

MOGUĆNOSTI PRIMJENE MOBITELA ZA IZMJERU TORNJA CRKVE ZA POTREBE RESTAURACIJE

Loris Redovniković¹, Luka Babić¹, Daniel Vuković², Boris Blagonić²

¹ Geodetski fakultet, Kačićeva 26, Zagreb, Hrvatska, lredovnikovic@geof.hr

² Geogrupsa, Epulonova 21, Pula, Hrvatska, daniel.vukovic@geogrupsa.hr

SAŽETAK

U radu je prikazana mogućnost primjene mobitela za izmjeru tornja crkve sv. Blaža u Vodnjanu. Crkva sv. Blaža građena je od 1760. do 1800. godine, a poznata je u svijetu po mumijama svetaca koje se u njoj čuvaju. Za potrebe restauracije stepeništa, Grad Vodnjan i Župa sv. Blaža naručili su 3D skeniranje unutrašnjosti zvonika u svrhu izrade konzervatorske podloge. Izmjera je izvedena pomoću FARO Focus S 70 laserskog skenera. Isti zvonik kasnije je skeniran pomoću Lenovo Phab2 Pro mobitela koji ima mogućnost izmjere 3D oblaka točaka u realnom vremenu, korištenjem vizualnog SLAM algoritma. Za ovu priliku korištena je besplatna aplikacija Matterport Scenes. Pomoću besplatnog softvera CloudCompare uspoređeni su dobiveni oblaci točaka. Na kraju je napravljena analiza i dano mišljenje o mogućnostima ovakvoga pristupa. Također su navedene prednosti i nedostaci svake od korištenih metoda izmjere.

KLJUČNE RIJEČI: Lasersko skeniranje, mobilno skeniranje, vizualni SLAM

1. UVOD

Crkva sv. Blaža u Vodnjanu građena je po uzoru na venecijanske katedrale. Vrlo je slična crkvi Palazzo sull' Oglio kraj Brescije koju je projektirao Giorgio Massari. Smatra se da bi projektant sv. Blaža mogao biti venecijanski arhitekt Bernardino Maccaruzzi (1728.-1800.), Massarijev učenik. (Marković, 1997).

Crkva sv. Blaža građena je od 1760. do 1800. godine i najveća je crkva u širokoj okolini. Vodnjan je poznat u svijetu po zbirci relikvija. U zbirci se nalaze ukupno 370 relikvija od 250 kršćanskih svetaca. Među njima se nalaze i neraspadnuta tijela što predstavlja znanstveni fenomen ili čudo (slika 1). Ovo jedinstveno blago relikvija nalazi se u prostorijama bivše sakristije. To je najveća zbirka u Hrvatskoj i jedna od najvećih u Europi. Svake godine tisuće posjetitelja posjećuju i hodočaste na ovo mjesto. Zbirka sadrži 730 djela sakralnih predmeta iz vremena od 4. do 11. stoljeća. Crkva ima deset oltara, 24 slika i 18 skulptura. (URL 1)

Do crkve sv. Blaža, kao samostojeći građevinski objekt, diže se zvonik koji po svojim stilskim značajkama podsjeća na toranj sv. Marka u Veneciji. Zvonik je zidan u dvije faze. U prvoj 1815. godine krovom na četiri vode do visine zvona. Godine 1882. ukazala se potreba za proširenjem prostora za zvona. Župnik iz Bala Giovanni Deperis izradio je nacrt za nov smještaj zvona i za izgradnju piramide. Zbog financijskih razloga nacrt je pojednostavio građevinski inženjer Giovanni Sandri. Radovi su koštali 7000 forinti i trajali su

deset mjeseci. Zvonik je tako dosegao 60 m visine, dovršen i svečano predat u funkciju 1. svibnja 1883. godine. (URL 2)

Za potrebe restauracije stepeništa, Grad Vodnjan i Župa sv. Blaža naručili su 3D skeniranje unutrašnjosti zvonika u svrhu izrade konzervatorske podloge. Izmjera je izvedena pomoću FARO Focus S 70 (URL 6) laserskog skenera. Budući da suvremena tehnologija nudi neke jeftinije i jednostavnije tehnologije odlučili smo isti prostor skenirati i pomoću mobitela Lenovo Phab2 Pro (URL 5) i usporediti dobivene rezultate. U nastavku je opisana svaka od primijenjenih metoda izmjere i dani su rezultati provedenih analiza.



Slika 1: Mumija iz crkve sv. Blaža

2. LASERSKO SKENIRANJE

Lasersko skeniranje zvonika crkve sv. Blaža u Vodnjanu odrađeno je u ožujku 2018. godine, a za samo skeniranje je bilo potrebno malo više od dva sata. Za skeniranje je korišten Faro Focus S 70 skener. Skeniranjem je obuhvaćena samo unutrašnjost zvonika u svrhu evidentiranja stanja prije postupka restauracije i vraćanja u prvobitno (originalno) stanje. Prilikom skeniranja pokušavalo se maksimalno reducirati „sjene“ na oblacima točaka uzrokovane velikim brojem konstruktivnih elemenata od kojih se sastoji struktura zvonika. Primarni uzročnici sjena su svakako bile grede i podupirači stepeništa koje vode do vrha zvonika. Stoga su stajališta, osim u prizemlju i na vrhu, postavljena u uglove zvonika pa se tako svako peto stajalište nalazilo direktno jedno iznad drugoga.

S obzirom na relativno male tlocrtne dimenzije samog zvonika, ni mjerene udaljenosti nisu bile velike što je pozitivno utjecalo na točnost mjerenja duljina faznim skenerom kao i, djelomično, na šum mjerenih podataka. Prilikom mjerenja postavljena je rezolucija 1/4 što odgovara cca 6 mm na 10 m udaljenosti. Kako je osvjetljenje u tornju relativno oskudno, iako ne i nepostojeće, zaključeno je da će se tom rezolucijom osigurati obuhvaćanje svih značajnih elemenata zvonika koje će biti potrebno prikazati u sklopu konzervatorske podloge. Uz bolje osvjetljenje i mogućnost korištenja fotografija (bojanja oblaka) bilo bi moguće izabrati i nižu rezoluciju. Gusto postavljenim stajalištima i konačnom velikom gustoćom oblaka točaka osigurano je kvalitetno uklapanje međusobnih stajališta metodom oblak na oblak. Ova metoda registracije je odabrana i zbog zahtjevnosti koju bi nosilo postavljanje meta, uz upitno povećanje točnosti s obzirom na količinu prepreka i ograničeni pristup te dogleđanje unutar zvonika.

Kranji rezultat je bio uklopljeni oblak točaka koji, nakon čišćenja, sadrži nešto više od 500 000 000 točaka. Točnost uklapanja je izračunata u softveru Trimble RealWorks (URL 7) te iznosi 5 mm na razini cijelog zvonika, odnosno između susjednih oblaka je na razini 1-2 mm. Na osnovu cjelokupnog oblaka izrađeni su ortogonalni prikazi svakog zida zvonika iz kojih su iscrtavani konstruktivni elementi za konzervatorsku podlogu.

3. SKENIRANJE POMOĆU MOBILNOG UREĐAJA LENOVO PHAB2 PRO

Lenovo Phab2 Pro (specifikacije uređaja navedene na URL 5) je prvi pametni telefon koji podržava Tango proširenu stvarnost (URL 4).

Bitna karakteristika za geodeziju je da sa stražnje strane ima ugrađene tri kamere. Te kamere u kombinaciji sa Google-ovim Tango sustavom omogućavaju istovremeno kartiranje prostora i određivanje pozicije senzora, takozvanu SLAM metodu (URL 3). Pomoću SLAM metode možemo vrlo jednostavno dobiti trodimenzionalni prikaz prostora koji nas okružuje. SLAM metode izmjere su još u ranoj fazi razvoja, ali se u budućnosti očekuje njihova sve veća primjena, posebno u zatvorenim prostorima.

Na tržištu su dostupne mnoge besplatne Tango aplikacije od kojih se za geodetske potrebe mogu izdvojiti: Scenes,

RTAB-Map, Measure i Constructor. Za potrebe ovoga rada korištena je Matterport-ova aplikacija Scenes (URL 9), koja se pokazala kao najbolja u prethodnim mjerjenjima.

Nedostatak ove metode izmjere je svakako domet koji iznosi cca 5 m. No imajući u vidu da se radi o zvonku čija širina iznosi 4 m došli smo na ideju da probamo zvonik snimiti pomoću mobitela. Budući da nismo imali pravih ispitivanja koliko su mjerenja mobitelom pouzdana, odlučeno je da se obavi snimanje zvonika pomoću 3D skenera i mobitela pa da se usporede dobiveni rezultati.

Mjerenje mobitelom je provedeno 2.6.2018. godine. Zbog ograničene radne memorije mobitela bilo je potrebno 13 skenova da bi skenirali zvonik od vrha do podnožja. Skeniranje je trajalo od 11:22 do 13:00.

Prilikom izmjere neki dijelovi nisu bili dobro osvjetljeni pa smo koristili ručnu lampu za osvjetljenje. Osvjetljenje je u ovom slučaju bilo potrebno, budući da se radi o vizualnoj SLAM metodi, a o kvaliteti osvjetljenja ovisi i tekstura u konačnom oblaku točaka.

4. USPOREDBA DOBIVENIH REZULTATA

Skenovi su uspoređeni na način da se svaki pojedinačni sken dobiven mobitelom uklopio na objedinjeni sken dobiven pomoću Faro skenera i onda su analizirana odstupanja tako dobivenih oblaka točaka.

Prvi problem koji se pojavio kod obrade podataka bila je količina podataka u objedinjenom Faro skenu koja je bila prevelika za rad na računalu prosječnih performansi (Intel I5-4440 CPU @ 3,1 GHz, sa 16 GB RAM-a) pa ga je bilo potrebno prorijediti na prosječnu gustoću od 1 točke na svaki centimetar. Sa podacima dobivenim pomoću mobitela nije bilo tih problema budući da je gustoća tih skenova u originalu bila otprilike jedna točka na svaki centimetar.

Za sva računanja i analize korišten je besplatni softver CloudCompare (URL 8). Svaki pojedinačni sken dobiven mobitelom trebalo je približiti referentnom skenu. Da bi to postigli trebalo je selektirati željeni oblak točaka te ga translacijama i rotacijama približiti oblaku točaka dobivenom pomoću mobitela približno na lokaciju gdje se on nalazi u referentnom oblaku točaka određenom pomoću Faro skenera.

Nakon što smo ih približili, oba skena su selektirana i korištenjem Iterative Closest Point algoritma (ICP) uz preklap od 90% postiglo se uklapanje skena dobivenog pomoću mobitela na referentni oblak točaka. Nakon toga računalo smo međusobno odstupanje tih oblaka točaka. Isto je napravljeno za svih 13 skenova dobivenih pomoću mobitela. U tablici 1 se nalaze odstupanja pojedinih skenova u odnosu na referentni.

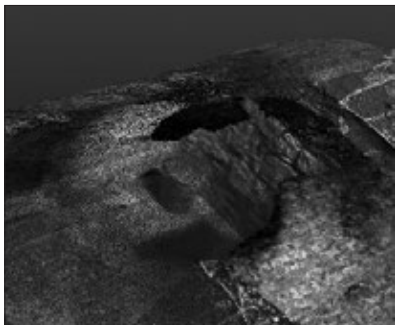
Gledano statistički maksimalna odstupanja kretala su se u intervalima od 11 cm do 1,02 m. Srednja udaljenost za svaki sken bila je manja od 6,5 cm, dok je standardno odstupanje bilo ispod 9,5 cm. Da bi bolje protumačili dobivene rezultate krenuli smo u grafičku analizu svakog pojedinog skena.

Sken 1 dao je statistički vrlo dobre rezultate, a grafičkom provjerom utvrđeno je da su razlike nastale zbog crvene kante (Slika 2) koja je vjerojatno u međuvremenu bila

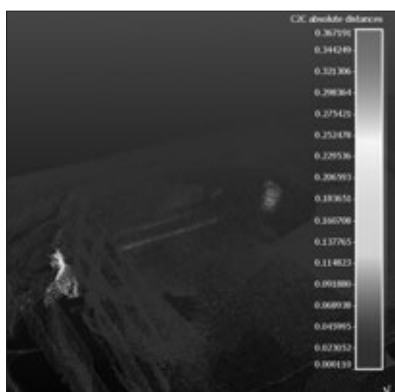
Tablica 1: C2C odstupanja mobilnih skenova u odnosu na statični

Broj mobilnog skena	Srednja udaljenost u [m]	Standardno odstupanje u [m]	Maksimalno odstupanje u [m]
1	0,011	0,011	0,327
2	0,015	0,014	0,113
3	0,028	0,021	0,235
4	0,051	0,051	0,319
5	0,026	0,025	0,373
6	0,052	0,043	0,408
7	0,028	0,037	0,424
8	0,021	0,021	0,327
9	0,014	0,014	0,278
10	0,046	0,089	1,015
11	0,038	0,093	1,018
12	0,027	0,030	0,309
13	0,064	0,081	0,537

pomaknuta. Iz slike 3 vidi se sa desne strane ista kanta prikazana zelenom bojom te se iz skale odstupanja može očitati da je kanta pomaknuta za nekih 15-tak cm.



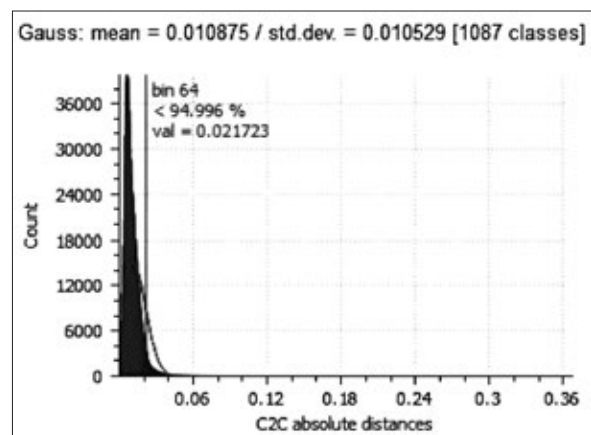
Slika 2: Crvena kanta u kutu prostorije



Slika 3: Osoba koja osvjetljava prostoriju (lijevo) i kanta (desno)

Razlike od 30-tak cm mogu se uočiti na istoj slici sa lijeve strane, a uzrok je vjerojatno nepažnja. Moguće da je u jednom trenu skenirana osoba koja je osvjetljavala prostoriju. Slično se dogodilo i na skenu broj 3.

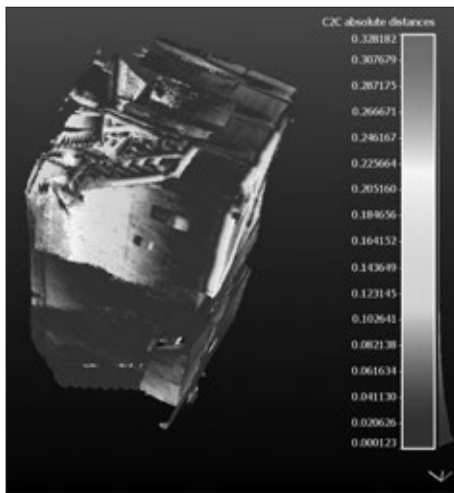
Na slici 4 prikazan je histogram odstupanja duljina između dva oblaka točaka za sken 1.



Slika 4: Histogram odstupanja duljina između dva oblaka točaka za sken 1

Može se primijetiti da 95% točaka pada u interval odstupanja manji od 2,2 cm, a većinom se točke razlikuju za oko 1 cm. Iz takve statistike dalo bi se zaključiti da je moguće koristiti mobitel za skeniranje i u geodetske svrhe.

Ista procedura provedena je i za sve ostale skenove, ali u ovome članku će se navesti pojedinačni karakteristični slučajevi.



Slika 5: Pojava vitoperenja do koje je dolazilo prilikom mobilnog skeniranja

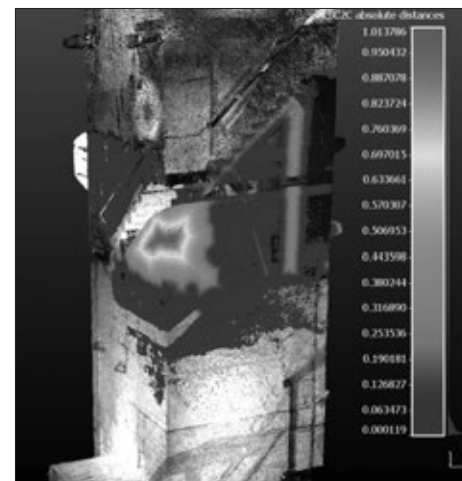
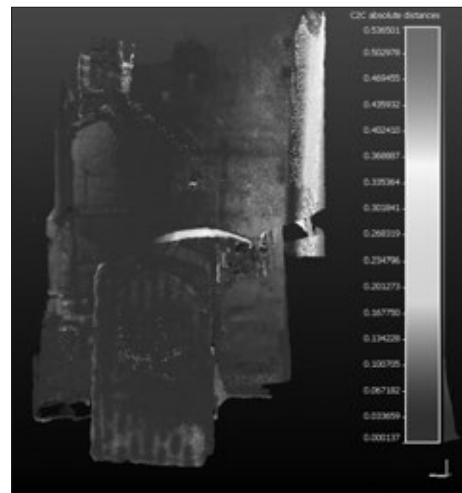
Dva su najčešća uzroka odstupanja između mobilnih i statičkih skenova. Prvi uzrok prouzročen je nepouzdanim radom mobitela. Na skenovima 2, 3, 4, 6, 8, 12 i 13 došlo je do pojave vitoperenja koja može nastati zbog prebrzog kretanja mobitela, nedovoljne rasvjete i, što je možda najvažnije, nedovoljno karakterističnog objekta koji skeniramo. Jednolični monotoni uzorci ne daju dovoljno podataka na temelju kojih bi Structure from motion (SfM) tehnologija mogla spajati oblake točaka u cjelinu. Na slici 5 lijevo prikazan je sken broj 4, dok je na istoj slici sa desne strane prikazan sken broj 13. To su ujedno i dva najveća odstupanja nastala zbog vitoperenja, kod ostalih skenova odstupanja su bila ispod 15 cm. Ukoliko se pojava vitoperenja primijeti na terenu najbolje je taj sken ponoviti. To naravno uzrokuje dodatni rad na terenu, ali na taj način dobivamo pouzdanije rezultate. Mi u ovom primjeru nismo težili optimalnim rezultatima nego smo željeli realno prikazati prednosti i nedostatke svake od primijenjenih metoda.

Drugi uzrok zbog kojega su u tablici 1 dobiveni prilično loši rezultati proizlazi iz tehnike terestričkog skeniranja. Ukoliko postoje prepreke tijekom skeniranja dolazi do pojave „sjena“, odnosno dijelovi koji se nalaze iza prepreke ne mogu se skenirati. Da bi se pojava tih sjena smanjila potrebno je postavljati više stajališta, što produljuje rad na terenu kao i naknadnu obradu podataka.

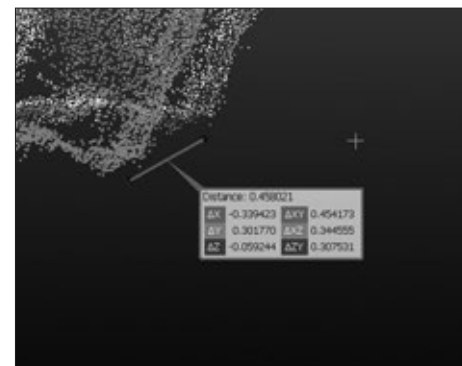
Da bi se zadovoljilo načelo ekonomičnosti pokušava se postići da sa što manje stajališta dobijemo dovoljno kvalitetan 3D model. Dakle pojavu sjena u razvedenom prostoru teško je izbjeći. Tako je i u ovom primjeru primijećeno da je na skenovima 5, 6, 8, 9, 10, i 11 došlo do značajnih odstupanja koja su prouzrokovana pojavom sjena u referentnom oblaku točaka. Najznačajnije odstupanje prikazano je na slici 6.

Također, skenovi dobiveni pomoću mobitela spojeni su međusobno korištenjem ICP-a u CloudCompare-u i preklapom od 25% te su se usporedila njihova odstupanja u odnosu na skenove koji su uklopljeni na model dobiven pomoću Faro skenera. Kod skena 5 došlo je do vidljivog pomaka u registraciji od gotovo 1,5 m.

Korištenjem iste funkcije, ali sa pažljivijim uklapanjem i preklapom od 10% postignuti su bolji rezultati što je prikazano na slici 7. Nakon skena 5 svi ostali skenovi referencirani su sa preklapom od 10%.

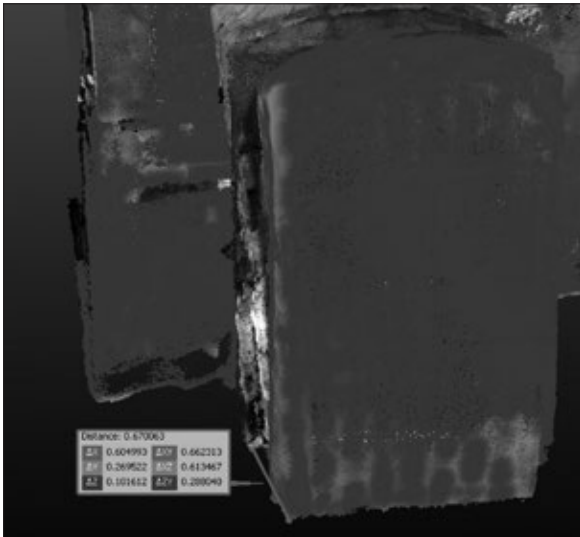


Slika 6: Dio zvonika koji nije snimljen pomoću statičkog skenera



Slika 7: Fina registracija oblaka sa preklapom od 10%

U konačnici se pojavilo prostorno odstupanje u iznosu od 67 cm koje je prouzrokovano međusobnim uklapanjem mobilnih skenova u odnosu na one koji su uklopljeni direktno na referentni sken (slika 8). Ovu činjenicu treba imati u vidu ukoliko nam je bitno apsolutno pozicioniranje budući da je mana SLAM algoritma da bez zatvaranja figura mjerna nesigurnost raste kako se udaljavamo od početne točke (slično kao što raste i mjerna nesigurnost u slijepom poligonskom vlaklu). Bolji rezultati postigli bi se kada bi na terenu radili veći preklap među skenovima, ali to bi za posljednju imalo dulji rad na terenu.



Slika 8: Odstupanja međusobno uklopljenih mobilnih skenova u odnosu na iste uklopljene na referentni sken

4. ZAKLJUČAK

Na temelju provedenih mjerenja i analize prikupljenih podataka, može se zaključiti da je izmjera pomoću mobitela nešto brža, jednostavnija i jeftinija. Gustoća dobivenog oblaka točaka je zadovoljavajuća za većinu geodetskih potreba. Kod rekonstrukcije jednoličnih dijelova objekata dolazi do pojave vitoperenja koja je nekada očigledna i takve skenove je najbolje odmah ponoviti. U nekim slučajevima ta pojava nije toliko očita i iz toga razloga ova metoda još nije dovoljno pouzdana za primjenu u restauratorske svrhe. Mana mobitela je trenutno nedovoljna količina radne memorije koja onemogućava kreiranje većih oblaka točaka. Iz toga razloga potrebno je raditi veći broj malih skenova koje je kasnije potrebno međusobno spojiti. Da bi rezultati međusobnog spajanja bili bolji potrebno je na terenu raditi veće preklope među skenovima što za posljedicu ima dulje mjerenje na terenu i dulju naknadnu obradu.

Na temelju provedenih mjerenja možemo zaključiti da mobilno skeniranje ima sljedeće prednosti: jednostavnost korištenja, niska cijena, rezultati vidljivi u realnom vremenu, jednostavno dobivanje tekstura. Nedostaci su pak: domet, trajanje baterije, radna memorija, nepouzdanost dobivenih rezultata zbog pojave vitoperenja modela.

Izmjera pomoću 3D skenera je skuplja, traje dulje, ali na kraju rezultira pouzdanijim modelom. Model dobiven pomoću 3D skenera često sadrži sjene (dijelove koji zbog prepreka nisu snimljeni). Primjena mobilnog skeniranja dobra za neke manje prostore, koji nemaju jednoliku teksturu, ali za izmjeru većih i jednoličnih površina ova metoda još ne daje dovoljno pouzdane rezultate. Mobilno skeniranje dobro je koristiti kao nadopunu statičkom skeniranju zahtjevnih objekata. Sjene dobivene statičkim skeniranjem mogu se vrlo jednostavno i dovoljno kvalitetno nadopuniti pomoću mobilnog skeniranja čime se povećava kvaliteta i ekonomičnost statičkog skeniranja.

LITERATURA:

Marković, V. (1997): Crkva sv. Blaža u Vodnjanu, Peristil: zbornik radova za povijest umjetnosti, Vol.39 No.1, Društvo povjesničara umjetnosti Hrvatske

URL 1: <http://www.kulturni-turizam.com/hrv/sadrzaj/vodnjan/>

URL 2: <http://zupavodnjan.com/crkve/sveti-blaz>

URL 3: <https://medium.com/@saranyan/tango-can-slam-e0a6d91bdab8>

URL 4: <http://pcchip.hr/moby/pametni-telefoni/lenovo-phab-2-pro-recenzija-prvi-smartfon-koji-podrzava-tango-prosirenu-stvarnost/>

URL 5: <https://www.lenovo.com/us/en/smart-devices/lenovo-smartphones/phab-series/Lenovo-Phab-2-Pro/p/WMD0000220>

URL 6: <https://www.faro.com/>

URL 7: <http://www.trimble.com/>

URL 8: <https://www.danielgm.net/cc/>

URL 9: <https://matterport.com/matterport-scenes/>

POSSIBILITIES OF USING A MOBILE PHONE TO MEASURE THE TOWER OF A CHURCH FOR RESTORATION PURPOSES

ABSTRACT

The paper will show the possibility of using a smart phone to scan the interior of the tower of the church of St. Blaž in Vodnjan. Church of St. Blaž was built from 1760 to 1800 years and is famous in the world by the mummies of the saints, which are kept in it. For restoration of the stairs, the City of Vodnjan and the Parish of St. Blaž ordered 3D scanning of the interior of the bell tower for making a conservation substrate. The measurements were performed using the FARO Focus S 70 laser scanner. The same space was later scanned using a Lenovo Phab2 Pro mobile phone that can measure 3D point clouds in real time, using a visual SLAM algorithm. For this purpose, a free Matterport Scenes application was used. By using CloudCompare software, the resulting point clouds were compared. Finally, an analysis was made, and an opinion was given on the possibilities of such approach. The advantages and disadvantages of each of the surveying methods used are also listed.

KEYWORDS: Laser scanning, mobile scanning, visual SLA