

UDC: 550.34 (497.16) ''2018''  
Pregledni naučni članak

## PLAVSKI ZEMLJOTRES OD 4.01.2018. GODINE

Jadranka Mihaljević, Nataša Kaluđerović,  
Milena Tomanović

Zavod za hidrometeorologiju i seizmologiju, R. Burića 2, Podgorica, Crna Gora,  
Email: [mihaljevic@seismo.co.me](mailto:mihaljevic@seismo.co.me) , [kaluderovic@seismo.co.me](mailto:kaluderovic@seismo.co.me) ,  
[tomanovic@seismo.co.me](mailto:tomanovic@seismo.co.me)

### REZIME

Prepoznata seizmogeno zona Polimlja na istoku Crne Gore, sa kompleksnim seizmotektonskim sklopom relativno rijetko uzrokuje snažne zemljotrese. Zemljotres jačine 5.0 jedinice Rihterove skale od 04.01.2018. dogodio se okolini Plava, dijelu Polimlja koje do sada nije pokazalo značajniju seizmičnost. Fokalni mehanizam ukazuje na ekstenzioni karakter naponskog polja potvrđujući ranije teorije da plikativni i disjunktivni oblici građe terena predstavljaju aktivne tektonske strukture. Izabrano rješenje ukazuje da je pravac aktiviranog rasjeda SI-JZ sa padnom ravni od 50° nagnutom u pravcu JI.

KLJUČNE REČI: seizmičnost, geotektonski sklop, rješenje fokalnog mehanizma

## 4<sup>TH</sup> JANUARY 2018 PLAV EARTHQUAKE

### ABSTRACT

Recognized seismic source zone of Polimlje, caused by complex seismotectonic settings generates strong earthquakes of long return period. On 04.01.2018, magnitude 5.0 earthquake struck the vicinity of Plav, part of Lim river valley that shows few historical evidences of active seismicity. Focal plane solution shows that the dominant stress field has been extensional – coinciding with the assumptions that active tectonic features of the region are represented by disjunctive and plicative forms. The focal plane solution indicates that activated fault has the strike of NI-SW direction, while the rake of 50° has dipped in the direction of SI.

KEY WORDS: seismicity, geotectonic settings, focal plane solution

### UVOD

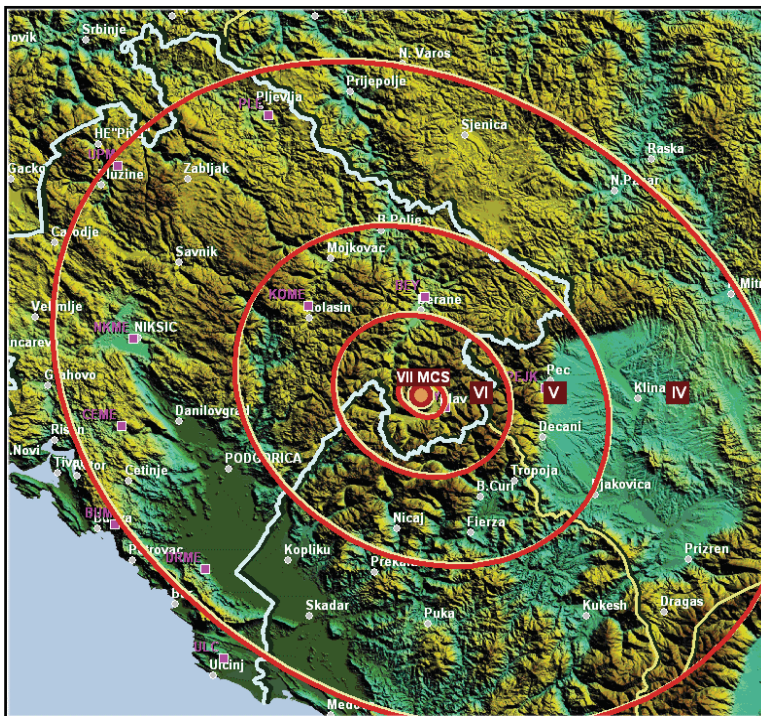
Dana 04. januara 2018. godine snažan zemljotres pogodio je istoèni dio Crne Gore. Ovo je prvi zemljotres u Crnoj Gori koji je, u posljednjih skoro 40 godina, prozrokovao znaèajnije materijalne štete. Ovaj rad u najkraèoj mjeri razmatra parametre ovog zemljotresa u odnosu

na dosad poznate podatke o istorijskoj i savremenoj seizmičnosti, kao i geotektonskom sklopu pogođenog područja.

### NUMERIČKI PARAMETRI GLAVNOG UDARA ZEMLJOTRESA

Dana 04. januara 2018. godine, u 11 sati i 46 minuta seizmološka mreža Zavoda za hidrometeorologiju i seizmologiju (ZHMS) registrovala je snažan zemljotres koji je lociran na 7 km sjeverozapadno od Plava, Crna Gora. Prema finalnom parametarskom rješenju jačina zemljotresa iznosila je 5.0 jedinice Rihterove skale, a dubina hipocentra 9 km.

Primjenom numeričkog empirijskog modela implementiranog u softveru „Analiza“ (Glavatović, 2017) izračunat je očekivani intenzitet zemljotresa. Karta izoseista (Slika 1) prikazuje dobijenu prostornu distribucija uticaja zemljotresa na teritoriji Crne Gore i u neposrednom pogođenom okruženju. Kako se sa karte vidi – zemljotres se osjetio na cijelom području Crne Gore i to sa različitim pojavnim efektima. Proračunati epicentralni intenzitet bio je VII jedinica Merkalijeve skale, dok su za područje opština Gusinje, Plav, Andrijevica i djelimično Berane procijenjeni efekti zemljotresa okarakterisani VI stepenom Merkalijeve skale. Prema modelu, zemljotres se na širem području sjeveroistoka Crne Gore osjetio sa V stepenom intenziteta.

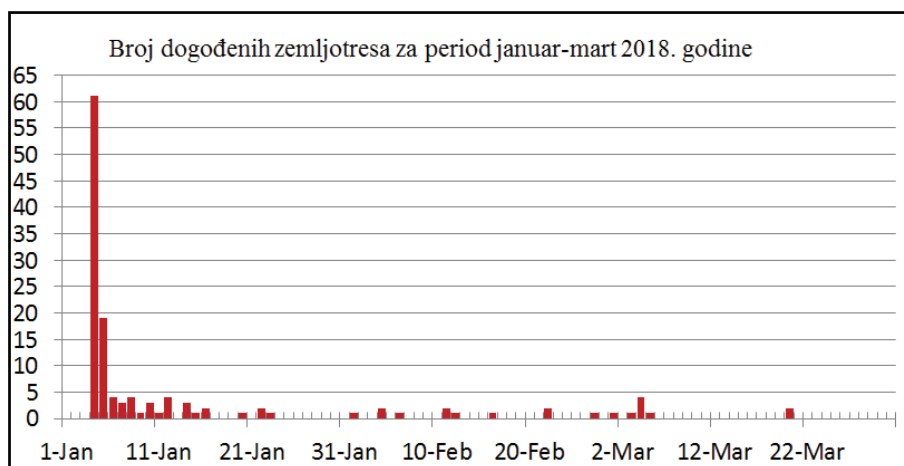


Slika 1. Karta empirijskih izoseista glavnog udara - 4. Januar 2018, 11:46<sup>h</sup>  
Figure 1. Map of empirical main shock isoseismals - 4th January, 2018, 11:46<sup>h</sup>

## NAKNADNI UDARI ZEMLJOTRESA

Vrlo često jači zemljotresi praćeni se pojavom roja ili niza udara zemljotresa (klasteri), koji su u prostoru i vremenu grupisani oko najjačeg zemljotresa. I prethodni i naknadni udari ponekad mogu izostati. Generalno, naknadni udari zemljotresa predstavljaju manje prilagođavanje unutar Zemljine kore i to duž dijela rasjeda koji je aktiviran tokom zemljotresa. Tipično, učestalost naknadnih udara tokom vremena naglo opada (Omori, 1965). Za cio opseg magnituda, model Batha (1965) dobro koreliše magnitudu glavnog udara prema magnitudi najjačeg naknadnog udara ( $M_w$ ) i to kao skoro konstantnu veličinu koja iznosi od 1,1-1,2.

U slučaju plavskog zemljotresa od 04. januara 2018. godine prethodni udari potpuno su izostali, dok je registrovana značajna serija naknadnih udara. Na Slici 2 dat je histogram seizmičkih događaja registrovanih u epicentralnom području tokom prvih tri mjeseca 2018. godine.

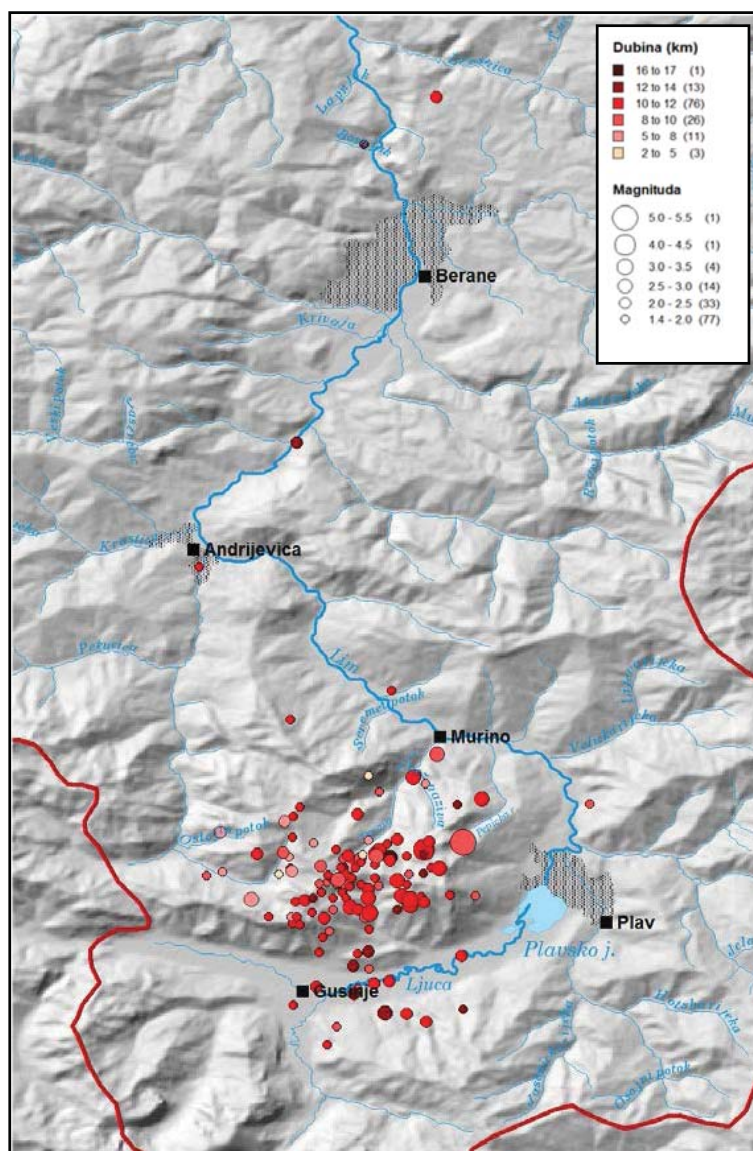


Slika 2. Histogram broja registrovanih zemljotresa za period januar-mart 2018. godine  
Figure 2. Histogram of registered earthquakes for the period January-March 2018.

Tokom ovog perioda registrovan je jedan udar  $M_L \geq 4.0$ , ukupno 4 udara  $M_L \geq 3.0$ , 47 zemljotresa sa  $M_L \geq 2.0$ , kao i 77 slabijih zemljotresa ( $M < 2.0$ ). Registrovana seizmička aktivnost najintenzivnija bila je tokom 4. i 5. januara sa daljim trendom opadanja. Aktivnost se odvijala u više glavnih sekvenci – neposredno nakon glavnog udara 4. januara, sledeća koja je otpočela 10. januara, zatim oko 20-og januara, itd. Dubine registrovanih zemljotresa variraju od 2 - 16 km, zavisno od segmenta rasjeda koji je aktiviran. Dominantana dubina hipocentara je 8-12 km. Tokom vremena lokacija afteršokova migrirala je u pravcu jug-jugoistok. Generalno, naknadni udari locirani zapadno u odnosu na glavni udar imaju uočljivu tendenciju smanjenja dubine žarišta. Tokom februara, najveći dio seizmičke aktivnosti odvijao se istočno i južno od rijeke Dosave, uz dva izolovana manja potresa u dijelu Polimlja – sjeverno od Berana. Najjači afteršok  $M_L = 4.1$

od 11. februara ima lokaciju vrlo blisku lokaciji glavnog udara. Kasnija sekvenca slabijih zemljotresa registrovana je tokom 21. i 22. februara južno od Gusinja.

Prostorna distribucija sekvence zemljotresa registrovanih tokom januara do marta 2018. godine data je na Slici 3; veličina simbola indicira magnitudu zemljotresa, dok boja simbola označava dubinu žarišta. U legendi je naznačen broj zemljotresa iz datog opsega magnituda registrovanih tokom pomenutog perioda.



Slika 3. Prostorna distribucija naknadnih udara registrovanih tokom perioda januar - mart 2018.

Figure 3. Spatial distribution of aftershocks recorded during January - March 2018.

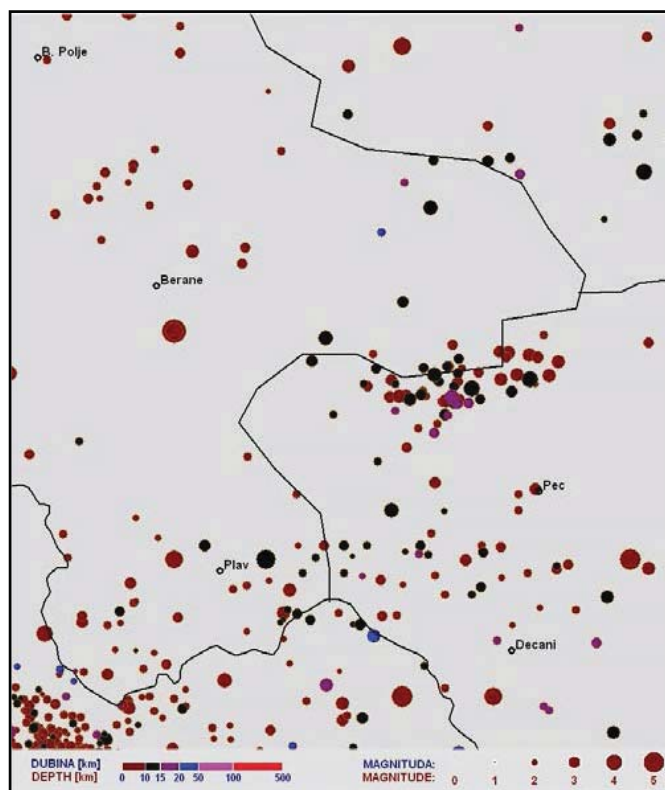
## SEIZMIËNOST PODRUËJA I SEIZMIËKA OPASNOST

Na osnovu raspoloživih istorijskih i instrumentalnih podataka (Slika 4) Seizmološkog zavoda Crne Gore (ZHMS od 2012. godine) u neposrednom okruženju ovog područja registrovani su zemljotresi magnitude do 5.2 jedinice Rihterove skale. U Tabeli 1. Izdvojeni su zemljotresi  $M \geq 4.0$ , na okolnoj teritoriji (19.7-20.0 E, 42.5-42.8 N).

Tabela 1: Pregled zemljotresa  $M \geq 4.0$  u okolini Plava (19.7-20.0 E, 42.5-42.8 N)

Table 1: Overview of the earthquakes  $M \geq 4.0$  occurred in the vicinity of Plav

Godina	Mjesec	Dan	Latituda	Longituda	Dubina	Magnituda
1926	10	12	42.8	19.9	4	5.2
1927	3	13	42.8	19.9	5	4.0
1938	4	1	42.8	19.9	5	4.0
1940	9	16	42.6	19.9	5	4.0
1959	6	17	42.6	20.0	15	4.2



Slika 4. Istorijska seizmičnost – insert iz kataloga zemljotresa 1444-2016. godine

Figure 4. Historical seismicity - insert from earthquake catalog 1444-2016.

Istorijski najjači od ovih zemljotresa dogodio se početkom XX vijeka i dobro je dokumentovan u svesci Trusna oblast Gornjeg Polimlja (J. Mihajloviæ, Geološki anali

Balkanskog poluostrva, 1927). Ostalo je zabilježeno da su „pokreti nastupili 12. oktobra 1926. godine jednim veoma snažnim, štetnim udarom. Uz tutnjavu, pa potom drhtanje i ljuljanje, došlo je do odvaljivanja ogromnih stijena sa obje strane Lima; na nekoliko mjesta su se otvorile i pukotine; skoro svi izvori su bili dosta mutni tokom cijelog dana, neki su bili presušili, pa su se tek sutradan javili ponovo“. Uz opis serije i lokacije naknadnih udara, ova publikacija ističe „zasebnu seizmičku individualnost beranskog bloka kao jezgra seizmičke oblasti Gornjeg Polimlja ... vrlo dugotrajne periode seizmičkog zatišja, da periode akcija počinju najsnažnijim pokretom odmah u početku, da su one po trajanju srazmjerno kratke, a po intenzitetu veoma snažne.“

Kako se iz Tabele 1 vidi, područje Limske kotline pokazuje dugi period mirovanja. Posljednji od jačih zemljotresa desili su se u bliže izvorišnom dijelu rijeke Lim i to: 1940-te godine zapadno od Plava - na obodima planine Visitor, i 1959-te godine skoro simetrično, istočno od Plava - kod Jare. Prethodne decenije instrumentalnog monitoringa u Crnoj Gori pokazale su veću učestalost zemljotresa manje magnitude u pograničnom pojasu Crne Gore prema Albaniji i ka Kosovu.

Prema dosadašnjim istraživanjima seizmičkog hazarda očekivana maksimalna magnituda na posmatranom području može dostići 5.8 jedinica Rihterove skale (Glavatović, 2005).

## SEIZMOTEKTONSKI SKLOP PODRUČJA

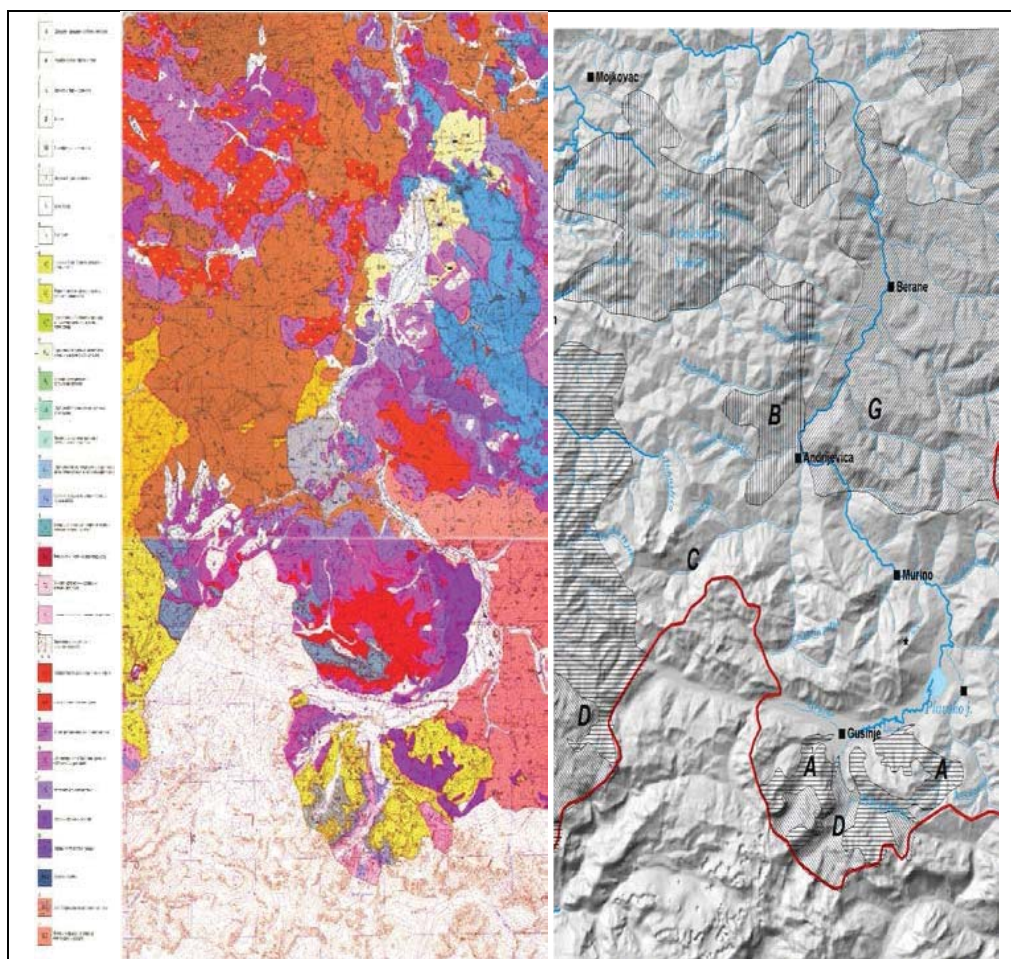
Izuzetak od generalne tendencije Unutrašnjih Dinarida u navlačenju i uzdizanju preko tektonske jedinice Spoljašnjih Dinarida na području Crne Gore, čine procesi relativnog spuštanja potolina kakve su Skadarska i Beranska. Najšire gledano, na području jugoistočne Crne Gore povijanje pružanja Dinarida u pravac pružanja Albanida, kao i mijenjanje naponskog polja koje se iz dominantnog stanja pritiska (Dinaridi) mijenja u ekstenziono naponsko polje (sjeverna i centralna Albanija), čini tektoniku ovog dijela Crne Gore kompleksnom i još uvijek nedovoljno istraženom.

Tumač Osnovne geološke karte SFRJ (listovi Ivograd i Gusinje) za ovo područje prenosi dva suprotna tumačenja tektonskih procesa: "Jedno da su kraljušti, plikativni i disjunktivni tektonski oblici glavno obilježje ovog terena ... i drugo – da su na ovom terenu prisutne navlake".

Geološki i tektonski, prostor Polimlja predstavlja komplikovan sklop srijetanja različitih tektonskih cjelina i podcjelina (Slika 5). Beranska kotlina obuhvata dvije tektonske podjedinice: trijaski tektonski prozor Bjelasice (B) na zapadu i Limsku (G) jedinicu na istoku. Za uslovnu granica ovih jedinica uzima se zapadna obala beranske kotline. Dio Gornjeg Polimlja – nizvodno od Andrijevice, Plav i područje sjeverno od Gusinja, sastavni su dio Durmitorske tektonske jedinice (C). Ona je na širem prostoru okružena Durmitorskim flišem (A) i to - istočno od strane Kolašina, i južno od Gusinja. U pograničnom dijelu ka Albaniji situirani su istureni djelovi Kučke kraljušti (D).

Od mapiranih rasjeda (Slika 6) jasno je izdvojen Limski rasjed (1). Od Berana do Andrijevice ovaj rasjed nejasno odvaja Limsku tektonsku jedinicu. Južno od Andrijevice -

dolinom Zlorečice i preko Kutske doline, ovaj rasjed ima meridijanski pravac. Već citirani rad J. Mihajlovića, pretpostavlja postojanje rasjeda koji „prolazi u okolini Kralja, pored Andrijevice ka Polimlju i Veliki - na zapadnom podnožju Čakora”. Na Osnovnoj geološkoj karti ovaj rasjed definisan je kao južna granica Limske tektonske podjedinice i to dislokacijom Čakor – Velika, G. Ražanica, Gračanica, Andžalat i Seoce (kod Andrijevice). Duž ove dislokacije (4), Limska jedinica (G) navučena je preko Durmitorske jedinice (C).

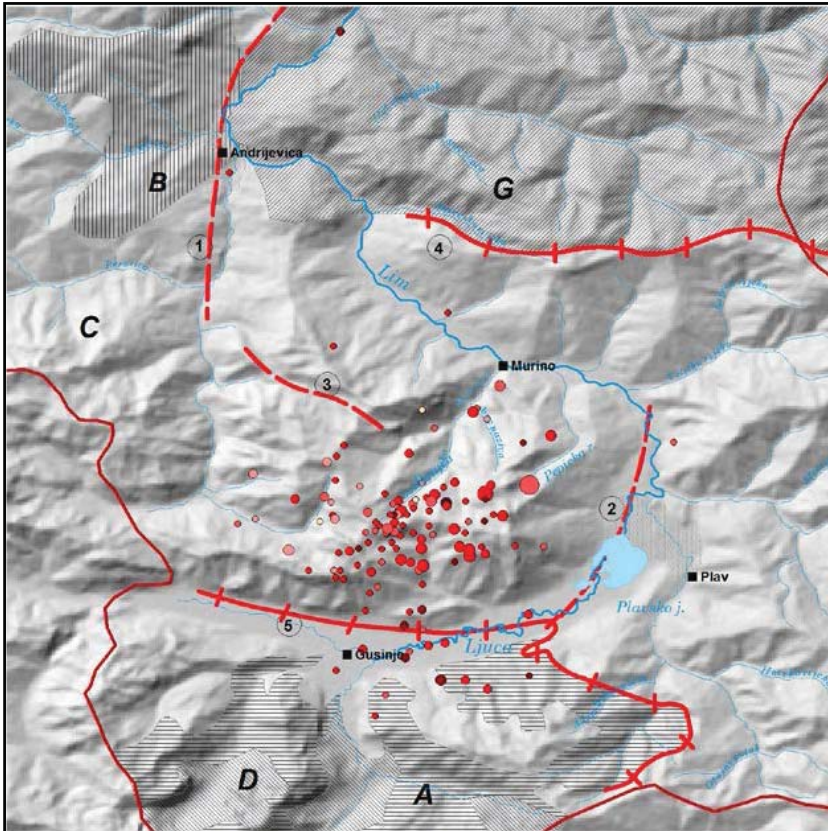


Slika 5. a) Osnovna geološka karta SFRJ - listovi Ivangrad i Gusinje, b) Tektonske podjedinice: Durmitorski fliš (A), trijaski tektonski prozor Bjelasice (B), Durmitorska tektonska jedinica (C), Kučka kraljušt (D), Starocrnogorska jedinica i Limska jedinica (G).

Figure 5. a) Geological Map of SFRJ 1:100 000 – Ivangrad and Gusinje leaves, b) Tectonic subunits: Durmitor flysch (A), Trijask tectonic window of Bjelasica (B), Durmitor tectonic unit (C), Kuči nappe (D), Stara Crna Gora unit and Lim unit (G).

Svi rasjedi na terenu obuhvaćeni listom Gusinje Osnovne geološke karte se teško uočavaju. Na ovom području Limski rasjed mapiran je od Veličke rijeke preko Plavskog jezera, duž

koga je masa Visitora spuštena za nekoliko stotina metara (2). Od drugih rasjeda pominje se rasjed koji ide preko Puške (3) duž koga su relativno spuštene trijaski krečnjaci istočnog bloka. Na južnim padinama Visitora – ka Gusinju, jasno se prati morfološki dobro označena Durmitorska dislokacija (5).



Slika 6. Lokacije serije zemljotresa (januar- mart 2018.) prema poziciji glavnih rasjeda i navlaka (mapiranih na listovima Ivograd i Gusinje Osnovne geološke karte Crne Gore).

Figure 6. The positions of cluster events (January-March 2018.) are compared to traces of known faults and napes (mapped on the Ivograd and Gusinje leafs of Geological Map of SFRJ 1:100 000 )

### MEHANIZAM ŽARIŠTA OVOG ZEMLJOTRESA

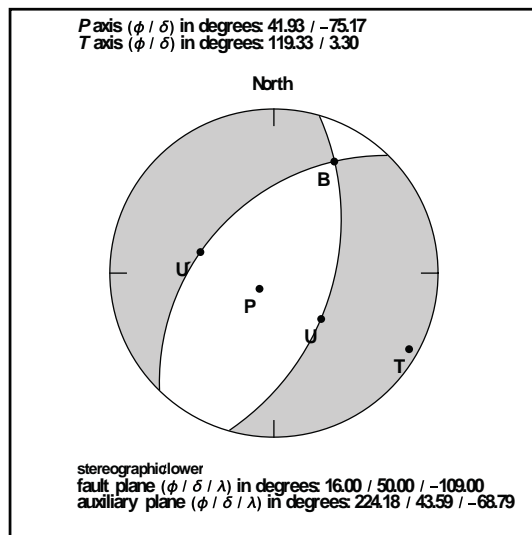
Mehanizam žarišta ovog zemljotresa ukazuje na dominantno ekstenziono polje napona, rezultujući normalnim tipom rasijedanja. Na Slici 4. je prikazano rješenje mehanizma žarišta ovog zemljotresa. Rješenje je dobijeno metodom zasnovanom na korišćenju polariteta prvih nailazaka P talasa.

Određivanje glavne rasjedne ravni duž koje se najvjerovatnije generisao glavni udar proizlišlo je iz proučavanja geomorfoloških karakteristika terena, kao i iz analize distribucije prvih afteršokova zemljotresa. Mehanizam žarišta ovog zemljotresa odgovara



normalnom tipu rasijedanja sa malim horizontalnim kretanjem - pretpostavljajući dominantan pravac pružanja rasjedne ravni sjeveroistok-jugozapad ( $16^\circ$ ), i sa relativno strmom ravni pada od  $50^\circ$  u pravcu jugoistoka.

Izvedena rješenja mehanizama naknadnih udara, koje treba smatrati uslovnim s obzirom na magnitudu i broj dostupnih seizmičkih signala, takođe prate trend normalnog tipa rasijedanja.



Slika 7: Mehanizam žarišta zemljotresa  
Figure 7: Focal mechanism solution

## ZAKLJUČAK

Zemljotres od 04.01.2018. godine pogodio je istorijski aktivno područje Gornjeg Polimlja. Mehanizam žarišta i distribucija naknadnih udara upućuju na ekstenziono naponsko stanje. Aktivirani rasjed najvjerovatnije je pravca SI-JZ sa relativno strmom padnom ravni i malim horizontalnim pomjeranjem.

## LITERATURA:

- Bath M.: Lateral inhomogeneities of the upper mantle. *Tectonophysics*, Vol. 2/6 (1965) 483-514.
- Glavatović B. : Osnovi geonauka. Seizmološki zavod Crne Gore, Podgorica. 2005.
- Glavatović B. : Analiza, kompjuterski program za analizu i obradu seizmičkih signala generisanih zemljotresom V 6.0., Podgorica 2017.
- Đokić V., Živaljević M., Perović Z.: Geološki tumač Osnovne geološke karte - Gusinje. Zavod za geološka istraživanja Crne Gore, Titograd. 1968.

- Mihajlović J.: Trusna oblast Gornjeg Polimlja, Geološki anali Balkanskog poluostva 9/1 (1927) 65-72, Beograd.
- Richter C.F.: Elementary seismology , W. H. Freeman & Co., San Francisco, 1958.
- Scherbaum F., Kuehn N., Zimmermann B.: Earthquake Focal Mechanism (2009).  
[http://demonstrations.wolfram.com/EarthquakeFocalMechanism/Wolfram Demonstrations](http://demonstrations.wolfram.com/EarthquakeFocalMechanism/WolframDemonstrations)
- Utsu, T.: A statistical study of the occurrence of aftershocks. Geophysical Magazine 30 (1961) 521–605.
- Utsu T., Ogata Y., Matsu'ura R.S.: The centenary of the Omori formula for a decay law of aftershock activity. Journal of Physics of the Earth 43(1995) 1–33.
- Živaljević M., Vujisić P., Miroković M., Đokić V., Čepić M.: Geološki tumač Osnovne geološke karte - Ivangrad. Zavod za geološka istraživanja Crne Gore, Titograd. 1979.