

O seizmologiji i potresima u Dubrovniku (i okolici!)



- *Prof. dr. sc. Marijan Herak*
Geofizički odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu
- *Prof. dr. sc. u mir. Davorka Herak*
Geofizički odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu

Seizmologija

Seizmologija je znanost o potresima, bavi se:

STRUČNI RAD

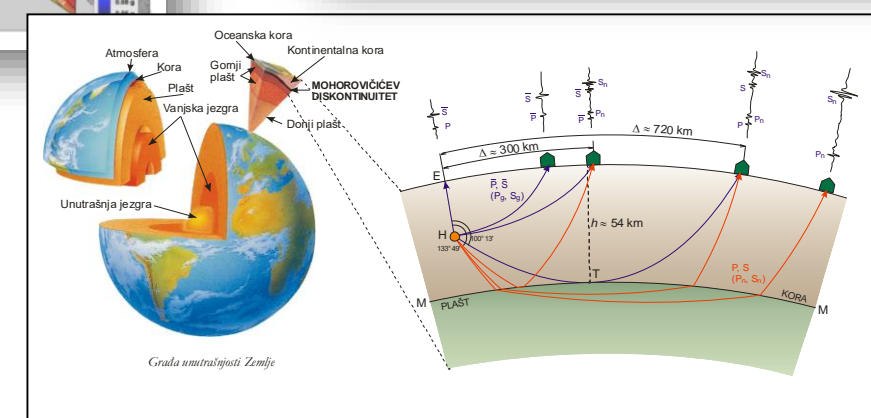
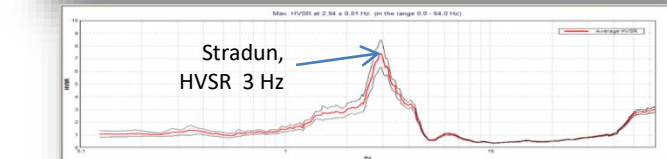
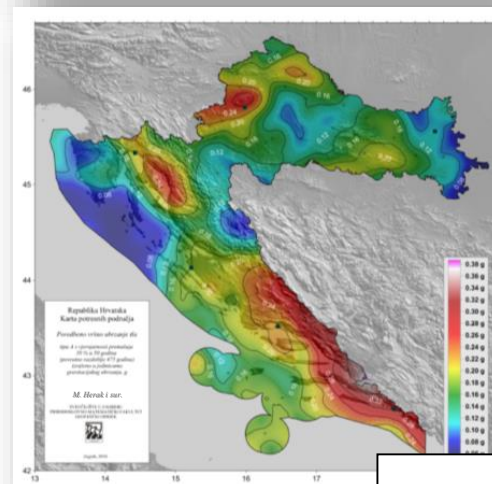
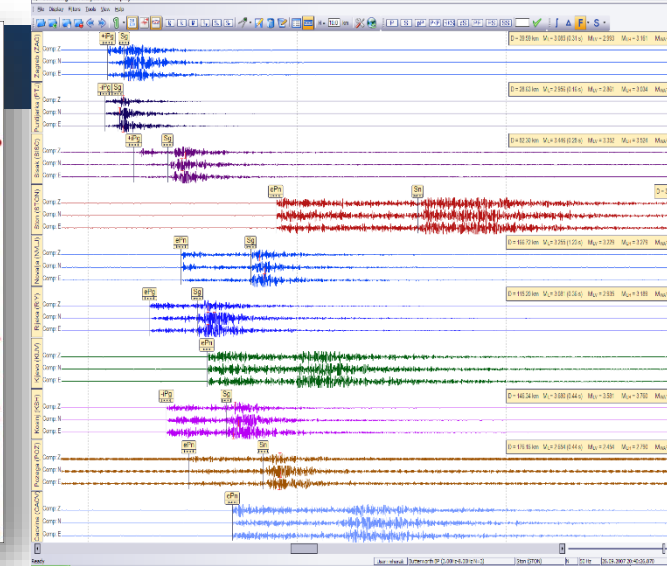
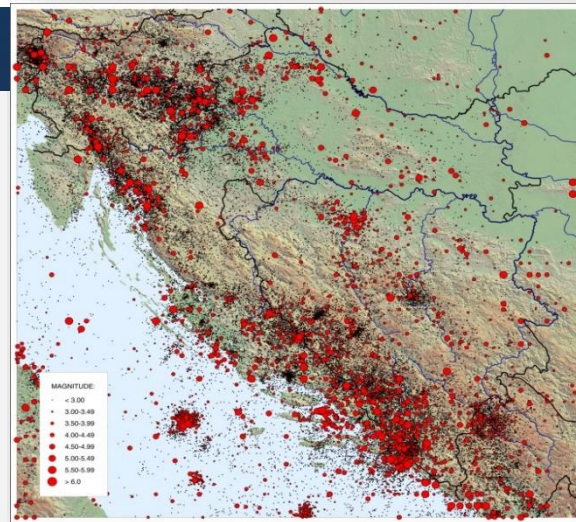
- Opažanjem potresa (mikroseizmičko, makroseizmičko)
- Katalogiziranjem potresa

PRIMJENA

- Procjenom potresne ugroženosti i opasnosti
- Protuseizmičkom izgradnjom

FIZIKA ZEMLJE

- Proučavanjem fizikalnih svojstava Zemljine unutrašnjosti
- Proučavanjem fizikalnih karakteristika seizmičkih izvora

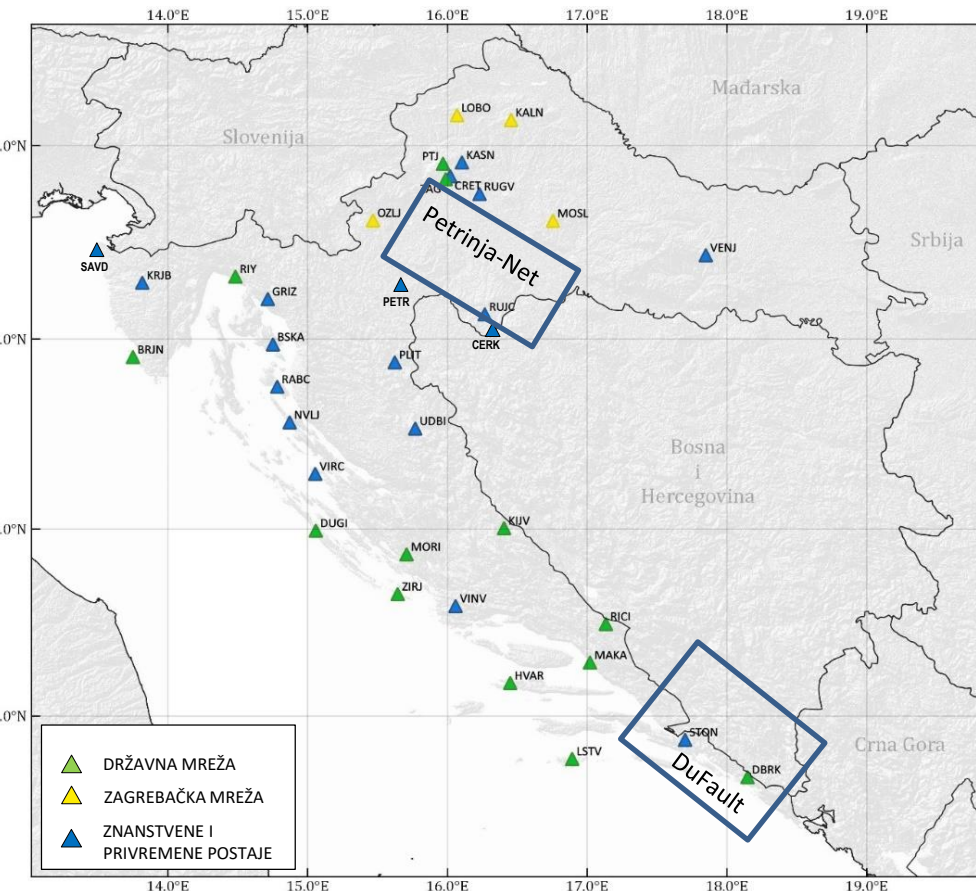
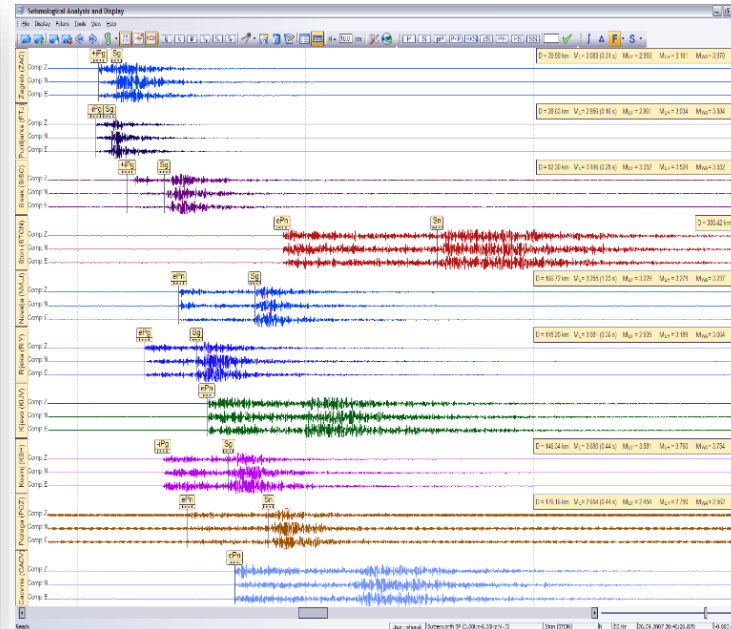
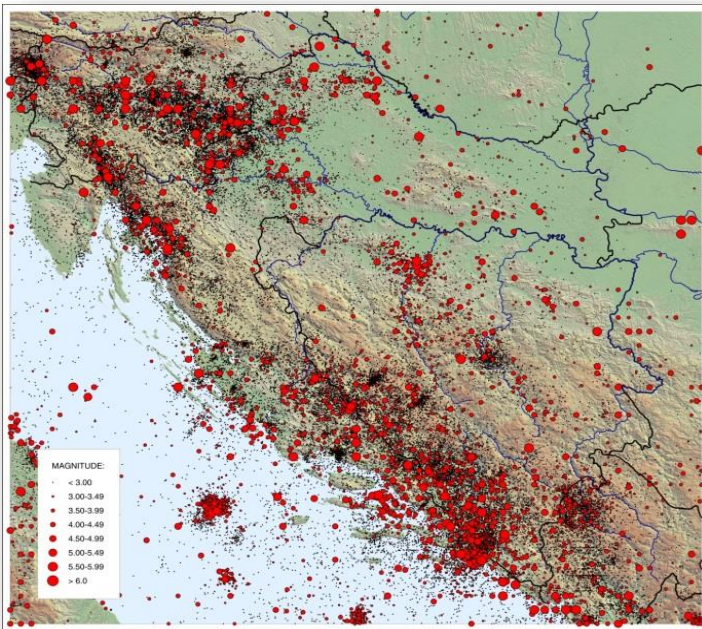


Opažanje i katalogiziranje potresa

- Potresi se opažaju seizmografima, koje se postavljaju na seizmološke postaje.
- U Hrvatskoj postoji DRŽAVNA mreža seizmografa (koju održava **Seizmološka služba**), te
- ZNANSTVENE i druge privremene seizmografske mreže (npr. trenutno **DuFault**, **Petrinja-Net**, **zagrebačka mreža**...)

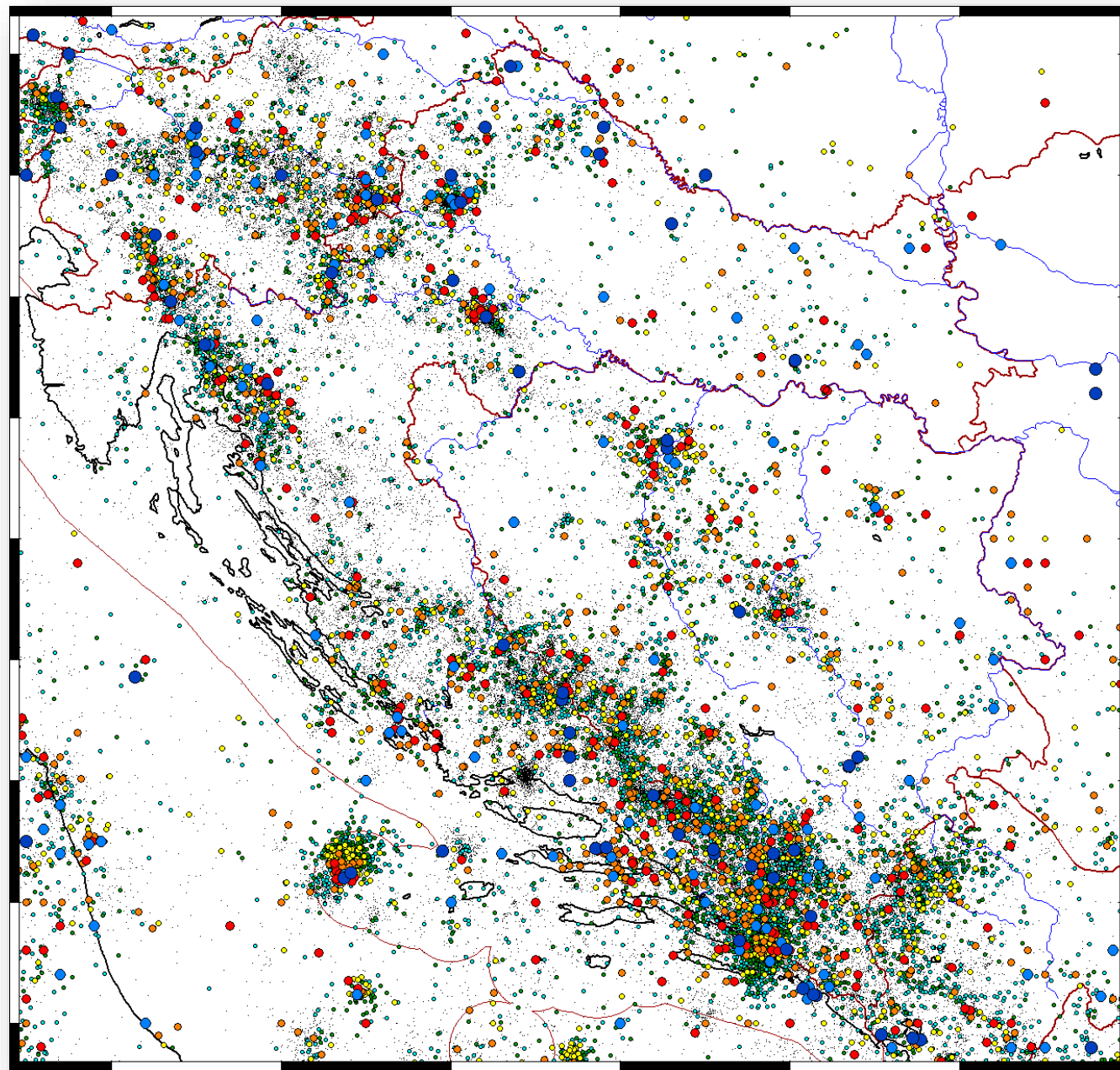
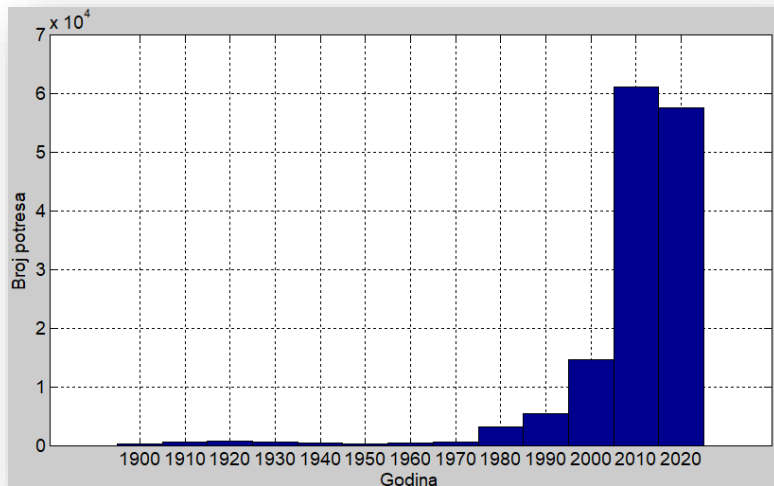


Seizmološka postaja Moslavačka gora (MOSL)



Hrvatski katalog potresa (BCE–2020.)

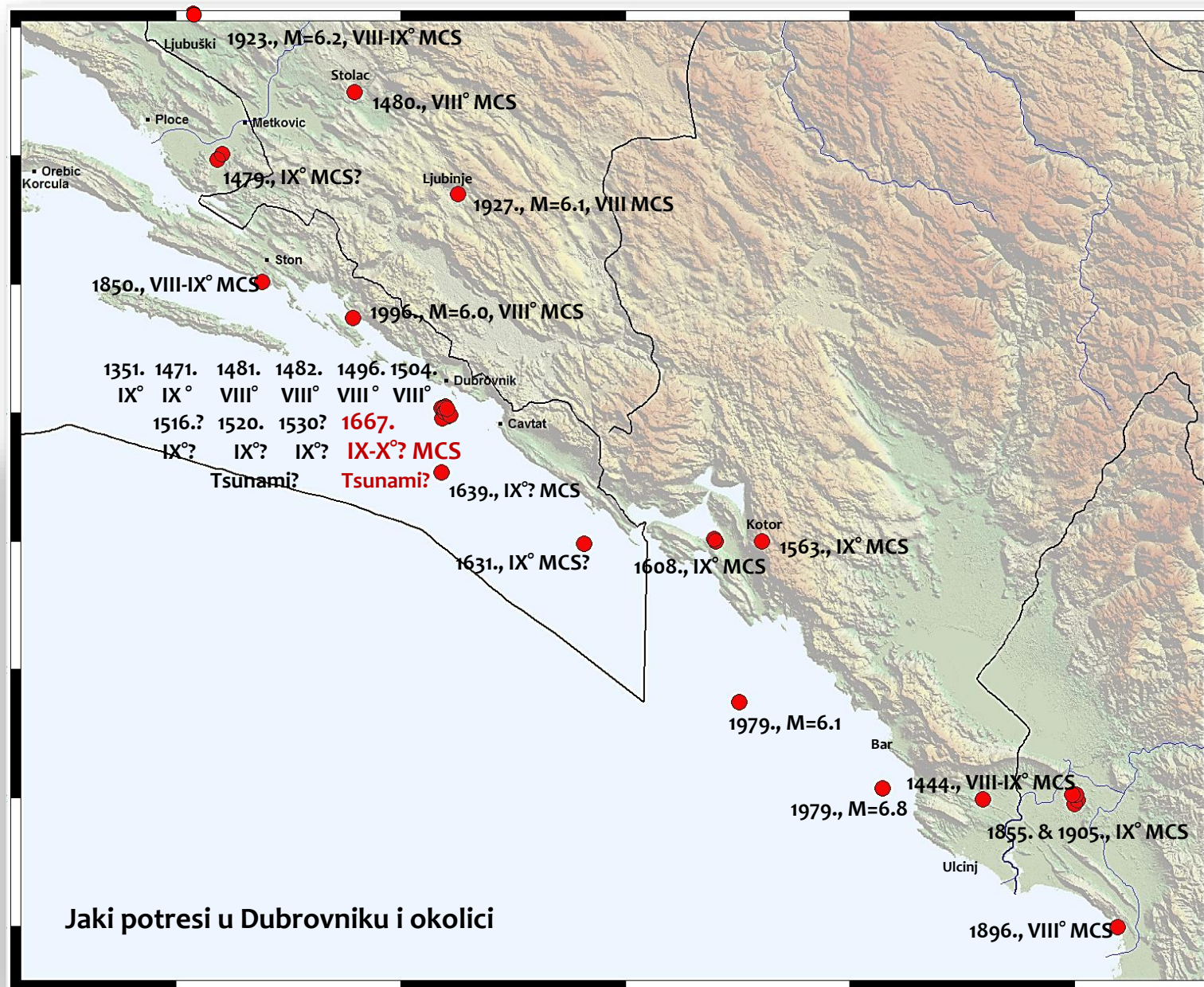
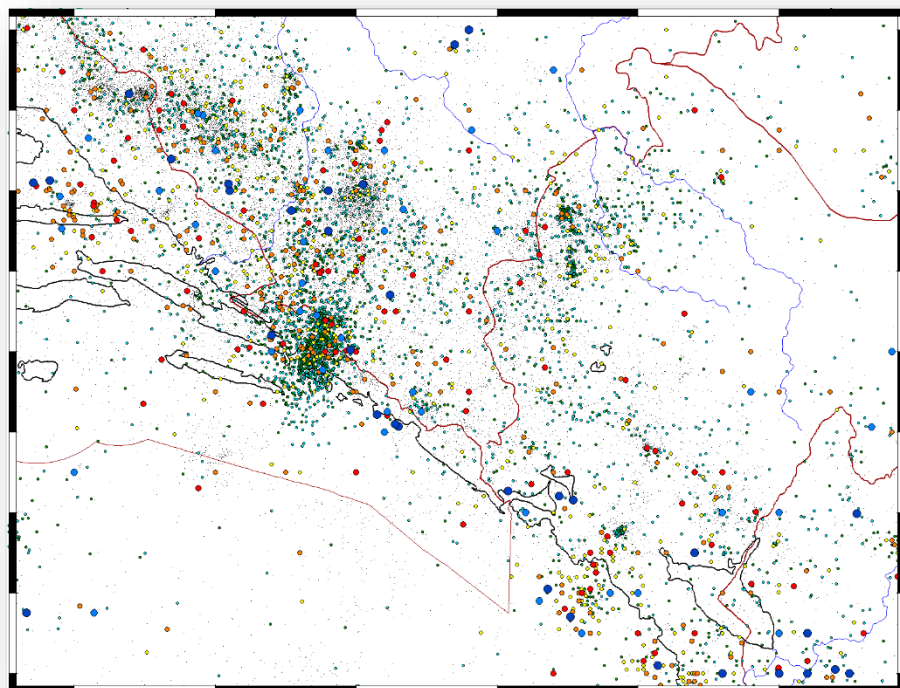
- Sadrži podatke o oko 145.000 potresa
- Samo 1% je u razdoblju prije 1905! To su ipak VRLO važni potresi...
- Karta epicentara jasno pokazuje koja su najaktivnija područja u RH i okolici.



Hrvatski katalog potresa (BCE–2020.)

Šire područje Dubrovnika

- Vrlo aktivno tijekom 15.–17. stoljeća!
- **Aktivnost oko samog Dubrovnika od tada je niska** 😞 ...



POVIJESNI POTRESI – Potres 17. svibnja 1520, 7 sati ujutro – ispod mora, između Dubrovnika i Cavtata

- U Dubrovniku, srušen dio kneževog dvora i neke kuće su teško oštećene. Obnova je koštala 100,000 dukata (za Dubrovnik) i 50,000 dukata za okolicu.
- Razzi (1595.): 20 ljudi je poginulo, Mletački izvori: 156 poginulih i 400 ranjenih (Kišpatić, 1891; Albini, 2004).
(Dominikanac Serafino Razzi proveo je nekoliko godina u Dubrovniku u 16. stoljeću, umro je 1611. u Firenci)
- Mnogo štete u Kotoru, Budvi i Ulcinju (Crna Gora).



Crkva sv. Spasa sagrađena je nakon tog potresa odlukom Senata Dubrovačke Republike, u znak zahvalnosti Bogu, jer nije bilo još većih šteta.

AD AVERTENDAM COELEM IRAM IM
MAXIMO TERRAE TREMORE HANC
SACRAM AEDEM SE.RHA. VOVIT ANNO A
CHRISTI NATALI DIE MDXX SUPRA M.XVI
CAL. JUN. DAN. RHES. ET DAM.MIN.
FACIENDUM CURARUNT ET PE. SEOR

"Za odvratanje nebeskog gnjeva u najvećem potresu dubrovački Senat zavjetovao je ovaj hram godine od Kristova rođenja 1520., 17. svibnja. Za njegovu izgradnju pobrinuli su se Danijel Resti, Damjan Menze i Petar Sorgo."

Potres 28. srpnja 1639. – podmorje ispred Dubrovnika

- Potres je uništio mnoge zgrade u Dubrovniku, a skoro sve ostale su bile teško oštećene (Kišpatić, 1891.).

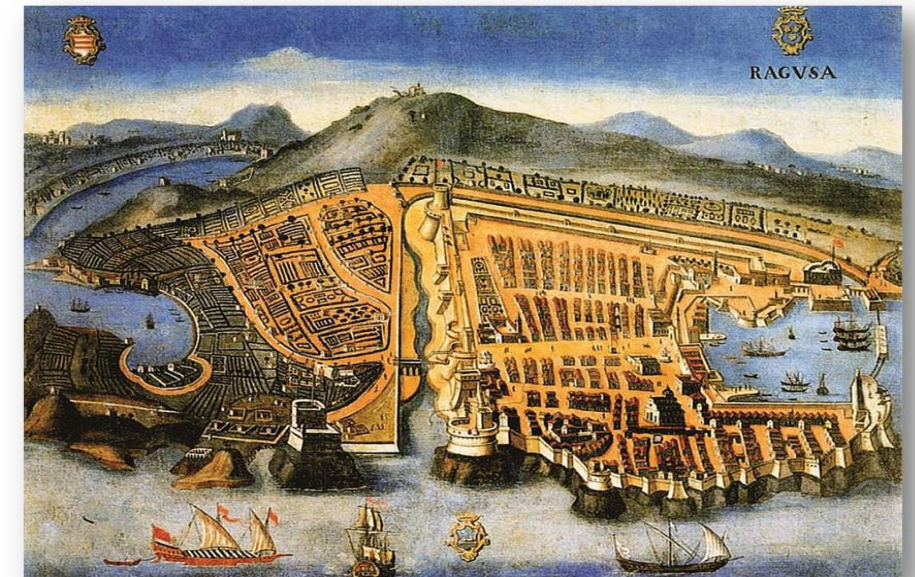
Potres 13. travnja 1850. – okolica Stona

- Kišpatić (1892.) navodi da je prema službenom izvješću u Stonu, 5 zgrada srušeno, 25 djelomično srušeno, 27 se mora srušiti zbog oštećenja. 85 zgrada je lakše oštećeno. Svega 10 objekata je ostalo neoštećeno. Puno ljudi je ranjeno i jedna je osoba poginula.

Velika trešnja 6. travnja 1667. – Velika srijeda ...



Dubrovnik prije potresa
6. travnja 1667.



Giovanni Battista Fabri, idealizirani prikaz Dubrovnika prije potresa 1667., iz 1763. g.
(<http://leksikon.muzej-marindrzic.eu/dubrovacka-republika/>)

6. travnja 1667. godine:

- Bilo je mirno proljetno jutro,
- Puhao je lagani južni vjetar,
- Vlastelini su ispred Dvora čekali da knez završi s molitvom u dvorskoj kapeli i da započne sjednica Velikoga vijeća, ...

- ... u 8:45 stijene u dubini Zemljine kore više nisu mogle izdržati deformacije uzrokovane konvergencijom Jadranske mikroploče i Dinarida ...

- **Začula se tutnjava i istovremeno se osjetio jak udarac odozdo,**
- **Kuće su se rušile,**
- **Sa Srđa su se uz tutnjavu kotrljale gromade prema Gradu,**
- **U tlu su nastale pukotine,**



- **Bunari su presušili,**
- **Izvori su izbacivali žutu masu i zatim presušili,**
- **Vodovod je prekinut,**
- **S mora se čula grmljavina kao od topova,**
- **Gusta je prašina prekrila Grad...**

Velika trešnja 6. travnja 1667.



(<http://www.slobodnadalmacija.hr/scena/showbizz/clanak/id/308383/zanima-vas-kako-je-izgledao-potres-koji-je-1667-razorio-dubrovnik-evo-ovako>)

- Potres je trajao relativno kratko – koliko da se izgovori očenaš – **oko 15 sekundi**.
- Nakon potresa buknuili su **požari** iz otvorenih ognjišta u kućama. Uskoro je zapuhao i vrlo jak vjetar sjevernih smjerova koji ih je raspirivao. Požari su trajali dugo, možda čak 20 dana, te su nanijeli vjerojatno i više štete od potresa.
- Osjetio se od Skadra do Šibenika s najmanjim intenzitetom od VI^o MCS ljestvice. U tom je području bilo šteta od potresa.
- U Gradu bijahu srušene **katedrala, nadbiskupski dvor, Collegium Ragusinum, veliki dio Kneževa dvora, Vijećnica, Onofrijeva česma**, brojne zgrade za javnu namjenu i privatne palače i kuće.
- U kratkoj trešnji pod ruševinama u Dubrovniku ostalo je **nekoliko tisuća ljudi**.

Velika trešnja 6. travnja 1667.

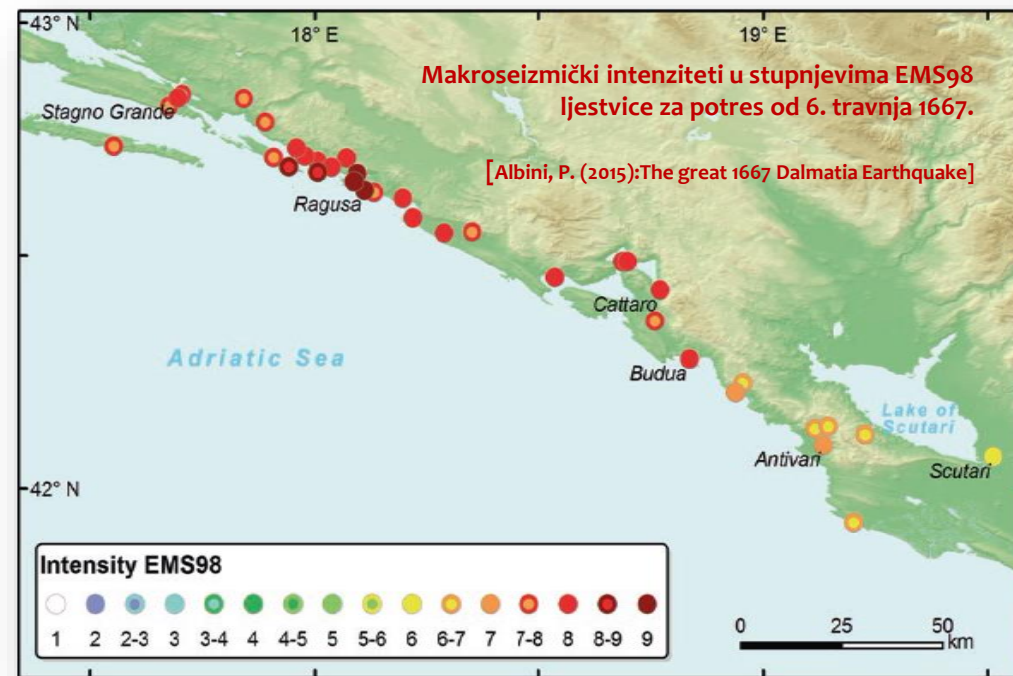


Pustijerna

- Najviše oštećeni dijelovi Dubrovačke Republike bili su sam **Grad (unutar zidina, naročito Stradun i dijelovi grada oko njega), Gruž, Rijeka Dubrovačka, Mokošica i Rožat.**
- Makroseizmički intenzitet u tim mjestima procjenjujemo na IX° (ako ne i IX°–X° MCS ljestvice).
- **Teško je oštećeno cijelo područje od Stona do Cavtata, zajedno s naseljima na otocima Lopudu i Koločepu, osim Malog Stona, Slanog, Podgore, Šipana i Mljeta, gdje su štete bile manje.**

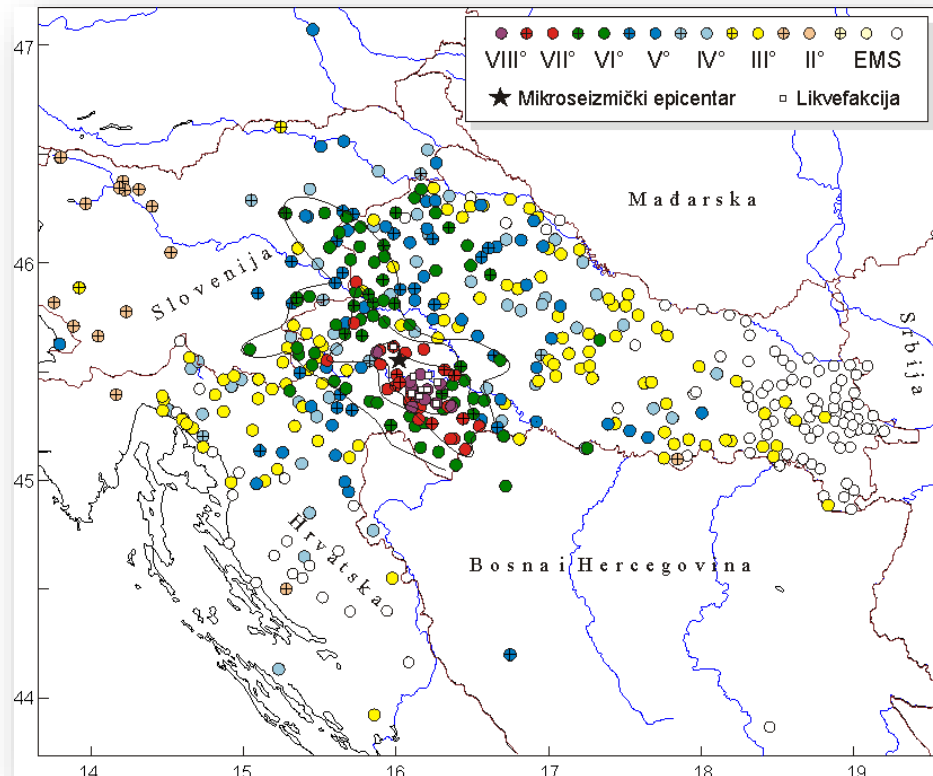
Potres je izazvao rušenja u Boki Kotorskoj i Crnogorskom primorju.

- U **Kotoru** je poginulo oko 150 osoba, uz ogromnu materijalnu štetu jer je većina kuća bila ili srušena ili teško oštećena.
- U **Budvi** je poginulo 70 osoba, bilo je porušeno oko tri petine svih zgrada, te se obala osjetno nagnula prema moru.
- U **Herceg Novom** porušene su skoro sve zgrade, ali bez ljudskih žrtava.
- U **Perastu i na dva otočića** ispred njega bilo je oko 40 poginulih.
- **Ulcinj i Bar** također su pretrpjeli znatne štete.



Intenzitet potresa

- Jačina potresa na nekom mjestu može se opisati i (makroseizmičkim) intenzitetom – ljestvicom koja opisuje učinak potresne trešnje na površini Zemlje.
- Učinci se klasificiraju prema jačini podrhtavanja kako ga percipira čovjek, ponašanju objekata u njegovoj okolini, oštećenju zgrada i drugih objekata ili utjecaju na okoliš.



Stupanj	Naziv potresa	Kratki opis karakteristika ljestvice MCS
I°	Nezamjetljiv	Bilježe ga jedino seizmografi.
II°	Jedva osjetan	Osjeti se samo u gornjim katovima visokih zgrada.
III°	Lagan	Tlo podrhtava kao kad ulicom prođe automobil.
IV°	Umjeren	Prozorska okna i staklenina zveče kao da je prošao težak teretni automobil.
V°	Prilično jak	Njišu se slike na zidu. Samo pojedinci bježe na ulicu.
VI°	Jak	Slike padaju sa zida, ormari se pomiču i prevrću. Ljudi bježe na ulicu.
VII°	Vrlo jak	Ruše se dimnjaci, crjepovi padaju sa krova, kućni zidovi pucaju.
VIII°	Razoran	Slabije građene kuće se ruše, a jače građene oštećuju. Tlo puca.
IX°	Pustošni	Kuće se teško oštećuju i ruše. Nastaju velike pukotine, klizišta i odroni zemlje.
X°	Uništavajući	Većina se kuća ruši do temelja, ruše se mostovi i brane. Izbija podzemna voda.
XI°	Katastrofalan	Srušena je velika većina zgrada i drugih građevina. Kidaju se i ruše stijene.
XII°	Veliki katastrofalan	Do temelja se ruši sve što je čovjek izgradio. Mijenja se izgled krajolika, rijeke mijenjaju korito, jezera nestaju ili nastaju.

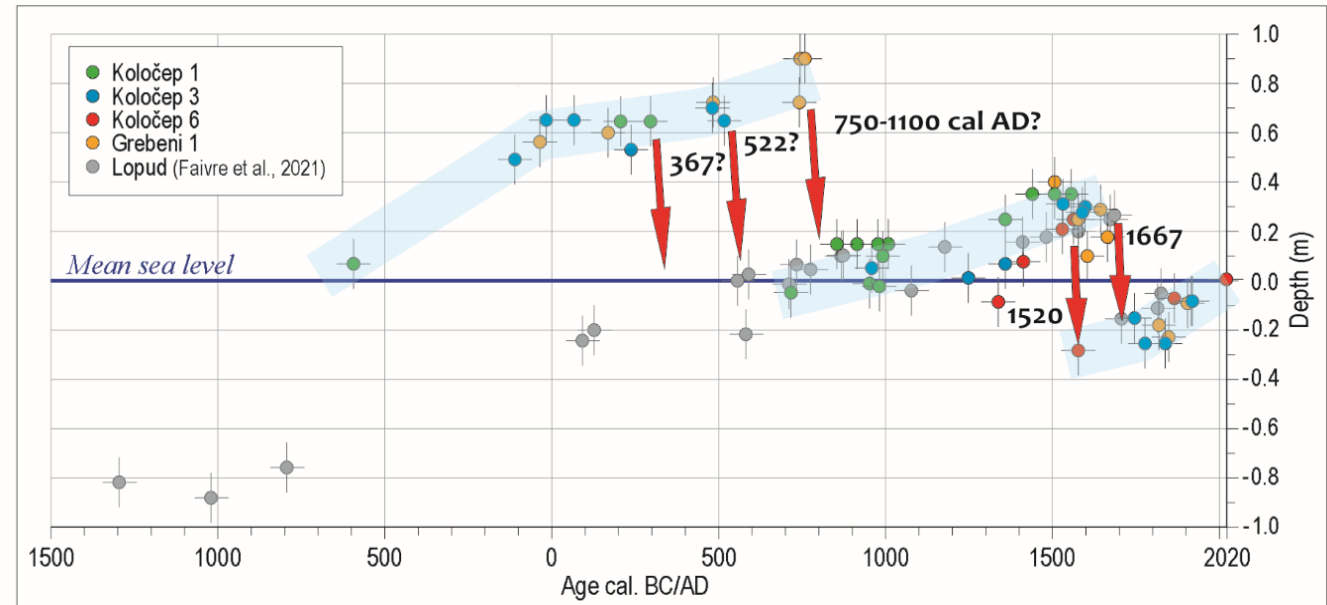
Intenzitet potresa – povijesni potresi

Intenzitet se procjenjuje:

- Obilaskom terena,
- Upitnicama (poštanskim ili elektronskim),

a za stare, povijesne potrese:

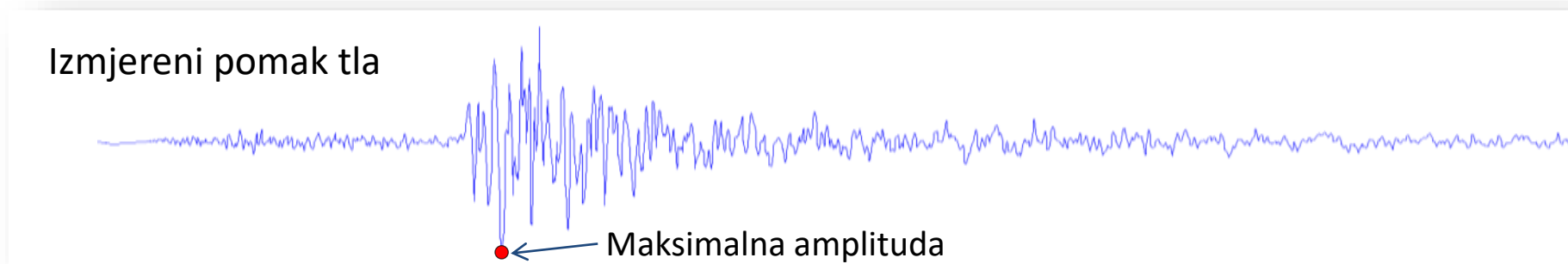
- pretragama povijesnih arhiva, starih novina, proučavanjem arheoloških iskopina...,
- analizom **bioloških markera** – rupe prstaca (A), rubovi algi *Lithophyllum byssoides* (B), ili
- analizom **plimnih potkapina** (D, E, F).



Favre et al. (2021)

Magnituda – mjera ENERGIJE koja se oslobodi u žarištu potresa.

Magnituda se određuje na temelju instrumentalnih mjerenja, sa seizmograma potresa.

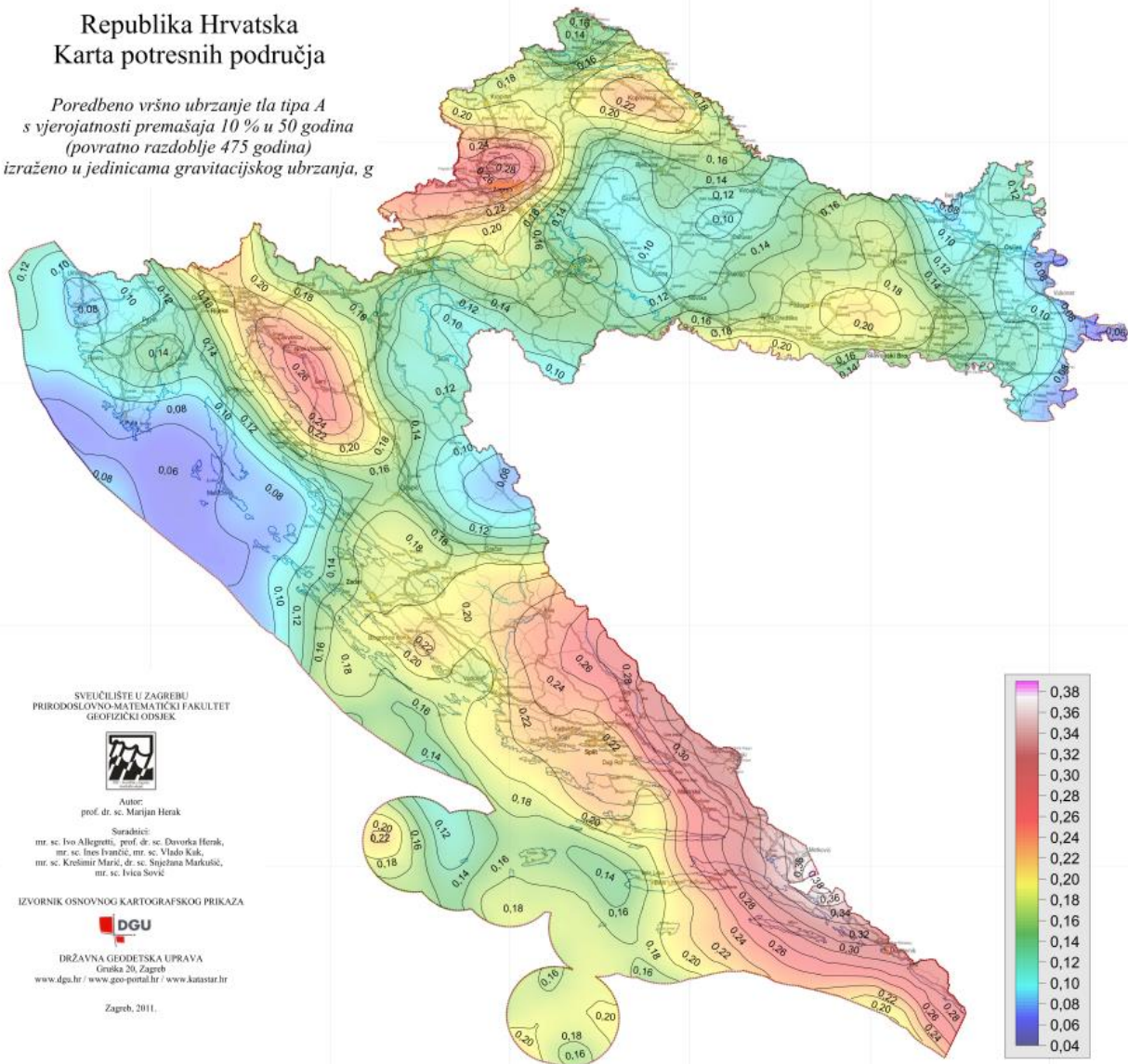


- Svaki potres ima magnitudu koju se odredi na temelju mjerenja s jedne ili (bolje) s većeg broja seizmoloških postaja. Magnituda je to veća što je veća duljina uzročnoga rasjeda i što je po njemu tijekom potresa veći pomak.
- Magnituda prema Richteru se izražava brojem koji odozdo nije ograničen (postoji npr. magnituda = -2.5), ali je odozgo ograničena sposobnošću stijena da akumuliraju energiju, te fizički mogućom duljinom rasjeda ($\approx M < 9.6$).
- Magnitudu *Velike trešnje* 1667. možemo procijeniti na 6.8–7.2 prema Richteru.

Seizmičnost i potresna opasnost

Republika Hrvatska Karta potresnih područja

Poredbeno vršno ubrzanje tla tipa A
s vjerojatnosti premašaja 10 % u 50 godina
(povratno razdoblje 475 godina)
izraženo u jedinicama gravitacijskog ubrzanja, g



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIPRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
GEOFIZIČKI ODSJEK



Autor:
prof. dr. sc. Marijan Herak

Saradnici:
mr. sc. Ivo Allegretti, prof. dr. sc. Davorinka Herak,
mr. sc. Ines Ivančić, mr. sc. Vlado Kalač,
mr. sc. Krešimir Marčić, dr. sc. Snežana Markušić,
mr. sc. Ivica Sović

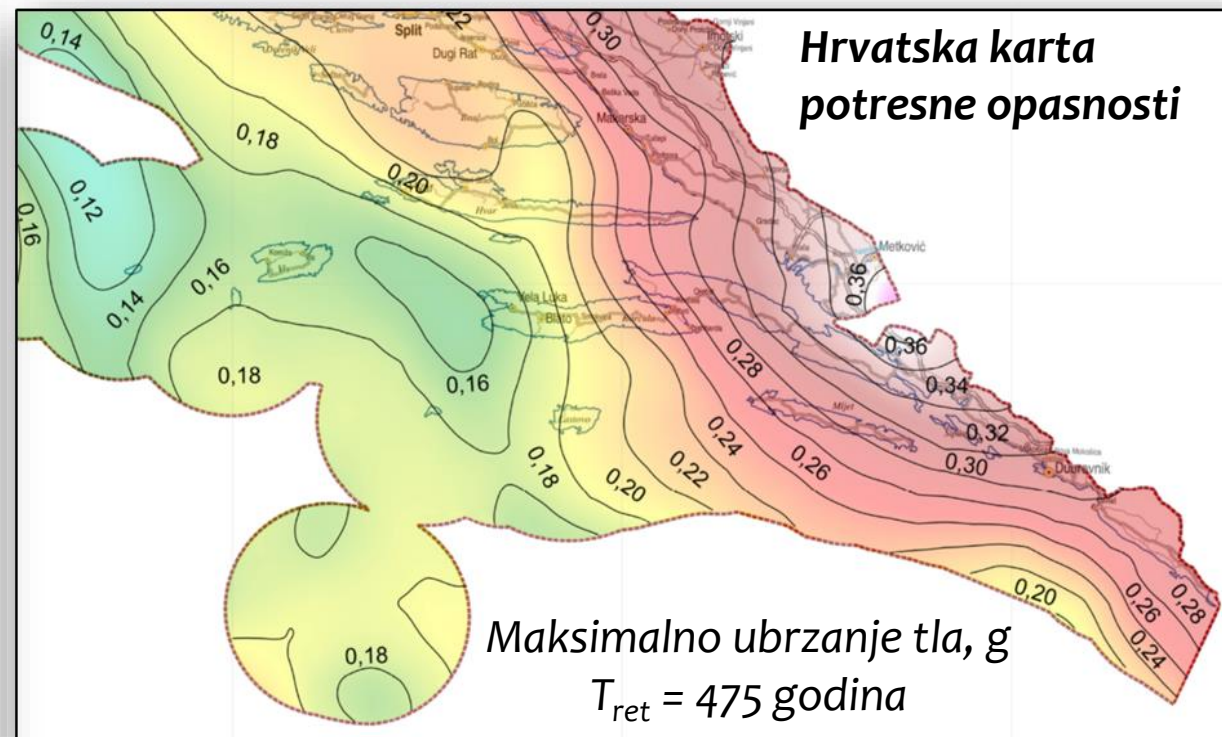
IZVORNIK OSNOVNOG KARTOGRAFSKOG PRIKAZA



DRŽAVNA GEODETSKA UPRAVA
Grička 20, Zagreb
www.dgu.hr / www.geoportal.hr / www.katastar.hr

Zagreb, 2011.

Hrvatska karta potresne opasnosti

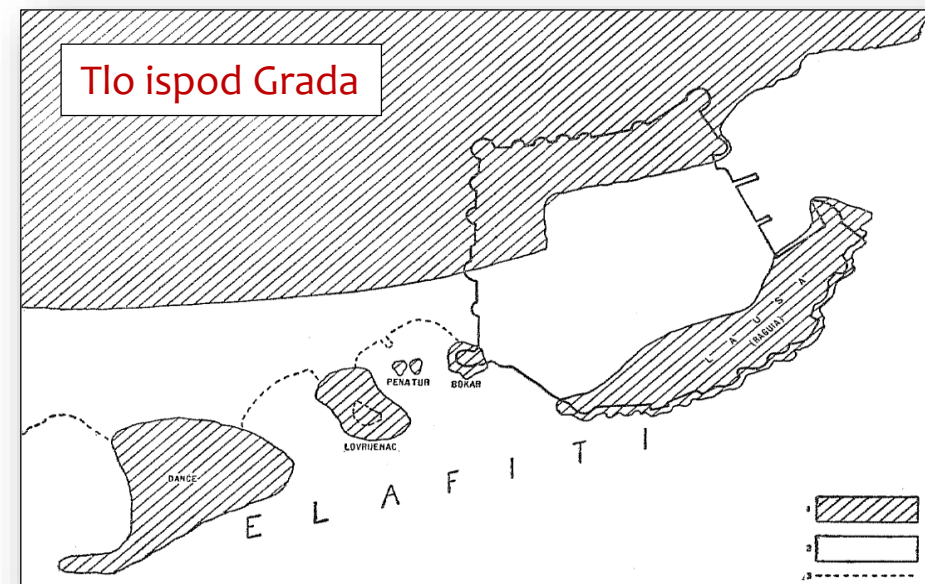
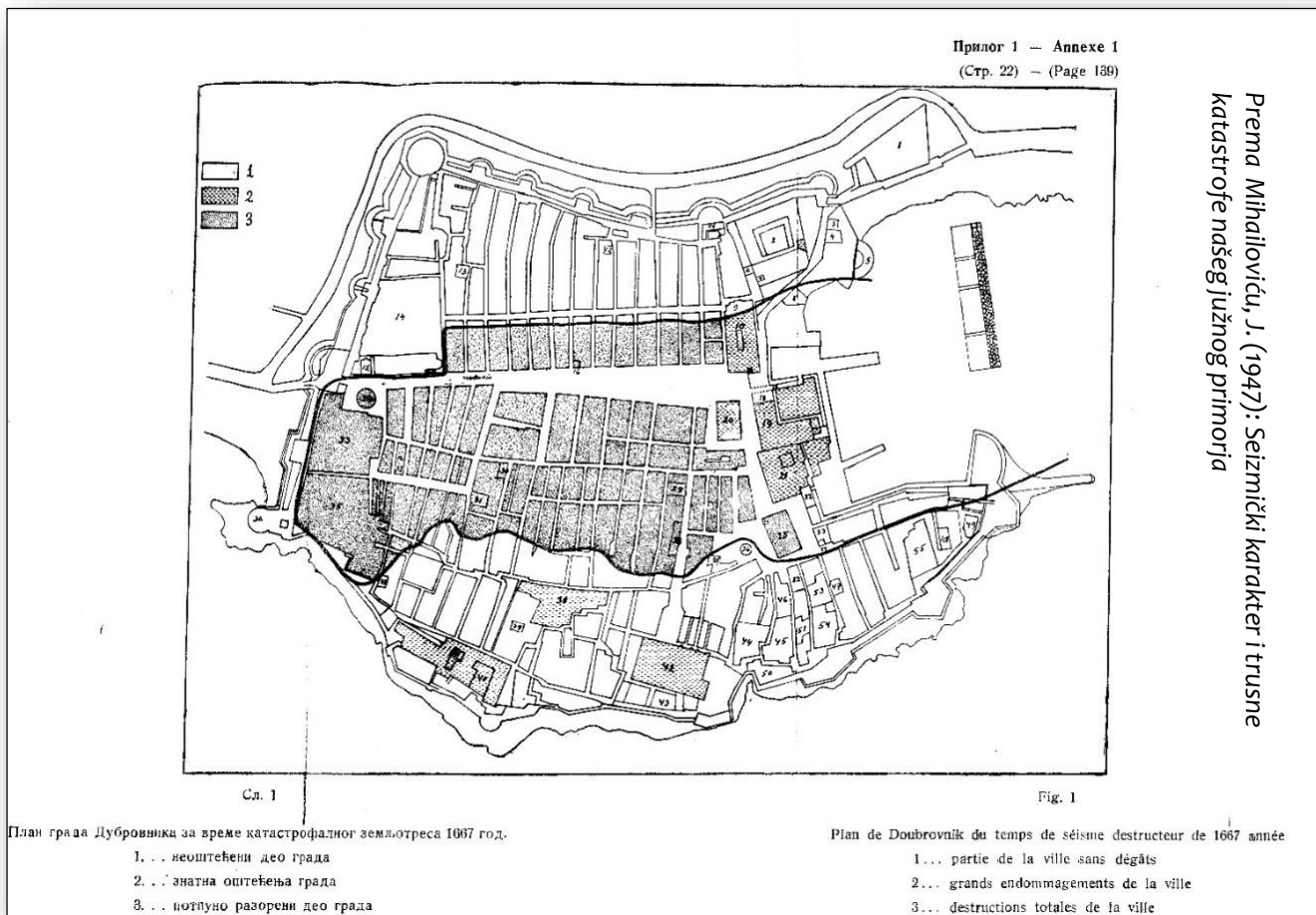


Maksimalno ubrzanje tla, g
 $T_{ret} = 475$ godina

- Vrlo visoka potresna opasnost (hazard), ali u Dubrovniku je **manja** nego kod Metkovića!
- Je li tomu uzrok što je aktivan ‘seismic gap’?
- Ovo se odnosi na **osnovnu stijenu!**

Zašto su štete u Dubrovniku 1667. bile tako velike?

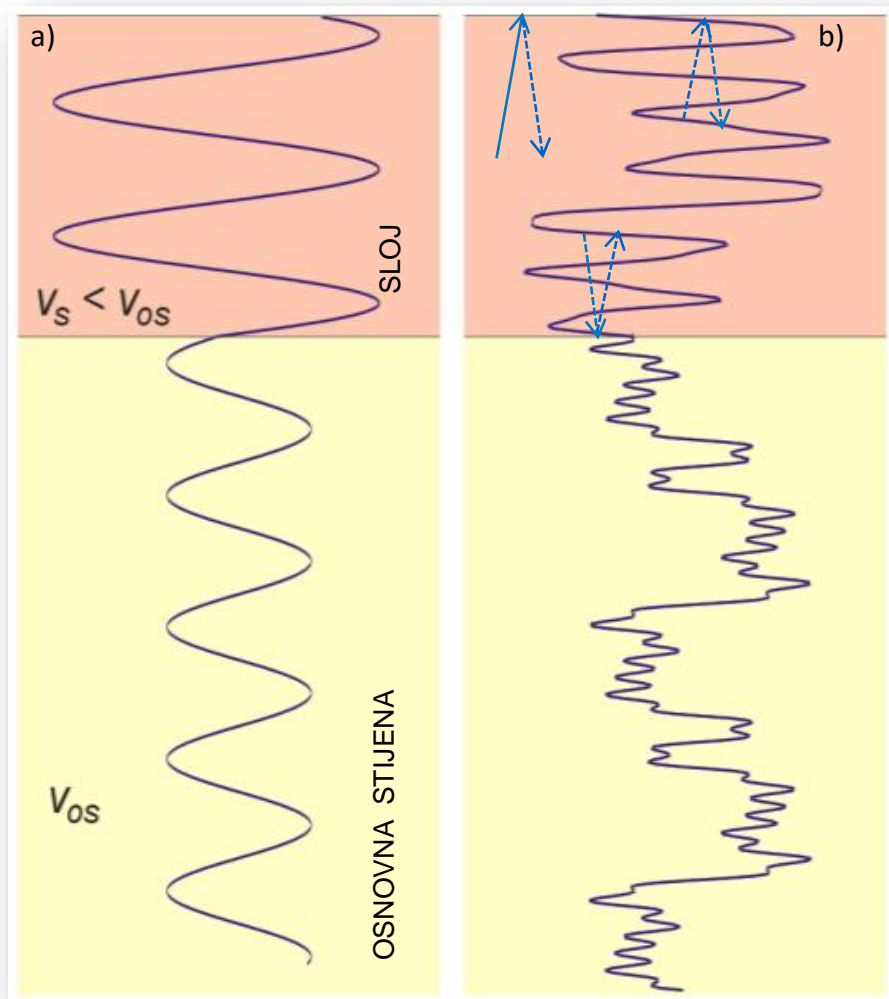
- Nisu bili (jako) oštećeni oni objekti koji su sagrađeni na stijenama, malim otocima ili drvenim pilonima (poput tornja sa satom).



1. čvrsto tlo; 2. more (nasip);
3. temelji fortifikacijskih zidina
(Mihailović, 1947).

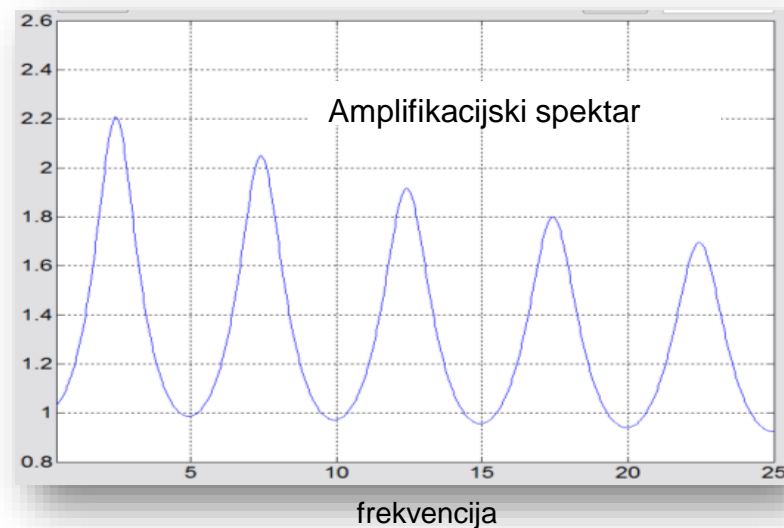
- Najveće štete su bile tamo gdje je nasuto more!**

Osnovna karta odnosi se na razinu osnovne stijene – to znači da očitani iznosi ne govore ništa o hazardu na površini (osim ako je osnovna stijena na površini)!



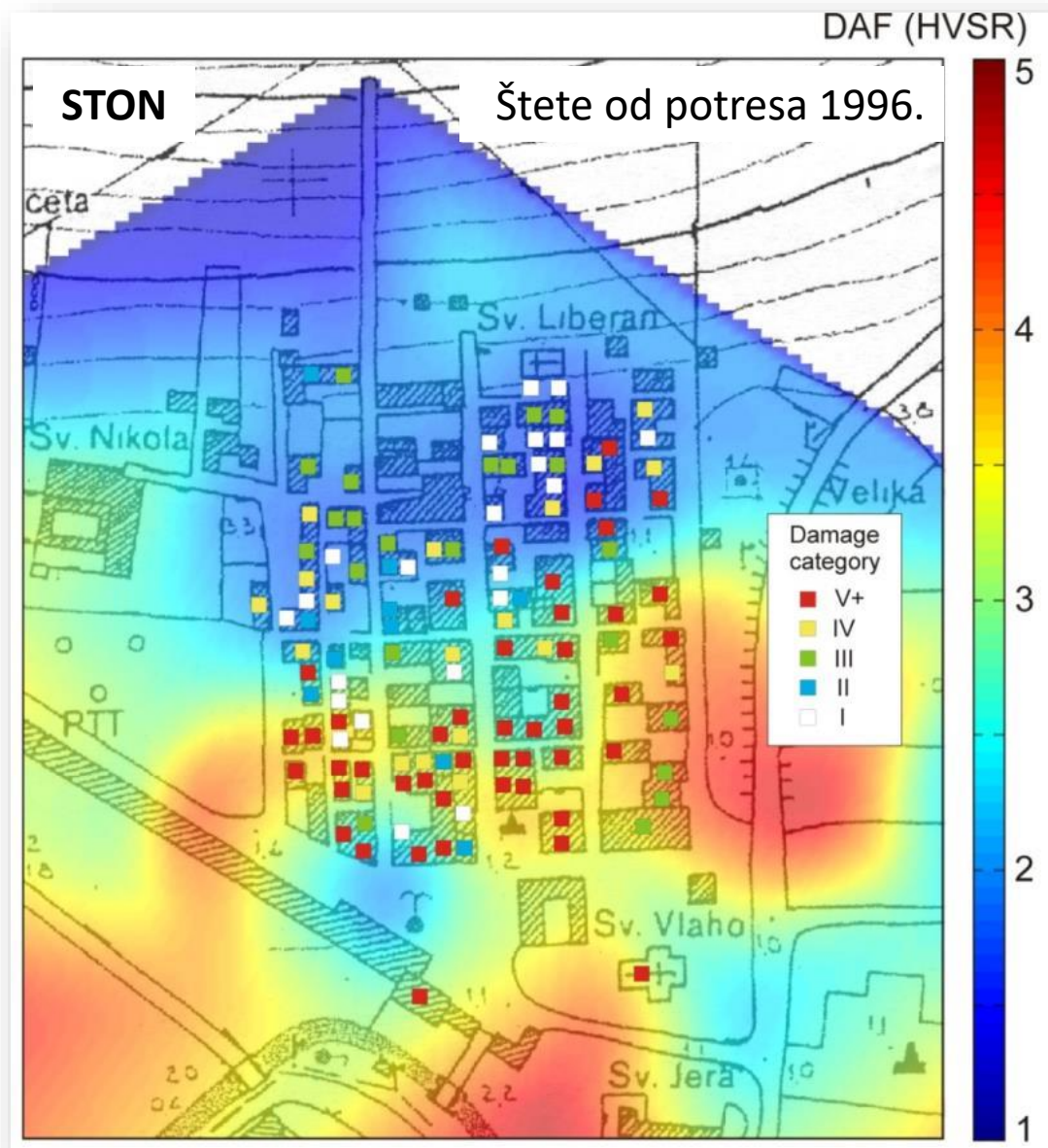
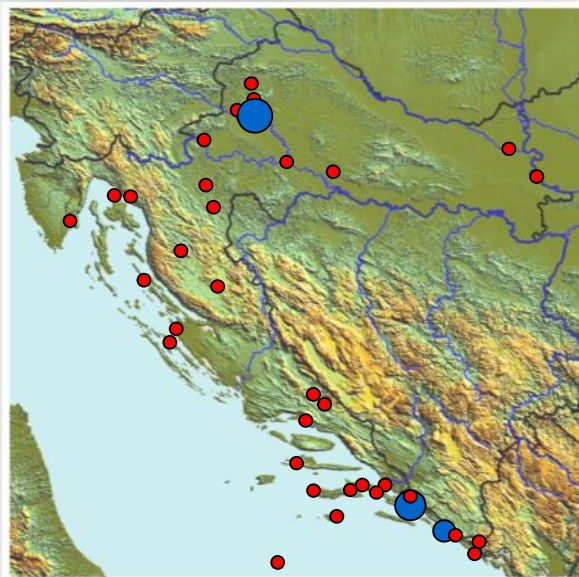
Kako se naše građevine nalaze na površini (ili imaju temelj na nekoj dubini), važno je za svaku mikrolokaciju procijeniti kako će površinski slojevi tla mijenjati svojstva trešnje tijekom potresa.

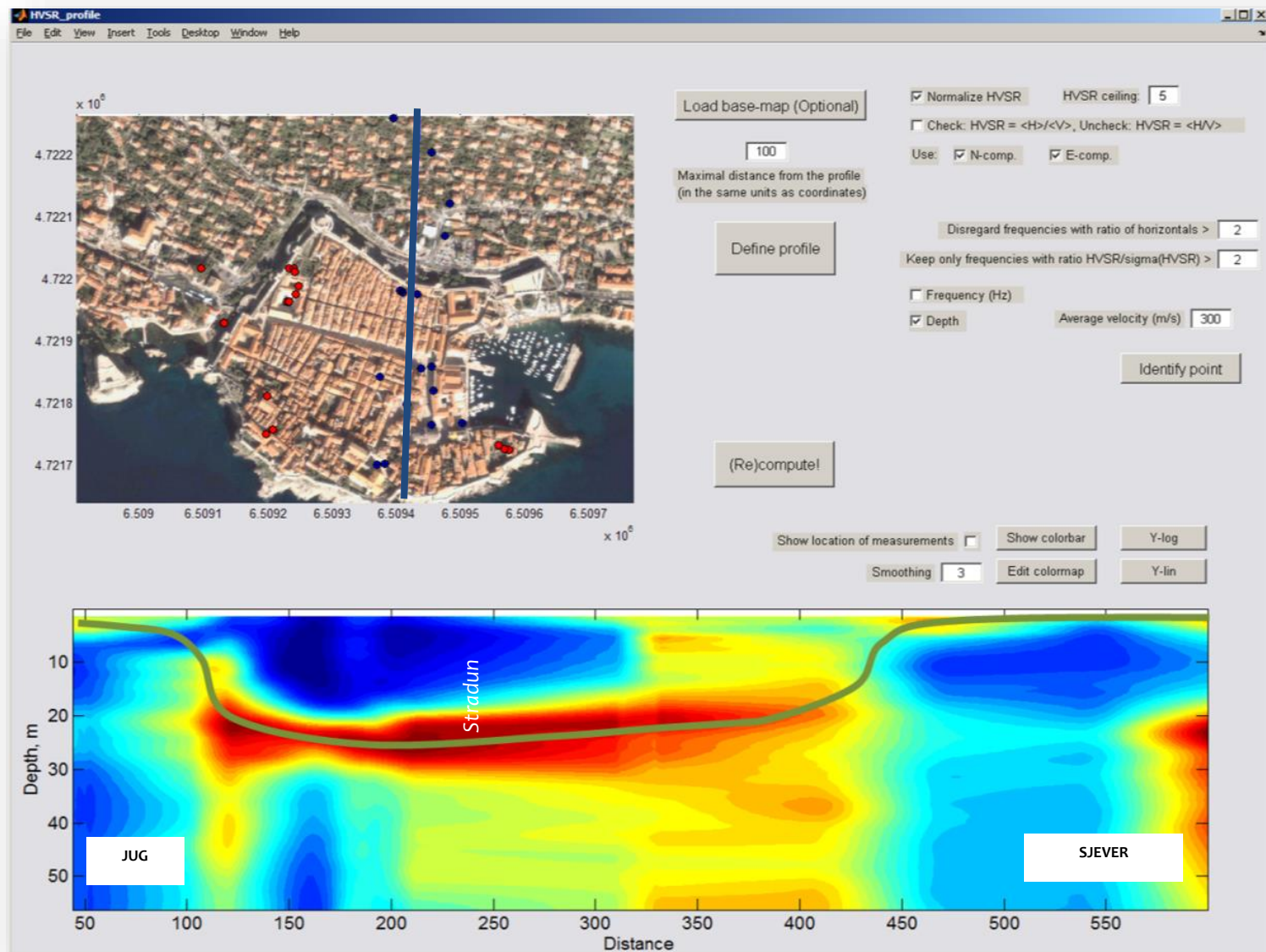
Slojevi tla će neke **PERIODE** potresnih valova **POJAČAVATI**.
Ti se periodi zovu **VLASTITI PERIODI TLA**.



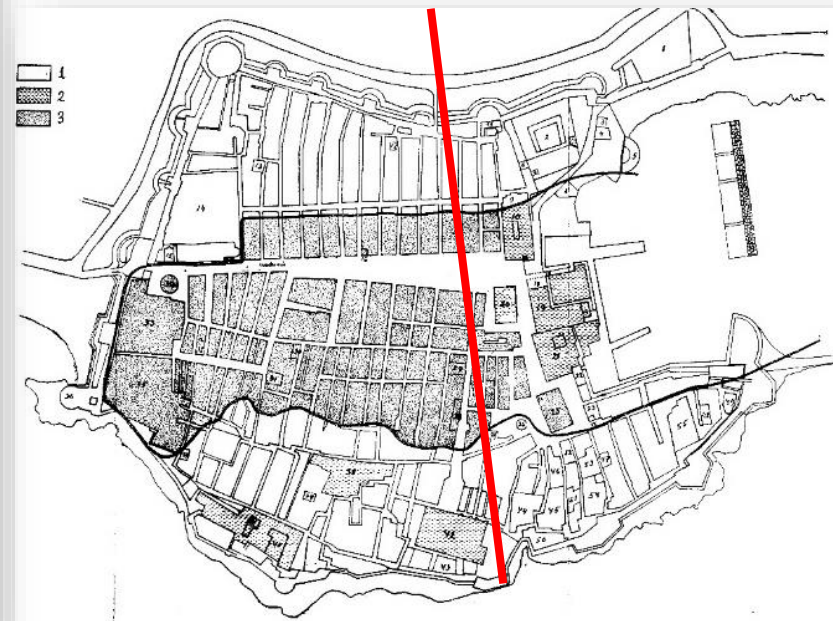
Procjena amplifikacije - MIKROZONIRANJE

- **Mikrozoniranje** se provodi različitim metodama mjerenja. Npr., mjerenje mikroseizmičkog nemira (HVSJ), MASW, ...



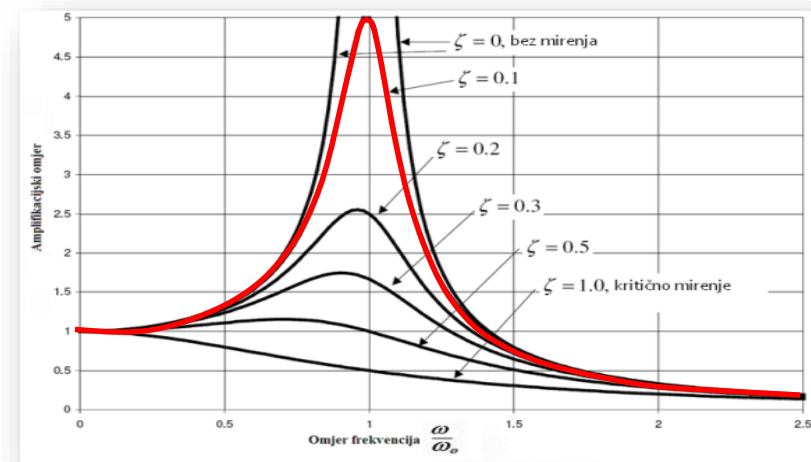
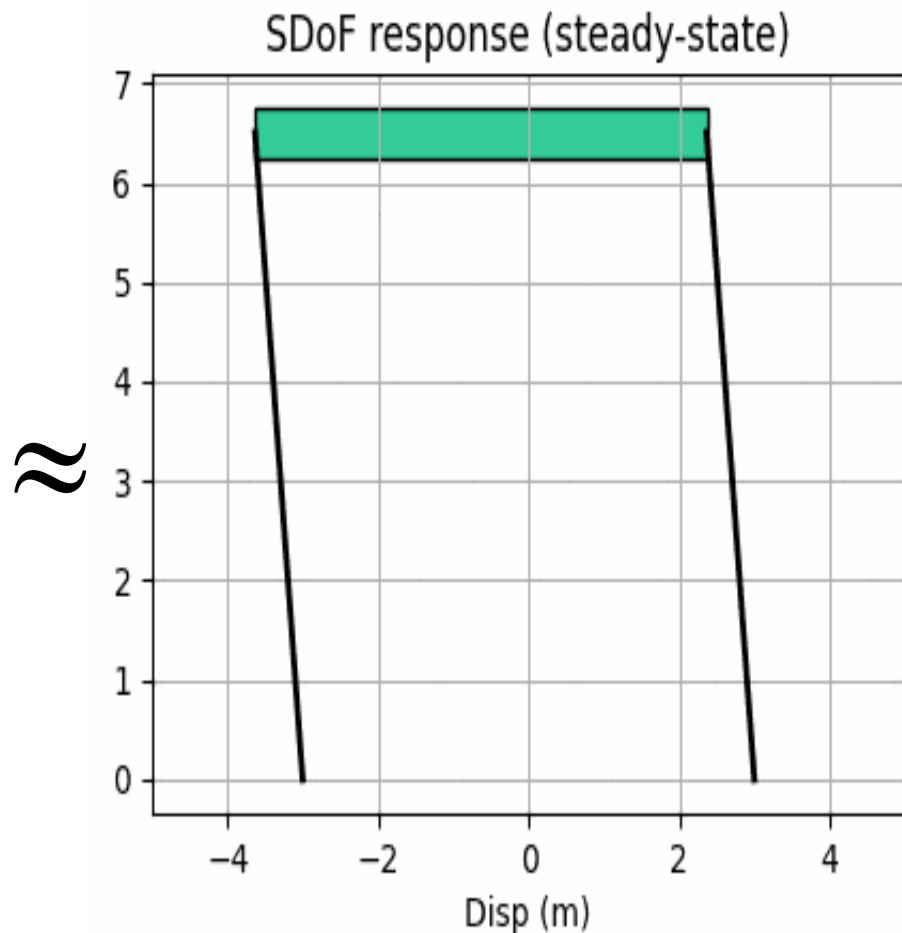


Projekt M.E.E.T.I.N.G. (2007-2008)

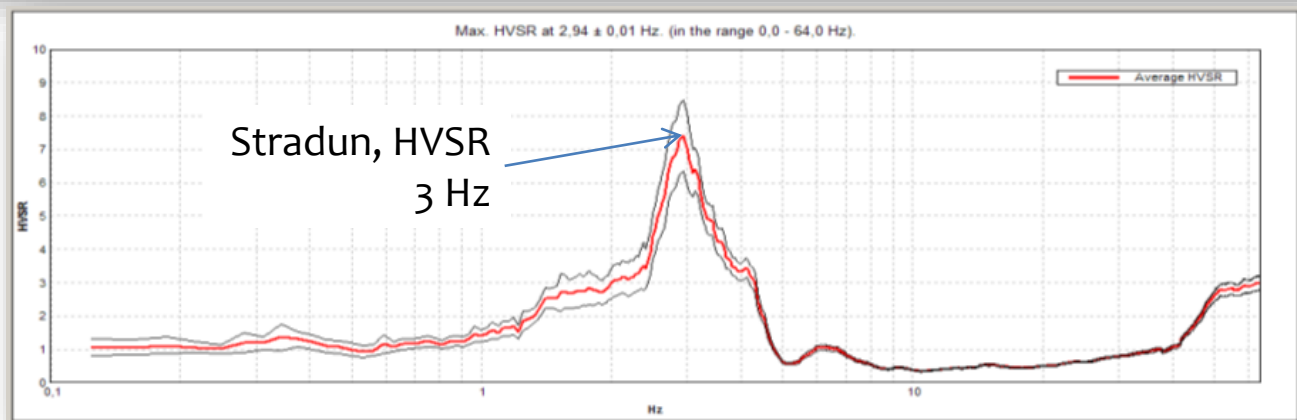
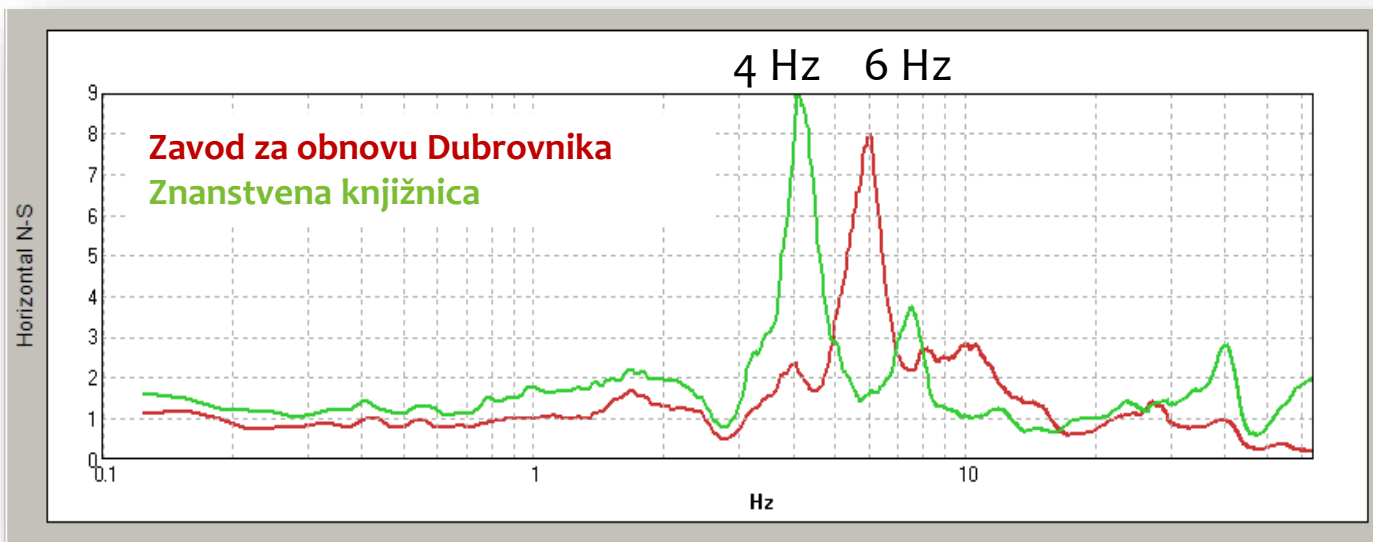


- Jasno određena dubina stijene vrlo jeftinim mjerenjima!

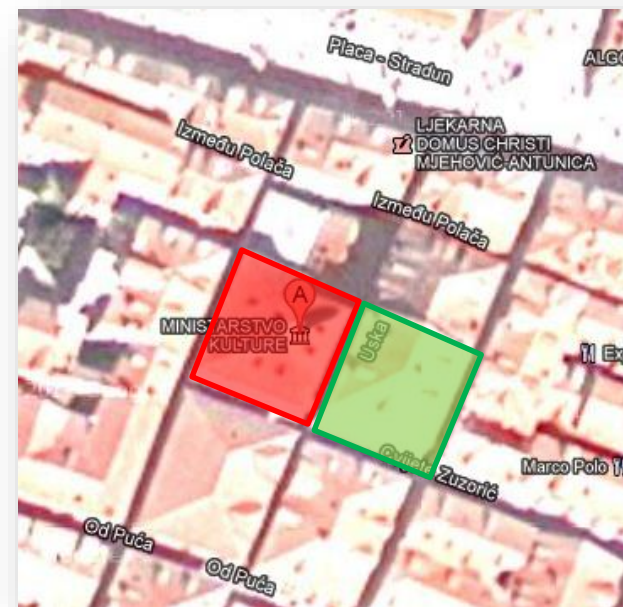
Samostojeće građevine se vrlo dobro mogu aproksimirati jednostavnim njihalom čija svojstva određuju **vlastiti period zgrade (T)** i koeficijent prigušenja (ζ).



Ako je period potresne pobude blizak vlastitom periodu zgrade (i/ili tla!) → **REZONANCIJA!**

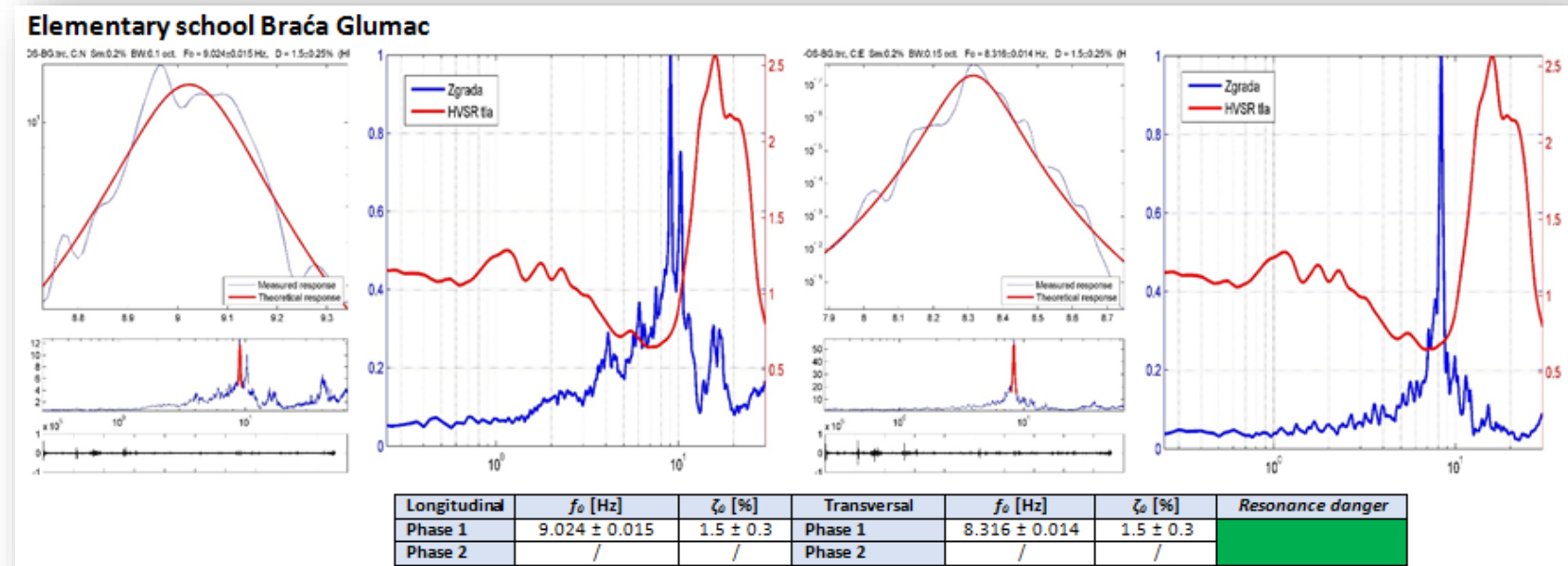
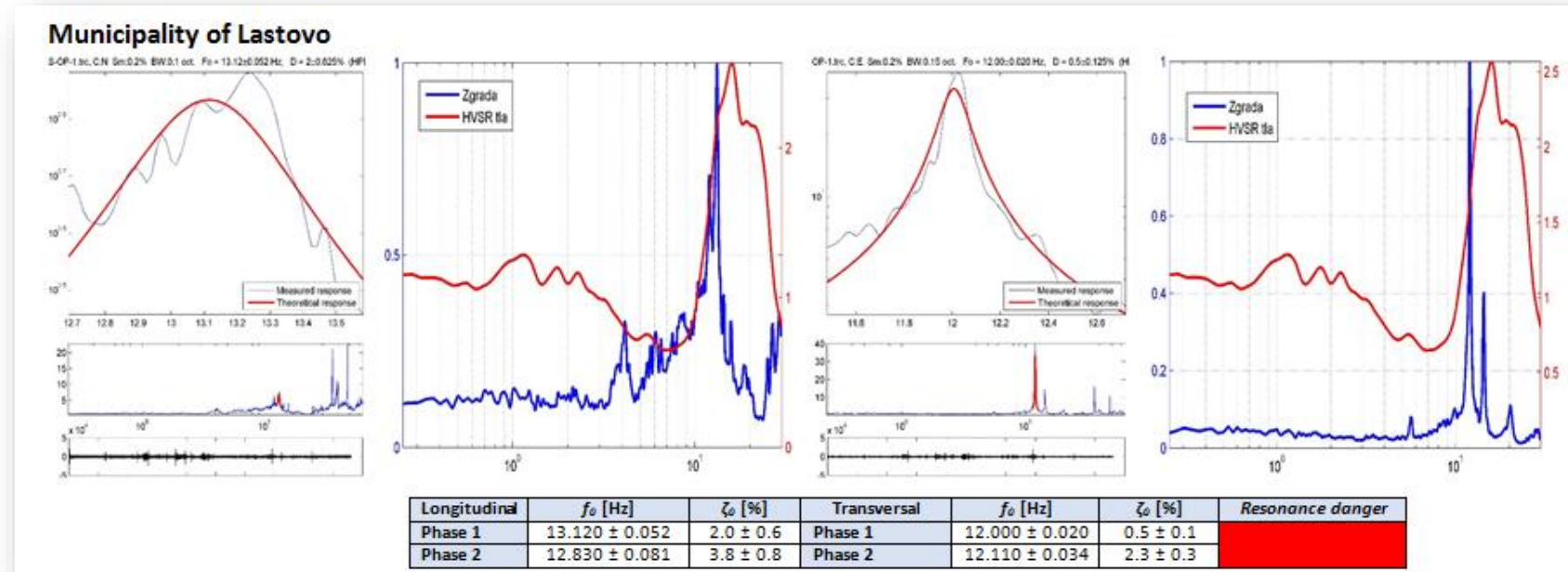


Dvije praktički jednake zgrade, ali je **Zavod za obnovu Dubrovnika ojačan** – zgrada je sada kruća, i ima višu osnovnu frekvenciju!



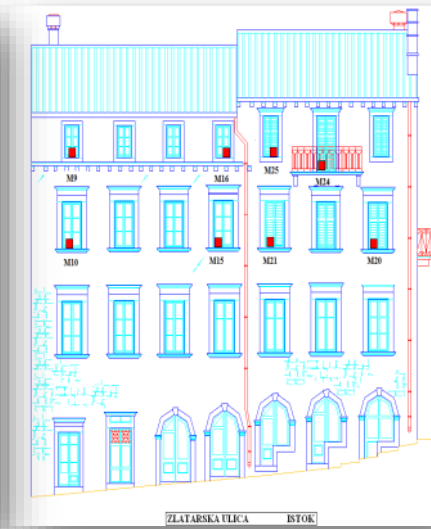
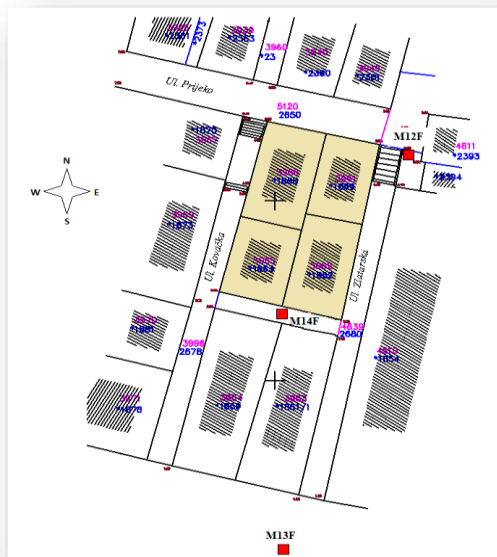
Amplifikacijski spektar tla ima maksimum na oko 3 Hz →

→ **zgrada Zavoda za obnovu Dubrovnika je sigurnija od rezonancije jer je njezina frekvencija (sada 6 Hz) dalje od frekvencije temeljnog tla (3 Hz)!**

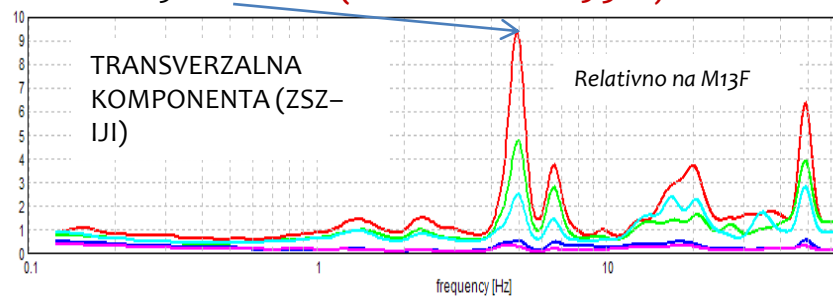


Mjerenja u 30 javnih zgrada po cijeloj županiji...

Protupotresne sanacije zgrada – Blok 18

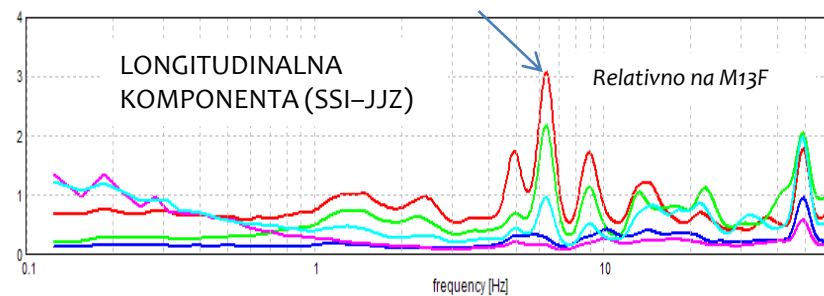


5.0 Hz = 0.20 s (NAKON SANACIJE 5.3 Hz)



— M8 — M3 — M2 — M17R — M7

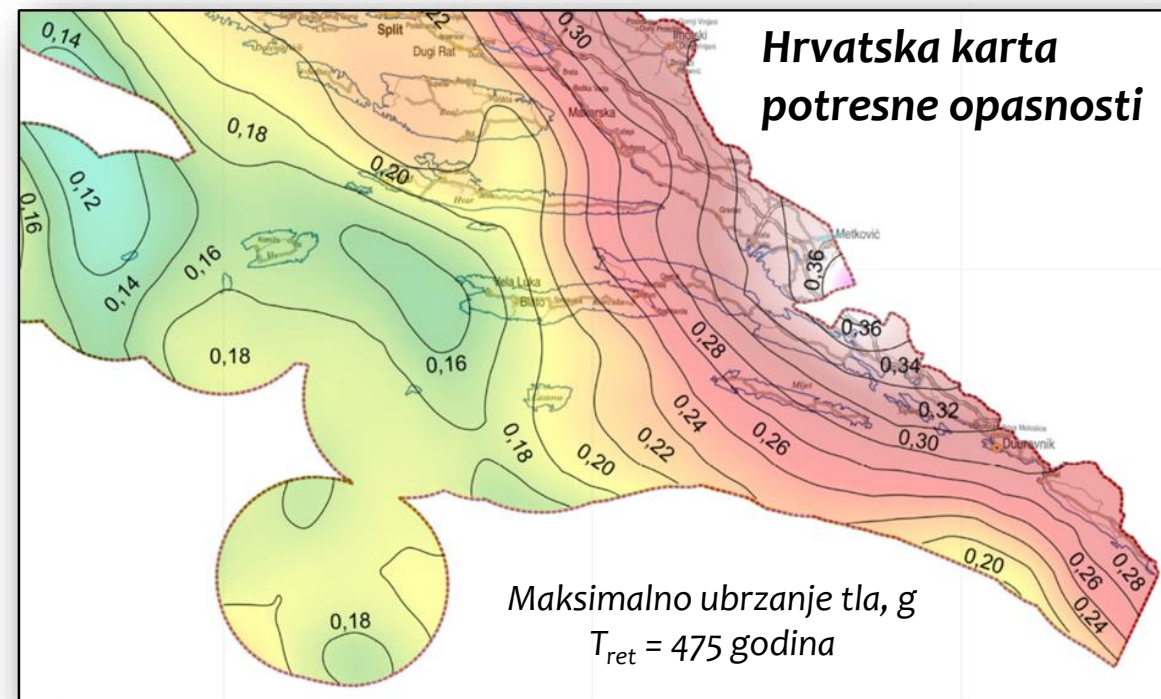
6.4 Hz = 0.16 s, (NAKON SANACIJE 7.0 Hz)



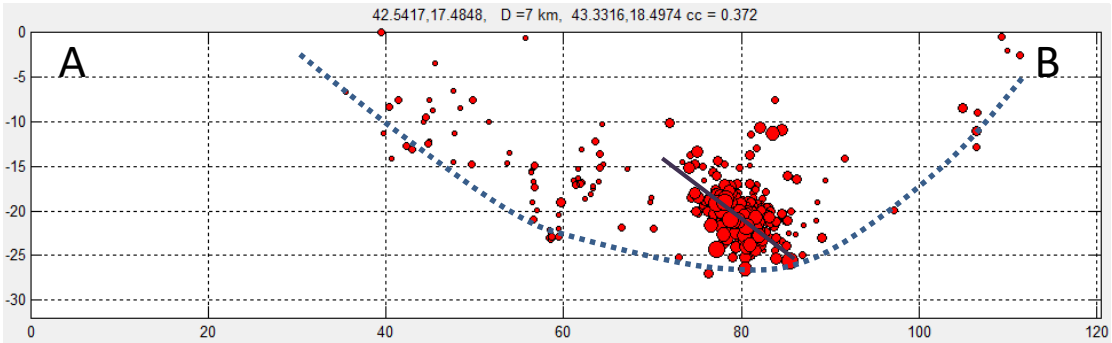
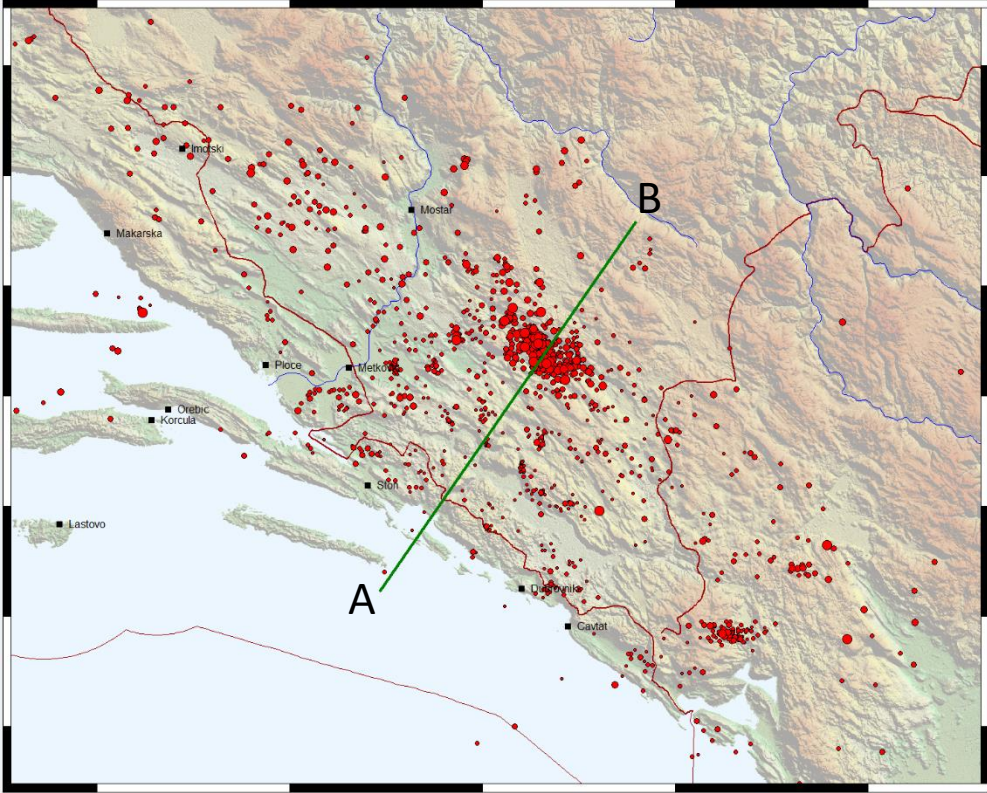
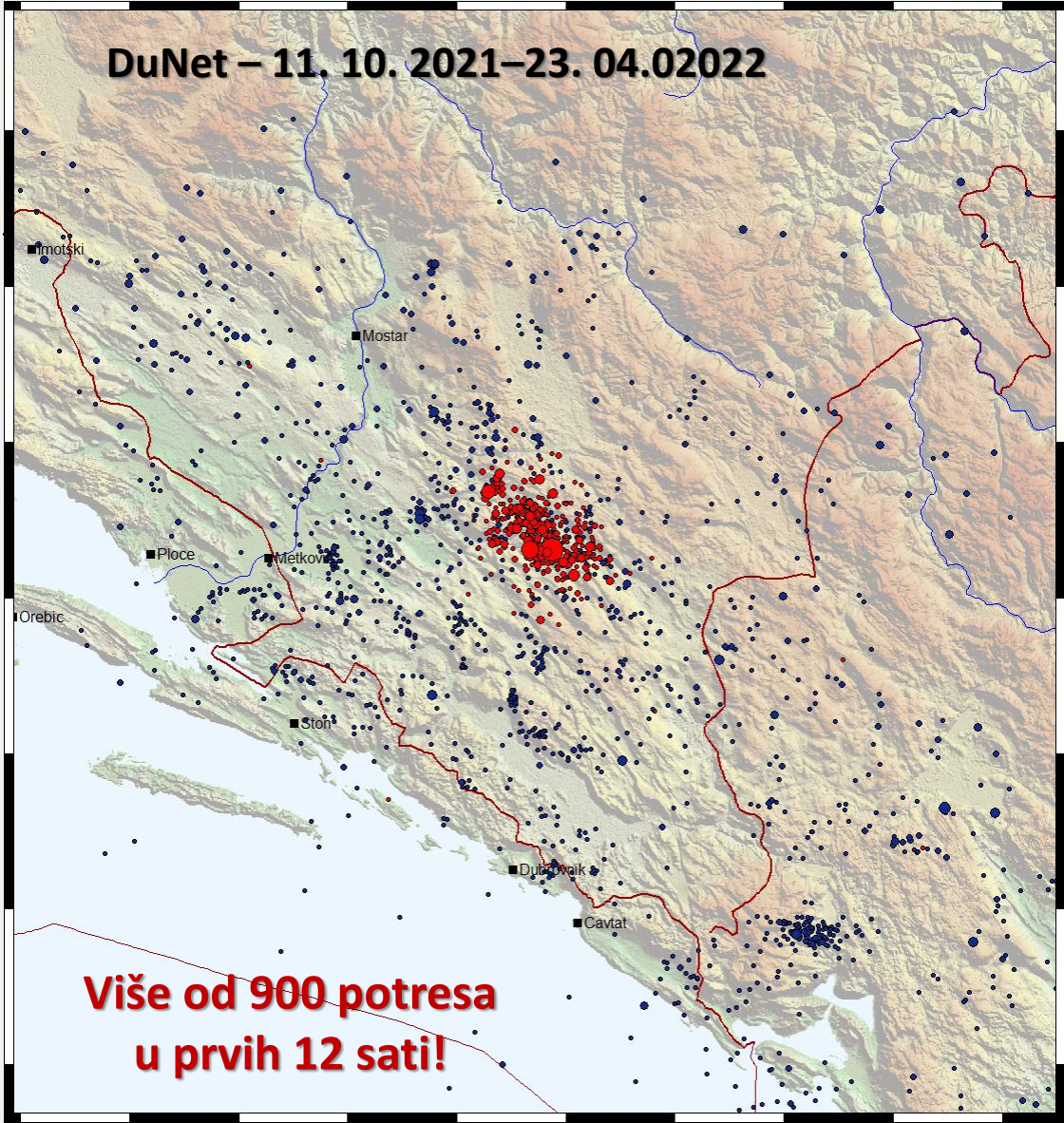
— M8 — M3 — M2 — M17R — M7

Nakon sanacije zgrada je (malo) kruća,
i dalje je od rezonantne frekvencije Straduna (oko 3 Hz)!

- Velika dubrovačka trešnja 1667. jedan je od najznačajnijih potresa u ovom dijelu svijeta, kako sa seizmološkog, tako i iz povijesnog aspekta.
- **Seizmička opasnost u Hrvatskoj najveća je u Dubrovačko-neretvanskoj županiji.**
- Dionica Ston–Herceg-Novi velikog regionalnog seizmogenog rasjednog sustava pokazuje **vrlo malu aktivnost** u posljednjih 350 godina. Moguće je da se tamo deformacije stijena približavaju kritičnim iznosima.
- **Zato je potrebno pažljivo pručavati seizmičku aktivnosti na sustavima rasjeda oko Dubrovnika!**
- U posljednje vrijeme izvedeno je nekoliko ograničenih projekata u vezi karakterizacije tla i procjene ugroženosti građevina koji su dali smislene rezultate.
- **Valja nastaviti i s projektima seizmičkog ojačanja građevina suvremenim postupcima i korištenjem iskustava drugih.**



I još samo malo! ...



Hvala na interesu!



Šibenik

Kada se vlastiti period zgrade
poklopi s vlastitim periodom tla,
doći će do
REZONANCIJE zgrade i tla.

To je opasno..!

