnosno buduća restauriranja, ali i za povećanje dostupnosti i popularizaciju kulturne baštine.

1.2. Svrha istraživanja

Suvremena 3D dokumentacija je vrlo bitan dio procesa zaštite i očuvanja kulturne baštine. Pomoću 3D dokumentacije omogućava se bolja zaštita kulturne baštine, u smislu izravnog poboljšanja konzervacije koje se postiže novim, detaljnijim saznanjima o samom objektu, kao i u smislu dugoročne pohrane geoprostornih 3D podataka u obliku izrađenog 3D modela. U tom pogledu osnovna svrha istraživanja je procjena zastupljenosti 3D dokumentacije nepokretne materijalne nepokretne kulturne baštine u Gradu Zadru te izrada 3D oblaka točaka Kopnenih vrata. Procjena zastupljenosti 3D dokumentacije nepokretne kulturne baštine na nacionalnoj i lokalnoj razini pružit će uvid u stanje primjene suvremenih geoprostornih tehnologija za 3D dokumentaciju kulturne baštine. Time će biti moguće utvrditi u kolikoj mjeri su zadovoljene postojeće međunarodne preporuke za primjenu 3D dokumentacije nepokretne kulturne baštine. Nadalje, provedena analiza poslužit će kao osnova za planiranje provedbe 3D dokumentacije za onu baštinu za koju se utvrdi da ona još nije provedena. Svrha istraživanja provedenih na mikro razini istraživanja je usporedba dvije

napredne geoprostorne tehnologije za 3D dokumentaciju kompleksne materijalne kulturne baštine (Kopnenih vrata). Time će se omogućiti uvid u prednosti i nedostatke korištenih geoprostornih tehnologija, ali i procijeniti trenutačno stanje dokumentirane materijalne baštine te izraditi smjernice za njezino daljnje očuvanje.

1.3. Hipoteze istraživanja

1. *3D dokumentacija je u Republici Hrvatskoj napravljena za više od 50 % nepokretnih kulturnih dobara uvrštenih na UNESCO-ov Popis svjetske baštine.*

Prema smjericama Europske komisije, do 2025. godine na prostoru Europske unije mora se digitalno dokumentirati 100 % spomenika i lokacija kojima prijete rizik od degradacije i 50 % onih koji bilježe visoku turističku posjećenost (Ministarstvo kulture, 2018; Europska komisija, 2021). Trenutačno stanje digitalno dokumentirane UNESCO-ove Svjetske kulturne baštine u Hrvatskoj vrlo je teško procijeniti s obzirom na to da detaljno vođenje nacionalne kulturne statistike nedostaje ili nije javno dostupno. Stoga je cilj istraživanja povezanih s ovom hipotezom saznati na kojoj razini je 3D dokumentacija nepokretne materijalne kulturne baštine zastupljena u Republici Hrvatskoj u odnosu na postavljena očekivanja.

2. *Na lokalnoj razini 3D dokumentacija je napravljena za manje od 10 % nepokretne materijalne kulturne baštine.*

Druga hipoteza temelji se na pretpostavci da je implementacija 3D dokumentacije na lokalnoj razini također spora i nedovoljno obuhvatna (Izvešće o trenutačnom stanju, 2018). Ovom hipotezom istražiti će se stanje 3D dokumentacije nepokretne materijalne baštine u Gradu Zadru prema podacima iz Registra kulturnih dobara Republike Hrvatske i podacima dobivenima od Konzervatorskog odjela Zadar.

3. *Primjena terestričkih geoprostornih tehnologija za 3D dokumentaciju Kopnenih vrata omogućit će detekciju oštećenja na teško dostupnim dijelovima.*

Kroz navedenu hipotezu se nastoji utvrditi kojom se detaljnošću mogu dokumentirati oštećenja na kompleksnim i teško dostupnim dijelovima Kopnenih vrata u Zadru. Hipoteza se temelji na proučenoj literaturi i poznatim karakteristikama terestričkih geoprostornih tehnologija, prema kojima je moguća detekcija centimetarskih, ili u nekim slučajevima čak milimetarskih oštećenja (Tirado i dr., 2018). Prilikom terenskog prikupljanja podataka vizualno su primijećena brojna oštećenja na različitim dijelovima Kopnenih vrata (npr.

pukotine, rast vegetacije, tragovi udara vozila, itd.). S obzirom na detaljnost korištenih geoprostornih tehnologija, pretpostavka je da će navedena oštećenja biti moguće detektirati i na izrađenim 3D modelima, odnosno 3D oblacima točaka.

4. *Detaljnost oblaka točaka izrađenog GeoSLAM-om će odstupati za više od 30 % od referentnog oblaka točaka prikupljenog terestričkim LiDAR-skim skenerom.*

GeoSLAM predstavlja relativno novu metodu prikupljanja podataka, koja ima brojne prednosti u odnosu na statičke LiDAR-ske metode (Bienert i dr., 2018; Frias i dr., 2022). Ova tehnologija uspješno rješava neke od tipičnih nedostataka statičkih LiDAR-skih metoda, omogućujući pri tome znatno fleksibilnije i brže prikupljanje podataka (Cabo i dr., 2018). S druge strane, brzina i gustoća prikupljanja podataka GeoSLAM-om i dalje je znatno manja od većine statičkih LiDAR-skih metoda (Malinverni i dr., 2018; Nocerino i dr., 2017). Zbog toga je u sklopu mikro razine istraživanja napravljena procjena detaljnosti GeoSLAM tehnologije za skeniranje nepokretne materijalne kulturne baštine. Procjena je napravljena na primjeru Kopnenih vrata, za koja je oblak točaka prikupljen GeoSLAM tehnologijom uspoređen s referentnim oblakom točaka prikupljenim TLS-om. Osnovna pretpostavka prije same usporedbe bila je da unatoč povećanoj mobilnosti i fleksibilnosti prikupljanja podataka, GeoSLAM neće moći postići jednaku detaljnost kao i TLS. Odnosno, zbog manje gustoće i dometa prikupljanja podataka, detaljnost oblaka točaka generiranog GeoSLAM-om odstupat će za više od 30 % u odnosu na referentni oblak točaka.

2. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

Posljednjih godina objavljena su brojna istraživanja vezana uz 3D dokumentaciju kulturne baštine i arheoloških nalazišta, što svjedoči o aktualnosti i značaju ove teme. Prilikom proučavanja dosadašnjih istraživanja naglasak je stavljen na istraživanja koja koriste relevantne metode za ovaj diplomski rad i čiji je objekt istraživanja nepokretna kulturna baština. Pregled dosadašnjih istraživanja podijeljen je metodološki u tri dijela:

1) Znanstveni radovi o 3D dokumentaciji materijane kulturne baštine s naglaskom na nepokretna kulturna dobra.

Barton (2007) u svom radu predstavlja najnoviju fazu *Ancient Merv Project (AMP) University College-a* iz Londona u sklopu koje se provodi 3D dokumentacija antropogenih zemljanih struktura u tom gradu na drevnom Putu svile. Za provedbu 3D dokumentacije visoke rezolucije ugroženih zemljanih objekata antičkog grada Merva, korišteni su suvremeni 3D LiDAR-ski

skeneri i globalni navigacijski satelitski sustav (GNSS) pomoću kojih je stvoren zapis zatečenog stanja za neke od najugroženijih struktura i kreirana je temeljna baza podataka za praćenje erozije i redovno nadziranje njihovog stanja.

Lafer i dr. (2014) predlažu temeljni matematički okvir za određivanje minimalne širine pukotine koju je moguće detektirati TLS-om na zidanim građevinama. Teorijski rad uspoređen je s laboratorijskim testiranjem na četiri uzorka s poznatom širinom pukotina (1 – 7 mm). Skeniranje je obavljeno na ortogonalnim udaljenostima od 5,0 do 12,5 m i pod kutovima od 0° do 30°. Rezultati su pokazali da su apsolutne pogreške širine pukotine bile uglavnom manje od 1,37 mm kada je ortogonalna udaljenost varirala od 5,0 do 7,5 m, ali su značajno porasle proporcionalno s udaljenošću. Na najmanjoj udaljenosti ($D = 5,0$ m, $\theta = 0^\circ$), minimalna apsolutna pogreška bila je 0,02 mm za pukotinu širine 5,33 mm. Istraživanjem je dokazano da na udaljenosti manjoj od 10 m, TLS može pouzdano otkriti vertikalne pukotine veće od 5 mm na građevinama od cigle i opeke.

Fehér i Török (2022) u svojem radu koriste terestrički laserski skener (TLS) za analizu površinskih promjena povezanih s vremenskim prilikama, kao i za razjašnjavanje varijacija u litotipskom trošenju s obzirom na orijentaciju zidova i smjer djelovanja meteoroloških pojava. Petomjesečno istraživanje provedeno je u dvije faze, prije i poslije zimske sezone, na ruševinama srednjovjekovne crkve sagrađene od poroznog vapnenca podložnog vremenskim prilikama. Za procjenu kratkotrajnog gubitka materijala i vremenskih utjecaja uspoređeno je 35 izloženih i zaštićenih kamenih površina te je detektirano povlačenje površinskog materijala veće od 4 mm na više od 30 % odabranih površina. Uočeno je mjerljivo pogoršanje stanja u tri do devet posto skeniranih područja, a ističu se ona okrenuta prema sjeveroistoku. Istraživanjem je dokazana mogućnost prepoznavanja meteorološkog površinskog trošenja višefaznim cikličkim skeniranjem pomoću TLS-a.

Malinverni i dr. (2018) u svom radu uspoređuju TLS i SLAM metode prikupljanja podataka u svrhu 3D dokumentacije otvorenih arheoloških nalazišta. Korišteni uređaji su *Riegel* TLS i *Kaarta Stencil* SLAM, a objekt istraživanja je rimski amfiteatar u Anconi. U radu se zaključuje da je korištena SLAM tehnologija valjana alternativa postojećim TLS platformama za potrebe izrade digitalne arheološke dokumentacije, iako su njena točnost i dobivena gustoća oblaka točaka niže nego u oblaku točaka prikupljenom TLS-om. Glavna prednost korištenja SLAM sustava jest njegova brzina skeniranja i mogućnost generiranja virtualne mape u stvarnom vremenu, što eliminira potrebu za dugotrajnom naknadnom obradom, a nedostatak je niža detaljnost u odnosu na TLS.

Marić i dr. (2019) primjenjuju metodu fotogrametrije za 3D dokumentaciju utvrde Fortica na otoku Pagu. Podaci su prikupljeni koristeći Dji Phantom 4 Pro bespilotnu letjelicu (UAV), DSLR Nikon D5300 kameru te GNSS RTK Stonex X10. Visokorezolucijski 3D modeli utvrde izvedeni su u softveru *Agisoft Metashape 1.5*. Rezultat je 3D model utvrde Fortica visoke rezolucije prema kojem je izrađena i virtualna šetnja. U svrhu promocije baštine otoka Paga izrađen je i fizički 3D model, odnosno suvenir, metodom 3D printanja. Radi se o izvrsnom primjeru 3D dokumentacije kulturne baštine na prostoru Republike Hrvatske ekonomski isplativom metodom, kojom je generiran detaljan model i promovirana manje poznata kulturna baština otoka Paga. Glavni doprinos je jednostavan metodološki okvir 3D modeliranja kulturne baštine pristupačnom tehnologijom.

Mateus i dr. (2019) demonstriraju proces 3D dokumentacije TLS-om na povijesnim zidinama Lagosa u Portugalu i naknadno popunjavanje nedostataka u modelu metodom fotogrametrije. Zbog veličine i izduženog oblika zidina, snimanje TLS-om obavljeno je s čak 182 stajališta uz određivanje 57 referentnih GNSS točaka za orijentaciju laserskih i fotografskih snimaka. Integracija referentnih točaka i TLS-a dala je vrlo točne geometrijske modele koji su unatoč tome ipak sadržavali određene geometrijske i radiometrijske nedostatke. Stoga je provedeno i fotogrametrijsko snimanje sa zemlje i iz zraka bespilotnom letjelicom kako bi se prikupili podaci o teksturi i popunile praznine u TLS modelu. Zaključak je da je, zahvaljujući točnim geometrijskim podacima prikupljenima kombinacijom TLS-a i fotogrametrije, moguće odrediti deformaciju zidina, procijeniti trošak materijala za obnovu te nadzirati nastanak i širenje pukotine na građevini.

Mulahusić i dr. (2020) testirali su dva tipa terestričkih laserskih skenera, FARO Focus 3D i STONEX X300, u svrhu odabira najbolje tehnologije za 3D dokumentaciju nepokretne kulturne baštine. Zaključak je da je FARO Focus 3D bolji za izradu modela spomenika sa složenijim detaljima i za naknadno cikličko praćenje trošenja materijala zbog svoje izuzetne preciznosti. STONEX X300 TLS dovoljno je dobar za objekte s jednostavnijom geometrijom, te bi dodavanjem kvalitetnije vanjske kamere za prikupljanje tekstura, umjesto trenutne integrirane, rezultati bili još bolji.

Nocerino i dr. (2017) ispituju mogućnosti dvaju mobilnih laserskih skenera, skener nošen na ruksaku – Leica Pegasus Backpack te ručni skener GeoSLAM ZEB REVO. Testiranje je provedeno na dvama uobičajenim scenarijima – na otvorenom gradskom trgu i u unutrašnjosti industrijskog objekta. Unutarnji prostor karakteriziraju glatke i jednostavne površine, dok vanjsku okolinu definiraju složene površine različitih oblika i reflektivnih karakteristika. Za referentno mjerenje u unutrašnjem prostoru korišten je Leica HDS7000 TLS,

a u vanjskom prostoru korišten je RIEGL VMX-450 MMS montiran na automobil. Oba prijenosna skenera prikupila su podatke unutar parametara točnosti koje su naveli proizvođači, pri čemu je GeoSLAM ZEB REVO nadmašio deklarirane vrijednosti. Podaci prikupljeni s Leica Pegasus MMS-om imali su značajna odstupanja u oblaku točaka, a zaključeno je da bi se pogreške potencijalno mogle ublažiti uključivanjem kontrolnih točaka i određenih ograničenja prilikom izmjere.

Pritchard i dr. (2017) primjenjuju terestričko lasersko skeniranje (TLS) i fotogrametriju za 3D dokumentaciju UNESCO-ovog svjetskog kulturnog dobra katedrale u Kölnu. Cilj projekta bio je pažljivo dokumentirati fasade, interijer, tornjeve i užu okolinu katedrale u Kölnu, koja je pretrpjela velika oštećenja za vrijeme Drugog svjetskog rata i naknadnu restauraciju upitne kvalitete. Jedan od razloga zašto zgrada još nije bila temeljito skenirana bila su logistička ograničenja koju predstavlja veličina i kompleksnost građevine, kao i stalna turistička posjećenost. Korištenim tehnologijama prikupljena je velika količina podataka i generiran model iz kojeg su jasno vidljivi razmjeri oštećenja i otkrivena dosad nepoznata mjesta na kojima je bilo nestručnih zahvata.

Tanduo i dr. (2023) proveli su 3D dokumentaciju dijela dvorca Castello del Valentino, u Torinu, pomoću mobilnog laserskog skenera STONEX X120GO SLAM. Za studiju slučaja odabrane su podzemne prostorije, a testirane su mogućnosti skenera poput prenosivosti, brzine prikupljanja te točnost i cjelovitost prikupljenih podataka. Izazov za dokumentaciju bila je složenost prostora i otežana pristupačnost. Metodom SLAM mobilnog skeniranja generirani su rezultati koji su uspoređeni s podacima iz TLS skeniranja, koji su služili kao referentni. Predstavljeni nalazi pokazuju da mobilni laserski skeneri mogu točno i detaljno dokumentirati izazovne i složene unutarnje prostore.

Tirado i dr. (2018) testiraju mogućnosti TLS-a za detekciju oštećenja na visokim svodovima na primjeru crkve sv. Magdalene u Sevilli. Na nekim mjestima je visina svoda bila gotovo 30 m od razine oltara s kojeg je vršeno skeniranje. Za prikupljanje podataka korišten je terestrički laserski skener Leica ScanStation C10 TLS, a obradom prikupljenog oblaka točaka u Leica 3D Point Cloud Processing softveru generiran je model milimetarske točnosti koji je omogućio prepoznavanje pukotina minimalne širine 2 mm. U konstruktivnim lukovima svoda pronađene su pukotine duljine između 3,1 i 5,6 metara, maksimalne širine između 7 i 14 mm i minimalne širine između 2 i 4 mm čime je dokazana mogućnost korištenja TLS-a u tu svrhu i potencijalno spriječeno daljnje propadanje ovog djela kulturnog dobra.

2) Znanstveni radovi vezani za 3D dokumentaciju kulturne baštine u Republici Hrvatskoj.

Ministarstvo kulture i medija (2018) naručilo je izradu *Izvešća o analizi trenutačnog stanja* digitalne dokumentacije kulturne baštine koju posjeduju državne institucije i drugi subjekti. Podaci su prikupljeni temeljem upitnika koji je poslan na adrese 177 institucija za koje se smatralo da imaju kulturnu baštinu u svojem vlasništvu. U dokumentu se pod pojmom „kulturna baština“ prvenstveno misli na arhivsku, muzejsku i knjižničnu građu. Sadrži i kategoriju naziva *3D snimci*, no pod time se podrazumijevaju 3D videozapisi, 3D umjetnička djela, ostali 3D (umjetni) objekti, **spomenici i mjesta** te ostala vrsta građe. Budući da u *Izvešću* nije bila zasebno istaknuta svaka kategorija, odnosno vrsta dokumentirane građe, nije bilo moguće iz njega izvući točan podatak o dokumentiranim 3D spomenicima. Ipak, dokument je izuzetno koristan za shvaćanje trenutačne zastupljenosti opće digitalizacije u hrvatskim kulturnim institucijama kao i izazova s kojima se pojedine institucije susreću tijekom dokumentacije.

3) Znanstveni radovi vezani za utjecaj klimatskih čimbenika na kulturna dobra od kamena i, povijesni značaj Kopnenih vrata u Zadru.

Kopnena vrata i općenito zadarske fortifikacije tema su mnogih znanstvenih radova kako hrvatskih tako i međunarodnih autora poput Pavuše Vežića (2005), Andreja Žmegača (2009a; 2009b), Emila Hilje (2011), Larisa Borića (2015), Daviesa i Hemsolla (2004) te akademika Ive Petriciolija (2005) koji je cijeli svoj život posvetio zaštiti zadarske baštine i povijesti. U njihovim se znanstvenim radovima proučavaju različiti aspekti zadarskih fortifikacija i Kopnenih vrata kao njihovog najupečatljivijeg dijela. Borić (2015) se fokusira na arhitektonsku vrijednost Kopnenih vrata i klesarske majstore koji su radili na njima, Žmegač (2009a; 2009b) na povijesne okolnosti i tijek gradnje, Hilje (2011) na stariji srednjovjekovni obrambeni sustav i datiranje gradnje određenih mletačkih javnih građevina, Vežić (2005) te Davies i Hemsoll (2004) na umjetničku vrijednost i autorstvo Kopnenih vrata, a Petricioli (2005) daje detaljan pregled razvoja cjelokupne zadarske graditeljske i umjetničke baštine povezujući umjetnička djela s njihovim autorima, naručiteljima i okolnostima nastanka.

Cassar i Pender (2005) u svojem su radu ispitali kako klimatske promjene mogu utjecati na značajna područja kulturne baštine, uključujući stare građevine i arheološke ostatke. Prikupljeni su i analizirani klimatološki podaci i podaci kulturnih institucija i pojedinaca zaduženih za zaštitu materijalne kulturne baštine. Rezultati potvrđuju da klimatske promjene utječu na spomenike kulturne baštine, što bi moglo rezultirati fizičkim promjenama tijekom vremena ako se njima ne upravlja na odgovarajući način.

Freeman i Gonzalez (2021) u svojem radu zaključuju da se spomenici svjetske baštine mogu uspješno očuvati i cijeliti u digitalnom dobu, no to zahtijeva pažljivo razmatranje kako uravnotežiti zaštitu i pristupačnost. Također predlažu načine na koje vlade i nevladine organizacije mogu zajedno raditi na ovom pitanju kako napretkom tehnologije ne bi došlo do zanemarivanja i zaboravljanja kulturnih znamenitosti u njihovom originalnom obliku.

Heatcote, Fluck i Wiggins (2017) analiziraju kako su klimatske promjene kroz povijest utjecale na kulturnu baštinu i koje mjere su Vlada Ujedinjenog Kraljevstva i znanstvena zajednica donijeli kako bi ju zaštitili. Ovaj rad zaključuje da je potrebno koristiti prostorne analize u kombinaciji s drugim tehnikama kako bi se procijenili rizici koje donose klimatske promjene, unaprijedile baze podataka za buduća istraživanja i predložile mjere za prilagodbu novim uvjetima. Sve navedeno će stručnjacima za konzervaciju i restauraciju omogućiti bolju zaštitu povijesnih lokacija od potencijalne štete uzrokovane novim promjenama.

3. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

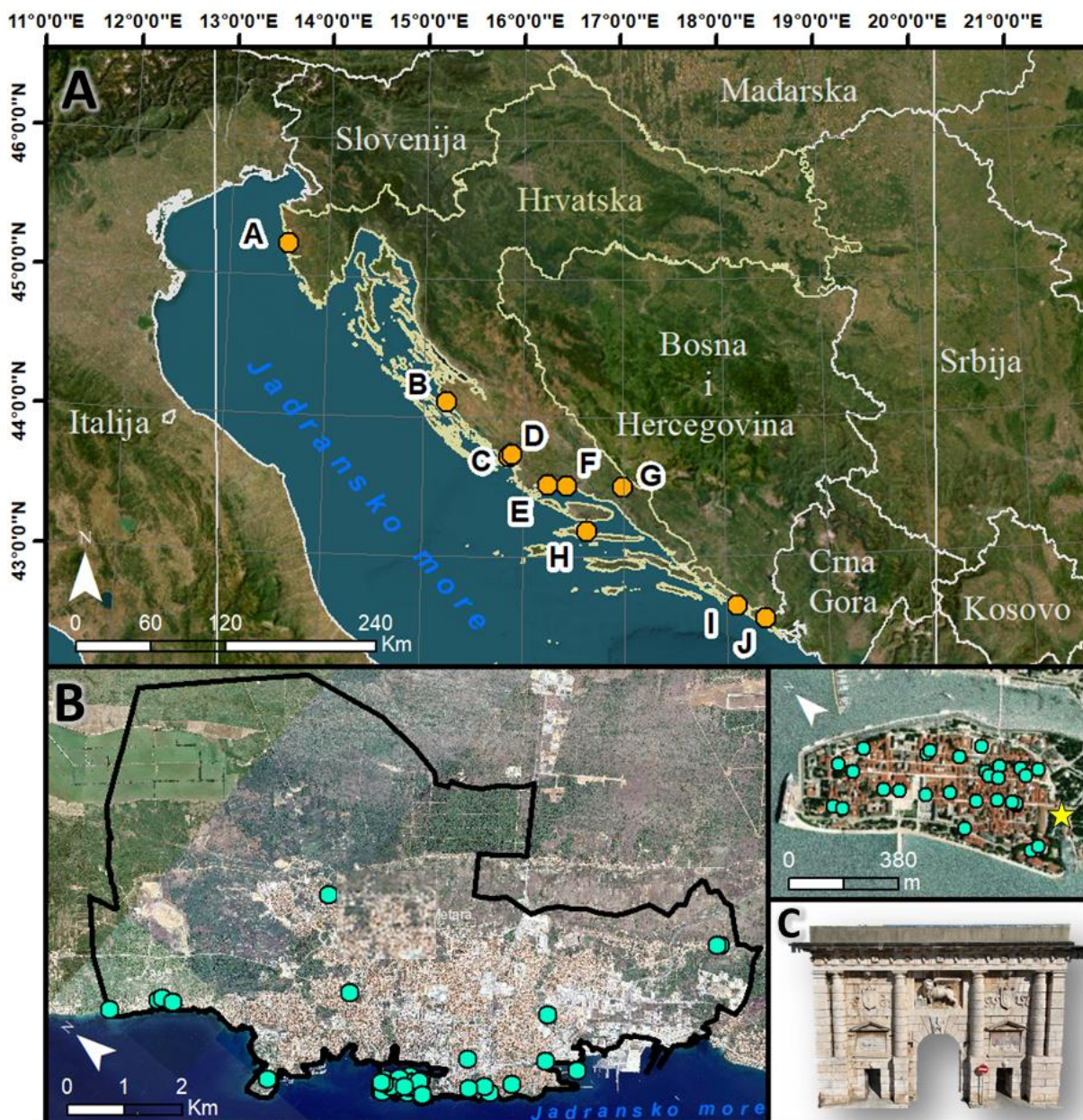
Područje istraživanja obuhvaća tri razine istraživanja, makro, mezo i mikro. **Makro razina istraživanja** obuhvaća cijelo područje Republike Hrvatske (Slika 1. A), odnosno ona područja na kojima se nalaze kulturna dobra s UNESCO-ovog Popisa svjetske baštine. Radi se o osam kulturnih dobara na deset lokacija na prostoru pet primorskih županija Republike Hrvatske: Istarske županije, Zadarske županije, Šibensko-kninske županije, Splitsko-dalmatinske županije te Dubrovačko-neretvanske županije. Republika Hrvatska se razvila na raskršnici velikih povijesnih zbivanja, sukoba i integracija, čiji se utjecaji najjasnije vide u brojnosti i raznolikosti kulturne baštine. Gotovo sva UNESCO-ova materijalna kulturna baština Republike Hrvatske nalazi se na samoj obali ili u neposrednoj udaljenosti od nje. Hrvatska se razvila na Jadranskom moru, zaljevu Sredozemnog mora, koje je od antičkih vremena predstavljalo okosnicu kulturne, trgovačke i ideološke razmjene triju kontinenata. Bitna uloga mora kao najučinkovitijeg prometnog medija, omogućila je kulturni i ekonomski razvoj hrvatske obale pod utjecajem grčke i rimske civilizacije u antici te bizantske, hrvatske, venecijanske i drugih kultura u srednjem i novom vijeku (Magaš, 2013).

Mezo razina istraživanja obuhvaća kulturnu baštinu koja se nalazi unutar administrativnih granica Grada Zadra (Slika 1. B). Grad Zadar je regionalno središte kojem gravitira cijelo srednje hrvatsko primorje uključujući sjevernodalmatinsko-ličko priobalje i otoci te (1) sjevernodalmatinski zaobalni i zagorski prostor (2) (Magaš, 2013). Sâm Grad prostire se na 25 km², sa 67 309 stanovnika u 2021. godini, što ga čini petim najvećim gradom

u državi. Središte je zadarske gradske regije sa 70 779 stanovnika i Zadarske županije sa 159 766 stanovnika (DZS, 2021).

Povijest Grada Zadra spada među najburnije povijesti jednoga grada u Hrvatskoj. Tijekom svojeg dugog postojanja, grad je, zajedno s okolicom, pretrpio mnoga razaranja i promjene u etničkoj strukturi stanovništva, a možda najveći dio toga u recentnoj prošlosti. Nakon gotovo potpunog uništenja u Drugom svjetskom ratu, grad je doživio ekonomsku i demografsku obnovu ulaganjem u industriju, koja je privukla novo stanovništvo iz ruralnog zaleđa i drugih dijelova SFRJ-a. Profitirao je otvaranjem SFRJ-a prema ostatku svijeta, a gradnjom novih prometnica i međunarodne zračne luke olakšao se dolazak gostiju. Slijedom događaja, dolazi do jačanja turističkih djelatnosti koje polako istiskuju industrijsku proizvodnju. Nakon Domovinskog rata te znatnih materijalnih i ljudskih žrtava, započeo je oporavak, te je postao jedan od gospodarski najbrže rastućih gradova u Hrvatskoj. Danas je Zadar svjetski poznata turistička destinacija s izvrsnom prometnom povezanošću i značajnim ekonomskim potencijalom, a demografski jedan od rijetkih gradova u Hrvatskoj s relativno stabilnom stopom prirodnog kretanja stanovništva (Magaš, 2013).

Područje istraživanja na mikro razini obuhvaća Kopnena vrata Grada Zadra iz 16. stoljeća (Slika 1. C), na južnom ulazu u zadarski poluotok. Južno od Kopnenih vrata nalazi se lučica Foša, nastala nasipavanjem srednjovjekovnog kanala, neposredno do Kopnenih vrata u smjeru zapada nalazi se zgrada srednje pomorske škole, nedaleko u smjeru sjevera je Trg pet bunara, a u smjeru istoka Perivoj kraljice Jelene s najboljim pogledom na Kopnena vrata i Fošu.



Slika 1. Prostorni obuhvat i razdioba područja istraživanja na makro (A) mezo (B) i mikro (C)

4. TEORIJSKA OSNOVA

4.1. Kulturna baština

Problem definiranja kulturne baštine leži u opsegu tog pojma. Tvore ga riječi „kultura“ i „baština“, koje su još opširnijeg značenja. U svojem najosnovnijem značenju riječ *cultura* na latinskom jeziku nosi konotaciju obrade zemlje, ali i obrađivanja, odnosno oplemenjivanja duha (Leksikografski zavod M. Krleža). Edward B. Tylor 1871. godine u djelu *Primitive culture* definira kulturu kao „znanje, religiju, umjetnost, moral, zakone i običaje“, što se smatra

prvim znanstvenim definiranjem tog pojma. Pojmovi „kulturalna baština“ i „kulturalno dobro“ prvi se put, u međunarodnom okruženju, spominju 1954. godine u *Konvenciji o zaštiti kulturnih dobara u slučaju oružanog sukoba* (NN 6/02) (tzv. haška konvencija). Od tog trenutka pojam kulturalna baština predstavlja općeniti termin za sva kulturalna dobra, a kulturalno dobro je jedna pojava kulturne baštine, bilo materijalne ili nematerijalne (Šošić, 2014).

„Baština sama po sebi ne postoji, već da bi nešto postalo baština netko mora pridodati značenje“ određenoj pojavi, objektu ili tradiciji (Smith, 2006), i prema tome kulturalna baština može biti globalna, nacionalna, lokalna i osobna (Jelinčić, 2010). Baština do dvadesetog stoljeća nije imala značenje kakvo ima danas, već je bila ograničena na povijest rodno ili vjerski povezane zajednice i predstavljala ono što danas nazivamo ostavštinom ili nasljedstvom (Harvey, 2016). Kulturalna baština se odnosi na jedinstvene prirodne fenomene te povijesna i kulturalna postignuća ljudi (Jelinčić, 2010) u svim aspektima koji čine manifestaciju kulture (Marasović, 2001; Nafziger, 2008). Kulturalna dobra služe kao zrcala povijesti (Remondino i Stylianidis, 2016) istodobno utječući na oblikovanje identiteta sadašnjih generacija (Vecco, 2010). To je dinamičan koncept koji se razvija u skladu sa znanstvenim, tehnološkim i etičkim napretkom (Šošić, 2014; Dumbović-Bilušić, 2013), što se izvrsno vidi na primjeru suvremenih metoda dokumentiranja koje većinom nisu ni postojale u vrijeme donošenja prvih pravilnika o zaštiti kulturne baštine.

Možda najjednostavniji, ali i najsveobuhvatniji opis kulturne baštine dolazi od Vijeća Europe, a to je da kulturalna baština „potječe iz interakcije između ljudi i mjesta kroz vrijeme“. Vijeće Europe također u svoju definiciju osim materijalne i nematerijalne baštine, uključuje i digitalnu (originalno digitalan i naknadno digitalizirani sadržaj) (Vijeće Europske Unije, 2014/C 183/08). Digitalna kulturalna baština označava kulturnu baštinu čiji izvorni oblik nije analogan, već je po prvi puta nastala u virtualnom svijetu. Digitalizirana kulturalna baština je ona koja je dobila svog „digitalnog blizanca“ nakon svog nastanka, odnosno za koju je izvršen proces pretvaranja analognog podatka u digitalni podatak (Ministarstvo kulture i medija, 2018). Naposljetku, može se zaključiti da ne postoji jedinstvena pravna definicija kulturne baštine. Razlog tome je širina ovog pojma i različitost mišljenja o tome koje manifestacije ljudske kulture zaslužuju biti zaštićene. Objašnjenja koja nalazimo u konvencijama i ugovorima često su prilagođena potrebama i ciljevima tih sporazuma te su odraz političkih, društvenih i ekonomskih okolnosti (Šošić, 2014).

4.1.1. Razlikovanje pokretne i nepokretne kulturne baštine

Prema UNESCO-ovoj *Konvenciji za zaštitu svjetske kulturne i prirodne baštine* iz 1972. godine (NN 5/2005) materijalnu kulturnu baštinu čine tri glavne sastavnice: **(1)** spomenici u koje se ubrajaju djela arhitekture, slikarstva ili kiparstva te kombinacije obilježja univerzalne (znanstvene/umjetničke/povijesne) vrijednosti, **(2)** skupine samostojećih ili povezanih građevina koje zbog svoje arhitekture, položaja u okolišu ili homogenosti posjeduju univerzalnu vrijednost, **(3)** prirodna, antropogena ili kombinirana djela čovjeka i prirode kao i područja koja uključuju arheološke lokalitete univerzalne vrijednosti. Nematerijalnu kulturnu baštinu čine „plesovi i druge umjetničke izvedbe, glazba, običaji, tradicionalna znanja i vještine, vjerski rituali i drugo“ (Šošić, 2014).

Prema Zakonu o zaštiti i očuvanju kulturnih dobara (NN, 69/99 kulturnom baštinom smatraju se:

1. pokretne i nepokretne stvari od umjetničkog, povijesnog, paleontološkog, arheološkog, antropološkog i znanstvenog značenja
2. arheološka nalazišta i arheološke zone, krajolici i njihovi dijelovi koji svjedoče o čovjekovoj prisutnosti u prostoru, a imaju umjetničku, povijesnu i antropološku vrijednost
3. nematerijalni oblici i pojave čovjekova duhovnog stvaralaštva u prošlosti kao i dokumentacija i bibliografska baština
4. prostori u kojima se trajno čuvaju ili izlažu kulturna dobra i dokumentacija o njima.

Na koncu Šošić (2014) smatra da iako dijelimo kulturnu baštinu na pokretnu i nepokretnu, u suvremeno doba ta podjela nema zakonskog značaja jer ne utječe na svojstvo kulturnog dobra kao zaštićenog objekta.

4.1.2. Globalna zaštita kulturne baštine i UNESCO

Jedan od najvrjednijih resursa svake države i naroda jest njegova kulturna i prirodna baština. Gubitak ijednog od ovih najvrjednijih svjetskih spomenika osiromašuje kulturnu ostavštinu cijelog čovječanstva. Zbog svojih iznimnih karakteristika neka kulturna dobra predstavljaju „izvanrednu univerzalnu vrijednost“ i kao takva zaslužuju posebnu zaštitu na globalnoj razini (UNESCO, *Operational Guidelines for the Implementation of the World Heritage Convention*). Sredinom 20. stoljeća, poučeni iskustvom masovnog uništenja kulturne baštine u Drugom svjetskom ratu, svjetski lideri i stručnjaci za kulturu donijeli su prve mjere zaštite kulturne baštine na međunarodnoj razini u obliku *Konvencije za zaštitu kulturnih dobara u slučaju oružanog sukoba* iz 1954. godine (NN 6/02). Nedostatak Konvencije jest taj što se

ona odnosi samo na zaštitu materijalnih kulturnih dobara, odnosno pokretnih i nepokretnih predmeta budući da se u konvenciji kulturna dobra definiraju prvenstveno kao materijalna.

Predvodnica međunarodne zaštite kulturne baštine jest UN-ova specijalizirana organizacija **UNESCO** (eng. *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization* – Organizacija Ujedinjenih naroda za obrazovanje, znanost i kulturu) osnovana 16. studenog 1945. godine. Glavni cilj UNESCO-a jest doprinijeti miru i sigurnosti u svijetu promovirajući međunarodnu suradnju na poljima obrazovanja, znanosti i kulture.

Konvenciju o svjetskoj baštini potpisale su 1972. godine države članice UNESCO-a kako bi se u najvećoj mogućoj mjeri osigurala ispravna identifikacija, zaštita, očuvanje i prezentacija svjetske baštine. Konvencijom je predviđeno ustrojavanje Odbora za svjetsku baštinu i Fonda za svjetsku baštinu koji su uspostavljeni 1976. godine. Kulturna dobra se definiraju prema 1. i 2. članku *Konvencije o svjetskoj baštini*, a uvrštavaju se na Popis svjetske baštine na osnovi svoje iznimne i jedinstvene vrijednosti. UNESCO-ova Svjetska baština sastoji se od Svjetske kulturne baštine i Svjetske prirodne baštine. Da bi kulturno dobro bilo uvršteno na UNESCO-ov Popis svjetske kulturne baštine mora ispuniti **tri uvjeta**: **(1)** mora zadovoljiti barem jedan od 10 kriterija definiranih u Operativnim smjernicama za provođenje *Konvencije o svjetskoj baštini* (UNESCO, 2021); **(2)** mora zadovoljiti uvjet integriteta i autentičnosti kulturne baštine; **(3)** mora ispuniti uvjete koji se tiču zaštite i upravljanja kulturnom baštinom. Na UNESCO-ovu Popisu svjetske kulturne baštine dana 20. listopada 2023. godine nalazilo se 1 199 pojedinačnih spomenika prirodne ili kulturne baštine na teritoriju 168 zemalja od kojih je 48 prekograničnih dobara, odnosno dobara koja se nalaze na teritoriju više država (UNESCO, *World Heritage List*) kao npr. prirodno dobro *Iskonske bukove šume Karpatha i drugih regija Europe* koje se nalazi na 93 lokacije u 18 zemalja (UNESCO, *Ancient and Primeval Beech Forests of the Carpathians and Other Regions of Europe*). Osim Popisa svjetske baštine, UNESCO vodi i Popis ugrožene svjetske baštine na kojem se nalazi baština koja je u značajnom riziku od oštećenja, degradacije, pa čak i nestanka. Iako je UNESCO mnogo poznatija organizacija za zaštitu kulturne baštine, u pozadini također bitnu ulogu ima ICOMOS (eng. *International Council for Monuments and Sites*) osnovan 1965. godine. Međunarodno vijeće za spomenike i spomeničke cjeline (ICOMOS) pruža tehničku podršku Odboru za svjetsku baštinu, prikuplja podatke o stanju očuvanosti i daje procjenu kulturne vrijednosti dobara koja su predložena za upis na Popis svjetske kulturne baštine (UNESCO, *Advisory Bodies*). U suštini, ICOMOS je mreža stručnjaka iz raznih znanstvenih disciplina koji surađuju na poboljšanju standarda i tehnika zaštite kulturne baštine. Također, izuzetno mnogo pažnje posvećuje se kontinuiranom praćenju stanja kulturnih dobara s Popisa

svjetske baštine kako ne bi došlo do zapuštanja, oštećenja, prekomjernog komercijalnog iskorištavanja ili bilo čega što može uzurpirati izvornu vrijednost kulturnog dobra (ICOMOS, *Icomos and World Heritage*).

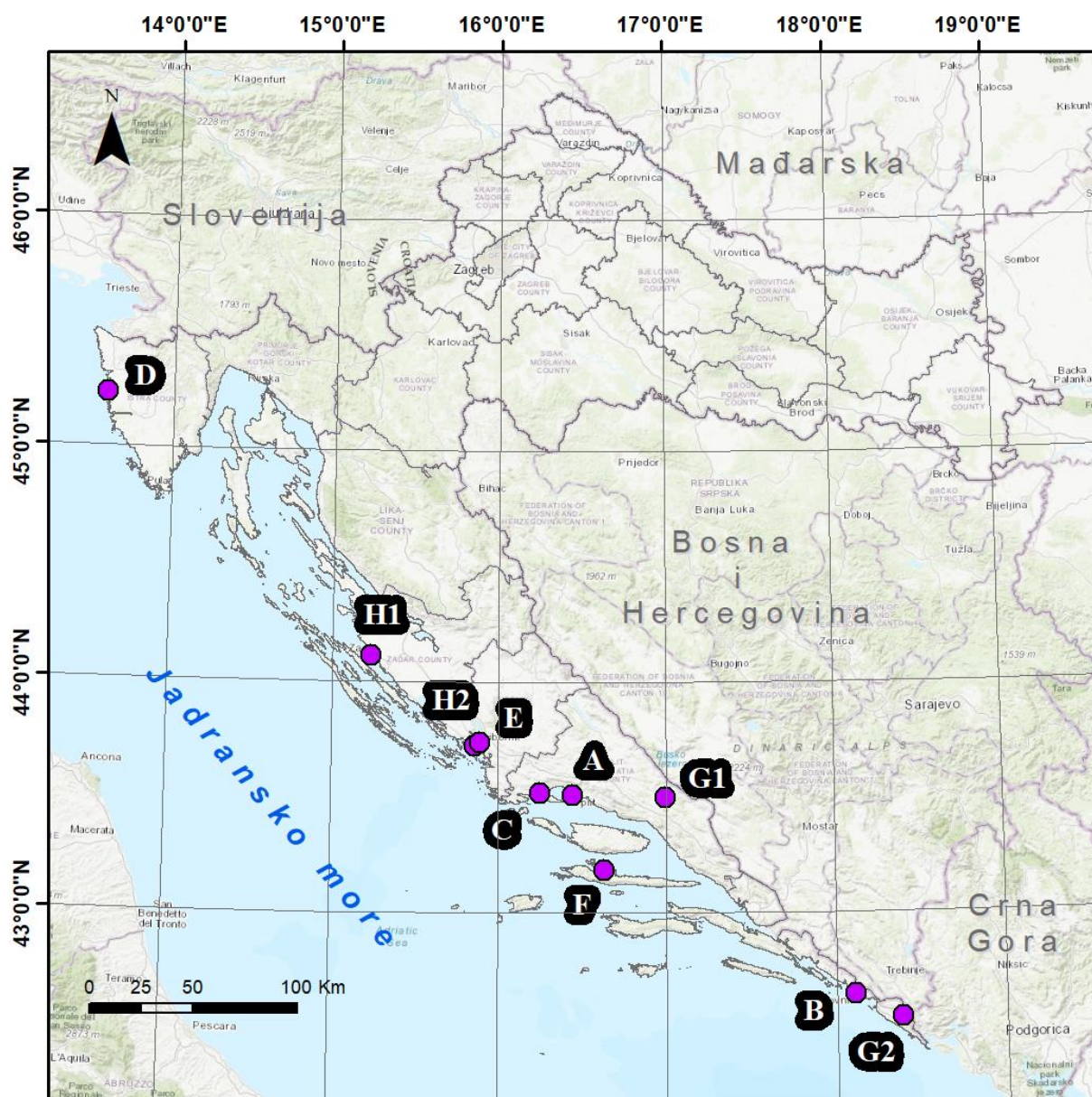
4.1.3. Nepokretna kulturna dobra RH na Popisu svjetske kulturne baštine

Republika Hrvatska trenutno ima osam nepokretnih kulturnih dobara na UNESCO-ovu Popisu svjetske baštine (Tablica 1; Slika 2) na ukupno deset lokacija. Dva kulturna dobra su povezana, a radi se o Mletačkim fortifikacijama iz 16. i 17. st. u Zadru i Šibeniku, te o Srednjovjekovnim nadgrobni spomenicima (stećcima) koji se nalaze kraj Imotskog i u Konavlima. U nastavku će se opisati vrijednosti svakog hrvatskog nepokretnog dobra zbog kojih su uvrštena na UNESCO-ov Popis svjetske baštine.

Tablica 1. *Hrvatska nepokretna kulturna dobra na UNESCO-ovu Popisu svjetske baštine (slova kraj imena označavaju lokaciju na karti (Slika 2))*

Naziv nepokretnog dobra	Godina upisa
Povijesni kompleks Splita i Dioklecijanova palača (A)	1979.
Stari grad Dubrovnik (B)	1979.
Povijesni grad Trogir (C)	1997.
Episkopalni kompleks Eufrazijeve bazilike u povijesnom središtu Poreča (D)	1997.
Katedrala sv. Jakova u Šibeniku (E)	2000.
Starogradsko polje (F)	2008.
Srednjovjekovni nadgrobni spomenici – stećci (G1, G2)	2016.
Fortifikacijski sustav Zadra i šibenska utvrda sv. Nikole, kao dio mletačkog obrambenog sustava 16. i 17. stoljeća (H1, H2)	2017.

Izvor: UNESCO, *World Heritage List* (Stanje na dan: 14. 9. 2023.)



Slika 2. Prostorni raspored UNESCO-ove Svjetske kulturne baštine u Hrvatskoj

Dioklecijanova palača (Slika 3. A) nalazi se unutar kulturno-povijesnog kompleksa Grada Splita gdje čini zasebnu cjelinu sa srednjovjekovnom jezgrom te pučkim predgrađima Veli Varoš, Manuš, Dobri i Lučac (Registar kulturnih dobara, Z3778). Međutim, UNESCO-ova zaštita vrijedi isključivo za prostor unutar i neposredno oko zidova Palače (Slika 3. B) (UNESCO, 2008). Samu palaču dao je sagraditi rimski car Dioklecijan u kasnom 3. stoljeću nove ere te je služila kao njegova rezidencija nakon abdikacije. Naredna stoljeća obilježavaju promjene u etničkoj, vjerskoj i klasnoj strukturi stanovništva, koje se očituju u arhitektonskim zahvatima na prostoru palače (Marasović, T., 1994). Dioklecijanova palača predstavlja svojevrsni pregled društveno-političkog života i kulturno-umjetničke prošlosti na ovom području u kontinuitetu od preko sedamnaest stoljeća. Stoga se na relativno maloj površini

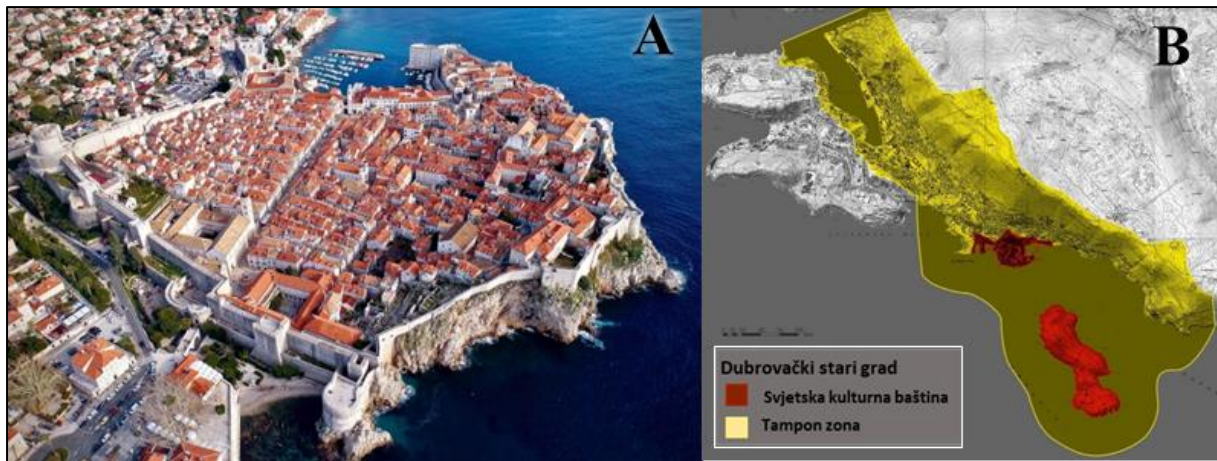
moгу pronaći antički hramovi, romaničke ranokršćanske crkve, srednjovjekovne fortifikacije, gotičke palače te palače i javne građevine u baroknom i renesansnom stilu. Već 1979. godine kompleks Dioklecijanove palače uvršten je na UNESCO-ov Popis svjetske kulturne baštine (Marasović, T., 1994).



Slika 3. Dioklecijanova palača (A) i zona pod UNESCO-ovom zaštitom (B)

Izvor: Freepik (A); UNESCO, 2008 (B)

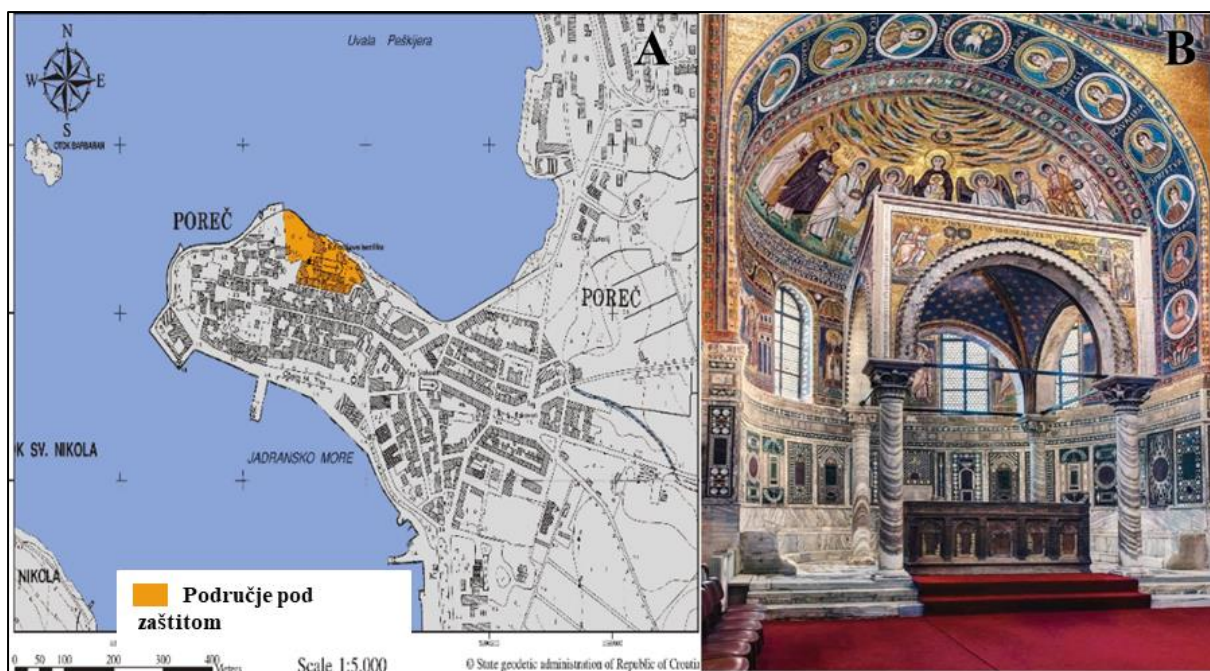
Stara jezgra Dubrovnika u granicama koje danas poznajemo (Slika 4. A) nastala je u ranom srednjem vijeku ujedinjenjem slavenskog naselja Dubrovnik i postojećeg naselja Ragusa, koje su osnovale izbjeglice iz rimskog Epidauruma. Na temeljima vješte diplomacije i sposobnih trgovaca razvio se u najbogatiju srednjovjekovnu luku istočnog Jadrana i trgovački konkurirao Veneciji čiju vlast je jedno vrijeme i priznao. Najimpresivnije dubrovačke građevine su svakako gradske zidine, pojačane kulama i vanjskim utvrđenjima Revelin i Lovrijenac, koje zajedno predstavljaju najočuvaniji srednjovjekovni sustav fortifikacija na Jadrani (Marasović, T., 2001). Dubrovnik se zbog svoje izrazite kulturne vrijednosti naziva „biserom Jadrana“, a na UNESCO-ov Popis svjetske kulturne baštine uvršten je 1979. godine (Slika 4. B). Već iste godine grad je pretrpio snažan potres, a između 1991. i 1992. godine bio je žrtva ratne devastacije od strane jugoslavenske vojske i paravojskih postrojbi. Završetkom rata provedena je obnova povijesne jezgre pod vodstvom UNESCO-a (UNESCO *State of conservation reports*, 1998) te je danas jedan od glavnih razloga turističkih dolazaka u Hrvatsku (Ministarstvo turizma i sporta, 2022.) Međutim, prema najnovijem izvješću ICOMOS-a, zaštićena jezgra Dubrovnika nalazi se pred novim izazovima poput pritiska masovnog turizma i nedostatne turističke infrastrukture, krize povoljnog smještaja za stanare te nedovoljno razrađenog plana upravljanja kulturnom jezgrom (ICOMOS, 2018).



Slika 4. Dubrovačka jezgra (A) i zona pod UNESCO-ovom zaštitom (B)

Izvor: URL1 (A); UNESCO, 2018 (B)

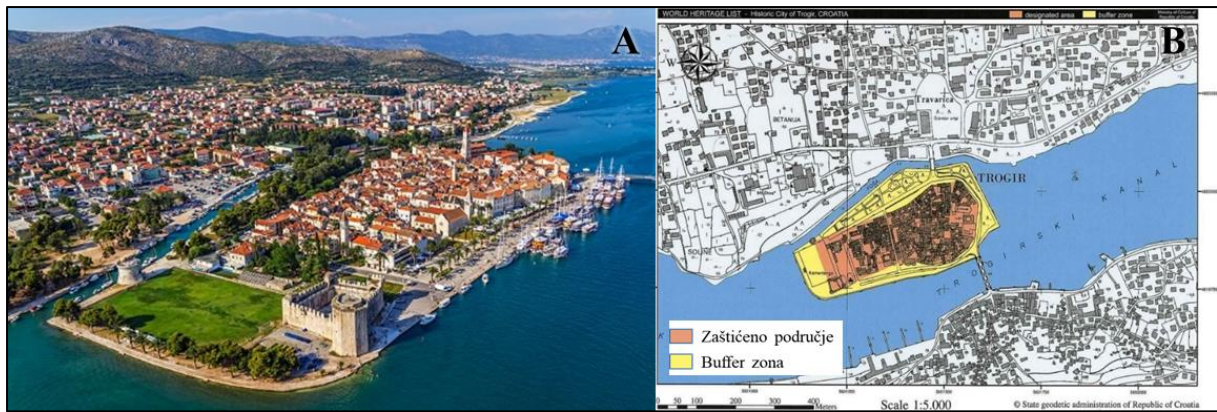
Episkopalni kompleks Eufrazijeve bazilike u povijesnoj jezgri Poreča (Slika 5. A) poznatija kao **Eufrazijeva bazilika**, najočuvaniji je ranokršćanski katedralni kompleks izuzetne očuvanosti svih bitnih elemenata, uključujući crkvu s raskošnim oltarom (Slika 5. B), spomen kapelu, atrij, krstionicu i biskupsku palaču (UNESCO, 2008). „Bazilika je, uključujući građevine iz prethodnih etapa, reprezentativan primjer sakralne arhitekture iz petog i šestog stoljeća u kojoj se jasno odražavaju bizantski utjecaji. Radi se o jedinstvenom umjetničkom djelu s posebnim naglaskom na mozaike“ (ICOMOS, 1997). Glavnu građevinu kompleksa, trobrodnu baziliku sredinom šestog stoljeća dao je sagraditi biskup Eufrazije nakon što je postao porečki biskup i primijetio da je postojeća crkva u vrlo lošem stanju. Na prostoru sklopa Eufrazijeve bazilike pronađene su rimske građevine i dvije ranije crkvene strukture čiji su temelji iskorišteni za gradnju nove katedrale. Dao ju je obogatiti mozaicima s kršćanskim motivima te mramornim stupovima s kapitelima. Bazilika je sagrađena tijekom vladavine Justinijana, cara Istočnog Rimskog Carstva, koji je vratio velike dijelove Zapadnog Rimskog Carstva, uključujući Istru, pod rimsku vlast (Zgrablić, 2018). Eufrazijeva je bazilika zbog svoje iznimne očuvanosti 1997. godine uvrštena na UNESCO-ov Popis svjetske kulturne baštine (ICOMOS, 1997).



Slika 5. Zona pod UNESCO-ovom zaštitom (A) i oltar Eufrazijeve bazilike (B)

Izvor: UNESCO, 2008 (A); URL2 (B)

Stara jezgra Trogira izvanredan je primjer urbanog kontinuiteta od antike do danas (Marasović, 2001). Najstariji pokazatelj duge povijesti je helenistički ortogonalni raspored ulica koji datira iz trećeg stoljeća prije naše ere, kada je na prostoru današnjeg Trogira postojala kolonija Grka s Visa. Trogir je ujedno i najočuvaniji romaničko-gotički grad na prostoru Jadrana i srednje Europe. Srednjovjekovna jezgra Trogira, opasana zidinama, povezuje dobro očuvani kaštel, kulu (Slika 6. A) te brojne javne zgrade i plemićke palače (*Cega, Vitturi, Lucie, Garagnin Fanfogna, Paitoni, Statileo, Andreis*) iz razdoblja romanike, gotike, renesanse i baroka koje su nastale na temeljima antičkih objekata. Najznačajnija građevina u trogirskoj jezgri je katedrala sv. Lovre s portalom zapadnih vrata, remek-djelom majstora Radovana (ICOMOS, 1997), koje spada u sam vrh europskog romaničkog kiparstva (Marasović, 2001). Stara jezgra Trogira nalazi se na UNESCO-ovom Popisu svjetske kulturne baštine od 1997. godine (Slika 6. B) (UNESCO, 2009).



Slika 6. Stara jezgra Trogira (A) i zona pod UNESCO-ovom zaštitom (B)

Izvor: URL3 (A); UNESCO, 2009 (B)

Šibenska katedrala sv. Jakova (Slika 7) sagrađena je između 1431. i 1535. godine, a predstavlja primjer umjetničke povezanosti sjeverne Italije, Dalmacije i Toskane u 15. i 16. stoljeću te uspješno spajanje gotičkog i renesansnog umjetničkog stila. Arhitekti Francesco di Giacomo, Juraj Dalmatinac i Nikola Firentinac katedralu su u potpunosti izgradili od materijala građevina koje su joj prethodile što ju čini jedinstvenom. Za kupolu, najimpresivniji element katedrale, koristili su jedinstvenu građevinsku tehniku utorenih ploča, odnosno gradnje isključivo od kamena, bez veziva i drvenih greda. Kupola je najreprezentativniji dio već ionako impozantne šibenske katedrale uz brojne druge dekorativne elemente poput ukrasnog friza koji se proteže cijelim opsegom građevine i na kojem se nalaze 72 skulpture ljudskih glava različite dobi, spola i društvenog statusa te „realističnih, portretnih osobina“ što je posebnost i u europskim razmjerima (Marasović, 2001). Od 2000. godine nalazi se na UNESCO-ovom Popisu svjetske kulturne baštine (UNESCO, *List of protected cultural heritage*, 963).

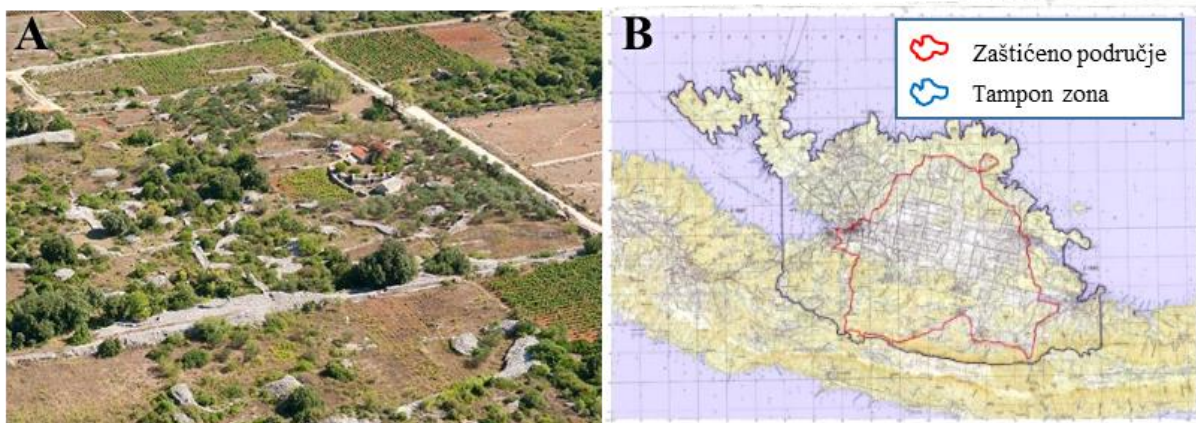


Slika 7. Katedrala Sv. Jakova u Šibeniku

Izvor: UNESCO, 2000

Starogradsko polje na otoku Hvaru jedinstveni je kulturni krajolik u Hrvatskoj. Ono je najveće i najplodnije polje koje se može pronaći na jadranskim otocima te je kao takvo kroz povijest bilo izrazito privlačno za naseljavanje na plodnim tлом oskudnom krškom reljefu. Danas se zna za 120 arheoloških lokaliteta s ostacima nekoliko kultura koje su postojale na tom prostoru, od kojih najstariji sežu do neolitika, te je stoga 1993. godine zaštićeno kao arheološka zona. Grci Parani s jonskog otoka Parosa u četvrtom stoljeću prije naše ere osnovali su na tom plodnom prostoru svoju koloniju *Pharos*, današnji Stari Grad (Ministarstvo kulture i medija, 2006). Antički Grci su Starogradsko polje podijelili na pravokutne čestice dimenzija 1 grč. stadij \times 5 grč. stadija (181 m \times 905 m) koristeći dimenzije grčkih “stopa” od 0,3026 m (Solarić M. i Solarić N., 2009). Značaj Starogradskog polja za svjetsku kulturu jest u tome što sadrži najstariji i najbolje sačuvani antički katastar na Sredozemlju i na prostoru cijele Europe. Usprkos višestrukim dijeljenjem zemljišta unutar polja, i nerijetko burnim povijesnim događanjima, osnovna struktura katastra (Slika 8. A) ostala je gotovo nepromijenjena u odnosu na stanje prije 2 400 godina. Starogradsko polje je 2005. godine preventivno stavljeno pod UNESCO-ovu zaštitu kao kulturni krajolik, dok se odlučivalo treba li biti smješteno na Popis svjetske baštine što se naposljetku i dogodilo 2008. godine (Slika 8. B). Danas se Starogradsko

polje nalazi pod pritiscima izgradnje nove infrastrukture i smještajnih kapaciteta uslijed rasta hvarskog turističkog prometa te je poput ostatka zemlje na udaru depopulacije i napuštanja tradicionalnih poljoprivrednih metoda (Ministarstvo kulture i medija, 2006).



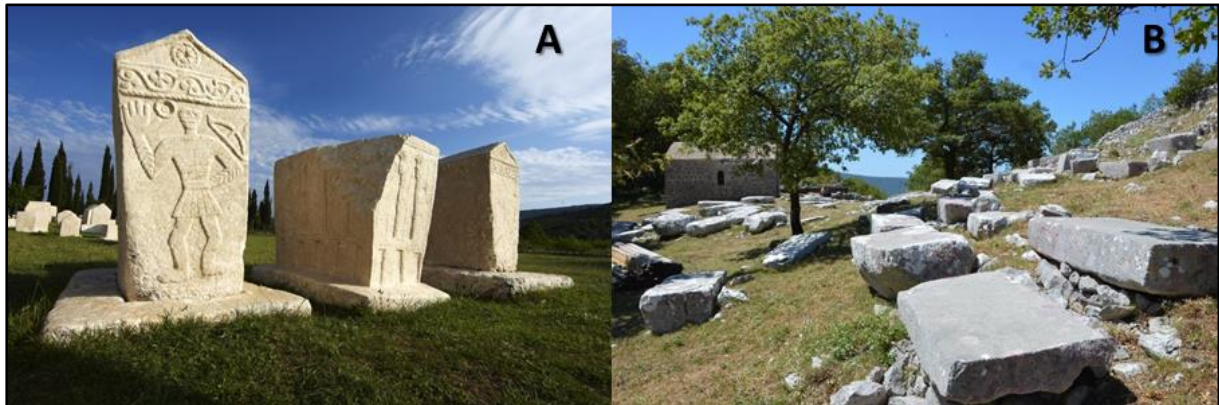
Slika 8. Zračni snimak pravilnog rasporeda čestica Starogradskog polja (A) i zona pod UNESCO-ovom zaštitom (B)

Izvor: URL3 (A); UNESCO, 2008 (B)

Srednjovjekovni nadgrobnji spomenici (stećci) uvršteni su na UNESCO-ov Popis svjetske baštine 2016. godine povodom zajedničke nominacije Bosne i Hercegovine, Crne Gore, Hrvatske i Srbije. Stećci predstavljaju jedinstvenu pogrebnu tradiciju jugoistočne Europe, a spomenici na 30 odabranih lokaliteta najbolje su očuvani te imaju najznačajniju ikonografsku i epigrafsku vrijednost (Alduk i Getaldić, 2019). Na stećcima je vidljiva isprepletenost kulturno-umjetničkih utjecaja zapadnog i istočnog kršćanstva te lokalnih običaja. Za odabir mjesta polaganja stećaka često se odabirala lokacija s već postojećim grobljima, tumulima i gradinama. Vrijeme početka gradnje je nejasno, ali ga se stavlja u 13. stoljeće, a završetak te tradicije u 15. stoljeće. Iako se radi o jednakoj vrsti objekata, vlada velika raznolikost među pojedinim lokalitetima s obzirom na ukrasne motive i natpise (ICOMOS, 2016).

Od ukupno 30 lokaliteta koji su pod UNESCO-ovom zaštitom, dva se nalaze u Hrvatskoj, a ostalih 28 u susjednim zemljama. Hrvatski lokaliteti su stećci nekropole u općini Cista Provo kraj Imotskog (Slika 9. A) te stećci kraj crkve sv. Barbare u naselju Dubravka u općini Konavle (Slika 9. B) (UNESCO, *List of protected cultural heritage, 1504*). Lokalitet u Cisti Velikoj proteže se s obje strane ceste u istočnom dijelu naselja. Odijeljen je suhozidom, koji dijeli livadu na obje strane ceste i unutar kojeg se nalaze tri skupine stećaka, prapovijesnih tumula i bunara. Na lokalitetu sv. Barbara nalaze se stećci zajedno s prapovijesnim tumulom te novijom crkvom, a sve zajedno je ograđeno suhozidom. Procjenjuje se da ukupno u

jugoistočnoj Europi postoji preko 70 000 stećaka na 3 000 lokaliteta, iako najnovija istraživanja pokazuju da ih je znatno više (Alduk i Getaldić, 2019).



Slika 9. Srednjovjekovni nadgrobnji spomenici – stećci u Cisti Provo (A) i u Dubravci (B)

Izvor: URL5 (A); URL6 (B)

Mletački fortifikacijski sustavi 16. i 17. stoljeća u Zadru i Šibeniku dio su venecijanskog *Stato da Mar*, odnosno prekomorskih posjeda uz trgovačku rutu prema istočnom Sredozemlju (Raukar, 1987). Mletački obrambeni sustavi nominirani su kao serijska nominacija Crne Gore, Italije i Hrvatske zbog svoje povijesne povezanosti i jednake namjene te se objedinjeno u dokumentu nominacije nazivaju *Zapadni Stato da Mar* (UNESCO, *List of protected cultural heritage, 1533*). U Hrvatskoj su nominirani lokaliteti u Zadru, Šibeniku, Korčuli i Hvaru, međutim objekti u Korčuli i Hvaru nisu zadovoljili inspekciju ICOMOS-a s obrazloženjem da su obrambeni sustavi Korčule i Hvara građeni u 15. stoljeću zbog čega se geopolitičke okolnosti i motivi izgradnje razlikuju od onih u 16. i 17. stoljeću (ICOMOS, 2017). Brojna utvrđenja koja se mogu pronaći na obali Jadranskog mora građena su za potrebe venecijanske trgovačke i vojne mornarice kao i za zaštitu važnih luka od opasnosti s kopna i mora. Njihova veličina i kvaliteta izgradnje ukazuje na izrazitu važnost koju su istočnojadranski posjedi imali za Veneciju (Raukar, 1987).

O zatarskom fortifikacijskom sustavu (Slika 10. B) više će se govoriti u drugom poglavlju diplomskog rada, a u nastavku će biti navedene najvažnije karakteristike šibenskog dijela mletačkih fortifikacija. Utvrda sv. Nikole nalazi se u kanalu sv. Ante gdje čuva prilaz Šibenskom zaljevu (Slika 10. A), Gradu Šibeniku i drugim važnim naseljima poput Skradina. Upravo je osmansko osvajanje Skradina 1522. godine bilo jedan od povoda izgradnje ove utvrde (Žmegač, 2009b). Utvrda sv. Nikole izvrstan je primjer izolirane pojedinačne obrambene gradnje na strateškom položaju, a građena je prema aktualnim standardima za vojna utvrđenja 16. i 17. stoljeća. Primjerice, djelomično je građena od opeke, koja bolje od kamena

amortizira udarac topovske kugle, a budući da opeka nije uobičajen graditeljski materijal u Dalmaciji, ona se morala dovoziti iz Venecije (Žmegač, 2009a). Na utvrdu sv. Nikole radili su, kao i u Zadru, Michele i Giangirolamo Sanmicheli, ali za razliku od zadarskih fortifikacija, ovdje se većinsko autorstvo pripisuje Giangirolamu (Žmegač, 2009b). Utvrda nikad nije bila središte borbi, ali je zato već svojom pojavom odbijala potencijalne napadače.



Slika 10. Utvrda Sv. Nikole (A) i južni dio mletačkog fortifikacijskog sutava u Zadru (B)

Izvor: URL7 (A); Freepik (B)

4.1.4. Zaštita kulturne baštine u RH i nastanak nacionalnog registra kulturnih dobara

Među brojnim poveljama, sporazumima i ostalom legislativom za zaštitu kulturne baštine, treba istaknuti tri međunarodne konvencije koje su postavile temelje za očuvanje kulturne baštine:

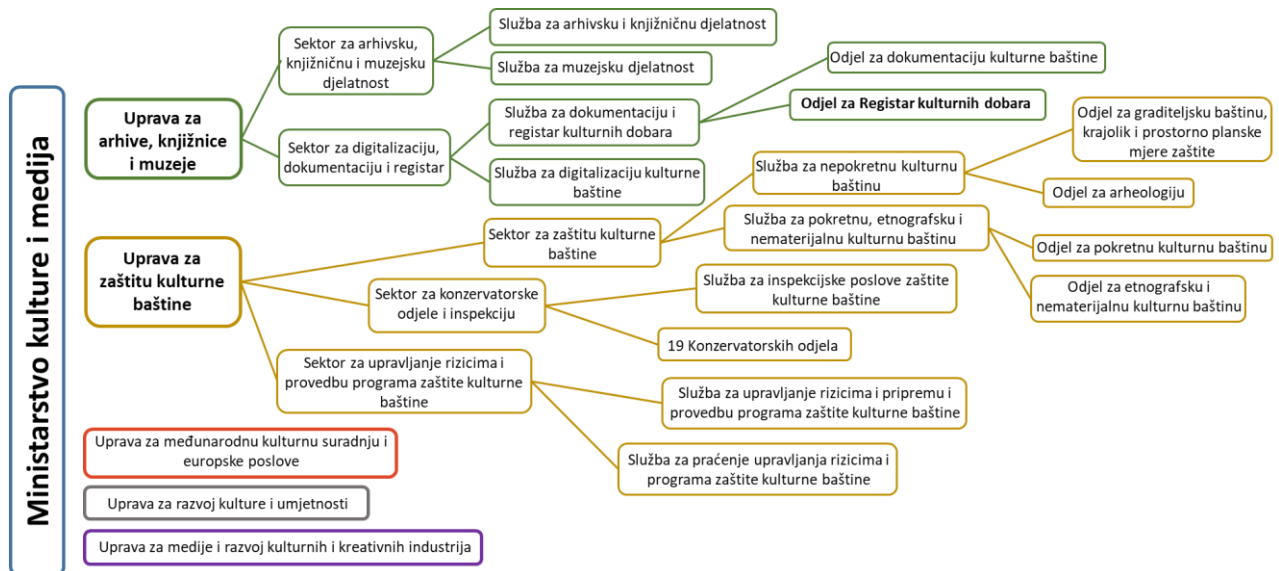
Konvencija o zaštiti kulturne baštine u slučaju oružanog sukoba tzv. Haška konvencija (1954. godine),

Konvencija o načinu zabrane i sprečavanja ilegalnog uvoza, izvoza i transfera kulturne baštine (1970. godine) i

Konvencija o zaštiti svjetske kulturne i prirodne baštine (1972. godine).

Zakonodavni okvir zaštite kulturne baštine pojedinih država najčešće se temelji upravo na ratifikaciji međunarodnih konvencija. Republika Hrvatska potpisnica je navedenih konvencija od 8. listopada 1991. godine temeljem *Odluke o sukcesiji* (NN 12/1993). Institucionalni okvir za zaštitu kulturne baštine u Republici Hrvatskoj (Slika 11) kreće od Ministarstva kulture i medija koje je nositelj upravnih i drugih poslova koji se odnose na „istraživanje, proučavanje, praćenje, evidentiranje, dokumentiranje i promicanje kulturne baštine; središnju informacijsko-dokumentacijsku službu; utvrđivanje svojstva zaštićenih kulturnih dobara“. Unutar Ministarstva postoji pet uprava od kojih su dvije zadužene za

poslove zaštite i arhiviranja kulturne baštine. Uprave se zatim granaju na sektore koji obuhvaćaju razne službe te naposljetku pojedine odjele, među kojima su i konzervatorski odjeli kao temeljni subjekti u provođenju zakonskih regulativa o zaštiti kulturne baštine.



Slika 11. Institucionalni okvir za očuvanje kulturne baštine u Republici Hrvatskoj

Izvor: Ministarstvo kulture i medija, *Ustroj*

Digitalizacija arhivske građe započela je u različitim trenucima diljem svijeta, ovisno o tehnološkom napretku i financijskim mogućnostima institucija, a većina razvijenih zemalja s digitalizacijom je počela 1980-ih i 1990-ih godina. Republika Hrvatska s digitalizacijom građe također je počela 1990-ih godina, no tek odnedavno je ona postala sastavni dio nacionalnih kulturnih politika i planova kulturnih organizacija (Lemić, 2020). Ministarstvo kulture i medija, Nacionalna i sveučilišna knjižnica u Zagrebu, Hrvatski državni arhiv i Muzejski dokumentacijski centar 2006. godine započeli su s izradom *Nacionalnog programa digitalizacije arhivske, knjižnične i muzejske građe*. Cilj programa je bilo usustavljanje digitalizacije građe u kulturnim ustanovama, oblikovanje kulturnog sadržaja, primjena informacijskih tehnologija u zaštiti, obradi i korištenju građe. Danas se taj dokument smatra temeljem digitalizacije arhivske, knjižnične i muzejske građe u Hrvatskoj (Lemić, 2020; Seiter-Šverko, 2012).

Neki oblik evidentiranja kulturne baštine u Hrvatskoj postoji već preko dva stoljeća, a datira iz vremena Habsburške Monarhije kada je počela i zakonska zaštita spomenika proglašenjem *Uredbe o izvozu umjetničkih djela i rijetkosti i njihovu trgovanju kojom se zabranjuje izvoz starina*, 1818. godine (Špikić, 2009). Sredinom devetnaestog stoljeća dolazi

do osnivanja Središnjeg povjerenstva za proučavanje i održavanje građevinskih spomenika (njem. *K. und k. Central-commission zur Erforschung und Erhaltung der Baudenkmale*), koje imenuje prve konzervatore za, tada politički razdvojene, hrvatske regije. Glavni cilj ovih ranih pokušaja zaštite bilo je očuvanje i otkrivanje zapuštenih antičkih spomenika. Naredno stoljeće i pol nastavilo se vođenje spisa o kulturnoj baštini kroz administracije nekoliko država i sistema, da bi šezdesetih godina prošlog stoljeća došlo do kreiranja Registra spomenika kulture. U istom formatu ga je kasnije preuzela nakon osamostaljenja Republika Hrvatska i nastavila s vođenjem kroz doba informatizacije koje je počelo 2002. godine s Informativnim sustavom kulturne baštine (ISKB) „Teuta“. *Web* registar kakav danas poznajemo nastao je 2012. godine radi potrebe za modernijim sustavom s više mogućnosti naspram ISKB *Teute* (Deranja Crnokić, 2013).

Javno objavljeni Registar na internetskim stranicama Ministarstva kulture i medija (službeni naziv – *Web* registar) sadrži sljedeće podatke iz baze Registra: a) naziv kulturnoga dobra, b) oznaku popisa na koji je kulturno dobro upisano, c) registarski redni broj kulturnoga dobra, d) oznaku vrste kulturnoga dobra (nepokretno, pokretno, nematerijalno kulturno dobro), e) klasifikaciju kulturnoga dobra (prema čl. 8. Pravilnika o obliku sadržaju i načinu vođenja Registra kulturnih dobara RH, NN 19/2023), f) smještaj kulturnoga dobra (adresa, naselje, općina/grad, županija), g) autora/autore kulturnog dobra, h) vrijeme nastanka (datacija), i) nadležni konzervatorski odjel, j) sažeti opis kulturnog dobra, k) fotografiju kulturnog dobra. Valja istaknuti da u Registru kulturnih dobara, za sada, nema podataka o stanju 3D dokumentacije. Sukladno *Pravilniku o obliku, sadržaju i načinu vođenja registra kulturnih dobara Republike Hrvatske* (NN 19/2023) sastoji se od tri popisa, a to su:

Popis zaštićenih kulturnih dobara (Z),

Popis kulturnih dobara nacionalnog značenja (N) i

Popis preventivno zaštićenih dobara (P).

Na Popisu zaštićenih kulturnih dobara Republike Hrvatske nalazi se **6 177** dobara, na Popisu kulturnih dobara nacionalnog značenja registrirana su **144** dobra, a na Popisu preventivno zaštićenih dobara nalazi se **297** dobara. Ukupno u Registru kulturnih dobara Republike Hrvatske upisano je **6 618** dobara od kojih je **34** pod UNESCO-ovom zaštitom, od toga **11 materijalnih dobara** (Tablica 2) (Registar kulturnih dobara, stanje 10. lipnja 2023.) U Registar kulturnih dobara RH upisana su i pokretna kulturna dobra, ali taj podatak nije javno dostupan već ga je potrebno zatražiti. Na Z popis (Popis zaštićenih kulturnih dobara) upisana su 1 992 pokretna kulturna dobra, a na P popis (Popis preventivno zaštićenih dobara) 306. Na N popis

(Popis kulturnih dobara nacionalnog značenja) upisano je 9 pokretnih kulturnih dobara koja se ujedno nalaze i na Z listi (Registar kulturnih dobara, podaci ustupljeni 12. lipnja 2023.).

Tablica 2. *Kulturna dobra u Republici Hrvatskoj pod UNESCO-ovom zaštitom u Registru kulturnih dobara*

Redni broj	Reg. broj	Naziv kulturnog dobra	Lokacija	Vrsta kulturnog dobra	Pravni status
1	Z-3011	Arheološka zona Crljivica	Cista Velika	Arheološko	Zaštićeno kulturno dobro
2	Z-2432, N-4	Kompleks Eufrazijeve bazilike	Poreč	Nepokretno pojedinačno	Zaštićeno kulturno dobro, Kulturno dobro od nacionalnog značenja
3	Z-6516	Tvrđava sv. Nikole	Šibenik	Nepokretno pojedinačno	Zaštićeno kulturno dobro
4	Z-2029, N-2	Katedrala sv. Jakova	Šibenik	Nepokretno pojedinačno	Zaštićeno kulturno dobro, Kulturno dobro od nacionalnog značenja
5	Z-3778, N-3	Kulturno-povijesna cjelina grada Splita	Split	Kulturno-povijesna cjelina	Zaštićeno kulturno dobro, Kulturno dobro od nacionalnog značenja
6	Z-3827	Kulturni krajolik Starogradsko polje	Stari Grad	Kulturni krajolik	Zaštićeno kulturno dobro
7	Z-3249, N-5	Kulturno-povijesna cjelina grada Trogira	Trogir	Kulturno-povijesna cjelina	Zaštićeno kulturno dobro, Kulturno dobro od nacionalnog značenja
8	Z-3818, N-1	Kulturno-povijesna urbanistička cjelina Dubrovnika	Dubrovnik	Kulturno-povijesna cjelina	Zaštićeno kulturno dobro, Kulturno dobro od nacionalnog značenja
9	Z-3409	Kulturno-povijesna cjelina grada Zadra	Zadar	Kulturno-povijesna cjelina	Zaštićeno kulturno dobro
10	Z-6046	Groblje sa stećcima i crkvom sv. Barbare	Dubravka	Arheološko	Zaštićeno kulturno dobro
11	Z-7339	Dioklecijanovi podrumi	Split	Nepokretno pojedinačno	Zaštićeno kulturno dobro

Izvor: Registar kulturnih dobara, 12. srpnja, 2023.

Neki od naziva kulturnih dobara razlikuju se između Registra kulturnih dobara (Tablica 2) i službenih stranica UNESCO-a, no to je zato što UNESCO stavlja pod zaštitu samo određeni dio neke kulturne cjeline (ili cjelinu) za koji smatra da sadrži univerzalnu vrijednost. S druge strane za Registar kulturnih dobara kriterije i granice zaštite određuje domaća struka na čelu s Ministarstvom kulture i medija. Općenito se može reći da je materijalne kulturna baština u Hrvatskoj danas ugrožena brojnim čimbenicima koji uzrokuju njenu degradaciju poput napuštanja i neodržavanja, neriješenih vlasničkih odnosa i siromaštva stanovništva. S jedne strane prijeti urbani rast koji rezultira devastacijom kulturne vrijednosti, a s druge strane nastoji se ograničiti zaštita prostora radi privatnih interesa (Dumbović-Bilušić, 2013). Republika Hrvatska još uvijek nema učinkoviti odgovor na navedene izazove, čemu svjedoče poteškoće s kojima se susreću institucije koje vrše digitalizaciju kulturne građe prema *Izješću o analizi trenutačnog stanja*:

- većina anketiranih institucija izjavila je da nema interne dokumente koji usmjeravaju proces digitalizacije i prate njen tijek.
- čak 50 % anketiranih institucija koje samostalno digitaliziraju građu kulturne baštine navelo je kako njihovi zaposlenici angažirani na poslovima digitalizacije nisu pohađali nikakvu edukaciju.
- u odnosu na ukupni broj zaposlenika anketiranih institucija, na poslovima digitalizacije radi manje od 10 % zaposlenika, a broj IT stručnjaka izrazito je nizak.
- anketirane institucije u prosjeku procjenjuju da bi im trebalo 30 godina za potpunu digitalizaciju kulturne građe, uz postojeće resurse
- većinski udio digitalne i digitalizirane građe nalazi se u svega devet ključnih institucija.
- ne postoji jedinstveni registar ili katalog kulturne baštine koji bi omogućavao pregled podataka o tipu i broju građe po institucijama

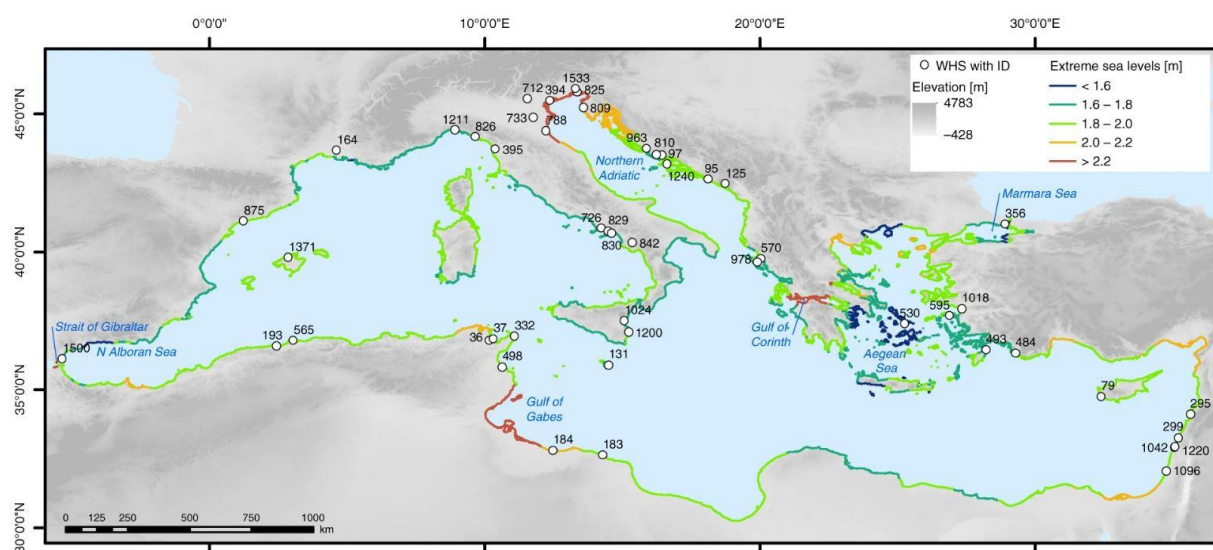
4.2. 3D dokumentacija kulturne baštine

3D dokumentacija kulturne baštine predstavlja proces prikupljanja, obrade, modeliranja, analize i vizualizacije prostornih informacija potrebnih za utvrđivanje točne lokacije baštine u prostoru i rekonstrukciju njezinog oblika, veličine i stanja u određenom trenutku u vremenu (Gomes i dr., 2014). Osnovni cilj 3D dokumentacije kulturne baštine je kreiranje potpunog digitalnog zapisa o trenutačnom stanju jednog kulturnog dobra (*Documentation of cultural heritage*, 2014; Gomes i dr., 2014). Digitalno 3D dokumentiranje kulturne baštine počelo je prije više od tri desetljeća te je od tog trenutka do sada vidljiv trend konstantnog tehnološkog i metodološkog napretka. Zahvaljujući geoprostornim tehnologijama i većinski automatiziranoj obradi podataka, izrada 3D modela postala je pristupačnija, pa se 3D modeli povijesnih građevina i predmeta generiraju sve češće za potrebe konzervacije ili se koriste kao javni kulturni sadržaj u kreativnim industrijama, turizmu i obrazovanju (Gomes i dr., 2014; Bodzin i Cirucci, 2009). Brojnim metodama 3D dokumentacije koje su trenutačno dostupne zadovoljavaju se posebni zahtjevi u području očuvanja i arhiviranja baštine, a jedna od tih potreba je sposobnost točnog dokumentiranja geometrijskih karakteristika nekog objekta bez potrebe za fizičkim kontaktom s njim (Pieraccini, 2001; Gomes i dr., 2014).

4.2.1. Značaj digitalnog 3D dokumentiranja kulturne baštine

Brojni prirodni i antropogeni procesi negativno utječu na kulturnu baštinu kako na globalnoj tako i na lokalnoj razini (Phillips, 2015; Sevieri i dr. 2020; Fatorić i Seekamp, 2017),

a njihov karakter i intenzitet razlikuju se od regije do regije (Reimann i dr., 2018). Prirodne nepogode pojačane klimatskim promjenama rezultiraju sve snažnijim vremenskim ekstremima koji mogu naštetiti izloženoj kulturnoj baštini (IPCC, 2014). Navedene nepogode obuhvaćaju razorne oluje (Boger i dr., 2019; Zarley i dr., 2016; McKernan i Mulcahy, 2016), poplave i vlagu (Ortiz i dr., 2016), odrone (Fanti, 2012), velike temperaturne fluktuacije (Sabbioni, 2009; Grottesi i dr., 2023), izdizanje razine mora (Reimann i dr., 2018 (Slika 12); García Sánchez i dr. 2020) i potrese (Parisi i Augenti, 2013; Bhagat i dr., 2017; ICCROM 2016). Klimatske promjene su vrlo složen proces te je iznimno zahtjevno predvidjeti klimatske uvjete u budućnosti (Heatcote i dr., 2017), no mora postojati konsenzus o mogućim posljedicama, baziran na „zapažanjima, znanju, ekspertizi i profesionalnoj intuiciji” (UNESCO, 2014).



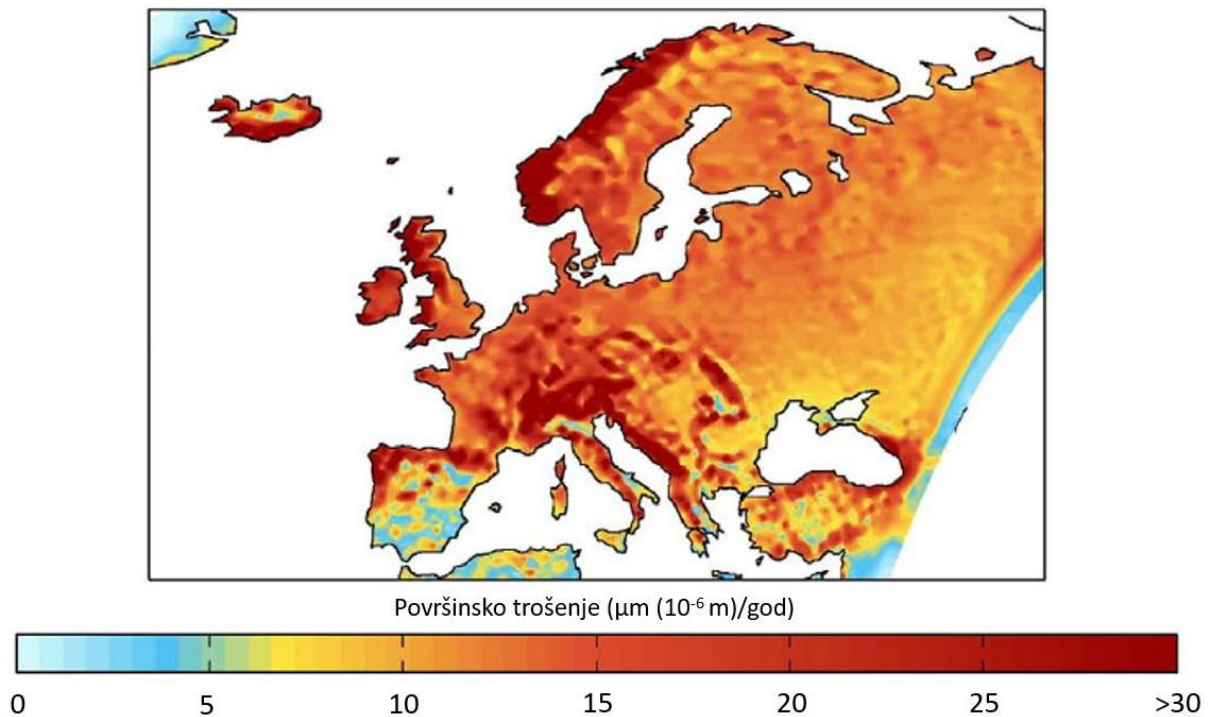
Slika 12. Projekcija maksimalnog porasta morske razine do 2100. godine s lokacijama UNESCO-ovih spomenika svjetske baštine (95 – Dubrovnik, 97 – Dioklecijanova palača, 809 – Eufrazijeva bazilika, 810 – Trogir, 963 – Katedrala sv. Jakova, 1240 – Starogradsko polje) (Reimann i dr. 2018)

Osim prirodnih čimbenika, prijetnju nepokretnoj baštini predstavljaju i antropogeni čimbenici poput ratova (Doppelhofer, 2016; Almohamad, 2022), religijskog terorizma (Grün i dr. 2004; Stone i dr., 2008; Silverman, 2011; González Zarandona i dr., 2018), masovnog turizma (García-Hernández i dr., 2017; Pereira i Martins, 2018), kiselih kiša i zagađenja zraka (Sosa Echeverría, 2018; Reis i dr., 2012; Brimblecombe i Lefèvre, 2021), nezgoda uzrokovanih nepažnjom čovjeka (Gros i dr., 2023; Martino i dr., 2016), nekontrolirane urbanizacije (Turner i dr., 2010) te ljudskog nemara i zaborava (Bręczewska-Kulesza, 2022; Pelegrini, 2018). Na mnoge od ugroza čovjek ne može direktno utjecati, predvidjeti ih ili ih zaustaviti, ali može smanjiti ranjivost kulturne baštine pravovremenom 3D dokumentacijom, koja osigurava

opstanak baštine u virtualnom obliku. Međunarodne kulturne organizacije nastoje da se što više kulturnih dobara digitalno dokumentira u svrhu dugoročnog očuvanja ili potencijalne rekonstrukcije. Svrha čuvanja kulturne baštine u digitalnom obliku jest da ona ostane dostupna javnosti kao što je bila i do sada, ali bez ugrožavanja njenog fizičkog stanja (UNESCO, 2003). 3D dokumentacija materijalne kulturne baštine ima mnoge prednosti, a neke od njih su: povećanje sigurnosti, veća dostupnost, bolji pristup informacijama i olakšavanje znanstvenog rada (Europska komisija, 2020). Povećanje sigurnosti kroz 3D dokumentaciju kulturne baštine se odnosi na omogućavanje pohranjivanja podataka o izvornom stanju i vrijednosti određenog objekta u slučaju da on bude fizički oštećen. Veća dostupnost se odnosi na činjenicu da se digitalizirana kulturna dobra mogu lako dijeliti putem interneta i postati dostupna široj publici. Nadalje, 3D dokumentacija kulturne baštine omogućava pristupanje informacijama o dokumentiranom objektu neograničen broj puta, bez rizika od oštećenja originala. Time se olakšava proučavanje dokumentirane kulturne baštine, čineći ju dostupnijom akademskoj zajednici, za potrebe provođenja različitih znanstvenih istraživanja (Deronja, 2021).

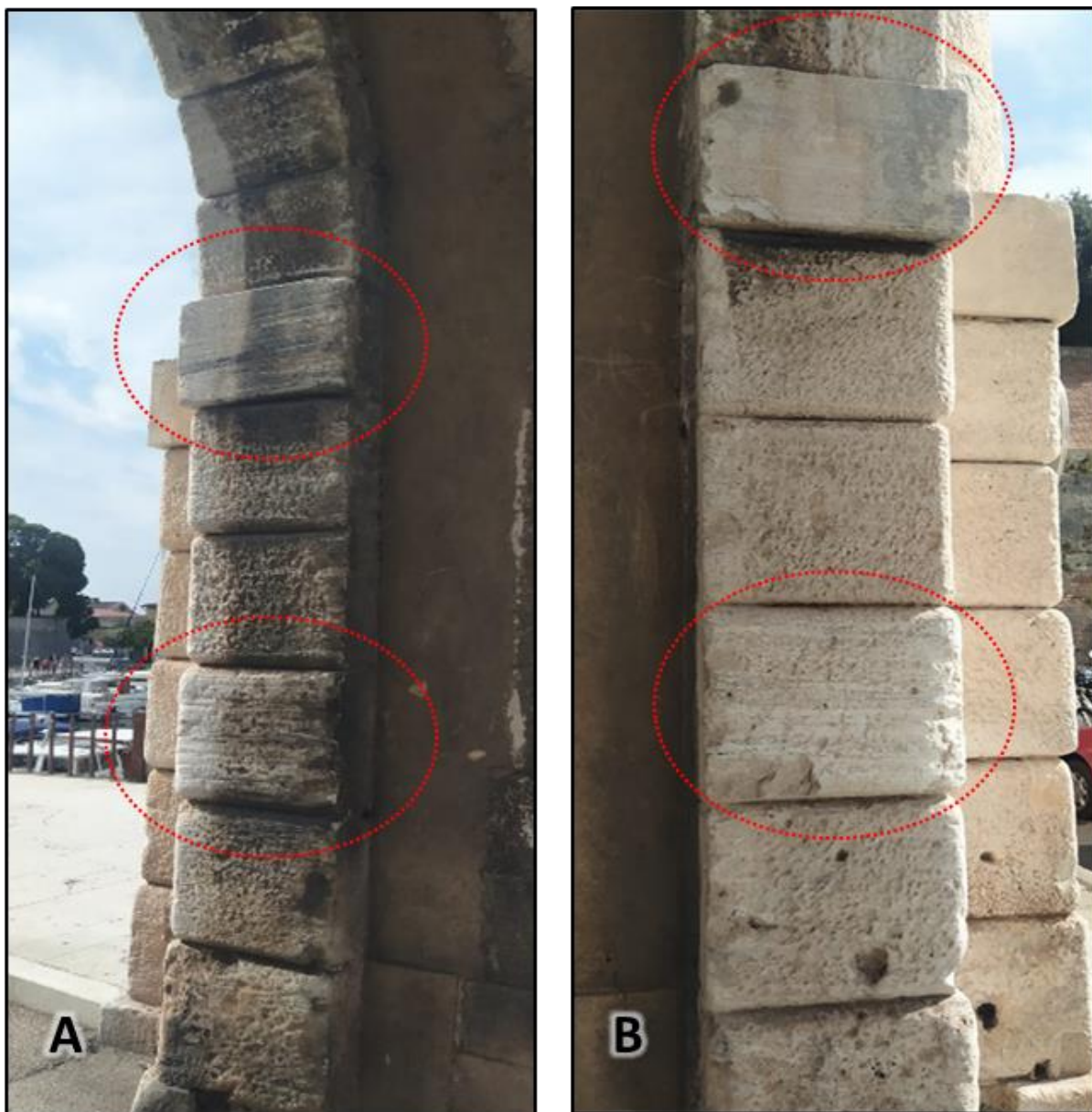
4.2.2. Ugroženost nepokretnih kulturnih dobara

Veliki primjerci materijalne kulturne baštine građeni od kamena, a osobito karbonata, poput dolomita i vapnenca su pod velikim pritiskom niza štetnih čimbenika (Slika 13), (Winkler, 1997; Bonazza i dr., 2009; Dalimi i dr.; Sevieri i dr., 2020). Klimatske promjene pojačale su intenzitet postojećih štetnih procesa, ali su i stvorile neke nove opasnosti koje ugrožavaju budućnost kulturne baštine u mnogim dijelovima svijeta (Dalimi i dr., 2013; IPCC, 2014; Fatorić i Seekamp, 2017). Nepokretnu kulturnu baštinu je zbog njezine veličine često vrlo teško zaštititi od štetnog utjecaja različitih antropogenih i prirodnih procesa. Površinsko trošenje karbonatnog kamena možda neće u potpunosti uništiti neko kulturno dobro, ali može degradirati fine detalje, uklesane natpise, boju i ostale bitne elemente koji baštini daju na značaju (Dalimi i dr., 2013; Bonazza i dr., 2009). Vrste površinskog trošenja mogu se grupirati u četiri kategorije: mehaničko (fizičko) trošenje – erozija vjetrom nošenim materijalom, taloženje pijeska i prašine, ekspanzija i kontrakcija vode u pukotinama, kemijsko trošenje – djelovanje okoline na tvari unutar materijala npr. otapanje i taloženje soli na površini, tzv. „iscvjetavanje soli“ (Hrvoje Malinar, 2003), karstifikacija vapnenca, biološko trošenje – djelovanje mikroorganizama na površinu, rast algi i lišajeva, amonijak iz ptičjeg izmeta i sl. (Camuffo, 2019; Smith i Prikryl, 2007; Dalimi i dr., 2013).



Slika 13. Projekcija prosječne brzine površinskog trošenja građevina od karbonatnog kamena za razdoblje 2070. – 2099. godine (Preuzeto iz: Bonazza i dr., 2009)

Kopnena vrata u Zadru također su izložena različitim prirodnim i antropogenim utjecajima već četristo i osamdeset godina, što se odrazilo i na pojavu različitih oštećenja. Navedena oštećenja pretežito uključuju mehanička oštećenja (npr. tragovi mehaničkog struganja pri prolasku automobila (Slika 14)), ili pak biokemijsko trošenje površine kamena, koje se manifestira crnim i bijelim mrljama na površini baštine (Fassina i dr., 2001).



Slika 14. Fizičko i biokemijsko trošenje na bočnim stranama velikog prolaza;

A – lijeva strana, B – desna strana

4.2.3. Metode 3D dokumentacije kulturne baštine

3D dokumentacija kulturne baštine predstavlja složen proces, koj se može podijeliti na tri glavne faze: (1) faza pripreme i planiranja, (2) faza terenskog prikupljanja podataka i (3) faza modeliranja i vizualizacije prikupljenih podataka (Pavlidis i dr., 2007). Prva faza 3D dokumentacije uključuje osnovno proučavanje područja istraživanja i izradu plana terenskog prikupljanja podataka. Pri tome najvažniji korak čini odabir optimalne geoprostorne tehnologije za provođenje 3D dokumentacije, na temelju kojega se nakon odabira izrađuje optimalni plan terenskog prikupljanja podataka. U sklopu ove faze potrebno je osigurati i sve

potrebne dozvole za provođenje 3D dokumentacije kulturne baštine, koje uključuju dozvole od nadležnih institucija (npr. konzervatorski odjel, muzej i sl.), ali i dozvole korištenja određene geoprostorne tehnologije (npr. upravljanje bespilotnom letjelicom). Druga faza obuhvaća terensko prikupljanje podataka odabranom geoprostornom tehnologijom, prema ranije izrađenom planu terenskog prikupljanja podataka. Trajanje ove faze ovisi o odabranoj geoprostornoj tehnologiji i njezinim značajkama, ali i o veličini područja istraživanja i postavljenim ciljevima, odnosno željenoj detaljnosti dokumentacije. Posljednja faza uključuje obradu i modeliranje prikupljenih podataka s ciljem izrade što točnijeg modela dokumentiranja baštine. Danas se zahvaljujući tehnološkom razvoju koriste mnogobrojne različite geoprostorne tehnologije za 3D dokumentaciju kulturne baštine. Neke od najčešće korištenih tehnologija su klasična totalna stanica (TS), 3D skeniranje strukturiranim svjetlom, skeniranje kompjutoriziranom tomografijom (CT), fotogrametrija i metode bazirane na LiDAR tehnologiji (ALS, TLS, WLS). Važno je napomenuti da svaka geoprostorna tehnologija ima svoja ograničenja koja treba uzeti u obzir u fazi planiranja, ovisno o potrebama istraživanja.

Totalna stanica (TS) tehnologija je koja omogućava selektivno snimanje 3D koordinatnih točaka bez izravnog kontakta između instrumenta i objekta. Uređaj objedinjuje elemente teodolita i elektroničkog daljinomjera (EDM-a) za mjerenje kutova s digitalnim snimačem. Trigonometrija i triangulacija koriste se za izračunavanje prostornih koordinata (X, Y i Z) iz kutova i udaljenosti između totalne stanice i lokacija koje se mjere. Rezultat je skup trodimenzionalno koordiniranih točaka u odnosu na lokalni ili regionalni referentni sustav (Ditta i Colson 2018).

Skeniranje strukturiranim svjetlom metoda je 3D dokumentacije zasnovana na projiciranju uzorka svjetlosti na objekt. Nakon projiciranja, događa se refleksija svjetlosnog uzorka od objekta, koji senzor detektira kao drukčiji od onog koji je emitiran jer je došlo do deformacije svjetlosti. Senzor koji prikuplja reflektiranu svjetlost iz tih promjena uz pomoć softvera zaključuje koji je oblik objekta na koji se projicirala svjetlost. Zatim, pomoću računala, na koje je spojen skener, u realnom vremenu nastaje model skeniranog objekta (Pavlidis i dr., 2007). Najčešće korištene platforme s tehnologijom strukturiranog svjetla su ručni 3D skeneri poput onih tvrtke Artec. Ovakav tip skenera najčešće se koristi na manjim predmetima ili na intrigantnim detaljima većih umjetničkih djela. Ovu metodu krasi vrlo visoka točnost i brzina izrade modela uz pristupačnu cijenu.

Kompjutorizirana tomografija (CT) metoda je koja se uglavnom koristi u medicini, no moguće ju je primijeniti i na osjetljivoj kulturnoj baštini (Rossi 1999; Anderson 1995). Omogućava interni pregled i 3D vizualizaciju osjetljivih artefakata (mumije, lomljivi

predmeti), zatvorenih posuda (amfore, glinene vaze) i drugih predmeta do čijih se sadržaja ne može doći bez oštećivanja samog predmeta. Također, koristi se pri datiranju predmeta, kao i pri donošenju odluka o mjerama restauracije (Casali, 2006). Uređaj snima rendgenske slike poprečnog presjeka, a specijalizirani softver iz podataka rekonstruira 3D model (Bernondini i dr., 2008; Casali, 2006). Razvijaju se i specijalizirani CT uređaji za skeniranje isključivo kulturne baštine, no oni još nisu u masovnoj upotrebi (Allen, 2007).

Fotogrametrija je jedna od najpopularnijih metoda u procesu 3D dokumentacije kulturne baštine. Temelji se na snimanju niza preklapajućih 2D fotografija iz kojih se postupkom triangulacije računa pozicija svake točke u 3D okruženju (Remondino i dr., 2012). Specijalizirani softver povezuje prikupljene fotografije automatizirano, prepoznavanjem sličnosti ili prethodno određenih referentnih točaka na fotografijama i nudi manualno ispravljanje pogrešaka. Za optimalnu pokrivenost područja istraživanja treba povezati maksimalan broj fotografija iz što je moguće više kutova što može dovesti do nastanka stotina fotografija visoke rezolucije. Fotogrametrija ima široku obuhvatnost zbog svoje isplativosti i jednostavnosti korištenja, pa je redovito koriste stručnjaci iz različitih znanstvenih polja. Jedna od varijanti je i aerofotogrametrijsko snimanje pomoću bespilotne letjelice ili zrakoplova čime se može pokriti veliko područje ili nedostupni dijelovi okoliša (Guery i dr., 2018; Dörtbudak i dr., 2023; Remondino i dr., 2012). Fotogrametrija je bazirana na RGB (eng. *red, green, blue*) sensorima koji spadaju u kategoriju pasivnih senzora, jer za prikupljanje podataka ne koriste vlastito emitirano zračenje već detektiraju reflektiranu sunčevu radijaciju (Zollhöfer, 2019).

LiDAR (eng. *light detection and ranging*) tehnologija djeluje na principu pulsirajuće laserske svjetlosti i naprednih senzora koji na temelju refleksije odaslane svjetlosti mjere udaljenost od uređaja do točke od koje se reflektirala laserska zraka. Laser istovremeno emitira na milijune svjetlosnih zraka čime se generira takozvani gusti oblak točaka (eng. *dense point cloud*) (Petrie i Toth, 2009b). LiDAR sustavi sastoje se od aktivnih i pasivnih senzora. Aktivni senzor u uređaju emitira izrazito veliki broj laserskih zraka svake sekunde prema objektu istraživanja gdje se jedan dio zraka reflektira, a drugi apsorbira od strane osvijetljene površine. LiDAR zatim dio reflektirajućih zraka prihvaća pomoću pasivnog senzora koji ih registrira kao podatak sa X, Y i Z koordinatom. Uređaj izračunava koordinate prikupljenih točaka koristeći konstantnu brzinu svjetlosti (laserskih zraka) i vlastiti položaj u prostoru koji određuje pomoću ugrađenog GNSS sustava (eng. *global navigation satellite system*) (Miler, 2007; Lichti i dr. 2000). Oblak točaka (eng. *point cloud*), koji je završna faza prikupljanja podataka LiDAR-om, predstavlja početni korak obrade podataka (Marshall, 2004). Lasersko skeniranje ovisno o tipu platforme koja se koristi može biti zračno (aero) (ALS) (Slika 15. C), terestričko (TLS)

(statičko) (Slika 15. A), mobilno/prijenosno (WLS) (Slika 15. B) (Remondino, 2011; Basa i Juraj, 2011) i orbitalno ili ekstraterestričko (Petrie i Toth, 2009a).

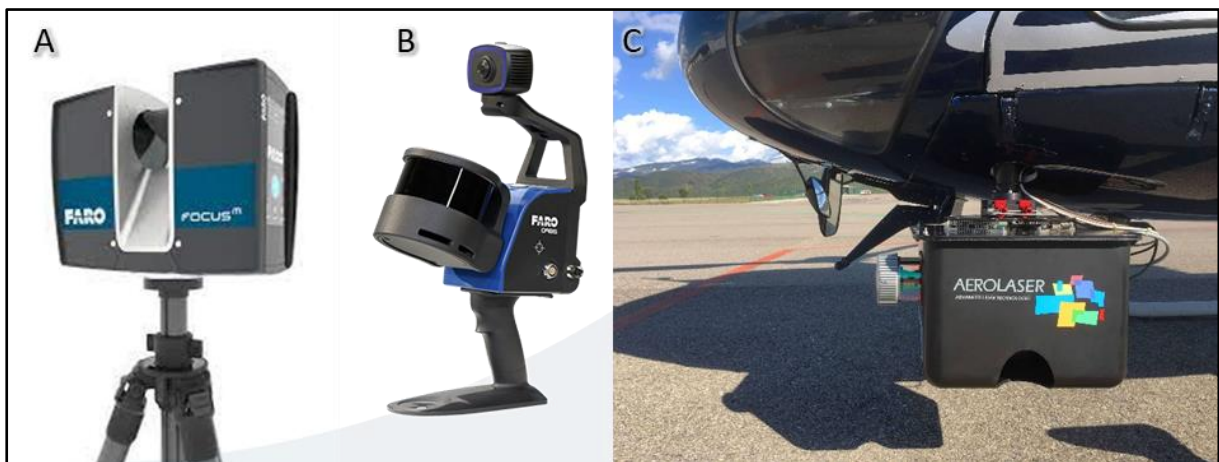
Iako se radi o primjenama iste tehnologije, stacionarne (TLS) i skenere u pokretu (ALS, WLS) treba tretirati kao odvojene metode zbog znatnih razlika u funkcioniranju i kvaliteti prikupljenih podataka (Pfeifer i Briese, 2007). Primjerice, za funkcioniranje ALS-a montiranog na npr. zrakoplov, ključna je, između ostalih, inercijalna mjerna jedinica (IMU) (eng. *inertial measurement unit*). IMU senzor povezan je s laserskim skenerom i generira podatke, poput kutne akceleracije i kutne brzine, za točno lociranje LiDAR senzora u prostoru (Pfeifer i Briese, 2007; Yu 2010).

LiDAR tehnologija postala je popularna zbog mogućnosti prikupljanja velikog broja podataka visoke točnosti u relativno kratkom vremenu (Matijević i Roić, 2002). Primjena LiDAR tehnologije prisutna je u mnogim granama gospodarstva poput šumarstva (Olofsson i dr., 2014), rudarstva (Lipecki i Huong, 2020), automobilske industrije (Ahmed i dr. 2022; Bogue 2008), urbanog planiranja (Wang i dr., 2019) i turizma (Cosso i dr. 2015). Iako LiDAR tehnologija nudi mnoge prednosti naspram drugih tehnologija, ona također dolazi s nedostacima kao što je visoka cijena opreme za prikupljanje podataka i potreba za naprednim hardverskim i softverskim resursima za obradu podataka (Elmore i dr., 2007). Laserske zrake u prodiranju do željene površine može spriječiti vegetacija ili može doći do refleksije od određenih materijala poput stakla, što može rezultirati nepotpunim ili netočnim podacima (Baltsavias, 1999). Također, ograničeno je i djelovanje u nepovoljnim vremenskim uvjetima zbog jake kiše, snijega ili guste magle koji mogu raspršiti ili apsorbirati emitiranu svjetlost, smanjujući učinkovitost senzora (Rutzinger i dr., 2008). Za ispravnu interpretaciju podataka potrebno je posebno obrazovanje i iskustvo u obradi geoprostornih podataka (Vosselman i Maas, 2010).

Jedna od ključnih primjena LiDAR tehnologije je na polju očuvanja kulturne baštine gdje se koristi za 3D dokumentaciju pojedinih objekata ili cjelina. Posebno se iskazala kao prikladna za prepoznavanje oku nevidljivih detalja i za cikličko praćenje površinskog trošenja (Remondino, 2011). Zbog raspršivanja laserskih zraka s udaljavanjem od položaja skenera može doći do slabije pokrivenosti točkama na udaljenijim objektima, što može u obradi uzrokovati lošiju rezoluciju na tim mjestima. Problem je izraženiji ako je objekt istraživanja većih dimenzija ili ako nije moguće bliže pristupiti objektu da bi ga se skeniralo s optimalne udaljenosti (Basa i Juraj, 2011). Također, ako je objekt istraživanja velikih prostornih dimenzija i složenih oblika potrebno je odraditi snimanje s više stajališta kako bi se postigla što bolja pokrivenost, što pak zahtijeva mnogo više vremena i planiranja. U određenim

slučajevima potrebno je uključiti i UAV (eng. *unmanned aerial vehicle*), odnosno bespilotnu letjelicu, sa željenim senzorom u proces prikupljanja podataka za jednoliku pokrivenost svih dijelova (Ulvi, 2021; Themistocleous, 2016). Kao alternativno rješenje statičkom laserskom skeniranju pojavili su se mobilni laserski skeneri koji omogućuju snimanje u pokretu iz svih kuteva i time bolju pokrivenost.

Mobilni ili prenosivi laserski skener (eng. MMS – *mobile mapping system*, WLS – *wearable laser scanner*) ili mobilni LiDAR tip je laserskog skenera koji, zahvaljujući GPS i IMU sustavima i naprednim algoritmima, može neprekidno rekonstruirati 3D okolinu dok je korisnik u pokretu (GeoSLAM, 2020). Prijenosni laserski skeneri učinkovito su rješenje za dokumentiranje složenih objekata i cjelina za koje bi TLS-u trebalo na desetke stajališta. Ova se tehnologija primjenjuje ondje gdje maksimalna točnost nije ključan faktor, već brzina i lakoća skeniranja, iako ima sasvim dovoljnu točnost za brojne primjene. Za potrebe dokumentiranja većih eksterijera, izduženih objekata poput tunela ili primjerice za praćenje stanja asfaltiranih površina moguće ga je staviti na vozilo čime se postiže znatna ušteda vremena (Nocerino i dr., 2017). Jedan od naprednih algoritama za prijenosne skenere je SLAM (eng. *simultaneous localization and mapping*) algoritam. Radi se o algoritmu koji omogućava istovremeno lociranje skenera u prostoru i kreiranje karte okoline koju skenira u stvarnom vremenu. Inačica skenera koja integrira LiDAR tehnologiju sa SLAM algoritmom naziva se GeoSLAM te je prilagođena za mobilno i brzo prikupljanje geoprostornih podataka.



Slika 15. Različite LiDAR tehnologije: FARO Focus M70 - TLS (A), FARO Orbis - WMS (B) i AEROLASER AePod - ALS (C) (Preuzeto iz: Faro (A, B); URL8 (C))

Svaka od opisanih geoprostornih tehnologija ima svoje prednosti i ograničenja, a odluka o odabiru metode donosi se ovisno o potrebama i svrsi istraživanja, veličini područja istraživanja, raspoloživom proračunu te dostupnim računalnim kapacitetima za obradu

podataka. Često se koristi kombinacija metoda koje se međusobno nadopunjavaju poput laserskog skeniranja i fotogrametrije (Owda, i dr., 2018; Mateus i dr., 2019).

4.2.4. Platforme za digitaliziranu kulturnu baštinu

Sukladno razvoju za 3D dokumentaciju, posljednjih desetljeća razvijaju se i *on-line* repozitoriji koje omogućavaju pohranjivanje i razne druge mogućnosti za rad s modelima u svrhu znanstvenog proučavanja ili turističke promocije. Danas ih postoji mnogo, a svaka platforma ima svoje prednosti, ali i nedostatke koji ograničavaju mogućnosti korištenja objavljenih modela (Champion i Rahaman, 2020). Dije se na komercijalne opcije (npr. *Sketchfab*, *MyMiniFactory*, *Blendswap*, *3D Warehouse*, *Free3D*, *Poly*) i nekomercijalne opcije (npr. *Smithsonian*, *Three D Scans*, *CyArk*, *EPOCH*, *CARARE*). Provedena istraživanja ukazuju na to da većini postojećih *on-line* repozitorija još uvijek nedostaje niz korisnih značajki za znanstvenu valorizaciju 3D dokumentirane kulturne baštine (Champion i Rahaman, 2020). U nastavku će fokus biti na Europskoj digitalnoj knjižnici - *Europeana* pokrenutoj 2008. godine i na novoj hrvatskoj digitalnoj platformi - *e-Kultura*, pokrenutoj 2023. godine.

Ministarstvo kulture i medija, u suradnji s Nacionalnom i sveučilišnom knjižnicom u Zagrebu, Muzejom za umjetnost i obrt, Hrvatskom radiotelevizijom i Hrvatskim državnim arhivom osuvremenili su digitalizaciju kulturnih dobara u Republici Hrvatskoj kroz projekt *e-Kultura – digitalizacija kulturne baštine*. Izrada repozitorija najavljena je 2020. godine te je uspješno dovršena 2023. godine. Cilj projekta bio je ostvariti metodično i trajno digitalno čuvanje baštine na jednom mjestu uz istovremeno povećanje pristupa digitaliziranoj kulturnoj baštini. Izradom informacijsko-komunikacijskog sustava i središnjeg repozitorija *eKultura* želi se potaknuti upotreba digitalne kulturne baštine u područjima znanosti, obrazovanja i kulturnog turizma. Ministarstvo kulture i medija nositelj je projekta na kojem su angažirani stručnjaci koji su raspravljali o standardima za digitalizacijske formate i metapodatke (informacije koje opisuju sadržaj, materijale...) u izradi *Strategija i smjernica za organizaciju i vođenje projekata*, u kreiranju *Pravilnika za odabir i pripremu građe za digitalizaciju, dugoročno pohranjivanje* itd. (*Smjernice za digitalizaciju kulturne baštine*, 2020). Na platformi *eKultura* dostupne su stotine tisuća digitaliziranih sadržaja, no vrlo malo ih je u 3D formatu. Dobar primjer je Zbirka kamenih spomenika unutar repozitorija koja sadrži nekoliko 3D modela kulturnih dobara, od kojih je najimpresivniji interaktivni 3D model Višeslavove krstionice (Slika 16). Bez obzira na broj 3D modela, činjenica da je repozitorij napravljen po standardima

naprednih komercijalnih *web*-repositorija govori o ispravnom smjeru digitalizacije u Hrvatskoj.



Slika 16. 3D model Višeslavove krstionice u sučelju digitalnog repozitorija - eKultura

Europeana je središnja točka paneuropske digitalizacije arhivske, muzejske i druge građe te stoga ima golem utjecaj na trenutačnu digitalnu kulturnu revoluciju u Europi (Seiter-Šverko, 2012). Kulturna i kreativna industrija od iznimnog su značaja za europsko gospodarstvo. Zajedno predstavljaju oko 4 % ukupnog BDP-a Europe i zapošljavaju oko 8,7 milijuna ljudi (Eurostat – *Culture statistics*). Članice Europske unije prepoznale su potrebu za pokretanjem inicijative za digitalizaciju kulturnih predmeta i spomenika kulture kao dio *Digitalnog desetljeća*, a rezultat toga je *Strategija 2020. – 2025.* Europska komisija je u *Strategiji 2020. – 2025.* postavila kriterije i ciljeve digitalizacije kulturne baštine koje je poželjno ispuniti do 2025. godine na temelju podataka iz *Europeane* (Tablica 3) (Europska komisija, 2020). Svaki tip digitalnog sadržaja na *Europeani* (2D, 3D, zvučni zapis i sl.) ima vlastite kriterije kvalitete koje mora zadovoljiti da bi uopće dobio mjesto na platformi. Trenutačno je na platformi *Europeana* dostupno 57 milijuna digitaliziranih predmeta, od kojih je manje od 1 % u 3D obliku (Europska komisija, 2021).

Jedan od glavnih ciljeva *Strategije 2020. – 2025.*, uz povećanje ukupnog broja digitalizirane baštine, jest i povećanje visokokvalitetnog sadržaja na *Europeani*, čemu, između ostalih, pripadaju audiovizualni i 3D sadržaji (*Europeana Strategy 2020 – 2025 Summary*, 2020). Udio visokokvalitetnih materijala u ukupnom hrvatskom digitalnom sadržaju manji je

od 10 %, dok primjerice članice s najvećim udjelom visokokvalitetnog sadržaja Belgija i Nizozemska imaju preko 50 %, pa čak i preko 70 % u slučaju Švedske (Tablica 3). Usporedimo li podatke iz Tablice 3 za Hrvatsku i primjerice Estoniju, koja ima višestruko manju populaciju, može se primijetiti da je stanje u RH prilično nezavidno. Europska komisija očekuje veliki pomak u digitalizaciji visokokvalitetnog i 3D sadržaja u Hrvatskoj kroz ovih pet godina.

Tablica 3. *Digitalizirana kulturna građa na Europeani 2021. godine i međuciljevi za doprinos sadržaja Europeani i podatkovnom prostoru do 2025. godine po državama članicama EU*

	A	B	C	D	E	F
	Number of records on 1 February 2021	Number of high quality records ⁵ on 1 February 2021	New records by 2025 ⁶	Total number of records by 2025 [= A+C]	Total number of high quality records by 2025 ⁷	Assets in 3D by 2025 ⁸
Austria	2.372.357	1.106.942	401.157	2.773.514	1.508.099	60.174
Belgium	2.499.646	2.247.432	486.327	2.985.973	2.733.759	72.949
Bulgaria	94.447	62.647	131.782	226.229	194.428	19.767
Croatia	67.357	5.456	94.351	161.708	99.807	14.153
Cyprus	30.959	1.858	28.586	59.545	30.444	4.288
Czechia	881.263	369.602	355.732	1.236.995	725.333	53.360
Denmark	1.032.422	662.712	270.754	1.303.176	933.465	40.613
Estonia	648.205	486.024	39.930	688.135	525.954	5.989
Finland	1.093.297	960.899	219.371	1.312.668	1.180.270	32.906
France	3.860.232	1.779.567	2.552.426	6.412.658	4.331.993	382.864
Germany	5.536.786	4.107.742	3.569.707	9.106.493	7.677.448	535.456
Greece	661.593	383.327	256.870	918.463	640.197	38.530
Hungary	732.033	571.425	255.093	987.126	826.518	38.264
Ireland	86.765	44.424	342.712	429.477	387.136	51.407
Italy	2.150.207	687.421	2.047.960	4.198.167	2.735.381	307.194
Latvia	128.505	113.341	47.082	175.587	160.423	7.062
Lithuania	224.359	182.337	83.950	308.309	266.287	12.593
Luxembourg	65.600	1.325	58.227	123.827	59.552	8.734
Malta	50.310	1.006	18.405	68.715	19.411	2.761
Netherlands	9.126.499	7.554.003	796.985	9.923.484	8.350.988	119.548
Poland	3.040.221	936.996	991.127	4.031.348	1.928.124	148.669
Portugal	203.044	138.963	290.933	493.977	429.897	43.640
Romania	135.213	84.549	483.956	619.169	568.504	72.593
Slovakia	15.106	453	136.654	151.760	137.107	20.498
Slovenia	598.310	382.081	66.720	665.030	448.800	10.008
Spain	2.960.596	1.228.351	1.540.649	4.501.245	2.769.000	231.097
Sweden	4.307.321	3.047.430	439.590	4.746.911	3.487.019	65.938
EU 27	42.602.653	27.148.311	16.007.034	58.609.687	43.155.345	2.401.055

Izvor: Europska komisija, *Commission Recommendation of 10.11.2021 on a common European data space for cultural heritage 2021*

Europeana funkcionira na temelju nacionalnih agregatora što znači da većinu sadržaja ne pohranjuje u vlastitim bazama već surađuje sa subjektima na nacionalnoj razini koji imaju stvarno vlasništvo nad tim sadržajima, a *Europeani* dopuštaju korištenje istog. Upravo iz tog razloga je bitno da svaka članica EU-a ima razvijen nacionalni agregator koji je sposoban povezivati se s *Europeanom* i s drugim paneuropskim sustavima (Europska komisija, 2021). Agregator je organizacija koja prikuplja, oblikuje i upravlja metapodacima iz više izvora, pruža usluge vlastitog portala i funkcionira kao pružatelj podataka. Nacionalne agregatore može izravno podržavati ministarstvo kulture pojedine države kao posebne entitete, ali mogu i biti povezani s važnim kulturnim institucijama poput nacionalne knjižnice, sveučilišnih knjižnica, arhiva i muzeja. Obično ih nadzire specijalizirana skupina stručnjaka iz područja informacijskih i komunikacijskih znanosti te drugih srodnih područja (Zaklada Europeana, 2017).

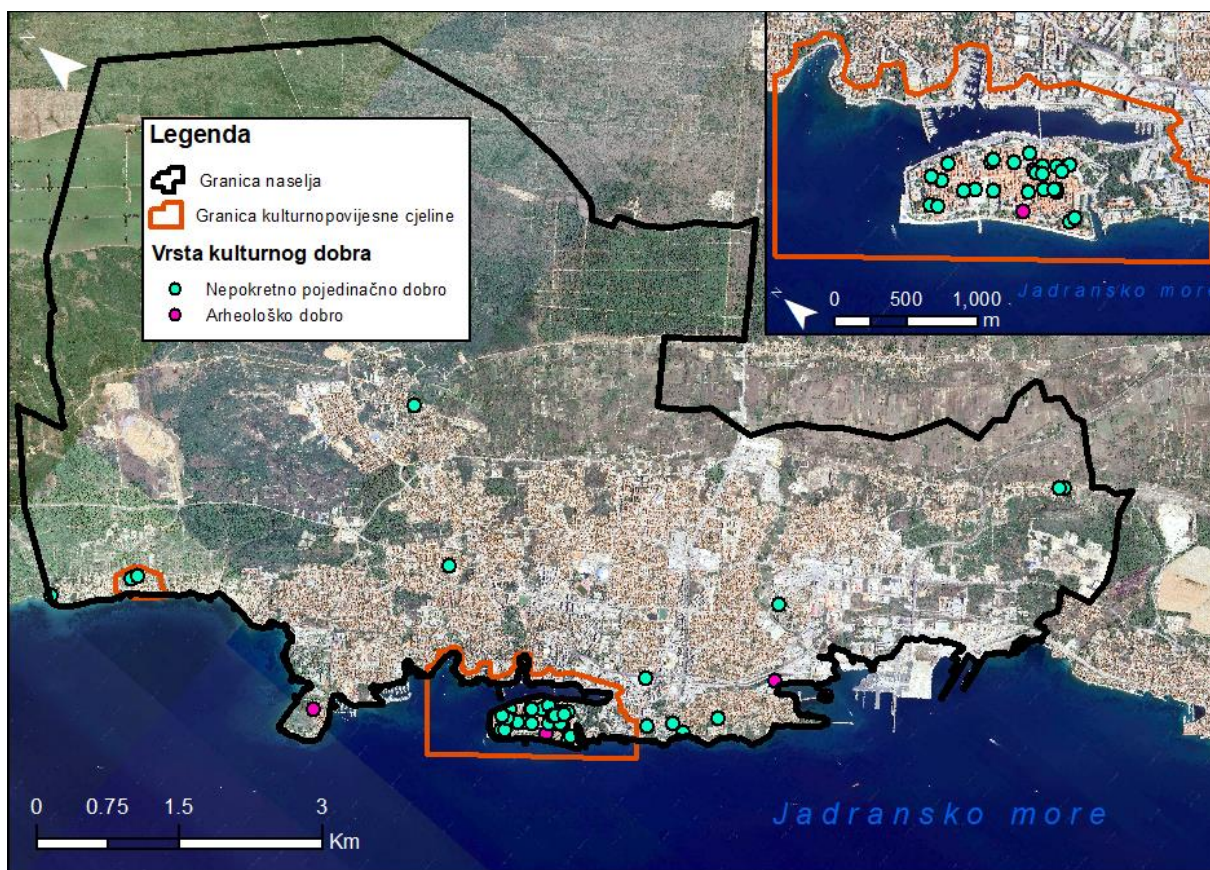
Ministarstvo kulture pokrenulo je projekt *Digitalizacija kulturne baštine* kao jedan od projekata *Strateškog plana za kulturu 2016. – 2018.* Kao dio navedenog projekta 2014. godine uspostavljen je nacionalni agregacijski sustav za kulturnu baštinu *agregator.kultura.hr*, baziran na ArhivX-u, postojećem sustavu tvrtke *ArhivPro*. Razvoj agregatora između 2014. i 2017. godine doveo je do novog velikog sustava koji je nazvan INDIGO, a jedna od njegovih sastavnica je i modernizirani agregator. Softverom INDIGO služi se oko 50 institucija širom Hrvatske od kojih pet sadržajem doprinosi hrvatskom nacionalnom agregatoru, a koriste ga i slovenske institucije. Platforma INDIGO je „hibridno softversko okruženje koje nudi funkcionalnosti digitalne knjižnice, skladišta metapodataka i agregacijske platforme te sadrži mnoge značajke bitne za interoperabilnost podataka i sukladna je s međunarodnim normativnim resursima“ (*Europeana*, 2017). Treba naglasiti da agregator služi samo institucijama i da je svega dio građe dostupan javnosti, i to najčešće na internetskim stranicama *Europeane* (Zaklada Europeana, 2017).

Većinu projekata 3D dokumentacije kulturne baštine u Hrvatskoj izradile su privatne tvrtke koje posjeduju potrebna znanja i opremu. Primjerice, za nominaciju *Venecijanskih fortifikacija 16. i 17. stoljeća* u Zadru za UNESCO-ov Popis svjetske baštine, bilo je potrebno izraditi detaljan 3D model i predočiti ga u dokumentu nominacije. Model je izradila tvrtka *Vectra d.o.o.* iz Varaždina, ali nakon uspješno okončane nominacije, on nije postao dijelom sadržaja na službenim stranicama Grada Zadra, Registra kulturnih dobara, *Europeane*, pa ni UNESCO-a. Pozitivan primjer suvremene digitalizacije u Hrvatskoj je dubrovačka *web-GIS* aplikacija tvrtke *GDi d.o.o.* namijenjena pregledavanju prostorno planskih podataka za Grad Dubrovnik. Aplikacija *DU3D – 3D model Dubrovnika* bazirana na tehnologiji *GDi Ensemble*

Smart Portal 3D omogućava pregled slojeva i podloga poput prostornog plana uređenja (PPU-a), generalnog urbanističkog plana (GUP-a) te detaljnih i urbanističkih planova uređenja (DPU-a/UPU-a) Grada Dubrovnika u 3D okruženju. Jedan od slojeva je i 3D model dubrovačke jezgre nastao metodom aerofotogrametrije koji sadrži objedinjeni prikaz građevina s razinom detaljnosti LOD2 (eng. *level of detail*) i 2D slojeve s prostornim podacima Grada Dubrovnika. Ovo je izvrstan primjer povezivanja javnih usluga za građane sa zanimljivim interaktivnim sadržajem.

4.3. Nepokretna materijalna baština Grada Zadra

Kulturna baština je reprezentativna ako „predstavlja znanja, tradiciju, običaje i vještine koje se prenose u jednoj zajednici s koljena na koljeno, ili drugim zajednicama“ (UNESCO). Kopnena vrata u Zadru odabrana su kao objekt istraživanja zbog estetskog i povijesnog značaja za Grad Zadar i zato što su reprezentativan spomenik cijelog zadarskog fortifikacijskog sustava i šire skupine „venecijanskih fortifikacija“ pod UNESCO-ovom zaštitom. Osim Kopnenih vrata koja su zaštićena unutar kulturno-povijesne cjeline Grada Zadra, prema Registru kulturnih dobara na dan 21. rujna 2023. godine na području Grada Zadra bilo je trideset i devet pojedinačnih nepokretnih dobara, šest djela arheološke baštine, dvije kulturnopovijesne cjeline i jedno nematerijalno dobro (Slika 17). Nadležnost nad svim kulturnim dobrima u Gradu Zadru i Zadarskoj županiji ima Konzervatorski odjel Zadar.



Slika 17. Nepokretna kulturna dobra na području Grada Zadra prema vrsti kulturnog dobra

4.3.1. Geopolitičke okolnosti u Dalmaciji u 16. i 17. stoljeću

Grad Zadar od 15. stoljeća ima ključnu važnost za Mletačku Republiku. Poznato je da je Venecija na Jadransko more gledala kao vlastiti posjed te ga neskromno zvala Venecijanski zaljev (*tal. Golfo di Venetia*), a upravo su Zadar i njegova utvrđenja bila ključna za kontrolu istočnog dijela tog prostora (Žmegač, 2003). Mletačka Republika se početkom 15. stoljeća, nakon višestoljetnih težnji, uspjela nametnuti na području Dalmacije kupivši je od Ladislava Napuljskog, a Zadar je postao njezino gospodarsko, trgovačko i političko središte (Raukar, 1987). Na trgovačkom putu iz Venecije prema istočnom Sredozemlju, Zadar je bio prvi kopneni grad nakon mletačkih posjeda na sjevernom Jadranu. Prednosti koje su izdigle Zadar iznad drugih dalmatinskih gradova bile su prostrano i plodno zaleđe, koje je znatno olakšavalo opskrbu i razvoj grada te prirodno branjivi poluotok sa zaštićenom lukom (Žmegač, 2003). Vlast Mletačke Republike nad Dalmacijom u početku nije bila stabilna kako zbog vanjskih neprijatelja, tako i zbog potencijalnog ustanka u tom novom dijelu *Stato da mara* (prekomorskih posjeda) (Hilje, 2011). Iz tog se razloga najprije ulagalo u jačanje postojećeg utvrđenja tzv. kaštela na sjevernom kraju poluotoka, da bi nekoliko desetljeća kasnije počelo planiranje potpuno novog fortifikacijskog sustava oko cijeloga grada. Razvojem artiljerije

ukazala se potreba za jačanjem i redizajniranjem zastarjelih srednjovjekovnih fortifikacija od kojih je ostao samo manji dio (Slika 18) (Petricioli, 2005).



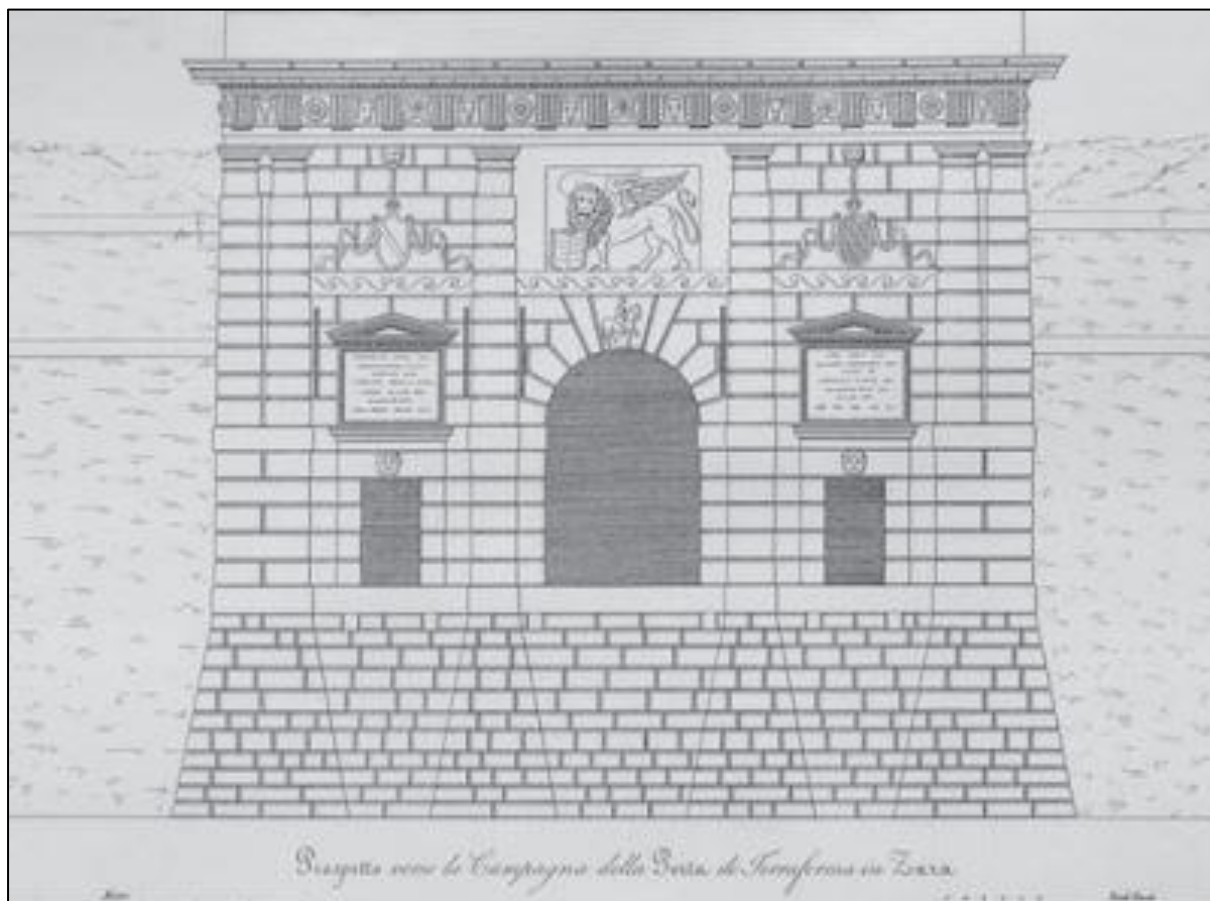
Slika 18. Sačuvani dio srednjovjekovnih fortifikacija – tzv. „Bedemi zadarskih pobuna“

Izvor: URL9

4.3.2. Značaj Kopnenih vrata Michele Sanmichelija

Projektiranje novih fortifikacija trajalo je više desetljeća tijekom kojih su razmotreni mnogi prijedlozi. Naposljetku je za izgradnju novog zadarskog fortifikacijskog sustava odabran Michele Sanmicheli, glavni i prema mnogima najbolji venecijanski vojni inženjer tog doba, koji je projektirao i nadgledao gradnju brojnih utvrda u Mletačkoj Republici (Borić, 2015). On je postepeno na svojim projektima počeo angažirati svojeg rođaka, kipara Paola Sanmichelija i njegova sina Giangiolama, također arhitekta i inženjera. Natpis na Vratima datira završetak izgradnje u 1543. godinu, a smatra se da je izrada projekta počela gotovo desetljeće ranije prilikom prve posjete Michele Sanmichelija Zadru 1534. godine (Davies i Hemsoll, 2004). Još se uvijek vode rasprave kome pripisati finalni izgled Kopnenih vrata (Vežić, 2005), s obzirom na to da je Michele Sanmicheli otprilike na pola izgradnje dobio drugi zadatak i morao otići, a dovršavanje je ostavio nećaku koji je bio tek u ranim dvadesetima (Borić, 2015). Stoga su Davies i Hemsoll (2004), kao svojevrsni kompromis, pripisali cjelokupni projekt obiteljskom poduzeću Sanmicheli, iako se u akademskim krugovima uvriježilo mišljenje da većina zasluga ipak pripada Micheleu (Vežić, 2005; Petricioli, 2005).

Kopnena vrata, odnosno *Porta Terraferma* (tal.), monumentalno djelo obiteljskog poduzeća Sanmicheli (Davies i Hemsoll, 2004), izvrstan su primjer dalmatinske renesanse (tzv. *cinquecento*) (Borić, 2015) i reprezentativan spomenik za jedno burno, ali značajno razdoblje u povijesti Zadra i cijele Mletačke Republike na Jadranu (Žmegač, 2003).

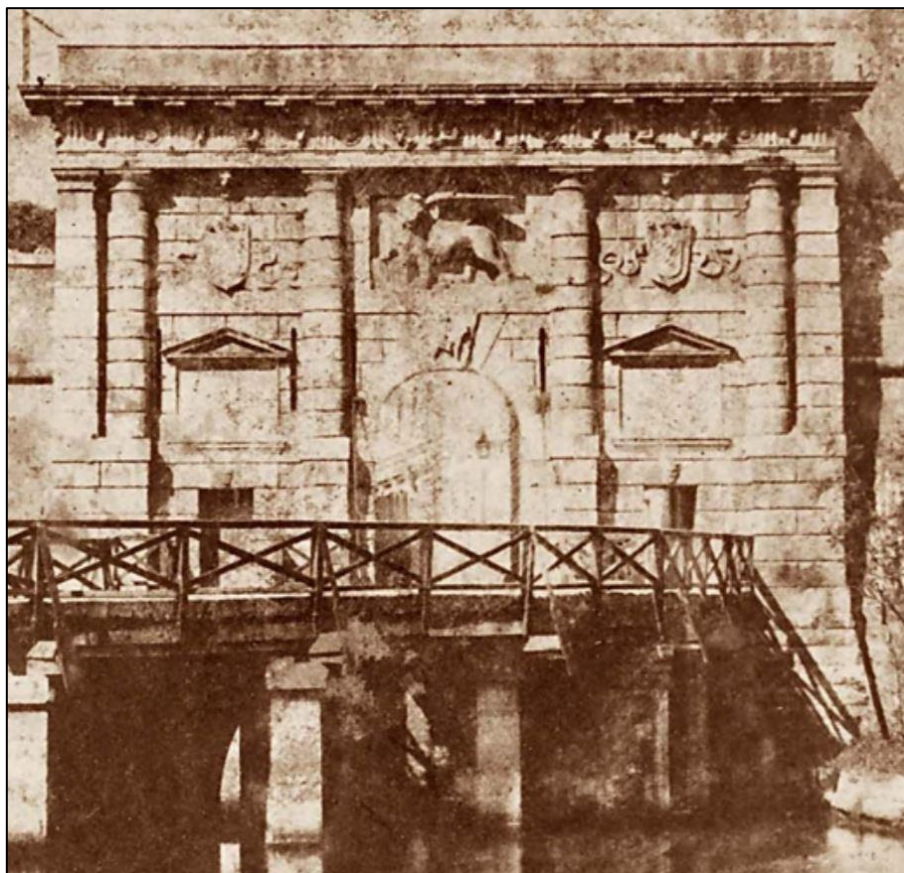


Slika 19. Crtež Kopnenih vrata u Zadru u punoj veličini

Izvor: F. Ronzani i G. Luciolli (1831)

Kopnena vrata izvorno su mnogo viša od onoga što se danas vidi iznad nasipa na kojem je cesta. Osmišljena su tako da ulazi budu izdignuti iznad mora te da se jedino mostom može ući u grad, a njihove originalne dimenzije (Slika 19) danas su najbolje vidljive s bočne morske strane. U vrijeme najveće osmanske opasnosti krajem 16. i početkom 17. stoljeća, današnja Kopnena vrata kraj Foše bila su jedini kopneni ulaz u grad okružen obrambenim morskim jarkom te se u tadašnji grad-utvrdu ulazilo preko dvaju uzastopnih mostova. Prvi je bio nepokretan, ali dugačak i uzak, a drugi, pred samim vratima, mogao se podizati i spuštati po potrebi. Kasnije je pokretni most uklonjen i sagrađen je mnogo veći stalni most (Slika 20). Potrebno je naglasiti da su Kopnena vrata u današnjem obliku samo pročelje nekadašnje ulazne

građevine duboke 8,4 metra, a tek su zahvatima u 19. stoljeću Koptena vrata pretvorena u relativno tanak zid, u suštini samo portal bivšeg objekta (Vežić, 2005).



Slika 20. Koptena vrata prije 1861.g.

Izvor: Gradska knjižnica Zadar

Koptena vrata u Zadru imaju veliki trijumfalni luk na sredini namijenjen za prolazak zaprežnih kola i dva manja luka sa svake strane za pješake, što je tipično za sva Micheleova djela (Ronzani i Lucioli, 1831). Od dekoracije na vratima ističe se grb Grada Zadra sa sv. Krševanom na konju i iznad njega simbolično, mnogo veći lav sv. Marka, simbol Mletačke Republike. Lav je prikazan s trima nogama na tlu dok četvrtom pridržava otvorenu knjigu na kojoj piš: *pax tibi Marce evangelista meus*, što u prijevodu s latinskog znači „mir tebi, Marko, evanđeliste moj“. Lav s otvorenom knjigom simbolizira da je za vrijeme gradnje vladao mir, dok sa zatvorenom knjigom on simbolizira vrijeme rata u Mletačkoj Republici. Iznad svakog od malih lukova, nalaze se natpisi, jedan s posvetom providuru (upravitelju) Marcantoniju Diedu, a drugi tadašnjem gradskom kapetanu Micheleu Salamonu. Iznad natpisa se nalaze njihovi obiteljski grbovi s obzirom na to da su obojica bila iz patricijskih obitelji (Petricioli, 2005).

5. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

5.1. Pregled metodologije makro razine istraživanja

Istraživanje trenutnog stanja zastupljenosti 3D dokumentacije UNESCO-ove kulturne baštine na prostoru Hrvatske temelji se na pretraživanju Registra kulturne baštine, proučavanju literature te na podacima prikupljenima anketnim upitnikom kojim su ispitani odabrani konzervatorski odjeli. Budući da su objekt istraživanja na makro razini isključivo nepokretna dobra koja se nalaze na UNESCO-ovom Popisu svjetske baštine, odlučeno je anketni upitnik poslati ciljano konzervatorskim odjelima koji imaju UNESCO-ovu baštinu u svojoj nadležnosti, prema Registru kulturnih dobara. Riječ je o konzervatorskim odjelima u sljedećih sedam gradova: Puli, Zadru, Šibeniku, Trogiru, Splitu, Imotskom i Dubrovniku. Anketni upitnik izrađen je u aplikaciji *Google Forms* i poslan na e-mail adrese konzervatorskih odjela. Primjer anketnog upitnika nalazi se u prilogima diplomskog rada. Odgovori prikupljeni anketnim upitnikom u *Google Forms* preuzeti su i obrađeni unutar programa *Microsoft Office Excel 2013*. Odabrana su najvažnija pitanja te su od njihovih odgovora izrađeni grafički prikazi u programu *MS Excel 2013*.

5.2. Pregled metodologije mezo razine istraživanja

Analiza zastupljenosti 3D dokumentacije nepokretne kulturne baštine na području Grada Zadra, izvršena je pretraživanjem Registra kulturnih dobara Republike Hrvatske, odnosno njegove *web* inačice. Pretraživanje Registra kulturnih dobara izvršeno je prema sljedećim filterima (Slika 21): (1) od ponuđenih vrsta kulturnih dobara odabrane su sve osim nematerijalne, (2) za postavku pravnog statusa odabrane su sve tri kategorije kako bi se dobio cjeloviti pregled kulturnih dobara, (3) postavka UNESCO-ove zaštite ostavljena je neoznačena jer postojanje UNESCO-ove zaštite nije bitno u ovom dijelu istraživanja¹. Izostavljanjem tog filtera postiže se izdvajanje svih nepokretnih kulturnih dobara bez obzira na status zaštite.

¹ Jedino kulturno dobro u Zadru pod UNESCO-ovom zaštitom je Mletački fortifikacijski sustav koji je u Registru kulturnih dobara dio Kulturnopovijesne cjeline Zadra

Odaberi filtere

Osnovni podaci ^

Naziv dobra

Registarski broj

✕ Očisti

Vrsta kulturnog dobra ^

Nepokretna pojedinačna

Kulturnopovijesna cjelina

Kulturni krajolik

Arheologija

Nematerijalna

Klasifikacija

✕ Očisti

Pravni status ^

Zaštićeno kulturno dobro

Preventivno zaštićeno dobro

Dobro od lokalnog značenja

✕ Očisti

UNESCO ^

Da

Ne

✕ Očisti

Smještaj ^

Županija

Grad/Općina

Poništi

Pretraži

Slika 21. Odabrani filteri za pretraživanje Registra kulturnih dobara

Podaci kulturnih dobara dobiveni pretraživanjem poput adrese i registarskog broja uvršteni su u *Excel* i zatim pripremljeni da budu kompatibilni s računalnim programom *ESRI ArcMap*. To uključuje uklanjanje dijakritičkog znakovlja iznad slova, povezivanje riječi bez razmaka i skraćivanje naziva. Adrese kulturnih dobara koje su prisutne u Registru su geokodirane koristeći *Google Earth open source* aplikaciju te su spremljene u *.kml* formatu za daljnju obradu. Podaci u *.kml* formatu iz *Google Eartha* uvršteni su u računalni program *ESRI ArcMap* kao shapefile te je izrađena karta s prikazom prostorne distribucije nepokretnih kulturnih dobara u Gradu Zadru i njihovog statusa zaštite. Izrađena je i GIS baza podataka (*Geodatabase*) kulturne baštine u Zadru koja je povezana (*Join & Relate*) s podacima iz *Excel* tablice. Budući da na Registru kulturnih dobara ne postoje podaci o 3D dokumentaciji poslan je i upit Konzervatorskom odjelu Zadar, koji je nadležan za svu analiziranu kulturnu baštinu.

5.3. Pregled metodologije mikro razine istraživanja

Metodologija mikro razine istraživanja uključuje primjenu dvije napredne terestričke geoprostorne tehnologije za detaljnu 3D dokumentaciju Kopnenih vrata. Istraživanja uključuju

3D dokumentaciju Kopnenih vrata primjenom Faro Focus M70 TLS-a (5.3.1.) te 3D dokumentaciju primjenom ZEB Revo GeoSLAM-a (5.3.2.). Prikupljeni oblaci točaka su zatim uspoređeni, s ciljem procjene detaljnosti oblaka točaka prikupljenog GeoSLAM-om u odnosu na referentni model prikupljen TLS-om.

5.3.1. Prikupljanje i obrada podataka prikupljenih TLS-om

Zadana veličina točaka (eng. *default point size*) u svim vizualizacijama ima vrijednost 1. Za izraženije sjene i trodimenzionalnost korišten je *Eye-dome Lighting OpenGL shader*.

I. Priprema za terensko snimanje

Prije početka svakog istraživanja potrebno je odraditi pripremne radnje poput izviđanja područja istraživanja i provjere opreme kako ne bi došlo do nenadanih poteškoća. Prije samog terenskog skeniranja TLS-om odrađena je terenska analiza prostora i fotografiranje putem bespilotne letjelice tj. drona. Podaci prikupljeni iz zraka pomogli su odrediti prostorni obuhvat područja istraživanja, te broj i točnu lokaciju stajališta za skeniranje, kao i optimalni položaj standardiziranih referentnih meta (sfera). Za pozicije pet referentnih meta su RTK (eng. *real-time kinematic positioning*) GNSS (eng. *global navigation satellite system*) uređajem prikupljene koordinate koje su naknadno pridodane sferama tijekom obrade prikupljenih podataka.

II. Skeniranje TLS-om

Prikupljanje podataka FARO Focus M70 TLS-om izvršeno je 27. travnja 2023. godine u jutarnjim satima kako bi se smanjio utjecaj pješaka i prometa budući da se radi o jednom od glavnih pješačkih ulaza te gotovo jedinom izlazu s poluotoka za cestovna vozila. Tijekom terenskog skeniranja može doći do opstrukcije objekta koji se skenira primjerice prolaskom pješaka ispred senzora ili potpunim zaklanjanjem od strane većeg teretnog vozila. Skeniranje Kopnenih vrata izvršeno je sa pet odabranih stajališta, a postavke TLS-a podešene su jednako za svih pet skeniranja. Dok je rezolucija skeniranja unutar FARO Focus M70 TLS-a postavljena na 1/2, parametar kvalitete skeniranja postavljen je na 2x. Navedene postavke rezultirale su s veličinom pojedinačnog skena od 20480x8533 točaka, odnosno s ukupno 174,8 milijuna točaka i udaljenost između točaka od 3,1 mm na 10 m. Rezolucija skeniranja određuje broj točaka koji će biti prikupljen i o ovom parametru ovisi trajanje snimanja i konačna gustoća prikupljenog oblaka točaka. Rezolucije se kreću od 1/1 (najviše točaka, najduže trajanje) do 1/32 (najmanje točaka, najkraće trajanje). Za skeniranje vanjskih prostora preporuča se odabrati bolju rezoluciju poput 1/1 ili 1/2 kako bi se osigurala dovoljna pokrivenost, odnosno gustoća

točaka na objektu istraživanja zbog moguće veće udaljenosti od skenera kakva se pronalazi u otvorenim prostorima istraživanja. Za unutarnje prostore dovoljna je rezolucija od 1/8 ili niža. Kvaliteta skeniranja je parametar koji ukazuje koliko puta će uređaj skenirati istu točku, i kreće se od 2 do 8 ponovljenih skeniranja iste točke. Tehničke specifikacije korištenog TLS-a dane su u Tablici 4.

Tablica 4. Tehničke specifikacije FARO Focus M70 terestričkog laserskog skenera

Parametar	Vrijednost
Brzina prikupljanja podataka (točaka/s)	do 488.000
Preciznost prikupljanja točaka	± 3 mm
Maksimalan domet (m)	70
Minimalan domet (m)	0,6
Kut snimanja (vertikalni/horizontalni) (°)	300/360
Integrirana RGB kamera (MP)	do 165 MP
Težina uređaja (kg)	4,2
Trajanje baterije (h)	cca 4,5

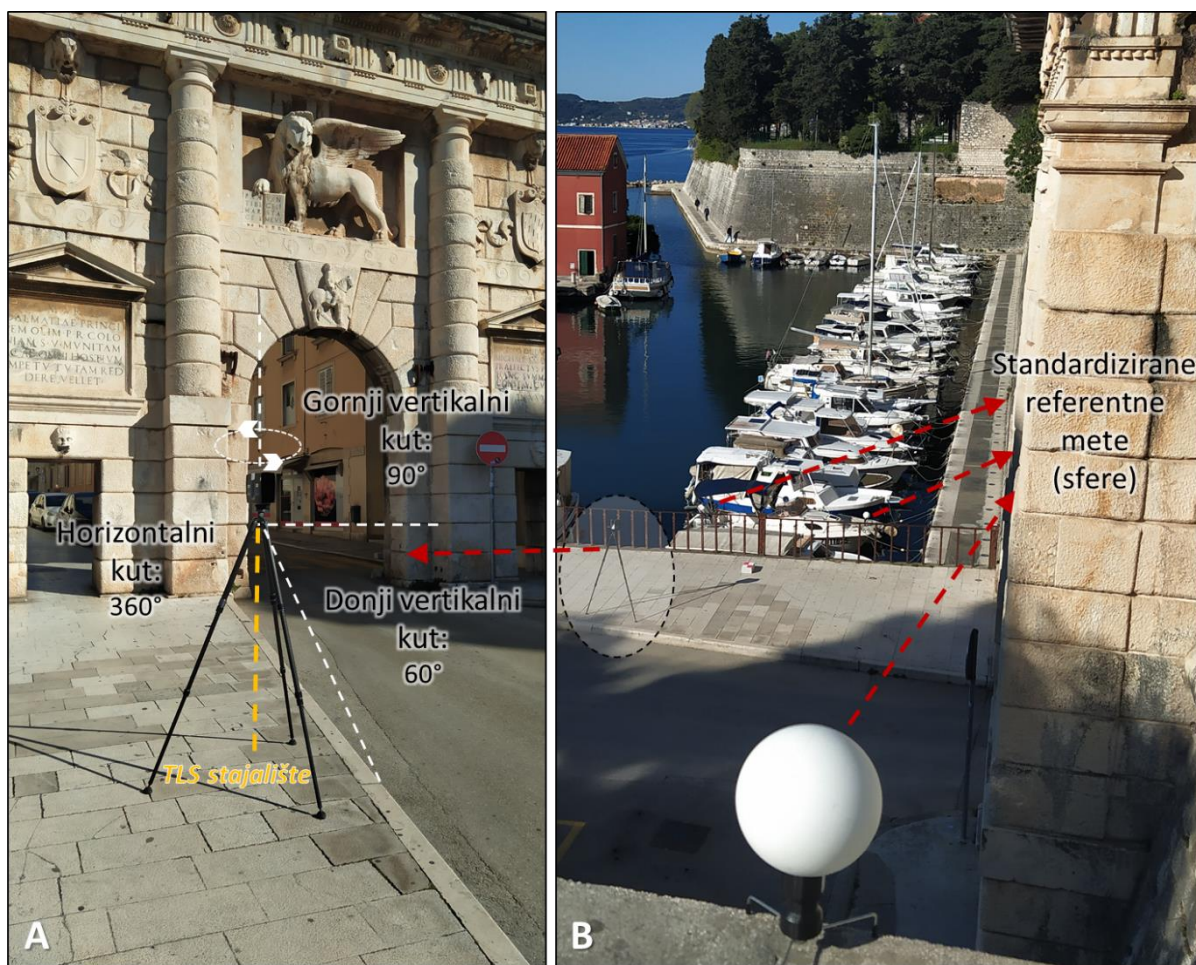
Izvor: FARO, 2019b

Prilikom planiranja terenskog prikupljanja podataka TLS-om, fokus je stavljen na prednju stranu Kopnenih vrata zbog njezine estetske važnosti, ali i zato što se radi o mnogo složenijoj površini naspram stražnje strane. Kompleksni reljefi koji krasi prednju stranu zahtijevaju skeniranje iz više kutova za postizanje optimalne pokrivenosti, dok stražnja strana Kopnenih vrata ima jednostavniju geometriju i nije reprezentativna za kulturnu baštinu Grada Zadra, kao što je to prednja strana. Od ukupno pet stajališta, četiri su postavljena s prednje strane, iako se može reći da su stajališta broj 1 i 5 ustvari bočna stajališta (Slika 22). Pet standardiziranih referentnih meta (sfera) radijusa 0,0695 m postavljeno je unutar prostora istraživanja na način da se sa svakog stajališta mogu uočiti barem dvije sfere. U konačnici je zbog male površine područja istraživanja za većinu stajališta bilo vidljivo tri i više referentnih sfere. Sfere predstavljaju referentne mete koje se koriste prilikom TLS skeniranja za naknadnu registraciju više susjednih skenova prikupljenih na istom području istraživanja (Slika 23. B) (FARO, 2019b). Snimanje TLS-om trajalo je ukupno jedan sat, ne uključujući premještanje uređaja s jednog stajališta na drugo. Svako pojedinačno skeniranje u prosjeku je trajalo deset minuta, tijekom kojeg je trebalo osigurati neometan rad skenera koliko je to moguće na tako prometnom mjestu. Zahvaljujući vrlo visokom vertikalnom kutu skeniranja Faro Focus M70

TLS optimalan je za skeniranje kompleksnih pročelja nepokretne materijalne baštine (Slika 23. A) (FARO, 2019a).



Slika 22. Plan skeniranja TLS-om



Slika 23. A – Primjer stajališta za snimanje s FARO Focus M70 terestričkim laserskim skenerom; B – prikaz dijela standardiziranih referentnih meta u području istraživanja

III. Obrada prikupljenih podataka u *FARO Scene* softveru

U fazi obrade terenski prikupljenih podataka, ključno je poznavanje mogućnosti korištenog softvera za geoprostorne analize jer kvaliteta izlaznih rezultata ovisi o odabiru pravilnih korisničko - definiranih parametara i razumijevanju njihovog značenja (Bodzin i Cirucci, 2009).

U svrhu obrade laserskih podataka prikupljenih FARO Focus M70 TLS-om, podaci su integrirani u specijalizirani softver za procesiranje laserskih podataka, *FARO Scene*. Softver *FARO Scene* sadrži sve potrebne alate za obradu podataka prikupljenih TLS-om, od obrade sirovih prikupljenih skenova, registracije i izrade jedinstvenog oblaka točaka, osnovne analize izrađenog oblaka točaka, sve do 3D vizualizacije i izvoza obrađenih podataka u formatima za oblake točaka (npr. *.las* ili *.e57*) (FARO, 2019b). Proces obrade se sastoji od šest osnovnih koraka: (1) izrada projekta, (2) obrada pojedinačnih laserskih skenova, (3) registracija laserskih skenova, (4) dodavanje koordinata referentnim metama, (5) izrada konačnog oblaka točaka te (6) eksportiranje (izvoz) konačnog oblaka točaka.

Prvi korak obrade bilo je kreiranje novog *FARO Scene* projekta (1), u koji je dodano svih pet prikupljenih skenova. Sljedeći korak (2) obuhvatio je obradu pojedinačnih skenova (eng. *process scans*), unutar koje se vrši početna obrada tzv. sirovih podataka (eng. *raw data*), prema odabranim postavkama *Configure processing* prozora. Jedna od odabranih postavki je filter za automatsko prepoznavanje rubova i uklanjanje pogrešaka koje se nalaze uz njih (eng. *edge artifact filter*). U ovom koraku podešeno je automatsko prepoznavanje meta (eng. *find spheres*), pri čemu su za tip meta odabrane standardne sfere radijusa 0,0695 m (eng. *active sphere radii*). Uslijedila je inicijalna automatska registracija laserskih skenova (3) čija je svrha poravnavanje različitih skenova, s nasumičnim virtualnim položajem i orijentacijom, u jedan cjeloviti oblak točaka (eng. *scan alignment*) za što je korištena metoda automatske registracije (eng. *automatic registration*). Odabrane su postavke za korištenje podataka inklinometra (nivelira) i kompasa koji su preuzeti iz korištenog TLS-a. Niveliranjem se osigurava da z-os registriranog skeniranja odgovara z-osi definiranoj inklinometrom. Ako pretraga ne može pronaći nijedan podatak koji je u skladu s podacima kompasa, to može biti pokazatelj da je kompas bio pod utjecajem utjecaja okoline i podaci kompasa će biti zanemareni (FARO, 2019b). Zatim je odabrano da registracija bude bazirana na detekciji referentnih meta (eng. *target based registration*). Obavezno treba odabrati *Calculate scan point based statistics* kako bi softver izračunao statistiku za točke s kojih se skenira, dodatno uz statistiku referentnih meta, iako se registracija događa samo na bazi referentnih meta. *Target distribution threshold* parametar postavlja ograničenje za registraciju na način da određuje minimalnu udaljenost koja mora biti između dviju meta kako bi registracija bila prihvaćena. Ako su mete preblizu jedna drugoj registracija će biti odbijena. Završetkom postavljanja parametara registracije, algoritam procesira oblak točaka čije trajanje ovisi o snazi procesiranja radne stanice.

U registriranom oblaku točaka detektirane su sfere na temelju njihovih unesenih dimenzija, no osim stvarnih detektirane su i nepostojeće tzv. „lažne“ sfere. Uobičajeno je da algoritam predmetima sa sličnim karakteristikama kao što imaju sfere pridodaje status referentne mete (Slika 24. A). Softver zatim traži od korisnika manualno potvrđivanje ispravnih i uklanjanje „lažnih“ meta (eng. *manual verification*). Referentnim metama je zatim pridodan odgovarajući naziv prema planu istraživanja (T1 – T5). Sljedeći korak je dodavanje koordinata referentnim metama (4) koje su prethodno prikupljene RTK GNSS uređajem. Odabiru se klasteri (eng. *cluster*), odnosno skupine skenova grupirane po nekim karakteristikama. U ovom slučaju su to svi skenovi te slijedi *Cluster automatic registration* po referentnim metama, ovog puta s egzaktnim koordinatama (Slika 24. B). Na temelju izvješća registracije za referentne

mete (Tablica 5) i za točke s kojih se skeniralo (Tablica 6) primjećuje se visoka točnost registracije.

Tablica 5. *Točnost registracije referentnih meta (eng. target statistics)*

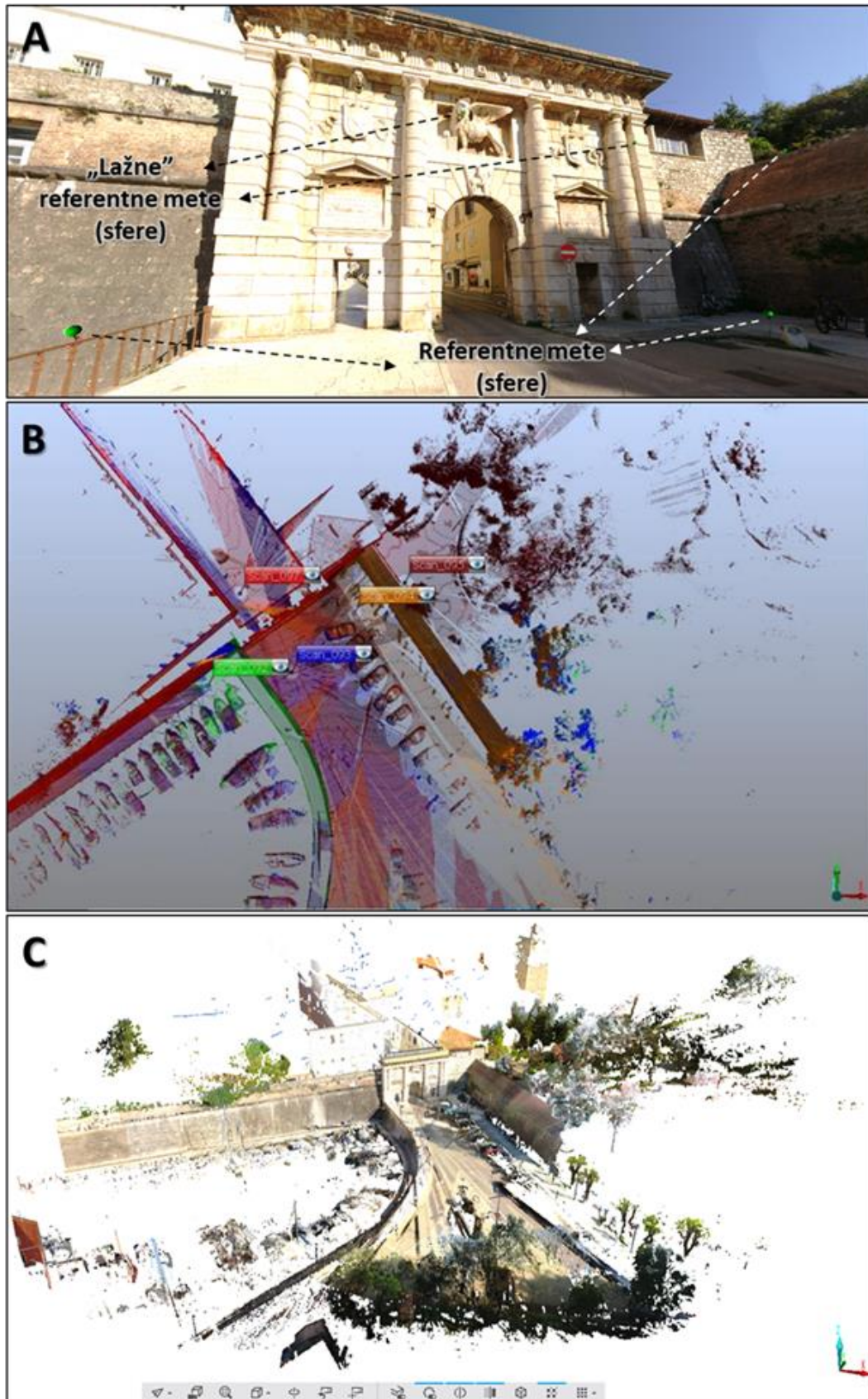
Naziv	Vrijednost (mm)
Maks. pogreška udaljenosti	13,5
Maks. horizontalna pogreška	6,2
Maks. vertikalna pogreška	12,0
Srednja pogreška udaljenosti	4,9
Srednja horizontalna pogreška	2,2
Srednja vertikalna pogreška	4,0

Tablica 6. *Statistika točaka stajališta (eng. scan point statistics)*

Naziv	Vrijednost
Maks. pogreška točke	4,0 mm
Srednja pogreška točke	3,3 mm
Minimalno preklapanje	18,7 %

Nakon uspješne registracije, pokreće se izrada konačnog oblaka točaka (5) s alatom za automatsko kreiranje oblaka točaka (eng. *automated point cloud creation*) uz korištenje filtera za uklanjanje dupliciranih točaka (eng. *eliminate duplicate points*). Filter uklanja duplicirane točke koje nastaju kada se objekt snima s nekoliko različitih stajališta. Ovaj filter može značajno poboljšati vizualnu kvalitetu oblaka točaka uz istovremeno smanjenje ukupnog broja točaka što poboljšava vrijeme učitavanja i štedi memorijski prostor. Filter za uklanjanje dupliciranih točaka je konfiguriran da uvijek zadrži točku najviše kvalitete. Viša kvaliteta odnosi se manju udaljenost od skenera, a u slučaju da se dvije točke smatraju duplikatima, točka s većom udaljenošću, a time i nižom kvalitetom, se odbacuje te se samo točka više kvalitete dodaje u oblak točaka. Pomicanjem klizača u *FARO Scene* prozoru moguće je postaviti željeni radijus pretraživanja (eng. *search radius*) u kojem će filter tražiti potencijalne duplikate za svaku točku. U ovom slučaju radijus pretraživanja je postavljen na ponuđenu srednju vrijednost 5/9. Posljednji korak je eksportiranje konačnog oblaka točaka (Slika 24. C) iz *FARO Scene* za daljnju analizu u specijaliziranom softveru *CloudCompare* (6). Kako bi daljnja obrada i analiza bila brža, preporučuje se izrezati željeni dio (eng. *crop*) iz ukupnog

oblaka točaka čime se smanjuje opseg podataka. Rezanje se vrši u 3D perspektivi radi bolje kontrole nad procesom pomoću poligonskog okvira. Ovim potezom je uklonjena većina točaka prikupljenih van odabranog područja istraživanja. Oblak točaka se izvozi u .e57 formatu kojeg podržavaju svi softveri za obradu laserskih podataka.



Slika 24. Proces obrade prikupljenih skenova u *FARO Scene* softveru (A – inicijalna obrada sirovih skenova; B – registracija obrađenih skenova uz pomoć referentnih meta; C – finalni izrađeni oblak točaka šireg područja Kopnenih vrata)

5.3.2. Prikupljanje i obrada podataka prikupljenih GeoSLAM-om

I. Terensko prikupljanje podataka s GeoSLAM-om

Prikupljanje podataka prijenosnim skenerom izvršeno je 22. lipnja 2023. godine u ukupnom trajanju od 7 minuta. Pritom je korišten prijenosni laserski skener ZEB Horizon GeoSLAM, koji se sastoji od 2D ToF (eng. *time of flight*) laserskog skenera za mjerenje vremena leta i od inercijske mjerne jedinice (eng. *inertial measurement unit (IMU)*). IMU je elektronički uređaj koji mjeri i javlja ubrzanje, orijentaciju, kutnu brzinu i druge gravitacijske sile, a sastoji se od tri akcelerometra, tri žiroskopa i, ovisno o smjeru, tri magnetometra. Treću dimenziju potrebnu za prikupljanje 3D podatka osigurava pokretanje glave za skeniranje. Kombiniranjem podataka 2D laserskog skenera, inercijske mjerne jedinice i SLAM algoritma 3D simultane lokalizacije i mapiranja, generiraju se 3D oblaci točaka vrlo visoke točnosti pomoću ICP-a (eng. *iterative closest point*) metode za izradu oblaka točaka (GeoSLAM, 2020). Specifikacije ZEB Horizon GeoSLAM-a dane su u Tablici 7.

Tablica 7. Tehničke specifikacije ZEB Horizon GeoSLAM prijenosnog laserskog skenera

Parametar	Vrijednost parametra
Brzina prikupljanja podataka (točaka/s)	Do 300.000
Preciznost prikupljanja točaka	± 6 mm
Maksimalan domet (m)	100
Minimalan domet (m)	nema
Vertikalni kut snimanja (°)	270
Horizontalni kut snimanja (°)	360
Integrirana RGB kamera (MP)	nema (dodatna oprema)
Težina uređaja (kg) (samo skener)	1,49
Trajanje baterije (h)	cca. 3

Izvor: GeoSLAM, 2020

Prije početka skeniranja potrebno je odraditi proces inicijalizacije u kojem skener određuje svoj početni položaj u prostoru (Slika 25. A). Određivanje početnog položaja ključno je za uspješno povezivanje cjelokupnog snimanja koje završava povratkom na istu lokaciju. Tijekom prikupljanja podataka ZEB Horizon GeoSLAM-om (Slika 25. B) preporučuje se skenirati brzinom hoda kako bi skener imao vremena orijentirati se i time se osigurala dobra pokrivenost i visoka detaljnost. Ako je kretanje prebrzo, skener će imati problema s prepoznavanjem značajki koje su mu potrebne za povezivanje prikupljenih točaka u jedinstveni

oblak točaka. Optimalno trajanje jednog skeniranja GeoSLAM-om je do 30 minuta u komadu kako ne bi nastale prevelike datoteke (GeoSLAM, 2020). Za određivanje referentnih točaka prilikom skeniranja GeoSLAM-om, dovoljno je spustiti skener s pričvršćenom referentnom pločicom na ravnu plohu u smjeru neke značajke u prostoru i držati mirno pet sekundi. Skener tada prepoznaje da se radi o referentnoj točki i samostalno prikuplja koordinate tog mjesta. Broj referentnih točaka u istraživanju trebao bi biti proporcionalan trajanju skeniranja i veličini područja koje se namjerava obuhvatiti. Skeniranje prijenosnim skenerom GeoSLAM treba se završiti na istoj točki s koje je i krenulo postupkom inicijalizacije što se naziva „zatvaranje petlje“ (eng. *loop closure*). Takav završetak istraživanja uvjetovan je načinom na koji SLAM algoritam locira skener u prostoru. SLAM algoritam u pokretu kreira oblak točaka iz prikupljenih podataka za što mu je potreban istovremeni „pogled“ na prethodni poznati položaj i onaj trenutačni, kako bi zaključio sadašnju lokaciju. Svaka pogreška koja nastane u ovom postupku akumulirat će se na kraju istraživanja i uzrokovati odstupanje točaka od njihova stvarnog položaja u prostoru. Korištenjem metode *loop closure* odstupanje se jednoliko raspoređuje po „petlji“, odnosno ruti skeniranja. Osim konačnog povratka na početnu poziciju, preporučuje se redovito križanje s već skeniranim položajima kako bi se skener ispravio i kako bi se smanjila konačna ukupna greška (GeoSLAM, 2020).

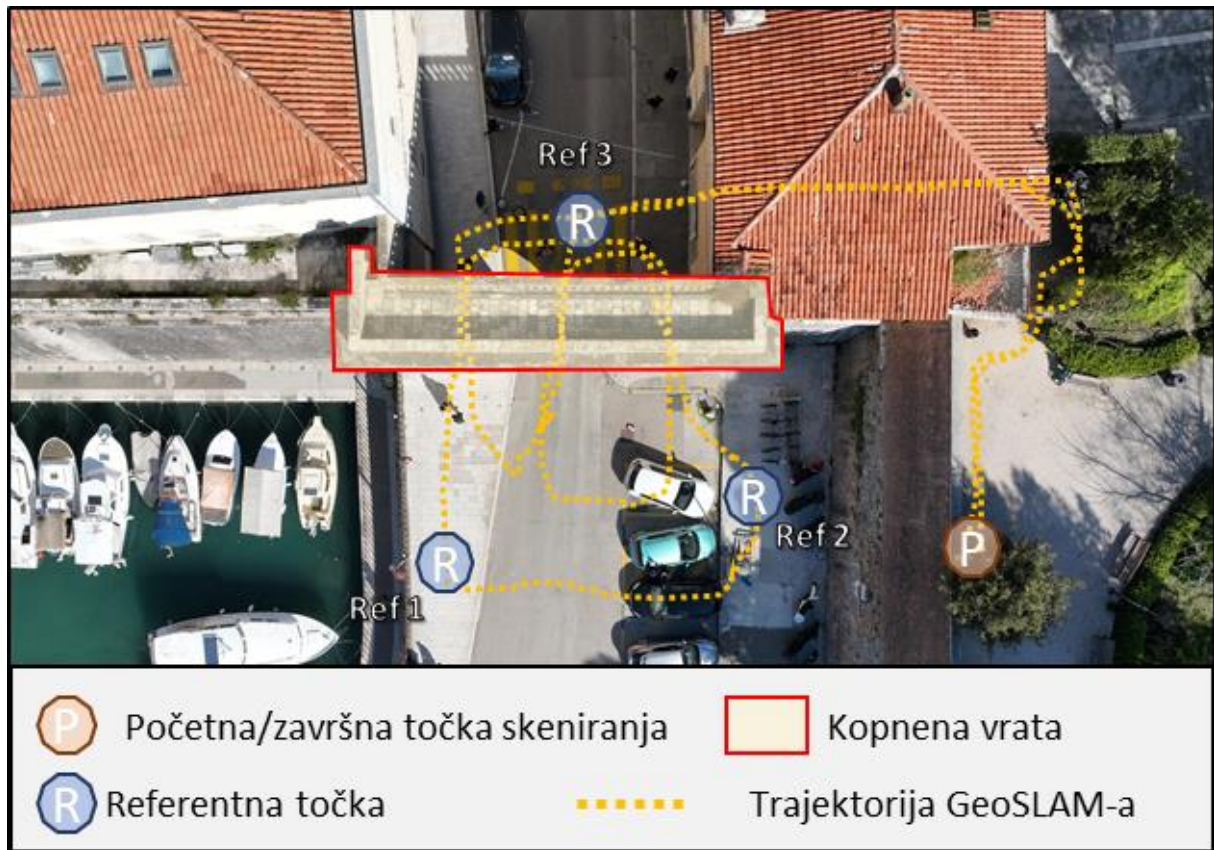


Slika 25. Terensko snimanje Kopnenih vrata ZEB Horizon GeoSLAM-om (A – inicijalizacija ZEB Horizon GeoSLAM-a; B – proces mobilnog skeniranja Kopnenih vrata)

Da bi GeoSLAM algoritam mogao povezati prikupljene podatke i locirati se u prostoru, skenirano okruženje mora sadržavati prepoznatljive značajke koje uređaj konstantno skenira i prepoznaje dok se operater kreće kroz prostor. Omjer veličine i udaljenosti značajke mora biti otprilike 1:10 da bi se smatrala značajnom (primjerice, na udaljenosti od 5 m veličina značajke mora biti veća od 0,5 m). Okoline kojima nedostaju prepoznatljive značajke uključuju široka otvorena područja gdje su značajke na udaljenosti većoj od 40 metara od skenera, ali i tunele i hodnike s glatkim jednoličnim zidovima. U takvim se okruženjima može dogoditi da nema dovoljno geometrijskih karakteristika u smjeru kretanja da bi SLAM algoritam mogao detektirati kretanje prema naprijed i kreirati oblak točaka. Usmjeravanje ZEB Horizon GeoSLAM-a u smjeru određene značajke osigurat će da bude skenirana više puta dok se operater kreće područjem, što je posebno važno ako je značajka udaljena više od 10 metara (GeoSLAM, 2020).

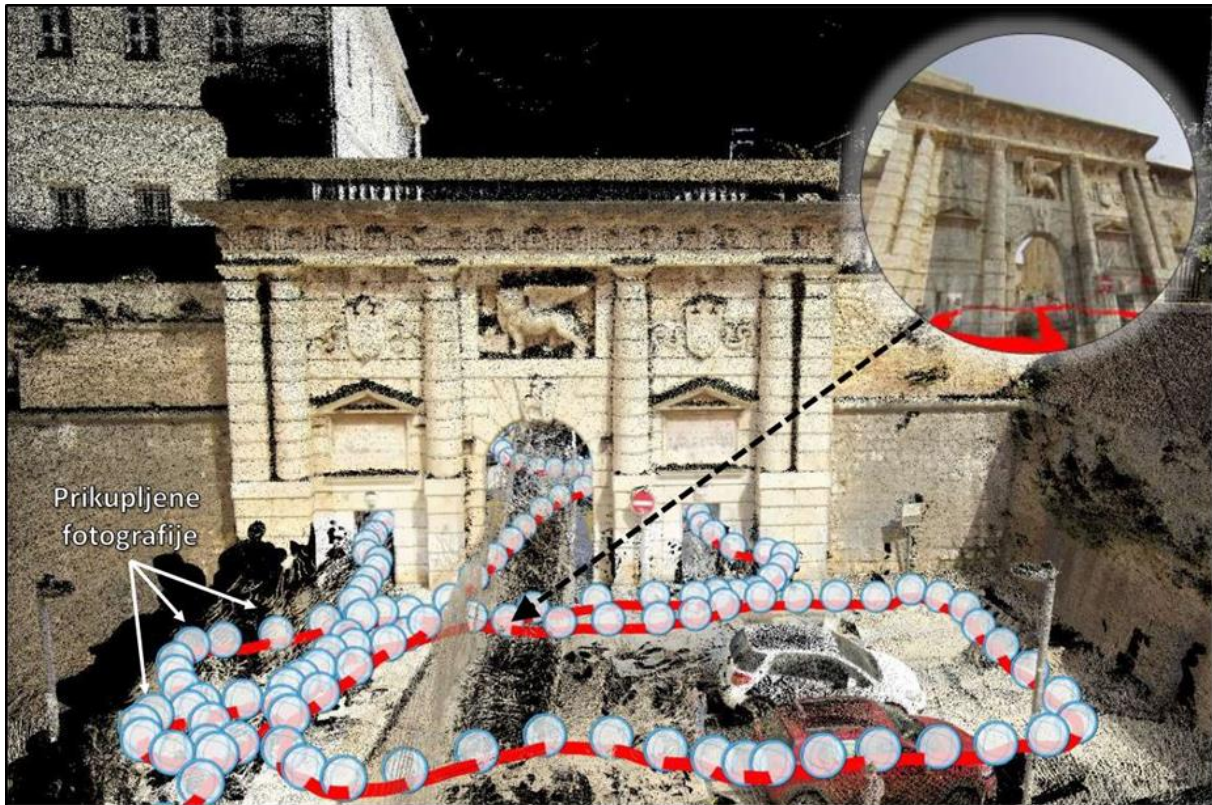
Početna i završna točka istraživanja nalazila se na bedemima i bila je izdvojena u odnosu na Kopnena vrata i na taj je način bila lako pamtljiva za „zatvaranje petlje“, što u ovom

slučaju nije bio problem, ali može biti u složenijim okruženjima (GeoSLAM, 2020). Prikupljene su tri referentne točke (ne računajući početnu/završnu točku) u području istraživanja na otprilike jednakim međusobnim udaljenostima po planiranoj ruti skeniranja (Slika 26).



Slika 26. Plan skeniranja ZEB Horizon GeoSLAM-om

Istovremeno s procesom prikupljanja podataka o geometriji, ZEB Horizon GeoSLAM prikupljao je podatke o teksturi Kopnenih vrata (Slika 27). Senzor za prikupljanje RGB informacija nije integriran u sami uređaj, već spada u jednu od mnogih opcija dodatne opreme s kojom se skener može nadograditi (GeoSLAM, 2020).



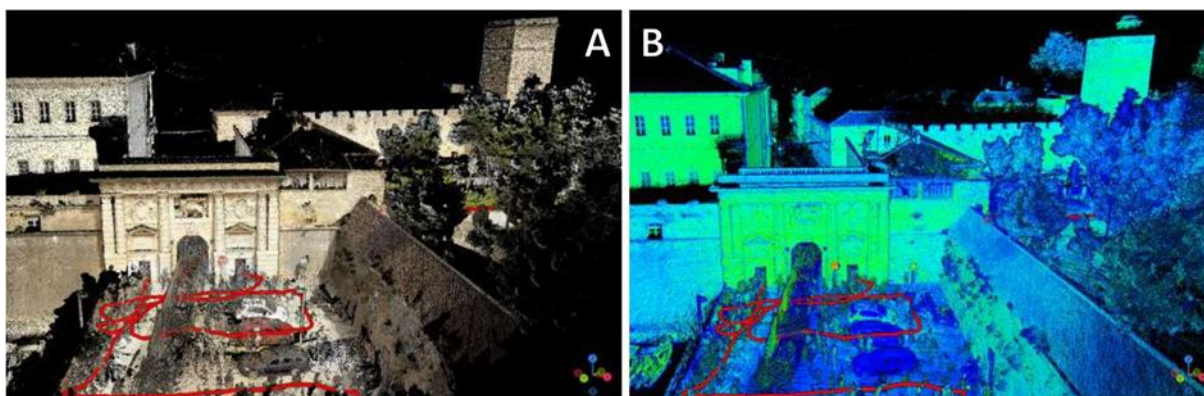
Slika 27. Proces dodavanja teksture na izrađeni oblak točaka iz fotografija prikupljenih s GeoSLAM-om

II. Obrada podataka u *GeoSLAM Connect* softveru

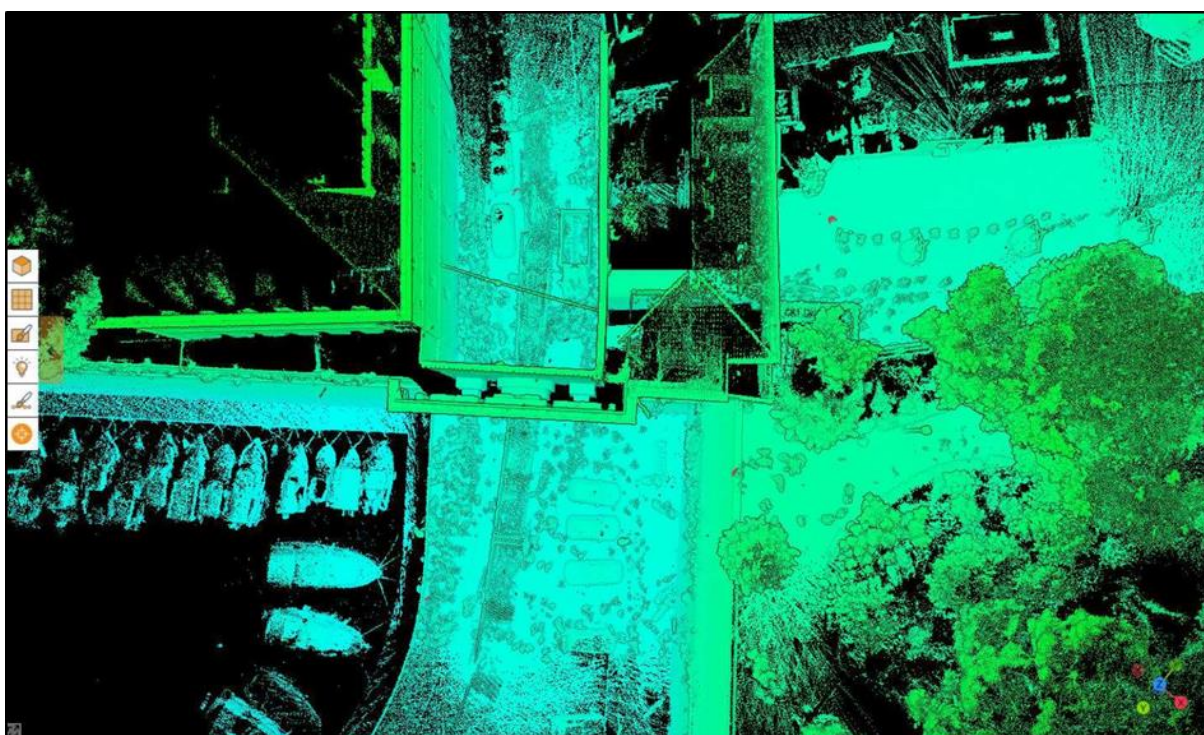
Obrada prikupljenih podataka u softveru *GeoSLAM Connect* obuhvaća nekoliko jednostavnih, pretežito automatiziranih koraka. Obrada podataka uključivala je registraciju prikupljenih skenova i izradu oblaka točaka te dodavanje triju referentnih točaka prikupljenih na terenu. Tekstura je automatski sinkronizirana s izrađenim oblakom točaka, nakon čega je izrađen finalni oblak točaka, koji je za svaku točku imao zabilježen RGB zapis i intenzitet laserske zrake (Slika 28). Na temelju tri dodane referentne točke izračunata je srednja pogreška izrađenog oblaka točaka (Tablica 8). Formula za izračun srednje pogreške:

$$\text{Srednja pogreška} = \frac{|\text{pogreška } x| + |\text{pogreška } y| + |\text{pogreška } z|}{3}$$

Nakon obrade izrađen je finalni oblak točaka prikupljen ZEB Horizon GeoSLAM-om (Slika 29) koji se sastoji od preko 56 milijuna točaka, a petina tog broja pripada dijelu oblaka koji se odnosi na prostor Kopnenih vrata.



Slika 28. Oblak točaka generiran iz podataka prikupljenih ZEB Horizon GeoSLAM-om (A – oblak točaka s teksturom; B – intenzitet prikupljenog oblaka točaka)



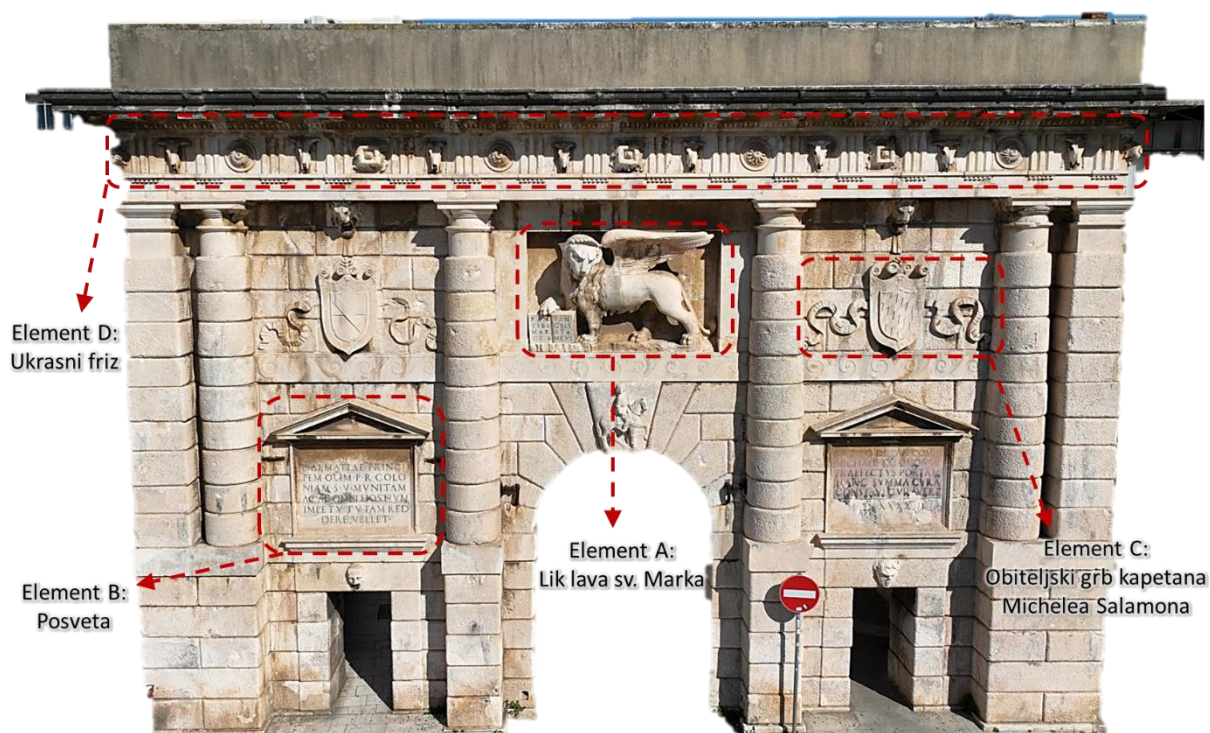
Slika 29. Ukupni oblak točaka prikupljen ZEB Horizon GeoSLAM-om

Tablica 8. Odstupanje položaja referentnih točaka dobivenih skeniranjem od stvarnih položaja referentnih točaka

Naziv	Pogreška x	Pogreška y	Pogreška z	Srednja pogreška
Referentna točka 1	0,000	-0,003	0,018	0,0070
Referentna točka 2	0,004	0,004	-0,005	0,0043
Referentna točka 3	-0,009	0,006	-0,001	0,0053

5.3.3. Usporedba modela Kopnenih vrata izrađenih TLS-om i GeoSLAM-om

Na Kopnenim vratima nalazi se mnoštvo simbola i ukrasnih elemenata koji su uobičajeni za sve građevine koje je projektirao Michele Sanmicheli. U svrhu usporedbe prikupljenih oblaka točaka, obratit će se posebna pažnja na četiri elementa (Slika 30) za koje je posebno važno da su detaljno modelirani.



Slika 30. Istaknuti elementi Kopnenih vrata za detaljniju analizu oblaka točaka

Prvi element je simbol Mletačke Republike – lav sv. Marka (A), zatim tabla s posvetom tadašnjem providuru (upravitelju) Diedu (B), obiteljski grb vojnog zapovjednika (kapetana) Salamona (C) i ukrasni friz s lubanjama ovjenčanih i žrtvovanih volova (D). Drugi razlog isticanja ovih elemenata je taj što se radi o dijelovima koji se međusobno razlikuju drukčijom dubinom reljefa i udaljenosti od tla tj. skenera što će omogućiti analizu svojstava GeoSLAM-a i TLS-a u različitim situacijama. Radi što ispravnijeg proučavanja prednje strane Kopnenih vrata, alatom „segment – by polygonal selection“ uklonjena je stražnja strana Kopnenih vrata u oba oblaka točaka. Stražnja strana je davala lažni dojam veće pokrivenosti gledajući sprijeda, iako u suštini postoje značajne praznine u oba oblaka točaka, a one se sada ističu bijelom bojom (boja pozadine u softverskom sučelju). Također, prilikom izračuna geometrijskih značajki izračuni će biti ispravniji za proučavane elemente s obzirom da će biti uključene isključivo

željene točke. Mjesta na kojima nema izvorne teksture Kopnenih vrata ističu se crnom bojom na prikazima s teksturom.

Za usporedbu detaljnosti dva izrađena oblaka točaka koristit će se geometrijske značajke u svrhu relativne usporedbe ovih dvaju oblaka točaka. Geometrijske značajke analiziranih oblaka točaka izračunate su u *CloudCompare* softveru, pomoću alata za statističku analizu geometrijskih karakteristika oblaka točaka. Kako bi se dobila bolja percepcija o detaljnosti primjenjenih geoprostornih tehnologija, provedena je analiza sljedeće dvije geometrijske značajke oblaka točaka: volumetrijske gustoće (eng. *volume density*) i površinske varijacije (eng. *surface variation*).

Informacija o gustoći oblaka točaka može biti primijenjena u praćenju promjena, kontroli kvalitete nekog proizvoda, proučavanju vegetacije ili u algoritmima za prepoznavanje različitih značajki. Volumetrijska gustoća je parametar koji izražava koncentraciju (broj) točaka u određenom volumenu ili regiji, u ovom slučaju u 1 m^3 , a funkcionira po formuli *number of neighbors/neighborhood volume*. Algoritam traži sve susjedne točke svakoj pojedinačnoj točki u željenom radijusu ($r(1 \text{ m}^3) = 0,62035$).

Geometrijska značajka površinske varijacije u analizi oblaka točaka opisuje varijacije u geometriji, obliku ili strukturi površina objekata koji su reprezentirani u oblaku točaka. Analiza površinske varijacije može dati važne informacije o topografiji, strukturi i svojstvima skenirane površine. Visoke varijacije u površini mogu otkriti potencijalna oštećenja ili područja intenzivnijeg trošenja. Površinska varijacija se računa na temelju svojstvenih vrijednosti (eng. *eigenvalues*) i svojstvenih vektora (eng. *eigenvectors*), a formula glasi $\lambda_3/(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3)$, s time da λ predstavlja svojstvene vrijednosti za svaku od triju osi (x,y,z) u trodimenzionalnom okruženju (Hackel i dr. 2016).

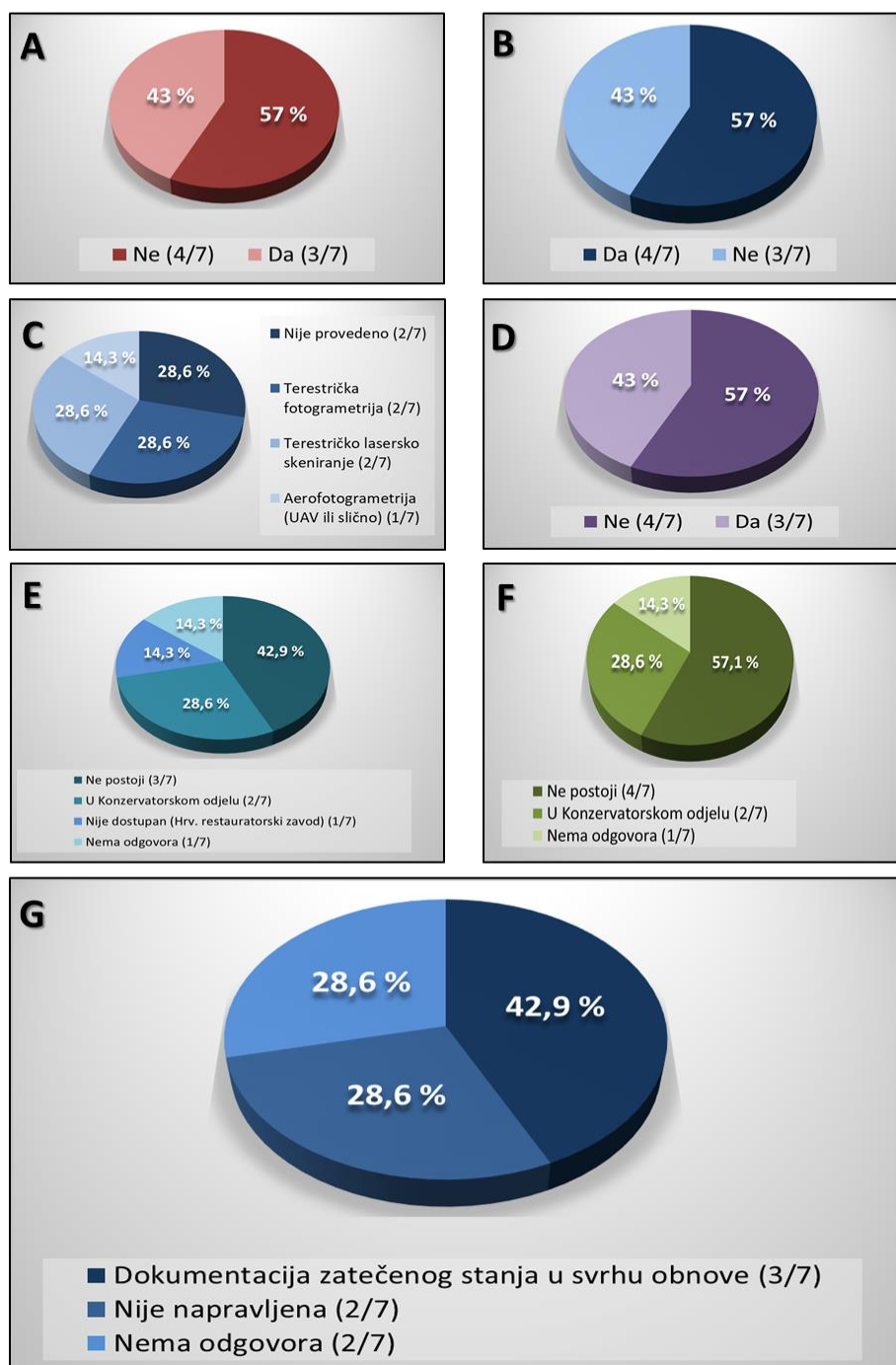
6. REZULTATI

6.1. Analiza anketnog upitnika provedenog na makro razini istraživanja

Proučavanje literature i *web* Registra kulturnih dobara **nije dalo odgovor** na pitanje o trenutnoj zastupljenosti 3D dokumentacije UNESCO-ove Svjetske kulturne baštine u Hrvatskoj. Nepostojanje bilo kakvih podataka u literaturi, internetskim izvorima i službenim stranicama, na neki je način također informacija koja ukazuje da se izvješća o 3D dokumentaciji kulturne baštine u Republici Hrvatskoj ne objavljuju na javno dostupnim mjestima. Pretraživanje *Europeane* također nije bilo uspješno, jer određeni sadržaj i baze podataka nisu dostupne korisnicima bez profesionalne ili akademske licence. Anketni upitnik

proveden internetskim putem među konzervatorskim odjelima ispunili su svi kojima je poslan, a odgovori na odabrana pitanja koja će se analizirati u nastavku prikazani su grafički (Slika 31). Pri narednoj analizi i donošenju zaključaka treba izuzeti Starogradsko polje jer Konzervatorski odjel Split nije uzeo u obzir taj kulturni krajolik prilikom ispunjavanja anketnog upitnika.

- A** Je li za označena kulturna dobra napravljeno digitalno dokumentiranje?
- B** Ako digitalno dokumentiranje nije napravljeno, postoji li plan za to?
- C** Ako je digitalno dokumentiranje napravljeno, koja metoda/e je korištena?
- D** Je li navedeno digitalno dokumentiranje rezultiralo 3D modelom?
- E** Ako postoji, je li 3D model javno dostupan i gdje?
- F** Ako je napravljeno digitalno dokumentiranje, postoji li izvješće i gdje se nalazi?
- G** U koju svrhu je napravljeno digitalno dokumentiranje?



Slika 31. Analiza odgovora na odabrana pitanja prikupljenih anketnim upitnikom među odabranim konzervatorskim odjelima

Na prvo pitanje (Slika 31. A) većina ispitanika (4/7) odgovorila je da digitalno dokumentiranje UNESCO-ovih kulturnih dobara u nadležnosti njihovog konzervatorskog odjela nije do sada napravljeno. Iz toga je vidljivo da unatoč smjernicama Europske komisije, UNESCO-a i drugih međunarodnih organizacija za zaštitu kulturne baštine, u Hrvatskoj još uvijek nije napravljena 3D dokumentacija za većinu najvrijednije kulturne baštine. Naime, prema rezultatima provedenog anketiranja čak 57 % anketiranih konzervatorskih odjela još uvijek nije napravilo 3D dokumentaciju UNESCO-ve nematerijalne kulturne baštine.

Na pitanje o postojanju planova za digitalizaciju u budućnosti (Slika 31. B) isti udio kao i kod prethodnog pitanja (57 %) odgovara da postoji projekt, kojim bi se UNESCO-ova kulturna dobra u njihovoj nadležnosti trebala digitalno dokumentirati u budućnosti. Iz navedenog je vidljivo da svi konzervatorski odjeli koji nemaju 3D dokumentaciju za Svjetsku baštinu u svojoj nadležnosti ju planiraju digitalno dokumentirati u doglednoj budućnosti. Zbog toga je moguće pretpostaviti da će se zastupljenost 3D dokumentacije u budućnosti ipak povećati.

Na sljedeće pitanje (Slika 31. C) dvoje ispitanika odgovara da nisu proveli digitalno dokumentiranje, a oni koji su do sada napravili dokumentaciju UNESCO-ve kulturne baštine (5/7) koristili su sljedeće metode: terestrička fotogrametrija (2/7), terestričko lasersko skeniranje (2/7), aerofotogrametrija (1/7). Ovdje treba ukazati na nedosljednost u popunjavanju ankete. Naime, pet od sedam anketiranih konzervatorskih odjela tvrdi da je provelo neku vrstu digitalnog dokumentiranja korištenjem navedenih geoprostornih tehnologija, dok su ranije samo tri odjela navela da su uopće do sada napravili dokumentaciju UNESCO-ve kulturne baštine.

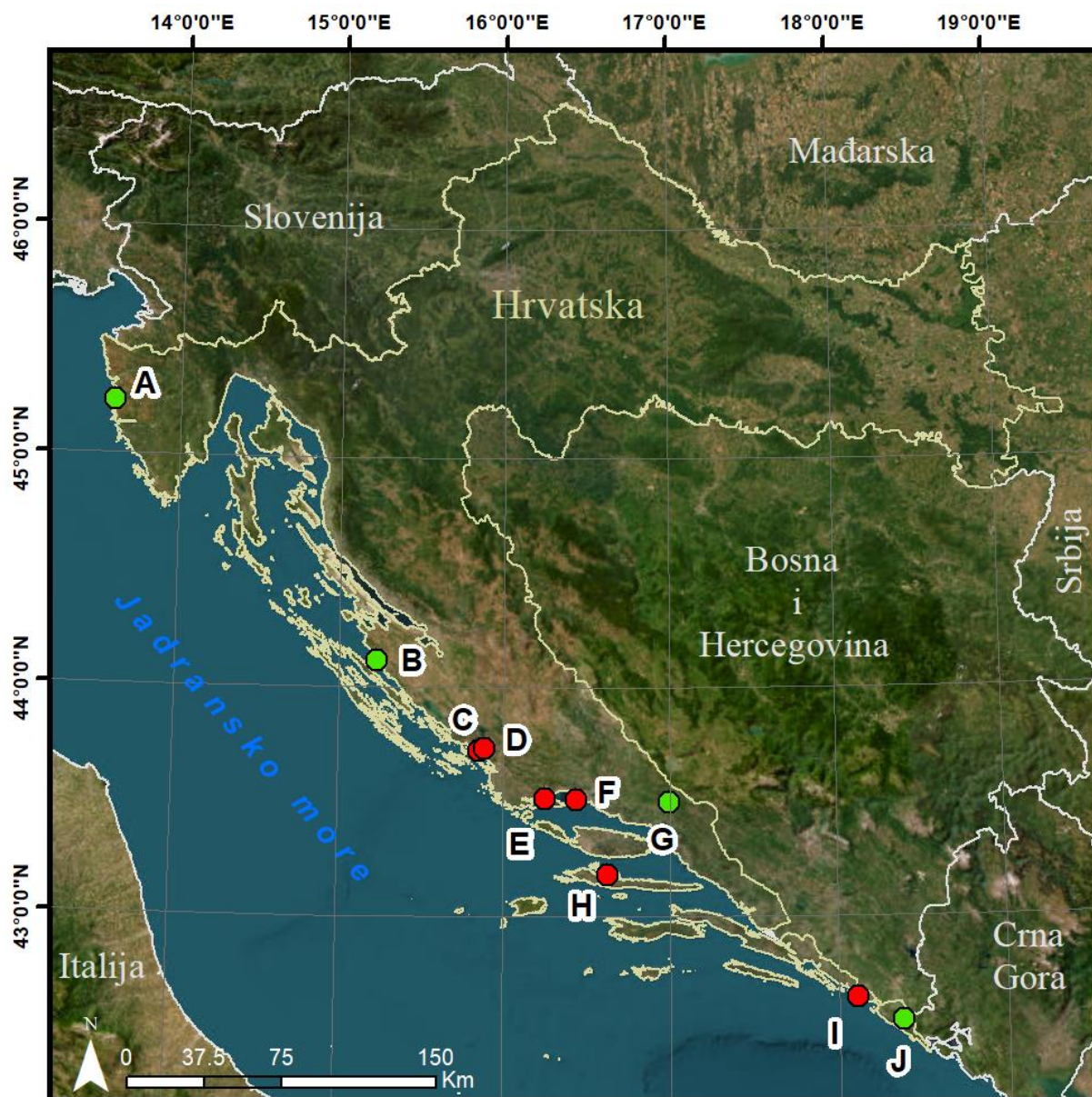
Iz odgovora na četvrto pitanje anketnog upitnika (Slika 31. D) vidljivo je da su svi konzervatorski odjeli koji su do sada proveli 3D dokumentaciju UNESCO-ve kulturne baštine, za istu i napravili odgovarajuće 3D modele. Sukladno tome, četiri konzervatorska odjela (57 %) nemaju niti provedenu dokumentaciju kulturne baštine, ni izrađene 3D modele. Također, sljedeće pitanje (Slika 31. E) vezano za dostupnost izrađenih 3D modela, ukazuje na to da čak i ako 3D modeli jesu izrađeni, oni često nisu javno dostupni². Slično je i sa izvješćem o provedenoj dokumentaciji kulturne baštine (Slika 31. F), koje i ako postoji se najčešće čuva u konzervatorskim odjelima.

² Postavlja se pitanje zašto Konzervatorski odjel Dubrovnik nije prepoznao 3D model iz aplikacije *DU3D* kao primjer javno dostupne 3D dokumentacije u Gradu Dubrovniku. Do objašnjenja se pokušalo doći daljnjom komunikacijom, no bez uspjeha, pa odgovor iz ankete ostaje kao važeći podatak.

Izvješće o dokumentaciji glavni je produkt digitalne dokumentacije kulturne baštine izuzev samog modela. Iz njega se mogu izvući podaci o svrsi 3D dokumentiranja, metodologiji, kvaliteti modela itd. Postojanje izvješća bi uvelike razjasnilo o kojim se UNESCO-ovim kulturnim dobrima radi s obzirom na to da se ovom anketom ispituje samo trenutačno stanje zastupljenosti 3D dokumentacije UNESCO-ove Svjetske baštine na razini konzervatorskih odjela, a ne pojedinačnih dobara. Znači, može biti da je digitalizirano samo jedno ili pak sva UNESCO-ova kulturna dobra za koje je nadležan konzervatorski odjel.

Što se tiče svrhe provedene dokumentacije UNESCO-ve kulturne baštine (Slika 31. G), većina ispitanika (3/7) odgovorila je da je svrha dokumentacije bila „dokumentacija zatečenog stanja i izrada projekta obnove“ (3/7).

Digitalna 3D dokumentacija kulturne baštine slabo je zastupljena u Hrvatskoj, čak i kad je riječ o najreprezentativnijim (UNESCO) spomenicima u zemlji (Slika 32). Budući da je anketa jedini čvrsti izvor podataka na ovoj razini istraživanja, rezultati ankete bit će temelj donošenja odluke o potvrđivanju ili odbacivanju hipoteze. Trenutačno stanje 3D dokumentacije nije zadovoljavajuće te bi se u svrhu kvalitetnijeg i trajnog očuvanja kulturne baštine trebalo usmjeriti prema češćoj primjeni geoprostornih tehnologija za 3D dokumentiranje. Kada bi baze podataka bile aktualizirane i otvorenog pristupa, bilo bi mnogo lakše pristupiti željenim podacima u svrhu istraživanja, ili edukacije, a sami djelatnici konzervatorskih odjela bi trošili manje vremena na pojedinačne zahtjeve. Svrha ankete bila je otkriti informacije koje nisu javno dostupne i dobiti uvid u funkcioniranje sustava zaštite kulturne baštine. Nažalost, stečen je dojam da je prilično izazovno doći do željenih podataka, čak i kada oni postoje. Bitno je naglasiti da ovo nisu službeni podaci konzervatorskih odjela ili Ministarstva kulture i medija, pa ih treba kao takve i promatrati.

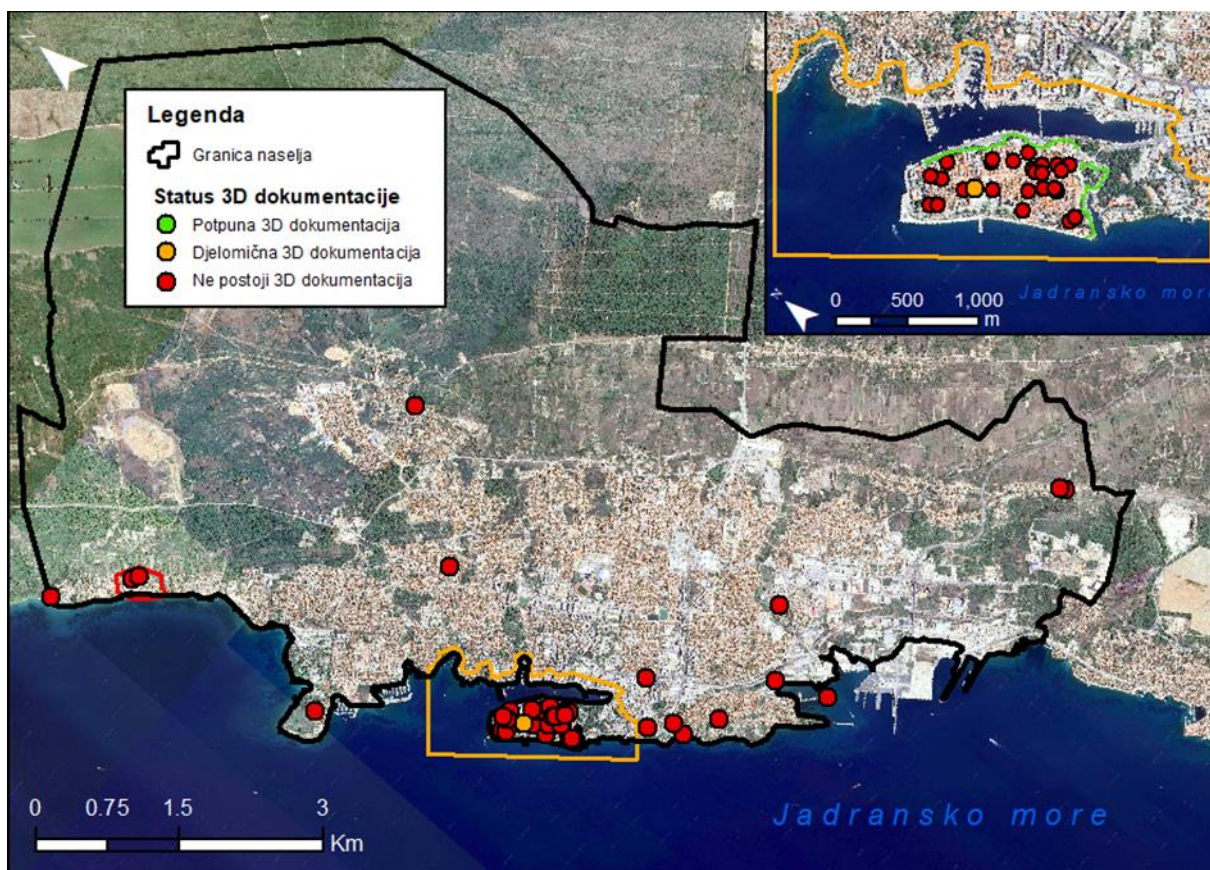


Slika 32. 3D dokumentirana UNESCO-ova nepokretna kulturna dobra u Republici Hrvatskoj

6.2. Rezultati mezo razine istraživanja

Pretraživanjem *web* Registra kulturnih dobara prikupljeni su podaci o nepokretnim kulturnim dobrima u Gradu Zadru. Budući da prema *Pravilniku o obliku, sadržaju i načinu vođenja Registra kulturnih dobara Republike Hrvatske* (NN 19/2023) nije obavezno navesti podatak o digitaliziranosti u sadržaj metapodataka određenog kulturnog dobra, odlučeno je poslati upit u Konzervatorski odjel Zadar. Iz KO-a Zadar dolazi odgovor da ustanova ne posjeduje digitalnu dokumentaciju, a time ni 3D model, ni za jedno kulturno dobro, ali tvrdi da je u tijeku proces digitalizacije baštine. Prema uputama djelatnika KO-a Zadar odlučeno je poslati upit u Arheološki muzej Zadar koji ima djelomičnu nadležnost nad kulturnim dobrima u Zadru. Iz muzeja odgovaraju da je djelomično provedena 3D dokumentacija jednog dijela

kulturnog dobra *Episkopalni kompleks*, odnosno da postoji 3D model crkve sv. Donata izrađen u svrhu izrade plana obnove i praćenja stanja građevine. Do modela ili izvješća na žalost nije moguće doći, jer se nalazi u arhivima Arheološkog muzeja u Zadru u analognom formatu i stoga nije jasno koja je metoda korištena. Također, potvrđeno je da postoji 3D model za dio *Kulturnopovijesne cjeline Zadra*, odnosno za mletačke bedeme koji su morali biti digitalizirani zbog nominacije za UNESCO, no ni taj model nije dostupan. Zadarski obrambeni sustav u cijelosti je laserskim skenerom dokumentirala tvrtka *Vektra d.o.o* za potrebe UNESCO-ove nominacije, no nažalost prikupljeni podaci i izrađeni modeli nisu javno dostupni. U Konzervatorskom odjelu Zadar posjeduju samo analogno izvješće o provedenoj dokumentaciji, dok je podatke moguće dobiti samo na upit od firme koja je radila skeniranje. Ipak, velik je nedostatak da model nije javno dostupan na službenim *web* stranicama Grada Zadra, Turističke zajednice, na nekoj od digitalnih platformi, pa ni na *web* stranicama UNESCO-a za čije potrebe je i izrađen. Dakle, od ukupnih četrdeset i sedam materijalnih nepokretnih kulturnih dobara u Gradu Zadru, digitalno 3D dokumentiranje provedeno je za **dva kulturna dobra** (4,3 %). Točnije 3D dokumentacija je napravljena za dobra unutar **dvije skupine** kulturnih dobara, s time da nije dokumentirana sva baština u tim skupinama već samo dijelovi (Slika 33). Ako se izuzmu arheološka dobra i kulturno-povijesne cjeline, riječ je o jednom djelomično 3D dokumentiranom dobru od trideset i devet nepokretnih pojedinačnih kulturnih dobara (2,6 %).



Slika 33. 3D dokumentirana nepokretna kulturna dobra u Gradu Zadru

6.3. Rezultati mikro razine istraživanja

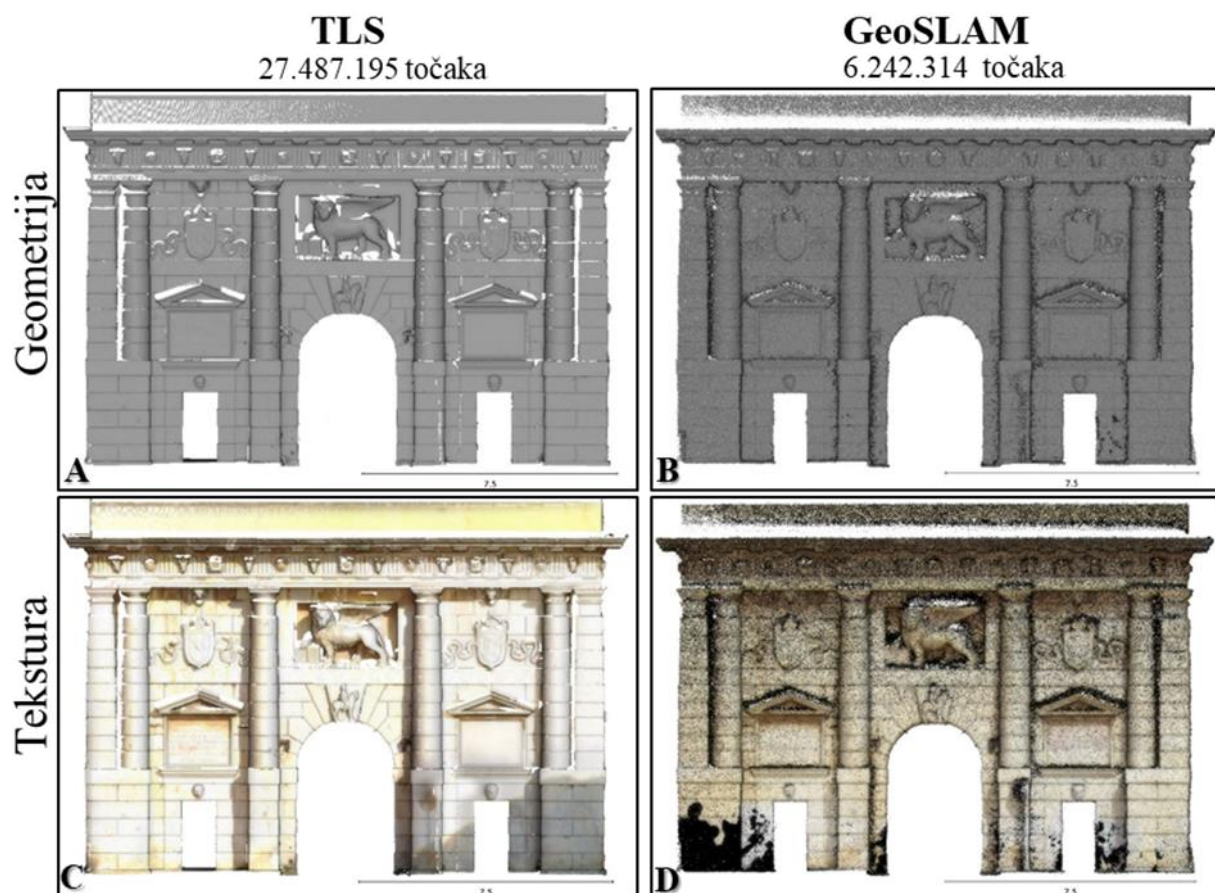
Terenska skeniranja provedena FARO Focus M70 TLS-om i prijenosnim skenerom ZEB Horizon GeoSLAM rezultirala su s dva izrađena oblaka točaka Kopnenih vrata. U nastavku će se usporediti izrađeni oblaci točaka s naglaskom na razlike u detaljnosti prikaza i pokrivenosti odabranih dijelova Kopnenih vrata.

6.3.1. Značajke izrađenih oblaka točaka Kopnenih vrata

Nakon osnovnog filtriranja i uklanjanja nepotrebnih dijelova oblaka točaka izrađenog TLS-om, u generiranom oblaku točaka Kopnenih vrata ostalo je 27 487 195 točaka. Oblak točaka Kopnenih vrata izrađen GeoSLAM-om ima znatno manje točaka, odnosno 6 242 314. Oblak točaka prednje (jugoistočne) strane Kopnenih vrata, koja je predmet ove usporedbe, sastoji se od trostruko većeg broja točaka u TLS oblaku točaka (Slika 34. A) u odnosu na oblak točaka prikupljen GeoSLAM-om (Slika 34. B).

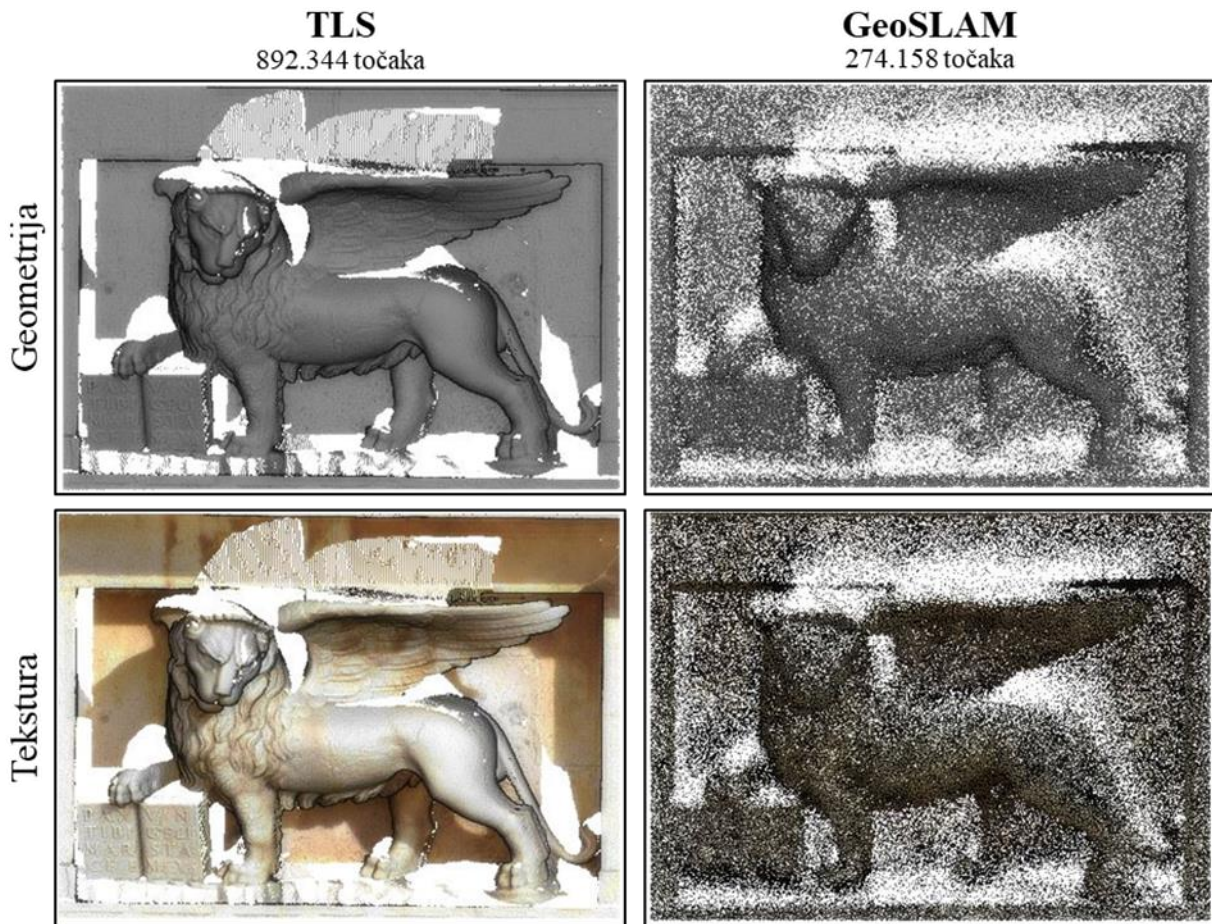
Razlika u gustoći prikupljenih oblaka točaka vidjet će se mnogo jasnije u nastavku na uvećanim prikazima pojedinih elemenata. Iako u ukupnom broju točaka prednjači TLS, na

određenim teško dostupnim i kompleksnim dijelovima Kopnenih vrata GeoSLAM je postigao bolju pokrivenost, poput primjerice na okviru u kojem se nalazi lav sv. Marka ili na zabatu iznad lijeve table s posvetom (Slika 34. A). Bolja pokrivenost ovih teško dostupnih dijelova reljefa kulturne baštine ostvarena je prvenstveno zahvaljujući mobilnom načinu skeniranja iz mnogo više položaja u odnosu na statički TLS-a (Cabo i dr., 2018). Dio iznad ukrasnog friza, na samom vrhu Kopnenih vrata, mnogo je bolje dokumentirao TLS (Slika 34. C), zbog skeniranja s jednog udaljenijeg stajališta kojim je taj dio obuhvaćen te zbog drugog stajališta koje je bilo otprilike na visini lavljeg reljefa. S druge strane, izbočeni rub iznad friza blokirao je laserske zrake GeoSLAM-a i taj dio ostavio nedokumentiranim. Terensko snimanje GeoSLAM-om provedeno je u vrijeme turističke sezone kada je cirkulacija ljudi kroz Kopnena vrata bila mnogo veća nego prilikom skeniranja TLS-om. Posljedice toga su vidljive u donjem lijevom kutu GeoSLAM oblaka točaka s teksturom (Slika 34. D), u kojem su ljudske sjene prekrile dio izvorne teksture. Slično se dogodilo i u TLS oblaku točaka (Slika 34. C), gdje je krošnja stabla stvorila sjenu na teksturi. Stoga bi za postizanje optimalne pokrivenosti 3D modela, na ovom području istraživanja, bilo bolje skeniranje izvršiti u vrijeme manjeg protoka ljudi i u drugom vegetacijskom razdoblju.



Slika 34. Usporedba detaljnosti oblaka točaka Kopnenih vrata prikupljenih TLS-om i GeoSLAM-om bez teksture (A-B) i s izvornom teksturom (C-D)

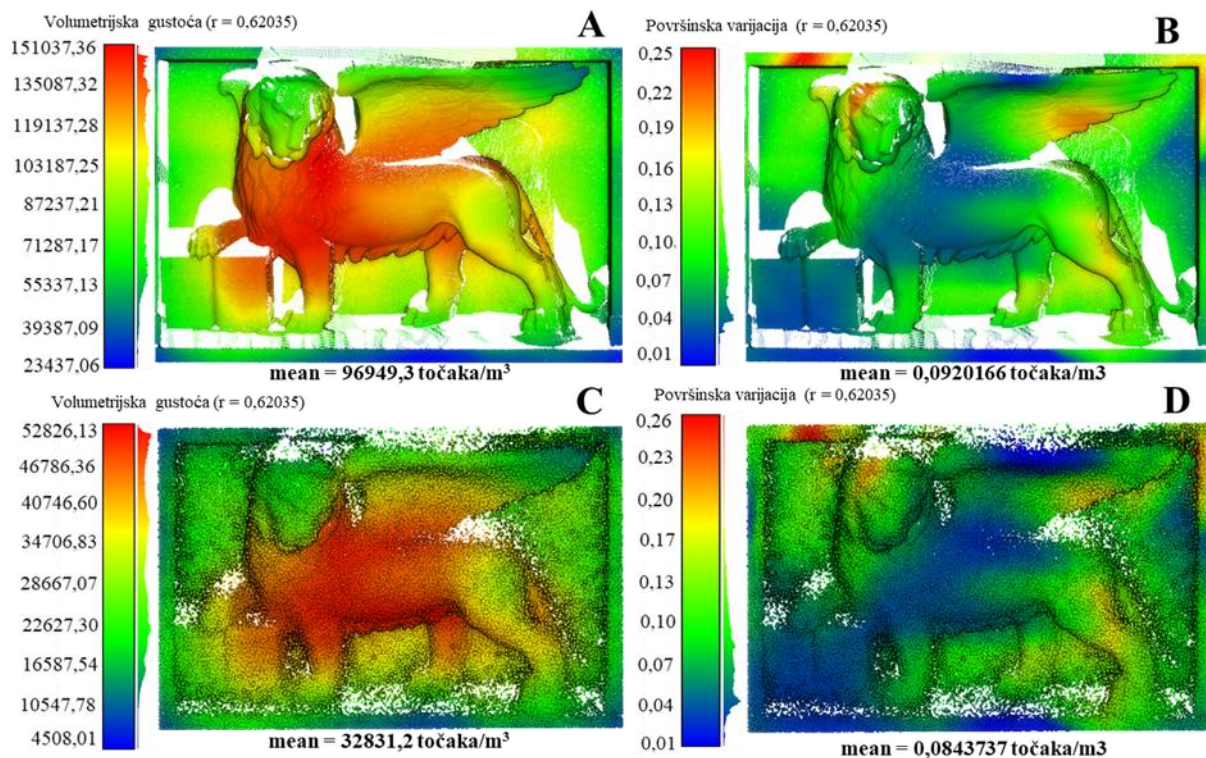
Najistaknutiji element na Kopnenim vratima zasigurno je skulptura lava sv. Marka, zaštitnika Mletačke Republike, koja se nalazi na svim javnim građevinama iz tog doba. Reljef lava ujedno je i najrašćlanjeniji („najkompleksniji“) reljef, s nekim dijelovima koji su potpuno odvojeni od pozadine, poput glave i krila. U TLS oblaku točaka primjećuje se lošija pokrivenost i veći broj praznina na područjima koja prekriva reljef (Slika 35). Razlog tome je ograničenost TLS-a na svega pet položaja u ovom istraživanju, odnosno na samo tri s kojih se mogu skenirati ta područja. S druge strane, GeoSLAM uspješno rješava ovaj nedostatak statičkog skeniranja, jer može snimati iz neograničeno mnogo položaja na ruti kojom se operater kreće. Taj nedostatak TLS-a se do određene mjere ublažio skeniranjem s višeg stajališta na bedemima, ali ne u potpunosti. Zahvaljujući tom stajalištu koje se nalazi sjeveroistočno od Kopnenih vrata, gotovo na istoj razini kao i reljef lava, pokrivenost je izvrsna na leđima i gornjem dijelu glave, koje nije moguće skenirati isključivo odozdo, a isto vrijedi i za GeoSLAM oblak točaka. Detaljnost TLS-a najbolje je vidljiva na tekstu u knjizi koji je dovoljno jasan da se može čitati (Slika 35) zahvaljujući postavljenom razmaku između točaka od 3,1 mm na 10 metara udaljenosti. U GeoSLAM oblaku točaka od cijelog elementa prepoznatljivi su samo grubi obrisi reljefa, jer je za veću detaljnost gustoća točaka jednostavno nedovoljna.



Slika 35. Usporedba detaljnosti oblaka točaka prikupljenih TLS-om i GeoSLAM-om za element „mletački lav“ s izvornom teksturom i bez teksture

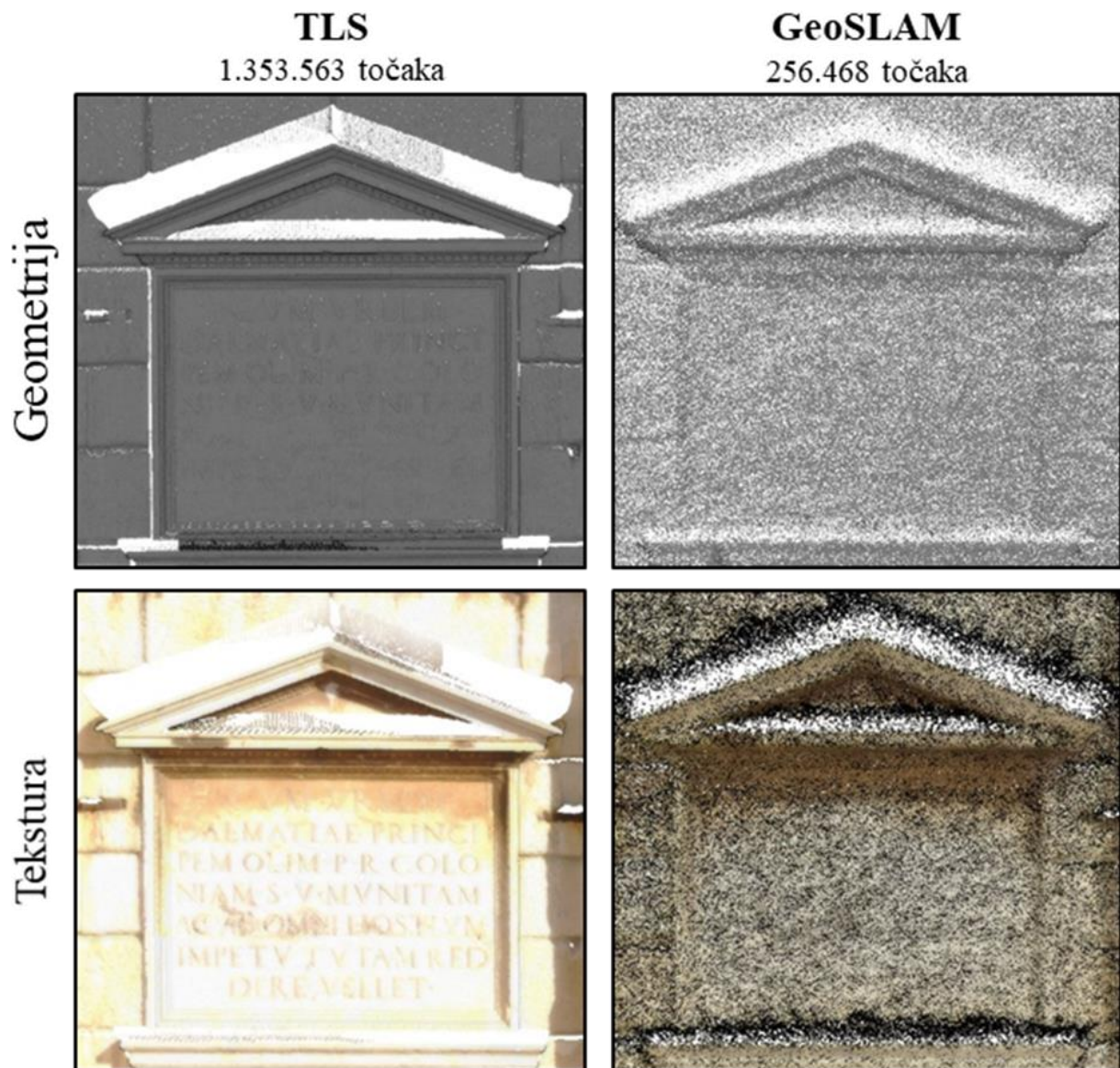
6.3.2. Relativna usporedba TLS-a i GeoSLAM-a

U nastavku su dani rezultati relativne usporedbe dva oblaka točaka, koji su iskazani kroz volumetrijsku gustoću i površinsku varijaciju analiziranih oblaka točaka. Mjesta s maksimalnim i minimalnim vrijednostima volumetrijske gustoće gotovo su jednaka u oba oblaka točaka za element mletačkog lava: TLS (Slika 36. A) i GeoSLAM (Slika 36. C), iako se prosječna gustoća znatno razlikuje. Vrijednost prosječne volumetrijske gustoće točaka u 1 m^3 trostruko je veća za TLS oblak točaka, što je i očekivano, međutim karakteriziraju ga veće praznine odnosno nedokumentirani dijelovi i slabija pokrivenost u odnosu na GeoSLAM oblaku točaka. Razlog je statičnost TLS-a zbog koje je ograničen na skeniranje iz mnogo manjeg broja položaja. Područja male površinske varijacije u većoj se mjeri podudaraju se s područjima gdje je gustoća točaka najveća. Vrijednosti prosječne površinske varijacije vrlo su slične u oba oblaka točaka, kao i mjesta s maksimalnom i minimalnom vrijednošću (Slika 36. B-D).



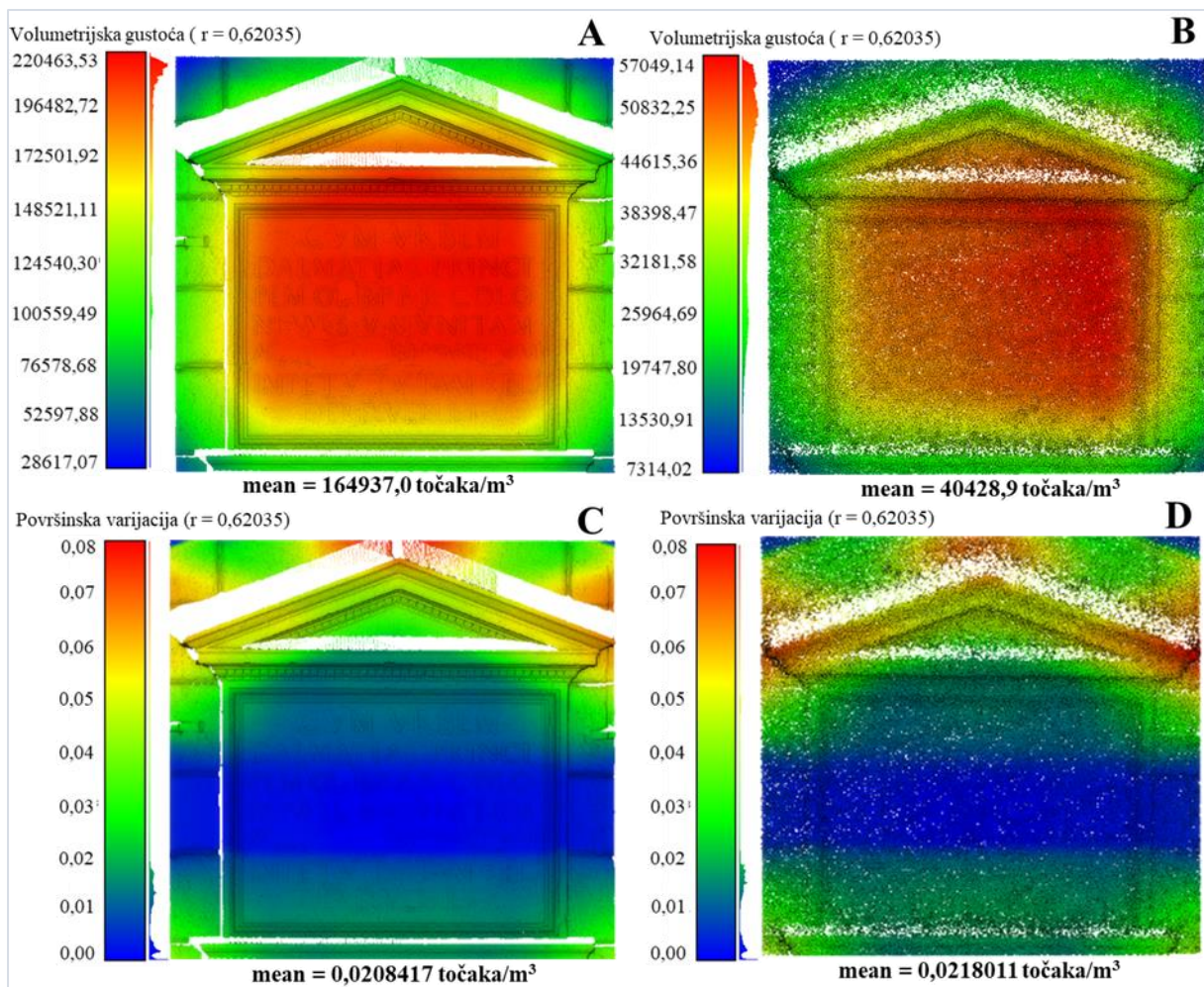
Slika 36. Usporedba volumetrijske gustoće i površinske varijacije na oblacima točaka prikupljenima TLS-om (A,B) i GeoSLAM-om (C, D) za element „mletački lav“

Na elementu table s posvetom (Slika 37) obje su tehnologije imale poteškoća s područjem iznad i ispod trokutastog zabata, ali je GeoSLAM ipak bolje skenirao to područje, iako se radi o znatno manjoj gustoći točaka od one u TLS oblaku točaka. GeoSLAM je prikupio ograničen broj točaka na tim područjima, ali time je to područje ipak dokumentirano do određene razine, dok je u TLS oblaku točaka to područje potpuno prazno, kako u geometrijskom prikazu, tako i u prikazu teksture.



Slika 37. Usporedba detaljnosti oblaka točaka prikupljenih TLS-om i GeoSLAM-om za element „posveta“ s izvornom teksturom i bez teksture

Element table s posvetom je u oba slučaja jedan od najgušće dokumentiranih dijelova Kopnenih vrata (Slika 38). Površinska varijacija (Slika 38. C-D) je vrlo niska na velikom dijelu elementa koji je većinom ravna ploha, stoga ne čudi izostanak većih odstupanja, dok se veća varijacija vidi na području trokutastog zabata. Volumetrijska gustoća (Slika 38. A-B) najveća je na plošnom središnjem dijelu elementa, a opada prema rubovima, što je primjetno kod oba oblaka točaka.

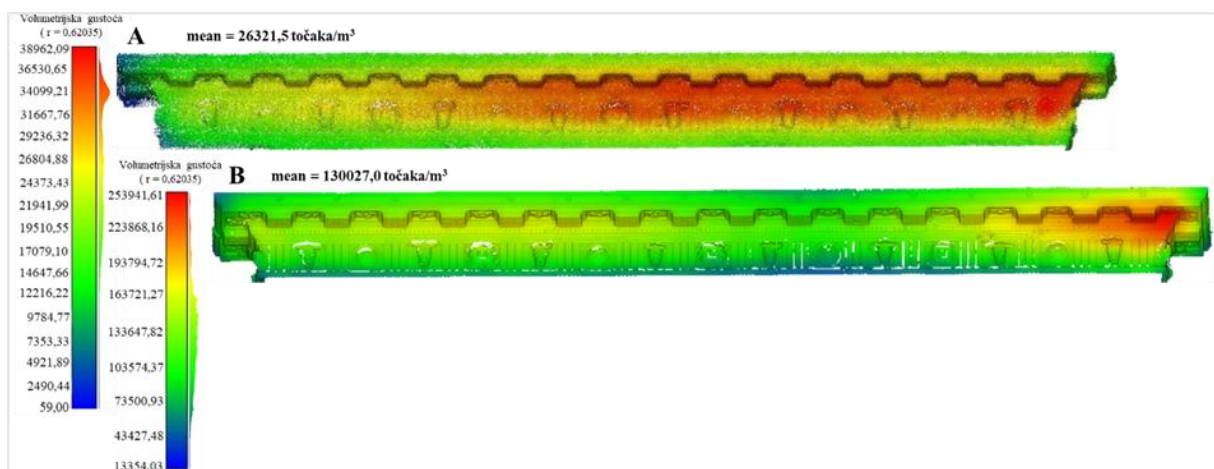


Slika 38. Usporedba volumetrijske gustoće i površinske varijacije na oblacima točaka prikupljenima TLS-om (A) i GeoSLAM-om (B) za element „tabla s posvetom“

Ukrasni friz s lubanjama ovjenčanih i žrtvovanih volova (Slika 39) najviši je ukrasni element, a ujedno i element s najvećom horizontalnom dimenzijom na Kopnenim vratima. Proteže se cijelom njihovom duljinom od 14 metara na visini od gotovo 7 metara iznad ceste. Ovaj element u TLS oblaku točaka čine 3 332 453 točke (Slika 39 – B1, B2), a u GeoSLAM oblaku točaka 680 423 točke (Slika 39 – A1, A2). Radi se o možda i najvećoj razlici u gustoći oblaka točaka među svim istaknutim elementima, što je izraženo i u volumetrijskoj gustoći (Slika 40). Odgovor se može pronaći u većem dometu i gušćem uzorku točaka na većoj udaljenosti FARO Focus M70 TLS-a u odnosu na ZEB Horizon GeoSLAM ručni skener. Unatoč tome, može se zaključiti da je GeoSLAM postigao bolju pokrivenost na ovom elementu, s manje praznina, iako je u konačnici detaljnost prikaza osjetno lošija.

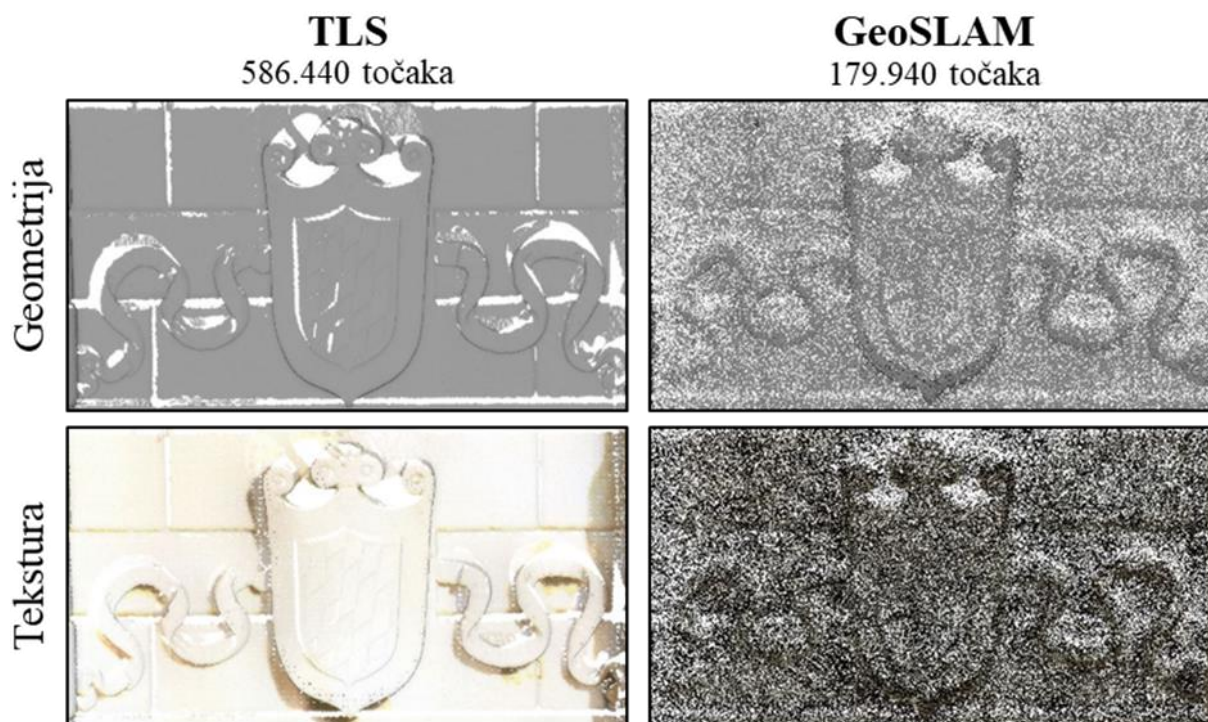


Slika 39. Usporedba detaljnosti oblaka točaka prikupljenih GeoSLAM-om (A1, A2) i TLS-om (B1, B2) za element „ukrasni friz“ s izvornom teksturom i bez teksture



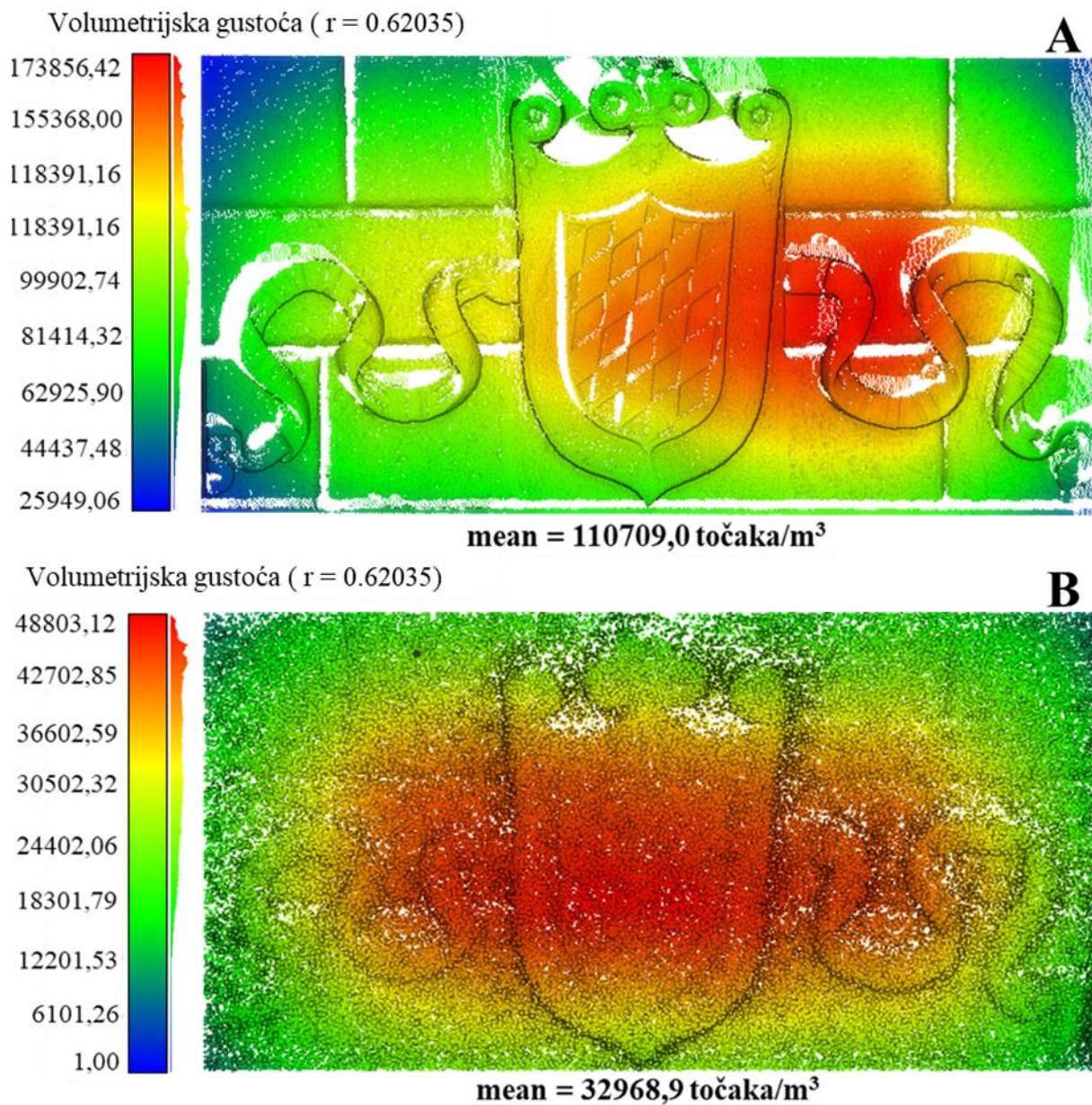
Slika 40. Usporedba volumetrijske gustoće u oblacima prikupljenima GeoSLAM-om (A) i TLS-om (B) za element „ukrasni friz“

Obiteljski grb kapetana Salamona (Slika 41) koji se nalazi iznad desnog pješačkog prolaza, kao i u prethodnim slučajevima detaljnije je dokumentiran TLS-om, pa se čak nazire plitki romboidni uzorak u središtu grba. Međutim, u TLS oblaku točaka postoji mnogo praznina u kojima nema nikakvog podatka, dok je u GeoSLAM oblaku točaka cijeli element u potpunosti dokumentiran. Nedostatak GeoSLAM oblaka točaka jest niska detaljnost zbog kojih se prikaz s teksturom jedva razlikuje od geometrijskog prikaza.



Slika 41. Usporedba detaljnosti oblaka točaka prikupljenih TLS-om i GeoSLAM-om za element „grb kapetana Salamona“ s izvornom teksturom i bez teksture

U GeoSLAM oblaku točaka (Slika 42. B), područje najveće volumetrijske gustoće je jednoličnije raspoređeno po značajki, dok je u TLS oblaku točaka jedan određeni dio elementa skeniran znatno više od ostatka elementa (Slika 42. A). Ovakvo stanje se može obrazložiti mobilnošću GeoSLAM skenera prilikom snimanja i dužim vremenom provedenim na tom položaju. TLS skeniranje dijela Kopnenih vrata na kojem se nalazi ovaj element izvršeno je s tri stajališta od kojih su dva pozicionirana sjeveroistočno (desno u odnosu na element grba, Slika 42) u odnosu na ovaj element. Sa spomenuta dva položaja, skeneru je, pod malim kutom, bio vidljiv samo desni dio elementa pa je tamo prisutna i najveća gustoća točaka.



Slika 42. Usporedba volumetrijske gustoće za element „grb kapetana Salamona“ u oblacima točaka prikupljenima TLS-om (A) i GeoSLAM-om (B)

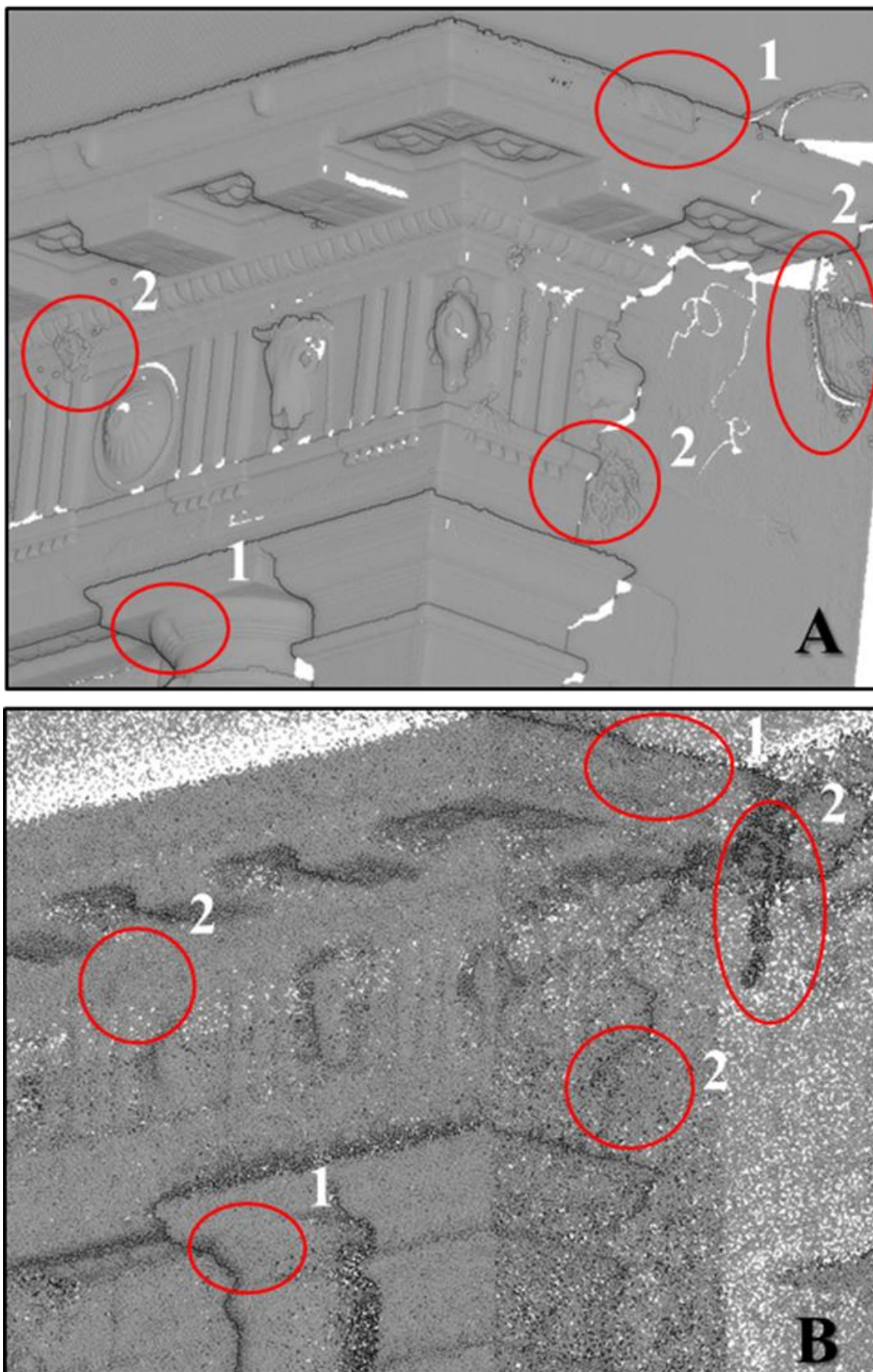
U Tablici 9 dane su vrijednosti volumetrijske gustoće za četiri proučavana elementa Kopnenih vrata. Gustoća oblaka točaka prikupljenih TLS-om najmanje je trostruko veća od volumetrijskih gustoća istih elemenata u GeoSLAM oblaku točaka. Maksimalna razlika može se primjetiti za element ukrasnog friza koja iznosi gotovo petsto posto u korist TLS-a.

Tablica 9. Volumetrijske gustoće odabranih elemenata Kopnenih vrata u oblacima točaka prikupljenima TLS-om i GeoSLAM-om

Element \ Skener		Volumetrijska gustoća oblaka točaka (točaka po m ³)		
		TLS	GeoSLAM	Razlika (u %)
Lav		96949,3	32831,2	295,3
Grb		110709,0	32968,9	335,8
Friz		130027,0	26321,5	494,0
Posveta		164937,0	40428,9	408,0

6.3.3. Detektirana oštećenja na Kopnenim vratima

U oblaku točaka prikupljenog FARO Focus M70 TLS-om (Slika 43. A) mogu se jasno razabrati manje i veće udubine i mjesta s izraslom vegetacijom. Da je prilikom skeniranja TLS-om odabrana rezolucija 1/1 detaljnost oblaka točaka bila bi još veća te bi se vidjele i sitnije nepravilnosti. Na nekim mjestima se nalaze praznine u oblaku točaka i nije moguće izvršiti analizu na njima, iako je zahvaljujući različitim kutovima skeniranja ovog dijela taj udio prilično reduciran. Vidljiv je i utjecaj bujne vegetacije koja raste iz raznoraznih pukotina u Kopnenim vratima i stvara prepreku laserskim zrakama. U oblaku točaka prikupljenog ZEB Horizon GeoSLAM-om (Slika 43. B) razabire se jedino veća vegetacija koja stvara sjenu i predstavlja smetnju u skeniranju Kopnenih vrata, no pukotine i udubine koje su odabrane kao primjer ne mogu se razabrati bez uspoređivanja s referentnim oblakom točaka prikupljenim TLS-om. Budući da nije dostupan nijedan raniji 3D model Kopnenih vrata nije moguće usporediti sadašnje s prijašnjim stanjem, odnosno ne može se donijeti konkretan zaključak o promjenama određenih oštećenja ili nastanku novih. Oblak točaka prikupljen TLS-om, zahvaljujući svojoj detaljnosti, može poslužiti kao podloga za kontinuirano nadziranje površinskog stanja Kopnenih vrata.



Slika 43. Oštećenja nastala trošenjem (1) i izrasla vegetacija (2) u oblacima točaka Kopnenih vrata prikupljenima TLS-om (A) i GeoSLAM-om (B)

7. RASPRAVA

Hipoteza 1 – *3D dokumentacija je u Republici Hrvatskoj napravljena za više od 50 % nepokretnih kulturnih dobara uvrštenih na UNESCO-ov Popis svjetske baštine*

Hipoteza se temelji na ciljevima Europske komisije u Europeana strategiji 2020. – 2025. (2030) (Commission Recommendation, 2021):

- osnaživanje europske digitalne infrastrukture i mreže kako bi se ubrzao proces stvaranja i dijeljenja digitalnog sadržaja
- jačanje kulturnih infrastruktura članica i usklađivanje nacionalnih platformi s Europeanom
- do 2030. godine digitalno dokumentirati 100 % spomenika i lokacija kojima prijeti rizik od degradacije i 50 % onih koji bilježe visoke brojke posjetitelja
- 40 % cjelokupnog novog sadržaja mora biti u 3D obliku

Prema odgovorima prikupljenima anketnim upitnikom, 43 % konzervatorskih odjela u Hrvatskoj je napravilo 3D dokumentaciju UNESCO-ove Svjetske baštine u svojoj nadležnosti. Na razini pojedinačnih kulturnih dobara, udio 3D dokumentirane kulturne baštine još je niži jer se radi o samo 3 od 8 UNESCO-ovih spomenika Svjetske kulturne baštine što iznosi 37,5 % (42,8 % bez Starograskog polja). Radi se o Eufrazijevoj bazilici, Mletačkim fortifikacijama iz 16. i 17. st. u Zadru i Srednjovjekovnim nadgrobnim spomenicima – stećcima. Ako se analiziraju lokaliteti UNESCO-ove Svjetske kulturne baštine u Hrvatskoj, tada je 3D dokumentacija izrađena za 4 od 10 lokaliteta što iznosi 40 % od ukupnog broja (44,4 % bez Starograskog polja). Prikaz zastupljenosti kroz postotak do određene mjere skriva realnu situaciju jer nije jednako digitalno dokumentirati nekoliko zasebno stojećih nadgrobnih spomenika relativno malih i jednostavnih dimenzija i primjerice kompletne kulturno-povijesne cjeline poput dubrovačke jezgre ili Dioklecijanove palače. Istraživanje je provedeno na razini kulturnih dobara s UNESCO-ovog Popisa svjetske baštine, te bi u svrhu dobivanja detaljnijih podataka trebalo provesti istraživanje za svako od kulturnih dobara s Popisa svjetske baštine koristeći pojedinačne zaštićene objekte unutar njih kao minimalnu jedinicu proučavanja. UNESCO-ova Svjetska baština predstavlja najreprezentativnije spomenike ljudske civilizacije, a time i najposjećenije kulturne znamenitosti mnogih država, kao što je slučaj i u Hrvatskoj. Nažalost, velik broj kulturnih dobara s UNESCO-ovog Popisa svjetske baštine je ugrožen, i to upravo zbog visoke turističke posjećenosti i komercijalnog iskorištavanja, stoga bi ona trebala biti prioritet i primjer provedbe digitalnog dokumentiranja kulturne baštine. Vodeći se odgovorima konzervatorskih odjela iz anketnog upitnika, može se zaključiti kako stanje

digitalne 3D dokumentacije UNESCO-ove Svjetske baštine, nije zadovoljavajuća te se ova hipoteza može odbaciti.

Hipoteza 2 – *Na lokalnoj razini 3D dokumentacija je napravljena za manje od 10 % nepokretne kulturne baštine Grada Zadra*

Na razini Grada Zadra, prema podacima prikupljenima komunikacijom s nadležnim institucijama, digitalizirano je manje od 10 % nepokretne kulturne baštine, odnosno svega 4,3 % od ukupne materijalne baštine Grada Zadra na Registru kulturnih dobara. Ukoliko se u obzir uzmu samo nepokretna pojedinačna kulturna dobra, tada postotak odrađenog 3D dokumentiranja iznosi 2,6 %, što potvrđuje ovu hipotezu. Dokumentacija mletačkih fortifikacija i crkve sv. Donata izvrstan je početni korak u 3D dokumentiranju cjelokupne zadarske baštine, međutim, digitalizaciji se mora pristupiti ozbiljnije, jer broj kulturnih dobara na Registru kulturnih dobara stalno raste, a 3D dokumentacija nije izrađena ni za postojeća dobra u Registru. Također, smatra se da će vremenski ekstremi u narednim desetljećima postati učestaliji i intenzivniji i time još više dovesti u opasnost vrijednost zadarske nepokretne baštine, što treba potaknuti odgovorne na odlučnije djelovanje.

Hipoteza 3 – *Primjena terestričkih geoprostornih tehnologija za 3D dokumentiranje Kopnenih vrata omogućit će detekciju oštećenja, nepravilnosti i izrasle vegetacije na teško dostupnim dijelovima*

Detekcija prirodnih i antropogenih oštećenja na kulturnoj baštini često je zahtjevan i dugotrajan proces, pogotovo u slučaju nepokretnih djela kulturne baštine velikih dimenzija, gdje pojedini dijelovi mogu biti teško dostupni, pa čak i opasni za pristupanje. Geoprostorne tehnologije omogućavaju sigurno proučavanje takvih dijelova nepokretne kulturne baštine daljinskim prikupljanjem podataka koje rezultira detaljnim oblakom točaka i potom 3D modelom na kojem se mogu detektirati i nadzirati oštećenja na milimetarskoj razini. Detaljnost prikupljenog TLS oblaka točaka omogućila je detekciju oštećenja, nepravilnosti i izrasle vegetacije na Kopnenim vratima u Zadru, dok skeniranje GeoSLAM-om nije ostvarilo taj cilj čime se ova hipoteza smatra djelomično potvrđenom.

Hipoteza 4 – *Detaljnost oblaka točaka izrađenog GeoSLAM-om odstupat će više od 30 % od referentnog oblaka točaka prikupljenog terestričkim LiDAR-skim skenerom*

ZEB Horizon GeoSLAM je mobilnija tehnologija, koja omogućava lakšu 3D dokumentaciju većih površina i čija je obrada podataka mnogo brža u odnosu na TLS, ali ima znatno manju detaljnost prikupljenih podataka. ZEB Horizon GeoSLAM-om je generiran oblak točaka koji,

na temelju odabranih geometrijskih parametara, odstupa više od 30 % od referentnog oblaka točaka prikupljenog FARO Focus M70 TLS-om čime je ova hipoteza potvrđena.

U daljnjim primjenama GeoSLAM-a preporučuje se sporije kretanje, kako bi skener više vremena skenirao iz iste ili slične pozicije čime se postiže veća gustoća točaka i samim time veća detaljnost. U ovom istraživanju je područje istraživanja bilo relativno maleno i skeniranje je odrađeno u svega 7 minuta zbog čega je gustoća točaka bila niža od one u sličnim istraživanjima. Nadalje, prilikom skeniranja GeoSLAM-om, i općenito terestričkim skenerima, treba izbjegavati razdoblja s velikim protokom ljudi i vozila ako se radi o području istraživanja na prometnom položaju. Zaključak o SLAM tehnologiji je da se može primijeniti na velikom broju hrvatske kulturne baštine s UNESCO-ovog Popisa svjetske baštine, poput Dioklecijanove palače i stare jezgre Trogira zbog karakteristično uskih ulica, nepravilnih kutova i skučenosti s čime bi statične metode poput terestričkog laserskog skenera imale poteškoće.

8. ZAKLJUČAK

Geoprostorne tehnologije za 3D dokumentaciju kulturne baštine čine osnovu suvremene zaštite i promocije materijalne kulturne baštine u svijetu. Sposobnost prikupljanja gustih oblaka točaka u vrlo kratkom vremenu stvara preduvjete za kreiranje detaljnog i realističnog 3D modela za široku upotrebu. Brojni akteri u kulturnoj industriji diljem svijeta prepoznali su mogućnosti koje nude geoprostorne tehnologije i primijenili ih u svrhu očuvanja najvrjednijih kulturnih dobara. Korištenje digitalnih tehnologija za dokumentiranje kulturne baštine u Republici Hrvatskoj još nije na razini drugih europskih zemalja, iako se posljednjih godina mnogo napredovalo stvaranjem metodološkog okvira za digitalizaciju, dugoročno pohranjivanje i suvremenu prezentaciju digitalizirane baštine. Dokazuju to razvoj *web* Registra kulturnih dobara na kojem su dostupni, iako zasad samo osnovni, podaci o nacionalnim kulturnim dobrima i koji se redovito ažurira. Također, značajno je i pokretanje nacionalnog digitalnog repozitorija *e-Kultura* 2023. godine i nastanak nacionalnog agregatora po standardima *Europeane* koji omogućava ubranu komunikaciju s tom digitalnom platformom i cjelokupnom europskom kulturnom mrežom. No, konkretni pokazatelj stupnja digitalizacije je udio 3D dokumentiranih kulturnih dobara s UNESCO-ovog Popisa svjetske baštine koji ukazuje da ima još mnogo mjesta za napredak. Na razini Republike Hrvatske je manje od 50 % konzervatorskih odjela koji raspolažu UNESCO-ovom Svjetskom baštinom za nju izradilo 3D dokumentaciju. Na području Grada Zadra digitalnim metodama je dokumentirano izrazito malo nepokretnih kulturnih dobara, a s obzirom na turističke brojke koje bilježi Grad Zadar posljednjih godina, za cijelu bi se kulturno-povijesnu cjelinu Grada Zadra mogao postaviti cilj Europske komisije od 50 % digitalno dokumentirane baštine do 2025. godine. Grad Zadar, kao jedan od gradova u Hrvatskoj s najdužom urbanom tradicijom, trebao bi biti primjer uspješne digitalizacije i valorizacije kulturne baštine u digitalnom okruženju.

Kroz studiju slučaja 3D dokumentiranja Kopnenih vrata korištenjem FARO Focus M70 terestričkog laserskog skenera i ZEB Horizon GeoSLAM prijenosnog laserskog skenera generirani su detaljni oblaci točaka. Oblak točaka Kopnenih vrata prikupljen GeoSLAM-om, ima znatno manju detaljnost od referentnog oblaka točaka prikupljenog TLS-om, ali zato ima bolju pokrivenost Kopnenih vrata točkastim podacima, odnosno manje praznina. Unatoč manjoj detaljnosti, GeoSLAM prijenosni skener pokazao se kao izvrsna tehnologija za ekonomično i učinkovito 3D dokumentiranje nepokretnih kulturnih dobara s mnogo kraćim procesom obrade od TLS-a. U konačnici, studija slučaja je rezultirala vrlo detaljnim oblakom

točaka Kopnenih vrata prikupljenim TLS-om koji može poslužiti kao referentna točka za redovito preventivno skeniranje Kopnenih vrata.

Dojam stečen ovim istraživanjem je da je 3D dokumentiranje nepokretnih kulturnih dobara u Republici Hrvatskoj još u začecima, barem što se tiče javnog sektora. No, svejedno iznenađuje slaba zastupljenost 3D dokumentacije UNESCO-ove Svjetske baštine čije očuvanje je od globalne važnosti, a kojima Hrvatska obiluje i od kojih ima znatnu ekonomsku korist.

LITERATURA

1. Ahmed M., Hegazy M., Klimchik A.S., Boby R.A. (2022). Lidar and camera data fusion in self-driving cars // *Computer Research and Modeling*, 2022, vol. 14, no. 6, pp. 1239-1253
2. Alduk, I.; Getaldić, M.: *Stećci nekad i danas*, 2019.(katalog).
3. Allen, M. (2007). Computed tomography of the Antikythera Mechanism. In: *Proceedings of the 5th World Congress on Industrial Process Tomography*. pp 29–37
4. Almohamad, A. (2022). The Destruction of Cultural Heritage in Syria. *Journal of Eastern Mediterranean Archaeology and Heritage Studies*, 10(1), 49–73. <https://doi.org/10.5325/jeasmedarcherstu.10.1.0049>
5. Anderson, T. (1995) Analysis of Roman cremation vessels by computerized tomography. *JArchaeol Sci* 22:609–617
6. Armesto-González, J., Belén Riveiro-Rodríguez, González-Aguilera, D., & M. Teresa Rivas-Brea. (2010). Terrestrial laser scanning intensity data applied to damage detection for historical buildings. *Journal of Archaeological Science*, 37, 12. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2010.06.031>
7. Balletti, C., & Ballarin, M. (2019). An application of integrated 3D technologies for replicas in cultural heritage. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8, 6. <https://doi.org/10.3390/ijgi8060285>
8. Baltsavias, E. P. (1999). A comparison between photogrammetry and laser scanning. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54(2-3), 83-94.
9. Basa, L., Juraj, I., (2011). Oblak točaka i AutoCAD Civil 3D 2011, *Ekscentar* 14, 34-39
10. Berdondini, A., Brancaccio, R., D’Errico, V., Miceli, A., Bettuzzi, M., Casali, F., Flisch, A. (2010). The Use of Industrial Computed Tomography in the Study of Archaeological Finds. *Proceedings of the 37th International Symposium on Archaeometry*, 13th - 16th May 2008, Siena, Italy, 575–578. https://doi.org/10.1007/978-3-642-14678-7_83
11. Bhagat, S., Samith Buddika, H. A. D., Kumar Adhikari, R., Shrestha, A., Bajracharya, S., Joshi, R., Singh, J., Maharjan, R., & Wijeyewickrema, A. C. (2017). Damage to Cultural Heritage Structures and Buildings Due to the 2015 Nepal Gorkha Earthquake. *Journal of Earthquake Engineering*, 22(10), 1861–1880. <https://doi.org/10.1080/13632469.2017.1309608>
12. Bienert, Anne, et al. (2018) “Comparison and Combination of Mobile and Terrestrial Laser Scanning for Natural Forest Inventories.” *Forests*, vol. 9, 2018, www.mdpi.com/1999-4907/9/7/395, <https://doi.org/10.3390/f9070395>.

13. Bodzin, A. M., Cirucci, L. (2009): Integrating geospatial technologies to examine urban land use change: A design partnership. *Journal of Geography*, 108(4-5), 186-197.
14. Boger, R., Perdikaris, S., Perdikaris, S., Rivera-Collazo, I., & Rivera-Collazo, I. C. (2019). Cultural heritage and local ecological knowledge under threat: Two Caribbean examples from Barbuda and Puerto Rico. *Journal of Anthropology and Archaeology*. <https://doi.org/10.15640/jaa.v7n2p1>
15. Bogue, R. (2008), "Car manufacturer uses novel laser scanner to reduce time to production", *Assembly Automation*, Vol. 28 No. 2, pp.113-114. <https://doi.org/10.1108/01445150810863671>
16. Bonazza, A., Messina, P., Sabbioni, C., Grossi, C. & Brimblecombe, P. (2009). Mapping the impact of climate change on surface recession of carbonate buildings in Europe. *The Science of the total environment*. 407. 2039-50. [10.1016/j.scitotenv.2008.10.067](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.10.067).
17. Bonora, V., Tucci, G., Meucci, A., & Pagnini, B. (2021). Photogrammetry and 3D printing for marble statues replicas: Critical issues and assessment. *Sustainability*, 13, 2. <https://doi.org/10.3390/su13020680>
18. Borić, L. (2015). 'Dujam Rudičić, Sanmichelijevi i Girolamo Cataneo u procesu prihvaćanja klasičnog jezika arhitekture od Zadra do Dubrovnika tijekom druge četvrtine 16. stoljeća', *Radovi Instituta zapovijest umjetnosti*, (39), str. 41-54. Preuzeto s: <https://hrcak.srce.hr/167296>
19. Brander, E. (2017). Digitalization of cultural heritage: opportunities and challenges for libraries. *Journal of the European Association for Health Information and Libraries*, 13(4), 28-33.
20. Bręczewska-Kulesza, D. (2022). Provincial treatment and care asylums for the mentally ill in East Prussia as forgotten cultural heritage: case study of the asylum in Allenberg (now Znamensk, Russian Federation). *Studia Z Dziejów Rosji I Europy Środkowo-Wschodniej*, 56(3), 41–55. <https://doi.org/10.12775/sdr.2021.en6.02>
21. Brimblecombe, P., & Roger-Alexandre Lefèvre. (2021). Weathering of materials at Notre-Dame from changes in air pollution and climate in Paris, 1325–2090. *Journal of Cultural Heritage*, 50, 88–94. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2021.06.007>
22. Cabo, C., Pozo, D., Rodríguez-González, P., Ordóñez, C., & González-Aguilera, D. (2018). Comparing terrestrial laser scanning (TLS) and wearable laser scanning (WLS) for individual tree modeling at plot level. *Remote Sensing*, 10, 4. <https://doi.org/10.3390/rs10040540>

23. Camuffo, D.(2019) Microclimate for cultural heritage: Measurement, risk assessment,conservation, restoration, and maintenance of indoor and outdoor monuments.Amsterdam?; Oxford?; Cambridge, MA: Elsevier.
24. Carpentier, N., & Donders, K. (2014). Digital heritage and the affective economy of museum collections. *International Journal of Cultural Studies*, 17(6), 583-597.
25. Casali, F. (2006) X-ray digital radiography and computed tomography for cultural heritage. *Archeometriai Muhely* 1:24–28
26. Cassar, M., Pender, R. (2005). The impact of climate change on cultural heritage: evidence and response.
27. Champion, E. i Rahaman, H. (2020). Survey of 3Ddigital heritage repositories and platforms. *Virtual Archaeology Review*. 11. 1.10.4995/var.2020.13226.
28. Coelho, G. B. A., Silva, H. E., i Henriques, F. M. A. (2019). Impact of climate change on cultural heritage: a simulation study to assess the risks for conservation and thermal comfort. *International Journal of Global Warming*, 19, 4. <https://doi.org/10.1504/IJGW.2019.104268>
29. Cosso, T., Ferrando, I. i Orlando, A. (2015). High-precision laser scanning for cave tourism 3D reconstruction of the Pollera cave, Italy. *Gim International-The Worldwide Magazine For Geomatics*, 29(3),23-25.
30. Dalimi, M.,Zakarya, D., Baghdad, B., Bounakhla, M., i Iñigo, A. C. (2013). Accelerated weathering tests of carbonate building stones in 4 old historic monuments, Morocco: simulations and preliminary laboratory assessments of salt efflorescence;
31. Davies, P. i Hemsoll, D.: Michele Sanmicheli, Milano, 2004., 33.
32. Deranja Crnokić, A. (2013). Nastanak Registra kulturnih dobara – povijest i sadašnjost inventariziranja kulturne baštine u Hrvatskoj. *Godišnjak zaštite spomenika kulture Hrvatske*, (37/38), 25-38. Preuzeto s <https://hrcak.srce.hr/149218>
33. Deronja, M. (2021). Digitalizacija kulturne baštine salone: (Diplomski rad). Preuzeto s <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:124:350274>
34. Ditta, M.; Colson, A. Total Station Surveying. In *Digital Techniques for Documenting and Preserving Cultural Heritage*;Anna Bentkowska-Kafel, A., MacDonald, L., Eds.; Amsterdam University Press:Amsterdam, The Netherlands, 2018; pp. 253–256.<https://doi.org/10.1515/9781942401353-027>.
35. Dobрева, M., & Engels, T. C. (Eds.).(2015). *Managing digital cultural objects: analysis, discovery and retrieval*. Routledge.

36. Documentation of cultural heritage (01. 10. 2023.). Dostupno na: <https://www.byzantinecyprus.com/component/content/article/1-byzantine-churches-ofcyprus/17-documentation-of-cultural-heritage.html>
37. Doppelhofer, C. (2016). Will Palmyra rise again?-War Crimes against Cultural Heritage and Post-war Reconstruction. *Destruction and Reconstruction of Cultural Heritage in Syria and Iraq*.
38. Dörtbudak, Emine & Akca, Seyma & Polat, Nizar. (2023). Exploring Structural Deterioration at Historical Buildings with UAV photogrammetry. *Cultural Heritage and Science*. 4. 10.58598/cuhs.1316822.
39. Državni zavod za statistiku (2021): Popis stanovništva, kućanstava i stanova 2021. – Stanovništvo – po naseljima; Zagreb, <https://dzs.gov.hr/naslovna-blokovi/u-fokusu/popis-2021/88>
40. Dumbović Bilušić, Biserka (2013). 'Kulturna baština u Hrvatskoj pred novim izazovima', *Kvartal*, X(1-2), str. 6-11. Preuzeto s: <https://hrcak.srce.hr/175051>
41. El-Tokhey, M., Mogahed, Y., & Abd-elmaaboud, A. (2019). Comparative assessment of terrestrial laser scanner against traditional surveying methods. 6, 79–84.
42. Elmore, A. J., Mustard, J. F., Manning, S. J., & Crump, B. C. (2007). Understanding the effects of land use on nutrient concentrations in streams: a new methodological approach. *Landscape Ecology*, 22(3), 353-366.
43. Fanti, R., Gigli, G., Lombardi, L., Tapete, D., & Canuti, P. (2012). Terrestrial laser scanning for rockfall stability analysis in the cultural heritage site of Pitigliano (Italy). *Landslides*, 10(4), 409–420. <https://doi.org/10.1007/s10346-012-0329-5>
44. FARO (2019a): FARO FocusM 70 Laser Scanner Short-range professional grade laser scanner, https://www.laserscanningeurope.com/sites/default/files/redakteur_images/FARO-Focus-M-70-tech-sheet.pdf (Zadnji pristup: 12. 10. 2023.).
45. FARO (2019b): FARO Focus laser scanner user manual, <https://faro.app.box.com/s/8xtj92jnpu01li8crn2qyh1bd6d3s0mo/file/571591226811> (Zadnji pristup: 12. 10. 2023.)
46. Fassina V, Favaro M, Crivellari F, Naccari A. (2001): The stone decay of monuments in relation to atmospheric environment. *Ann Chim. Nov-Dec*;91(11-12):767-74. PMID: 11836954.

47. Fatorić, S., & Seekamp, E. (2017). Are cultural heritage and resources threatened by climate change? A systematic literature review. *Climatic Change*, 142(1), 227–254. <https://doi.org/10.1007/s1058401719299>
48. Fehér, K. & Török, Á. (2022). Detecting short-term weathering of stone monuments by 3D laser scanning: lithology, wall orientation, material loss. *Journal of Cultural Heritage*, 58, 245–255. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2022.10.012>
49. Frias, Ernesto, et al. (2022) “Optimal Scan Planning for Surveying Large Sites with Static and Mobile Mapping Systems.” *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 192, 2022, pp. 13–32, www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924271622002039, <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2022.07.025>.
50. García-Hernández, M., de la Calle-Vaquero, M., & Yubero, C. (2017). Cultural Heritage and Urban Tourism: Historic City Centres under Pressure. *Sustainability*, 9(8), 1346. <https://doi.org/10.3390/su9081346>
51. García-Molina, D.F, López-Lago, S., Hidalgo-Fernandez, R.E. and Triviño-Tarradas, P. (2021). Digitalization and 3D Documentation Techniques Applied to Two Pieces of Visigothic Sculptural Heritage in Merida Through Structured Light Scanning. *J. Comput. Cult. Herit.* 14, 4, Article 43 (December 2021), 19 pages. <https://doi.org/10.1145/3427381>
52. García Sánchez, F., García Sánchez, H. & Ribalaygua, C. (2020). Cultural heritage and sea level rise threat: risk assessment of coastal fortifications in the Canary Islands. *Journal of Cultural Heritage*, 44, 211–217. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2020.02.005>
53. Garduno Freeman, C., González, Zarandona, J.A. (2021). Digital spectres: the Notre-Dame effect. *International Journal of Heritage Studies*, 27(12):1264-1277. doi: 10.1080/13527258.2021.1950029
54. Gautier, Q.K., Garrison, T.G., Rushton, F., Bouck, N., Lo, E., Tueller, P., Schurgers, C. and Kastner, R. (2020). "Low-cost 3D scanning systems for cultural heritage documentation", *Journal of Cultural Heritage Management and Sustainable Development*, Vol. 10 No. 4, pp. 437-455. <https://doi.org/10.1108/JCHMSD-03-2020-0032>
55. GeoSLAM (2020). ZEB-HORIZON User Manual, <https://geoslam.com/wp-content/uploads/2021/02/ZEB-Horizon-User-Manual-v1.3.pdf>
56. Gerald, F., Marshall., Glenn, E., Stutz. (2004). *Handbook of Optical and Laser Scanning*. p.9 doi: 10.1201/9781315218243

57. Gomes, L., Regina, O., & Silva, L. (2014). 3D reconstruction methods for digital preservation of cultural heritage: A survey. *Pattern Recognition Letters*, 50, 3–14. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2014.03.023>
58. Gradska knjižnica Zadar (22. 10. 2023.): Fotografije: Fra Dragutin Parčić <https://www.gkzd.hr/zadaretro/fotografija/fra-dragutin-par%C4%8Di%C4%87>
59. Gros, A., Guillem, A., De Luca, L., Baillieul, É., Duvocelle, B., Malavergne, O., Leroux, L., & Zimmer, T. (2023). Facing the post-disaster built heritage reconstruction process within the digital twin framework for Notre-Dame de Paris. *Scientific Reports*, 13(1), 5981. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-32504-9>
60. Grottesi, G., Coelho, & Kraniotis, D. (2023). Heat and moisture induced stress and strain in wooden artefacts and elements in heritage buildings: A review. *Applied Sciences*, 13, 12. <https://doi.org/10.3390/app13127251>
61. Guery, J., Hess, M. & Mathys, A. (2018): Photogrammetry.10.1515/9781942401353-023.
62. Hackel, T., Wegner, J. D., & Schindler, K. (2016). FAST SEMANTIC SEGMENTATION OF 3D POINT CLOUDS WITH STRONGLY VARYING DENSITY. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, III-3, 177–184. <https://doi.org/10.5194/isprsannals-iii-3-177-2016>
63. Heathcote, J., Fluck, H., Wiggins, M. (2017): Predicting and Adapting to Climate Change: Challenges for the Historic Environment. 8(2):89-100. doi:10.1080/17567505.2017.1317071
64. Hilje, E. (2011): 'Mletački kaštel u Zadru', *ArsAdriatica*, (1), str. 109-116. Preuzeto s: <https://hrcak.srce.hr/93359>
65. Hrvatska enciklopedija (2021): “Digitalizacija.” <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=68025> (Posljednji pristup: 09. 05. 2023.)
66. IPCC Synthesis Report (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
67. Jelinčić, Daniela Angelina (2010): *Kultura u izlogu: kratki vodič za upravljanje kulturnim dobrima*. Zagreb: Menadarmedia.
68. Korumaz, A.G. Tucci, G., Korumaz, M. & Bonora, V. (2018). Opportunities of geometric documentation of historic buildings with terrestrial laser scanner, examples from

Aksaray/Turkey. *Iconarp International J. Of Architecture and Planning*.
<https://doi.org/10.15320/ICONARP.2018.54>

69. Kościuk, J., Kościuk, J., Telesińska, M., Nisztuk, M., & Pakowska, M. (2020). Documentation of the most important petroglyphs by structured light scanning and analysis of the most damaged petroglyphs by vPTM and vRTI methods. *Architectus*.
<https://doi.org/10.37190/arc200207>
70. Laefer, D. F., Truong-Hong, L., Carr, H., & Singh, M. (2014). Crack detection limits in unit based masonry with terrestrial laser scanning. *NDT & E International*, 62, 66 –76.
<https://doi.org/10.1016/j.ndteint.2013.11.001>
71. kultura. *Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje*. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. Pristupljeno 27. 10. 2023. <<http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=34552>>.
72. Lemić, Vlatka (2020): “Digitalizacija baštine i digitalni arhivi.” Matica hrvatska, <https://www.matica.hr/vijenac/688%20-%20690/digitalizacija-bastine-i-digitalniarhivi-30605/>. (Posljednji pristup: 09. 05. 2023.)
73. Lerma, J. L., Navarro, S., Cabrelles, M., & Villaverde, V. (2010). Terrestrial laser scanning and close range photogrammetry for 3D archaeological documentation: the Upper Palaeolithic Cave of Parpalló as a case study. *Journal of Archaeological Science*, 37, 3.
<https://doi.org/10.1016/j.jas.2009.10.011>
74. Lichti, D.D., Stewart, M.P., Tsakiri, M. and Snow, T. (2000): “Benchmark Tests on a Three Dimensional Laser Scanning System”, *Geomatics Research Australasia*, No. 72, pp. 1 - 24.
75. Lillesand, T.M., Kiefer, R.W. (2000): *Remote Sensing and Image Interpretation*, John Wiley & Sons, New York, 125-189.
76. Lipecki, T., i Thi Thu Huong, K. (2020). The Development of Terrestrial Laser Scanning Technology And Its Applications in Mine Shafts in Poland. *Test*, 1(2).<https://doi.org/10.29227/IM-2020-02-36>
77. Magaš, D. (2013): *Geografija Hrvatske*, Zadar, Samobor: Odjel za geografiju Sveučilišta u Zadru, Meridijani.
78. Malinar, H. (2003): *Vlaga u povijesnim građevinama: sistematika, dijagnostika, sanacija*. Zagreb: Ministarstvo kulture Republike Hrvatske
79. Malinverni, E. S., Pierdicca, R., Bozzi, C. A. and Bartolucci, D. (2018). "Evaluating a Slam-Based Mobile Mapping System: a Methodological Comparison for 3D Heritage Scene Real-Time Reconstruction," *Metrology for Archaeology and Cultural Heritage (MetroArchaeo)*, Cassino, Italy, 2018, pp. 265-270, doi: 10.1109/MetroArchaeo43810.2018.13684.

80. Manić, Lj., Aleksić, M., Tankosić, M., (2013): Possibilities of New Technologies in Promotion of the Cultural Heritage: Danube Virtual Museum, *Advances in Environment, Ecosystems and Sustainable Tourism*.
81. Marasović, T. (1994), *Dioklecijanova palača*. Svjetska kulturna baština, Zagreb, Naklada Nediljko Dominović - Buvina.
82. Marasović, T. (2005): The Transformation of Diocletian's Palace in the City of Split as a Chronological Question. U: Sande, S., Brandt, J., Hodne, L. & Steen, O. (ur.) *Acta ad archaeologiam et artium historiam pertinentia*, volumen XVIII, (N.S. 4). Roma, Bardi Editore, str. 115-129.
83. Marasović, Tomislav. *Kulturna baština 1*. Split: Veleučilište u Splitu, 2001. str 9, 203 -204.
84. Marić, I., Šiljeg, A., i Domazetović, F. (2019). Geoprostorne tehnologije u 3D dokumentaciji i promociji kulturne baštine—primjer utvrde Fortica na otoku Pagu. *Geodetski glasnik*, 50, 19-44.
85. Martino, A., Fatiguso F., De Tommasi, G., & Casal, J. (2016). Accidental impacts on historical and architectural heritage in port areas: the case of Brindisi. *International Journal of Architectural Heritage*. <https://doi.org/10.1080/15583058.2016.1204486>
86. Mateus, L., Fernández, J., Ferreira, V., Oliveira, C., Aguiar, J., Gago, A. S., Pacheco, P., and Pernão, J. (2019): Terrestrial laser scanning and digital photogrammetry for heritage conservation: case study of the historical walls of Lagos, Portugal, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-2/W11, 843–847, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W11-843-2019>;
87. Matijević, H.; Roić, M (2002): Terestrički laserski skeneri, *Geodetski list*, 3, 171-187.
88. McKernan, J., & Mulcahy, K. V. (2008). Hurricane Katrina: A cultural chernobyl. *The Journal of Arts Management, Law, and Society*, 38, 3. <https://doi.org/10.3200/JAML.38.3.217-232>
89. Miler M., Đapo A., Kordić B., Medved I., (2007): Terestrički laserski skeneri, *Ekscentar* 10, 35-38.
90. Ministarstvo kulture i medija Republike Hrvatske (2006) - Nominacija Starogradskog polja za upis na Popis svjetske baštine, <https://whc.unesco.org/uploads/nominations/1240.pdf>
91. Ministarstvo turizma i sporta Republike Hrvatske, (2023). *Turizam u brojkama 2022.*, Zagreb
92. Nafziger, J. A. R., „Cultural Heritage Law: The International Regime“, u: Nafziger, J. A. R., Scovazzi, T. (ur.), *Le patrimoine culturel de l'humanité/ The Cultural Heritage of Mankind*, Leiden, 2008., str.145.

93. Napolitano, R. K., Scherer, G., i Glišić, B. (2018). Virtual tours and informational modeling for conservation of cultural heritage sites. *Journal of Cultural Heritage*, 29, 123–129. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2017.08.007>
94. Nocerino, E., Menna, F., Remondino, F., Toschi, I., & Rodríguez-Gonzálvez, P. (2017). Investigation of indoor and outdoor performance of two portable mobile mapping systems. In Fabio Remondino & M. R. Shortis (Eds.), *International Society for Optics and Photonics* (Vol. 10332, p. 103320I). SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.2270761>
95. Olofsson K., Holmgren J. i Olsson H. (2014): Tree Stemand Height Measurements using Terrestrial Laser Scanning and the RANSAC Algorithm. *Remote Sensing*. 2014; 6(5):4323-4344. <https://doi.org/10.3390/rs6054323>
96. Ortiz, R., Ortiz, P., Martín, J. M., & Vázquez, M. A. (2016). A new approach to the assessment of flooding and dampness hazards in cultural heritage, applied to the historic centre of Seville (Spain). *Science of the Total Environment*, 551-552, 546–555. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.207>
97. Owda, A., Balsa-Barreiro, J. i Fritsch, D. (2018): Methodology for digital preservation of the cultural and patrimonial heritage: generation of a 3D model of the Church St. Peter and Paul (Calw, Germany) by using laser scanning and digital photogrammetry. *Sensor Review*, 38(3):282-288. doi: 10.1108/SR-06-2017-0106
98. Parisi, F., & Augenti, N. (2013). Earthquake damages to cultural heritage constructions and simplified assessment of artworks. *Engineering Failure Analysis*. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2013.01.005>
99. Parfenov, V., Igoshin, S., Masaylo, D., Orlov, A., i Kuliashou, D. (2022). Use of 3D laser scanning and additive technologies for reconstruction of damaged and destroyed cultural heritage objects. *Quantum Beam Science*, 6, 1. <https://doi.org/10.3390/qubs6010011>
100. Pavlidis, G., Koutsoudis A., Arnaoutoglou F., Tsioukas V., & Chamzas Ch. (2007). Methods for 3D digitization of cultural heritage. *Journal of Cultural Heritage*, 8, 1. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2006.10.007>
101. Pelegrini, S.C.A. (2018). Negligence and Reinvention: Cultural Heritage of the Watering Place of São Vicente (São Paulo/Brazil). In: Lopes da Cunha, F., dos Santos, M., Rabassa, J. (eds) *Latin American Heritage. The Latin American Studies Book Series*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-58448-5_2
102. Pereira, P., & Martins, J. (2018). Sustainable Heritage Management Towards Mass Tourism Impact: the HERIT-DATA project. *IEEE Xplore*. <https://doi.org/10.1109/IS.2018.8710555>

103. Petricioli, I. (2005): Umjetnička baština Zadra (Priredio prof. dr. sc. Emil Hilje) - Matica hrvatska
104. Petrie, J. & Toth, C. (2009a): Introduction to Laser Ranging, Profiling and Scanning in Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing (ur. Shan, J. i Toth, C.), CRC Press, Boca Raton, 1-26.
105. Petrie, J. & Toth, C. (2009b): Terrestrial laser scanners from: Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing (ur. Shan, J. i Toth, C.), CRC Press, Boca Raton, 87-126.
106. Pfeifer, N. i Briese, C. (2007): Geometric Aspect of Airborne Laser Scanning and Terrestrial Laser Scanning. In Proceedings of ISPRS Workshop on Laser Scanning and SilviLaser, Espoo, Finland, 12–14 September 2007; Volume 36, Part 3/W52
107. Phillips, H. (2015). The capacity to adapt to climate change at heritage sites—The development of a conceptual framework. *Environmental Science & Policy*, 47, 118–125. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2014.11.003>
108. Pieraccini, M., Guidi, G., & Atzeni, C. (2001). 3D digitizing of cultural heritage. *Journal of Cultural Heritage*, 2, 1. [https://doi.org/10.1016/S1296-2074\(01\)01108-6](https://doi.org/10.1016/S1296-2074(01)01108-6)
109. Pritchard, D., Sperner, J., Hoepner, S. & Tenschert, R. (2017): Terrestrial laser scanning for heritage conservation: the Cologne Cathedral documentation project. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. IV-2/W2. 213-220. [10.5194/isprs-annals-IV-2-W2-213-2017](https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-2-W2-213-2017).
110. Raukar, T. et alii, (1987) – T. Raukar – I. Petricioli –F. Švelec – Š. Peričić: Zadar pod mletačkom upravom, 1409-1797, Zadar: Narodni list.
111. Registar kulturnih dobara: Kulturno - povijesna cjelina grada Splita <https://registar.kulturnadobra.hr/#/details/Z-3778>
112. Reis, S., Grennfelt, P., Klimont, Z., Amann, M., ApSimon, H., Hettelingh, J. - P., Holland, M., LeGall, A. - C., Maas, R., Posch, M., Spranger, T., Sutton, M. A., & Williams, M. (2012). From Acid Rain to Climate Change. *Science*, 338(6111), 1153–1154. <https://doi.org/10.1126/science.1226514>
113. Remondino, F., & Rizzi, A. (2010). Reality based 3D documentation of natural and cultural heritage sites—techniques, problems, and examples. *Applied Geomatics*, 2(3), 85–100. <https://doi.org/10.1007/s125180100025x>
114. Remondino, F. (2011). Heritage Recording and 3D Modeling with Photogrammetry and 3D Scanning. *Remote Sensing*, 3(6), 1104 – 1138. <https://doi.org/10.3390/rs3061104>

115. Remondino, F., Barazzetti, L., Nex, F., Scaioni, M. i Sarazzi, D. (2012): UAV photogrammetry for mapping and 3D modeling - current status and future perspectives -. ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 3822:25-31. doi:10.5194/ISPRSARCHIVES-XXXVIII-1-C22-25-2011
116. Remondino, F. i Stylianidis, E. (2016). 3D recording, documentation and management of cultural heritage (Vol. 2). Dunbeath: Whittles Publishing. str 44 – 46
117. Ronzani, F. i Luciolli, G. (1831): Porta di terraferma in Zara, u: Le fabbriche civili, ecclesiastiche e militari di Michele Sanmicheli, Venezia.
118. Rossi, M., et al. (1999) 3D computed tomography: a tool for analysis and conservation of archeological artifacts. In: 6th International conference on non-destructive testing and micro-analysis for the diagnostics and conservation of the cultural and environmental heritage, Rome. 17–19 May 1999
119. Rutzinger, M., Höfle, B., Hollaus, M., & Pfeifer, N. (2008). Remotely sensed point clouds in the study of landslides. *Geophysical Research Abstracts*, 10.
120. Saiz-Jimenez, C., Cuezva, S., Jurado, V., Fernandez-Cortes, A., Porca, E., Benavente, D., Cañaveras, J. C., i Sanchez-Moral, S. (2011). Conservation. Paleolithic art in peril: policy and science collide at Altamira Cave. *Science (New York, N.Y.)*, 334(6052), 42–43. <https://doi.org/10.1126/science.1206788>
121. Seiter-Šverko, D. (2012). Nacionalni program digitalizacije arhivske, knjižnične i muzejske građe i projekt “Hrvatska kulturna baština”. *Vjesnik bibliotekara Hrvatske*, 55 (2), 5-15. Preuzeto s <https://hrcak.srce.hr/106547>
122. Sevieri G., Galasso, C., D'Ayala, D., De Jesus, R., Oreta, A., Mary Earl Daryl A., Grioi., Ibabao, R. (2020): A multi-hazard risk prioritisation framework for cultural heritage assets. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 20(5):1391-1414. doi: 10.5194/NHESS-20-1391-2020
123. Shao, J., Zhang, W., Mellado, N., Grussenmeyer, P., Li, R., Chen, Y., Wan, P., Zhang, X., & Cai, S. (2019). Automated markerless registration of point clouds from TLS and structured light scanner for heritage documentation. *Journal of Cultural Heritage*, 35, 16–24. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2018.07.013>
124. Silverman, H. (2011). Contested cultural heritage: Religion, nationalism, erasure, and exclusion in a global world. doi: 10.1007/978-1-4419-7305-4
125. Smith, B.J.; Příklad, R. (2007): Building stone decay: From diagnosis to conservation. London: The Geological Society;

126. Smith, L. (2006): *Uses of Heritage*, London, Routledge.
127. Solarić, M.; Solarić, N. (2009). Iskolčenje zemljišnih čestica i najstariji kamen međaš u Hrvatskoj iz 4. stoljeća prije Krista. *Kartografija i geoinformacije*, 8 (12), 59-77. Preuzeto s <https://hrcak.srce.hr/48185>
128. Sosa Echeverría, R., Bravo Álvarez, H., Alarcón Jiménez, A., Torres Barrera, M., Jaimes Palomera, M., Sánchez Álvarez, P., & Granados Hernández, E. (2018). Acid rain in a Mexican site on the coast of the Gulf of Mexico. *ATMÓSFERA*, 31(4), 317–330. <https://doi.org/10.20937/atm.2018.31.04.01>
129. Stone, Peter, G., Farchakh Bajjaly J., Fisk R. (2008): *The destruction of cultural heritage in Iraq*.
130. Šošić, T.M. (2014): Pojam kulturne baštine –međunarodnopravni pogled. *Zbornik radova Pravnog fakulteta u Splitu*, 51 (4), 833-860.
131. Špikić, M. (2009.): *Konzerviranje europskih spomenika od 1800. do 1850. godine*, Zagreb: 84.
132. Tanduo, B., Teppati Losè, L., & Chiabrandò, F. (2023). Documentation of complex environments in cultural heritage sites. A slam-based survey in the castello del valentino basement. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVIII-1/W1-2023, 489–496. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-1-W1-2023-489-2023>
133. Themistocleous, K. et al. (2016). The Protection of Cultural Heritage Sites from Geo-Hazards: The PROTHEGO Project. In: Ioannides, M., et al. *Digital Heritage. Progress in Cultural Heritage: Documentation, Preservation, and Protection. EuroMed 2016. Lecture Notes in Computer Science()*, vol 10059. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-48974-2_11
134. Tirado, A., Ortiz, R., & Ortiz, P. (2018). 3D laser scanning applied to diagnosis in vaults. In *Conserving Cultural Heritage: Proceedings of the 3rd International Congress on Science and Technology for the Conservation of Cultural Heritage (TechnoHeritage 2017)*, May 21-24, 2017, Cadiz, Spain (p. 145). CRC Press.
135. Tucci, G., Bonora, V., Conti, A., & Fiorini, L. (2017). High-quality 3d models and their use in a cultural heritage conservation project. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W5, 687–693. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xlii-2-w5-687-2017>

136. Turner, M., A.R. Pereira Roders, Patry, M., & Patry, M. (2010). Revealing the level of tension between cultural heritage and development in World Heritage cities. Null. <https://doi.org/null>
137. Ulvi A. (2021). Documentation, Three-Dimensional (3D) Modelling and visualization of cultural heritage by using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) photogrammetry and terrestrial laser scanners, *International Journal of Remote Sensing*, 42:6, 1994-2021, DOI: 10.1080/01431161.2020.1834164
138. Ulvi, A., & Yiğit, Abdurahman Yasin. (2022). Comparison of the wearable mobile laser scanner (WMLS) with other point cloud data collection methods in cultural heritage: A case study of diokaisareia. *J. Comput. Cult. Herit.*, 15, 4. <https://doi.org/10.1145/3551644>
139. Vecco, M., (2010): A definition of cultural heritage: From the tangible to the intangible, *Journal of Cultural Heritage*, No.11, p. 321 - 324.
140. Vežić, P. (2005): Vrata Michelea Sanmichelija u Zadru, *Rad.Inst. povij. umjet.*, Vol. 29, str. 93. – 106.
141. Vosselman, G., & Maas, H. G. (2010). *Airborne and terrestrial laser scanning*. Whittles Publishing.
142. Wang Y, Chen Q, Zhu Q, Liu L, Li C, Zheng D. (2019): A Survey of Mobile Laser Scanning Applications and Key Techniques over Urban Areas. *Remote Sensing*; 11(13):1540.<https://doi.org/10.3390/rs11131540>
143. Winkler E.M. (1997): “Stone in Architecture: Properties,Durability.” 3rd Edition. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg
144. Yu, A.W.; Krainak, M.A.; Harding, D.J.; Abshire, J.B.;Sun, X. (2010): A spaceborne lidar for high-resolution topographic mapping of the earth’s surface. *SPIE Newsroom*, doi:10.1117/2.1201002.002655.
145. Zadar. *Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža*, 2021. Pristupljeno 27. 11. 2023. <<http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=66647>>
146. Zarley, A., Witte, S., & Burgess, G. (2016). Heritage at-risk: Vulnerability of cultural resources along florida’s coast to sea level rise and hurricanes. Null. <https://doi.org/null>
147. Zgrablić, M. (2018). Istria in the context of political and religious events in Northern Adriatic from the late fourth until the late sixth century. *Histria*, (8), 32-32. <https://doi.org/10.32728/h2018.01>
148. Zollhöfer, M. (2019): Commodity RGB-D sensors: Data acquisition. *RGB-D Image Analysis and Processing* (pp. 3-13). Springer, Cham.

149. Žmegač, A. (2009a): Bastioni jadranske Hrvatske. Zagreb: Radovi Institut za povijest umjetnosti, Školska knjiga
150. Žmegač, A. (2009b): Još jedan stari prikaz utvrde sv. Nikole., Radovi Instituta za povijest umjetnosti. 33/2009., str. 77-82.
151. Žmegač, A. (2003): Zadarske utvrde 16. stoljeća; Radovi Instituta za povijest umjetnosti 27/2003. (107 – 118)

IZVORI

INTERNETSKI IZVORI

URL1 - <https://mjesechrhvatkogturizma.hr/ponuda/2891> (17. lipnja 2023.)

URL2 - <https://www.myporec.com/en/discover-porec/euphrasius-basilica/492> (18. lipnja 2023.)

URL3 - <https://welcome-to-croatia.com/holiday-destinations/trogir/> (18. lipnja 2023.)

URL4 - <httpswww.otok-hvar.hr/tours/starogradsko-poljeHV-TR-173> (19. lipnja 2023.)

URL5 - <httpscroatia-hotspots.com201803kulturalni-turizam-dalmatinske-zagore-procvatu-veci-interes-razgledavanje-imotskih-stecaka> (19. lipnja 2023.)

URL6 - <httpsdulist.hrfotogalerija-ovo-je-sveta-barbara-konavoski-doprinos-unesco-voj-listi-svjetske-bastine339401> (19. lipnja 2023.)

URL7 - <https://www.infovodice.com/marketing/15092-posjetite-impresivnu-tvrđavu-sv-nikole-unesco-ov-biser-u-sibeniku.html> (20. lipnja 2023.)

URL8 - https://www.aerolaser.es/en/zona_productos/products/aepod/6.html (22. lipnja 2023.)

URL9 - <https://www.zadarfilmcommission.com/lokacija/gradske-zidine/271> (20. lipnja 2023.)

OSTALI IZVORI

Europska komisija (2020). Basic principles and tips for 3D digitisation of cultural heritage, 12. kolovoza 2020., <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/basic-principles-and-tips-3d-digitisation-cultural-heritage>

Europska komisija (2021). Commission Recommendation of 10.11.2021 on a common European data space for cultural heritage (EUR-Lex - 32021H1970 - EN - EUR-Lex (europa.eu)

Europska komisija (2021). Annexes to the Commission Recommendation on a common European data space for cultural heritage 2021 (EUR-Lex - 32021H1970 - EN - EUR-Lex (europa.eu)

Europska komisija (2020). Basic principles and tips for 3D digitisation of tangible cultural heritage for cultural heritage professionals and institutions and other custodians of cultural heritage, <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/basic-principles-and-tips-3d-digitisation-cultural-heritage>

Europska komisija (2020). Directorate-General for Communications Networks, Content and Technology, Europeana strategy 2020-2025 – Empowering digital change, Publications Office, 2020, <https://data.europa.eu/doi/10.2759/524581>

Europeana (2020): Strategy 2020 – 2025 Summary <https://pro.europeana.eu/page/strategy-2020-2025-summary#ecosystem>

Hrvatski nacionalni agregator - Izvješće o evaluaciji (Zaklada Europeana, listopad 2017.)
Dostupno na: https://min-kulture.gov.hr/UserDocsImages/dokumenti/kulturne_djelatnosti/Arhivska/Hrvatski%20nacionalni%20agregator%20-%20Izvješće%20o%20evaluaciji.pdf

ICOMOS (1997): (Konzervatorski odjel u Puli, Episcopal complex of euphrasian basilica within historical center in Poreč, Proposal for the inscription on the world heritage list, autor: Josip Belamarić, Zagreb: Ministarstvo kulture, siječanj, 1997.)

ICOMOS (2016): <https://whc.unesco.org/en/list/1504/documents/>

ICOMOS (2017): <https://whc.unesco.org/en/list/1533/documents/>

Konvencija za zaštitu kulturnih dobara u slučaju oružanog sukoba od 14. svibnja 1954. i Protokol uz tu Konvenciju od 14. svibnja 1954. godine NN 6/2002 (10.5.2002.)

Pravilniku o obliku, sadržaju i načinu vođenja registra kulturnih dobara Republike Hrvatske (NN 19/2023)

UNESCO (2003): Charter on the preservation of Digital Heritage, t.ly/O7rcp, p. 74

UNESCO (2021) Operational Guidelines for the Implementation of the World Heritage Convention, <https://whc.unesco.org/en/guidelines/>

UNESCO - Heritage Dimension https://en.unesco.org/creativity/sites/creativity/files/cdis/heritage_dimension.pdf, p. 132, UNESCO Publications, 2014

Vijeće Europske Unije: Council conclusions of 21 May 2014 on cultural heritage as a strategic resource for a sustainable Europe (2014/C 183/08)

Zakon o zaštiti i očuvanju kulturnih dobara (NN 69/99, 151/03, 157/03 Ispravak, 87/09, 88/10, 61/11, 25/12, 136/12, 157/13, 152/14, 44/17, 90/18, 32/20, 62/20, 117/21 i 114/22). Dostupno

na: <https://www.zakon.hr/z/340/Zakon-o-za%C5%A1titi-i-o%C4%8Duvanju-kulturnih-dobara>

Zakon o obnovi spomeničke cjeline Dubrovnika i drugih nepokretnih kulturnih dobara u okolici Dubrovnika, „Narodne novine“, br. 21/86., 33/89., 26/93., 128/99., 19/14., 32/14., 99/14.

POPIS GRAFIČKIH PRILOGA

Slika 1. Prostorni obuhvat i razdioba područja istraživanja na makro (A) mezo (B)	16
Slika 2. Prostorni raspored UNESCO-ove Svjetske kulturne baštine u Hrvatskoj	21
Slika 3. Dioklecijanova palača (A) i zona pod UNESCO-ovom zaštitom (B).....	22
Slika 4. Dubrovačka jezgra (A) i zona pod UNESCO-ovom zaštitom (B).....	23
Slika 5. Zona pod UNESCO-ovom zaštitom (A) i oltar Eufrazijeve bazilike (B)	24
Slika 6. Stara jezgra Trogira (A) i zona pod UNESCO-ovom zaštitom (B)	25
Slika 7. Katedrala Sv. Jakova u Šibeniku.....	26
Slika 8. Zračni snimak pravilnog rasporeda čestica Starogradskog polja (A) i zona pod UNESCO-ovom zaštitom (B)	27
Slika 9. Srednjovjekovni nadgrobnji spomenici – stećci u Cisti Provo (A) i u Dubravci (B)..	28
Slika 10. Utvrda Sv. Nikole (A) i južni dio mletačkog fortifikacijskog sutava u Zadru (B) ..	29
Slika 11. Institucionalni okvir za očuvanje kulturne baštine u Republici Hrvatskoj	30
Slika 12. Projekcija maksimalnog porasta morske razine do 2100. godine s lokacijama UNESCO-ovih spomenika svjetske baštine (95 – Dubrovnik, 97 – Dioklecijanova palača, 809 – Eufrazijeva bazilika, 810 – Trogir, 963 – Katedrala sv. Jakova, 1240 – Starogradsko polje)	34
Slika 13. Projekcija prosječne brzine površinskog trošenja građevina od karbonatnog kamena za razdoblje 2070. – 2099. godine (Preuzeto iz: Bonazza i dr., 2009)	36
Slika 14. Fizičko i biokemijsko trošenje na bočnim stranama velikog prolaza;	37
Slika 15. Različite LiDAR tehnologije: FARO Focus M70 - TLS (A), FARO Orbis - WMS (B) i AEROLASER AePod - ALS (C) (Preuzeto iz: Faro (A, B); URL8 (C)	41
Slika 16. 3D model Višeslavove krstionice u sučelju digitalnog repozitorija - eKultura	43
Slika 17. Nepokretna kulturna dobra na području Grada Zadra prema vrsti kulturnog dobra	47
Slika 18. Sačuvani dio srednjovjekovnih fortifikacija – tzv. „Bedemi zadarskih pobuna“	48
Slika 19. Crtež Kopnenih vrata u Zadru u punoj veličini.....	49
Slika 20. Kopnena vrata prije 1861.g.	50
Slika 21. Odabrani filteri za pretraživanje Registra kulturnih dobara.....	52

Slika 22. Plan skeniranja TLS-om.....	55
Slika 23. A – Primjer stajališta za snimanje s FARO Focus M70 terestričkim laserskim skenerom; B – prikaz dijela standardiziranih referentnih meta u području istraživanja.....	56
Slika 24. Proces obrade prikupljenih skenova u <i>FARO Scene</i> softveru (A – inicijalna obrada sirovih skenova; B – registracija obrađenih skenova uz pomoć referentnih meta; C – finalni izrađeni oblak točaka šireg područja Kopnenih vrata)	60
Slika 25. Terensko snimanje Kopnenih vrata ZEB Horizon GeoSLAM-om (A – inicijalizacija ZEB Horizon GeoSLAM-a; B – proces mobilnog skeniranja Kopnenih vrata).....	63
Slika 26. Plan skeniranja ZEB Horizon GeoSLAM-om	64
Slika 27. Proces dodavanja teksture na izrađeni oblak točaka iz fotografija prikupljenih s GeoSLAM-om	65
Slika 28. Oblak točaka generiran iz podataka prikupljenih ZEB Horizon GeoSLAM-om (A – oblak točaka s teksturom; B – intenzitet prikupljenog oblaka točaka)	66
Slika 29. Ukupni oblak točaka prikupljen ZEB Horizon GeoSLAM-om	66
Slika 30. Istaknuti elementi Kopnenih vrata za detaljniju analizu oblaka točaka	67
Slika 31. Analiza odgovora na odabrana pitanja prikupljenih anketnim upitnikom među odabranim konzervatorskim odjelima.....	70
Slika 32. 3D dokumentirana UNESCO-ova nepokretna kulturna dobra u Republici Hrvatskoj	73
Slika 33. 3D dokumentirana nepokretna kulturna dobra u Gradu Zadru	75
Slika 34. Usporedba detaljnosti oblaka točaka Kopnenih vrata prikupljenih TLS-om i GeoSLAM-om bez teksture (A-B) i s izvornom teksturom (C-D).....	77
Slika 35. Usporedba detaljnosti oblaka točaka prikupljenih TLS-om i GeoSLAM-om za element „mletački lav“ s izvornom teksturom i bez teksture	78
Slika 36. Usporedba volumetrijske gustoće i površinske varijacije na oblacima točaka prikupljenima TLS-om (A,B) i GeoSLAM-om (C, D) za element „mletački lav“	79
Slika 37. Usporedba detaljnosti oblaka točaka prikupljenih TLS-om i GeoSLAM-om za element „posveta“ s izvornom teksturom i bez teksture	80
Slika 38. Usporedba volumetrijske gustoće i površinske varijacije na oblacima točaka prikupljenima TLS-om (A) i GeoSLAM-om (B) za element „tabla s posvetom“	81
Slika 39. Usporedba detaljnosti oblaka točaka prikupljenih GeoSLAM-om (A1, A2) i TLS-om (B1, B2) za element „ukrasni friz“ s izvornom teksturom i bez teksture	82
Slika 40. Usporedba volumetrijske gustoće u oblacima prikupljenima GeoSLAM-om (A) i TLS-om (B) za element „ukrasni friz“	82

Slika 41. Usporedba detaljnosti oblaka točaka prikupljenih TLS-om i GeoSLAM-om za element „grb kapetana Salamona“ s izvornom teksturom i bez teksture.....	83
Slika 42. Usporedba volumetrijske gustoće za element „grb kapetana Salamona“ u oblacima točaka prikupljenima TLS-om (A) i GeoSLAM-om (B).....	84
Slika 43. Oštećenja nastala trošenjem (1) i izrasla vegetacija (2) u oblacima točaka Kopnenih vrata prikupljenima TLS-om (A) i GeoSLAM-om (B)	86

POPIS TABLIČNIH PRILOGA

Tablica 1. Hrvatska nepokretna kulturna dobra na UNESCO-ovu Popisu svjetske baštine (slova kraj imena označavaju lokaciju na karti (Slika 2)).....	20
Tablica 2. Kulturna dobra u Republici Hrvatskoj pod UNESCO-ovom zaštitom u Registru kulturnih dobara	32
Tablica 3. Digitalizirana kulturna građa na Europeani 2021. godine i međuciljevi za doprinos sadržaja Europeani i podatkovnom prostoru do 2025. godine po državama članicama EU....	44
Tablica 4. Tehničke specifikacije FARO Focus M70 terestričkog laserskog skenera.....	54
Tablica 5. Točnost registracije referentnih meta (eng. target statistics)	58
Tablica 6. Statistika točaka stajališta (eng. scan point statistics).....	58
Tablica 7. Tehničke specifikacije ZEB Horizon GeoSLAM prijenosnog laserskog skenera.	61
Tablica 8. Odstupanje položaja referentnih točaka dobivenih skeniranjem od stvarnih položaja referentnih točaka.....	66
Tablica 9. Volumetrijske gustoće odabranih elemenata Kopnenih vrata u oblacima točaka prikupljenima TLS-om i GeoSLAM-om	85

SAŽETAK

Kontinuirana zaštita materijalne kulturne baštine od iznimnog je značaja za čovječanstvo. Nepokretna kulturna dobra osobito su pod rizikom različitih prirodnih i antropogenih čimbenika koji svojim djelovanjem mogu ostaviti trajnu štetu na najvrjednijim spomenicima kulture. Zahvaljujući svojem razvoju posljednjih desetljeća geoprostorne tehnologije omogućavaju beskontaktno 3D dokumentiranje i modeliranje kulturnih dobara iznimnom detaljnošću. Pojedinci i institucije zaduženi za očuvanje kulturne baštine diljem svijeta prepoznali su prednosti korištenja suvremenih digitalnih metoda dokumentiranja naspram klasičnih metoda koje su zamijenile. Tehnologije 3D dokumentiranja i prateća softverska rješenja postale su neizostavan instrument za dugoročnu zaštitu kulturnih dobara zahvaljujući mogućnosti prikupljanja i obrade velike količine georeferenciranih podataka u kratkom vremenskom roku. Model dobiven procesom 3D dokumentacije pruža jednu potpuno novu perspektivu promatranja kulturnih dobara kojom se može doći do ključnih saznanja potrebnih za poboljšanje konzervacije tog dobra. Izuzev potencijala kojeg 3D dokumentiranje ima u očuvanju kulturne baštine, primjenjuje se u različitim sferama gospodarstva i obrazovanja. Ciljevi istraživanja su utvrđivanje trenutačne zastupljenosti 3D dokumentiranja u Republici Hrvatskoj za nepokretnu kulturnu baštinu na primjeru UNESCO-ove Svjetske kulturne baštine i na primjeru nepokretne kulturne baštine Grada Zadra. Posljednji cilj je dati primjer procesa 3D dokumentiranja kulturne baštine kroz usporedbu FARO Focus M70 terestričkog laserskog skenera i ZEB Horizon GeoSLAM prijenosnog laserskog skenera, od prikupljanja podataka do izlaznog oblaka točaka pri čemu se proučavaju mletačka Kopnena vrata u Zadru. Istraživanje trenutačnog stanja zastupljenosti 3D dokumentiranja na nacionalnoj razini urađeno je pretraživanjem *web*-Registra kulturnih dobara i provedbom *on-line* anketnog upitnika među odabranim konzervatorskim odjelima koje je pokazalo da 3D dokumentiranje nije napravljeno za više od 50 % kulturnih dobara u Hrvatskoj s UNESCO-ova Popisa svjetske baštine, a na lokalnoj razini za više od 80 % zadarskih nepokretnih kulturnih dobara. U drugom dijelu istraživanja prikupljeni su gusti oblaci točaka dvoma laserskim skenerima i obrađeni u softverima *FARO Scene* i *GeoSLAM Connect* i potom uspoređeni po statističkim geometrijskim parametrima u softveru *CloudCompare* pri čemu je TLS oblak točaka služio kao referentni. U GeoSLAM oblaku točaka Kopnenih vrata zabilježena je manja gustoća točaka za sve proučavane elemente koja će izradom modela rezultirati manjom detaljnošću, no s druge strane površinska pokrivenost je veća nego u TLS oblaku točaka.

SUMMARY

Continuous protection of material cultural heritage is of exceptional importance for humanity. Immovable cultural assets are particularly at risk from various natural and anthropogenic factors that can cause permanent damage to the most valuable cultural monuments. Thanks to its development in recent decades, geospatial technologies enable non-contact documentation and modeling of cultural assets with great detail. Individuals and institutions responsible for the preservation of cultural heritage around the world have recognized the advantages of using modern digital methods of documentation over the classical methods they have replaced. 3D documentation technologies and accompanying software solutions have become an indispensable instrument for the long-term protection of cultural assets thanks to the possibility of collecting and processing a large amount of georeferenced data in a short period of time. The model obtained through the process of 3D modeling within the wider field of digital documentation, provides a completely new perspective of observing cultural assets, which can be used to obtain key knowledge needed to improve the conservation of that asset. Apart from the potential that 3D documentation has in the preservation of cultural heritage, it is used in various spheres of economy and education. The goals of the research are to determine the current state of representation of 3D documentation in the Republic of Croatia for material UNESCO World Heritage and for immovable cultural assets of the City of Zadar. The last goal is to give an example of the process of 3D documentation of cultural heritage through a comparison of the FARO Focus M70 terrestrial laser scanner and the ZEB Horizon GeoSLAM portable laser scanner, from data collection to the output point cloud, studying the venetian Land Gate in Zadar. Research into the current state of 3D documentation at the national level was done by searching the national Register of Cultural Properties and conducting an online survey among selected Conservation Departments, which showed that 3D documentation has not been done for more than 50% of cultural properties in Croatia from the UNESCO World Heritage List, and at the local level for more than 80% of Zadar's immovable cultural assets. In the second part of the research, dense point clouds were collected with two laser scanners and processed in FARO Scene and GeoSLAM Connect and then compared by statistical geometric parameters in the CloudCompare software, with the TLS point cloud serving as a reference. In the GeoSLAM point cloud of the Land Gate, a lower density of points was recorded for all studied elements, which will result in less detail when the model is created, but on the other hand the surface coverage is higher than in the TLS point cloud.

PRIMJER ANKETNOG UPITNIKA

1. *Za koje od nepokretnih kulturnih dobara s UNESCO-ove Popisa svjetske baštine je Vaš odjel zadužen? (označiti 1 ili više ponuđenih odgovora)*

Kompleks Eufrazijeve bazilike u povijesnom središtu Poreča

Mletački obrambeni sustav Grada Zadra

Katedrala sv. Jakova u Šibeniku

Mletački obrambeni sustav Grada Šibenika

Stara jezgra Trogira

Povijesni kompleks Splita i Dioklecijanova palača

Starogradsko polje na Hvaru

Srednjovjekovni nadgrobni spomenici – stećci u Cisti velikoj

Stari grad Dubrovnik

Srednjovjekovni nadgrobni spomenici – stećci u Konavlima

2. *Jeste li upoznati s pojmom digitalnog dokumentiranja kulturne baštine?*

DA/NE

3. *Je li za označena kulturna dobra napravljeno digitalno dokumentiranje?*

DA/NE

4. *Ako digitalno dokumentiranje nije napravljeno, postoji li plan za takav projekt u budućnosti?*

DA/NE

5. *Ako je digitalno dokumentiranje napravljeno, koja metoda/e je korištena?*

6. *Je li navedeno digitalno dokumentiranje rezultiralo 3D modelom?*

DA/NE

7. *Ako postoji, je li 3D model javno dostupan i gdje?*

DA/NE

8. *Ako je digitalno dokumentiranje napravljeno, postoji li izvješće o dokumentiranju? Gdje ga se može pronaći?*

DA/NE

9. *U koju svrhu je napravljeno digitalno dokumentiranje (virtualna šetnja, pohrana trenutnog stanja, 3D printanje, izrada projekta obnove i dr.)?*