

Hrvatska karta potresne opasnosti – kako je nastala i kako dalje?

Marijan Herak, Geofizički odsjek, PMF

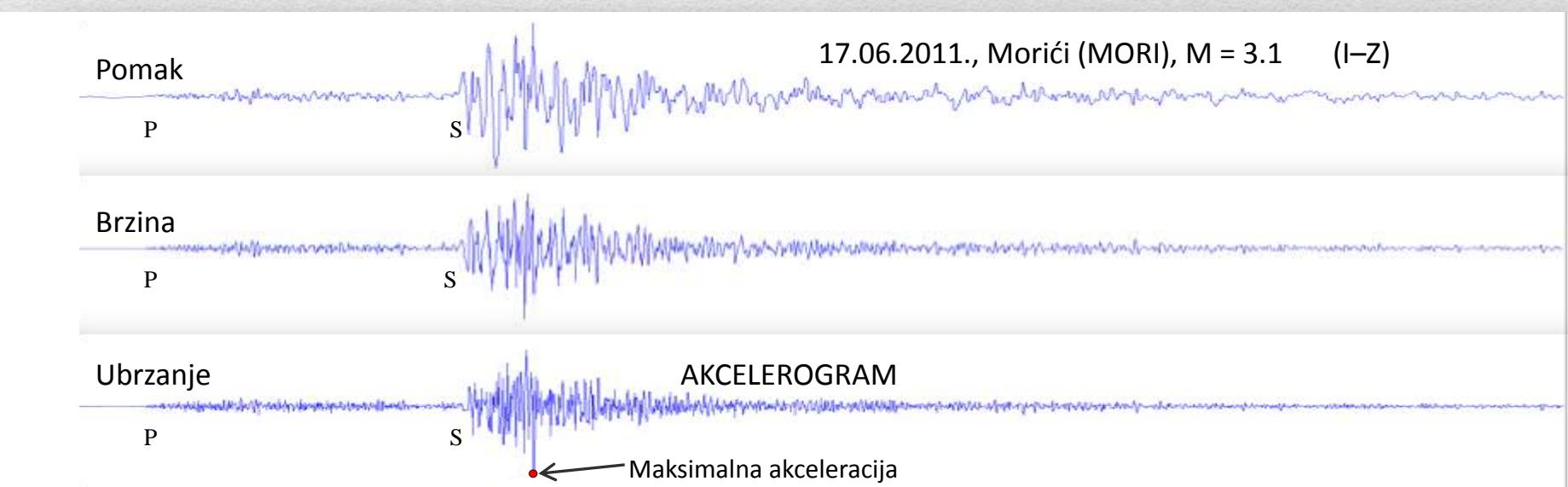
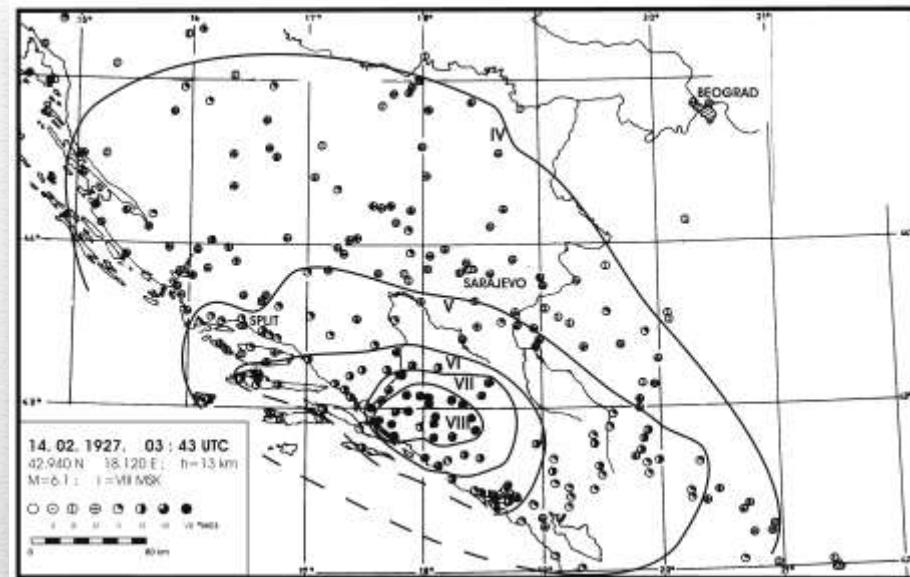


Potresna opasnost i ugroženost – osnovni pojmovi

Seizmički hazard ili *potresna opasnost* govori o vjerojatnosti da se neki iznos odabranog parametra trešnje tla premaši u zadano razdoblju.

Parametar kojim opisujemo jakost trešnje je obično:

- *intenzitet potresa (I_{max} , °MCS)* ili
- *maksimalna horizontalna akceleracija tla (a_{max} , g)*



- *Seizmički hazard ili potresna opasnost* govori o vjerojatnosti da se neki iznos odabranog parametra trešnje tla na razmatranom mjestu premaši u zadanom razdoblju.
- Promatrano razdoblje ovisi o *riziku (ugroženosti)* koji želimo preuzeti. Uobičajeno je za »obične« zgrade uzeti razdoblje od 50 godina i vjerojatnost od 10%.
- Tako za određeno mjesto hazard možemo definirati tvrdnjom da se tamo premašivanje iznosa $a_{max} = 0.25$ g očekuje s vjerojatnošću od 10 % tijekom bilo kojih 50 godina.
- Takav će se događaj ponavljati u prosjeku svakih 475 godina, pa često govorimo o hazardu na razini povratnog razdoblja od 475 godina.
- **VAŽNO:** Ovdje nema nikakve periodičnosti! Potres koji se ponavlja u prosjeku svakih 475 godina može se dogoditi sutra ili za 5000 godina, neovisno o tome kada je bio zadnji takav potres.
- Hazard se procjenjuje na temelju podataka o seizmičnosti (katalozi potresa,...) koristeći razumne pretpostavke, empiričke i teorijske spoznaje, i statističke metode. Ipak, radi se o velikim nepouzdanostima pri ekstrapolaciji...

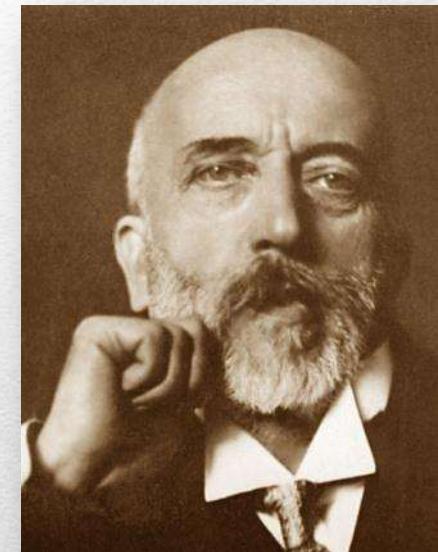


Igra na sreću s prirodom: Potresni “roulette”

		“Potresni roulette”	Roulette
Hazard:		Određen seizmičnošću	Određen pravilima igre
Rizik:	Nikakav	Ne graditi.	Ostati kod kuće, ne igrati roulette.
	Vrlo mali	Graditi u skladu s vrlo konzervativnim propisima i suvremenim tehnologijama.	Uložiti na sve brojeve osim na 13.
	Mali	Graditi u skladu s propisima i suvremenim tehnologijama.	Uložiti na 90% brojeva.
	Srednji	Pročitati propise, graditi prema tradiciji.	Uložiti na crveno (ili na nepar...).
	Veliki	Ne obazirati se na propise, ukrasti cement, armaturu...	Uložiti sve na 13...

Na osnovu podataka do sada sabranih možemo približno odrediti vjerojatnost jakih potresa u Hrvatskoj i Slavoniji. Posljednjih 50 godina bio je na našem području 91 jaki potres. Od tih otpada na županiju zagrebačku i varaždinsku 57, na Primorje 20, a na županiju požešku 10. Na samu zagrebačku goru otpada 30 potresa. Otuda slijedi, da imamo u okolini zagrebačke gore, dakle i u samom Zagrebu svakih pet godina tri jača potresa.

A. Mohorovičić (1909):
Djelovanje potresa na zgrade



Tu su definirana ‘pravila igre’ za tadašnju Hrvatsku i Slavoniju. Ovo je prva znanstvena vjerojatnosna procjena potresne opasnosti u Hrvatskoj, a i među prvima je u svijetu!

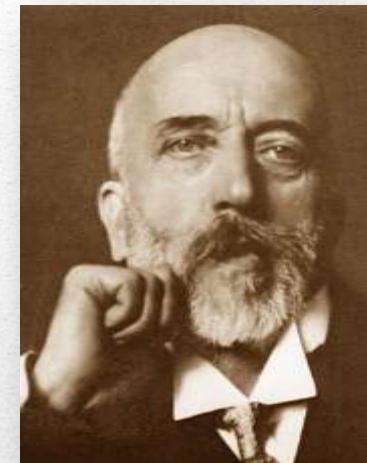
Računa se, da obična zgrada redovno traje 150 do 200 godina. Ta će dakle zgrada imati, da podnese za svog vijeka jedan veoma jaki potres, 15 do 20 jaka potresa, oko 100 slabijih potresa, a oko 1500 do 2500 veoma slabih potresa, kojima je ishodište ispod Zagreba ili u neposrednoj blizini.

Priračunamo li k tome još i potrese, kojima je ishodište u manjoj ili većoj blizini od Zagreba i od kojih se i Zagreb trese, to dolazimo do veoma velikih brojeva.

Otuda slijedi, da je neophodno potrebno, da se kod gradnje kuća u Zagrebu osobiti obzir uzme na pogibelj od potresa, te da se potroši nešto više, samo da bude zgrada čim sigurnija od potresa.

Bude li sigurnost naših zgrada veća, bit će veći i jeftiniji kredit, što će ga uživati zgrada, a grad će mnogo brže rasti, kada budu stranci znali, da se u Zagrebu ne trebaju bojati od potresa.

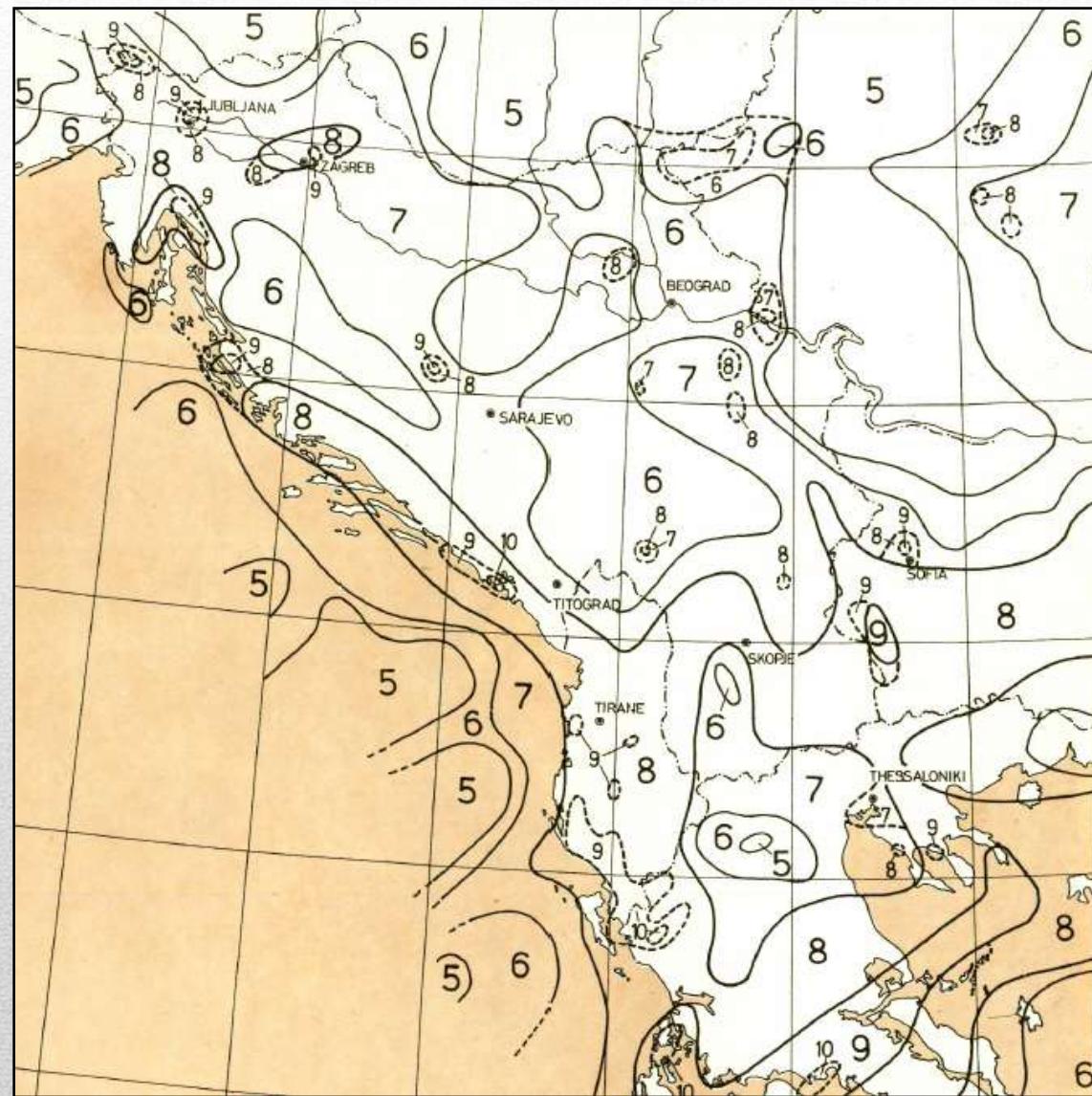
Gradevni propisi za grad Zagreb sadržaju više ustanova, koje idu za tim, da osiguraju zgradu od potresa, ali ima još mnogo pogrešaka u načinu gradnje, koje se mogu izbjegići bez da se povisi trošak gradnje, a ima i takovih, koje se mogu izbjegići većom ili manjom povišicom troška prama svrsi u koju se zgrada gradi, i prama trajnosti za koju je proračunana.



Definicija potresne
ugroženosti (rizika)

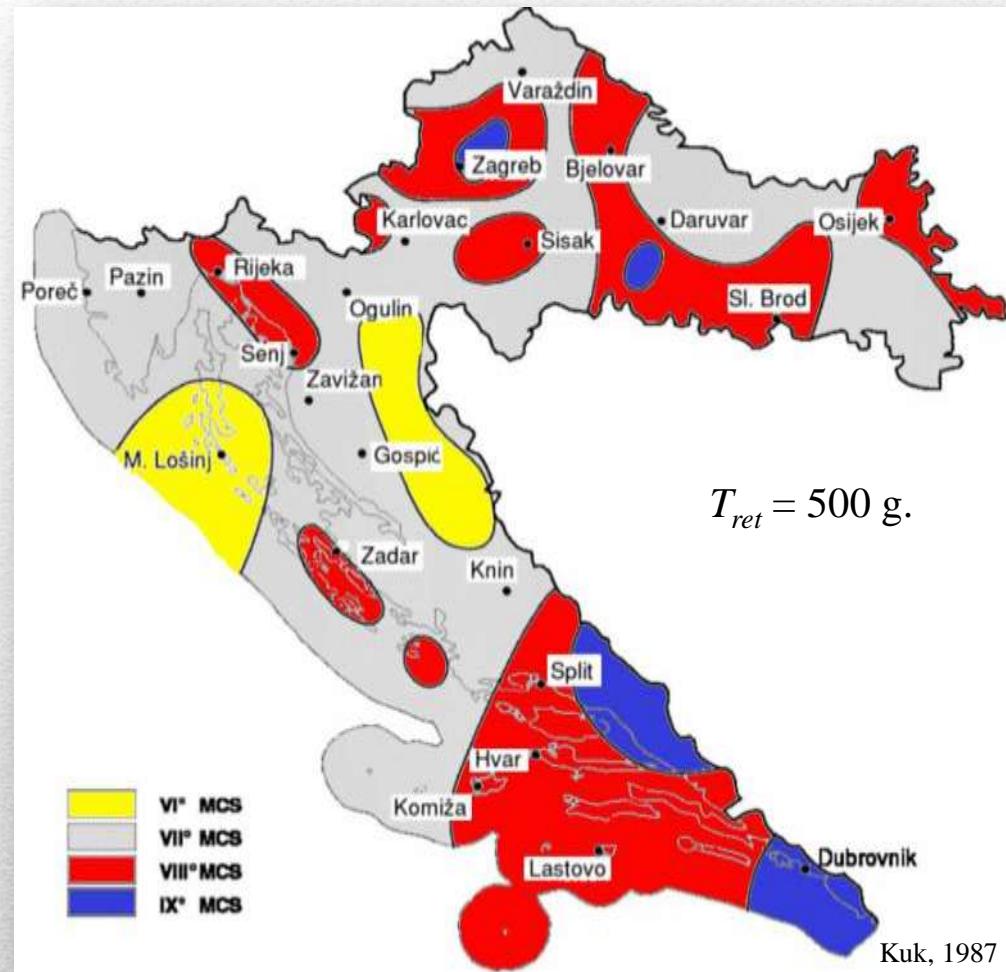
A. Mohorovičić (1909):
Djelovanje potresa na zgrade

Na žalost, nakon Mohorovičića
dugo nema ozbiljnih pomaka.
Tek sredinom 70-ih godina
prošlog stoljeća izrađuje se
karta potresne opasnosti za
cijeli Balkan (UNESCO, 1974).



Hrvatska seizmološka karta 1987–2012.

- 1987. na Geofizičkom odsjeku PMF-a za teritorij Hrvatske izrađena je prva karta hazarda koristeći suvremeni vjerojatnosni pristup.
- Izrađena je za cijelo područje SFRJ za nekoliko povratnih razdoblja (50, 100, 200, 500, 1000, 5000 i 10000 godina).
- U službenoj je uporabi bila sve do ove godine, iako:
 - **su se od tada dogodili važni potresi,**
 - **ne odnosi se na akceleraciju nego na intenzitet potresa,**
 - **znatno su se promijenile spoznaje o seizmičnosti,**
 - **znatno se popravila pokrivenost seizmološkim postajama,**
 - **promijenili su se standardi i regulativa u Europi i svijetu.**



Zbog zastarjelosti, te potrebe prilagodbe europskim propisima, Hrvatska je **moral** izraditi novu kartu potresne opasnosti.

- Postupkom pridruživanja EU, Hrvatska je preuzela i legislativne obveze –Eurokodovi! Eurokod-8 je onaj koji govori o protupotresnoj gradnji.
- Za njegovu primjenu nužno je u *Nacionalnom dodatku* definirati osnovnu razinu potresnog hazarda, koja tada služi kao osnova za sve daljnje proračune. To se nije moglo sa starom kartom ...
- Nakon inicijative s Geofizičkog odsjeka prema Hrvatskom zavodu za norme (2008. g.), te brojnih neobičnih pokušaja izbjegavanja uporabe Eurokodova i/ili izrade nove karte, dogovoreno je da se otpočne s radom... ali narudžba nikako nije stizala!
- Brojni sastanci, dogovori, pregovori – kakve karte, koji spektri, kakvo mjerilo karata, kakva podloga, cijena karata, tko ih prodaje; promjene u HZN-u; uključivanje pa povlačenje Ministarstva graditeljstva; ... sve to traje do konca 2011.
- U međuvremenu, mi smo hazard izračunali... HZN je početkom 2012. kartu službeno prihvatio i uvrstio je u Nacionalni dodatak Eurokodu-8.
- Dogovoreno je da se karta neće tiskati, nego će biti slobodno dostupna na internetu.

Potresna opasnost

Procjena potresne opasnosti je vrlo jednostavna:

- *Sve što nam treba je potpuni katalog potresa za posljednjih 500-ak tisuća godina i 10-ak tisuća zabilježenih akcelerograma!*
- *A to (za sada) nemamo...*

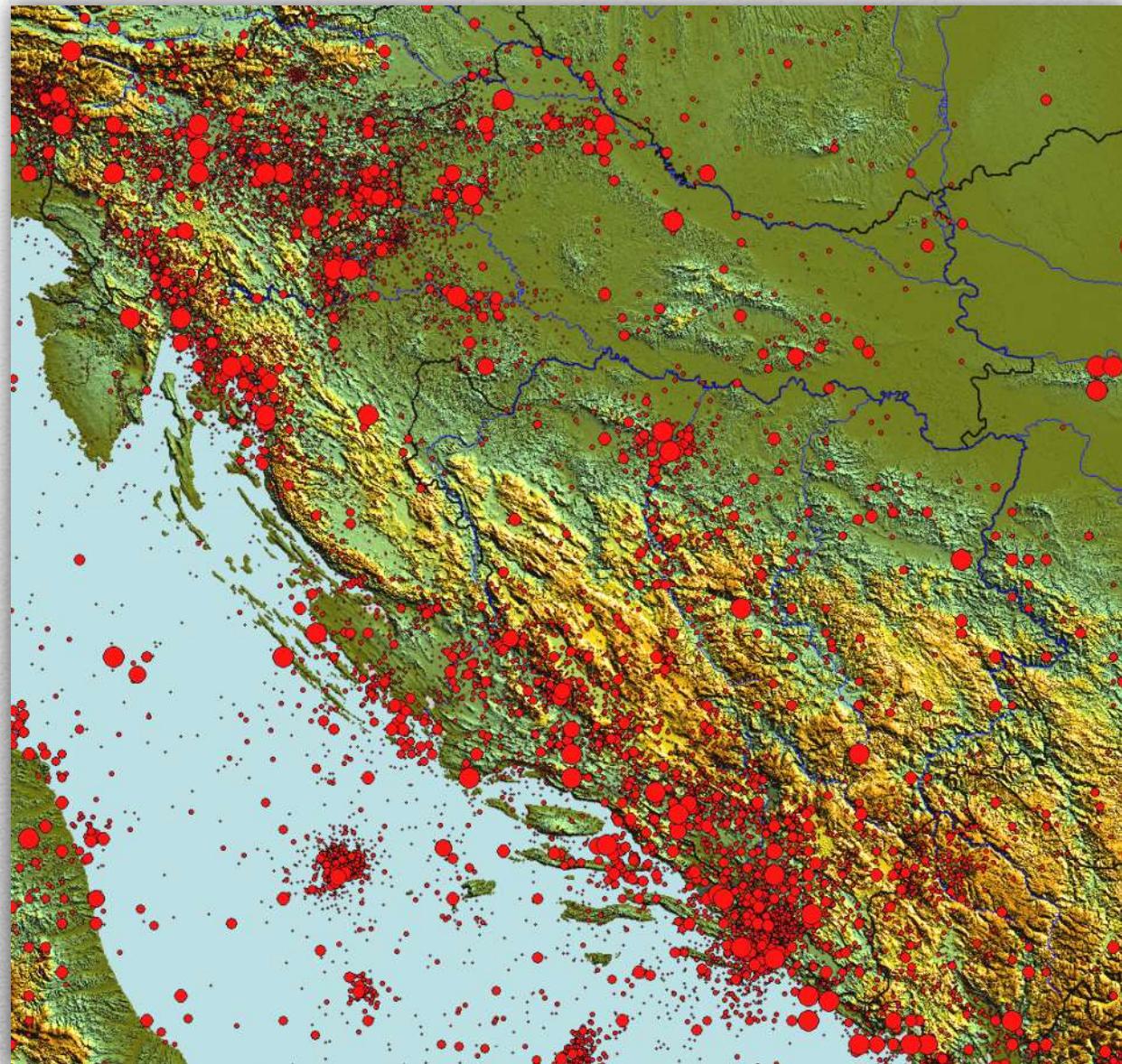
Ako to nemamo onda nam treba:

1. **Što potpuniji katalog potresa** – važni su svi veliki povijesni potresi, ali i mikropotresi koje danas možemo pouzdano locirati ako imamo dovoljno seismografa.
2. **Dobro poznavanje seizmotektonike** – važno je zbog pouzdane procjene najvećih mogućih magnituda i mesta gdje se potresi mogu dogoditi.
3. **Dobro poznavanje geologije područja** – zbog pouzdane procjene amplifikacijskih efekata
4. **Baza podataka o zabilježenim akceleracijama** – da bi se korektno procijenila akceleracija od budućih potresa
5. **Seizmolazi s iskustvom ...**

Hrvatski katalog potresa

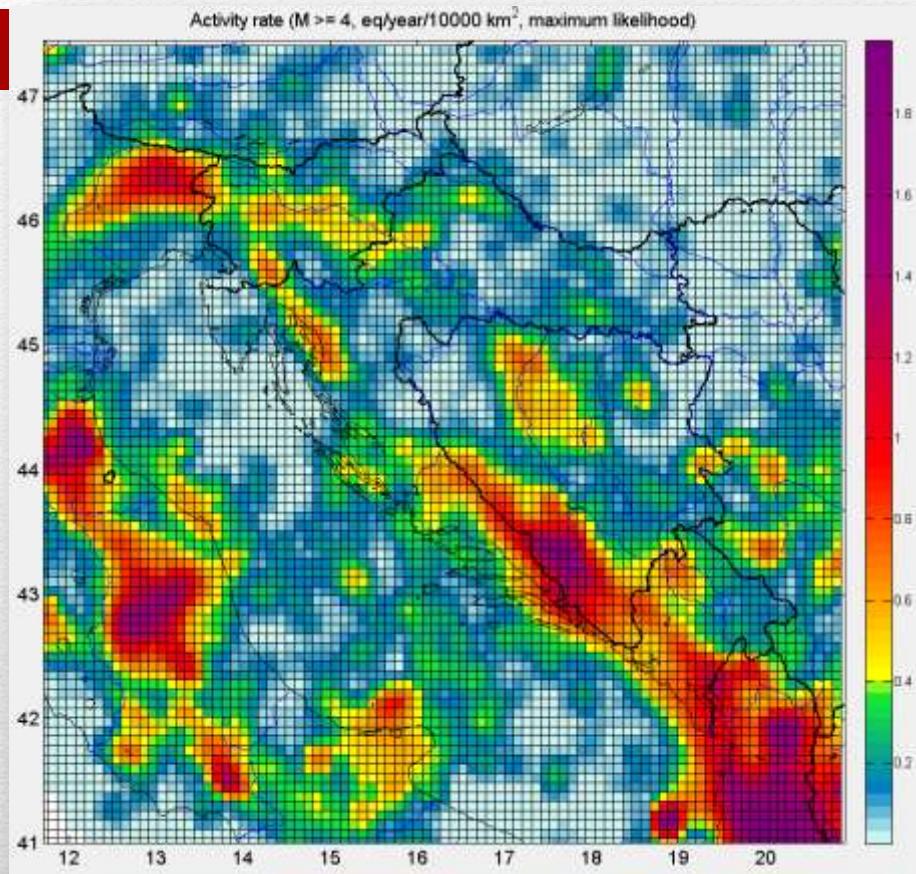
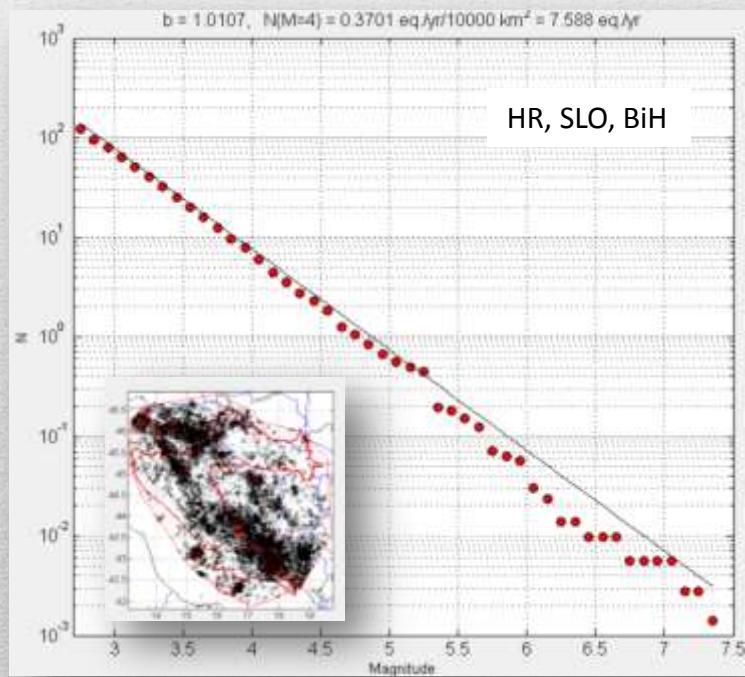
- Nužan uvjet za procjenu hazarda je postojanje DOBROG kataloga potresa
- Katalog mora
 - biti POTPUN
 - biti HOMOGEN
 - pokrivati i susjedna područja
- Hrvatski katalog potresa danas sadrži podatke o više od 55000 potresa u Hrvatskoj i okolnim područjima

Epicentri potresa prema Hrvatskom katalogu potresa (preko 55000 potresa)
pr. Kr. – 2011.



Statistička analiza

- Razmatrani teritorij je razdijeljen pravilnom mrežom na kvadrate $5.5 \times 5.5 \text{ km}$
- Za svaki su kvadrat, na temelju analize potpunosti kataloga, poznate seizmičnosti, i seismotektonskih razmatranja izračunati parametri koji statistički definiraju pojavu potresa u tom području.



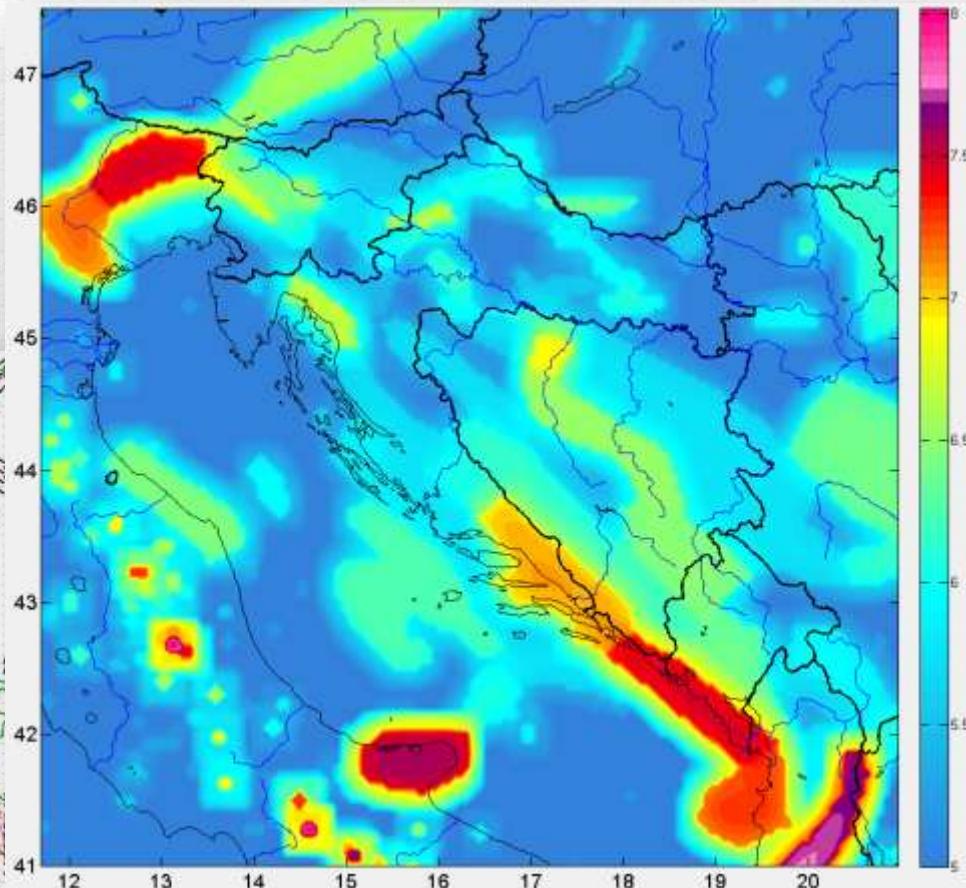
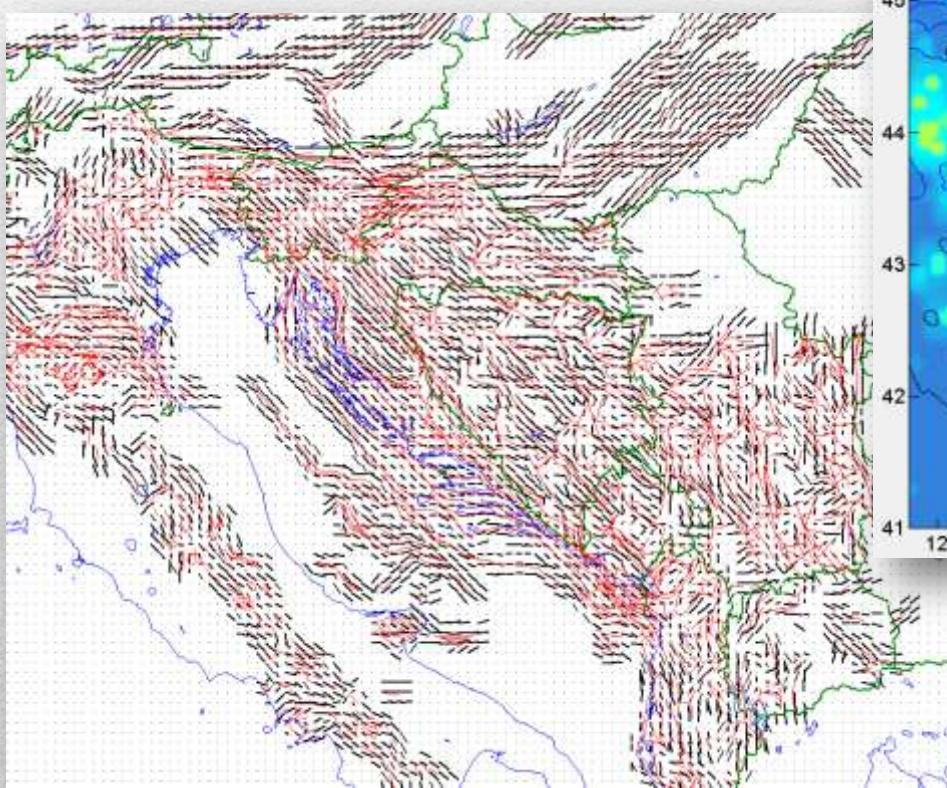
Gutenberg-Richterova relacija:

$$\log N = a - bM$$

Ovo je jedna od fundamentalnih relacija u znanosti!

Pri tome je valjalo odrediti još i:

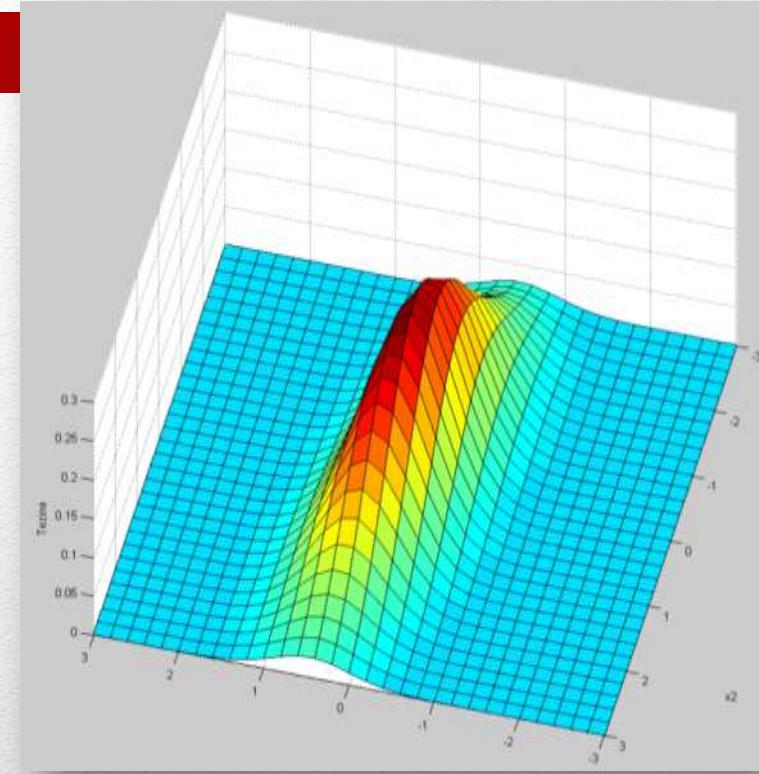
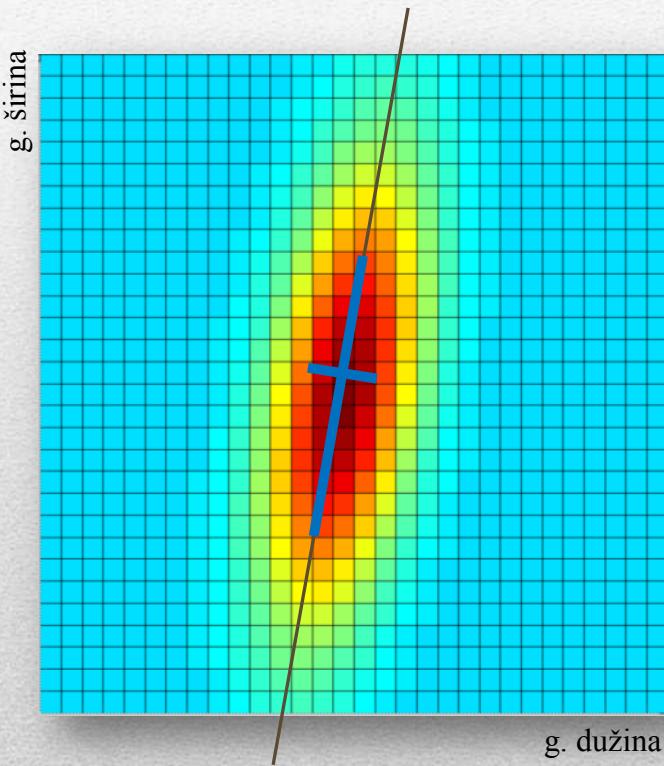
- dominantni smjer pružanja seizmogenih rasjeda,
- najveće magnitude (M_{max}) potresa koji se na njima mogu dogoditi.



Za svaki kvadratič znamo:
Učestalost pojavljivanja potresa za razne
magnitude (a, b), M_{max} i geometriju izvora

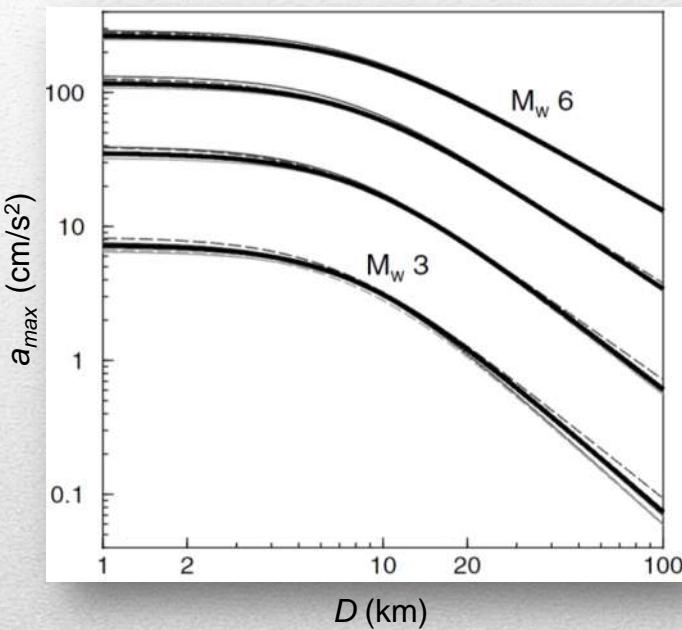
Eliptičko bi-normalno izglađivanje parametara seizmičnosti (a, b, M_{max})

Elipsa ima dužu os u dominantnom smjeru pružanja rasjeda u okolišu čvora mreže.



- Širine normalnih razdioba proporcionalne su očekivanim duljinama aktivnih dionica rasjeda, odnosno širini projekcije rasjeda na površinu Zemlje.
- Izglađivanje je provedeno na **tri** različita načina i za **dvije** → **6 različitih modela seizmičnosti**

- Sada je moguće izračunati sintetički katalog potresa za dugačko razdoblje (ovdje 2.000.000 godina) kao uniju sintetičkih kataloga za svaki elementarni kvadratić.



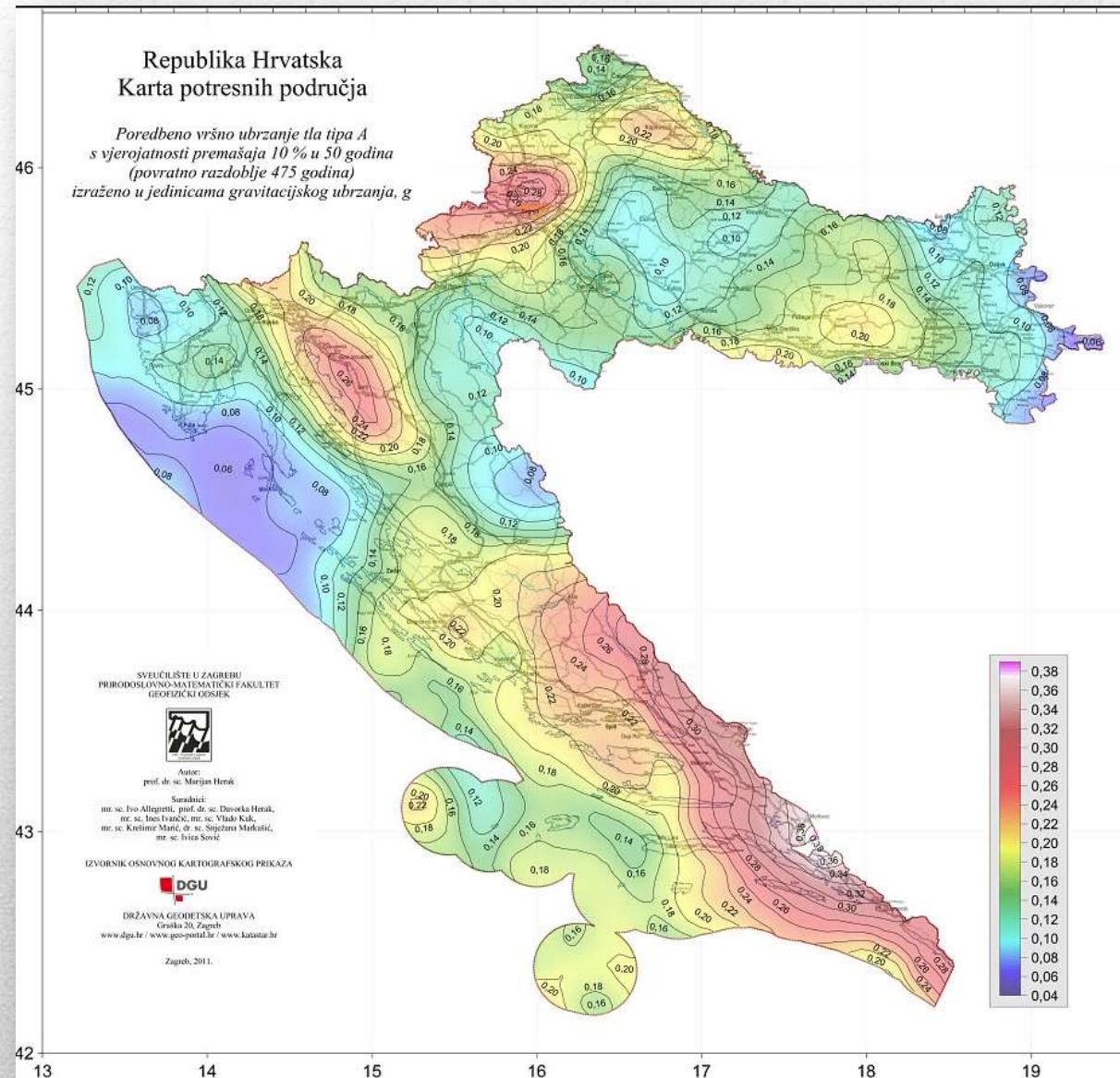
Atenuacijske relacije omogućuju procjenu a_{max} na temelju magnitude, udaljenosti žarišta potresa, i još nekih parametara. Koristili smo:

- Herak, Markušić, Ivančić (2001)
- Akkar, Bommer (2010)
- Bindi, Luzi, Pacor, Sabetta, Massa (2009)
- Fukushima (2003)
- Chiou, Youngs (2008)
- Idriss (2007)

Za **svaki potres** izračunata je očekivana maksimalna akceleracija a_{max} u **svakom čvoru mreže** koristeći svaku od **6** atenuacijskih relacija, te svaki od **6** modela seizmičnosti → **36 karata** kojima izražavamo epistemičku nepouzdanost →
→ **Konačna karta je medijan tih 36 karata u svakoj točki mreže.**

Karta R. Hrvatske za povratna razdoblja 475 g. i 95 g.

- Odnosi se na osnovnu stijenu, a akceleracije su prikazane u jedinicama ubrzanja Zemljine teže, g .
- Prihvaćena 2012. kao dio *Nacionalnog dodatka Eurokodu-8*.
- Izvorno mjerilo $\approx 1 : 800.000$
- Nije niti u jednoj standardnoj projekciji – ortogonalne koordinate...
- Kartografska podloga – DGU (hvala!)
- Dostupna je u punoj rezoluciji besplatno na: <http://seizkarta.gfz.hr>
- *Na toj stranici je i interaktivna aplikacija za očitavanje karte...*



Hrvatska seizmološka karta 2011–2012.

Karta R. Hrvatske za povratna razdoblja 475 g. i 95 g.

<http://seizkarta.gfz.hr> – Interaktivna aplikacija za očitavanje karte

<http://seizkarta.gfz.hr>

Karte potresnih područja Republike Hrvatske

Ova aplikacija omogućuje očitavanje iznosa horizontalnih vršnih ubrzanja tia tipa A (a_{gR}) za povratna razdoblja od $T_p = 95 \text{ i } 475 \text{ godina}$ izraženih u jedinicama gravitacijskog ubrzanja ($1 \text{ g} = 9.81 \text{ m/s}^2$). OCITANI IZNOSI NISU SLUŽBENI PODACI I SMJEH IH SE KORISTITI TEK KAO ORIJENTACIJU, te ih za projektiranje valja potvrditi uvidom u kartu koju možete preuzeti klikom na odgovarajuću poveznici.

Karte s tumačenim su sastavni dio Nacionalnog dodatka za niz normi HRN EN 1998-1:2011/NA:2011, Eurocode 8: Projektiiranje potresne otpornosti konstrukcija - 1: dio: Opća pravila, potresna djelovanja i pravila za zgrade.

Karta za povratno razdoblje od 95 god.

Karta za povratno razdoblje od 475 god.

Autor: prof. dr. sc. Marijan Herak

sa suradnicima:
mr.sc. I. Allegretti, prof. dr. sc. D. Herak, mr. sc. I. Ivančić,
mr. sc. V. Kuk, mr. sc. K. Marić, dr. sc. S. Markulić, mr. sc. I. Sović.

Za sva pitanja u vezi karata pitajte autore!

Poruka:

2 + 4 = ?

unesite koordinate
ili
kliknite mišem na kartu
(incijete je i pomicati ili zoomirati)

čitate rezultat na karti → Prikaži

Decimalni stupnjevi Stupnjevi Decimalne minute Stupnjevi Minute Decimalne sekunde

x 15.96307738 15 57.78464266 15 57 47.0785596

y 45.80865084 45 48.51905016 45 48 31.1430096

<http://seizkarta.gfz.hr>

Karte potresnih područja Republike Hrvatske

Na aplikaciji moguće je izabrati iznos horizontalnih vršnih ubrzanja za razdoblje od $T_p = 95$ i 475 godina izražen u jedinicama gravitacijskog ubrzanja ($1 \text{ g} = 9.81 \text{ m/s}^2$). OCITANO IZNOSI NISU SLUŽBENI PODACI I SMJEH IH SE KORISTITI TEK KAO ORIJENTACIJU, te ih za projektiranje valja potvrditi uvidom u kartu koju možete preuzeti klikom na poveznici.

čitate rezultat na karti → Prikaži

Decimalni stupnjevi Stupnjevi Decimalne minute Stupnjevi Minute Decimalne sekunde

x 15.96307738 15 57.78464266 15 57 47.0785596

y 45.80865084 45 48.51905016 45 48 31.1430096

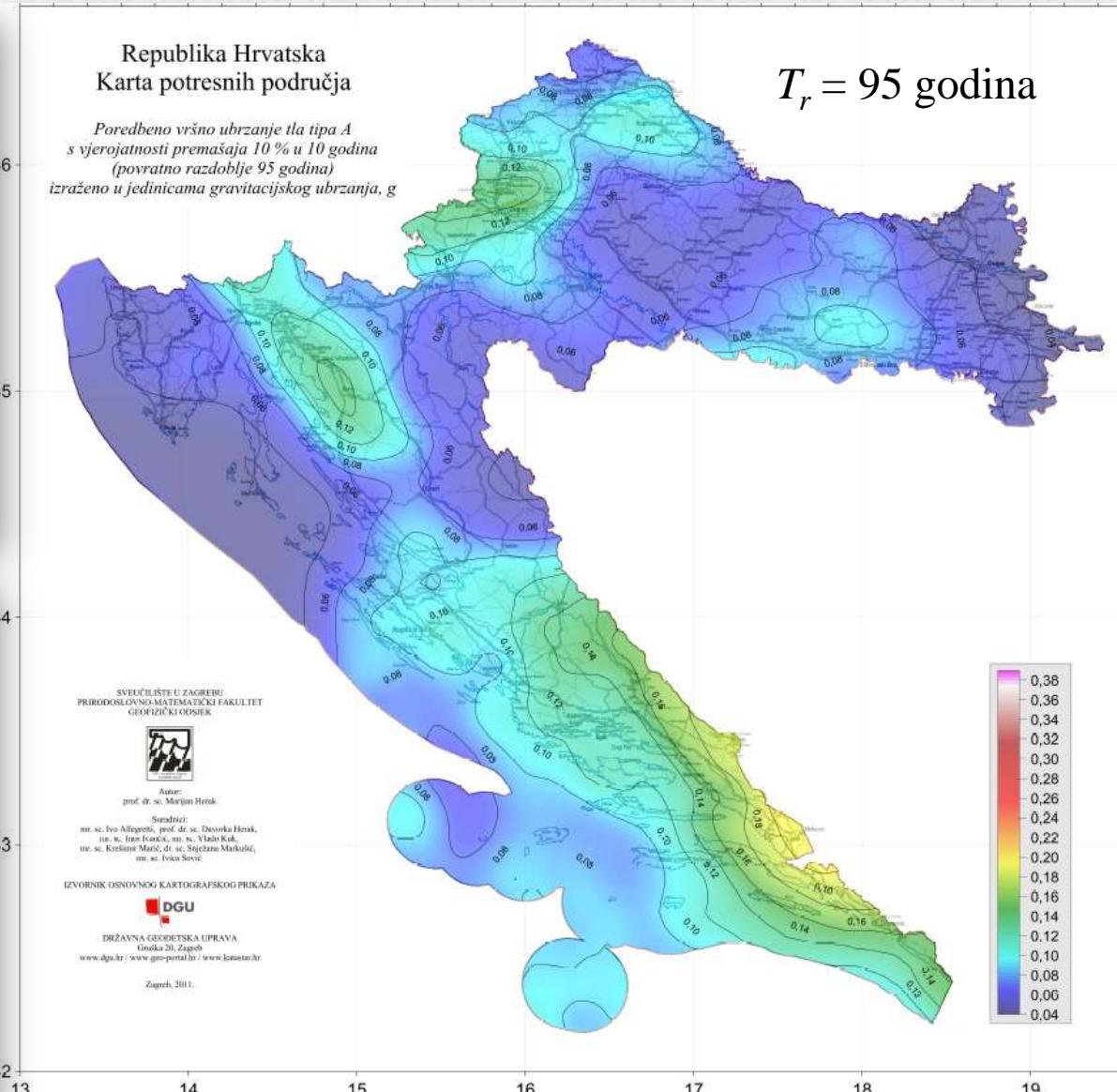
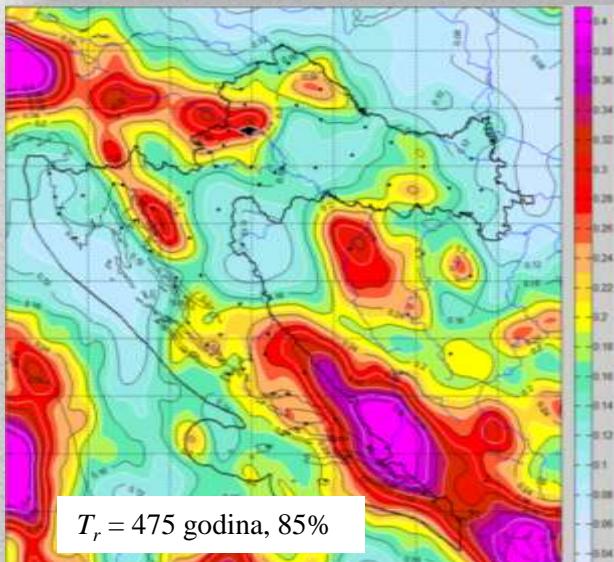
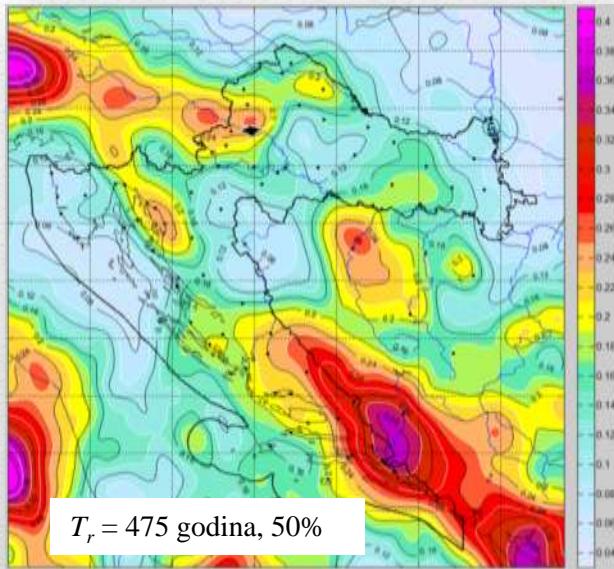
Map Satellite

$T_p = 95 \text{ godina: } a_{gR} = 0.127 \text{ g}$

$T_p = 475 \text{ godina: } a_{gR} = 0.252 \text{ g}$

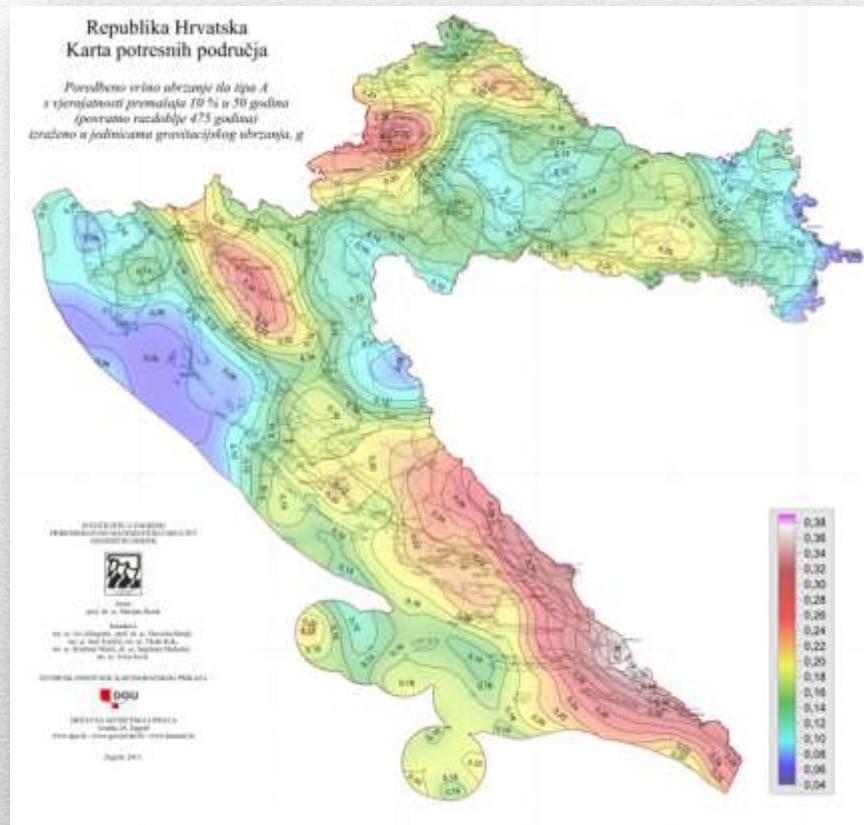
Map data ©2012 Google - Terms of Use

Hrvatska seismološka karta 2011–2012.

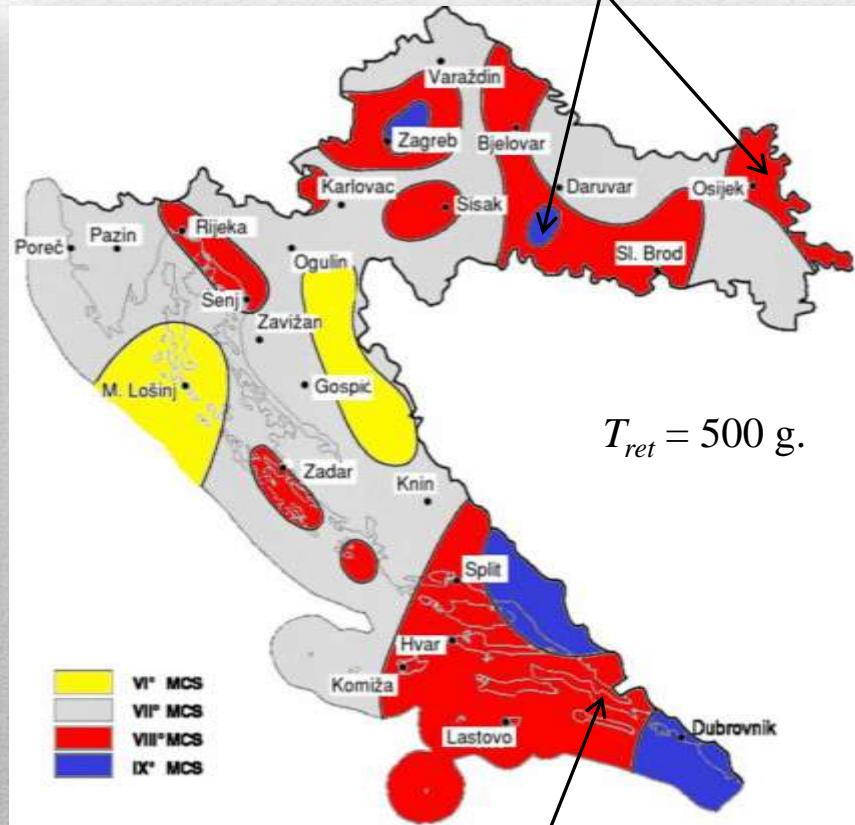


Kako se nova karta slaže sa starom kartom?

2012.



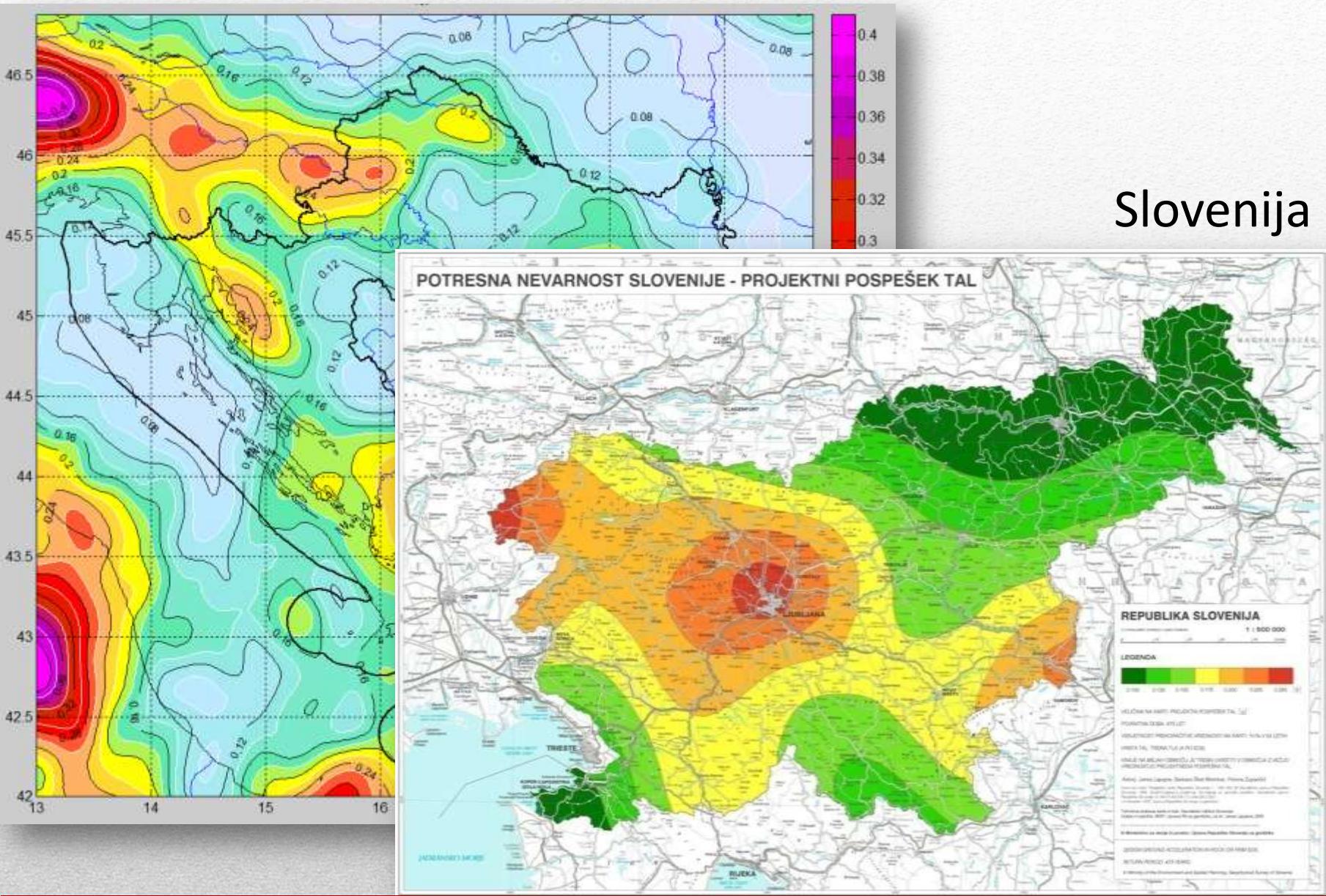
1987.



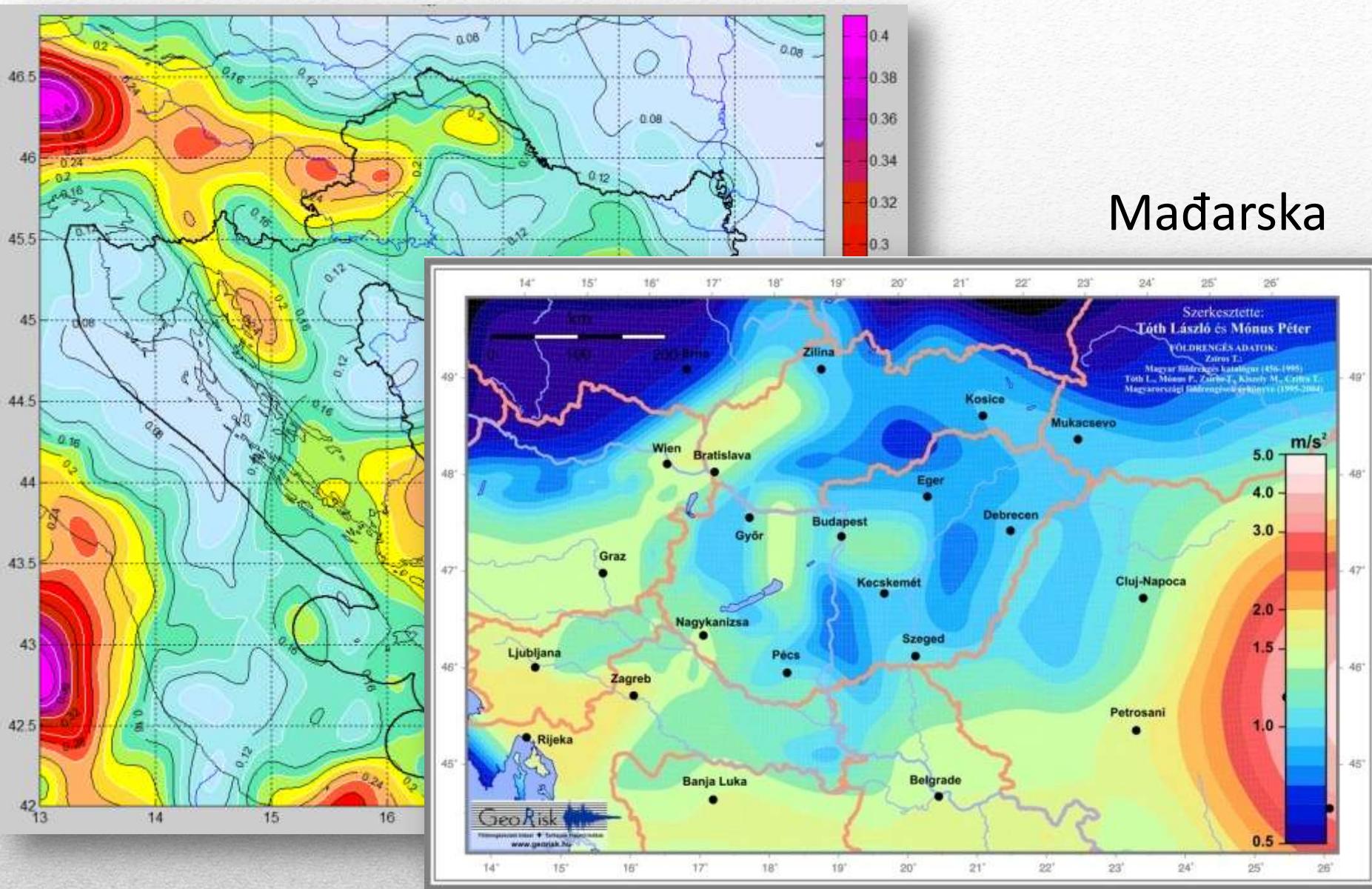
Postoje značajne kvalitativne razlike!

„seismic gap“?

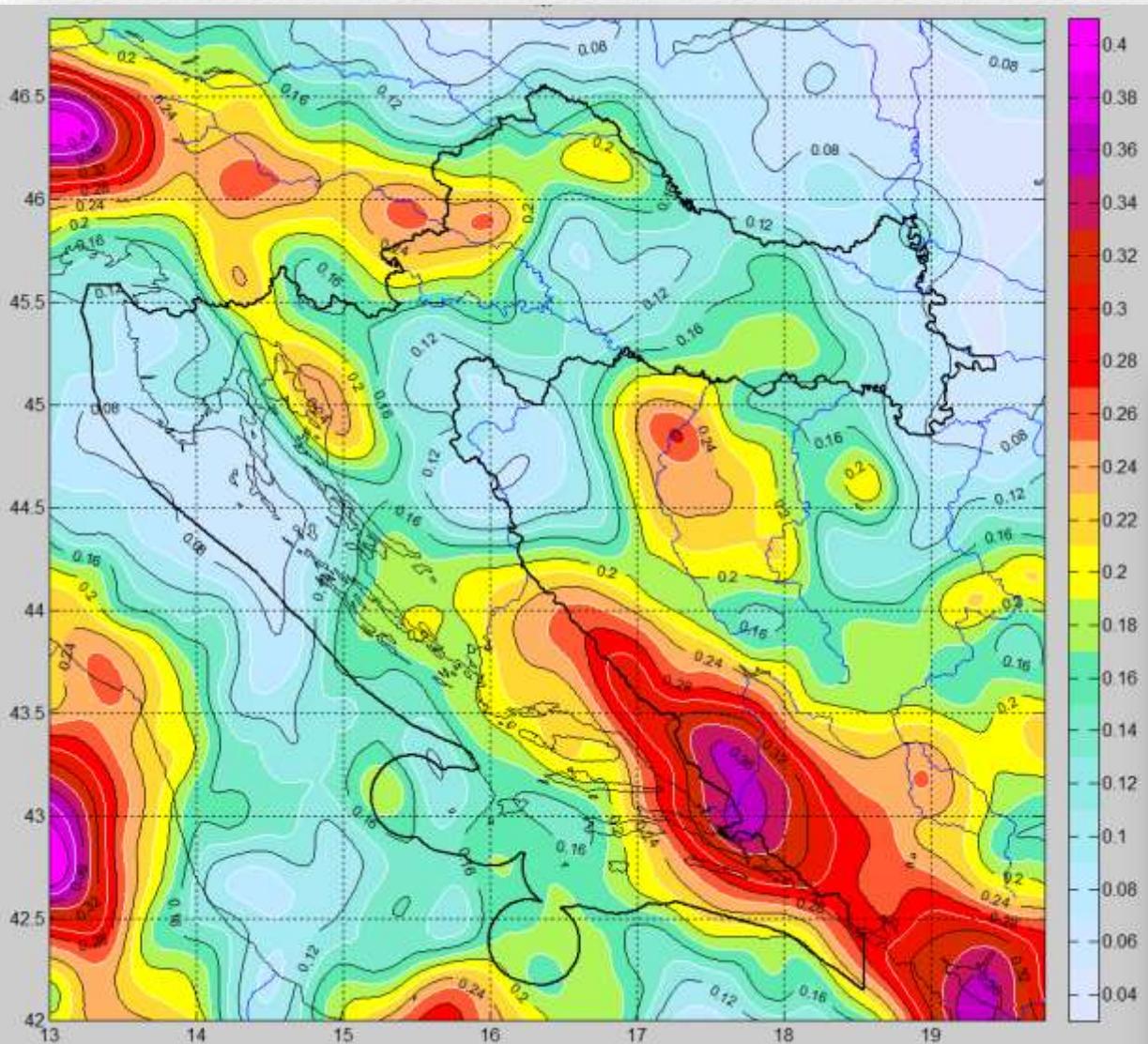
Kako se karta slaže sa susjedima?



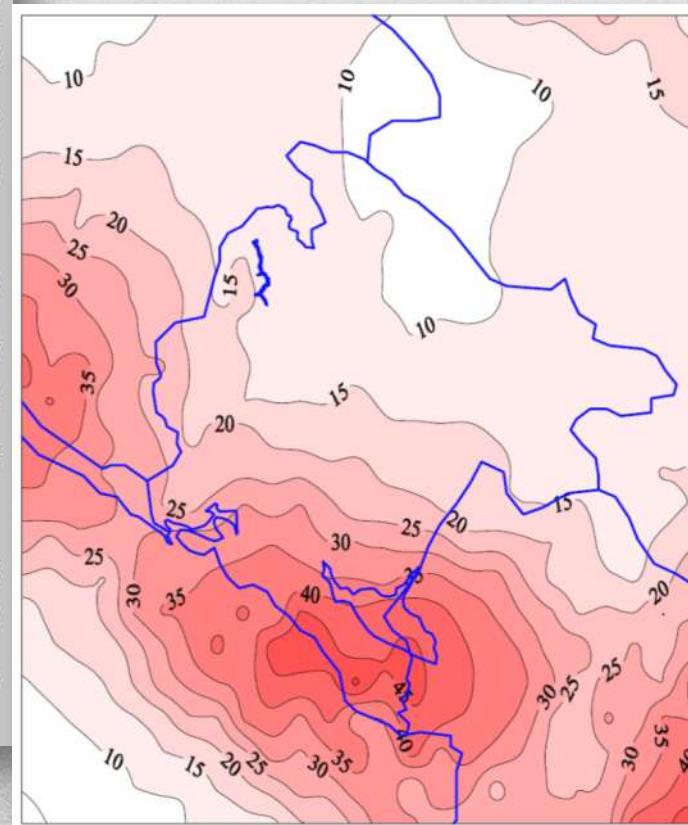
Kako se karta slaže sa susjedima?



Kako se karta slaže sa susjedima?

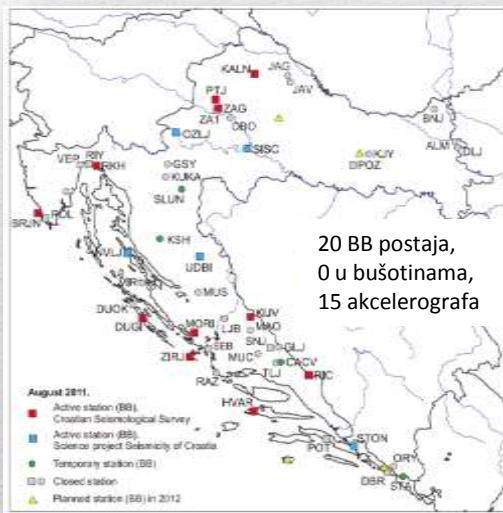


Crna Gora



Zaključak ...

- Karta je u skladu sa svim zahtjevima Eurokodova.
- Njezinim objavljivanjem i Hrvatska je (konačno!) među državama koje imaju suvremenu seizmološku kartu.



... i kako dalje

„Karte su poput mlijeka u tetrapaku – vrlo spretne i korisne, ali s vijekom trajanja!“ – u svijetu je uobičajeno takve karte revidirati i obnavljati u skladu s novim spoznajama svakih 5–7 godina. Za nadati se da nećemo opet čekati četvrt stoljeća ...

Nužno je potrebno održati korak sa svjetom (koji sada jedva držimo...). Treba dakle:

- *Uredno održavati postojeću mrežu seismografa i akcelerografa,*
- *Mrežu seismografa proširiti na barem 30-ak postaja,*
- *Znatno proširiti mrežu akcelerografa (50-ak postaja),*
- ***Znatno popraviti financiranje Seismološke službe RH (koja sada ima manji budžet od npr. Srbije ili Crne Gore),***
- *Nastaviti s barem dosadašnjom razinom financiranja znanstvenih projekata, još pojačati publiciranje,*
- *Unaprijediti suradnju s inozemstvom kroz multilateralnu suradnju (znanstveni i stručni projekti).*
- *Iskreno – izgledi da se to ostvari su maleni...*

