

Geodetski monitoring cerkve sv. Benedikta v Kančevcih

Tilen Urbančič*, Božo Koler*

Povzetek

Posegi pri obnovi cerkve sv. Benedikta v Kančevcih niso bili narejeni povsem po pravilih stroke. Rezultat predolgo odkopanih temeljev na delu objekta so deformacije na skoraj celotnem objektu, ki se v vizualnem smislu kažejo kot razpoke. V letu 2017 smo začeli z geodetskim monitoringom, ki je del obsežnejših analiz stanja objekta. Za spremljanje deformacij smo uporabili klasično geodetsko izmero, nivelmansko izmero in terestrično lasersko skeniranje. V prispevku predstavljamo izvedbo geodetskih izmer, ugotovljene premike in izračunane deformacije iz podatkov treh terminskih izmer. Ugotovili smo, da se je v dveh letih severovzhodna stena posedla od -1,80 mm (reper 7) do -2,92 mm (reper 10) in da se je ladja cerkve v osrednjem delu razprla za 7 mm.

Ključne besede: monitoring, cerkev, premik, deformacija, nivelman, terestrično lasersko skeniranje

Key words: monitoring, church, displacement, deformation, levelling, terrestrial laser scanning

Uvod

Geodetski monitoring izvajamo zato, da periodično spremljamo nek objekt in tako ugotavljamo velikosti ter smeri premikov ali drugih sprememb geometrije. Najpogosteje gre za spremljanje stabilnosti objektov v času gradnje ali v času obratovanja. Geodetski monitoring izvajamo na zgrajenih objektih in v naravnem okolju. Skupno vsem primerom geodetskega monitoringa je to, da moramo za izvajanje izmer zagotoviti stabilne dane točke izven vplivnega območja premikov, ki predstavljajo datum geodetske mreže (Savšek et al., 2010) izbrati primerno metodo izmere in instrumentarij, ki omogoča zaznavanje pričakovanih premikov. V primeru točkovnega spremljanja premikov je potrebno poskrbeti tudi za primeren način stabilizacije merskih točk. Deformacije, ki so rezultat delovanja sil na objekt, določamo iz obdelave podatkov večkratnih izmer.

Najpogostejše metode izmer za potrebe geodetskega monitoringa so nivelmanska izmera (de Lacy et al., 2017; Sterle et al., 2017), klasična terestrična izmera (Luo et al. 2016; Yu et al., 2017), izmera GNSS (Yu et al., 2020; Šegina et al. 2020) in terestrično lasersko skeniranje (Kregar et al., 2017; Mihevc, Urbančič, 2017; Suchocki, Katzer, 2018). Pri nivelmanski izmeri ugotavljamo samo višinske premike. S klasično terestrično izmero ali izmero GNSS lahko določimo 2D in 3D premike točk. Iz oblakov točk terestričnega laserskega skeniranja lahko z izračuni razdalj med oblaki ali z izračunom parametrov matematično opisljivih geometrijskih oblik določamo deformacije na večjem območju oz. na površinah objektov.

V obravnavanem primeru smo geodetski monitoring izvedli z uporabo nivelmanske izmere, klasične terestrične izmere in terestričnega laserskega skeniranja. Z nivelmansko izmero smo določili vertikalne premike vgrajenih reperjev. S klasično geodetsko izmero smo vzpostavili koordinatno osnovo za georeferenciranje oblakov točk terestričnega laserskega skeniranja (TLS), s terestričnim laserskim skeniranjem pa smo določili spremembe

* UL, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova 2, 1000 Ljubljana

geometrije nosilnih in nenosilnih elementov objekta. Obravnavamo podatke treh terminskih izmer v obdobju 15 mesecev.

Opis delovišča

Cerkev sv. Benedikta leži v vasi Kančevci v občini Moravske Toplice (Slika 1). Prvi zapisi o cerkvi na tem območju segajo v leto 1208 in sicer kot »benedečka« oz. kančevska cerkev. Cerkev je bila v sedanji obliki zgrajena leta 1896. Zadnja obnovitvena dela so na objektu potekala med letoma 1996 in 2000 (Urbančič et al., 2019). Cerkev je od 4. 6. 2014 vpisana v register kulturne dediščine kot spomenik lokalnega pomena (Register kulturne dediščine, 2020).

V letu 2016 so se na objektu začele pojavljati poškodbe na stopu in zidovih, pretežno v obliki večjih razpok. Najbolj opazne razpoke so na stropu ladje (Slika 2), zunanji severovzhodni steni objekta in na spoju med ladjo ter zvonikom (Slika 1). Strokovnjaki s področja gradbeništva zagovarjajo, da je razlog v podkopavanju temeljev in neustrezni sanaciji. Zaradi čim hitrejšega ukrepanja in preprečitvijo dodatnih poškodb smo bili za spremljanje premikov in drugih deformacij objekta v monitoring vključeni tudi geodeti (Urbančič et al., 2019).



Slika 1: Cerkev sv. Benedikta v Kančevcih (vir: Gorazd Prašnikar).



Slika 2: Razpoke na stropu ladje (vir: Gorazd Prašnikar).

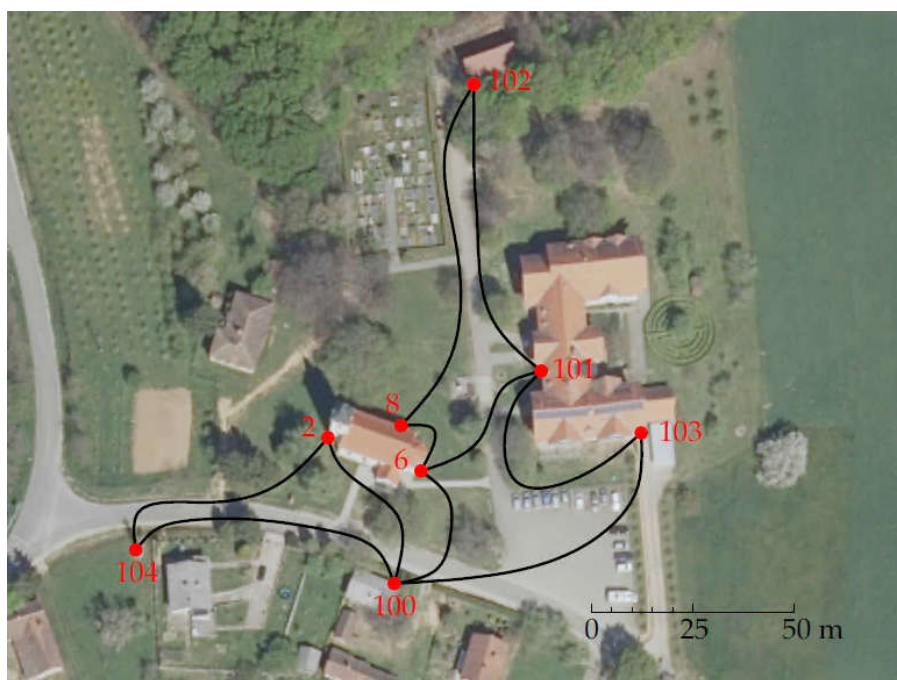
Terenske izmere smo opravili v obdobju 15 mesecev in sicer 20. 11. 2017 (0. izmera), 29. 5. 2018 (1. izmera) in 14. 2. 2019 (2. izmera). V prispevku predstavljamo ugotovljene premike in druge deformacije objekta iz podatkov precizne nivelmanske izmere ter terestričnega laserskega skeniranja, ki smo jih izvedli v vseh treh terminskih izmerah.

Uporabljene metode izmere in instrumentarij

Precizna nivelmanska izmera

Nivelmanska izmera velja za eno najenostavnejši in hkrati najnatančnejših metod geodetske izmere. Uporabljamo jo za določitev vertikalnih premikov. Pri izmeri smo uporabili precizen nivelir Leica DNA03 in komparirane nivelmanske late različnih dolžin (Leica GPCL2, Leica GWCL182 in Leica GWCL92).

Z uporabo nivelirja, ki zagotavlja horizontalno vizuro os, in para nivelmanskih lat, določamo posamezne višinske razlike med stabiliziranimi reperji. Višinsko razliko med dvema reperjema, ki ju povezuje nivelmanska linija, določimo z vsoto višinskih razlik na posameznem stojišču. S povezavo nivelmanskih linij dobimo nivelmansko mrežo. Del nivelmanske mreže, kjer je objekt povezan z reperji, stabiliziranimi na sosednjih objektih (reperji 100 do 104), prikazujemo na Slika 3. Ostale vgrajene reperje na zunanjem delu cerkve in zvonika prikazujemo na Slika 4.



Slika 3: Nivelmanska mreža (vir slikovne podlage: GURS).

Nivelmansko izmero smo izvedli po pravilih precizne nivelmanske izmere. Uporabili smo preizkušen instrument in komparirane nivelmanske late. Nivelirali smo iz sredine. Med izmero smo kakovost meritev nadzorovali s preverjanjem odstopanj pri niveliranju nivelmanskih linij v obeh smereh in odstopanj pri zapiranju nivelmanskih zank. Pri obdelavi merjenih vrednosti smo upoštevali popravka metra in pete late ter temperaturni popravek.

Rezultati posamezne nivelmanske izmere so popravljene merjene višinske razlike in dolžine nivelmanskih linij. Omenjeni podatki predstavljajo vhodne podatke za izravnavo nivelmanske mreže. Za izravnavo smo uporabili program VimWin (Ambrožič in Turk, 2016).



Slika 4: a) Vgrajeni reperji v cerkvi. b) Reper 5.

Prvi del analize rezultatov višinske izravnave je bil namenjen določitvi stabilnih reperjev. Izravnane višine reperjev in njihove natančnosti so vhodni podatek za izračun premikov. Ker smo v posameznih izmerah dosegli izredno visoko natančnost določitve višin reperjev, so zato visoke tudi natančnosti določitve vertikalnih premikov. Ker srednja natančnost razlike višin med 0. in 1. izmero znaša 0,08 mm, 0. in 2. izmero 0,10 mm in 1. in 2. izmero 0,07 mm, je smiselno, da je statistično značilen premik, če je $\Delta H \geq 3 \cdot \sigma_{\Delta H}$, ker je $\Delta H = H_{i+1} - H_i$ in $\sigma_{\Delta H} = \sqrt{\sigma_{H_i}^2 + \sigma_{H_{i+1}}^2}$, indeks i predstavlja številko izmere.

V preglednici 1 so zbrani podatki o izmerjenih višinskih razlikah nivelmanskih linij med reperji, ki so stabilizirani v objekte v okolici cerkve. Povprečna natančnost merjenja višinskih razlik, ki jo ocenimo na osnovi odstopanj obojestransko merjenih višinskih razlik po spodnji enačbi, znaša 0,22 mm (preglednica 2):

$$\sigma_l = \sqrt{\frac{1}{4 \cdot n_l} \cdot \sum \frac{\Delta_l^2}{s}}$$

kjer so:

n_l ... število nivelmanskih linij,

Δ_l ... odstopanje obojestransko merjenih višinskih razlik v mm,

s ... dolžina nivelmanske linije v km.

Preglednica 1: Razlike merjenih višinskih razlik v posamezni terminski izmeri med reperji, ki so stabilizirani v objekte v okolici cerkve.

Nivelmanska linija	ΔH med terminskimi izmerami [m]	ΔH med terminskimi izmerami [mm]					
		0.	1.	2.			
					1 - 0	2 - 0	2 - 1
101	100	-0,08781	-0,08731	-0,08765	0,50	0,16	-0,34
101	103		-2,51983	-2,52004			-0,22
103	100		2,43251	2,43239			-0,12
102	101	2,32440	2,32163	2,33165	-2,77	7,25	10,02
104	100		4,92530	4,92549			0,19

Ker je razlika merjenih višinskih razlik med reperjem 101 in reperji 100 in 103 (preglednica 1) manjša od trikratnika natančnosti merjenja višinskih razlik (0,66 mm), smo za navezavo nivelmanske mreže izbrali reper 101.



a)

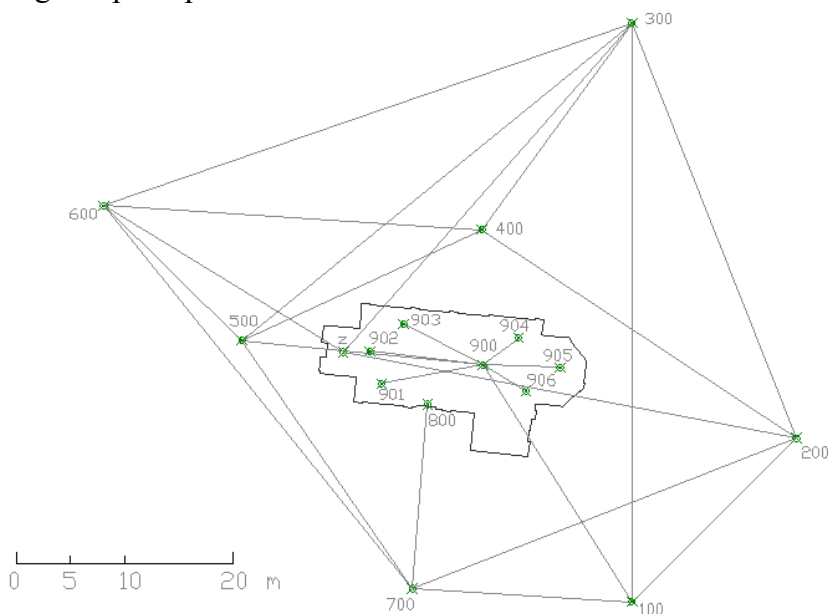


b)

Slika 5: a) Objekt, v katerega je vgrajen reper 101. b) Reper 101.

Geodetska mreža

Rezultate večkratnih izmer v različnih časih lahko po legi v prostoru med seboj primerjamo in analiziramo, kadar so v istem geodetskem datumu (Savšek S. et al., 2010). V primeru izmere s TLS na cerkvi sv. Benedikta, smo geodetski datum zagotovili z vzpostavitvijo lokalne geodetske mikro mreže (slika 6). Pri izmeri smo uporabili tahimeter Leica Nova MS50 in precizne prizme Leica GPH1P. Do vseh vidnih točk geodetske mreže smo na posameznem stojišču izmerili horizontalne smeri, zenitne razdalje in poševne dolžine v obeh krožnih legah v petih ponovitvah.



Slika 6: Geodetska mreža 1. terminske izmere.

Iz reduciranih dolžin in sredin merjenih horizontalnih smeri smo z izravnavo v programu GEM4 (Ambrožič in Turk, 1997) določili horizontalne koordinate točk. Višine smo točkam določili z izravnavo izračunanih višinskih razlik v programu VimWin (Ambrožič in Turk, 2016).

Ker stabilizirane talne točke geodetske mreže (točke 100 – 700) direktno ne omogočajo signalizacije tako, da bi omogočale njihovo prepoznavo v oblaku točk, smo oslonilne točke za vsako izmero TLS določili tako zunaj kot znotraj cerkve z vključitvijo oslonilnih točk v razširjeno geodetsko mrežo (Slika 6).

Točke 100 – 300 in 700 so stabilizirane v asfaltu, točke 400 – 600 pa na travnati površini. Njihov način in mesto stabilizacije sta zahtevala, da tudi v primeru geodetske mreže najprej določimo stabilne točke. Iz rezultatov proste izravnave točk geodetske mreže smo stabilne točke določili z deformacijsko analizo Hannover, s programom DahWin (Ambrožič in Turk, 1996) in jih uporabili kot dane za končno izravnavo koordinat točk.

Terestrično lasersko skeniranje (TLS)

Poškodbe na obravnavanem objektu so nas vodile v zaključek, da spremljanje položajev posameznih točk na objektu ne omogoča popolnega vpogleda v deformacije objekta. Tudi vgradnja večjega števila 3D merskih točk tega verjetno ne bi omogočala. Celovitejša analiza je mogoča z izmero s terestričnim laserskim skeniranjem, predvsem, ker smo želeli deformacije objekta ugotavljati tako zunaj kot znotraj objekta in ker so nas zanimale spremembe geometrije na večjih površinah objekta. Za skeniranje smo uporabili terestrični laserski skener Riegl VZ-400 (Slika 7).



Slika 7: Terestrični laserski skener VZ-400 (vir: Gorazd Prašnikar).

V posamezni terminski izmeri smo zunanost skenirali s štirih stojišč, notranost pa iz treh stojišč. Lokacije stojišč smo prilagodili površinam, ki smo jih želeli skenirati in oviram v okolici cerkve (drugi objekti in drevesa) in v njej (stebri). Za registracijo oblakov točk smo uporabili Rieglove odsevne valje velikosti 10 cm, ravne odsevne tarče okrogle oblike s premerom 5 cm in okrogle odsevne tarče Leica HDS 6". Leicine tarče smo uporabili tudi za georeferenciranje oblakov točk. Registracijo, georeferenciranje, brisanje odvečnih točk in filtriranje oblakov točk smo naredili v programu RiSCAN Pro. V postopku filtriranja smo oblak točk razredčili z octree filtrom na 5 mm.

Pri analizi geometrije objekta iz oblakov točk, ki smo jo naredili v programu Cyclone 3DR, smo se osredotočili na dva dela objekta. Pri del je najbolj obremenjena zunanja stena, drugi pa notranost cerkve. Zunanjo severovzhodno steno sestavlja 5 nosilnih stebrov in med

njimi štiri polnila. Pri analizi deformacij polnil smo do glavnih zaključkov prišli z izračunom razdalj med oblaki točk zaporednih terminskih izmer. Notranjost objekta smo v geometrijskem smislu analizirali z izračunom razlik prečnih razdalj med nosilnimi stebri.

Rezultati

Vertikalni premiki

Kakovost izmere smo s primerjavo dejanskih in dovoljenih odstopanj pri niveliranju v dve smeri preverjali med samo izmero. Za dovoljeno odstopanje smo uporabili kriterij $\Delta_{dop} = 2 * \sqrt{d + 0,04 * d^2}$, kjer je d dolžina nivelmanke linije v kilometrih. Oceno natančnosti nivelmanskih izmer smo naredili na osnovi odstopanj obojestransko merjenih višinskih razlik nivelmanskih linij in odstopanj pri zapiranju nivelmanskih zank (preglednica 2):

$$\sigma_z = \sqrt{\frac{1}{2 \cdot n_z} \cdot \sum \frac{\Delta_z^2}{s}},$$

kjer so:

n_z ... število nivelmanskih linij,

Δ_z ... odstopanje pri zapiranju nivelmanskih zank v mm,

s ... dolžina nivelmanske linije v km.

Referenčni standardni odklon po izravnavi $\hat{\sigma}_0$ in natančnost določitve višin reperjev σ_H v posamezni izmeri prav tako predstavljamo v Preglednica .

Preglednica 2: Ocena natančnosti nivelmanske izmere.

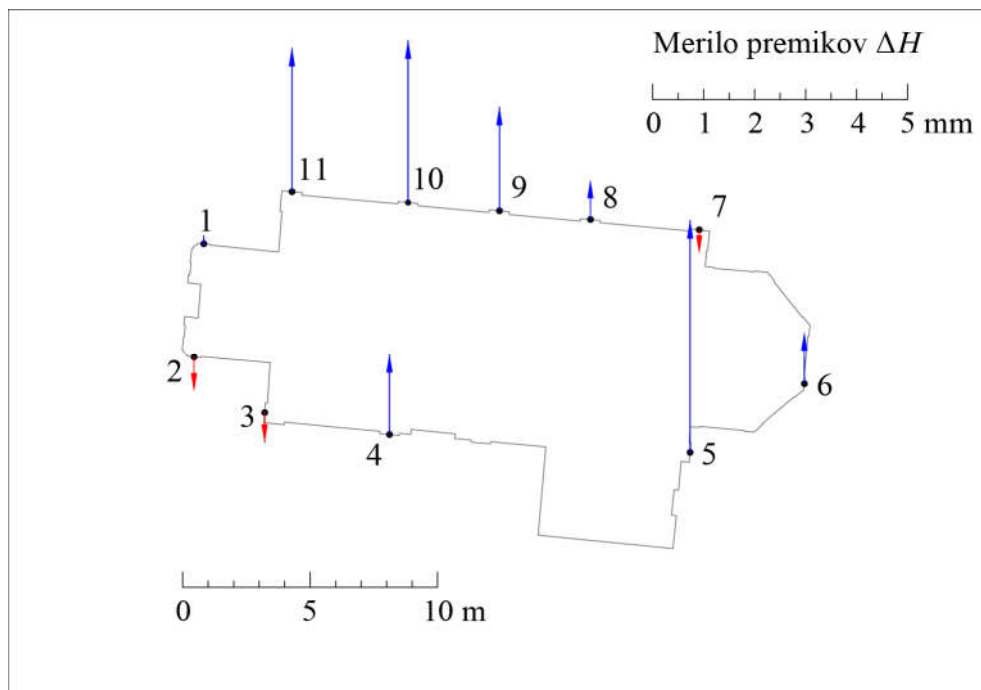
Terminska izmera	σ_l [mm]	σ_z [mm]	$\hat{\sigma}_0$ [mm]	σ_H [mm]
0.	0,24	0,21	0,44	0,05 – 0,07
1.	0,17	0,16	0,29	0,03 – 0,06
2.	0,25	0,31	0,49	0,06 – 0,10
Povprečna vrednost	0,22	0,23	0,41	0,06

Iz preglednice 2 vidimo, da smo dosegli pričakovane natančnosti precizne nivelmanske izmere, ki se kažejo tudi v izredno visoki natančnosti določitve višin reperjev.

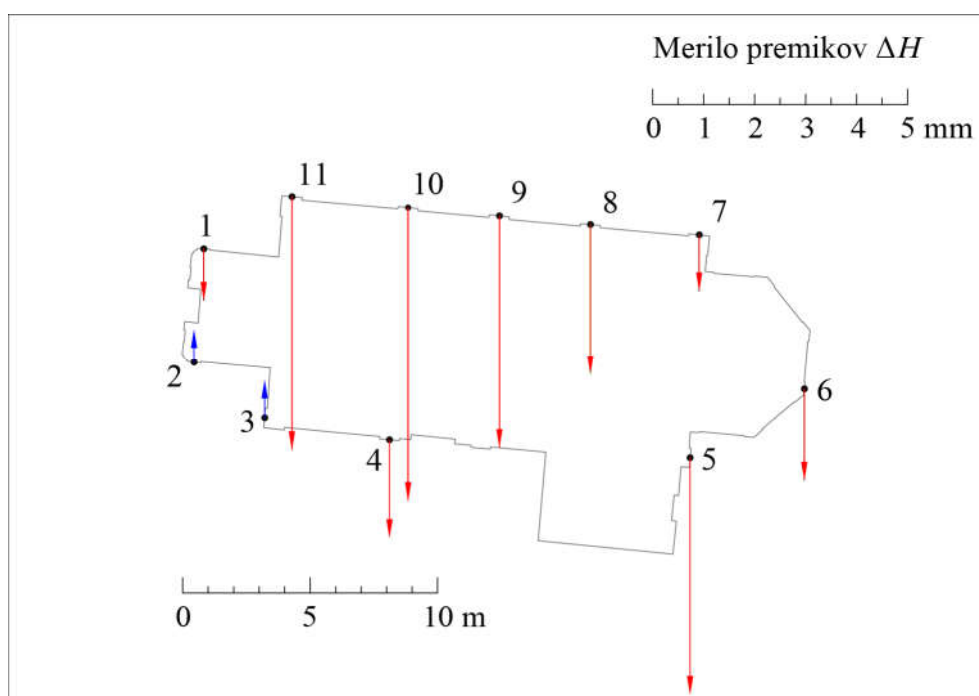
Končni rezultati obdelave podatkov nivelmanske izmere so vertikalni premiki reperjev in statistična analiza njihove stabilnosti (kriterij $\Delta H \geq 3 \cdot \sigma_{\Delta H}$). Velikosti premikov med vsemi terminskimi izmerami prikazujemo v preglednici 3 in na slikah 8, 9 in 10.

Preglednica 3: Višine in vertikalni premiki reperjev z oceno natančnosti.

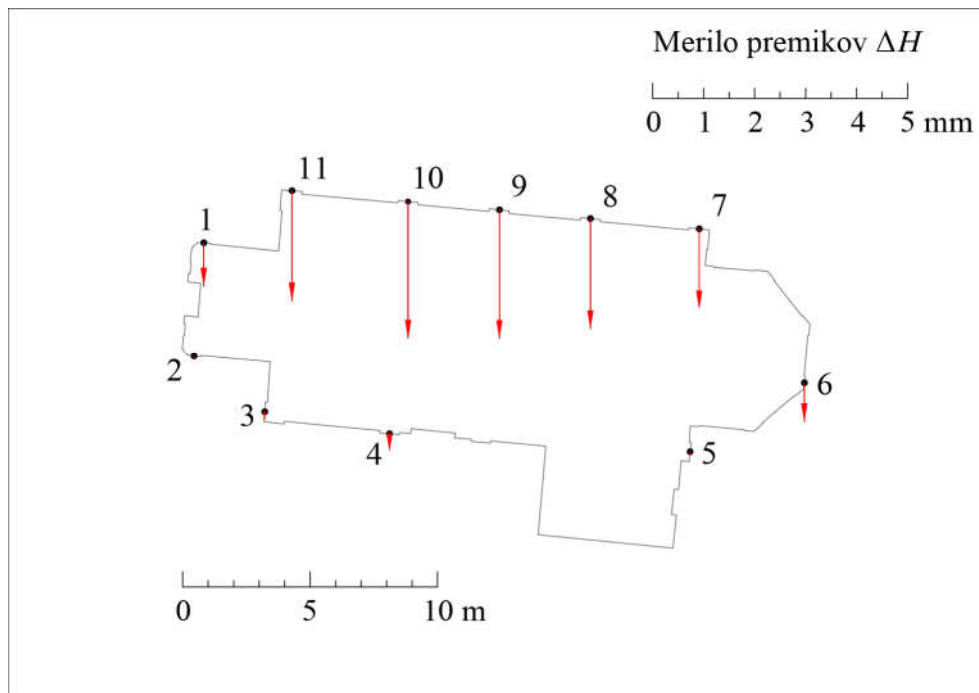
Reper	Višine reperjev z oceno natančnosti						Vertikalni premiki med posameznimi izmerami z oceno natančnosti								
	0. izmera		1. izmera		2. izmera		1 - 0		2 - 1		2 - 0				
	H [m]	σ_H [mm]	H [m]	σ_H [mm]	H [m]	σ_H [mm]	ΔH [mm]	$\sigma_{\Delta H}$ [mm]	Stab.	ΔH [mm]	$\sigma_{\Delta H}$ [mm]	Stab.			
100	99,91211	0,06	99,91269	0,04	99,91235	0,07	0,58	0,07	Ne	-0,34	0,08	Ne	0,24	0,09	Da
102	97,67561	0,07	97,67842	0,05	97,66820	0,08	2,81	0,09	Ne	-10,22	0,09	Ne	-7,41	0,11	Ne
103			97,48017	0,05	97,47995	0,08				-0,22	0,09	Da			
104			94,98729	0,06	94,98688	0,10				-0,41	0,12	Ne			
R1	101,16269	0,07	101,16285	0,04	101,16184	0,07	0,16	0,08	Da	-1,01	0,08	Ne	-0,85	0,10	Ne
R2	101,13804	0,07	101,13736	0,04	101,13801	0,07	-0,68	0,08	Ne	0,65	0,08	Ne	-0,03	0,10	Da
R3	101,17049	0,07	101,16990	0,04	101,17064	0,07	-0,59	0,08	Ne	0,74	0,08	Ne	0,15	0,10	Da
R4	101,14395	0,07	101,14553	0,04	101,14361	0,07	1,58	0,08	Ne	-1,92	0,08	Ne	-0,34	0,10	Ne
R5	101,22435	0,06	101,22893	0,04	101,22429	0,07	4,58	0,07	Ne	-4,64	0,08	Ne	-0,06	0,09	Da
R6	101,13908	0,05	101,14011	0,03	101,13832	0,06	1,03	0,06	Ne	-1,79	0,07	Ne	-0,76	0,08	Ne
R7	101,16880	0,06	101,16833	0,04	101,16723	0,06	-0,47	0,07	Ne	-1,10	0,07	Ne	-1,57	0,08	Ne
R8	101,16124	0,06	101,16202	0,04	101,15908	0,06	0,78	0,07	Da	-2,94	0,07	Ne	-2,16	0,08	Ne
R9	101,17492	0,06	101,17696	0,04	101,17240	0,07	2,04	0,07	Ne	-4,56	0,08	Ne	-2,52	0,09	Ne
R10	101,16387	0,06	101,16705	0,04	101,16119	0,07	3,18	0,07	Ne	-5,86	0,08	Ne	-2,68	0,09	Ne
R11	101,19918	0,07	101,20200	0,04	101,19702	0,07	2,82	0,08	Ne	-4,98	0,08	Ne	-2,16	0,10	Ne



Slika 8: Vertikalni premiki med 0. in 1. terminsko izmero.



Slika 9: Vertikalni premiki med 1. in 2. terminsko izmero.



Slika 10: Vertikalni premiki med 0. in 2. terminsko izmero.

Iz preglednice 3 lahko vidimo, da znašajo vertikalni premiki reperjev med 1. in 0. izmero od -0,68 mm (reper 2) do 4,58 mm (reper 5) in da je statistično stabilen le reper 1 (0,16 mm) – slika 8. Med 1. in 2. izmero znašajo vertikalni premiki od -5,86 mm (reper 10) do 0,74 mm (reper 3). Vsi vertikalni premiki reperjev so statistično značilni (slika 9). Med 0. in 2. izmero znašajo vertikalni premiki od -2,68 mm (reper 10) do 0,15 mm (reper 3). Statistično stabilni so reperji 2 (-0,03 mm), 3 (0,15 mm) in 5 (-0,06 mm) (slika 10). Iz preglednice 3 in Slika 8 in 9 lahko vidimo, da se na najbolj aktivnem delu objekta pojavijo premiki, ki so med 0. in 1. izmero ter 1. in 2. izmero različno predznačeni.

Spremembe geometrije objekta iz oblakov točk TLS

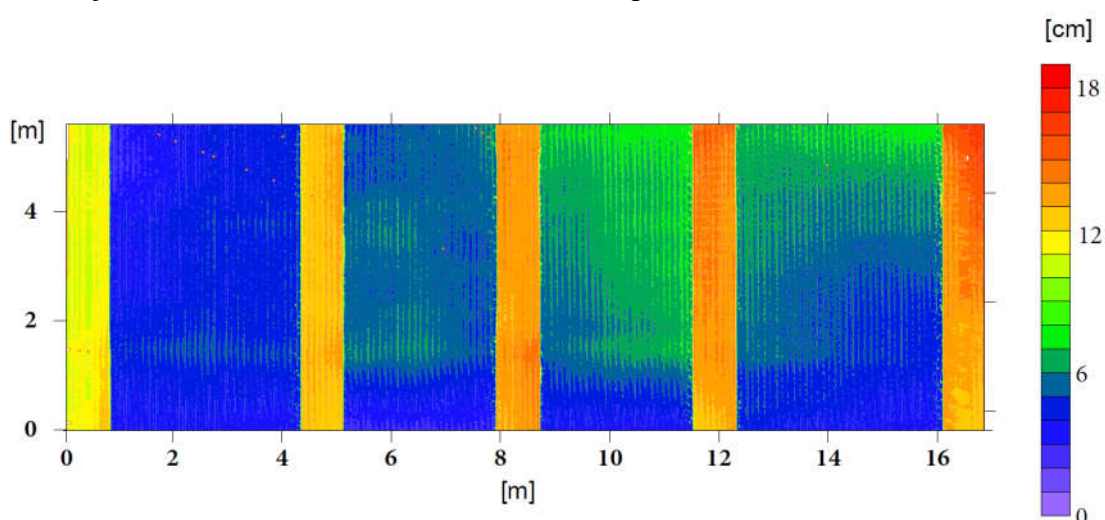
Za spremljanje sprememb notranje geometrije objekta iz oblakov točk TLS, smo morali najprej zagotoviti stabilne točke za georeferenciranje oblakov točk. Oslonilne točke so bile v vseh izmerah razporejene podobno in izmerjene na enak način. Izhajali smo iz vzpostavljene geodetske mreže. Z deformacijsko analizo Hannover smo ugotovili, da so stabilne točke vse, ki so stabilizirane v asfaltu (100, 200, 300 in 700), kar je glede na ostali točki, ki sta stabilizirani na travni površini tudi pričakovano. Z izravnavo opazovanj na te štiri dane točke smo dobili koordinate vseh ostalih točk geodetske mreže in oslonilnih točk za izmero TLS. Srednje natančnosti koordinat točk po izravnavi z upoštevanjem pogreška centriranja 0,5 mm in pogreška merjenja višine instrumenta 1 mm prikazujemo v Preglednica .

Preglednica 4: Srednje natančnosti koordinat točk geodetske mreže.

Izmera	$\bar{\sigma}_{Hz}$ [mm]	$\bar{\sigma}_H$ [mm]
0.	0,65	1,01
1.	0,82	1,04
2.	0,79	1,03

Za registracijo in georeferenciranje oblakov točk smo na točkah geodetske mreže, kjer smo imeli centriran in horizontiran instrument na stativu, za signaliziranje uporabili Leicine HDS 6" tarče. Poleg teh tarč smo za registracijo uporabili tudi 6 odsevnih valjev in v notranjosti cerkve 6 odsevnih nalepk premera 5 cm. Srednji standardni odkloni georeferenciranja iz odstopanj koordinat na oslonilnih točkah so za posamezne izmere znašali 3,8 mm, 2,9 mm in 2,6 mm.

Prvi del obdelav oblakov točk TLS smo namenili analizi zunanje severovzhodne stene. Steno sestavlja pet stebrov in med njimi štiri polnila. Na Slika 11 vidimo, da so stebri in polnila na levi polovici (smer proti oltarju) vertikalni, na desni polovici (smer proti zvoniku) pa je rahlo nagnjeni navzven. Največji nagib je 6,3 cm na 5,2 m višine. Nagib je enako velik tako na polnilih kot na nosilnih stebrih. Iz barvnih kontrastov zelene in modre barve lahko ugotovimo tudi, da je stena nekoliko zvita oz. napeta. Del deformacije lahko gotovo pripišemo tudi izvajalcem zaključnih gradbenih del, ne znamo pa oceniti vpliva na končni rezultat. Glede na dejstvo, da se tovrstni objekti gradijo vertikalno ali z rahlim nagibom navznoter, je bila ta stena kar močno deformirana že pred našo 0. izmero.

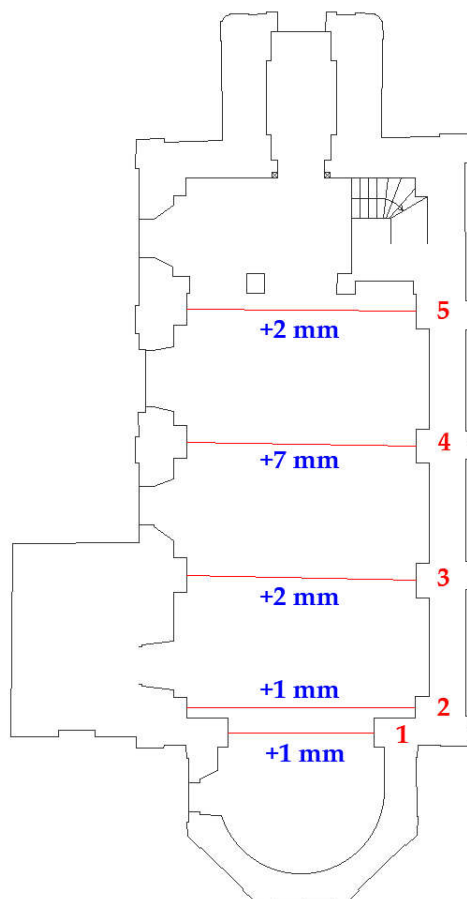


Slika 11: Vertikalnost severovzhodne zunanje stene v 0. izmeri.

Z dodatno analizo rezultatov 1. in 2. izmere smo ugotovili, da se je nagib na levi strani stene zmanjšal za 1 - 2 mm (stena se je nagnila navznoter), na desni strani pa je ostal enak. Tako majhne spremembe v geometriji so znotraj natančnosti skeniranja in jih ne moremo obravnavati kot statistično značilne.

V notranjosti cerkve smo kot glavno lastnost spreminjanja geometrije obravnavali razmikanje nosilnih stebrov. Obravnavali smo 5 parov stebrov (Slika 12). Na vsakem smo iz oblaka točk izrezali točke, ki pripadajo le površini, orientirani proti sredini cerkve. Skozi izbrane točke smo z metodo najmanjših kvadratov izravnali ravnino. Na višini 3,95 m od tal smo na sredini stebrov v prečni smeri določili točke na izravnani ravnini med katerimi smo izračunali razdalje. Lokacijo točke na enem od stebrov prikazujemo na Slika 12 b).

Med 0. in 2. terminsko izmero smo največjo spremembo razdalje zaznali na sredini ladje in sicer kar 7 mm.



a)



b)

Slika 12: Premiki znotraj cerkve: a) sprememba razdalje med nosilnimi stebri med 0. in 2. izmero; b) lokacija točke na enem od nosilnih stebrov za izračun razdalje.

Zaključek

Spremljanje stabilnosti objektov oz. geodetski monitoring je ena od nalog inženirske geodezije. Za geodetski monitoring cerkve v Kančevcih smo uporabili nivelmansko izmero in terestrično lasersko skeniranje, za določitev koordinat oslonilnih točk za izmero s TLS pa tudi klasično terestrično izmero geodetske mreže. Po obdelavi in izravnavi merjenih vrednosti smo najprej določili stabilne repere in točke geodetske mreže. Dobro definirano in stabilno koordinatno izhodišče je pogoj za kakovostne končne rezultate oziroma določitev premikov objektov. To nam omogočajo tudi zelo velike natančnosti izravnanih vrednosti, ki so plod primerne metode izmere in uporabljenega instrumentarija ter pribora.

Z obdelavo podatkov nivelmanskih izmer in opravljenimi analizami smo ugotovili, da so vertikalni premiki med 0. in 2. izmero znašali od -0,6 mm do -2,86 mm.

Iz oblaka točk terestričnega laserskega skeniranja 0. izmere smo ugotovili, da je bila cerkev dodobra deformirana že pred našo izmero. To na terenu kažejo same razpoke, iz oblaka točk pa smo to potrdili z izračunom vertikalnega nagiba vzdolž severovzhodne stene.

Škoda, ki je že povzročena na cerkvi sv. Benedikta v Kančevcih, je velika. Še toliko večja je, ker je bila obnova cerkve tako rekoč ravno zaključena. Z večkratnimi geodetskimi izmerami lahko določimo velikosti in smeri premikov ter druge deformacije, ki predvsem strokovnjakom s področja gradbeništva podajajo dodaten vpogled v dogajanje in pravilnejše odločanje o nadaljnjih ukrepih.

Zahvala

Prispevek je nastal v okviru raziskovalnega programa Geoinformacijska infrastruktura in trajnostni prostorski razvoj Slovenije (P2-0227) Javne agencije za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije – ARRS.

Literatura in viri

- Ambrožič, T., Turk, G. (2016). Navodila za uporabo programa VimWin, Ver. 5.1, mar. 16. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- Ambrožič, T., Turk, G. (1996). Navodila za uporabo programa DAH, Ver. 1.0, jun. 96. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- Ambrožič, T., Turk, G. (1997). Navodila za uporabo programa Ram ver. 3.2, avg. 96 in GeM ver. 3.1, mar. 97. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- Bacco, M. et al. (2020). Monitoring Ancient Buildings: Real Deployment of an IoT System Enhanced by UAVs and Virtual Reality. *IEEE Access*, 8: 50131-50148.
- de Lacy, M., Ramos, M., Gil, A.J., Franco, Ó.D., Herrera, A.M., Avilés, M., Domínguez, A., Chica, J. (2017). Monitoring of vertical deformations by means high-precision geodetic levelling. Test case: The Arenoso dam (South of Spain), *Journal of Applied Geodesy*, 11, 1: 31-41.
- Kregar, K., Štebe, G., Marjetič, A. (2017). Preverjanje stabilnosti ploskovnega objekta s terestričnim laserskim skeniranjem. *Raziskave s področja geodezije in geofizike 2018: zbornik del*, Ljubljana, 26. januar 2017, 81-92.
- Luo, Y., Chen, J., Xi, W., Zhao, P., Qiao, X., Deng, X., Liu, Q. (2016). Analysis of tunnel displacement accuracy with total station. *Measurement*, 83: 29-37.
- Mihevc, A., Urbančič, T. (2019). Spreminjanje premikov in oblikovanja poligonalnih tal v Skedneni jami s terestričnim laserskim skeniranjem. *Raziskave s področja geodezije in geofizike 2018: zbornik del*, Ljubljana, 31. januar 2019, 121-130.
- Pieraccini, M. (2013). Monitoring of Civil Infrastructures by Interferometric Radar: A Review. *The Scientific World Journal*, 786961.
- Register kulturne dediščine. (2020). Register kulturne dediščine. <http://giskd2s.situla.org/rkd/Opis.asp?Esd=3056>. Pridobljeno 2. 12. 2020.
- Savšek-Safić, S., Ambrožič, T., Stopar, B., Kogoj, D. (2008). Local stability monitoring of the Koper tide gauge Station. *AVN*, 6: 210-216.
- Savšek, S., Ambrožič, T., Kogoj, D., Koler, B., Sterle, O., Stopar, B. (2010). Geodezija v geotehniki. *Geodetski vestnik*, 54, 1: 31-45.
- Sterle, O., Kuhar, M., Stopar, B., Pavlovčič Prešeren, P., Urbančič, T., Koler, B. (2017). Ocena vertikalne stabilnosti mareografske postaje Koper. *Geodetski vestnik*, 61, 4: 527-540.
- Suchocki, C., Katzer, J. (2018). TLS Technology in Brick Walls Inspection. *Baltic Geodetic Congress (BGC Geomatics)*, Olsztyn, 2018, pp. 359-363.
- Šegina, E., Peternel, T., Urbančič, T., Realini, E., Zupan, M., Jež, J., Caldera, S., Gatti, A., Tagliaferro, G., Consoli, A., González, J.R., Auflič, M.J. (2020). Monitoring Surface Displacement of a Deep-Seated Landslide by a Low-Cost and near Real-Time GNSS System. *Remote Sensing*, 12, 3375.
- Urbančič, T., Bosiljkov, V., Bokan-Bosiljkov, V., Štukovnik, P., Koler, B. (2019). Advanced monitoring of the church of st. Benedict in Kančevci (Slovenia). V: Mikoš, M. (ur.), Bezak, N. (ur.). *Buildings and infrastructure resilience: WCF2019 Book of abstracts with programme*. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, pp. 103-104.
- Yu, J., Meng, X., Yan, B., Xu, B., Fan, Q., Xie, Y. (2020). Global Navigation Satellite System-based positioning technology for structural health monitoring: a review. *Structural Control Health Monitoring*, 27, e2467.
- Yu, J., Zhu, P., Xu, B., Meng, X. (2017). Experimental assessment of high sampling-rate robotic total station for monitoring bridge dynamic responses. *Measurement*, 104: 60-69.