

UDK 528.28:550.34.034:629.783:551.242(497.11)
Izvorni znanstveni članak / Original scientific paper

Određivanje pomicanja Zemljine kore u okolici Skopja s pomoću MAKPOS-ovih referentnih GNSS-postaja

Miljenko SOLARIĆ, Nikola SOLARIĆ – Zagreb¹,
Zlatko BOGDANOVSKI, Sasho DIMESKI – Skopje²

SAŽETAK. U Makedoniji je postavljeno 14 GNSS³-referentnih postaja koje su uključene u rad MAKPOS⁴-ova pozicijskog sustava. Na njima GNSS-prijamnici tipa Leica Geosystem radiovezom primaju signale s GNSS-satelita od 0 do 24 sata i odmah ih šalju VPN-linijama u računski centar gdje se obrade. Međutim, nakon obrade primljenih signala na referentnim GNSS-postajama pomoću softvera za znanstvene svrhe Bernese može se postići preciznost od 1,5 mm određivanih koordinata njihova položaja. Takva visoka preciznost želi se iskoristiti za određivanje pomicanja Zemljine kore. Tako su u radu i analizirani iznosi pomicanja Zemljine kore 4 MAKPOS-ovih GNSS-referentnih postaja: Skopje, Tetovo, Kumanovo i Veles, i to:

- u horizontalnom smislu s koordinatama *N* (usmjerenim prema sjeveru) i koordinatama *E* (usmjerenim prema istoku) tako i
- u vertikalnom smislu promjenom njihovih elipsoidnih visina.
- Najprije su izračunate koordinatne razlike i razlike elipsoidnih visina za 4 MAKPOS-ove referentne postaje od 1. 1. 2011. godine (kad je započeo rad MAKPOS-ova pozicijskog sustava) do 10. 9. 2016. godine, tj. do potresa u Skopju 11. 9. 2016.
- Kako bi se odredilo je li nakon potresa došlo do nekih znatnih pomicanja Zemljine kore u okolici Skopja, izračunate su koordinatne razlike i razlike elipsoidnih visina MAKPOS-ovih postaja u vremenskom razdoblju od 10. 9. do 12. 9. 2016. Utvrđeno je da nakon potresa nije bilo pomaka Zemljine kore u horizontalnom smjeru, ali je došlo do manje promjene po visini i da se vjerojatno postaja u Skopju malo podigla.

¹ prof. dr. sc. Miljenko Solaric, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: miljenko.solaric@geof.hr,

prof. emeritus dr. sc. Nikola Solaric, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: nikola.solaric@geof.hr,

² doc. dr. sc. Zlatko Bogdanovski, Građevinski fakultet, Sveučilište “Sv. Ćiril i Metod” u Skopju, Partizanski odredi 24, MK-1000 Skopje, Makedonija, e-mail: bogdanovski@gf.ukim.edu.mk,

Sasho Dimeski, dipl. ing., Agencija za katastar nekretnina, Trifun Hadzi Janev 4, MK-1000 Skopje, Makedonija, e-mail: dimeski@katastar.gov.mk.

³ GNSS – Globalni navigacijski satelitski sustavi slanjem signala sa satelita s radiovalovima omogućuju električnim prijamnicima na površini Zemlje određivanje njihovih položaja (latitude, longitude i altitude).

⁴ MAKPOS – MAKedonian POSitional System (Makedonski pozicijski sustav) državna je mreža referentnih GNSS-postaja Republike Makedonije. Svrha toga sustava je omogućiti lakše, brže i točnije određivanje položaja točaka na površini Zemlje s pomoću GNSS-satelita.

- Istražene su i razlike koordinata i elipsoidnih visina od 1. 1. 2011. do 20. 9. 2016., tj. do 9. dana nakon potresa u Skopju. Na temelju izvedene usporedbe i analize može se reći da su i dalje koordinatne razlike bile u okvirima kakve su one bile i do 10. 9. 2016. Međutim, elipsoidne visine kao da su se ponovno počele spuštati do visina prije potresa.

Rezultate iz ovoga rada trebalo bi ugraditi u program UNAVCO Plate Motion Calculator.

Ključne riječi: MAKPOS, GNSS-postaja, Leica Geosystem, pomaci Zemljine kore.

1. Uvod

Deformacije Zemljine kore danas se mogu određivati uz pomoć navigacijskih GNSS-satelita i uspostavljenih satelitskih pozicijskih sustava postavljenih na površini Zemlje. Tako je u Makedoniji za određivanje položaja točaka na Zemlji postavljen satelitski pozicijski sustav nazvan MAKPOS (kratica od MAKedonski POzicijski Sustav). Takvi zemaljski pozicijski sustavi izrađeni su i u Hrvatskoj (CROPOS),



Slika 1. Permanentne referentne GNSS-postaje u MAKPOS-ovoj pozicijskoj mreži u Makedoniji i mreža za ispitivanje deformacija Zemljine kore prije i nakon potresa u Skopju 2016. godine (Dimeski i dr. 2012, Trpeski i dr. 2013).

Sloveniji (SIGNAL), Srbiji (AGROS), Crnoj Gori (MONTEPOS) i u Bosni i Hercegovini (FBiHPOS i RSPOS).

Svrha je tih sustava da se omogući geodetima određivanje položaja točaka stajališta antena samo s jednim uređajem GNSS-a, i to u realnom vremenu. Drugim riječima geodetskim stručnjacima omogućuje se praktički momentalno određivanje horizontalnih položaja i visine izravno na terenu. U tu je svrhu u Makedoniji postavljeno 14 GNSS-permanentnih referentnih postaja (slika 1). Udaljenosti između permanentnih referentnih postaja kreću se između 50 km i 70 km, a na njima su smještene antene i uređaji GNSS Leica Geosystem. Na referentnim postajama GNSS-prijamnici kontinuirano primaju odaslane signale s GNSS-satelita koji prolaze nebeskim svodom iznad horizonta GNSS-antene od 0 do 24 sata, i to čitave godine. Oni zatim primljene radiosignale sa satelita odmah prenose u nadzorno (računsko) središte u Makedoniji, gdje se oni obrađuju (Dimeski i dr. 2012, Trpeski i dr. 2013). Obradom tih podataka mjerenja referentnih GNSS-postaja sa znanstvenim softverom Bernese za 24 sata opažanja postiže se preciznost njihovih određivanih koordinata položaja na milimetar, a za elipsoidne visine tri puta slabije.

Koordinate MAKPOS-ovih postaja dane su u datumu ITRF 2008, epohi 1. 1. 2011. i napisane su u tablici 1.

Tablica 1. *Koordinate MAKPOS-ovih GNSS-postaja u projekciji na dodirni valjak na meridijan 21° istočne zemljopisne dužine u datumu ITRF 2008, epohi 1. 1. 2011.*

GNSS-postaje	E (m)	N (m)	h (m)
KUMANOVO	559 297,065	4 665 165,601	391,496
TETOVO	497 541,327	4 650 824,906	527,319
SKOPJE	533 742,784	4 649 821,225	311,132
VELES	564 093,893	4 618 774,657	246,170

U tablici 1 dane su sljedeće veličine:

- E – istočna koordinata, tj. udaljenost od meridijana 21° istočne zemljopisne dužine izražena u metrima, a dodano je 500 000 m da ne bi bilo negativnih koordinata
- N – sjeverna koordinata, tj. udaljenost od ekvatora izražena u metrima
- h – elipsoidna visina izražena u metrima.

Primili smo izračunate 24-satne koordinate položaja za te 4 MAKPOS-ove GNSS-postaje u vremenskom razdoblju od 20. 8. do 20. 9. 2016. i izračunali njihove standardne devijacije iz koordinata iz toga vremenskog razdoblja. U toj standardnoj devijaciji sadržane su pogreške mjerenja izazvane atmosferom koje nisu uklonjene računom, ali i mala pomicanja Zemljine kore u tom razdoblju.

Tablica 2. *Standardne devijacije određivanih koordinata E i N te elipsoidnih visina MAKPOS-ovih GNSS-postaja izračunatih iz 24-satnih koordinata i elipsoidnih visina u vremenskom razdoblju od 20. 8. 2016. do 20. 9. 2016. izražene u milimetrima.*

GNSS-postaje	E (mm) stand. dev.	N (mm) stand. dev.	h (mm) stand. dev.
KUMANOVO	1,7	1,4	3,8
SKOPJE	2,1	1,8	5,4
TETOVO	2,1	1,5	4,7
VELES	1,5	1,4	5,1
Prosječno	1,8	1,5	4,7

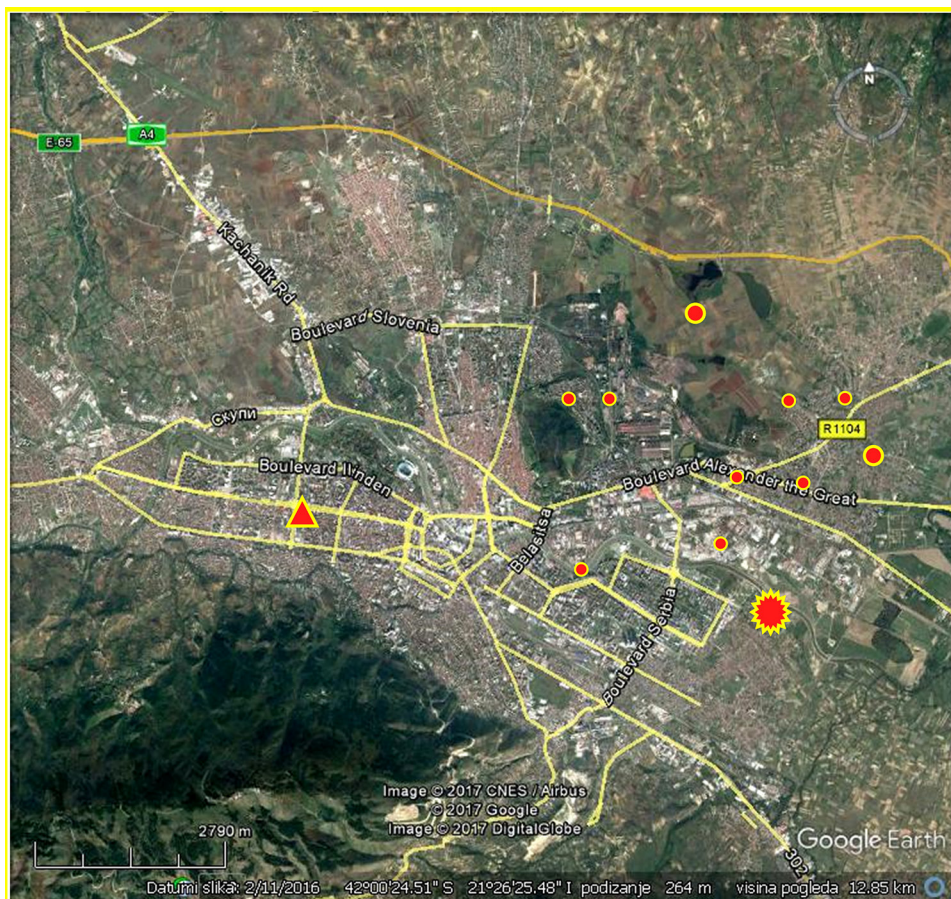
Iz tablice 2 vidi se da je koordinata N prosječno određena sa standardnom devijacijom 1,5 mm, a koordinata E sa standardnom devijacijom 1,8 mm, a to znači da je koordinata N općenito nešto preciznije određena od koordinate E. Međutim, elipsoidne visine su određene s prosječnom standardnom devijacijom od 4,7 mm, a to znači da su elipsoidne visine ΔH određene prosječno oko tri puta slabije od koordinatnih razlika ΔE i ΔN .

Ovdje se mora primijetiti da su standardne devijacije koordinata i elipsoidnih visina postaja Skopje najveće, što se može objasniti i malim pomicanjem tla u promatranom razdoblju.

Pozicijski sustav MAKPOS, kao i ostali uspostavljeni pozicijski sustavi u bližem okruženju osim za isključivo geodetske potrebe mogu imati veliku perspektivu primjene i u geodinamici. Tako pozicijski sustav uz pomoć Bernese softvera određujući koordinate za referentne GNSS-postaje s preciznosti na milimetar može pomoći i seizmolozima (seizmotektoničarima i geolozima) za određivanje pomicanja Zemljine kore i možda u eventualnom predviđanju potresa (Solarić, N. i dr. 2017).

2. Potres u Skopju 11. 9. 2016.

U istočnom predgrađu Skopja (Gazi baba i Čento) 11. 9. 2016. godine dogodilo se više manjih potresa, a onaj najveći, treći po redu, u 15 sati i 10 minuta po lokalnom vremenu bio je umjerene jačine (slika 2). Njegova magnituda bila je 5,3 stupnja po Richteru. Epicentar najvećeg potresa bio je udaljen oko 7 km od GNSS-postaje Skopje, a njegov hipocentar bio je u dubini od 4 km. Osjetio se u Kosovskoj Mitrovici, Nišu, Vranju i Beogradu, a u Skopju je bilo više od 100 građana povrijeđeno u panici (URL 1, URL 2).



Slika 2. Karta Skopja preuzeta s Googlea; crvenim krugovima označeni su položaji 11 epicentara potresa 11. 9. 2016. prema URL 2, dok je trokutom označen položaj GNSS-postaje Skopje.

3. Određivanje pomicanja Zemljine kore iz mjerenja MAKPOS-ovih GNSS-referentnih postaja u okolici Skopja

Iz svakidašnjih GNSS-mjerenja na MAKPOS-ovim referentnim postajama izračunate su Bernese softverom koordinate njihovih položaja kao razlike od epohe 1. 1. 2011. Tako se mogu izračunati promjene položaja njihovih GNSS-antena, i to izražene u milimetrima. Kako antene GNSS-uređaja miruju u odnosu na okolni teren, te koordinatne razlike pokazuju je li došlo do pomicanja Zemljine kore, odnosno kakve su deformacije nastale na Zemljinoj kori. Tako se moglo izračunati koliko su se promijenile koordinate ΔE i ΔN položaja GNSS-postaja u Skopju i oko Skopja od 1. 1. 2011. do nekog određenog datuma. To je grafički prikazano na više priloženih slika.

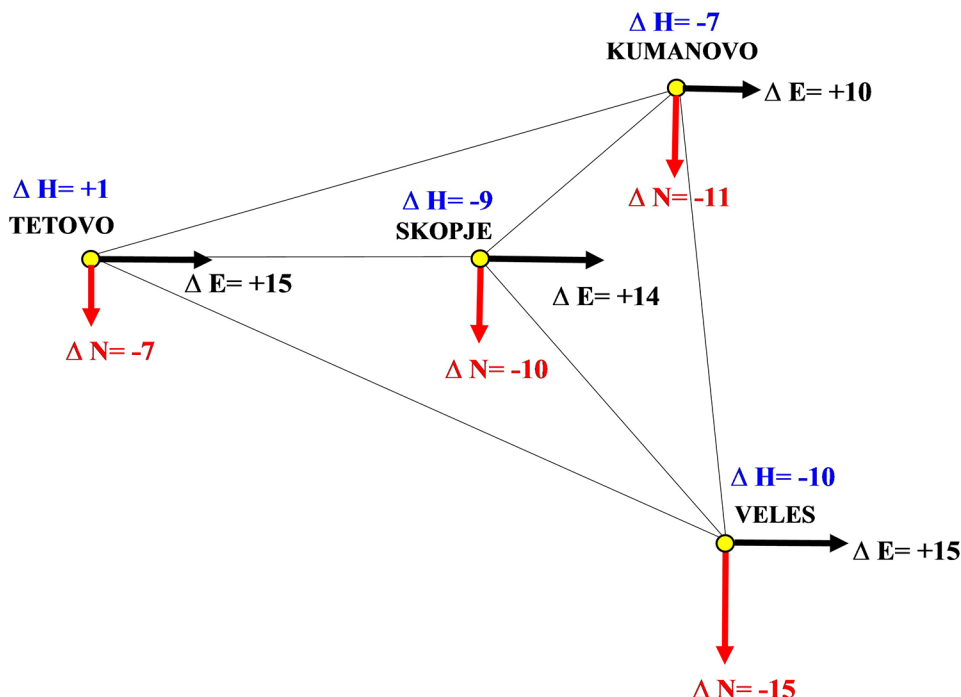
Na slici 3 vidi se da je u Skopju i njegovoj okolici u razdoblju od 1. 1. 2011. do 10. 9. 2016., tj. do dana prije potresa 2016. godine, došlo do sljedećih promjena:

- promjene koordinata ΔE u granicama od +10 mm do +15 mm, pritom su sve te promjene usmjerene prema istoku, a u Skopju je pomak iznosio +14 mm,
- promjene koordinata ΔN u granicama od –15 mm do –7 mm i pritom su te promjene u svim točkama usmjerene na jug. U Skopju je ta promjena iznosila 10 mm prema jugu.

Te koordinatne razlike i njihove tendencije pokazuju *da se dio euroazijske kontinentalne ploče, točnije u Skopju i okolici, kreće prema jugoistoku.*

Visinske razlike ΔH antena GNSS-postaja u Skopju i njegovoj okolici pritom su promijenjene u granicama od –10 mm do +1 mm, tj. najviše su se spuštale postaje u Velesu –10 mm i Skopju –9 mm, a neznatno se podigla, i to za +1 mm, samo postaja u Tetovu.

Na slici 4 grafički su prikazane promjene koordinata položaja MAKPOS-ovih GNSS-referentnih postaja u Skopju i okolici Skopja od 10. 9. do 12. 9. 2016., tj. od dana prije potresa do dana nakon potresa. Iz toga grafikona vidi se sljedeće:



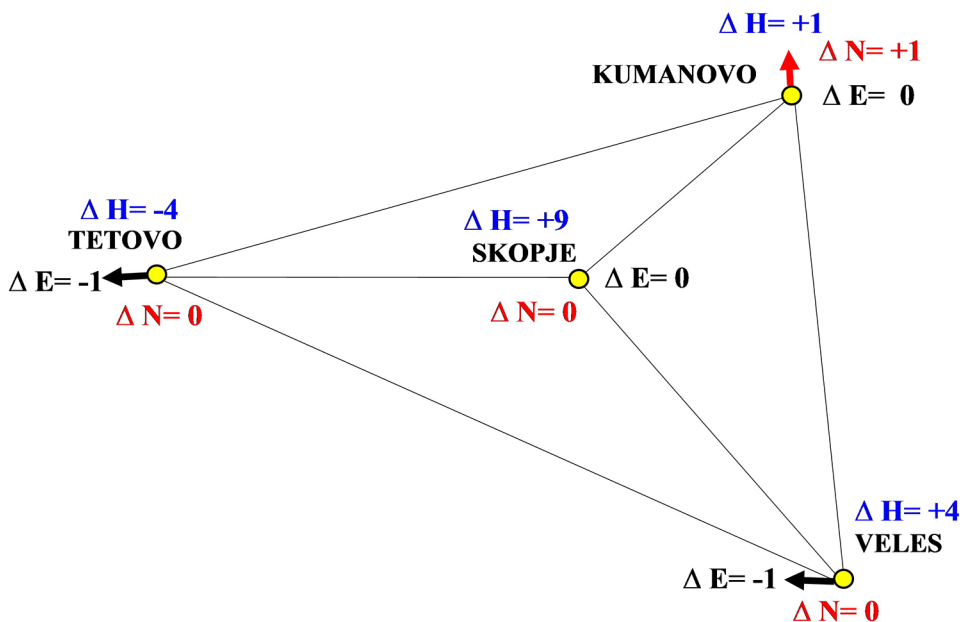
Slika 3. Grafički prikaz promjena koordinata ΔE i ΔN položaja MAKPOS-ovih GNSS-referentnih postaja u Skopju i oko Skopja od 1. 1. 2011. do 10. 9. 2016., tj. do dana prije potresa. (Ovdje je ΔE – promjena koordinate usmjerene prema istoku, ΔN – promjena koordinate usmjerene prema sjeveru i ΔH – promjena elipsoidne visine. Promjene koordinata i elipsoidnih visina izražene su u milimetrima.)

- da su bile minimalne promjene koordinata ΔE prema istoku i da su se one mijenjale u granicama od -1 mm do 0 mm, pritom u točkama Skopje i Kumanovo uopće nije bilo pomaka u smjeru istoka, a u točkama Tetovo i Veles pomaci su bili minimalni i iznosili su samo -1 mm,
- da su se promjene po koordinati ΔN , tj. prema sjeveru, mijenjale u granicama od 0 mm do samo $+1$ mm. U samom Skopju nije bilo pomaka ni prema istoku ni u smjeru sjevera.

Može se kazati da praktički nije bilo promjena koordinata ΔN i ΔE od neposredno prije potresa do sljedećeg dana nakon potresa. To znači da praktički nije došlo do horizontalnog pomaka položaja GNSS-postaja u Skopju i njegovoj okolici.

Međutim, u tom kratkom vremenskom razdoblju došlo je do promjena visina postaja u granicama od -4 mm do čak $+9$ mm. Pritom se upravo GNSS-postaja u Skopju nakon potresa podigla s -9 mm na čak $+9$ mm prema datumu 1. 1. 2011., tj. kao da je ukupno došlo do povišenja za 18 mm. Međutim, ponovno treba naglasiti da su GNSS-mjerenjima visine triput slabije određene od horizontalnih koordinata i da je standardna devijacija određivanih visina u razdoblju od 20. 8. do 20. 9. 2016. bila $4,7$ mm. Tako se ipak može ustvrditi da je došlo do vrlo malog podizanja tla za vrijeme potresa u Skopju.

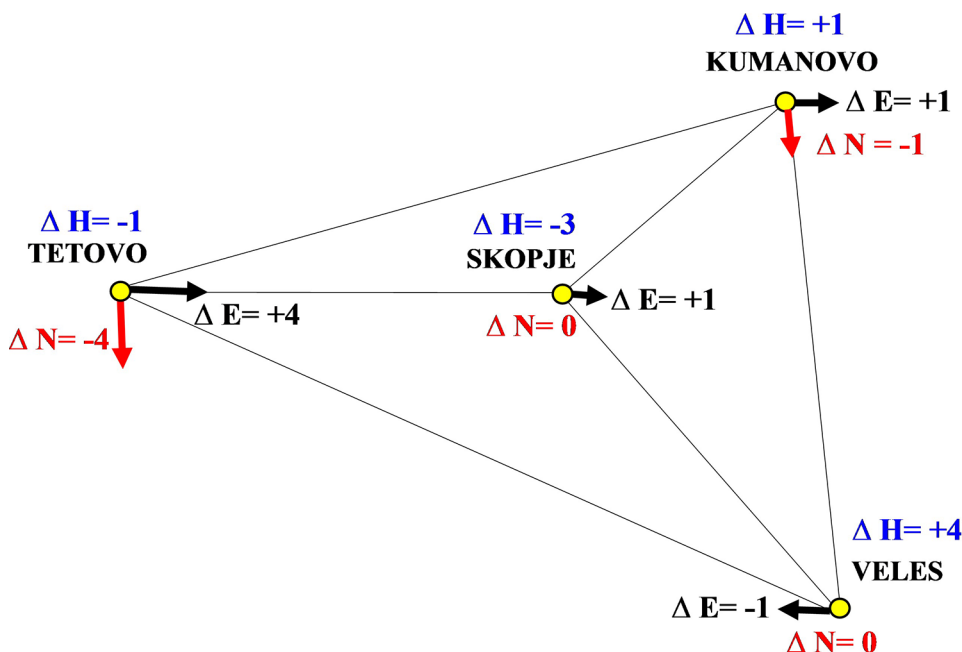
Moglo bi se zaključiti da sigurno nije praktički bilo promjene koordinata ΔN i ΔE nakon potresa, eventualno je došlo do manjeg podizanja visine GNSS-referentne postaje u Skopju, i to za potresa i dan nakon potresa, tj. neposredno nakon potresa.



Slika 4. Grafički prikaz promjena koordinata položaja ΔN i ΔE MAKPOS-ovih GNSS-referentnih postaja u Skopju i oko njega od 10. 9. do 12. 9. 2016., tj. od dana prije potresa do dana nakon potresa. (Promjene koordinata i visina izražene su u milimetrima.)

Kako bi se vidjelo kakve su promjene položaja i visina imale GNSS-referentne postaje u Skopju i oko njega od 12. 9. 2016., tj. od dana nakon potresa, do 20. 9. 2016., tj. do devetog dana nakon potresa, na slici 5 nacrtan je grafikon tih promjena. Iz njega se vidi da u tom relativno kratkom vremenskom razdoblju nije došlo do kretanja Zemljine kore prema sjeveru i jugu u dvije točke, dok je u točki Tetovo došlo do pomicanja prema jugu za -4 mm i u Kumanovu za -1 mm. Međutim, koordinatne razlike prema istoku ΔE kretale su se granicama vrlo malo od -1 mm do $+4$ mm.

Elipsoidne visine su se u tom vremenskom razdoblju promijenile u granicama od -3 mm do $+4$ mm. Pritom treba naglasiti da je najveća promjena visine ΔH nakon potresa 12. 9. 2016. do 20. 9. 2016. bila u Skopju i da je iznosila -3 mm prema datumu 1. 1. 2011. Međutim, ponovno treba naglasiti da su GNSS-mjerenjima visine triput slabije određene od horizontalnih koordinata. Tako bi se moglo zaključiti da praktički nije došlo do promjene koordinata ΔN i ΔE nakon potresa u Skopju, a za elipsoidne visine treba naglasiti da je promjena bilo u manjem opsegu, i to posebice u Skopju.



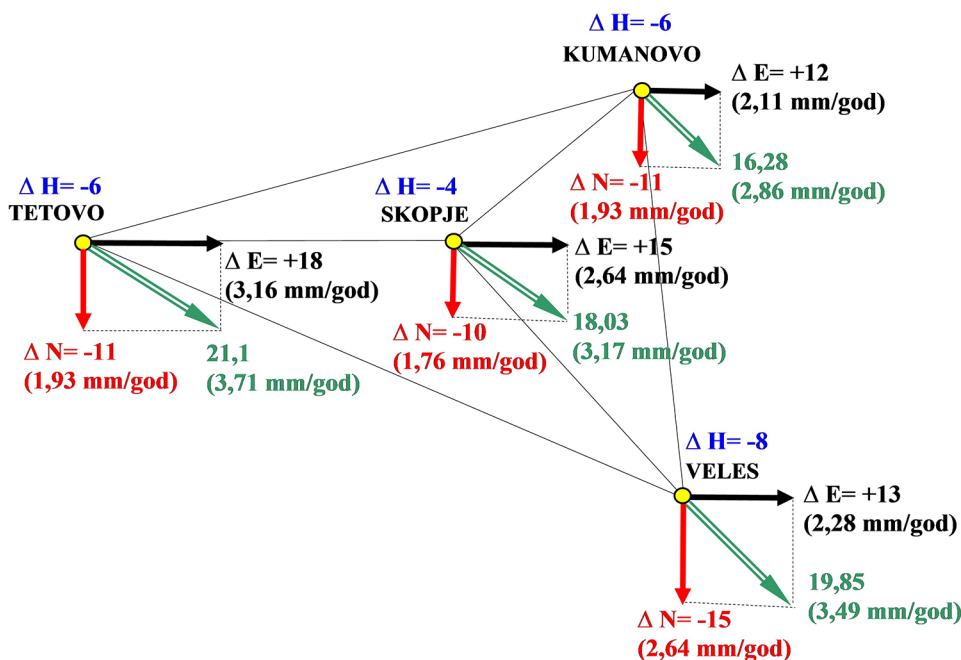
Slika 5. Grafički prikaz promjene koordinata položaja ΔE i ΔN MAKPOS-ovih GNSS-referentnih postaja u Skopju i oko njega od 12. 9., tj. dana nakon potresa, do 20. 9. 2016., tj. do devetog dana nakon potresa. (Promjene koordinata i elipsoidnih visina izražene su u milimetrima.)

Na slici 6 vidi se da je u razdoblju od 1. 1. 2011. do 20. 9. 2016., tj. do uključujući 9. dana nakon potresa u Skopju 2016. došlo do ovih promjena:

- promjene koordinata ΔE su u granicama od +12 mm do +18 mm, a pritom su sve usmjerene prema istoku,
- promjene koordinata ΔN su u granicama od –15 mm do –10 mm, a pritom su u svim točkama usmjerene na jug.

Te razlike koordinata i njihove tendencije pokazuju da se dio euroazijske kontinentalne ploče u kojoj je i Skopje, nastavio kretati uglavnom prema jugoistoku. U tih 5,69 godina prosječni godišnji pomak iznosi po koordinati N = –2,06 mm/god. i po koordinati E = +2,55 mm/god.

Visinske razlike ΔH antena GNSS-postaja pritom su promijenjene u granicama od –8 mm do –4 mm, tj. sve su se antene spuštale. Čak i postaja Skopje sada ponovno ima spuštanje –4 mm prema polaznom datumu 1. 1. 2011., iako je od 10. 9. do 12. 9. 2016. bila uzdignuta za +9 mm prema 1. 1. 2011.

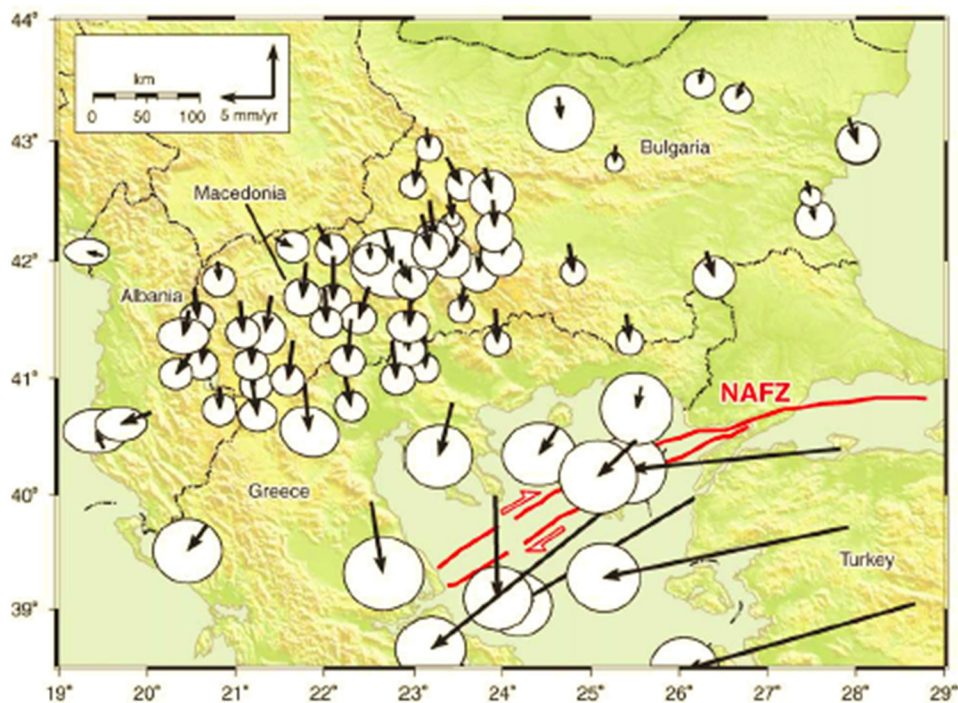


Slika 6. Grafički prikaz promjena koordinata položaja ΔE i ΔN i elipsoidnih visina MA-KPOS-ovih GNSS-referentnih postaja u Skopju i oko Skopja od 1. 1. 2011. do 20. 9. 2016., tj. do 9. dana nakon potresa. Prikazani su njihovi i ukupni rezultirajući horizontalni pomaci. (Promjene koordinata, ukupnih pomaka i visina izražene su u milimetrima, a u zagradi je prosječni godišnji pomak izražen u milimetrima u tih 5,69 godina prema jugoistoku.)

To bi se moglo interpretirati tako da je GNSS-postaja Skopje prije potresa bila niža za –9 mm, a da se dan nakon potresa povisila za 18 mm, te da je tako došla na visinu +9 mm prema polaznom datumu 1. 1. 2011. Međutim, u vremenskom razdoblju od devet dana nakon potresa GNSS-postaja Skopje počela se ponovno spuštati i tako došla na –4 mm prema datumu 1. 1. 2011.

4. Zaključak

Prema podacima opažanja MAKPOS-ovih referentnih GNSS-postaja Zemljina kora u Skopju i njegovoj okolini kreće se postupno prema jugoistoku kao dio nepotpuno kompaktne euroazijske ploče. Osim toga analiza pomaka Zemljine kore pokazala je da nakon potresa u Skopju 11. 9. 2016. nije došlo do njezinih horizontalnih pomaka. Naime, ti pomaci bili su eventualno samo milimetar, i treba reći da su slijedili dotadašnju tendenciju gibanja dijela euroazijske ploče na kojoj se nalazi Skopje s okolicom (slika 7).



Slika 7. Brzine GNSS-referentnih točaka Zemljine kore u odnosu na euroazijski referentni okvir kako su definirali McClusky i dr. (2000).

Međutim, za visine se to ne može sto posto tvrditi. Naime, pomoću GNSS-mjerenja visine su tri puta slabije određene, pa su one nesigurne. Ipak se može tvrditi da je za potresa bilo nekih malih uzdizanja Zemljine kore u Skopju, a zatim i spuštanja približno na istu visinu kao i prije potresa. To pokazuje da je u geološkim struktura u okolini Skopja došlo do naprežanja Zemljine kore u vertikalnom smislu.

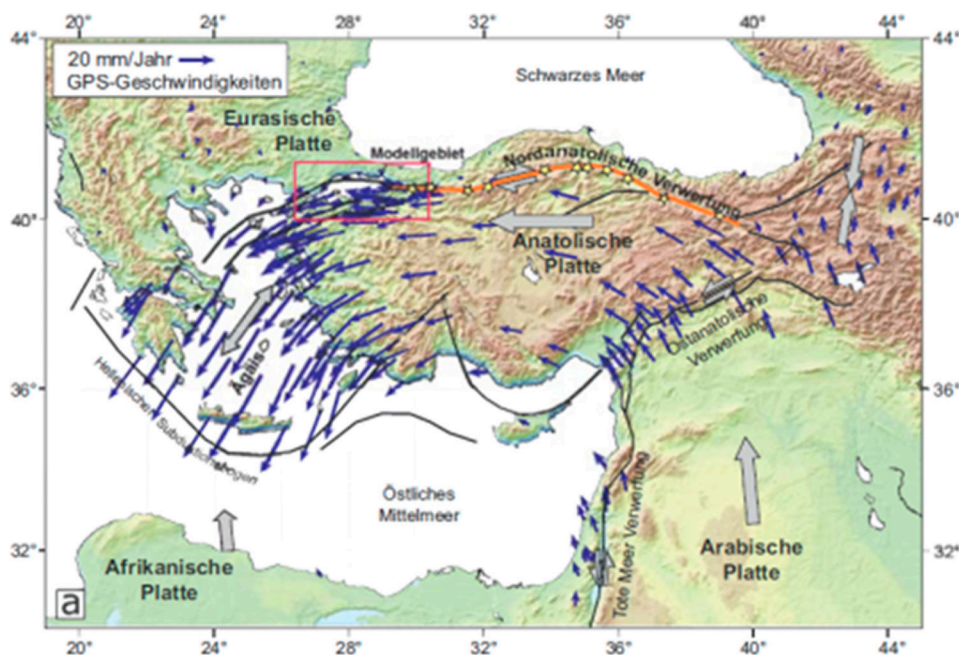
Detaljniji opis deformacija Zemljine kore u Skopju i njegovoj okolini iz dana u dan u vremenskom razdoblju od 30 dana obrađen je u članku Solarić, N. i dr. (2018), koji je pripremljen za tisak.

Ovdje treba naglasiti da ima i nekih drugih rješenja prema kojima se euroazijska Zemljina kora u Makedoniji kreće prema sjeveroistoku, što se može vidjeti u

URL 3. UNAVCO⁵ Plate Motion Calculator daje rješenja za gibanje čitave euroazijske ploče, a rezultati za Skopje vide se u tablici 3. Međutim, s obzirom na njezin položaj na rubu Europe i Azije te analizirajući slike 7 i 8 može se fizički objasniti da se Makedonija, a i dio Grčke, mora pomicati prema jugu, a ne prema sjeveru. Osim toga rezultati MAKPOS-ove GNSS-mreže dobiveni su u dužem vremenskom razdoblju, a i računanja su izvedena sa znanstvenim softverom Bernese. Zato su rezultati izloženi u ovom radu o pomicanju Zemljine kore u Skopju i njegovoj okolici kvalitetni i trebalo bi ih ugraditi u UNAVCO Plate Motion Calculator.

Tablica 3. *Rezultati dobiveni s pomoću UNAVCO Plate Motion Calculatora za Skopje.*

Model	Geografska širina	Geografska dužina	Brzina mm/god.	Azimet od sjevera	ΔN mm/god.	ΔE mm/god.	Referentna ploča	Ime postaje
ITRF2008	41°59'58,86"N 41,999683°N	21°24'26,75"E 21,407431°E	27,03	57,77°	+14,42	+22,86	EU(NNR)	Skopje



Slika 8. *Komputerizirana simulacija pomicanja Zemljine kore južnije od Istanbula, koja je preuzeta iz Heidbach i dr. (2011). (Ovdje su neki pomaci dvostruko veći i od 20 mm/god., a u okolici Skopja su samo oko 1 mm/god. prema sjeveru, dok su u našem rješenju oko 3 mm/god. i to prema jugoistoku.)*

⁵ UNAVCO je neprofitni sveučilišni konzorcij koji olakšava geoznanstveno istraživanje i obrazovanje pomoću geodezije u SAD-u, kao i u nekim neameričkim obrazovnim ili istraživačkim institucijama.

ZAHVALA. Zahvaljujemo kolegama Željku i Kristijanu Guliji iz Geowilda, predstavnicima Leice iz Zagreba, što su nas povezali s kolegama iz Agencije za katastar na nedvižnosti Makedonije pa smo tako dobili koordinate za 4 MAKPOS-ove postaje iz okolice Skopja. Također zahvaljujemo i kolegi A. Postolovskome što je skupio izračunate koordinate MAKPOS-ovih referentnih postaja i poslao ih u Agenciju za katastar na nedvižnosti Makedonije.

Puno zahvaljujemo na suradnji i državnom savjetniku za geodetske radove iz Agencije za katastar nedvižnosti Makedonije Sashi Dimeskom, dipl. ing., koji nam je dao izračunate koordinate za 4 GNSS-referentne postaje u okolici Skopja, te je sudjelovao u izradi ovog članka.

Također zahvaljujemo i prof. dr. Zlatku Srbinoskom, koji je pomogao u realizaciji ovog članka.

Recenzenti su nam dali korisne primjedbe i savjete na čemu smo im zahvalni, jer su tako i oni pridonijeli boljoj kvaliteti ovog rada.

Literatura

- Burchfiel, C., Robert, B., King, W., Todosov, A., Kotzev, V., Durmurdzanov, N., Serafimovski, T., Nurce, B. (2006): GPS results for Macedonia and its importance for the tectonics of the Southern Balkan extensional regime, *Tectonophysics*, 413, 239–248.
- Dimeski, S., Burovski, D., Tasevski, S. (2012): National Report Republic of Macedonia, EUREF 2012 Symposium, 6–18.
- Heidbach, O., Hergert, T., Grünthal, G. (2011): Computersimulation der Plattenbewegungen südlich von Istanbul, *System Erde*, 1, 1, 12–17.
- 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.
- Solarić, N., Solarić, M. (2012): Prijedlog da se u Zagrebu i okolici uz CROPOS-ove stanice postavi i nekoliko GPS (GNSS)-permanentnih stanica za geodinamiku i moguću najavu većeg potresa u sljedećem vremenskom razdoblju, *Geodetski list*, 66(89), 3, 149–164.
- Solarić, N., Solarić, M., Pejaković, M. (2017): Dva dana prije potresa u Drežnici 2013. godine došlo je do kompresije terena, *Geodetski list*, 71(94), 3, 203–214.
- Solarić, N., Solarić, M., Bogdanovski, Z., Dimeski, S. (2018): Three days before the earthquake in the Skopje in 2016 decrease lengths between MAKPOS stations (u pripremi).
- Trpeski, S., Dimeski, S., Lekoski, Z. (2013): MAKPOS – Network of Permanent GNSS Stations in the Republic of Macedonia, *Zbornik radova*, 3. CROPOS konferencija, 24–25. listopada 2013., Opatija, 77–81.

Mrežne adrese

- URL 1: U zemljotresu u Makedoniji oko 50 povrijeđenih, građani u panici, <https://www.klix.ba/vijesti/regija/u-potresu-u-makedoniji-oko-50-povrijedjenih-gradjani-u-panici/160911075>, (20. 12. 2016.).
- URL 2: 11 earthquakes hit Skopje within 32 hours, over 100 people injured – Macedonia, <https://watchers.news/2016/09/12/11-earthquakes-hit-skopje-within-32-hours-over-100-people-injured-macedonia/>, (4. 5. 2017.).
- URL 3: UNAVCO, Plate Motion Calculator, <https://www.unavco.org/software/geodetic-utilities/plate-motion-calculator/plate-motion-calculator.html>, (27. 10. 2017.).

Determination of Shifts of the Earth Crust in the Surroundings of Skopje by aid of MAKPOS's Reference GNSS Stations

ABSTRACT. In Macedonia 14 GNSS reference stations have been set up, which are included in the MAKPOS position system. On these, GNSS receivers of the Leica Geosystem type receive radio signals from the GNSS satellites from 0 to 24 hours and send them directly to the computer centre where they are processed. However, after the processing of received signals at the reference GNSS stations using Bernese scientific software, the precision of the specified reference position coordinates per nearly 1.5 mm can be obtained. This high precision is possible to be used to determine the Earth's crust movement. Therefore, in the work were analysing the amounts of Earth's displacement of 4 MAKPOS GNSS reference stations: Skopje, Tetovo, Kumanovo and Veles:

- in horizontal sense with *N* coordinates (north oriented) and coordinates *E* (oriented towards the east) as well as
 - in vertically sense by changing their ellipsoidal heights.
 - Coordinate differences and the differences in ellipsoidal heights for the 4 MAKPOS reference stations were calculated since 1. 1. 2011 (when MAKPOS's position system was started) by 10. 9. 2016, that is until was the earthquake in Skopje 11. 9. 2016.
 - In order to determine if there were some significant movements of the Earth's crust after the earthquake in the vicinity of Skopje, the coordinate differences and differences between the ellipsoid heights of the MAKPOS stations were calculated in the time period of 10. 9. 2016 until 12. 9. 2016. It was found that after the earthquake there was not real shift of the Earth's crust in the horizontal direction, but there was a slight change in height and probably the station in Skopje was slightly raised.
 - Differences between coordinates and ellipsoid heights since 1. 1. 2011 were also investigated until 20. 9. 2016 that is up to 9 days after the earthquake in Skopje. Based on the performed comparison and analysis, it can be said that the coordinates of the differences were still in the range as they were until 10. 9. 2016. However, ellipsoid heights again began to descend to the height before the earthquake.
- Results from this paper should be embedded in the program UNAVCO Plate Motion Calculator.

Keywords: MAKPOS, GNSS station, Leica Geosystem, shifts of Earth crust.

Primljeno / Received: 2017-10-03

Prihvaćeno / Accepted: 2017-11-07