
Davorka HERAK i Marijan HERAK

SEIZMIČNOST I
POTRESNA OPASNOST
NA MAKARSKOM
PRIMORJU

Šire područje Makarske pripada tektonski vrlo kompleksnom području dodira Jadranske mikroploče i Vanjskih Dinarida. Najviše se potresa događa upravo u kontaktnoj zoni tih tektonskih jedinica. Da bismo izračunali potresnu opasnost (seizmički hazard) na Makarskom primorju, najprije valja detaljno razmotriti prostornu i vremensku razdiobu potresa šireg prostora. Za opis seizmičnosti Makarske i okolice promatrali smo područje između geografskih širina 42,2°N i 44,25°N te geografskih dužina 15,7°E i 18,2°E. Pri tome smo se služili podacima iz Kataloga potresa za Hrvatsku i susjedna područja (Herak i sur., 1996.), koji je revidiran i nadopunjen podacima do kraja 2011. godine (Arhiva Geofizičkog odsjeka PMF-a, Zagreb). Taj je katalog nastao na temelju rezultata istraživanja potresa brojnih znanstvenika tijekom posljednjih 130-ak godina.

SEIZMIČNOST ŠIREG PODRUČJA MAKARSKOG PRIMORJA

Za poznavanje seizmičnosti nekog područja potrebni su podaci o potresima kroz što dulje razdoblje. Međutim, znanje o povijesnim potresima jako je povezano s društvenim i kulturnim razvojem toga kraja. Mnogi vrijedni podaci o učincima velikih potresa zauvijek su izgubljeni jer nije bilo pojedinaca vičnih pisanju ili zainteresiranih za bilježenje takvih događaja. Prvi vrlo nepouzdana spomen potresa u razmatranom području potječe iz VIII. stoljeća, dok se donekle pouzdani izvještaji javljaju tek u XV. stoljeću. Od tada do danas u Katalogu nalazimo podatke o 25 vrlo jakih potresa, s procijenjenim makroseizmičkim intenzitetom VII i više stupnjeva Mercalli-Cancani-Siebergove (MCS) ljestvice (Tablica 1). Razmatrano područje – stotinjak kilometara oko Makarske – može se razdijeliti u više epicentralnih područja (slika 1). Osim makarskog epicentralnog područja, u koje spadaju i potresi u istoč-

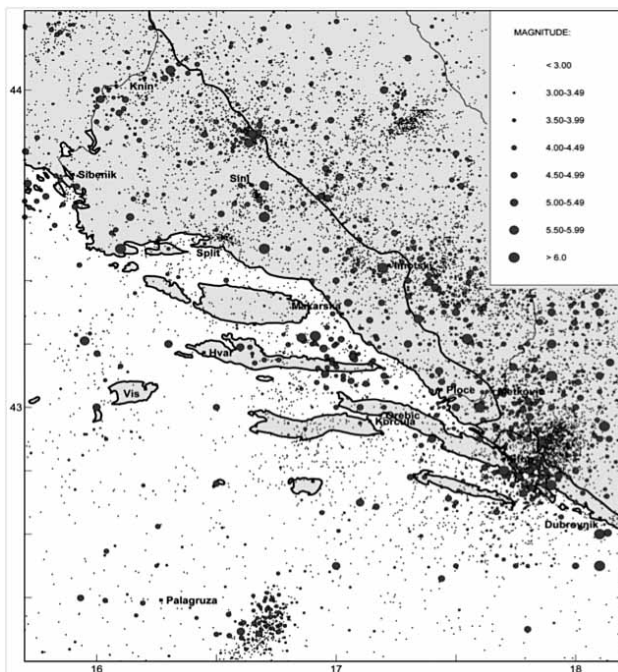
nom dijelu Hvarskog i Pelješkog kanala te istočnog dijela otoka Hvara, na jugoistoku su dubrovačko i neretvansko-pelješko, na jugu lastovsko-palagruško, na zapadu viško, na sjeverozapadu razlikujemo šibensko-biogradsko, splitsko, kninsko-prominsko te epicentralna područja planine Dinare i Sinjskoga polja. Na sjeveroistoku je epicentralno područje oko Imotskoga, a istočno, u Bosni i Hercegovini, oko Ljubuškoga te Mostara.

Jaki su potresi općenito rijetki događaji, pa je tome tako i u razmatranom području – u svakom se stoljeću dogodi tek jedan ili nekoliko njih. Tako Katalog potresa navodi podatke o potresu u XV. stoljeću u neretvansko-pelješkom kraju (1473., ušće Neretve). U dubrovačkom epicentralnom području dogodio se 1667. godine najjači potres, s intenzitetom X° MCS ljestvice. U XV. i XVI. stoljeću dogodio se niz jakih potresa s intenzitetom u epicentru VIII° i IX° MCS ljestvice (1481., 1504., 1516., 1520.) te je poznato još deset potresa s intenzitetom VII° MCS (od XV. do XX. stoljeća). Godine 1850. bio je jaki potres kod Stona (VIII° MCS), „gdje je mnogo zgrada porušeno i oštećeno“ (Kišpatić, 1891.).

M. Kišpatić u istom radu spominje potres iz 1769. godine, koji se dogodio između Sinja i Splita. U istom području jaki potres, intenziteta IX° MCS, bio je i 1898. Za njega postoje brojni podaci o poginulima (6), ranjenima (nekoliko desetaka) i štetama na kućama. Najveće štete za-

Slika 1.

Epicentri potresa u široj okolini Makarske prema Katalogu potresa Hrvatske (Herak i sur., 1996. i Arhiva Geofizičkog odsjeka PMF-a)

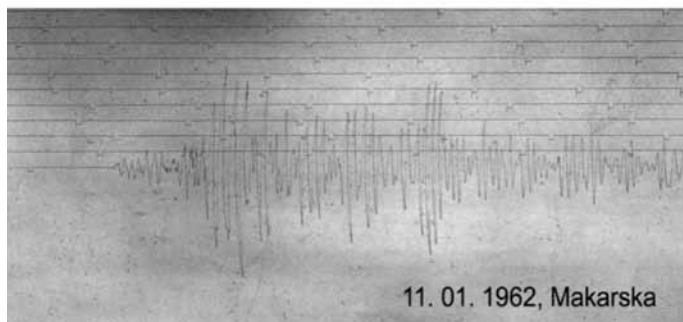
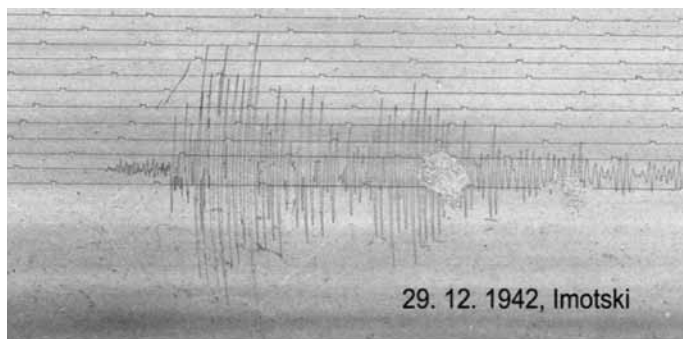


bilježene su u selima Trilj, Turjaci, Vojnić, Košute, Čaporice i Gardun, gdje je većina kuća postala nepodobna za stanovanje ili potpuno srušena. To je prvi potres iz Hrvatske koji je zapisan seizmografima, i to na čak 13 talijanskih, četiri njemačke, dvije britanske te po jednoj ukrajinskoj, ruskoj i slovenskoj postaji (Plešinger i Kozák, 2003.). Godine 1844. dogodio se potres ispod Mosora. Jako je stradalo naselje Poljica, „gdje je mnogo kuća srušeno“ (Kišpatić, 1891.), a s Mosora su padale kamene gromade.

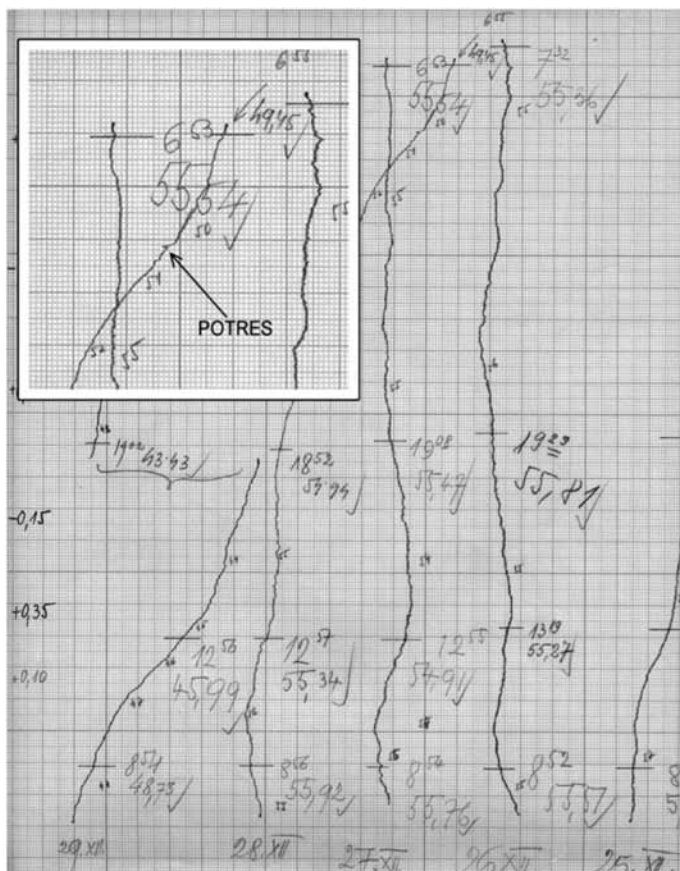
Potresi sa žarištima ispod Jadrana bili su slabo poznati prije instrumentalne ere, pa se čak smatralo da je Jadran praktički aseizmičan. U XX. stoljeću zabilježena su dva jaka potresa. Prvi se dogodio 1938. jugoistočno od Palagruže, a drugi 1956. u blizini otoka Visa.

Kninsko-prominsko epicentralno područje poznato je po jakim potresima iz 1970. i 1986., s intenzitetima od VIII° (Promina), odnosno VII–VIII° MCS (Knin). U Bosni i Hercegovini, u blizini Vitine i Ljubuškoga, dogodila su se 1923. dva vrlo jaka potresa, s magnitudama 5,7 odnosno 6,2. Oba su potresa prouzročila velike štete u epicentralnom području.

Vrlo blizu Makarskoj nalazi se imotsko epicentralno područje, jedno od najvažnijih u Hrvatskoj. Tamo se 29. prosinca 1942. dogodio potres intenziteta u epicentru IX° MCS ljestvice i magnitude 6,2. Za potresa koji se dogodio u rano jutro (u 4 sata i 42 minute, padala je kiša) po-



Slika 2.
Seizmogrami velikih potresa kod Imotskog i Makarske (vidi Tablicu 1), zapisani Wiechertovim mehaničkim seizmografima u Zagrebu



Slika 3.
 Zapis potresa od 29.
 prosinca 1942. kod
 Imotskog na mikro-
 barografu u Zagrebu
 (Arhiva Geofizičkog
 odsjeka PMF-a)

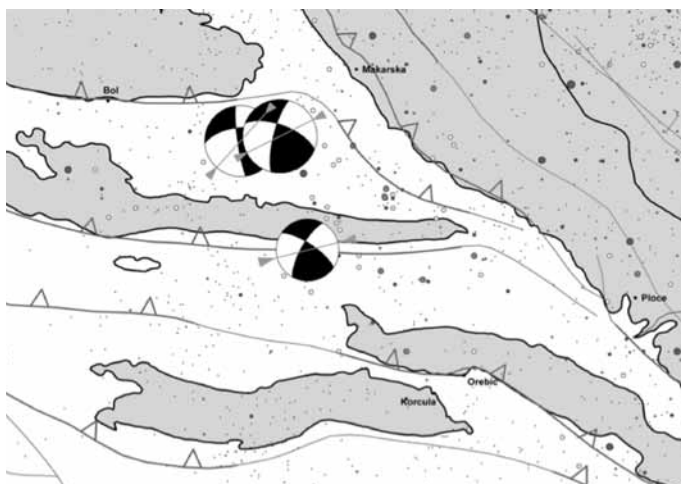
ginula je pod ruševinama 21 osoba, a deseci su ranjeni. Najviše su stradala mjesta Zmijavci, Proložac, Runovići, Kamenmost, Imotski i Donji Vinjani, a u BiH na području Ljubuškog, Gorice, Sovića i Gruda. Više stotina obitelji ostalo je bez krova nad glavom. Glavno vrelo rijeke Vrljike, Jauk, smanjilo je dotok vode u korito rijeke na nekoliko sati, a kamene gromade obrušavale su se s Biokova. Velik se dio zapadnog zida Crvenog jezera urušio. Potres su zabilježile brojne seizmološke postaje diljem svijeta, pa i naša u Zagrebu. Kao kuriozitet napomenimo da je – osim seizmografima (slika 2) – potres u Zagrebu zabilježen i na izvanredno osjetljivom mikrobarografu tipa Sprung-Fuess (slika 3). Potres se dogodio u 4 sata i 42 minute, a na mikrobarografu zapisan je oko 4 sata i 43 minute.

Datum	Epicentralno područje	Intenzitet u epicentru (° MCS)	Magnituda
20. 01. 1473.	Ploče-Metković	VIII	
14. 02. 1481.	Dubrovnik	VIII	
08. 11. 1504.	Dubrovnik	VIII	
06. 05. 1516.	Dubrovnik	VIII	
28. 07. 1516.	Dubrovnik	IX	
17. 05. 1520.	Dubrovnik	IX	
06. 04. 1667.	Dubrovnik	X	
28. 11. 1769.	Sinjsko polje	VIII	
22. 03. 1844.	Mosor	VIII	
13. 04. 1850.	Ston	VIII	
02. 07. 1898.	Sinjsko polje	IX	
15. 05. 1899.	Sinjsko polje	VIII	
18. 05. 1907.	Sinjsko polje	VIII	5,7
06. 02. 1923.	sjeverno od Vrgorca	VII	5,7
15. 03. 1923.	Ljubuški (Bosna i Hercegovina)	VIII-IX	6,2
27. 05. 1938.	Jadransko more, JI od Palagruže		5,5
29. 12. 1942.	Imotski	IX	6,2
15. 08. 1956.	otok Vis	VII-VIII	5,8
07. 01. 1962.	Jadransko more, Hvarski kanal	VIII	5,9
11. 01. 1962.	Jadransko more, Hvarski kanal	VIII-IX	6,1
07. 09. 1970.	Promina	VIII	5,5
25. 11. 1986.	Knin	VII-VIII	5,5
27. 11. 1990.	Planina Dinara	VII	5,6
27. 11. 1990.	Planina Dinara	-	5,5
05. 09. 1996.	Ston-Slano	VIII	6,0

Tablica 1.
Najjači potresi (intenziteta većeg ili jednakog VII° MCS) u široj okolini Makarske od XV. stoljeća do danas

Slika 4.

Mehanizmi u žarištu triju potresa iz 1962. (7. siječnja, 11. siječnja i 21. siječnja). Sva tri rješenja ukazuju da se rasjedanje dogodilo poradi tlaka tektonskih sila koje su usmjerene JZ–SI do ZJZ–ISI (sive strelice), i to na rasjedu s dominantno horizontalnim međusobnim pomakom rasjednih krila



Najvažniji potresi za područje Makarske dogodili su se 1962. godine. Riječ je o dva vrlo jaka potresa od 7. i 11. siječnja 1962. Prvi je imao magnitudu 5,9, a drugi 6,1 (Tablica 1). Potresi su se dogodili ispod mora, između otoka Brača i Hvara. Nakon oba potresa uslijedilo je mnoštvo naknadnih potresa, od kojih su najjači imali magnitudu preko 5,0 (11. siječnja u 11 sati i 2 minute, $M = 5,1$ i 21. siječnja, u 3 sata i 51 minutu, $M = 5,2$). Potresima su prethodile podzemne tutnjave, a potres je pokrenuo kamene lavine s Biokova, koje su se obrušavale na putove i naselja (Kozica, Makarska, Gareljici, Sumići). Na dijelu između Drašnice i Podgore te kod Živogošća bezbrojno se kamenje survalo u more. U Trsteniku je opažen novi izvor koji je izbacivao mutnu vodu, a u Gradcu je voda na izvoru bila crveno-modra. Potres od 11. siječnja bio je tako jak da je opažen i na brodovima na moru. *Vladimir Nazor* bio je na milju od obale u smjeru Igrana, a *Budva* na 100 metara od Igrana, i na oba su broda osjetili udarac (Skoko, 1962.; Orlić i sur., 2012.).

Materijalna šteta iza ovih potresa bila je golema (Skoko, 1962.) – 3256 neupotrebljivih kuća, 14.980 oštećenih kuća, oštećeno ili porušeno 108 škola, 25 kilometara cesta, 1343 metara obale itd. Najviše su stradala naselja Podgora, Drašnice, Igrane, Tučepi, Živogošće, Zaostrog, Gradac, Brist, Drvenik i Podaca, a stradali su i Makarska i Ploče. Za potresa od 11. siječnja jedan je mladić poginuo. Bilo je i ranjenih. Lijep prikaz posljedica potresa i događaja koji su uslijedili dao je i Urić (2012.).

Glavnina seizmičke aktivnosti na makarskom području događa se na rasjedima koji se pružaju u smjeru zapad–istok do sjeverozapad–jugoistok, dakle približno u smjeru u kojem stoje srednjojadranski otoci i obala. Potresi

iz 1962. godine dogodili su se na sustavu reversnih rasjeda ispod Jadrana, između Brača, Hvara, Pelješca i obale (slika 4). Uspjeli smo odrediti mehanizme u žarištu potresa za tri potresa (7. siječnja, 11. siječnja i 21. siječnja) (Herak i sur., 1995.), koji su pokazali da su osi tektonskog tlaka usmjerene JZ–SI do ZJZ–ISI s kutem nagiba oko 10°, što je u skladu s današnjim spoznajama o lokalnoj tektonici. Sva tri potresa dogodila su se na rasjedima s prevladavajuće horizontalnim međusobnim pomakom rasjednih krila.

POTRESNA OPASNOST NA MAKARSKOM PRIMORJU

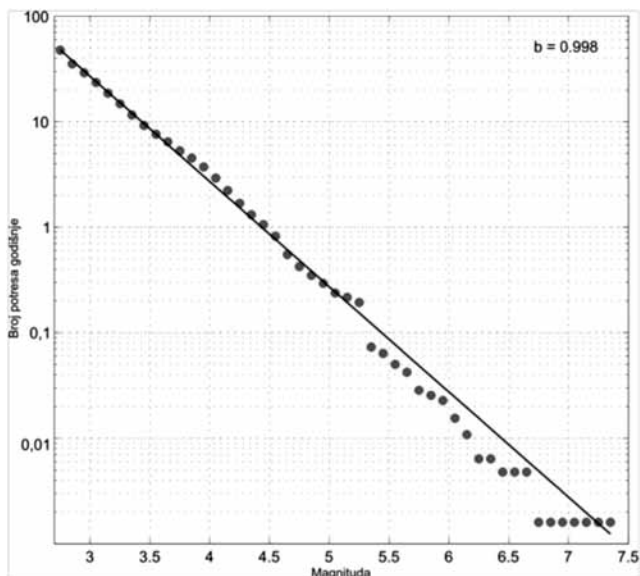
Potresna opasnost ili seizmički hazard određenog mjesta iskazuje se nekim svojstvom potresa koje može uzrokovati štetu (žrtve, rušenje objekata, ekonomske posljedice...). Danas se za to najčešće koristi najveće ubrzanje (akceleracija, a_{max}) tla tijekom potresa, dok se prije koristio makroseizmički intenzitet (I_{max}). Obično se hazard izražava vjerojatnošću premašivanja zadane vrijednosti a_{max} u nekom vremenskom razdoblju, ili se računa onaj iznos a_{max} za koji se s unaprijed zadanom vjerojatnošću (npr. 10%) očekuje da će biti barem jednom premašen tijekom tog vremenskog razdoblja (npr. 50 godina). Ovdje se ubrzanje tla obično izražava u jedinicama ubrzanja Zemljine sile teže ($1\text{ g} = 9.81\text{ m/s}^2$). Hazard se može procjenjivati determinističkim (DSHA – Deterministic Seismic Hazard Assessment) ili vjerojatnosnim (PSHA) postupkom.

Da bi se procijenio hazard u nekoj točki, valja najprije detaljno analizirati seizmičnost u krugu približno 200 km oko lokacije. Pri tome se osobitu pozornost mora posvetiti procjeni potpunosti kataloga potresa, kako u vremenu tako i u prostoru. Tako se za područje Makarskog primorja dobilo da je katalog potresa za magnitudu $M = 5,0$ zadovoljavajuće potpun od 1870., za magnitudu $M = 4,0$ iza 1960. godine, dok su gotovo svi potresi magnitude $M = 3,0$ i veći u katalogu tek od 1987. godine. Poznavajući prave potpunosti, može se na temelju podataka u katalogu prići proračunu prosječne učestalosti potresa (slika 5). Vidi se, primjerice, da se tu godišnje dogodi oko 30 potresa magnitude $M = 3,0$ (ti se potresi osjete, ali ne čine štetu) ili većih, dok se potres magnitude $M = 5,0$ prosječno dogodi svake treće godine, a onaj magnitude 6.1 (poput potresa iz 1962.) približno svakih 50 godina.

Potresnu opasnost izračunat ćemo koristeći vjerojatnosni pristup pomoću stohastičkog (Monte-Carlo) postupka. On se sastoji u generiranju sintetičkog kataloga potresa za vrlo dugi niz godina (milijun ili više) te proračunu teorijskih učinaka svakoga od njih na istraživanu lo-

Slika 5.

Prosječna učestalost potresa za različite magnituda na prostoru prikazanom na slici 1. Puna linija prilagođena je podacima uz pretpostavku valjanosti Gutenberg-Richterove relacije $\log N = a - bM$, gdje je N broj potresa godišnje s magnitudom M ili višom

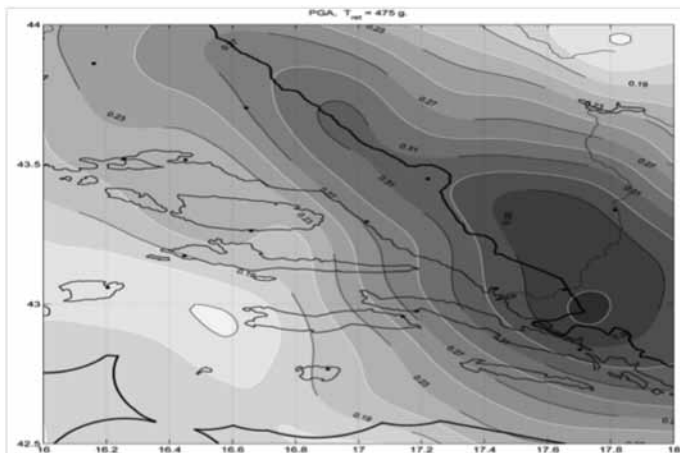


kaciju. Statističkom obradom rezultata može se tada procijeniti potresna opasnost, kako je to opisano u uvodnom odlomku ovog poglavlja. Teorijski efekti potresa (npr. a_{max} ili I_{max}) procjenjuju se na temelju empiričkih relacija ako su poznati magnituda, dubina žarišta i udaljenost lokacije od epicentra potresa. Takvih izraza postoji vrlo mnogo, a ovdje je odabrano njih 6, koji su za naše prilike ocijenjeni najprikladnijima (Herak i sur., 2001.; Akkar i Bommer, 2010.; Bindi i sur., 2009.; Fukushima, 2003.; Chiou i Yonngs, 2008.; Idriss, 2008.).

Rezultati računa za šire područje Makarskog primorja prikazani su na slikama 6 i 7. Slikom 6 prikazani su iznosi najveće horizontalne akceleracije (a_{max}) za koje postoji 10% vjerojatnost da će biti premašeni u bilo kojih 50 godina, ili, što je isto, iznosi a_{max} koji se premašuju u prosjeku jednom u 475 godina. Slikom 7 prikazan je hazard izražen najvećim intenzitetom potresa uz iste uvjete kao i za a_{max} na slici 6 (povratno razdoblje od 475 godina).

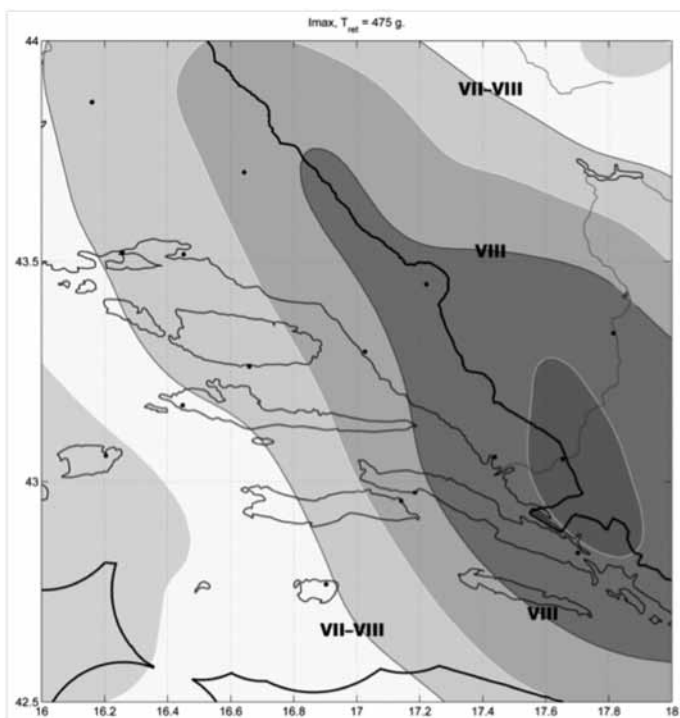
Sa slika se vidi da je analizirano područje vrlo ugroženo potresima. Najveća je opasnost u širem području Stona te duž granice s Bosnom i Hercegovinom. Udaljavanjem prema moru opasnost polagano pada. U užem području Makarske projektna vrijednost akceleracije tla s povratnim razdobljem od 475 godina iznosi 0.27 g.

Usporedbom s potresnom opasnošću u drugim dijelovima Hrvatske lako je uočiti da je to ujedno i potresima najugroženiji dio naše domovine. Zato se pri izgradnji i projektiranju građevina te pri prostornom planiranju, toj činjenici treba posvetiti najveća moguća pozornost.



Slika 6.

Potresna opasnost Makarskog primorja izražena maksimalnom horizontalnom akceleracijom tla tijekom potresa, uz 10% vjerojatnosti premašivanja u bilo kojih 50 godina (što odgovara srednjem povratnom razdoblju od 475 godina). Akceleracija je izražena u jedinicama akceleracije sile teže ($1\text{ g} = 9.81\text{ m/s}^2$) i odnosi se na razinu osnovne stijene.



Slika 7.

Potresna opasnost Makarskog primorja izražena maksimalnim intenzitetom potresa ($^{\circ}\text{MCS}$), uz 10% vjerojatnosti premašivanja u bilo kojih 50 godina (što odgovara srednjem povratnom razdoblju od 475 godina). Intenziteti se odnose na srednje tlo.

Vrijednosti očitane s karte na slici 6 ulazni su parametar za proračun pri projektiranju zgrada otpornih na potres koristeći Eurokod-8 – zbirku građevinskih propisa koju je Republika Hrvatska prihvatila u sklopu usklađivanja svojih propisa s europskom pravnom stečevinom.

LITERATURA

- Bindi D., Luzi, L., Pacor, F., Sabetta, F. i Massa, M. (1996.), Towards a new reference ground motion prediction equation for Italy: Update of the Sabetta–Pugliese, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 7: 591-608.
- Chiou, B. S. J. i Youngs, R. R. (2008.), NGA Model for Average Horizontal Component of Peak Ground Motion and Response Spectra, *PEER Report 2008/09*, Berkeley, Pacific Engineering Research Center, College of Engineering, University of California.
- Fukushima, Y., Berge-Thierry, C. i Griot-Pommerer, D. (2003.), Attenuation relation for West Eurasia determined with recent near-fault records from California, Japan and Turkey, *Journal of Earthquake Engineering*, 7 (4): 573-598.
- Herak, M., Herak, D. i Markušić, S. (1995.), Fault-plane solutions for earthquakes (1956–1995) in Croatia and neighbouring regions, *Geofizika*, 12 (1): 43-56.
- Herak, M., Markušić, S. i Ivančić, I. (2001.), Attenuation of peak horizontal and vertical acceleration in the Dinarides area, *Studia Geophysica et Geodaetica*, 45 (4): 383-394.
- Herak, M., Herak, D. i Markušić, S. (1996.), Revision of the earthquake catalogue and seismicity of Croatia, 1908–1992, *Terra Nova*, 8 (1): 86-94.
- Idriss, I. M. (2008.), An NGA Empirical Model for Estimating the Horizontal Spectral Values Generated By Shallow Crustal Earthquakes, *Earthquake Spectra*, 24 (1): 217-242.
- Kišpatić, M. (1891.), Potresi u Hrvatskoj, *Rad JAZU*, 107: 81-164.
- Orlić, M., Pasarić, M. i Herak, M. (2012.), Gibanje u moru povezano s makarskim potresom od 11. siječnja 1962. godine. U: M. Mustapić i I. Hrstić (ur.), *Makarsko primorje danas*, Zagreb, Institut društvenih znanosti Ivo Pilar.
- Plešinger, A. i Kozák, J. (2003.), Beginnings of regular seismic service and research in the Austro-Hungarian monarchy: Part II, *Studia Geophysica et Geodaetica*, 47(4): 757-791.
- Skoko, D. (1962.), Potresi u Makarskom primorju, *Priroda*, 44 (4): 102-109.
- Urlić, V. (2012.), *Potres 1962. godine – Makarsko primorje*, Makarska, Gradski muzej Makarska.