

UDK 551.2/.3:551.242.1:528.41(497.5):004.4

Izvorni znanstveni članak

Geodetsko-geološka istraživanja na širem zagrebačkom području oslonjena na Geodinamičku mrežu Grada Zagreba

Boško PRIBIČEVIĆ, Almin ĐAPO, Damir MEDAK – Zagreb¹

SAŽETAK. Geodinamička GPS mreža Grada Zagreba predstavlja najduža i najintenzivnija geodinamička istraživanja na području Republike Hrvatske. Od uspostave mreže 1997. godine provedeno je devet serija preciznih GPS mjerenja na specijalno stabiliziranim točkama Geodinamičke mreže Grada Zagreba u svrhu istraživanja pomaka odnosno tektonskih pokreta i srodnih seizmičkih aktivnosti na području istraživanja. Obrada podataka mjerenja izvedena je sa znanstvenim softverom GAMIT/GLOBK, razvijenim na MIT-u. Iz svih provedenih serija GPS mjerenja od 1997. do 2009. godine stvoren je originalni geodetski model tektonskih pomaka. U sklopu predmetnih istraživanja proveden je i cijeli niz geoloških mjerenja te je izvedena znanstvena usporedba dvaju modela realiziranih neovisnim metodama i određivanje koeficijenta njihove korelacije. Nakon sustavnih interdisciplinarnih analiza geodetskih i geoloških podataka, kao rezultat je određen jedinstveni interdisciplinarni model gibanja pripovršinskih slojeva Zemljine kore na tom području. Rezultati toga znanstvenog istraživanja koriste će se za opisivanje zona potencijalnih opasnosti od potresa i tektonski izazvanih klizišta. U radu je posebna pozornost posvećena kampanji mjerenja izvedenoj 2009. godine, jer njezini rezultati pokazuju povećanu tektonsku aktivnost u razdoblju 2008–2009. Naime, analizom rezultata utvrđeno je da povećanje tektonske aktivnosti i osobito smjerovi pomaka pojedinih točaka određenih geodetskim mjerenjima upućuju na izravne utjecaje regionalnih tektonskih pokreta. Ustanovljeni pomaci u obuhvaćenom području upućuju na početnu fazu veće tektonske aktivnosti u prostoru paralelnom Zagrebačkom rasjedu te na mogućnost da veća aktivnost tog prostora tek slijedi.

Ključne riječi: GPS, geodinamika, korelacija, Geodinamička mreža Grada Zagreba.

¹ Prof. dr. sc. Boško Pribičević, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, e-mail: bpribic@geof.hr,

doc. dr. sc. Almin Đapo, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, e-mail: adapo@geof.hr,

prof. dr. sc. Damir Medak, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, e-mail: dmedak@geof.hr.

1. Uvod

Geodinamička istraživanja na širem Zagrebačkom području primjenom geodetskih metoda preciznog satelitskog pozicioniranja započela su 1997. godine uspostavom Temeljne mreže Grada Zagreba, koja je nakon izvedene druge serije mjerenja 2001. godine postala Geodinamička mreža Grada Zagreba. Mreža je projektirana i uspostavljena 1997. godine s početne ukupno 43 specijalno stabilizirane točke, tako da najbolje reprezentiraju geodinamička događanja na području istraživanja, no tijekom vremena su neke od točaka uništene pa je 2005. godine provedeno progušćenje geodinamičke mreže s pet dodatnih novostabiliziranih točaka koje su postavljene u analizom utvrđeno seizmotektonski najaktivnije područje (Medak i Pribičević 2002, Kuk i dr. 2000, Prelogović i Cvijanović 1981, Pribičević i dr. 2007a).

Geodinamička mreža Grada Zagreba predstavlja trinaestogodišnji istraživački napor da se uz pomoć sve točnijih i dugotrajnijih geodetsko-geodinamičkih mjerenja dođe do detaljnijeg uvida u uzroke pomaka Zemljine kore na lokalnoj razini. Danas u toj vrsti istraživanja, zajedno s geolozima, seizmolozima, geotehničarima, geofizičarima i drugim znanstvenicima, značajan doprinos mogu dati geodeti (Altiner 1999, Altiner i dr. 2001, Blewitt 1993, Bock i dr. 1993, Segall i Davis 1997, Solaric 1999, Gerasimenko i dr. 2000, Grenczy i dr. 2005, Pinter i dr. 2004).

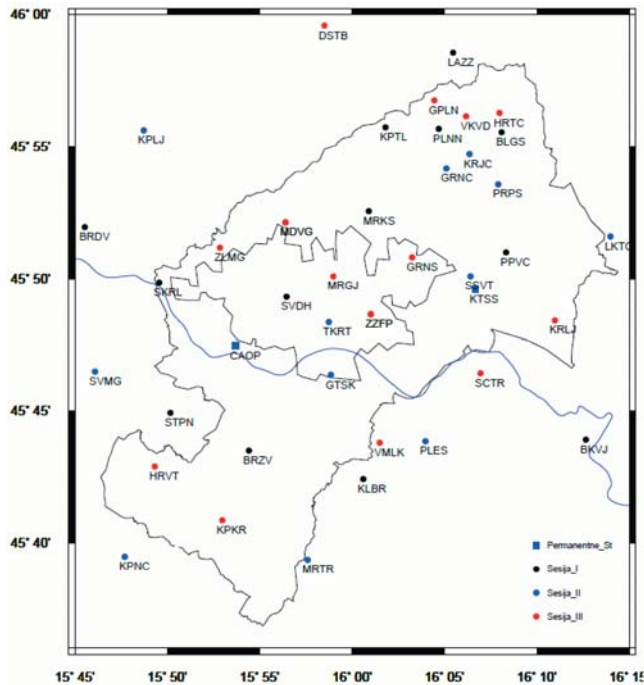
Počeci i prvi rezultati detaljno su opisani u nizu radova (Čolić i dr. 1999, Medak i Pribičević 2001, 2004, 2006, Pribičević i dr. 2002, 2004, Đapo 2005, Pribičević i dr. 2007). Do sada je provedeno devet GPS kampanja, i to 1997., 2001., 2003., 2004., 2005., 2006., 2007., 2008. i 2009. godine, rezultati kojih su svaki puta bili interdisciplinarno analizirani (Medak i Pribičević 2004, Đapo 2005, Medak i Pribičević 2006, Pribičević i dr. 2007, Pribičević i dr. 2008). Tijekom 2008. godine provedena je interdisciplinarna znanstvena usporedba izrađenoga geodetskog modela tektonskih pomaka s neovisnim geološkim modelom te određen visoki koeficijent korelacije između dvaju neovisno izrađenih modela pomaka. Na taj način je dan kredibilitet provedenim geodinamičkim istraživanjima objema metodama (Đapo i dr. 2009, Đapo 2009).

Posebnu pozornost posvetit ćemo zadnjoj u nizu GPS mjernih kampanja provedenoj 2009. godine, jer rezultati i interdisciplinarna analiza dobivenih pomaka za razdoblje 2008–2009. godine pokazuju povećanu tektonsku aktivnost.

2. Provedena GPS opažanja na geodinamičkoj mreži

Od 1997. godine GPS mjerenja na Geodinamičkoj mreži Grada Zagreba provode se u obliku mjernih GPS kampanja svakih nekoliko godina. Svaka kampanja sastoji se od dvije do tri 24-satne sesije. Prve dvije kampanje 1997. i 2001. godine imale su po tri 24-satne sesije s 15-sekundnim intervalom opažanja, pa je tako prikupljeno 5670 mjernih epoha po sesiji. Sve naknadno provedene kampanje uključujući i kampanju iz 2009. godine izvedene su s 24-satnim sesijama uz 30-sekundni interval opažanja dajući tako 2880 mjernih epoha po sesiji (Pribičević i dr. 2007, Đapo 2009).

U svim provedenim kampanjama korišteni su samo prijammnici i antene tvrtke Trimble. Provedeno je devet GPS kampanja: 1997., 2001., 2003., 2004., 2005.,



Slika 1. Prikaz rasporeda točaka prema rasporedu opažanja po sesijama (2004., 2006., 2008., 2009.).

2006., 2007., 2008. i 2009. U samo šest od devet navedenih kampanja mjerenjima su obuhvaćene sve točke geodinamičke mreže, i to: 1997., 2001., 2004., 2006., 2008., 2009. (41 točka). Dvije kampanje provedene su radi opažanja točaka progušćenja 2005., 2007. (11 i 21 točka) (Pribičević i dr. 2007a, Đapo i dr. 2009). Tablica 1 prikazuje sve provedene kampanje uključujući broj sesija, obuhvaćenih točaka i korištenih prijamnika.

Tablica 1. Pregledni podaci o broju točaka, sesija i instrumenata za izvedene kampanje.

Kampanja	Datum	Br. sesija	Br. točaka	Br. uređaja
Zagreb 1997	27.–29.10.1997.	2	43	27
Zagreb 2001	25.–28.06.2001.	3	40	16
Zagreb 2003	22.–23.06.2003.	1	13	13
Zagreb 2004	17.–20.06.2004.	3	39	13
Zagreb 2005	10.–11.09.2005.	1	11	11
Zagreb 2006	22.–25.06.2006.	3	41	13
Zagreb 2007	13.–15.07.2007.	2	21	13
Zagreb 2008	10.–13.06.2008.	3	41	13
Zagreb 2009	11.–14.06.2009	3	41	13

3. Računalna obrada i rezultati mjerenja od 1997. do 2008. godine

Danas se u svijetu za obradu GPS mjerenja upotrebljava velik broj različitih softverskih paketa. Najčešće proizvođač GPS prijamnika proizvodi i softver koji se primjenjuje za GPS mjerenja, bilo u izvornom formatu proizvođača softvera ili u RINEX-formatu, neovisnom o proizvođaču GPS prijamnika. Takvi se softverski paketi za obradu GPS mjerenja ubrajaju u komercijalne softvere jer se njihovo korištenje plaća. Za veliku većinu korisnika rezultati obrade GPS vektora, odnosno provođenje računa izjednačenja s takvom vrstom softvera sasvim su zadovoljavajući. Primjer su takvih softverskih paketa Trimble Geomatics Office, Leica Geo Office i sl. Međutim, za korištenje u znanstvene svrhe (npr. geodinamika), gdje je i zahtijevana točnost veća, preporučaju se znanstveni softverski paketi poput Bernese, GIPSY ili GAMIT/GLOBK. Bernese GPS softver razvijen je na Astronomskom institutu Sveučilišta u Bernu, Švicarska; ubraja se u znanstvene softvere, ali i u komercijalne, jer je dostupan uz iznimno visoku cijenu. GIPSY, razvijen na Jet Propulsion Laboratory, i GAMIT/GLOBK, razvijen na Massachusetts Institute of Technology, znanstveni su nekomercijalni softveri, kojih je izvorni kod dostupan na internetu za besplatno korištenje.

Sva provedena GPS mjerenja na Geodinamičkoj mreži Grada Zagreba obrađena su na istovjetan način: korištenjem najnovije inačice znanstvenoga GPS softvera GAMIT/GLOBK 10.34, koja radi pod Linux operativnim sustavom. GAMIT/GLOBK upotrebljava Kalman filtar za određivanje brzina iz vremenski odvojenih kampanja. To je softver koji daje multipoint rješenja, dakle obrađuje sve točke odjednom te je i kovarijanc matrica zajednička za cijelu mrežu.

Skaliranje GAMIT kovarijance rješenja izvodi se u sklopu izvođenja GLOBK odnosno Kalman filtar iteracije. Iterativnim postupkom određuju se parametri skaliranja za kovarijancu h-datoteka koje predstavljaju rješenja pojedinih serija mjerenja. Parametar χ^2 daje mjeru neslaganja podataka relativno prema njihovim formalnim pogreškama. Podešavanjem skaliranja na h-datotekama tako da je χ^2 jednak (ili vrlo blizu) 1, znak je da je dobiveno pravo skaliranje za kovarijance i da su pogreške dobivenog rješenja dobra procjena "pravih" pogrešaka (Dong i dr. 1998, Herring i dr. 2006a, 2006b).

Podaci su obrađeni u serijama: 1997.–2001., 2001.–2004., 2004.–2006., 2006.–2007., 2007.–2008. Za svako je razdoblje određen zaseban model brzina pomaka na točkama Geodinamičke mreže.

Brzine točaka izračunate su uz pomoć modula GLOBK, dakle polje brzina izračunato je prema posebnom modelu računskim postupkom Kalmanova filtriranja (Herring i dr. 1990, Dong i dr. 1998, Herring i dr. 2006a, Reilinger i dr. 2006, McClusky i dr. 2000, Davies i Blewitt 2000, Lavallee i dr. 2001). Brzine su izražene u milimetrima na godinu (mm/god.). Također je izračunata i magnituda ukupnog prostornog vektora pomaka u sve tri dimenzije. Ocjena točnosti u lokalnom sustavu razdvaja horizontalnu od vertikalne komponente.

Uzme li se za primjer razdoblje 2006.–2008. godine, u modul GLOBK uvrštena su rješenja kampanje iz 2006. i 2008. godine kako bi se dobile godišnje brzine točaka geodinamičke mreže za to razdoblje. U tablici 5 dan je statistički prikaz apsolutnih vrijednosti godišnjih brzina točaka mreže za razdoblje 2006.–2008. godine. Na jednak način izračunate su i godišnje brzine točaka geodinamičke mreže

za sve serije mjerenja, i to: 1997.–2001., 2001.–2004., 2004.–2006., 2006.–2007., 2007.–2008., 2006.–2007.–2008. godine. Tablice 2 do 8 prikazuju statističke prikaze apsolutnih vrijednosti brzina za navedena razdoblja.

Prva dva stupca prikazuju brzine kao komponente zemljopisne širine i duljine (v_φ i v_λ), treći stupac je rezultanta prve i druge komponente (horizontalna brzina – v_{hor}), zadnji stupac je komponenta vertikalne brzine (v_h).

Tablica 2. *Statistički prikaz apsolutnih vrijednosti godišnjih brzina za razdoblje 1997.–2001. godine.*

	V_φ [mm/god]	V_λ [mm/god]	V_{hor} [mm/god]	V_h [mm/god]
min	0,02	0,02	0,32	0,07
max	7,61	4,49	8,84	32,85
avg	1,64	1,45	2,38	6,57

Tablica 3. *Statistički prikaz apsolutnih vrijednosti godišnjih brzina za razdoblje 2001.–2004. godine.*

	V_φ [mm/god]	V_λ [mm/god]	V_{hor} [mm/god]	V_h [mm/god]
min	0,04	0,04	0,11	0,03
max	5,19	5,05	5,36	30,15
avg	1,73	1,45	2,55	7,48

Tablica 4. *Statistički prikaz apsolutnih vrijednosti godišnjih brzina za razdoblje 2004.–2006. godine.*

	V_φ [mm/god]	V_λ [mm/god]	V_{hor} [mm/god]	V_h [mm/god]
min	0,03	0,05	0,27	0,48
max	6,08	10,73	11,80	21,06
avg	1,85	1,70	2,89	6,54

Tablica 5. *Statistički prikaz apsolutnih vrijednosti godišnjih brzina za razdoblje 2006.–2008. godine.*

	V_φ [mm/god]	V_λ [mm/god]	V_{hor} [mm/god]	V_h [mm/god]
min	0,05	0,19	0,31	0,04
max	5,89	9,20	9,42	26,66
avg	2,05	3,60	4,47	7,79

Tablica 6. *Statistički prikaz apsolutnih vrijednosti godišnjih brzina za razdoblje 2006.–2007. godine.*

	V_φ [mm/god]	V_λ [mm/god]	V_{hor} [mm/god]	V_h [mm/god]
min	0,20	0,57	1,43	0,60
max	10,70	19,36	19,37	50,27
avg	3,14	4,86	6,43	16,25

Tablica 7. *Statistički prikaz apsolutnih vrijednosti godišnjih brzina za razdoblje 2007.–2008. godine.*

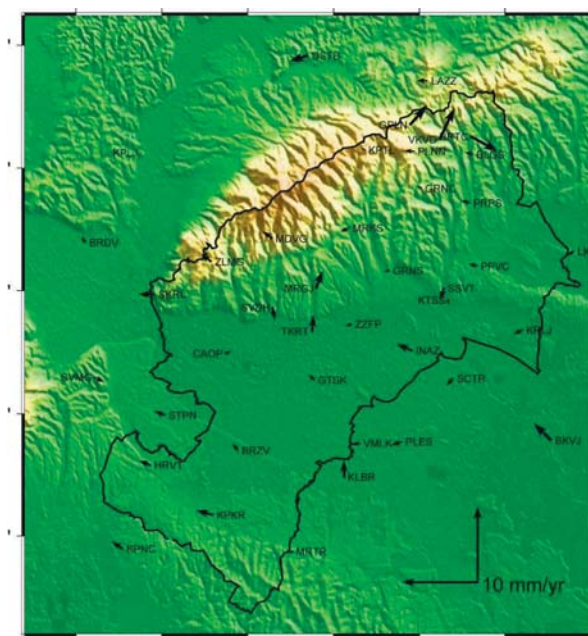
	V_{φ} [mm/god]	V_{λ} [mm/god]	V_{hor} [mm/god]	V_h [mm/god]
min	0,80	0,15	1,83	0,01
max	9,94	9,64	13,85	19,77
avg	3,87	4,20	6,00	7,02

Tablica 8. *Statistički prikaz apsolutnih vrijednosti godišnjih brzina za razdoblje 2006.–2007.–2008. godine.*

	V_{φ} [mm/god]	V_{λ} [mm/god]	V_{hor} [mm/god]	V_h [mm/god]
min	0,11	0,14	0,56	0,30
max	7,05	9,43	11,77	18,61
avg	2,39	3,75	4,91	6,25

Kako bi se dobio kumulativni model brzina pomaka točaka promatranog područja za cijelo razdoblje od 1997. do 2008., u daljnjoj obradi podataka bilo je potrebno kombinirati dobivena rješenja svake pojedine kampanje.

Na slici 2 prikazano je kumulativno rješenje brzina pomaka na točkama geodinamičke mreže dobiveno za cijelo razdoblje od 1997. do 2008.



Slika 2. *Kumulativne brzine pomaka na točkama geodinamičke mreže za razdoblje 1997.–2008.*

Tablica 9. *Statistički prikaz apsolutnih vrijednosti godišnjih brzina za razdoblje 1997.–2008. godine.*

	V_{φ} [mm/god]	V_{λ} [mm/god]	V_{hor} [mm/god]	V_h [mm/god]
min	0,05	0,04	0,14	0,02
max	3,93	3,42	4,34	17,48
avg	0,83	1,03	1,45	1,97

Apsolutna vrijednost pomaka za ukupno rješenje u horizontalnom smjeru iznosi 4,3 mm/god., a u vertikalnom 17,5 mm/god. Najveće apsolutne vrijednosti pomaka dobivene su u razdoblju 2006.–2007. godine i iznose 19,4 mm/god. u horizontalnom i 50,3 mm/god. u vertikalnom smjeru, iz čega je vidljivo da je riječ o geodinamički znakovitim pomacima. Ovdje također valja naglasiti da je kampanja iz 2007. godine iznimno bitan segment u provedenoj analizi, zbog toga što jedina daje brzine bez vremenske interpolacije, jer je izvedena unutar razdoblja od samo jedne godine u odnosu na druge provedene kampanje te time obuhvaća pomake koji bi inače bili usrednjeni. Zato su brzine izračunate za kompletno razdoblje 1997.–2008. znatno manje (tablica 9). Naime, zbog različitih aktivnih zona na području grada Zagreba iz godine u godinu, na taj način daju ponekad suprotne smjerove brzine za iste točke.

Dobiveno kumulativno rješenje iskorišteno je za dobivanje geodetskog modela tektonskih pomaka te u kombinaciji s geološkim podacima za izradu jedinstvenog modela gibanja pripovršinskih slojeva Zemljine kore na širem zagrebačkom području.

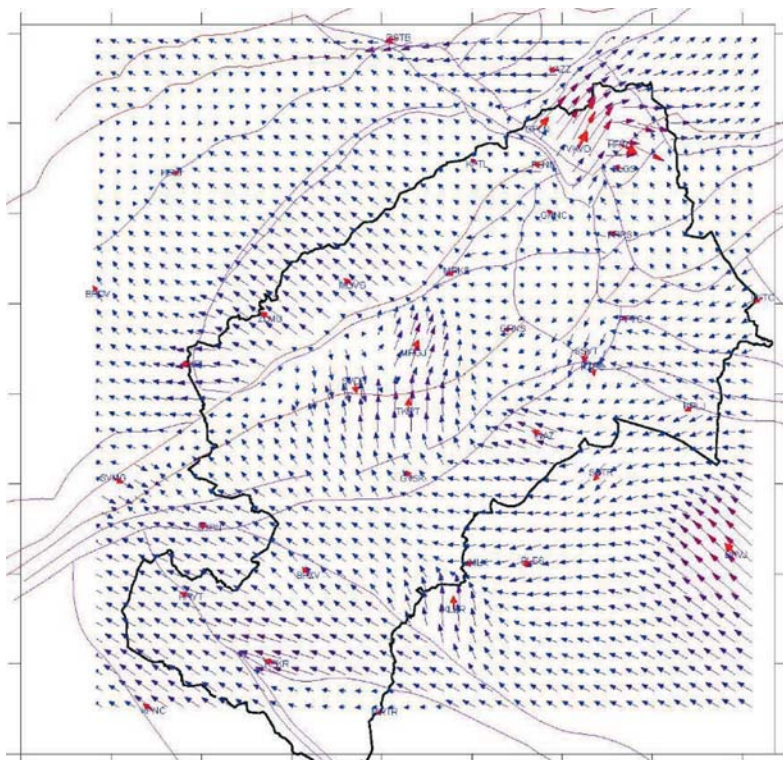
4. Izrada geodetskog modela pomaka i koeficijent korelacije geodetskog i geološkog modela

Kako bi se dobio geodetski model polja brzina na području istraživanja, izvedena je interpolacija diskretnih vrijednosti brzina izmjerenih na točkama geodinamičke mreže. Za interpolaciju su korištene vrijednosti dobivene programskim paketom GAMIT/GLOBK, koje uključuju kombinirane rezultate iz svih provedenih kampanja na geodinamičkoj mreži, prikazane na slici 2.

Za interpolaciju je odabrana deterministička IDW-metoda, pri kojoj utjecaj vrijednosti atributa opada s povećanjem udaljenosti od točke u kojoj se izvodi interpolacija (IDW – Inverse Distance Weighted: težine inverzne udaljenosti). Pojam “inverzno” dolazi iz “prvog zakona geografije” (Tobler 1970): Sve stvari su međusobno povezane, ali bliže stvari više od udaljenijih, odnosno vrijednosti atributa na lokacijama koje su međusobno bliže, sličnije su od onih koje su udaljenije (kako u prostoru, tako i u vremenu).

Ta je metoda egzaktni interpolator: rezultat je osjetljiv na gomilanje podataka (clustering) i ekstremne vrijednosti. Glavni je razlog odabira te metode njezina mogućnost uključivanja modela rasjeda u računski proces interpolacije. Izrađena datoteka s modelom rasjeda područja proučavanja uključena je u računanja polja brzina.

Dobiveno vektorsko polje brzina geodinamičke mreže s kojega se jasno mogu vidjeti trendovi pomaka aktivnih struktura, prikazano je na slici 3.



Slika 3. Geodetski model brzina izrađen korištenjem IDW interpolacije uključujući model rasjeda na širem zagrebačkom području.

4.1. Korelacija geodetskog i geološkog modela

Korelacija je statistička povezanost dviju ili više varijabli. Skup metoda kojima se mjeri stupanj jakosti statističkih veza zove se korelacijska analiza, a normirani pokazatelji korelacije koeficijenti korelacije. Ako se između dviju varijabli pretpostavlja postojanje linearne statističke veze, tada se jakost i smjer veze mjeri koeficijentom linearne korelacije r ($-1 \leq r \leq 1$).

Koeficijenti korelacije izražavaju mjeru povezanosti između dviju varijabli u jedinicama neovisnima o konkretnim jedinicama mjere u kojima su iskazane vrijednosti varijabli. Postoji više koeficijenata korelacije koji se upotrebljavaju u različitim slučajevima. U praksi se prilikom rada s linearnim modelima najčešće upotrebljava Pearsonov koeficijent korelacije (produkt moment koeficijent korelacije). Prilikom rada s modelima koji nisu linearni najčešće se upotrebljava Spearmanov koeficijent korelacije (koeficijent korelacije ranga) (Petz 1974, Sošić 2004).

Postoji linearna povezanost između x i y ako je nacrtan pravac kroz točke koji omogućava najprikladniju procjenu opaženog odnosa. Mjeri se koliko su opažanja blizu pravcu koji najbolje opisuje njihovu linearnu povezanost računanjem Pearsonova koeficijenta korelacije umnožaka, najčešće jednostavno zvan koeficijent korelacije:

$$r = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2(y - \bar{y})^2}}. \quad (1)$$

Koeficijent korelacije pokazuje stupanj linearne zavisnosti između varijabli. Što je koeficijent korelacije bliže 1 ili -1 , veća je korelacija između varijabli. Predznak r upućuje na smjer korelacije: pozitivna korelacija (pozitivan r) znači da kako vrijednost jedne varijable raste, tako raste i vrijednost druge varijable; negativna korelacija (negativan r) znači da kako vrijednost jedne varijable raste, tako pada vrijednost druge varijable.

Spearmanov koeficijent korelacije (koeficijent korelacije ranga) upotrebljava se za mjerenje povezanosti između varijabli u slučajevima kada nije moguće primijeniti Pearsonov koeficijent korelacije. Bazira se na tome da se izmjeri dosljednost povezanosti između poredanih varijabli, a oblik povezanosti (npr. linearni oblik, koji je preduvjet za korištenje Pearsonova koeficijenta) nije bitan. Spearmanov koeficijent upotrebljava se, npr., kada među varijablama ne postoji linearna povezanost, a nije moguće primijeniti odgovarajuću transformaciju kojom bi se povezanost prevela u linearnu.

Za određivanje stupnja korelacije geodetskog i geološkog modela pomaka na promatranom području korištene su vrijednosti azimuta vektora pomaka na mjestima gdje je to bilo teoretski i praktično moguće. Naime, geodetski model pomaka vezan je uz diskretna mjerenja – točke geodinamičke mreže, dok je geološki model također vezan uz diskretna mjesta, ali ona gdje su postojali izdanci rasjeda na kojima je bilo moguće očitati geološke parametre, iz kojih su određeni smjerovi pomaka. Dakle, za usporedbu, odnosno izračun stupnja korelacije, nije bilo moguće uzeti sva mjerenja iz jednog i drugog modela nego su uzete samo one točke, odnosno vektori, na kojima je bilo moguće provesti usporedbu. Riječ je o vrijednostima azimuta vektora za pojedini strukturni blok dobivenih iz geodetskih, odnosno geoloških podataka, a koji su bili direktno usporedivi.

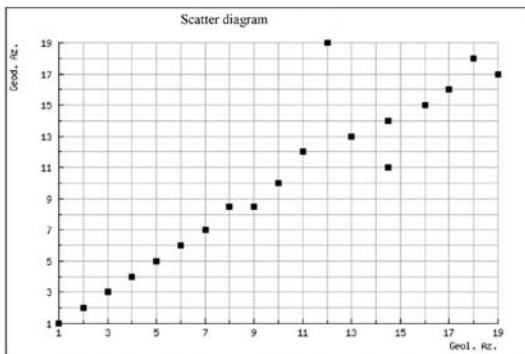
Budući da je riječ o istoj varijabli, odnosno o azimutu koji je vezan za određeno diskretno područje, a za koji postoje dvije vrijednosti dane na osnovi geološke i geodetske analize, stupanj korelacije dvaju modela određen je Spearmanovim koeficijentom korelacije (Šošić 2004):

$$r_s = 1 - 6 \sum_{i=1}^n \frac{d_i^2}{n(n^2 - 1)}. \quad (2)$$

Uvrštavanjem vrijednosti iz tablice 10 u formulu za Spearmanov koeficijent korelacije (1) dobiven je koeficijent korelacije 0,94 na razini 1% signifikantnosti (99% u Gaussovu modelu), odnosno postoji visok stupanj korelacije između dvaju modela (Serdar i Šošić 1981). Dakle, Spearmanov koeficijent korelacije ranga pozitivan je i uočava se tendencija da smjer pomaka strukturnih blokova na širem zagrebač-

Tablica 10. Računanje koeficijenta korelacije po Spearmanovoj formuli.

red.br.	x_i	y_i	$r(x_i)$	$r(y_i)$	d_i	d_i^2
1	297	299	14	14.5	-0.5	0.25
2	277	281	13	13	-1	1
3	255	262	10	10	0	0
4	260	299	11	14.5	-3.5	12.25
5	191	187	6	6	0	0
6	141	160	4	4	0	0
7	220	204	8.5	8	0.5	0.25
8	220	224	8.5	9	-0.5	0.25
9	18	18	2	2	0	0
10	346	344	17	19	-2	4
11	345	333	16	17	-1	1
12	324	319	15	16	-1	1
13	383	279	19	12	7	49
14	274	271	12	11	1	1
15	189	164	5	5	0	0
16	140	146	3	3	0	0
17	212	197	7	7	0	0
18	351	338	18	18	0	0
19	8	10	1	1	0	0
	-	-	190	190	-1	69



kom području, određen geodetskim metodama, prati smjer pomaka neovisno određen geološkim metodama te na taj način daje vjerodostojnost objema znanstvenim metodama istraživanja.

5. Rezultati GPS kampanje 2009.

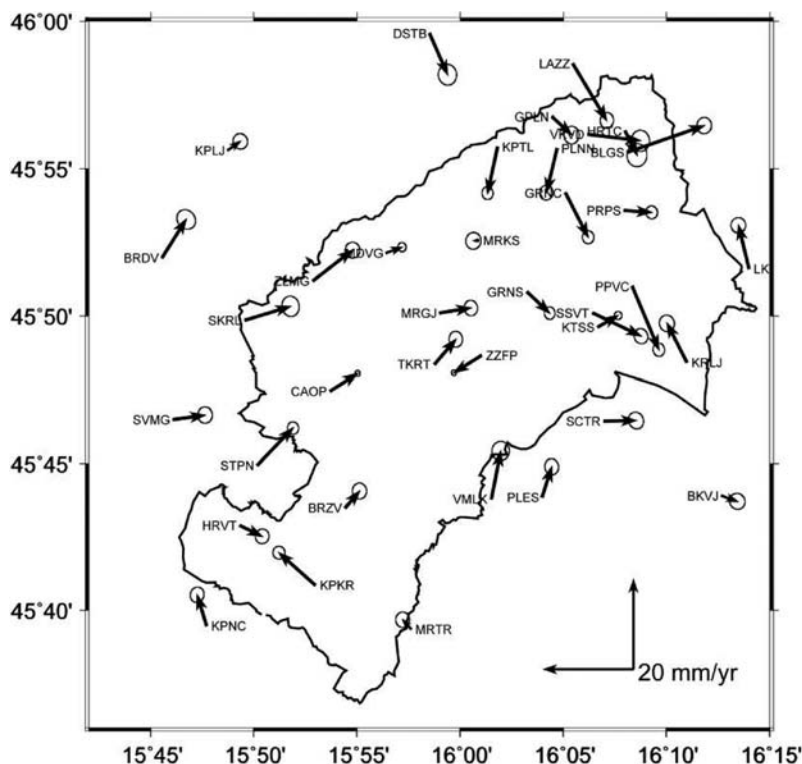
U lipnju 2009. godine provedena je zadnja u nizu GPS kampanja na Geodinamičkoj mreži Grada Zagreba. Još jednom je GPS mjerenjima obuhvaćena kompletna mreža. Mjerenja su, kao i svih dosadašnjih godina, provedena na način koji je opisan na početku ovoga rada.

Za obradu mjernja korištena je, kao i za prije provedene GPS mjerne kampanje, inačica 10.34 GAMIT/GLOBK znanstvenog softvera za obradu GPS mjerenja i određivanje brzina uzrokovanih tektonskim pomacima na točkama mjerenja iz vremenski pomaknutih serija mjerenja.

Na slici 4 prikazani su vektori brzina na točkama geodinamičke mreže za razdoblje 2008.–2009. godine s pripadnim elipsama pogrešaka koje su uvećane dva puta. Prikazi brzina izrađeni su korištenjem softverskog paketa Generic Mapping Tools (Wessel i Smith 2004). Statistički prikaz apsolutnih vrijednosti godišnjih brzina za razdoblje 2008.–2009. godine prikazan je u tablici 11. Sa slike 4 te iz vrijednosti navedenih u tablici 11 evidentno je da je riječ o razdoblju s povećanom tektonskom aktivnošću.

Tablica 11. Statistički prikaz apsolutnih vrijednosti godišnjih brzina za razdoblje 2008.–2009. godine.

	V_φ [mm/god]	V_λ [mm/god]	V_{hor} [mm/god]	V_h [mm/god]
min	0,09	1,22	1,22	0,68
max	13,96	16,94	17,93	45,81
avg	5,39	5,42	8,36	15,03

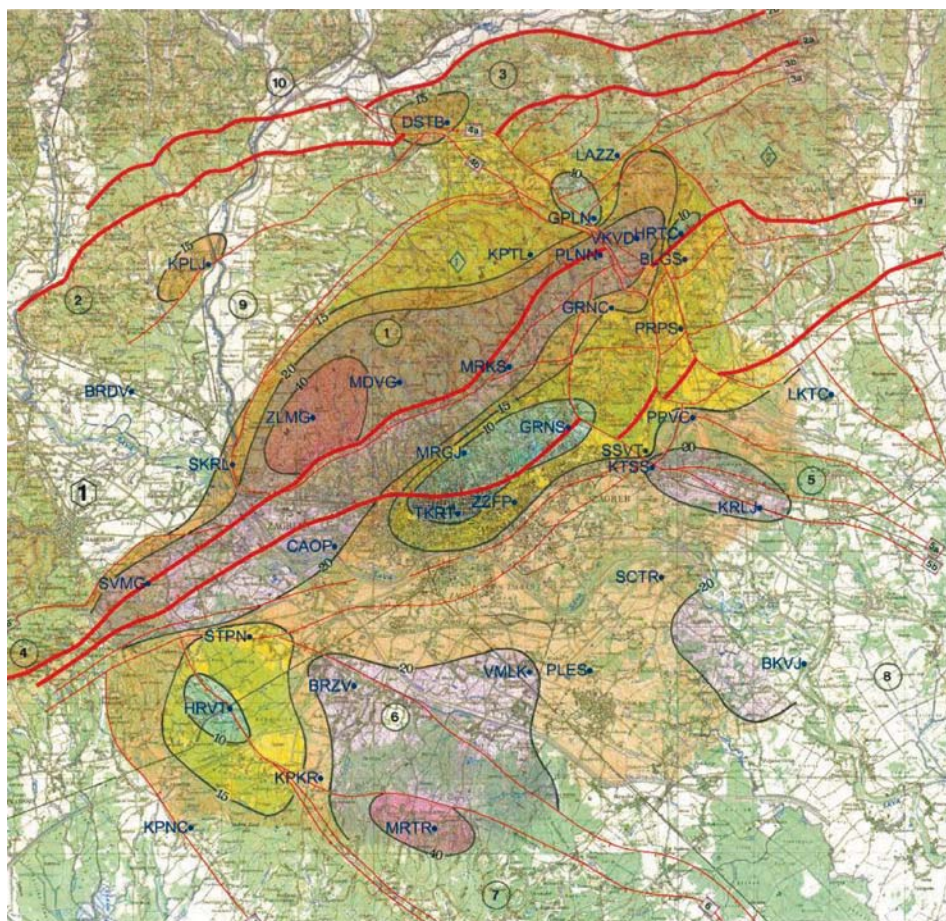


Slika 4. Vektori brzina na točkama Geodinamičke mreže za razdoblje 2008.–2009. godine.

5.1. Interdisciplinarna interpretacija geodetskih pomaka za razdoblje 2008.–2009. godine

Na temelju dosadašnjih provedenih mjerenja na točkama Geodinamičke mreže utvrđena je stalno prisutna tektonska aktivnost u čitavom obuhvaćenom području. Osobito je naglašena aktivnost u Medvednici (1 u priloženim slikama) i u zonama Zagrebačkog rasjeda (1) i rasjeda Stubica – Kašina (4). U pojedinim razdobljima aktivnosti utvrđena je i stalna promjena veličina i smjerova pomaka točaka, mjestimice i predznaka vertikalne komponente pomaka. Te promjene posljedica su oscilacije intenziteta tektonskih pokreta. Smjerovi pomaka dijagonalni su u prostoru pod različitim kutom nagiba. Veličine pomaka predstavljaju amplitude tektonskih pokreta.

Za određivanje tektonske aktivnosti i uočavanje posljedica te aktivnosti najvažnije je izdvojiti veličine i smjerove pomaka pojedinih točaka te prostore najveće kompresije. Na temelju usporedbe geoloških i geodetskih podataka izdvojen je prostor najveće kompresije u Medvednici (1 na slici 5). Podaci pokazuju izražene reversne pomake duž zone Zagrebačkog rasjeda (1), različite pomake dijelova Medvednice (1), Savskog bazena (8) i Vukomeričkih gorica (7). Smjerovi pomaka u Medvednici (1) u razdobljima mjerenja upućuju na retrogradnu rotaciju pojedinih njezinih



Slika 5. Vrijednosti amplituda tektonskih pomaka za razdoblje 2008.–2009. godine.

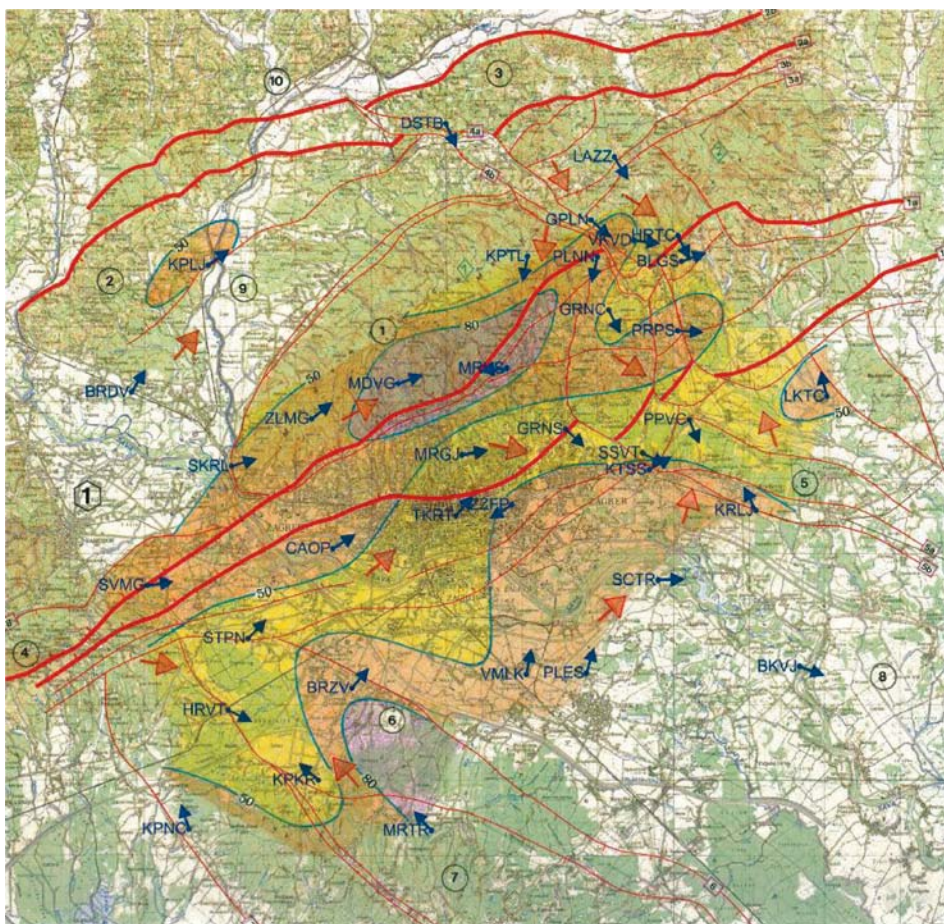
dijelova. Siguran dokaz položaja prostora najveće kompresije i stalno prisutne tektonske aktivnosti jesu pojave potresa relativno velike jakosti. Provedena GPS mjerenja na točkama Geodinamičke mreže u razdoblju 2008.–2009. godine unose nove podatke o prisutnoj tektonskoj aktivnosti, osobito ovisnosti položaja obuhvaćenog područja o regionalnim tektonskim pokretima. Stoga je najprije potrebno istaknuti bitne spoznaje na temelju mjerenja provedenih u razdobljima 2006.–2007., 2007.–2008. i 2008.–2009. godine.

U razdoblju 2006.–2007. godine izražena je relativno veća tektonska aktivnost. Zabilježene su amplitude tektonskih pomaka u zonama Zagrebačkog rasjeda (1) i rasjeda Stubica – Kašina (4) između 19,7 mm/god. (Markuševac) i 50,5 mm/god. (Gornja Planina). Osobito se ističe prevladavajuća vertikalna komponenta pomaka najizraženija između Laza (LAZZ), Gornje Planine (GPLN) i Vukovdola (VKVD), gdje su i prostorni pomaci pod kutovima nagiba 77°–84°. Smjerovi pomaka točaka omogućavaju izdvajanje prostora najveće kompresije između Medvedgrada, Sesveta, Planine i Laza.

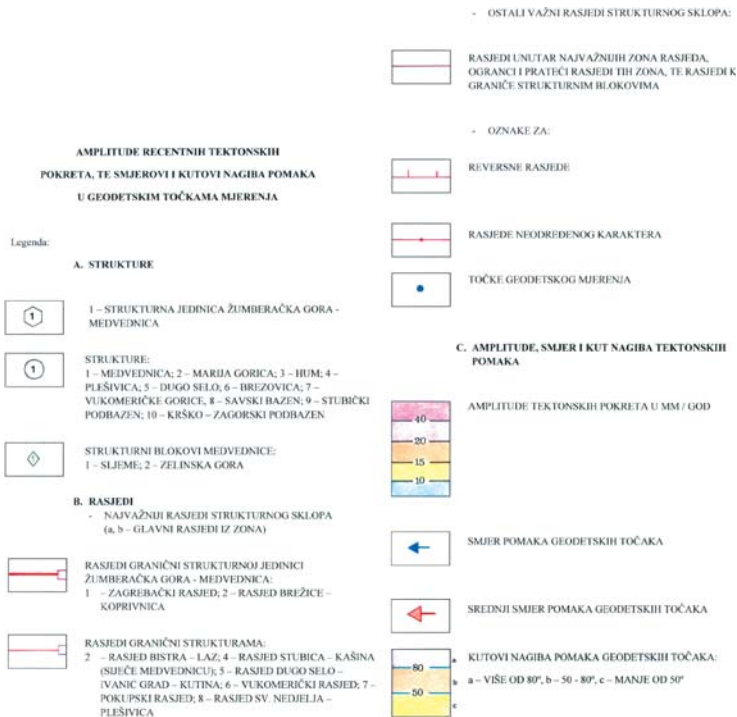
U razdoblju 2007.–2008. godine tektonska se aktivnost smanjuje. Samo u točki SSTV (Sesvete) zabilježena je amplituda tektonskog pomaka 24,1 mm/god. Ipak, vrijednosti amplituda iznad 10 mm/god. jasno izdvajaju zonu Zagrebačkog rasjeda (1) između Mirogoja (MRGJ), Sesveta (SSTV) i Prepuštovca (PRPS).

U razdoblju 2008.–2009. godine provedena mjerenja pokazuju povećanje tektonske aktivnosti (slika 5). Osobito je aktivna zona Zagrebačkog rasjeda (1), i to na čitavoj dužini između Sv. Magdalene i Planine, zatim u Vukomeričkim goricama duž dionice Vukomeričkog rasjeda (6), te unutar Savskog bazena (8). Maksimumi su mjereni u točkama: ZLMG (sjeverno od Gornjeg Vrapča) 40,13 mm/god., MRTR (Vukomeričke gorice) 45,81 mm/god., BKVJ (Bukevje na Savi) 39,37 mm/god., MDVG (Medvedgrad) 36,59 mm/god., SVMG (Sv. Magdalena) 27,08 mm/god., BRZV (Brezovica) 26,95 mm/god., VKVD (Vukovdol) 27,08 mm/god. i MRKS (Markuševac) 21,83 mm/god.

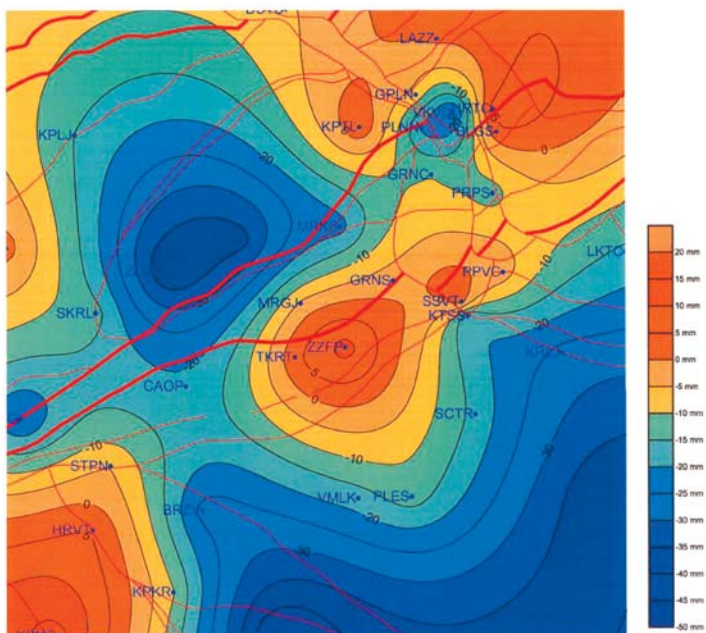
Najvažniji podatak odnosi se na smjer pomaka geodetskih točaka (slika 6). U zapadnom dijelu Medvednice (1), oko Granešine i Sesveta, zatim oko Marije Gorice



Slika 6. Smjerovi pomaka i kutovi nagiba za razdoblje 2008.–2009. godine.



Legenda uz slike 5 i 6.



Slika 7. Amplitude vertikalne komponente pomaka za razdoblje 2008.–2009. godine.

(2), te oko Stupnika i Horvata zapažaju se pomaci pojedinih točaka od zapada prema istoku. Uočljiva je i promjena smjera: najprije prema sjeveroistoku oko Brdovca (BRDV) i zapadnom dijelu Medvednice (SKRL, ZLMG), potom prema istoku (MDVG, MRGJ) i naposljetku prema jugoistoku oko Granešine i Seseva (GRNS, SSVT, PPVC). Podaci očito pokazuju pomicanje dijelova strukturne jedinice Žumberačka gora – Medvednica (1 u priloženim slikama) generalno prema istoku. Zbog tih pomaka Medvednica (1) gura pred sobom Zelinsku goru (2) i strukturu Hum (3), pa su oko Laza i Planine (uz lokalna odstupanja) također prisutni pomaci točaka prema istoku, jugoistoku. Navedenim pomacima izravno se odupiru kompleksi stijena smješteni u dubini Vukomeričkih gorica (7), strukture Dugo Selo (5) i strukture koje se nalaze prema Vrbovcu (različiti škriļjavci i graniti). Jasno se uočavaju smjerovi pomaka prema sjeverozapadu.

Uz smjerove pomaka pojedinih točaka valja istaknuti i promjenu kutova nagiba pod kojima se ti pomaci događaju. Idući od zapada prema zoni Zagrebačkog rasjeda (1) povećava se kut nagiba. Pojedine točke u Medvednici (1) se spuštaju (slika 3). To upućuje na prostornu rotaciju zapadnog dijela Medvednice (1) i Plešivice (4) oko blago nagnute osi. Povećanje kuta nagiba zabilježeno je i u Vukomeričkim goricama (7), Savskom bazenu (8) i oko Dugog Sela (5). Uzrok je spomenuto odupiranje kompleksa stijena u dubini tektonskim pomacima dijelova strukturne jedinice Žumberačka gora – Medvednica (1). Takvom zaključku izravno pridonosi i vertikalna komponenta pomaka mjenjenih u pojedinim točkama (slika 7). Uzdignute točke označavaju i prostor kompresije koji je paralelan pružanju zone Zagrebačkog rasjeda (1) i položaja Zelinske gore (2) odijeljene od Sljemena (1) zonom rasjeda Stubica – Kašina (4).

Povećanje tektonske aktivnosti, osobito smjerovi pomaka pojedinih točaka geodinamičke mreže, upućuju na izravne utjecaje regionalnih tektonskih pokreta. U zaleđu strukturne jedinice Žumberačka gora – Medvednica (1) prisutna je transpresija prostora. To uključuje kompresiju prostora uz regionalne pomake struktura prema istoku, jugoistoku. Pritom se najveća kompresija događa u Medvednici (1) uz pojavu potresa relativno velike jakosti. Ustanovljeni pomaci u obuhvaćenom području, osobito prevladavajuće spuštanje i rotacija dijelova Medvednice (1), upućuju na početnu fazu veće tektonske aktivnosti u prostoru paralelnom Zagrebačkom rasjedu (1). Iz prethodno navedenih zaključaka možemo konstatirati da veća seizmička aktivnost tog prostora vjerojatno tek slijedi.

6. Zaključak

Istraživanja na Geodinamičkoj mreži Grada Zagreba počela su 1997. godine i do sada je, tijekom trinaest godina, izvedeno devet GPS kampanja u svrhu određivanja geodinamičkih pomaka na točkama mreže.

Podaci mjerenja obrađeni su u znanstvenom softveru GAMIT/GLOBK, dizajniranom upravo za obradu GPS mjerenja u geodinamičkim mrežama. Njime su izračunati kinematički pomaci na točkama primjenom suvremenih metoda Kalmanova filtriranja.

Rezultat su modeli brzina na točkama Geodinamičke mreže dobiveni za razdoblja 1997.–2001., 2001.–2004., 2004.–2006., 2006.–2007., 2007.–2008., 2008.–2009.,

2006.–2007.–2008. te kumulativno za cijelo razdoblje 1997.–2008. Najveća apsolutna vrijednost pomaka za ukupno rješenje u horizontalnom smjeru iznosi 4,3 mm/god., a u vertikalnom 17,5 mm/god. Najveće apsolutne vrijednosti pomaka dobivene su u razdoblju 2006.–2007. godine i iznose 19,4 mm/god. u horizontalnom i 50,3 mm/god. u vertikalnom smjeru, iz čega je vidljivo da je riječ o geodinamički znakovitim pomacima.

Također je izvedena interpolacija vrijednosti brzina dobivenih za cijelo razdoblje istraživanja IDW metodom uz uključivanje modela rasjeda širega zagrebačkog područja. Na kraju je izrađen originalni geodetski model polja brzina za promatrano područje.

Analiza dobivenih rezultata dala je jedinstveni interdisciplinarni model gibanja pripovršinskih slojeva Zemljine kore na širem zagrebačkom području.

Nakon toga je primijenjena geostatistička analiza te izračunat koeficijent korelacije geodetskog i geološkog modela pomaka po Spearmanovoj formuli. Dobivena vrijednost koeficijenta od 0,94 upućuje na visoki stupanj korelacije između geodetskih i geoloških pomaka na predmetnom području. Time je dokazana vjerodostojnost trinaestogodišnjih istraživanja provedenih neovisnim geološkim i geodetskim metodama.

Nadalje, jasno se vidi da pomaci u jednoj prikazanoj epohi na određenom strukturnom bloku izazivaju reakciju drugoga strukturnog bloka u sljedećoj epohi mjerenja. Ta znanstveno utvrđena činjenica može poslužiti za bolje razumijevanje ponašanja dinamike strukturnog sklopa područja istraživanja.

Zaključno se može konstatirati da je u sklopu ovog rada izrađen jedinstveni model gibanja pripovršinskih slojeva Zemljine kore širega zagrebačkog područja. On se može primijeniti za točnije definiranje granica mikrosezmičkog zoniranja tog područja. S druge strane, dobiveni podaci o pomacima mogu pomoći u donošenju odluka o načinu rekonstrukcije i adaptacije važnih građevina (pojačanja temeljenja i konstruktivnih elemenata), a mogu se također iskoristiti i za točno definiranje zona klizišta uzrokovanih tektonskim pomacima.

Posebno je obrađena GPS kampanja izvedena 2009. godine zbog toga jer su dobivene brzine pomaka za razdoblje 2008.–2009. i provedena interdisciplinarna analiza rezultata upućuju na povećanje tektonske aktivnosti. Smjerovi pomaka pojedinih točaka geodinamičke mreže upućuju na izravne utjecaje regionalnih tektonskih pokreta. Ustanovljeni pomaci u obuhvaćenom području, a osobito prevladavajuće spuštanje i rotacija dijelova Medvednice, upućuju na početnu fazu veće tektonske aktivnosti u prostoru paralelnom Zagrebačkom rasjedu. Zbog toga se još jednom pokazalo da je nužno provođenje takve vrste mjerenja u vremenskim intervalima od najviše jedne godine kako bi se izbjegla vremenska interpolacija rezultata jer tako obuhvaća pomake koji bi inače bili usrednjeni i ti vrijedni podaci, potrebni za kvalitetnu analizu i razumijevanje mehanizma strukturnog sklopa, izgubljeni.

ZAHVALA. Autori se ovom prilikom žele zahvaliti prof. dr. sc. Eduardu Prelogoviću, redovitom profesoru u mirovini s Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, na sudjelovanju i velikom doprinosu u svim fazama predmetnih istraživanja.

Literatura

- Altiner, Y. (1999): Analytical Surface Deformation Theory for Detection of the Earth's Crust Movements, Springer Verlag.
- Altiner, Y., Marjanović-Kavanagh, R., Medak, D., Medić, Z., Prelogović, E., Pribičević, B. i dr. (2001): Is Adria a Promontory or does it exist as an Independent Microplate? Sledzinski, J. (Ed.), Proceedings of the EDS G9 Symposium "Geodetic and Geodynamic Programmes of the CEI (Central European Initiative), 25–30 March 2001, Reports on Geodesy, Nice, France, Warsaw University of Technology, 225–229.
- Blewitt, G. (1993): Advances in Global Positioning System technology for geodynamics investigations: 1978–1992, In Contrib. Space Geodesy Geodyn.: Technol. Geodyn., Geodyn. Ser., Smith, D. E., Turcotte, D. L. (Ed.), Washington, DC: Am. Geophys. Union, 25, 195–213.
- Bock, Y., Agnew, D., Fang, P., Genrich, J., Hager, B., Herring, T., Hudnut, K. i dr. (1993): Detection of crustal deformation from the Landers earthquake sequence using continuous geodetic measurements, *Nature*, 361, 337–340.
- Čolić, K., Prelogović, E., Pribičević, B., Švehla, D. (1999): Hrvatski geodinamički projekt CRODYN i GPS mreža Grada Zagreba, Bajić, A. (Ed.), Znanstveni skup Andrija Mohorovičić – 140. obljetnica rođenja, Zbornik radova, Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb, 141–152.
- Davies, P., Blewitt, G. (2000): Methodology for global geodetic time series estimation: A new tool for geodynamics, *Journ. Geophys. Res.*, 105, 11, 11083–11100.
- Dong, D., Herring, T., King, R. (1998): Estimating regional deformation from a combination of space and terrestrial geodetic data, *Journal of Geodesy*, 72, 4, 200–214.
- Đapo, A. (2005): Obrada i interpretacija geodetskih mjerenja na geodinamičkoj mreži Grada Zagreba, magistarski rad, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Đapo, A. (2009): Korelacija geodetskog i geološkog modela tektonskih pomaka na primjeru šireg područja Grada Zagreba, doktorska disertacija, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Đapo, A., Pribičević, B., Medak, D., Prelogović, E. (2009): Correlation between Geodetic and Geological Models in the Geodynamic Network of the City of Zagreb, *Reports on geodesy*, 86, 1, 115–122.
- Gerasimenko, M. D., Shestakov, N. V., Teruyuki, K. (2000): On optimal geodetic network design for fault-mechanics studies, 52, *Earth Planets Space*.
- Grenerczy, G., Sella, G., Stein, S., Kenyeres, A. (2005): Tectonic implications of the GPS velocity field in the northern Adriatic region, *Geophys. Res. Lett.*, 32.
- Herring, T., Davis, J., Shapiro, I. (1990): Geodesy by radio astronomy: the application of Kalman filtering to Very Long Baseline Interferometry, *J. Geophys. Res.*, 95, 12561–12581.
- Herring, T., King, R., McClusky, S. (2006a): Documentation for the MIT Global Kalman filter VLBI and GPS analysis program: GLOBK 10.3, Cambridge.
- Herring, T., King, R., McClusky, S. (2006b): Documentation for the MIT GPS analysis software: GAMIT 10.3, Cambridge.
- Kuk, V., Prelogović, E., Sović, L., Kuk, K., Marić, K. (2000): Seizmološke i seizmotektonske značajke šireg zagrebačkog područja, *Građevinar*, 52, 11, 647–653.
- Lavallee, D., Blewitt, G., Clarke, P. L., Nurotdinov, K., Holt, W. E., Kreemer, C. i dr. (2001): GPSVEL Project: Towards a Dense Global GPS Velocity Field, Proceedings of the International Association of Geodesy Scientist Assembly, Budapest.

- McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, I. i dr. (2000): GPS constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus, *Journal of Geophysical Research*, 105, B3, 5695–5719.
- Medak, D., Pribičević, B. (2001): Geodynamic GPS-Network of the City of Zagreb – First Results, In The Stephan Mueller topical conference of the European Geophysical Society: Quantitative neotectonic and seismic hazard assessment: new integrated approaches for environmental management, Balatonfüred, Hungary.
- Medak, D., Pribičević, B. (2002): Geodinamička mreža Grada Zagreba, Bašić, T. (Ed.), *Zbornik Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu povodom 40. obljetnice samostalnog djelovanja 1962–2002*, Zagreb, 145–156.
- Medak, D., Pribičević, B. (2003): Processing of Geodynamic GPS Networks with GAMIT Software, *Reports on Geodesy, Warsaw University of Technology*, 64, 1, 75–84.
- Medak, D., Pribičević, B. (2004): Processing of Geodynamic GPS networks in Croatia with GAMIT Software, Pinter, N., Grenerczy, G., Webber, J., Stein, S., Medak, D. (Eds.), *The Adria Microplate: GPS Geodesy, Tectonics and Hazards*, Veszprem, Hungary, Springer, 61, 247–256.
- Medak, D., Pribičević, B. (2006): Processing of geodynamic GPS-networks in Croatia with GAMIT software, *The Adria Microplate, GPS Geodesy, Tectonics and Hazards*, Pinter, N. et al. (Eds.).
- Medak, D., Pribičević, B., Prelogović, E., Đapo, A. (2007): Primjene geodetsko-geodinamičkih GPS-mjerenja za monitoring tektonski uvjetovanih klizišta, *Simpozij o inženjerskoj geodeziji*, Beli Manastir, 229–241.
- Petz, B. (1974): *Osnovne statističke metode*, Izdavački zavod JAZU, Zagreb.
- Pinter, N., Grenerczy, G., Webber, J., Stein, S., Medak, D. (Eds.) (2004): *The Adria Microplate: GPS Geodesy, Tectonics and Hazards*, 61, Veszprem, Hungary, Springer.
- Prelogović, E., Cvijanović, D. (1981): Potres u Medvednici 1880. godine, *Geol. Vjesnik*, 34, 137–146.
- Pribičević, B., Prelogović, E., Medak, D. (2002): Determination of the recent structural fabric in the Alps-Dinarides area by combination of geodetic and geologic methods, Brilly, M. (Ed.), *Raziskave s področja geodezije in geofizike*, Slovensko združenje za geodezijo in geofiziko, Ljubljana, 57–64.
- Pribičević, B., Medak, D., Prelogović, E. (2004): Geodinamika prostora Grada Zagreba, *Geodetski list*, 1, 51–65.
- Pribičević, B., Medak, D., Prelogović, E., Đapo, A. (2007a): Geodinamika prostora Grada Zagreba, *Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Znanstvena monografija*, Zagreb.
- Pribičević, B., Medak, D., Đapo, A. (2007b): Progušćenje točaka Geodinamičke mreže Grada Zagreba u podsljemenskoj zoni, *Geodetski list*, 4, 247–258.
- Pribičević, B., Medak, D., Đapo, A. (2008): Utjecaj geodinamičkih procesa na izgradnju objekata i infrastrukture na području Grada Zagreb, *Zbornik radova, Razvitak Zagreba – Zagreb 2008*, Radić, J. (ur.), Gradsko poglavarstvo Grada Zagreba i Hrvatski inženjerski savez, Zagreb, 109–116.
- Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Cakmak, R. i dr. (2006): GPS Constraints on Continental Deformation in the Africa-Arabia-Eurasia Continental Collision Zone and implications for the Dynamics of Plate Interactions, *Journal of Geophysical Research*, 111, B05411.
- Segall, P., Davis, L. J. (1997): GPS Applications for Geodynamics and Earthquake Studies, *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 25, 301–336.

- Serdar, V., Sošić, I. (1981): Uvod u statistiku, Školska knjiga, Zagreb.
- Solarić, M. (1999): Suradnja srednjeeuropskih zemalja u geodeziji i geodinamici, Bajić, A. (ur.), Znanstveni skup Andrija Mohorovičić – 140. obljetnica rođenja, Zbornik radova, Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb, 165–177.
- Šošić, I. (2004): Primijenjena statistika, Školska knjiga, Zagreb.
- Tobler, W. (1970): A computer movie simulating urban growth in the Detroit region, *Economic Geography*, 46, 2, 234–240.
- Wessel, P., Smith, W. H. F. (2004): *The Generic Mapping Tools – Technical Reference and Cookbook* (4th ed.).

Geodetic-Geologic Research on Wider Zagreb Area based on Geodynamic Network of City of Zagreb

ABSTRACT. The Geodynamic GPS-Network of the City of Zagreb represents the longest and the most intensive research effort in the field of geodynamics in Croatia. Since the establishment of the Network in 1997, nine series of precise GPS measurements have been conducted on specially stabilized points of Geodynamical Network of City of Zagreb with purpose of investigation of tectonic movements and related seismic activity related to the research. Processing of observation data was done with scientific software GAMIT/GLOBK, developed by MIT. Using results from all series of GPS measurements conducted since 1997 till 2009 geodetic model of tectonic movements has been created. In the area of interest, independent geological investigations have been conducted through even longer period which resulted in geological model of tectonic movements. The correlation coefficient between geodetic and geologic model has been calculated. It shows a high degree of correlation thus giving credibility to both methods of research. Systematic analysis has been conducted over geodetic and geologic results giving a unique interdisciplinary model of crust movements over wider Zagreb area as a result. This interdisciplinary interpretation of obtained geodetic movements leads to a new scientific insight about geodynamics of the City of Zagreb area. The results of this scientific research will be used to delineate zones of potential earthquake hazard or tectonically caused landslides. The paper pays particular attention to the GPS series of measurements conducted in 2009, because its results show the increased tectonic activity in the period 2008–2009. The analysis of results showed that the increase in tectonic activity and in particular, direction of movements of certain points indicate the direct influence of regional tectonic movements. Determined velocities of the points in the research area point to the initial phase of increased tectonic activity in the area parallel to the Zagreb fault and to the possibility that increased tectonic activity of this area is yet to come.

Keywords: GPS, geodynamics, correlation, Geodynamic Network of City of Zagreb.

Prihvaćeno: 2011-01-28