

Ljerka Županović, univ. bacc. ing. geod. et geoinf. ▶ diplomski studij, Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Kačićeva 26, 10 000 Zagreb, e-mail: lzupanovic@geof.hr
 Kristina Opačić, univ. bacc. ing. geod. et geoinf. ▶ diplomski studij, Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Kačićeva 26, 10 000 Zagreb, e-mail: kopic@geof.hr
 Sanja Bernat, mag. ing. geol. ▶ Geolog savjetovanje d.o.o., Zagrebačka cesta 20, 10000 Zagreb, e-mail: sanja.boo@gmail.com



Određivanje pomaka klizišta Kostanjek relativnom statičkom metodom

SUDIONICI RADIONICE

Marina Biočić
 Daria Dragčević
 Vesna Jurić
 Jelena Kilić
 Kristina Opačić
 Ljerka Županović

SAŽETAK: Projekt studentske radionice određivanje je pomaka klizišta Kostanjek primjenom GNSS (eng. Global Navigation Satellite System) tehnologije. Opažana je mreža stalnih geodetskih točaka uspostavljena na području klizišta 2009. godine. Izmjera je obavljena 2. veljače 2012. Rezultati mjerenja, koordinate točaka u epohi 2012, uspoređeni su s rezultatima mjerenja iz prošlih epoha (listopad 2009. i ožujak 2010.). Rezultati su korisni hrvatsko-japanskom projektu za interpretaciju modela klizišta i planiranje integriranog sustava praćenja pomaka klizišta.

KLJUČNE RIJEČI: određivanje pomaka klizišta, klizište Kostanjek, hrvatsko-japanski projekt, GNSS tehnologija, CROPOS

Determination displacements of landslides Kostanjek with relative static method

SUMMARY: Student project, within journal Ekscentar, was determination of the movement on the landslide Kostanjek using GNSS (Global Navigation Satellite System) technology. Permanent geodetic points network, which was established in 2009. on the landslide area, was observed. Survey was performed on February 2nd 2012. The results of measurements, point coordinates in the epoch of 2012, were compared with measurements from past epochs (October 2009. and March 2010.). The results are useful to Croatian-Japanese project for the interpretation of landslide model and planning of integrated system for movement monitoring.

KEYWORDS: landslide monitoring, Kostanjek landslide, Croatian-Japanese project, GNSS technology, CROPOS

1. UVOD

Klizište Kostanjek aktivirano 1963. godine, najveće aktivno klizište u Hrvatskoj, smješteno je u Podsljemenskoj zoni u Zagrebu. Zbog brojnih oštećenja na objektima tvornice cementa »Sloboda«, na stambenim objektima u okolici tvornice i na objektima lokalne infrastrukture, javila se potreba za određivanjem pomaka na području navedenog klizišta. U razdoblju od 1976. do 1994. godine provedena su geotehnička istraživanja, višestruka geodetska mjerenja (klasična geodetska mjerenja i snimanja) i aerofotogrametrijska istraživanja koja su rezultirala inženjerskogeološkim modelom klizišta Kostanjek (Stanić i Nonveiller, 1995, 1996; Ortolan, 1996). Na temelju dobivenih pomaka zaključeno je da klizište uzrokuje velika oštećenja na privatnim i poslovnim objektima, kao i na objek-

tima cestovne infrastrukture, te da je klizište potrebno sanirati. Za izradu projekta sanacije Grad Zagreb dodatno je naručio geodetske radove i mjerenja 2009. godine. Za potrebe određivanja brzine i smjera klizanja u rujnu 2009. godine uspostavljene su stalne geodetske točke na području klizišta Kostanjek te je provedeno nulto mjerenja u listopadu 2009. godine i prvo mjerenje u ožujku 2010. godine. Početkom 2009. godine započela su i znanstvena istraživanja na klizištu Kostanjek u okviru međunarodnog hrvatsko-japanskog projekta. Jedan od ciljeva projekta je uspostava integriranog sustava praćenja pomaka klizišta i uzroka klizanja predmetnog klizišta. Na prijedlog hrvatskih istraživača projekta s Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, studenti Geodetskog

fakulteta Sveučilišta u Zagrebu proveli su novo mjerenje postojećih stalnih geodetskih točaka u veljači 2012. godine. Mjerenje je obavilo dvadeset i četvero studenata Geodetskog fakulteta u sklopu terenske radionice kojoj je glavni cilj bio određivanje pomaka klizišta relativnom statičkom metodom te interpretacija dobivenih pomaka. Terenski i kabinetski dio projekta uspješno su izvedeni te je u nastavku detaljnije objašnjen sam projekt i cilj projekta, a dobiveni rezultati obrade potkrijepljeni su grafičkim prikazom i usporedbom s postojećim podacima o pomacima klizišta. Rezultati ove radionice od velike su važnosti za potrebe planiranja i projektiranja planiranog realnog sustava monitoringa. S obzirom da je projekt proveden u suradnji Geodetskog i Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, treba naglasiti kako predstavlja primjer interdisciplinarnosti različitih polja znanosti.

2. ZNANSTVENA ISTRAŽIVANJA U OKVIRU HRVATSKO-JAPANSKOG PROJEKTA

Projekt »Identifikacije rizika i planiranje korištenja zemljišta za ublažavanje posljedica klizanja i poplava u Hrvatskoj« (»Risk Identification and Land-Use Planning for Disaster Mitigation of Landslides and Floods in Croatia«) započeo je 2009. godine, nakon što je 2008. godine izabran na natječaju kao jedan od projekata u programu »Znanstveno i tehnološko istraživačko partnerstvo za održivi razvoj« (»Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development«, SATREPS) kojega financiraju Japanska agencija za znanost i tehnologiju (Japan Agency for Science and Technology - JST) i Japanska agencija za međunarodnu suradnju (Japan International Cooperation Agency - JICA). U okviru ovog projekta međunarodni tim znanstvenika provodi istraživanja u Hrvatskoj koja se bave procjenom i ublažavanjem hazarda i rizika od klizišta i poplava u Hrvatskoj. Jedan od glavnih ciljeva projekta je analiza geohazarda i razvoj smjernica za primjenu rezultata projekta u sustavu prostornog uređenja i civilne zaštite. Svrha je projekta doprinijeti održivom razvoju kroz primjenu odgovarajućih mjera definiranih kroz dokumente prostornog uređenja. Aktivnosti projekta provode se na pilot-područjima koja se nalaze u blizini gradova gdje su smještena tri partnerska hrvatska sveučilišta, tj. u Zagrebu, Rijeci i Splitu (Mihalić i Arbanas, 2012). U okviru projekta provode se sljedeće grupe istraživanja i analiza:

- identifikacija i kartiranje klizišta
- integrirani kontinuirani monitoring klizišta
- kontinuirani monitoring toka sedimenata
- ispitivanje fizičkih i mehaničkih svojstava tala i stijena
- modeliranje dinamike klizanja tla
- modeliranje propagacije poplavnih valova i blatnih tokova
- modeliranje i zoniranje osjetljivosti i hazarda klizanja
- uspostavljanje sustava ranog upozoravanja i
- razvoj mjera ublažavanja rizika kroz sustav prostornog uređenja i civilne zaštite.

Aktivnosti projekta organizirane su u tri radne grupe. U okviru Radne grupe za klizišta (WG1) znanstvenici s Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Rijeci provode aktivnosti na uspostavi integriranog kontinuiranog sustava monitoringa klizišta u realnom vremenu na dva najznačajnija klizišta u Hrvatskoj: klizištu Kostanjek na području Grada Zagreba i klizištu Grohovo u Primorsko-goranskoj županiji.

2.1. KLIZIŠTE KOSTANJEK

Prema dosadašnjim istraživanjima, klizište Kostanjek najveće je klizište u Hrvatskoj, a smješteno je na zapadnom dijelu Podsljemenske zone u Gradu Zagrebu. Inicijalno klizište aktivirano je 1963. godine, a do danas nije sanirano. Tijekom 50-ak godina aktivnosti klizišta, ono je prouzročilo mnoga oštećenja na obiteljskom kuća-

ma, prometnicama, tvornicama i poslovnim zgradama. Klizište je uzrokovano antropogenim faktorima, eksploatacijom u danas napuštenom površinskom kopu cementnog lapora koji je smješten u nožici klizišta. Cementara je osnovana 1907. godine, s radom je započela 1908. godine, a 1963. godine počela se koristiti tehnika miniranja za iskop lapora u površinskom kopu u blizini tvornice (Stanić i Nonveiller, 1996; Ortolan, 1996). Odmah nakon početka miniranja pojavila su se prva oštećenja na tvorničkim zgradama i drugim objektima, uključujući slijeganja i pukotine (Ortolan i Pleško, 1992; Stanić i Nonveiller, 1996). Provedenim geotehničkim istraživanjima utvrđeno je kako je zbog iskopa lapora došlo do bubrenja te da je to najvjerojatnije uzrokovalo oštećenja na objektima. Nekoliko godina kasnije, Nonveiller (1976) je analizirao nastale pomake i zaključio kako ti pomaci nisu mogli nastati zbog bubrenja lapora. Iskop u kamenolomu zaustavljen je 1988. godine, nakon što je zaključeno kako je eksploatacija lapora glavni inicijator klizanja. Ukupni volumen iskopane stijene iznosi $5.3 \times 10^6 \text{ m}^3$ (Stanić i Nonveiller, 1996).

Pregled istraživačkih radova i interpretaciju inženjerskogeološkog modela klizišta Kostanjek dao je Ortolan (1996). Model klizišta izrađen je na temelju relativno malo podataka, uključujući bušotine iz 1931., 1972. i 1988. godine te geofizička istraživanja iz 1989. godine (Ferić i dr., 2010). Geodetska mjerenja, koja su uključivala klasična geodetska mjerenja i GPS mjerenja te interpretaciju avionskih stereoparova iz različitih vremenskih razdoblja, pokazala su kako od 1988. do 1999. godine pomak na površini klizišta iznosi od 300 do 500 cm (Ortolan, 1996).

Klizište Kostanjek reaktivirano je translacijsko klizište, bez točno definirane glavne pukotine i granica klizišta. Klizište Kostanjek proteže se na području veličine 1.2 km^2 s volumenom pokrenute mase od otprilike $32.6 \times 10^6 \text{ m}^3$ (Ortolan i Pleško, 1992; Ortolan, 1996). Ortolan i Pleško (1992) interpretirali su razlike u pomacima na površini klizišta (određeno na otprilike 110 točaka) kao pomake na tri različite klizne plohe, najdublja na 90 m i dvije subparalelne klizne plohe na dubinama od 65 m i 50 m. Položaj klizne plohe definiran je na temelju nepovoljno orijentirane slojevitosti u sedimentima i sedimentnim stijenama sarmatske i panonske starosti.

Klizište je uzrokovalo velika oštećenja, uključujući brojne pukotine na zgradama i postrojenjima, naginjanje zgrada, stupova i drveća, presijecanje bunara uslijed klizanja, značajna usjedanja u tijelu klizišta i izdizanja u nožici klizišta. Oštećenja su se pojavila i u napuštenom tunelu koji je služio za transport i proteže se kroz tijelo klizišta. Oštećenja na zgradama, postrojenjima i obiteljskim kućama ukazuju na to da se kretanje klizišta usporilo, ali se različiti dijelovi klizišta i dalje kreću.

2.2. AKTIVNOSTI PROJEKTA VEZANE ZA MONITORING KLIZIŠTA KOSTANJEK I RAZVOJ SUSTAVA ZA RANO UPOZORAVANJE

U sklopu Radne grupe 1 hrvatsko-japanskog projekta, dio je istraživačkih aktivnosti na pilot-području u Gradu Zagrebu i uspostavljanje sustava monitoringa na klizištu Kostanjek u realnom vremenu. Monitoring će obuhvatiti četrdesetak senzora za geodetsko i geotehničko praćenje pomaka klizišta i uzroka klizanja. Geodetskim sensorima pratit će se u realnom vremenu pomaci na površini klizišta pomoću 15 GNSS prijemnika postavljenih na površini klizišta. Geotehničkim sensorima pratit će se pomaci na površini klizišta i u tijelu klizišta, a to uključuje 10 ekstenzometara i inklinometar. U bušotinama će također biti ugrađeni piezometri za praćenje razina podzemne vode i akcelerometar. Nekoliko akcelerometara bit će postavljeno i na površini klizišta. Automatiziranim mjernim uređajima, a to su kišomjer, meteorološka stanica i akcelerometri, pratit će se hidrološki i seizmički uvjeti koji mogu prouzročiti aktiviranje klizišta. Piezometri, inklinometri i akcelerometri bit će instalirani u središnjem dijelu kliznog tijela, dok će ekstenzometri biti instalirani u gornjem i bočnom dijelu klizišta. Sva oprema za monitoring bit će



Slika 4.1. Terenski dio radionice



povezana u jedan sustav s kontinuiranim mjerenjem i prijenosom podataka na centralnu računalnu stanicu. Ovakav prijenos podataka u realnom vremenu omogućava uspostavljanje sustava za rano upozoravanje na mogućnost klizanja, u slučaju kada mjerene vrijednosti prijeđu određenu kritičnu vrijednost. Sustav za rano upozoravanje od pojave klizanja i procjena rizika klizanja bit će uspostavljen na temelju rezultata monitoringa (Mihalić i dr., 2010). Instalacija opreme za monitoring i uspostavljanje monitoringa planirano je za proljeće 2012. godine.

Planiranje i projektiranje monitoringa u realnom vremenu, u koji su integrirani geodetski i geotehnički monitoring, zahtijeva detaljne podatke o aktivnosti klizišta, odnosno podatke o stanju, stilu i distribuciji aktivnosti klizišta Kostanjek (IGS' UNESCO WP/WLI, 1993), kao i podatke o brzini kretanja klizišta, na temelju kojih će odrediti točne lokacije za postavljanje opreme za monitoring unutar i izvan tijela klizišta. Zbog vrlo malo podataka dobivenih geotehničkim istraživanjem 1988. godine, postojeći model klizišta, prema Ortolanu (1996) te Staniću i Nonveilleru (1996), relativno je grub te u literaturi i dokumentaciji vezanoj za klizište Kostanjek ne postoji detaljna karta s potrebnim podacima. Iz tog razloga, pripremni radovi za planiranje i projektiranje monitoringa klizišta preliminarna su istraživanja u kojima sudjeluju hrvatski i japanski istraživači od 2010. godine.

Preliminarnim pregledom oštećenih stambenih objekata, postrojenja i deformacija na površini terena, utvrđeno je da je klizište i danas aktivno te da je smjerove klizanja i veličine pomaka koji se događaju danas nužno usporediti sa smjerovima i pomacima koje su interpretirali Ortolan i Pleško (1992). Grad Zagreb je u rujnu 2009. godine financirao instalaciju stalnih geodetskih točaka na području klizišta Kostanjek, u svrhu određivanja brzine i smjera klizanja. Nažalost, provedena su samo dva mjerenja do danas, nulto mjerenje u listopadu 2009. i prvo mjerenje u ožujku 2010. godine. Prijedlog istraživača japansko-hrvatskog projekta je provođenje barem jednog novog mjerenja, što je prije moguće i to za potrebe projektiranja planiranog realnog sustava monitoringa (Krkač i dr., 2011).

3. ODREĐIVANJE POMAKA KLIZIŠTA GNSS TEHNOLOGIJOM NA GEODETSKIM REFERENTNIM TOČKAMA IZ 2009. GODINE

Praćenje aktivnosti klizišta može se provoditi opažanjem pomaka i deformacija na području klizišta. Praćenje pomaka klizišta op-

ćenito je spoj geodetskih (terestričkih i/ili satelitskih) i geotehničkih metoda. Primjeri geodetskih metoda navedeni su u tablici 3.1 (Gili i Corominas, 2000).

Kod geodetskih metoda glavni je uvjet uspostava kvalitetne mreže stalnih geodetskih točaka. Tako je područje klizišta definirano mrežom diskretnih točaka čiji se položaj u nekom vremenskom trenutku (epohi) određuje. Na taj se način pomaci na površini klizišta mogu rekonstruirati iz pomaka diskretnih točaka. Preciznost pozicioniranja za potrebe praćenja klizišta treba biti manja od 1 cm. Potrebno je mjeriti onoliko točno koliko je moguće, ali ne više nego što je potrebno (Pribičević i Medak, 2003). Terestričke metode (triangulacija, trilateracija, nivelman) daju zahtijevanu preciznost, ali na prostorno velikim, nepravilnim i strmim područjima kakva su klizišta, upitna je njihova primjena.

Tablica 3.1. Primjeri geodetskih metoda (Gili i Corominas 2000)

METODA	REZULTAT	DOMET	PRECIZNOST
Triangulacija	Koordinatne razlike (2D)	<300 km - 1000 km	5 - 10 mm
Precizni nivelman visoke točnosti	Visinske razlike	Varijabilno Uobičajeno < 50 m	0.2 - 1mm/km
Elektroničko mjerenje duljina	Promjena duljine	Varijabilno Uobičajeno 1 km -14 km	1-5 mm + 1 - 5 ppm
Aerofotogrametrija	Koordinatne Razlike (3D)	H leta < 500 m	10 cm
GNSS	Koordinatne Razlike (3D)	varijabilno	2-5 mm + 1 - 2 ppm

S druge strane, GNSS (eng. Global Navigation Satellite Systems) tehnologija napredovala je do te mjere da omogućava opažanje subcentimetarskih pomaka. Pod pojmom GNSS sustavi podrazumijevaju se: GPS - američki sustav (eng. Global Positioning System), GLONASS - ruski sustav (rus. GLOBalnaya NAVigatsionnaya Sputnikovaya Sistema) te europski sustav GALILEO koji je u fazi uspostave (URL-1).

Prednosti GNSS-a:

- neovisnost o vremenskim uvjetima
- istovremeno se dobiju sve tri koordinate
- položajna preciznost točaka ne ovisi o geometriji mreže
- GPS mjerenja zahtijevaju manje vremena nego klasične terestričke metode.

Preciznost pozicioniranja GNSS sustavima ovisi o geometriji satelita i sistematskim pogreškama kao što je multipath. Razlika GNSS-a i klasične izmjere proizlazi iz činjenice da je ono neovisno o vremenskim prilikama, ne zahtijeva dogledanje između točaka i izvori smetnji pri mjerenju drugačije su prirode (Bačić, 2009).

Metoda statičkog pozicioniranja bazira se na određivanju bazne linije (prostornog vektora) između dvije točke. Na temelju koordinata referentne (poznate) točke određuju se koordinate nepoznate točke. Osnovni uvjet je da se mjerenja izvode istovremeno te da se



Slika 4.2. Dogovor i upute pred odlazak na teren

opažaju najmanje 4 satelita kako bi se precizno mogao odrediti položaj. Koriste se fazna mjerenja. Ovom metodom postiže se najveća preciznost pozicioniranja. Specifičnost metode je u tome što duljina prozora opažanja ovisi o duljini bazne linije (vektora).

CROPOS - Hrvatski pozicijski sustav omogućava kreiranje virtualnih referentnih stanica koje u *postprocessingu* zamjenjuju referentne stanice na terenu. Virtualne referentne stanice (VRS) preuzimaju se s Geodetskog preciznog servisa pozicioniranja (GPPS) u RINEX formatu.

GNSS sustavi omogućavaju izgradnju sustava praćenja klizišta u stvarnom vremenu. Tada se u svakom trenutku može znati aktivnost klizišta u smislu veličine i smjera kretanja određenih točaka na površini klizišta.

4. OPIS RADIONICE

Projekt druge terenske radionice je određivanje pomaka klizišta Kostanjek primjenom GNSS tehnologije na geodetskim referentnim točkama iz 2009. godine.

Realizacijom ovog projekta obuhvaćeni su sljedeći radovi:

- prikupljanje potrebne dokumentacije, planiranje nove izmjere te izrada konceptijskih rješenja u pogledu izbora opreme i metode mjerenja
- mjerenje cjelokupne mreže točaka geodetske osnove GPS uređajima relativnim statičkim postupkom
- numerička obrada opažanih točaka geodetske osnove i izjednačenje GPS mreže
- prostorna transformacija izračunatih geodetskih točaka u državni koordinatni sustav
- analiza odstupanja nakon transformacije s geodetskim točkama iz prijašnje epohe.

Ponovna GPS izmjera mreže točaka geodetske osnove iz 2009. godine na klizištu Kostanjek dogovorena je s gosp. Nenadom Smolčakom iz tvrtke Geomatika Smolčak d.o.o. i Geodetskim fakultetom koji su nam osigurali potreban instrumentarij te Rudarsko-geološko-naftnim fakultetom koji provodi znanstvena istraživanja na klizištu Kostanjek u okviru hrvatsko-japanskog projekta. Posljednja izmjera na tom području bila je u ožujku 2010. godine te je za potrebe određivanja pomaka bilo potrebno provesti novu izmjeru što je bio i sam cilj ovog projekta. U okviru ove radionice organizirana je ekipa od 24 člana, s obzirom da je terenski zahvat radionice bio dosta opsežan i kompleksan.

Sama izvedba projekta na terenu bila je podijeljena u dva dijela. Neposredno prije same izmjere bilo je neophodno provesti rekognosciranje terena te provjeriti i zabilježiti stanje točaka na terenu. U tu svrhu prikupili smo svu potrebnu dokumentaciju koju čini pregledna karta klizišta Kostanjek u mjerilu 1:3000 te odgovarajući položajni opisi točaka postojeće geodetske osnove. Mrežu točaka za praćenje pomaka čine ukupno 43 točke, od čega je 8 točaka stabilizirano prije 20-ak godina, dok su ostale stabilizirane u rujnu

2009. godine od strane tvrtke Geofoto d.o.o.. Koordinate svih točaka određene su u listopadu 2009. godine, također od strane tvrtke Geofoto d.o.o. . Nakon provedenog rekognosciranja, od ukupno 43 geodetske točke koje su opažane u ožujku 2010. godine, utvrđeno je da su točke 105 i 119 oštećene, točke 111, 112 i 122 nestabilne, točke 128 i 132 izvađene, a točka 5 je nepristupačna te je zaključno opažano ukupno 35 točaka.

Sljedeća faza projekta bila je izvedba mjerenja na terenu. Mjerenja su obavljena 2. veljače 2012. godine, od 10:00 do 15:00 sati. Tim koji je obavljao mjerenja sastojao se od ukupno 24 studenta koji su bili podijeljeni u 8 grupa, a u svakoj grupi nalazilo se troje studenata. Podjelu grupa bilo je potrebno prilagoditi broju GPS uređaja kojima smo raspolagali. Svakoj grupi dodijeljen je po jedan GPS uređaj i odgovarajući broj točaka na kojima je bilo potrebno obaviti opažanje. Na svakoj točki opažalo se 45 minuta te su zbog otklanjanja eventualnih nedoumica prilikom obrade podataka, na terenu vođeni i zapisnici mjerenja u kojima su sadržani osnovni podaci o mjerenju na danoj točki projekta. Dio atmosfere s pripreme i terena prikazan je na slikama 4.1 i 4.2.

Pri izvođenju radova korišteni su sljedeći GPS uređaji:

- 7 Trimble R8 GNSS prijemnika koji mogu primati GPS L1, L2, L2C, L5, GLONASS L1 i L2 signale te signale Galileo GIOVE A i GIOVE B testnih satelita
- 1 dvofrekventni Trimble R5 GPS prijemnik s pripadajućom Zephyr Geodetic antenom

Kako se mjerenje cjelokupne mreže točaka geodetske osnove GPS uređajima izvodilo relativnim statičkim postupkom, sukladno specifikacijama, preciznost korištenog instrumentarija za statičko i brzo statičko GPS mjerenje iznosi 3 mm + 0.1 ppm RMS horizontalno te 3.5 mm + 0.4 ppm RMS vertikalno. Navedeni su se GPS uređaji zbog svoje preciznosti, efikasnosti i jednostavnosti rada, te otpornosti na niske temperature, pokazali kao odličan izbor s obzirom da su se mjerenja provodila pri vrlo niskim temperaturama. Prilikom mjerenja na terenu nije bilo nikakvih poteškoća, a nakon provedenog mjerenja slijedila je obrada prikupljenih GPS podataka, odnosno učitavanje, optimiranje vektora i izjednačenje mreže pomoću softverskog paketa Trimble Business Center »TBC«.

5. OBRADA PODATAKA

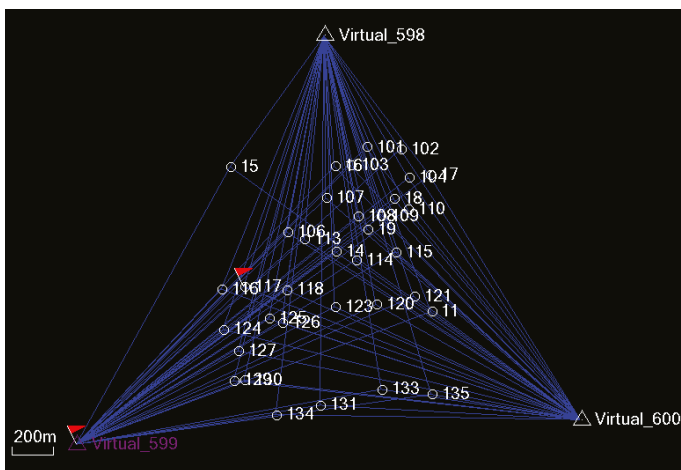
Tijekom opažanja GPS mreže pridržavalo se sljedećih kriterija:

- točke se opažaju dvofrekventnim GPS uređajima
- elevacijska maska iznosi 10°
- interval registracije iznosi 5 sec
- interval opažanja iznosi 45 minuta.

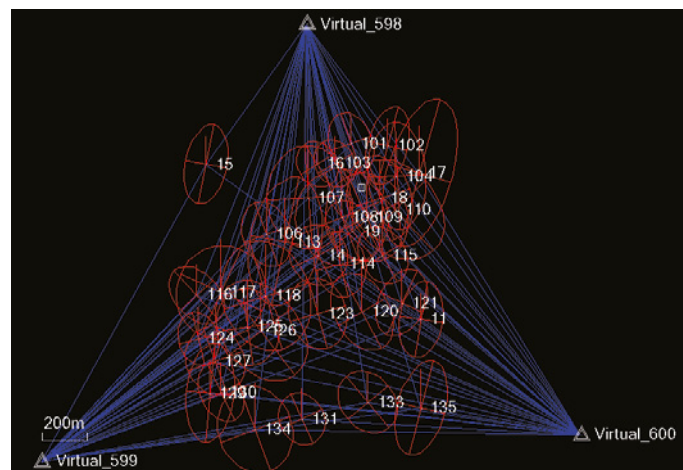
GPS mreža opažana je relativnom statičkom metodom. Položaj to-



Slika 5.1. Grupa studenata za obradu mjerenja



Slika 5.2. Prikaz baznih linija iz TBC-a



Slika 5.3. Elipse pogrešaka točaka mreže

čaka određen je opažanjem vektora od virtualnih referentnih stanica.

Podaci opažanja naknadno su obrađeni u tzv. *postprocessingu*. Virtualne referentne stanice preuzete su sa servera CROPOS-a, tj. Geodetskog preciznog servisa pozicioniranja. Preuzete su 3 virtualne referentne stanice u RINEX formatu za period opažanja, čije su elipsoidne koordinate prikazane u tablici 5.1.

Tablica 5.1. Elipsoidne koordinate virtualnih referentnih stanica

VIRTUALNA REFERENTNA STANICA	ŠIRINA	DULJINA	VISINA
VRS 1	45° 49'57"	15° 51'20"	200 m
VRS2	45° 48'54"	15° 50'24"	200 m
VRS3	45° 48'57"	15° 52'16"	200 m

Obrađeno je ukupno 105 baznih linija (slika 5.2). Na temelju pokazatelja kvalitete opažanih vektora (Ratio, PDOP, RDOP, RMS), vektori koji nisu zadovoljili kriterije isključeni su iz daljnje obrade.

Izjednačenje mreže provedeno je po metodi najmanjih kvadrata u istom softveru (slika 5.3). Virtualne referentne stanice fiksirane su u izjednačenju. Točnost koordinata točaka iznosi 1 cm u horizontalnom i vertikalnom smislu.

6. REZULTATI

Položaj točaka u prethodnim izmjerama određen je u Hrvatskom državnom koordinatnom sustavu (HDKS). Da bismo mogli usporediti položaj točaka, potrebno je transformirati koordinate novoodređenih točaka iz prostornog ETRS89 u ravninski Hrvatski državni koordinatni sustav (HDKS, 5. zona). Za transformaciju su korišteni transformacijski parametri grada Zagreba. Elipsoidne visine točaka umanjene su za geoidnu undulaciju kako bismo dobili ortometrijske visine.

Mreža stalnih geodetskih točaka za praćenje klizišta Kostanjek opažana je u tri epohe: listopad 2009., ožujak 2010. te veljača 2012. godine. Na temelju koordinata točaka iz dva posljednja raz-

doblja 2010. i 2012. godine, dobiveni su pomaci diskretnih točaka klizišta. Numerička i grafička obrada podataka provedena je u programu Topocad. U tablici 6.1 prikazane su horizontalne komponente i vertikalna komponenta pomaka točaka. Prilikom obrade podataka proizvoljno je odabrana granična vrijednost od 3 cm kako bi se crvenom bojom u tablici 6.1 istakli veći pomaci točaka. Na slici 6.1 numerički su prikazani pomaci točaka u horizontalnom i vertikalnom smjeru.

7. DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

Rezultati mjerenja stalnih geodetskih točaka, provedenih u okviru radionice 2012. godine, uspoređeni su s mjerenjima na istim točkama iz prethodnih razdoblja (listopad 2009. i ožujak 2010). Iz razlike rezultata mjerenja konstruirani su vektori pomaka za razdoblje od 2009. do 2012. godine. Na slici 7.1a prikazane su horizontalne komponente dobivenih pomaka koje iznose od 6 do 92 milimetra za razdoblje od dvije godine i četiri mjeseca. Ovi pomaci također su uspoređeni s postojećim podacima o jedinim interpretiranim pomacima iz starijeg razdoblja, tj. od početka klizanja 1963. godine, kada su primijećena prva oštećenja na objektima, do 1988. godine. Na slici 7.1b prikazani su horizontalni pomaci (Ortolan i Pleško, 1992) koji su interpretirani fotogrametrijskom metodom na temelju dostupnih avionskih snimaka iz razdoblja od 1963. do 1988. godine. Pomaci iz tog razdoblja približnog su reda veličine 2 - 6 metara, a različiti su u pojedinim dijelovima klizišta.

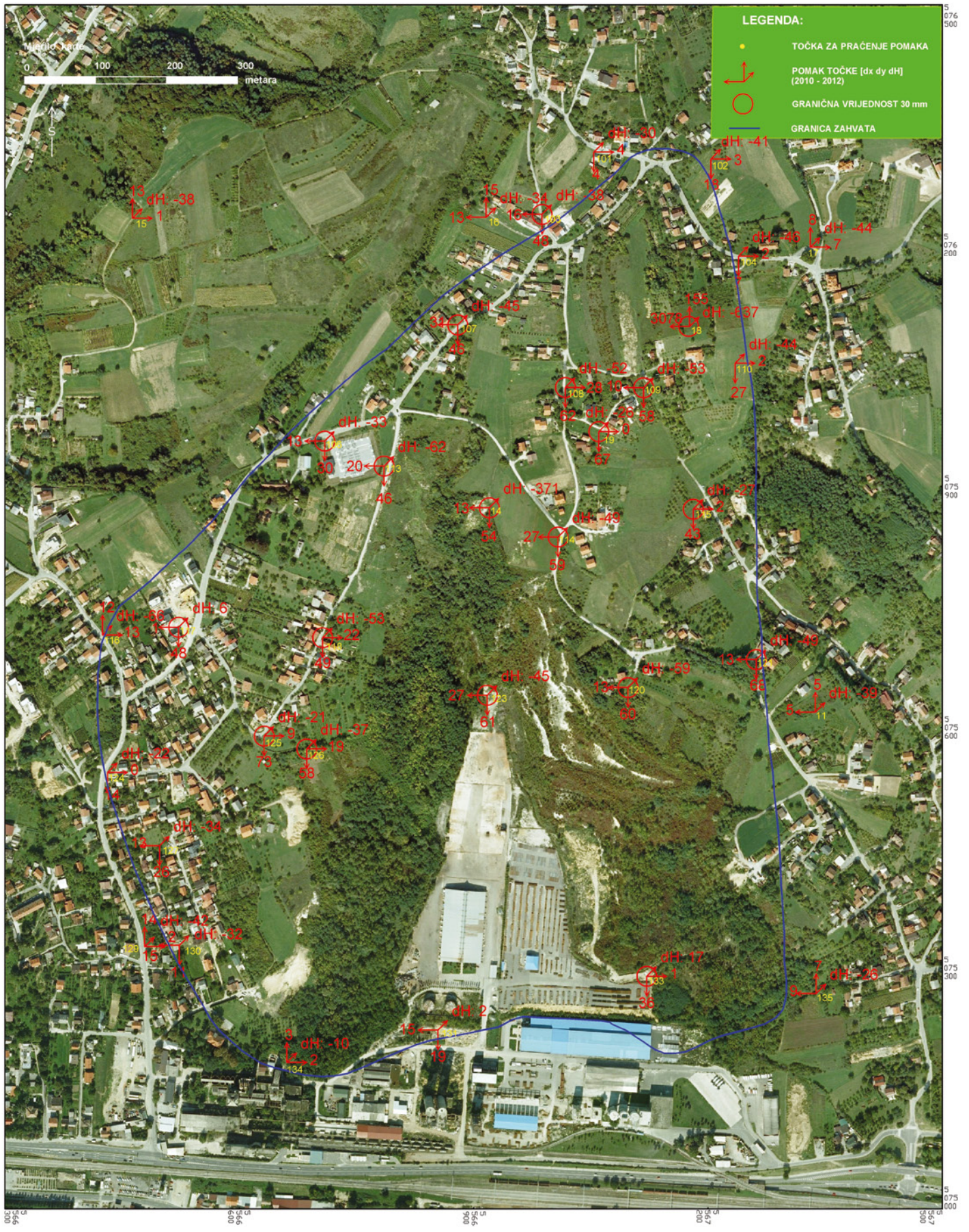
Na temelju usporedbe pomaka klizišta iz različitih razdoblja, moguće je zaključiti da je klizište i danas aktivno, te da se smjerovi pomaka klizišta, registrirani u razdoblju od 2009. do 2012. godine većim dijelom podudaraju sa smjerovima iz razdoblja od 1963. do 1988. godine. Ovi zaključci, kao i rezultati mjerenja, predstavljaju značajne podatke koji će se koristiti za projektiranje integriranog sustava praćenja klizišta Kostanjek u realnom vremenu na sljedeći način:

- pri konačnom izboru lokacija na kojima će biti ugrađeno 15

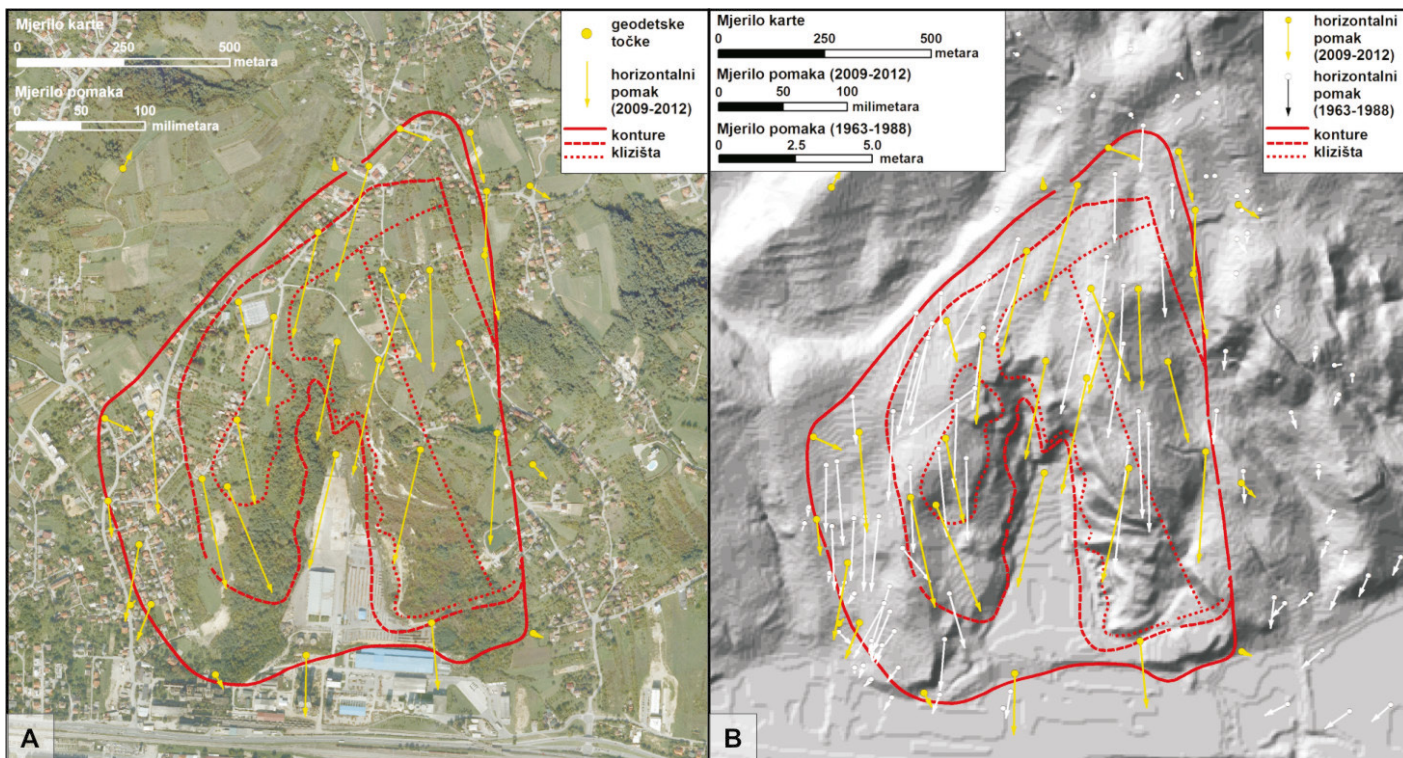
Tablica 6.1. Pomaci točaka

	Točka	y [m]	x [m]	H [m]	Pomaci [mm]			
					Granična vrijednost: 30 mm			
					d[y-x]	dx	dy	dH
epoha 2012	11	5567350,285	5075509,994	180,502	7	-5	5	39*
epoha 2010	11	5567350,290	5075509,989	180,541				
epoha 2012	14	5566890,748	5075797,415	211,359	56*	54*	13	371*
epoha 2010	14	5566890,761	5075797,469	211,730				
epoha 2012	15	5566387,396	5076204,724	230,285	13	-13	-1	38*
epoha 2010	15	5566387,395	5076204,711	230,323				
epoha 2012	16	5566886,026	5076206,288	230,213	20	-15	13	34*
epoha 2010	16	5566886,039	5076206,273	230,247				

epoha 2012	17	5567343,416	5076164,245	230,239				
epoha 2010	17	5567343,409	5076164,237	230,283	11	-8	-7	44*
epoha 2012	18	5567170,107	5076052,897	237,310				
epoha 2010	18	5567173,185	5076052,742	237,947	3082*	-155*	3078*	637*
epoha 2012	19	5567044,943	5075904,607	222,781				
epoha 2010	19	5567044,943	5075904,674	222,807	67*	67*	0	26
epoha 2012	101	5567038,126	5076298,023	240,112				
epoha 2010	101	5567038,122	5076298,027	240,142	6	4	-4	30*
epoha 2012	102	5567203,367	5076288,579	246,211				
epoha 2010	102	5567203,364	5076288,597	246,252	18	18	-3	41*
epoha 2012	103	5566965,040	5076210,405	229,150				
epoha 2010	103	5566965,056	5076210,453	229,188	51*	48*	16	38*
epoha 2012	104	5567241,990	5076151,588	229,561				
epoha 2010	104	5567241,988	5076151,595	229,607	7	7	-2	46*
epoha 2012	106	5566658,544	5075891,419	197,965				
epoha 2010	106	5566658,557	5075891,449	197,998	33*	30*	13	33*
epoha 2012	107	5566846,038	5076054,838	213,914				
epoha 2010	107	5566846,069	5076054,884	213,959	55*	46*	31*	45*
epoha 2012	108	5566997,930	5075966,864	222,298				
epoha 2010	108	5566997,902	5075966,926	222,350	68*	62*	-28	52*
epoha 2012	109	5567108,097	5075966,425	224,250				
epoha 2010	109	5567108,107	5075966,483	224,303	59*	58*	10	53*
epoha 2012	110	5567237,340	5076000,742	227,732				
epoha 2010	110	5567237,338	5076000,769	227,776	27	27	-2	44*
epoha 2012	113	5566742,185	5075856,150	202,813				
epoha 2010	113	5566742,205	5075856,196	202,875	50*	46*	20	62*
epoha 2012	114	5566987,528	5075756,372	209,229				
epoha 2010	114	5566987,555	5075756,431	209,278	65*	59*	27	49*
epoha 2012	115	5567178,219	5075795,564	193,910				
epoha 2010	115	5567178,217	5075795,607	193,937	43*	43*	-2	27
epoha 2012	116	5566345,148	5075618,610	181,558				
epoha 2010	116	5566345,135	5075618,598	181,624	18	-12	-13	66*
epoha 2012	117	5566452,449	5075629,400	178,546				
epoha 2010	117	5566452,450	5075629,448	178,540	48*	48*	1	-6
epoha 2012	118	5566655,518	5075614,668	191,112				
epoha 2010	118	5566655,496	5075614,717	191,165	54*	49*	-22	53*
epoha 2012	120	5567086,331	5075544,409	196,694				
epoha 2010	120	5567086,344	5075544,469	196,753	61*	60*	13	59*
epoha 2012	121	5567267,004	5075583,933	183,383				
epoha 2010	121	5567267,017	5075584,001	183,432	69*	68*	13	49*
epoha 2012	123	5566887,605	5075533,656	141,298				
epoha 2010	123	5566887,632	5075533,717	141,343	67*	61*	27	45*
epoha 2012	124	5566352,183	5075424,892	164,787				
epoha 2010	124	5566352,183	5075424,906	164,809	14	14	0	22
epoha 2012	125	5566573,116	5075476,080	176,579				
epoha 2010	125	5566573,107	5075476,153	176,600	74*	73*	-9	21
epoha 2012	126	5566633,084	5075458,130	165,582				
epoha 2010	126	5566633,065	5075458,188	165,619	61*	58*	-19	37*
epoha 2012	127	5566425,560	5075322,021	152,350				
epoha 2010	127	5566425,573	5075322,047	152,384	29	26	13	34*
epoha 2012	129	5566404,670	5075179,828	135,861				
epoha 2010	129	5566404,668	5075179,814	135,903	14	-14	-2	42*
epoha 2012	130	5566453,407	5075181,808	140,354				
epoha 2010	130	5566453,422	5075181,819	140,386	19	11	15	32*
epoha 2012	131	5566818,259	5075062,278	129,405				
epoha 2010	131	5566818,274	5075062,297	129,403	24	19	15	-2
epoha 2012	133	5567112,757	5075138,196	132,607				
epoha 2010	133	5567112,756	5075138,232	132,590	36*	36*	-1	-17
epoha 2012	134	5566605,117	5075016,802	128,552				
epoha 2010	134	5566605,115	5075016,799	128,562	4	-3	-2	10
epoha 2012	135	5567351,481	5075113,771	127,199				
epoha 2010	135	5567351,490	5075113,764	127,225	11	-7	9	26



Slika 6.1. Prikaz vektora pomaka klizišta Kostanjek



Slika 7.1. a) Horizontalni pomaci klizišta Kostanjek dobiveni na temelju mjerenja geodetskih točaka iz 2009. i 2012. godine; b) Usporedba horizontalnih pomaka iz razdoblja 2009. – 2012. s horizontalnim pomacima iz razdoblja 1963. – 1988.

GNSS prijavnika

- pri izboru lokacija za druge tipove senzora, kao što su ekstenzometri i akcelerometri.

ZAHVALA

Zahvaljujemo gosp. Nenadu Smolčaku, direktoru tvrtke Geomatika Smolčak d.o.o., na pomoći oko koncipiranja radionice, posudbi opreme i pomoći pri obradi podataka.

Zahvaljujemo prof. dr. sc. Bošku Pribičeviću na posudbi opreme.

Zahvaljujemo asistentu Branku Kordiću, dipl. ing. geod., na pomoći oko koncipiranja radionice i posudbi opreme.

Zahvaljujemo prof. dr. sc. Snježani Mihalić na pomoći oko koncipiranja radionice i interpretacije podataka.

Zahvaljujemo gosp. Martinu Krkaču, dipl. ing. geol., na pomoći oko interpretacije podataka.

Zahvaljujemo gosp. Miri Jukiću, dipl. ing. građ., iz Gradskog ureda za prostorno uređenje, izgradnju Grada, graditeljstvo, komunalne poslove i promet, što je omogućio korištenje podataka iz izvještaja o provedenim mjerenjima stalnih geodetskih točaka (Geoprojekt, 2010).

Zahvaljujemo se Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu na pomoći oko pristupa podacima CROPOS-a.

Zahvaljujemo se studentima Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu za pomoć pri izvođenju terenskog dijela radionice.

LITERATURA

- › Ferić, P., Mihalić, S., Krkač, M., Arbanas, Ž., Podolszki, L. (2010): Kostanjek landslide: current state and planned project activities. Abstract Proc. 1st Workshop of the Project 'Risk Identification and Land-Use Planning for Disaster Mitigation of Landslides and Floods in Croatia', 22-24 November 2010. Dubrovnik, Croatia. pp. 5-5.
- › IGS' UNESCO WP/WLI (1993): Multilingual landslide glossary. BiTech Publishers Ltd., Richmond, B.C., Canada, (ISBN 0-920 505-10-4), 32 p.
- › Krkač, M., Mihalić, S., Ferić, P., Podolszki, L., Toševski, A., Arbanas,

Ž. (2011): Japanese-Croatian Project: preliminary investigations of the Kostanjek landslide, Proc. 2nd World Landslide Forum, 3-9 October 2011, Rome, Italy, in press.

- › Mihalić, S., Arbanas, Ž. (2012): The Croatian-Japanese Joint Research Project on Landslides: Activities and Public Benefits, In: Landslides: Global Risk Preparedness, Sassa, K. et al. (eds), Springer-Verlag Berlin Heidelberg, (ISBN 978-3642220869), pp. 345-361.
- › Mihalić, S., Arbanas, Ž., Krkač, M., Dugonjić, S., Ferić, P. (2010): Karte hazarda klizanja i sustavi ranog upozoravanja u funkciji ublažavanja rizika klizanja, Zbornik radova II. Konferencije Hrvatske platforme za smanjenje rizika od katastrofa, 14. - 15. listopada 2010., Zagreb, Hrvatska, str. 18-22.
- › Nonveiller, E. (1976): Analiza uzroka pomaka terena u području tvornice cementa »Sloboda« u Podsusedu, Fond str. dok. T.C. »Sloboda«, Zagreb.
- › Ortolan, Ž. (1996): Formiranje prostornog inženjerskogeološkog modela dubokog klizišta s više kliznih ploha (Primjer klizište Kostanjek), doktorska disertacija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Hrvatska, 236. str.
- › Ortolan, Ž., Pleško, J. (1992): Opetovana fotogrametrijska mjerenja pri oblikovanju geotehničkih modela višeslojnih ležišta, Rudarsko-geološko-naftni zbornik, br. 4, str. 51-58.
- › Stanić, B., Nonveiller, E. (1996): The Kostanjek landslide in Zagreb, Engineering Geology, no. 42, pp. 269-283.
- › Bačić, Ž (2009): Satelitska geodezija, materijali s predavanja (ak. god. 2009./2010.), Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- › Pribičević, B., Medak, D. (2003): Geodezija u građevinarstvu, sveučilišni udžbenik, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, V.B.Z. Zagreb.
- › Gili, J.A., Corominas, J. (2000): Using Global Positioning System techniques in landslide monitoring, Engineering Geology (special issue), 55:167-192.
- › URL-1: http://www.cropos.hr/index.php?option=com_content&view=section&layout=blog&id=1&Itemid=2&lang=hr (3. 3. 2012.).