

Boško Pribičević, Almin Đapo, Vanja Miljković,
Luka Babić, Ela Vela i Branko Kordić

Trodimenzionalna geodetska izmjera za potrebe geodinamičkih i geoloških istraživanja Staroga grada Modruša

Hrvatska je zemlja bogata spomenicima kulture, građevinama, skulpturama i raznom drugom kulturnom baštinom. Nove tehnike izmjere, kao što je terestričko lasersko skeniranje, omogućuju prikupljanje prostornih i strukturnih podataka o kulturnoj baštini. Takve tehnike omogućuju izradu točnih i pouzdanih modela. Terestrički laserski skeneri (TLS) koriste se pri izradi različitih projekata očuvanja kulturne baštine. Inovativna tehnologija terestričkog laserskog skeniranja između ostalog služi za prikupljanje podataka potrebnih za izradu 3D dokumentacije. Podaci prikupljeni korištenjem ove tehnologije omogućuju zaštitu, konzerviranje i valorizaciju arhitektonske, arheološke i ostale kulturne baštine. Podaci i modeli koji se iz njih kreiraju koriste se za analizu i rekonstrukciju u slučaju devastacije. U ovom članku opisana je primjena TLS-a u izradi 3D dokumentacije za očuvanje povijesne Modruške tvrđave.

Posebna pažnja posvećena je geološkim istraživanjima zbog razrade strukturnog sklopa, klasificiranju struktura i rasjeda, određivanju modela recentnih tektonskih pokreta i položaja lokacije Gradina u strukturnom sklopu, te odredbu odnosa i smjerova pomaka dijelova struktura u krilima rasjeda. U provedenom terenskom strukturno-geološkom kartiranju istraživanja su bila usredotočena na izdanke rasjeda oko brda Gradina i lokacije ruševina starog grada. Cilj predmetnih istraživanja bilo je utrdivanje mogućeg uticaja prisutne seizmotektonske aktivnosti na planirane konzervatorske radove.

Na temelju analize provedenih geoloških i seizmotektonskih istraživanja može se konstatirati da su obzirom na potrese koji se događaju u blizini rasjedi aktivni. Međutim, na samoj lokaciji staroga grada Modruša, zbog položaja

unutar strukture duž njihovih krila ne očekuju se veći ili nagliji pomaci koji bi mogli imati negativni utjecaj na njegovu buduću obnovu.

Ključne riječi: Terestričko lasersko skeniranje, kulturna baština, 3D model, recentni strukturni sklop, geodinamika, seizmotektonska istraživanja, geološki pomaci.

Uvod

Hrvatska je bogata spomenicima kulture, građevinama, skulpturama i drugom kulturnom baštinom. Nove tehnike izmjere, kao što je terestričko lasersko skeniranje, omogućuju prikupljanje prostornih i strukturnih podataka o kulturnoj baštini. Takve tehnike omogućuju izradu točnih i pouzdanih modela. Terestrički laserski skeneri (TLS) koriste se pri izradi raznih projekata očuvanja kulturne baštine.

Modruš se nalazi u središnjem dijelu Hrvatske južno od Josipdola. Na prostoru Modruša i u njegovoj okolini mogu se naći brojni ostatci povijesnih građevina. Položaj Modruša na važnom povijesnom putu između Panonije i Jadrana ukazuje



Slika 1 Prikaz dijela staroga grada Modruša

na mogućnost ranog prehistorijskog naseljavanja. Modruška tvrđava građena je vjerojatno potkraj 13. ili 14. stoljeća, a možda i ranije. Povijesni zapisi govore o njenoj važnosti, kako političkoj tako i gospodarskoj. Obzirom da modruška tvrđava već niz godina propada (slika 1), spada u jedan od najugroženijih hrvatskih spomenika kulture. Zbog toga je Ministarstvo kulture Republike Hrvatske preuzelo brigu o tvrđavi i radi njene zaštite i očuvanja zatražilo izradu 3D dokumentacije o objektu te izrade recentnog geološkog strukturnog sklopa.

Da bi se u tome uspjelo, takve je objekte potrebno na kvalitetan način dokumentirati. Geodetski fakultet je angažiran upravo iz tog razloga za izradu prostorne i oblikovne dokumentacije.

3D lasersko skeniranje

Postavilo se pitanje kako pratiti kulturnu baštinu i oštećenja nastala starenjem, prirodnim fenomenima i ljudskim utjecajem.

Laserska tehnologija, digitalna fotogrametrija i GPS tehnologija u kombinaciji s klasičnom izmjerom omogućuju brzo prikupljanje goleme količine visoko preciznih prostornih podataka, a njihovom kombinacijom moguće je prikupljanje realističnih i potpunih informacija o kulturnoj baštini. Time se ujedno ostvaruje kvalitetna dokumentacija kulturne baštine.

Dakle odgovor na postavljeno pitanje nudi primjena 3D terestričkog laserskog skenera (TLS). TLS je vrlo učinkovit i sofisticiran mjerni instrument koji mjeri na desetke i stotine tisuća točaka u sekundi korištenjem LIDAR (Light detection and ranging) tehnologije (Luhmann et al. 2006). TLS određuje udaljenosti do objekta mjerenjem vremenske razlike između odaslanog i primljenog svjetlosnog signala ili mjerenjem fazne razlike između njih. Razlika između ove dvije metode je u brzini prikupljanja podataka i dometu izmjere. Fazni skeneri su brži, ali imaju kraći domet. Mjerenje TLS-om je aktivna metoda daljinske izmjere kojom se mogu mjeriti kako mala tako i velika područja. Glavna prednost ove tehnologije je u tome što ona osigurava direktno prikupljanje visoko kvalitetnih 3D podataka.

Osim što se ističe brzinom i točnošću mjerenja, 3D skenerom moguće je mjeriti oblik, položaj, odstupanja ili deformacije. Mjerenje 3D skenerom proširuje mogućnosti mjerenja i daje mu novu dimenziju.

Ova tehnologija je prvu primjenu doživjela u strojarstvu, gdje je korištena za izmjeru gotovih elemenata i rekonstrukciju proizvodnog procesa radi kontrole ispravnosti proizvoda (Santana Quintero M. et al. 2008). Daljnjim razvojem ta je tehnologija pronašla, između ostaloga, primjenu i u geodeziji.

3D skeniranje osigurava visoku točnost i potpunu pokrivenost objekata točkama izmjere. Time se osigurava da su svi detalji na objektu obuhvaćeni izmjerom. U početku su 3D skeneri korišteni prilikom izmjere manjih građevinskih objekata. Povećanjem dometa 3D skenera primijenjeni su i u izmjeri objekata većih dimenzija. Skeneri se od tada koriste i u kamenolomima, za izmjeru terena u svrhu izrade digitalnog modela reljefa, akumulacionih brana, mostova itd.

Za razliku od klasičnih fotogrametrijskih metoda, LIDAR tehnologijom se direktno prikupljaju georeferencirani setovi gustih oblaka točaka. Oblak točaka je skup milijuna točaka koje pružaju vjernu trodimenzionalnu predodžbu mjenjenog objekta. Iz oblaka točaka koje, zbog velike količine izmjerenih detalja, moguće je dobiti puno realniju predodžbu svih nepravilnosti na objektu i njihovih odnosa u 3D okruženju. Neki skeneri imaju mogućnost bojanja oblaka točaka korištenjem digitalne kamere. Obojani oblaci točaka pružaju bolji uvid u stvarno stanje mjenjenog objekta.

Za izmjeru staroga grada Modruša, osobito zidova i strmih površina, primijenjeno je bezkontaktno mjerenje (bez uporabe prizme) (Teza G. et al. 2009). Te površine bi bilo teško, a ponegdje i nemoguće, obuhvatiti klasičnim metodama izmjere bez opasnosti od narušavanja integriteta objekta.

Geodetski fakultet posjeduje Faro Photon 120 i Trimble GX Advanced terestričke laserske skenere koji su korišteni prilikom izmjere.

Faro Photon 120

Faro Photon 120 je terestrički laserski skener koji mjeri udaljenosti na osnovu faznih razlika između odaslano i primljenog signala. Karakterizira ga velika brzina izmjere uz visoku rezoluciju mjerenih točaka te visoka točnost.

Faro Photon 120 ima domet mjerenja do 120 m i to brzinom do čak 976 000 točaka u sekundi. Može mjeriti vertikalnom rezolucijom do 0,009°, a horizontalnom do 0,00076° uz točnost od ± 2 mm na 25 m. Osim za lasersku izmjeru objekata kulturne baštine primjenjuje se i za skeniranje interijera, industrijsku izmjeru, praćenje pomaka i deformacija itd. Uz skener se koristi adapter i SLR kamera Nikon D300 rezolucije 12 Mpx.



Slika 2 3D laserski skener Faro Photon 120

3D laserski skener Trimble GX Advanced

Laserski skener Trimble GX Advanced korišten je na ovome projektu za izmjeru cijelog područja obuhvata staroga grada Modruša te izradu 3D modela terena. Karakterizira ga veći domet nego što ga imaju fazni skeneri (do 350 m) što ga čini pogodnijim za izmjeru nedostupnih objekata i onih velikih dimenzija.

Njime se udaljenosti mogu mjeriti s točnošću od 7 mm na 100 m rezolucijom do 3 mm na 100 m. Brzina skeniranja je do 5000 točaka u sekundi, a sadrži i integriranu digitalnu kameru kojom se u realnom vremenu dobiva slika i koja služi za bojanje oblaka točaka. Najčešće se primjenjuje u rudarstvu, kamenolomima, izmjeri terena, ali i na svim projektima koji se mogu raditi sa Faro Photon skenerom.



Slika 3 Skener Trimble GX Advanced

Primjena 3D skenera u zaštiti kulturnih spomenika

Laserski skeneri primjenjuju se prilikom evidencije i prikupljanja tehničke dokumentacije o kulturnoj i spomeničkoj baštini. Metoda bezkontaktne izmjere najzahvalnija je prilikom restauracijskih i konzervatorskih izmjera. Laser koji se koristi za izmjeru predmetnog objekta ne oštećuje objekt te, što je još važnije, nije opasan za ljudsko zdravlje (Ramondino F. and Rizzi A. 2009).

Rezultat izmjere je oblak točaka (veliki broj točaka) visoke točnosti i rezolucije. Oblak točaka izgleda kao slika, a u biti je svaka točka definirana u prostoru pripadnim koordinatama i informacijom o boji i intenzitetu što oblak čini mjerljivom i vjernom reprezentacijom objekta. Primjer oblaka točaka je vidljiv na slici 4. gdje su gornje dvije fotografije građevine, a ispod njih se nalazi prikaz istih građevina u obliku oblaka točaka nastalog skeniranjem.

Obrada podataka se izvodi pomoću specijaliziranih programskih paketa. Za restauratorske i konzervatorske potrebe elemente objekta potrebno je pripremiti za korištenje u uobičajenim programskim paketima kao što su npr: AutoCAD, Microstation, 3DS Max i sl. Priprema se radi tako da se svi relevantni elementi iscrtaju i/ili modeliraju iz oblaka točaka te zatim prevedu u neki od prije navedenih standardnih formata.



Slika 4 Fotografija i oblak točaka

S obzirom da je oblak točaka sam po sebi mjerljiv, krajnjim korisnicima se otvara i mogućnost korištenja samog oblaka za brzu preliminarnu interpretaciju i analizu objekta.

3D snimanje i računalna obrada podataka

Terenska izmjera

Prije nego se pristupilo izmjeri bilo je potrebno raskrčiti raslinje koje je djelomično ili u potpunosti zaklanjalo objekt i što je onemogućavalo izmjeru cjelokupnog objekta. Ovo nije bio nimalo jednostavan zadatak budući da je postojala mogućnost da njegovim uklanjanjem integritet objekta bude značajno narušen. Dio raslinja koje se nalazi na objektu i oko njega čak sprječava potpuno urušavanje objekta. Za krčenje raslinja bila je zadužena općina Josipdol. Terenska izmjera staroga grada Modruša s okolnim terenom krenula je nakon krčenja i odvijala se tijekom studenog 2009.

Prvo je stabilizirana mreža poligonskih točaka koje su kasnije korištene za georeferenciranje oblaka točaka dobivenih skeniranjem. Koordinate točaka mreže su određene korištenjem GPS uređaja. Na taj način je osigurano da su rezultati mjerenja u referentnom koordinatnom sustavu Republike Hrvatske.

Faro Photon 120 je korišten za izmjeru zidova tvrđave. Kako bi izmjereni oblak točaka sadržavao i podatke o boji, prilikom izmjere ovim skenerom korištena je i kalibrirana kamera. U tu je svrhu korišten Nikon D300 koji se postavi na skener i fotografira tijekom izmjere. Takav obojani oblak točaka daje potpunu reprezentaciju skeniranog objekta (slika 5.). Sa svakog stajališta skeniranja dobije se po jedan nezavisni oblak točaka. Kako bi se svi ti pojedinačni oblaci točaka naknadno uklopili u jedinstvenu cjelinu, koja zatim vjerno i cjelovito predstavlja mjereni objekt, pri izmjeri su korištene sfere pomoću kojih se izvodi uklapanje. Treba napomenuti kako su mjerenja izvođena u otežanim vremenskim uvjetima zbog vjetrova koji kontinuirano i izrazito jako puše na tom području, zbog čega je jedan dio mjerenja morao biti ponovljen. Također, zbog snijega dio mjerenja je odgođen do proljeća.



Slika 5 Oblak točaka dobiven mjerenjem starog grada Modruša, prije (lijevo) i nakon bojanja (desno)

Za izmjeru brda na čijem se vrhu nalazi tvrđava korišten je Trimble GX Advanced. Za georeferenciranje oblaka točaka mjerenih ovim skenerom određivane su koordinate stajališta i orijentacije (Trimble Navigation Ltd. 2007). Naime, ovaj skener je moguće orijentirati na isti način kao i mjernu stanicu uz jednu razliku. Umjesto prizme koja se postavlja na orijentaciji prilikom mjerenja totalnom stanicom, za skener je potrebno postaviti »target«. Target je, kako mu i ime govori, meta. Određivanje ravnine i središta te mete omogućuju skeneru da odredi vlastitu orijentaciju. S obzirom da su skeneru poznate i koordinate stajališta, sve točke mjerene ovim skenerom su automatski georeferencirane.

Izmjera ostataka teško uočljivih zidina koje su se spuštale od tvrđave izvedena je primjenom GPS uređaja, a na mjestima na kojima zbog okolnih zapreka nije bilo moguće mjeriti GPS–om upotrebljena je mjerna stanica.

Obrada mjerenja

Obrada je izvedena korištenjem niza programskih paketa ovisno o izvoru mjerenih podataka. Za obradu i uklapanje oblaka točaka mjerenih Faro Photon 120 skenerom korišten je Faro Scene, dok je izrada nacrtu izvedena u Z–Map programskom paketu. Za obradu i izradu slojnog plana iz oblaka točaka dobivenog pomoću Trimble GX Advanced skenera korišten je RealWorks programski paket. Tlocrtni plan zidova mjerenih GPS–om i totalnom stanicom izrađen je u Autocad Civil 3D programskom paketu.

Obrada oblaka točaka proces je koji sadrži niz operacija koje je potrebno napraviti prije pristupanja izradi modela. Kao prvo, oblake točaka potrebno je međusobno uklopiti kako bi stvorili jedinstveni objekt. Za Faro Photon 120 taj proces podrazumijeva identificiranje skeniranih sfera i prepoznavanje istih sfera na susjednim oblacima točaka nakon čega softver sam postavlja oblake točaka u odgovarajuće međusobne položaje. Kada se sferama doda podatak o koordinatama u apsolutnom koordinatnom sustavu sve točke u svim oblacima bivaju georeferencirane. Na taj način se sve objekte smješta u odgovarajući koordinatni sustav. Kod Trimble GX Advanced skenera georeferenciranje izvodi se na već opisan način.

Sljedeći korak je čišćenje oblaka od suvišnih točaka. Suvišne točke su sve one koje su obuhvatile objekte koji nisu interesantni ili su čak smetnja prilikom izrade projekta, kao što je okolno raslinje i razni drugi objekti koji zaklanjaju predmetni objekt. Na taj način ostaju samo relevantne točke.

Postoji još niz operacija koje podižu kvalitetu oblaka točaka kao što je: smanjivanje šuma (eng. *noise reduction*), brisanje »zalutalih« točaka (eng. *remove stray points*) i druge operacije koje u velikoj mjeri ovise o specifikacijama projekta i iskustvu osobe koja obrađuje podatke.

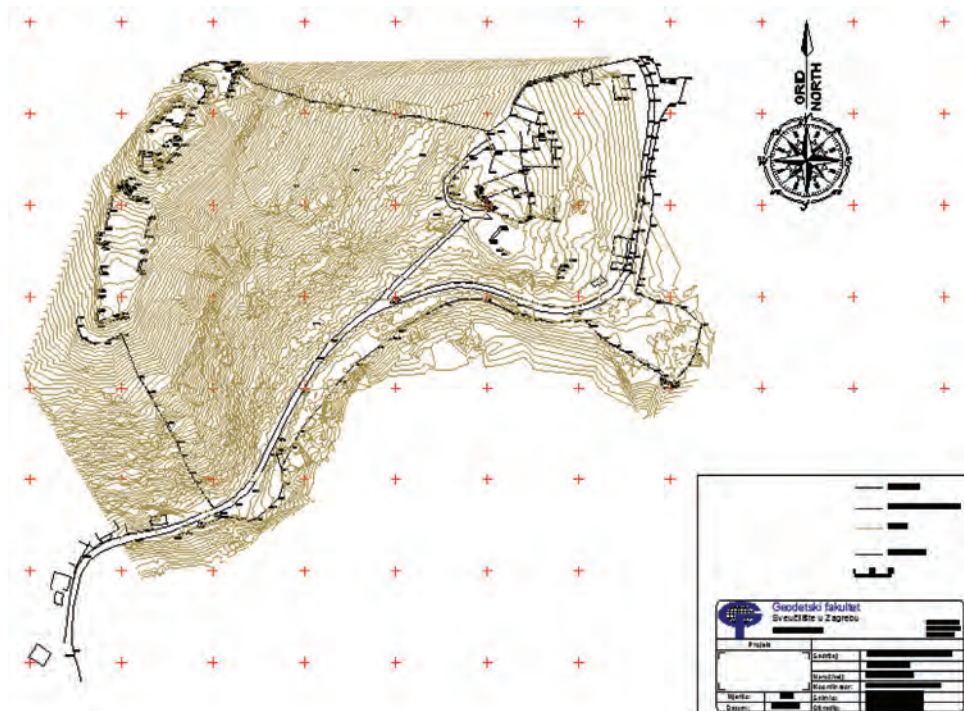
Kvalitetna priprema oblaka točaka osigurava dobivanje ispravnih rezultata prilikom izrade modela i svih tehničkih elemenata koje treba pripremiti za elaborat. Takav očišćen i pripremljen oblak točaka moguće je predati investitoru kojem korištenjem besplatnih preglednika, može poslužiti za elementarnu analizu predmetnog objekta.

Zahtjevi Ministarstva kulture za ovaj projekt uključivali su izradu mrežnog CAD modela. CAD modeli mogu se koristiti bez softvera za manipulacijom meshevima i

oblacima točaka. Oni se također lako mogu ispisati za korištenje na terenu. Iz tog razloga je bilo potrebno kreirati mrežni model.

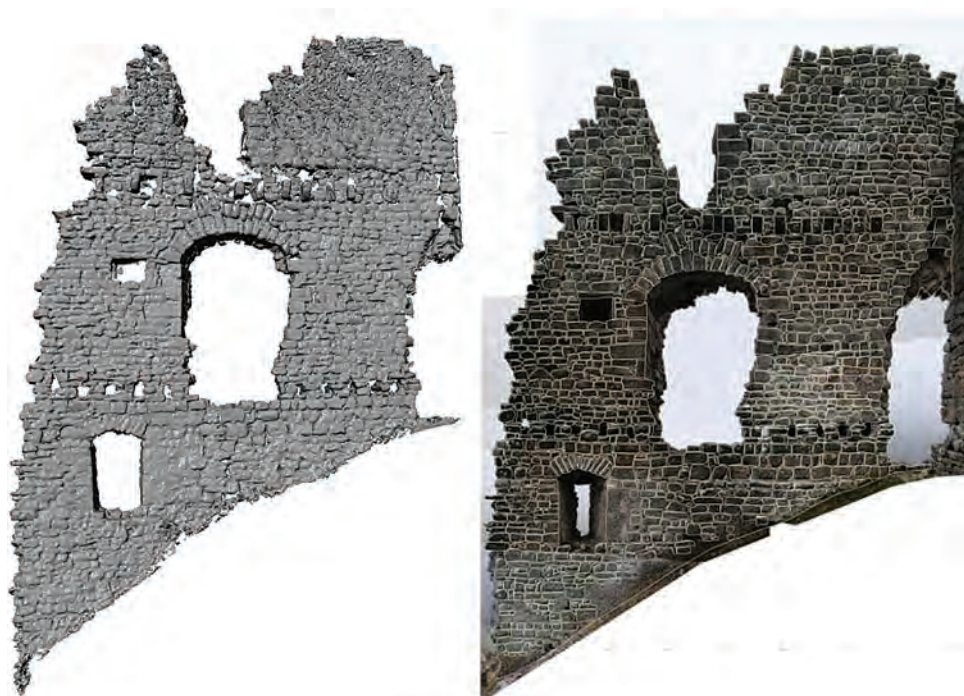
Za potrebe iscrtavanja zidova staroga grada trebalo je napraviti još jedan korak. Naime, prepoznavanje svih detalja koji su traženi projektom lakše je kada se iz oblaka točaka kreira mesh. Mesh je plošni model koji je moguće obojiti i na njemu primijeniti sjenčanje što pruža vjerniju 3D predodžbu te posljedično olakšava prepoznavanje elemenata objekta.

Nakon pripreme oblaka točaka i izrade mesha pristupilo se iscrtavanju elemenata traženih projektom. Za okoliš staroga grada skeniranog Trimble GX Advanced skenerom to je značilo izradu slojnog plana. Slojni plan moguće je izraditi korištenjem alata u RealWorks programskom paketu. Takav slojni plan zatim je preveden u dxf format za korištenje u AutoCAD Civil 3D programskom paketu. U AutoCAD-u je izrađen i situacijski plan, odnosno tlocrtni prikaz staroga grada i njegove okolice korištenjem podataka izmjere s GPS-om i totalnom stanicom.



Slika 6 Slojni i tlocrtni plan

Zidovi staroga grada iscrtani su korištenjem Z-Map programskog paketa. Mrežni model izrađen je iscrtavanjem obrisa svakog kamena, otvora i detalja koji se nalaze na objektu. Oblik, veličina i položaj kamena ugrađenog u zidove omogućuju arhitektima da odrede period u kojem je izgrađen objekt. Oblici otvora im omogućuju određivanje namjene tih otvora, na primjer: jesu li to otvori u kojima su se nalazile nosive grede ili su u pitanju puškarnice i slično. Nakon što je izrađen, mrežni model preveden je u CAD oblik. Određeni dijelovi su zasebno pripremljeni za pregled, manipulaciju i ispis. Ti dijelovi pripremljenisu kao ortografski prikazi pojedinih zidova. Taj korak bio je potreban kako bi se osigurao nezaklonjeni pregled svakog zida.



Slika 7 Mesh kreiran iz oblaka točkica (lijevo) i mrežni model u kombinaciji sa slikom (desno)

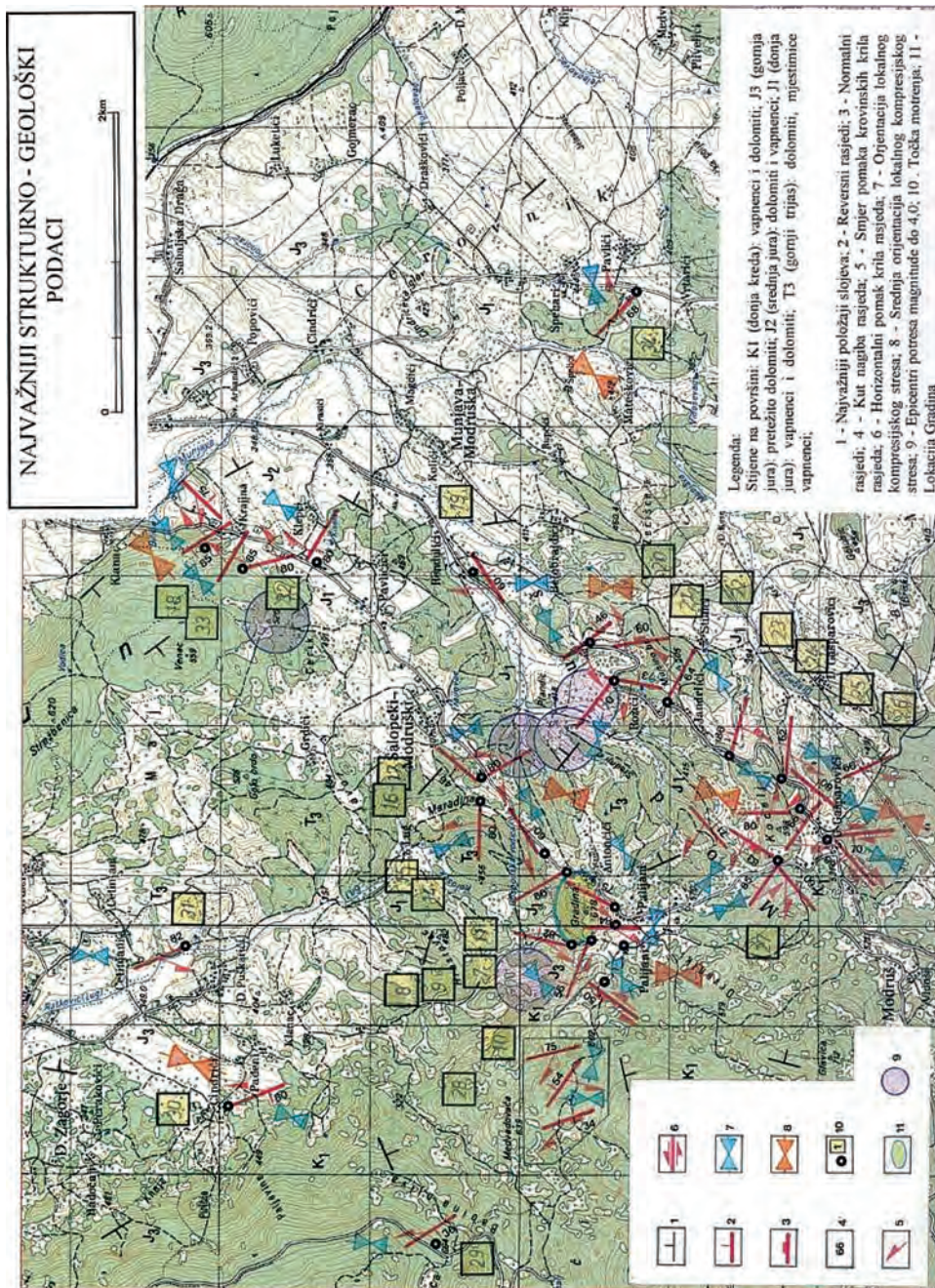
Geološki recentni strukturni sklop

Na površini terena oko lokacije Gradina nalaze se karbonatne stijene – vapnenci i dolomiti mezozojske starosti. Današnji razmještaj, položaj i međusobni odnosi tih stijena ukazuju na tijek, karakter i tektonske uzroke stvaranja struktura koje oblikuju recentni geološki strukturni sklop. Tektonska aktivnost stalno je prisutna i uvjetuje promjene položaja i različite amplitude pomaka svake točke obuhvaćenog područja. Na prisutnu recentnu tektonsku aktivnost izravno upućuju potresi. Pojavljuju se potresi relativno manje jakosti, magnituda do 4,0. Međutim, u zoni najaktivnijeg rasjeda Vrbovsko — Ogulin — Plitvice (1 u slici 9) oko Saborskog dogodio se 1505. godine potres intenziteta IX° MCS ljestvice.

Najvažnija je činjenica da su uzročnici pojavljivanja potresa, ali i promjena reljefa ili pomaka pojedinih točaka na površini obuhvaćenog područja prisutni tektonski pokreti. Stoga je za definiranje geodinamičkih procesa koji se recentno događaju potrebno izvršiti korelaciju geoloških i geodetskih podataka. Time se dobivaju potpuni i točni podaci o recentnoj tektonskoj aktivnosti, te vrsti, smjeru i amplitudama pomaka geodetskih točaka mjerenja. Od geoloških podataka u korelaciju se uključuje razrada strukturnog sklopa, posebice klasificiranje struktura i rasjeda, odredba modela recentnih tektonskih pokreta i položaja lokacije Gradina u strukturnom sklopu, te odredba odnosa i smjerova pomaka dijelova struktura u krilima rasjeda.

U provedenim istraživanjima geološkog strukturnog sklopa najprije su u obzir uzete dosadašnje spoznaje sadržane u objavljenim i važnim stručnim radovima. Osnovni podaci o rasprostranjenosti stijena i strukturnim odnosima sadržani su u Osnovnoj geološkoj karti lista Ogulin (Velić & Sokač, 1981). Nadalje se ističu: strukturne klasifikacije, podaci o nastanku struktura i dubinskim strukturnim odnosima (Herak, 1986; 1991; Aljinović i dr., 1987; Lawrence i dr., 1995; Romandić i Aljinović, 1999; Prelogović i dr., 2001; 2004). Najvažniji su podaci o seizmotektonskoj aktivnosti, recentnim tektonskim pokretima i korelaciji geodetskih i geoloških podataka (Cvijanović i dr., 1979; Prelogović i dr., 1999; 2004; Kuk i dr., 2000; Pribičević i dr., 2002).

Najpouzdaniji podaci dobiveni su terenskim strukturno–geološkim kartiranjem. Za detaljno uočavanje odnosa rasjeda i izdvajanje lokalnih struktura izvršena je obrada avionskih i satelitskih snimaka. Uključena je i osnovna geomorfološka razrada reljefa i usporedba s dubinskim geofizičkim podacima nešto šireg prostora od onog obuhvaćenog na slikama 8 i 9.



Slika 8 Slika 8 Najvažniji strukturalno geološki podaci

Geološke strukture i rasjedi

Područje obuhvaćeno na slici 9 prema geološkim klasifikacijama, nalazi se u graničnom prostoru dviju strukturnih jedinica: Mala i Velika Kapela (1) i Komarica — Ogulin — Hum (2). Neposrednu granicu predstavlja zona rasjeda Vrbovsko — Ogulin — Plitvice (1). Paralelno zoni pruža se glavni ogranak rasjeda. Rasjed ima iste značajke pomaka krila kao i rasjedi iz zone Vrbovsko — Ogulin — Plitvice (1). Dodirni prostor između spomenutih strukturnih jedinica znatno proširuje rasjed Ogulin — Modruš — Plaški (2) i njegov glavni ogranak. Pruža se paralelno zoni rasjeda Vrbovsko — Ogulin — Plitvice (1) pravcem SSZ–JJI do SZ–JI. Između ta dva spomenuta rasjeda izdvaja se niz lokalnih reversnih struktura Klek — Veljun — Plaški (2). U Maloj Kapeli ističe se niz Bijelsko — Modruš — Makovnik (1).

Unutar niza Klek — Veljun — Plaški (2) između pretežito reversnih rasjeda razlikuju se tri lokalne strukture: Veljun (1, izgrađena na površini iz jurskih vapnenaca i dolomita), Gornje Zagorje — Salopeki (2, izgrađena na površini iz trijaskih dolomita, mjestimice vapnenaca) i Trojvrh (3, izgrađena na površini iz jurskih vapnenaca i dolomita). Zbog različitih pomaka u krilima rasjeda koji odvajaju spomenute strukture, uočavaju se i četiri relativno manje lokalne reversne strukture. One se pružaju paralelno krilima lokalnih struktura ili u njihovom čelnom dijelu (slika 9). Unutar niza Bijelsko — Modruš — Makovnik (1) dijelomice je obuhvaćena lokalna reversna struktura Kalska glava — Modruš (4) izgrađena na površini iz krednih vapnenaca i dolomita.

Strukturni sklop okolice Gradine znatno je razlomljen rasjedima (slika 9). Za ocjenu tektonske aktivnosti sklopa bitno je odrediti pomake stijena u krilima rasjeda. U razlikovanju rasjeda jedna od osnovnih je klasifikacija rasjeda prema njihovom položaju i važnosti u sklopu. Razlikuju se rasjedi koji odvajaju strukturne jedinice, nizove lokalnih struktura, pojedine strukture, zatim njihovi ogranci i prateći rasjedi, te rasjedi koji sijeku strukture ili se pružaju unutar njih. Za detaljnu odredbu značajki rasjeda i njihovo lociranje bilo je potrebno provesti terensko strukturno–geološko kartiranje i prikupiti odgovarajuće podatke.

Podaci o rasjedima mjereni su u njihovim izdancima. Otkrivena su 33 izdanka rasjeda (slika 9). U točkama motrenja mjereni su podaci koji poglavito označavaju tip, genezu i položaj rasjeda u sklopu, vrstu pomaka krila, te odnose stresa i deformacija struktura. Potrebno je naglasiti da pojedini rasjedi najčešće tvore zone različitih širina. U izdancima se zamjećuje da se zone sastoje iz nizova paralelnih rasjeda, mjestimice i snopova rasjeda različitog nagiba, pa i karaktera. U izdancima su zamijećeni različiti kutovi i smjerovi pomaka krila rasjeda. Oni primjerice ukazuju na

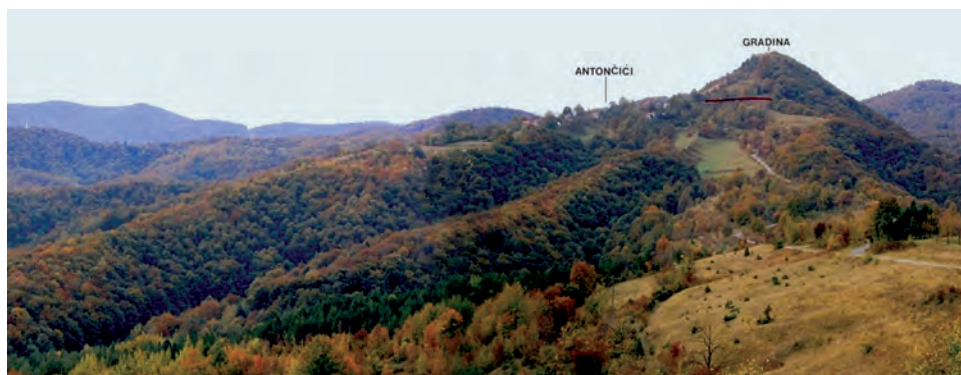
prostore izražene kompresije, rotaciju dijelova struktura ili dionice rasjeda s prevladavajućom horizontalnom komponentom pomaka krila.

Najprije treba istaknuti da se pojedine strukture i rasjedi izravno odražavaju u reljefu. To ukazuje i na prisutnu tektonsku aktivnost. Oblikovaju reljefa znatno doprinose aktivni rasjedi i različiti pomaci njihovih krila (slika 12). Pojedine lokalne reversne strukture predstavljene su istaknutim pojedinačnim brdima ili s nekoliko istaknutih brda u nizu. Primjerice, znatno isticanje brda Gradina ukazuje i na prisutnost veće kompresije prostora (slika 11). Relativno spuštene strukture ili dijelovi strukturnog sklopa u podinskim krilima rasjeda najčešće su predstavljene zaravnjenim reljefom (slika 10). Rasjedi se u reljefu osobito odražavaju strmim obroncima, strmcima, duboko usječenim dolinama, prekidima i pomacima razvodnica, odsječnim obroncima i nizovima ponikava (slike 10 i 11).

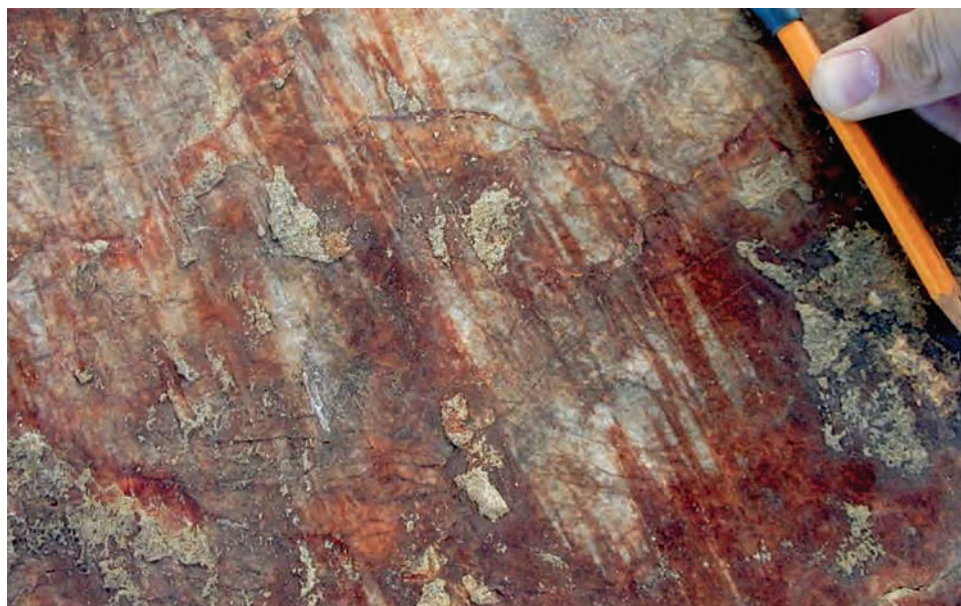


Slika 10 U prikazanom reljefu u tri dimenzije uočava se brdo Gradina koje predstavlja najistaknutiji dio lokalne reversne strukture. Osobito se ističu rasjedi. Uočljiva je trasa rasjeda Ogulin – Modruš – Plaški (2), koji se pruža usječenim dolinama i odsječnim obroncima. U krovinskom krilu njegovog glavnog ogranka nastao je i strmec u reljefu (na slici desno od Gradine). Najuočljivije su duboko usječene doline nastale u zonama pojedinih reversnih rasjeda.

U strukturnom sklopu najvažniji je i tektonski najaktivniji rasjed Vrbovsko — Ogulin — Plitvice (1 na slici 9), jer graniči strukturnim jedinicama. Predstavljen je zonom rasjeda paralelnog pružanja širine 200–1000 m. Rasjedi u zoni su reversni, vergencije ili pomaka krovinskih krila prema SI, te strmih kutova nagiba. Postoje dva glavna, granična rasjeda zone. Odražavaju se u reljefu osobito strmim obronci-



Slika 11 Pogled na brdo Gradina. Preko kuća u selu Antončići pruža se rasjed Ogulin – Modruš – Plaški (2 – crvena crta na slici). U reljefu se osobito ističu duboko usječene doline nastale u zonama reversnih rasjeda.



Slika 12 Primjeri strija na izdancima rasjeda. Zbog pomicanja stijena uslijed tektonskih pokreta u zonama rasjeda nastaju strije. Izravno pokazuju tip rasjeda i vrstu pomaka krila, te djelovanje stresa i deformaciju struktura u krilima rasjeda. U primjeru je izdvojen dio izdanka rasjeda koji se nalazi u T 24 uz cestu Modruš – Jandrlići (slika 8). Rasjed graniči relativno manjoj lokalnoj reversnoj strukturi Jandrlići (6). Otkriveno je krovinsko krilo rasjeda. Mjereni položaj: 35/62/85/reversni lijevi (35 – smjer nagiba rasjeda; 62 – kut nagiba rasjeda; 85 –kut zakosa strija koje pokazuju reversni pomak krovinskog krila rasjeda u lijevo).

ma kod sela Klanac i Krajina. Izdvajaju se izdanci glavnog rasjeda 1a i mjereni položaji: 20/85/75/reversni lijevi i 246/85/85/reversni desni.

Sljedeći po važnosti u strukturnom sklopu je rasjed Ogulin — Modruš — Plaški (2). Granični je nizovima lokalnih reversnih struktura. Odražava se u reljefu strmim obroncima i usječenim dolinama (slika 9). Predstavljen je zonom mjestimice širokom do 250 m. Značajke ovoga rasjeda su: kutovi nagiba oko 60° i osobito istaknuta, mjestimice i prevladavajuća horizontalna komponenta pomaka krila, npr.: T12, 62/65/20/reversni desni i T25, 65/66/46/reversni desni.

U najvažnije rasjede strukturnog sklopa uključuju se i glavni ogranci rasjeda Vrbovsko — Ogulin — Plitvice (1) i Ogulin — Modruš — Plaški (2). Rasjedi se u dubini spajaju u jednu zonu. Ogranci su predstavljeni zonama različite širine. Glavni ogranak rasjeda Vrbovsko — Ogulin — Plitvice (1) je reversni, vergencije prema ISI. U T33 mjereno je položaj 257/80/80/reversni desni. Glavni ogranak rasjeda Ogulin — Modruš — Plaški (2) osobito je istaknut u reljefu strmim obronkom i strmcem zapadno od Gradine. U točkama motrenja ustanovljeni su reversni pomaci, mjestimice gotovo horizontalnog pomaka krila. Rasjed je suprotnog nagiba od zone Ogulin — Modruš — Plaški (2). U izabranom primjeru u T26 mjereno je položaj 265/70/5/reversni desni.

Rasjedi koji se pružaju duž lokalnih struktura uvijek su predstavljeni zonama različite širine. Većinom se pružaju paralelno najvažnijim rasjedima strukturnog sklopa. Promjenljivog su karaktera, ali ipak prevladavaju reversni rasjedi. U primjerima su mjereno kutovi nagiba između 24° i 84°. Uz relativno manje lokalne strukture pružaju se reversni rasjedi različitih vergencija. Od relativno brojnih izdanaka izdvajaju se primjeri: T25, granični rasjed lokalne reversne strukture Jandrlići (6), položaj 35/24/80/reversni lijevi i T20, granični rasjed lokalne reversne strukture Belobrajdići (7), položaj 60/46/85/reversni lijevi. Ističu se i rasjedi paralelni graničnim rasjedima struktura, primjerice: T10 (zapadno od brda Gradina) položaja 74/75/48/reversni lijevi i T23 (Jandrlići) položaja 15/86/80/reversni lijevi.

Prisutnoj znatnoj razlomljenosti obuhvaćenog strukturnog sklopa pridonose rasjedi koji se pojavljuju unutar lokalnih struktura, te rasjedi koji sijeku nizove lokalnih struktura ili pokazuju pomake njihovih dijelova. U slici 9 označeni su pojedini rasjedi koji se osobito ističu u reljefu (odsječeni i strmi obronci, nizovi ponikava). Unutar struktura najčešći rasjedi su paralelni pružanju strukture i rasjedi s prevladavajućom horizontalnom komponentom pomaka krila. Mogu biti reversni i normalni. Relativno veći izdanci rasjeda paralelnih pružanju osi struktura izdvojeni su u strukturi Jandrlići (6) u T25 položaja 270/80/80/reversni lijevi i u strukturi Belobrajdići (7) položaja 80/60/80/normalni lijevi. U strukturnom sklopu učestalo se

pojavljaju rasjedi koji sijeku strukture. Prevladava sustav pružanja SI–JZ. Najčešće se radi o rasjedima duž kojih prevladava horizontalna komponenta pomaka krila. Izdvajaju se dva primjera: u T18 mjeren je rasjed položaja 135/75/25/reversni lijevi i u T27 rasjed položaja 140/60/25/reversni lijevi.

Posebna pozornost u terenskom strukturno–geološkom kartiranju usredotočila se na izdanke rasjeda oko brda Gradina i lokacije ruševina staroga grada. Izdvojeno je 13 izdanaka rasjeda (slika 14). Pouzdano su locirane trase rasjeda: Ogulin — Modruš — Plaški (2), zatim glavnog ogranka te zone (2a), te graničnog rasjeda relativ-



Slika 13 Primjeri rasjeda unutar lokalne reversne strukture Gradina –Hrastovac (5) Unutar strukture preko brda Gradina pruža se nekoliko reversnih rasjeda. Pojedini sijeku ruševine Uočljivi su reversni rasjedi koji su paralelni pružanju graničnog rasjeda lokalne strukture.

Imaju vergenciju prema ZJZ. a) T 4. rasjed uz zapadni rub ruševine grada ima položaj 64/78/reversni. b) T 2. rasjed uz sjeverni rub ruševine ima položaj 90/ 85/ reversni.



Slika 14 a) T 6. Zapadni obronci brda Gradina. U točki motrenja nalazi se manji izdanak rasjeda paralelnog s graničnim rasjedom lokalne reversne strukture. Mjeren je položaj 80/83/reversni. b) T3. Uz zapadni rub ruševina grada otkriveni su rasjedi pružanja Z–I. Prisutnost tih rasjeda doprinosi razlomljenosti stijena. Na slici su vidljiva dva rasjeda položaja 340/8 koji sijeku gotovo horizontalne slojeve vapnenaca.

no manje lokalne strukture Gradina — Hrastovac (5) i još šest rasjeda koji prate njegovo pružanje.

Granični rasjed lokalne strukture Gradina — Hrastovac (5) je reversni, vergencije prema ZJZ. Otkrivena su tri izdanka. Mjereni su sljedeći položaji: 107/82/20/reversni desni (T8), 36/53/70/reversni desni (T9) i 80/84/25/reversni desni (T7). Preko brda Gradina pružaju se reversni rasjedi paralelni graničnom rasjedu. Rasjedi otkriveni u T1, T2 i T3 vjerojatno pripadaju jednoj zoni. U izdancima su mjereni sljedeći položaji: 64/78/reversni (T4, slika 18a), 90/85/reversni (T2, slika 13b) i 245/83/reversni. Različiti smjerovi pomaka krovinskih krila rasjeda ukazuju da se zona sastoji iz snopa rasjeda. Ističe se i rasjed položaja 80/83/reversni otkriven u izdanku u T6 (slika 14a). Posebno se izdvajaju dva mjerenja normalnih rasjeda gotovo poprečnog pružanja na opisane reversne rasjede. U T1 mjereno je rasjed položaja 356/70 i u T3 rasjed položaja 340/80 (slika 14b). Na snimku brda Gradina razabiru se još dva rasjeda istog sustava na južnom obronku brda prema cesti. Spomenuti rasjedi kratkog pružanja, ali doprinose razlomljenosti brda Gradina.

Tektonska aktivnost, pomaci struktura i položaj lokacije Gradina u strukturnom sklopu

Za ocjenu recentne tektonske aktivnosti bitni su pomaci struktura i njihovih dijelova ili, gledajući u detaljima, pomaci krila rasjeda. Pomaci utvrđeni u izdancima rasjeda na površini ovise o regionalnim tektonskim pokretima, te razmještaju, veličini i međusobnim odnosima kompleksa stijena u prostoru koji se odupiru pomacima.

Između pojedinih kompleksa stijena koje izgrađuju strukturne jedinice i lokalne strukture zbog tektonske aktivnosti uspostavlja se polje stresa. Orijentacija stresa inicira deformacije i pomake struktura. Pomoću izvršenih mjerenja u izdancima rasjeda određena je orijentacija lokalnog kompresijskog stresa (slika 8). Srednja orijentacija lokalnog kompresijskog stresa najbolje pokazuje moguće deformacije i pomake pojedinih struktura (slike 8 i 9).

Srednja orijentacija lokalnog kompresijskog stresa promjenljiva je i pretežito dijagonalna do poprečna na pružanje struktura i rasjeda. Uočava se promjena orijentacije stresa u desno i to iz pravca 0–180° između sela Palijani i Gornji Gašparovići, te oko sela Belobrajdići u pravac 15–195° kod sela Antončići, 20–200° kod sela Cindrići, te 37–217° oko sela Klanac i Krajina (slika 9).

Pomaci krila rasjeda utvrđeni terenskim kartiranjem označeni su na slikama 8 i 9. Važno je istaknuti da na prostore kompresije ukazuje poprečna ili gotovo poprečna orijentacija kompresijskog stresa. Pomaci krila rasjeda su reversni, strmog kuta

zakosa primjerice oko sela Klanac i Krajina u zoni rasjeda Vrbovsko — Ogulin — Plitvice (1), te uz rasjede duž lokalne reversne strukture Jandrići (6). Dijagonalna orijentacija rezultira i dijagonalnim reversnim pomacima dijelova struktura. Međutim, pružanje rasjeda i promjena srednje orijentacije lokalnog kompresijskog stresa rezultira i prevladavanjem horizontalne komponente pomaka krila u slučaju kad se orijentacija stresa nalazi približno pod kutom od 30° prema pružanju rasjeda. Takvi su pomaci osobito prisutni duž dionice rasjeda Ogulin — Modruš — Plaški (2) i njegovog glavnog ogranka, te duž rasjeda oko Salopeka i sjeverno od Sabljaka.

Na temelju prikupljenih podataka razabire se da regionalni tektonski pokreti generalno uvjetuju kompresiju prostora obuhvaćenog strukturnog sklopa i oblikovanje lokalnih reversnih struktura. Promjena srednje orijentacije lokalnog kompresijskog stresa, te različiti smjerovi pomaka u krilima rasjeda ukazuju da se uz kompresiju prostora događa i rotacija dijelova sklopa. Primjerice, smjerovi reversnih pomaka i desni horizontalni pomaci u krilima rasjeda znače prisutnost retrogradne rotacije dijela strukturnog sklopa između zona rasjeda Vrbovsko — Ogulin — Plitvice (1) i Ogulin — Modruš — Plaški (2). Nadalje, pomaci u krilima glavnog ogranka rasjeda Ogulin — Modruš — Plaški (2), te uzdignuti položaj stijena kredne starosti ukazuju da se struktura Male Kapele odupire navedenim pomacima. Zbog rotacije u čelnom dijelu lokalnih struktura Veljun (1) i Gornje Zagorje — Salopeki (2), te u krovinskom krilu rasjeda Vrbovsko — Ogulin — Plitvice (1) stvara se kompresija prostora i nizovi reversnih rasjeda koji označavaju relativno manje lokalne strukture Jandrići (6), Belobrajdići (7) i Vrtarići — Kutrovci (8). Pomaci lokalne strukture Gornje Zagorje — Salopeki (2) prema JJZ, te položaj Male Kapele uvjetuju u prostoru između trasa rasjeda Ogulin — Modruš — Plaški (2) i njegovog glavnog ogranka kompresiju prostora i oblikovanje lokalne reversne strukture Gradina — Hrastovac (5).

Na prisutnu tektonsku aktivnost i pomake struktura svjedoče pojave potresa (slike 1 i 2). Epicentri potresa nalaze se u prostorima najveće kompresije. Do sada su zabilježeni potresi manjih magnituda. Međutim, zoni rasjeda Vrbovsko — Ogulin — Plitvice (1) priključuje se potres intenziteta IX° MCS ljestvice koji se dogodio oko Saborskog. Epicentar potresa udaljen je od lokacije Gradina oko 25 km.

Lokacija Gradina nalazi se u relativno manjoj reversnoj strukturi Gradina — Hrastovac (5). Brdo Gradina najviše je uzdignuto, što upućuje i na izraženiju kompresiju prostora. Rasjedi koji sijeku lokaciju staroga grada odražavaju se u reljefu. S obzirom na potrese koji se događaju u blizini rasjedi su aktivni, ali zbog položaja unutar strukture duž njihovih krila ne očekuju se veći ili nagliji pomaci.

Zaključak

Za razliku od klasičnih metoda izmjere, kojima se prikuplja relativno mali broj diskretnih točaka, ili fotogrametrije kojom se dobivaju ravninske projekcije, laserskim skeniranjem objekta se neposredno dobivaju 3D podaci visoke rezolucije. Takvi podaci, čak i u obliku sirovog oblaka točaka, pružaju korisniku »opipljive« objekte za analizu te daljnju obradu i manipulaciju. Procesu prikupljanja podataka treba pristupiti s posebnom pozornošću obzirom da je lasersko skeniranje izrazito kompleksan tehnologija, a oblake točaka je potrebno pohraniti u jedinstvenom obliku u bazu podataka.

Lasersko skeniranje pokazalo se kao kvalitetna metoda prikupljanja i pohrane podataka u projektima očuvanja kulturne baštine. Klasične metode mogu polučiti dobre rezultate, međutim kada objekti sadrže veliki broj detalja lasersko skeniranje osigurava veći stupanj točnosti, učinkovitosti izmjere te realističan prikaz takve vrste objekata. Stručnjaci za kulturnu baštinu kao što su arhitekti, arheolozi, konzervatori i drugi mogu dobiti kvalitetnije podatke (modele objekata) uporabom tehnike laserskog skeniranja.

Precizna digitalna 3D dokumentacija koja predstavlja vjerni prikaz stvarnog svijeta može se koristiti za zaštitu, očuvanje i valorizaciju arhitektonskih, arheoloških i svih drugih oblika kulturne baštine. U slučaju djelomičnog, pa i potpunog uništenja objekta, sada ga je moguće obnoviti na način koji je u skladu sa sadašnjim stanjem, a Modruška tvrđava je izvrstan primjer upravo za to.

Skeneri, također, omogućuju izradu visoko preciznih analiza stanja objekta prije i nakon rekonstrukcije ili obnove. Na taj se način razlika između originalnog i obnovljenog stanja, uzrokovana ljudskom greškom može svesti na minimum.

Uzimajući u obzir da je lasersko skeniranje relativno nova tehnologija, možemo nagađati kakve će mogućnosti te tehnologije biti nakon daljnjeg razvoja. Međutim, čak i u sadašnjem stadiju ona je značajna i vrijedna za sve projekte zaštite kulturne baštine.

Izvedena geološka istraživanja su bila usmjerena na izradu i analizu recentnog strukturnog sklopa šireg područja, a posebice same mikrolokacije staroga grada Modruša. Njihov glavni cilj je bio utvrditi mogući utjecaj prisutne seizmotektonske aktivnosti na planirane konzervatorske radove. Ocjena recentne tektonske aktivnosti se donosi na temelju utvrđenih pomaka struktura i njihovih dijelova ili, gledajući detaljno, na temelju pomaka krila rasjeda. Pomaci utvrđeni u izdancima rasjeda na površini ovise o regionalnim tektonskim pokretima, te razmještaju, veličini i međusobnim odnosima kompleksa stijena u prostoru koji se odupiru pomacima.

U provedenim istraživanjima geološkog strukturnog sklopa najprije su u obzir uzete dosadašnje spoznaje sadržane u objavljenim i važnim stručnim radovima.

Međutim, najpouzdaniji podaci dobiveni su terenskim strukturno–geološkim kartiranjem. Za detaljno uočavanje odnosa rasjeda i izdvajanje lokalnih struktura izvršena je obrada prikupljenih aviofotogrametrijskih i satelitskih snimaka. Uključena je i osnovna geomorfološka razrada reljefa i usporedba s dubinskim geofizičkim podacima nešto šireg prostora.

Iz prikupljenih podataka očito je da regionalni tektonski pokreti generalno uvjetuju kompresiju prostora obuhvaćenog strukturnog sklopa i oblikovanje lokalnih reversnih struktura. Promjena srednje orijentacije lokalnog kompresijskog stresa, te različiti smjerovi pomaka u krilima rasjeda ukazuju da se uz kompresiju prostora događa i rotacija dijelova sklopa.

Mikrolokacija staroga grada Modruša nalazi se u relativno manjoj reversnoj strukturi, a samo brdo Gradina gdje su zidine koje su glavni objekt predmetnih istraživanja, najviše je uzdignuto što upućuje i na izraženiju kompresiju prostora. Rasjedi koji sijeku lokaciju starog grada odražavaju se i u reljefu.

Zaključno možemo konstatirati da su obzirom na zabilježene potrese koji se događaju u blizini rasjedi aktivni. Međutim, na samoj lokaciji staroga grada Modruša, zbog položaja unutar strukture duž njihovih krila ne očekuju se veći ili nagliji pomaci koji bi mogli imati negativni utjecaj na njegovu buduću obnovu.

Literatura

- Aljinović, B., Prelogović, E. & Skoko, D. (1987):** Novi podaci o dubinskoj geološkoj građi i seizmotektonski sktivnim zonama u Jugoslaviji. *Geol. Vjesnik*, 40, 225–263.
- Cvijanović, D., Prelogović, E., Kranjec, V., Skoko, D., Zagorac, Ž., Bahun, S. & Olujić, M. (1979):** Seizmotektonska karta Hrvatske i susjednih područja. *Arh. Geofiz. Zavod*, Zagreb.
- Herak, M. (1986):** A new concept of geotectonics of the Dinarides. — *Acta geologica*, 16/1, 1–42, Zagreb.
- Herak, M. (1991):** Dinarides. Mobilistic view of the genesis and structure. — *Acta geologica*, 21/2, 35–117, Zagreb.
- Kuk, V., Prelogović, E. & Dragičević, I. (2000):** Seismotectonically Active Zones in the Dinarides. *Geol. Croat.*, 53/2, 295–303, Zagreb.

- Lawrence, S.R., Tari–Kovačić, V. & Gjučić, B. (1995):** Geological evolution model of the Dinarides. — *Nafta*, 46/2, 103–113, Zagreb.
- Luhmann, T., Robson, S., Kyle, S. & Harley, I. (2006):** Close Range Photogrammetry: Principles, Methods and Applications. Whittles Publishing, Dunbeath
- Prelogović, E., Kuk, V., Buljan, R., Tomljenović, B. & Skoko, D. (1999):** Recent tectonic movements and earthquakes in Croatia. — *Geodynamics of the Alpe–Adria area by means of terrestrial and satellite methods*, Proceedings, 255–262, zagreb–Graz.
- Prelogović, E., Pribičević, B., Dragičević, I., Buljan, R. & Tomljenović, B. (2001):** Recentni strukturni sklop Dinarida. *Arh. INA–Naftaplin*, Zagreb, RGN fak., Zagreb.
- Prelogović, E., Pribičević, B., Ivković, Ž., Dragičević, I., Bulja, R. & Tomljenović, B. (2004):** Recent structural fabric of the Dinarides and tectonically active zones important for petroleum–geological exploration in Croatia. *Nafta*, 55, (4), 155–161, Zagreb.
- Prelogović, E., Dragičević, I., Mayer, D. & Buljan, R. (2004):** Retencija Drežničko polje, Gološka istraživanja. RGN fak., Elektroprojekt, Zagreb.
- Pribičević, B., Medak, D. & Prelogović, E. (2002):** Determination of the recent structural fabric in the Alps–Dinarides area by combination of geodetic and geologic methods. *Zb. Raziskare s področja geodezije in geofizike*, Ljubljana.
- Remondino F., Rizzi A. (2009):** Reality–based 3d documentation of world heritage sites: methodologies, problems and examples, 22nd CIPA Symposium, Kyoto, Japan
- Romandić, S. & Aljinović, D. (1999):** Results of geophysical explorations in the southwestern part of the Dinarides. *Proc. 2nd Inter. Symp. on Petrol. Geol., Proc., Nafta*, 185–195, Zagreb.
- Santana Quintero M., Van Genechten B., De Bruyne M., Poelman R., Hankar m., Barnes S., Caner H., Budei L., Heine E., Reiner H., Lerma García J. L. , Biosca Taronger J. M. (2008):** Theory and practice on Terrestrial Laser Scanning. European Leonardo Da Vinci programme, Netherlands.
- Teza G., Galgaro A., Morokoje F. (2009):** Contactless recognition of concrete surface damage from laser scanning and curvature computation, NDT&E International, Dipartimento di Geoscienze, Università di Padova, Padova, Italy
- Trimble Navigation Ltd. (2007):** Trimble GX 3D scanner datasheet
- Velić, I. & Sokač, B. (1981):** Osnovna geološka karta, list Ogulin 1:100.000, L–33–103. *Ins. Geol. Istraž.*, Zagreb, Sav. Geol. Zavod. Beograd.

Summary

Croatia is a country rich in cultural monuments, important architectural and sculptural accomplishments and other forms of cultural heritage. New measuring techniques, such as *Terrestrial* Laser Scanning enable the gathering of information about the structures and spatial disposition of cultural heritage. Such techniques facilitate the creation of precise and reliable models. Innovative Terrestrial Laser Scans (TLS) are used for the creation of different projects related to protection of cultural heritage, mostly for the production of 3D documentation and data gathering. In that way this technology enables protection, conservation and evaluation of primarily architectural and archaeological but also other forms of cultural heritage. Information and models that result from scanning processes are useful for analyses and reconstructions in case of monument devastation. This paper presents and describes the use of the TLS technology in the creation of 3D documentation for the protection of the historic fort of Modruš.

Special attention has been given to geological surveys which facilitate the analysis of the structural fabric and classification of structures and faults, determination of the models of recent tectonic movements and the layout of Gradina Hill in the structural fabric, as well as the definition of the directions of movements performed by parts of the hanging wall and footwall of the structure. During the structural and geological mapping the survey was focused on the onset of the fault around Gradina Hill and the location of the ruins of the old town. The research aimed to determine a possible influence of the present seismotectonic activities on the planned conservation works.

An analysis of the conducted geological and seismotectonic surveys shows that the fault is active considering the seismic activities in the vicinity of the fault. However, due to its position in the structure along its parts, the very site of the old town of Modruš is not expected to manifest any significant displacements which might have a negative impact on its future renovation.

Key words: Terrestrial Laser Scans, cultural heritage, 3D model, recent structural fabric, geodynamics, seismotectonic study, tectonic movements