

Osnove seizmologije

doc. dr.sc. Mislav Stepinac





nZEB
TRENING CENTAR

Prirodne katastrofe



AFP/Getty Images



Adem Altan | AFP | Getty Images

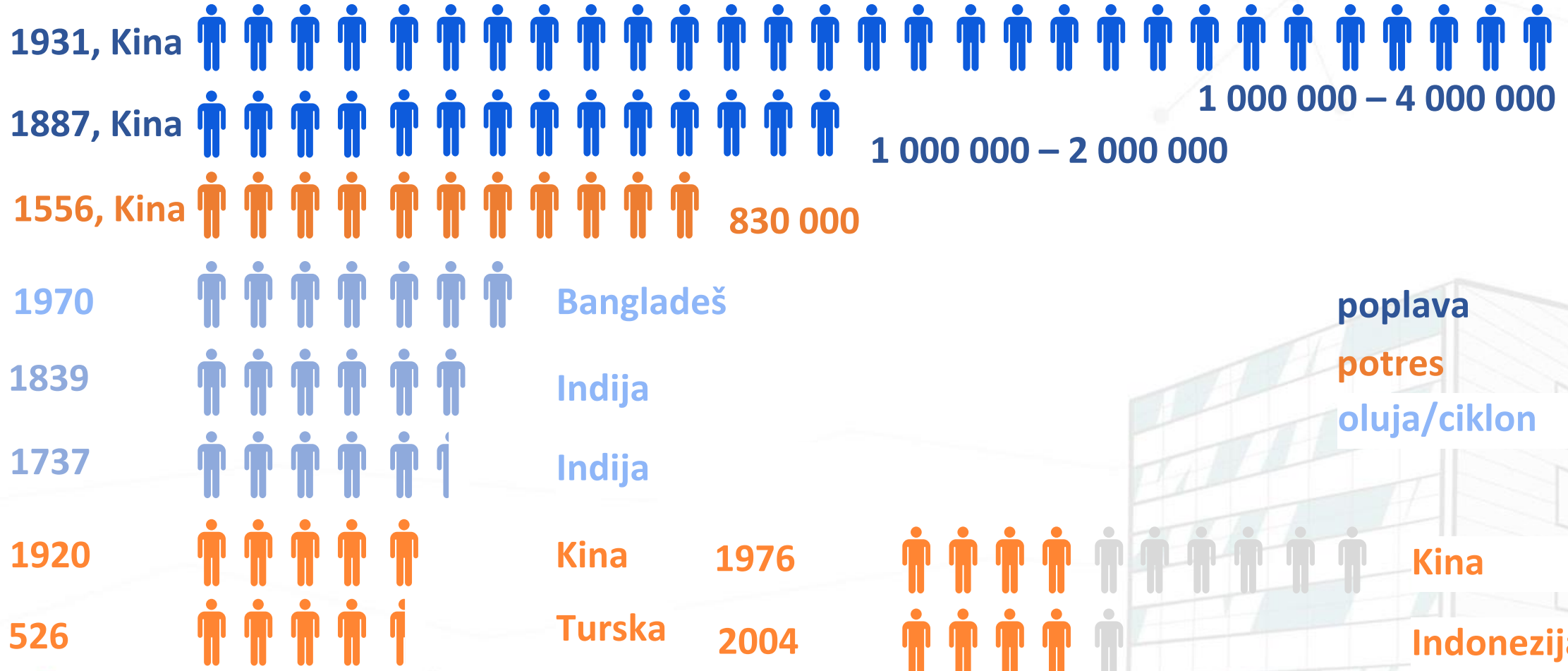


Sveučilište u Zagrebu
Građevinski fakultet



nZEB
TRENING CENTAR

Prirodne katastrofe – 10 najsmrtonosnijih



oluja/ciklon

potres

oluja/ciklon

Kina

Indonezija –
potres + tsunami
(230 000)





nZEB
TRENING CENTAR

Potres

Potres je iznenadna i kratkotrajna vibracija tla uzrokovana urušavanjem stijena, magmatskom aktivnošću ili tektonskim poremećajima u litosferi i dijelom u Zemljinu plaštu.

Najsloženije djelovanje od svih djelovanja koje djeluju na konstrukcije



Sveučilište u Zagrebu
Građevinski fakultet



- Projektant bi unaprijed trebao znati karakteristike gibanja tla za vrijeme potresa koji će se dogoditi u budućnosti, tj. u vremenu u kojem će se konstrukcija koristiti



Procjena i učenje iz prošlosti (seizmološki i geološki podaci)

Proučavanje potresa

17. stoljeće

Početak proučavanja
R. Hooke

19. stoljeće

Procesi i instrumenti za
mjerenje potresa
Razvoj seizmologije

21. stoljeće

Numeričko modeliranje
Uporaba računala
Probabilistički modeli

18. stoljeće

Povezivanje potresa s
tektonikom ploča

20. stoljeće

Potresno inženjerstvo



nZEB
TRENING CENTAR

Seizmologija

Seizmologija

Uzroci i predviđanja potresa

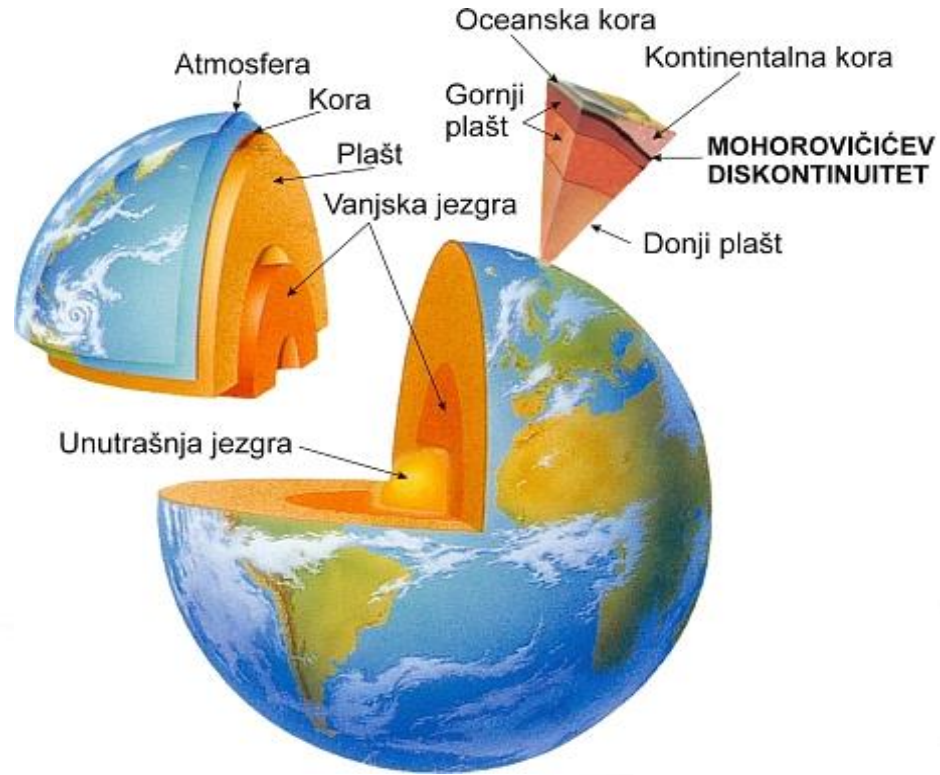
Potresno inženjerstvo

Posljedice potresa i oštećenja

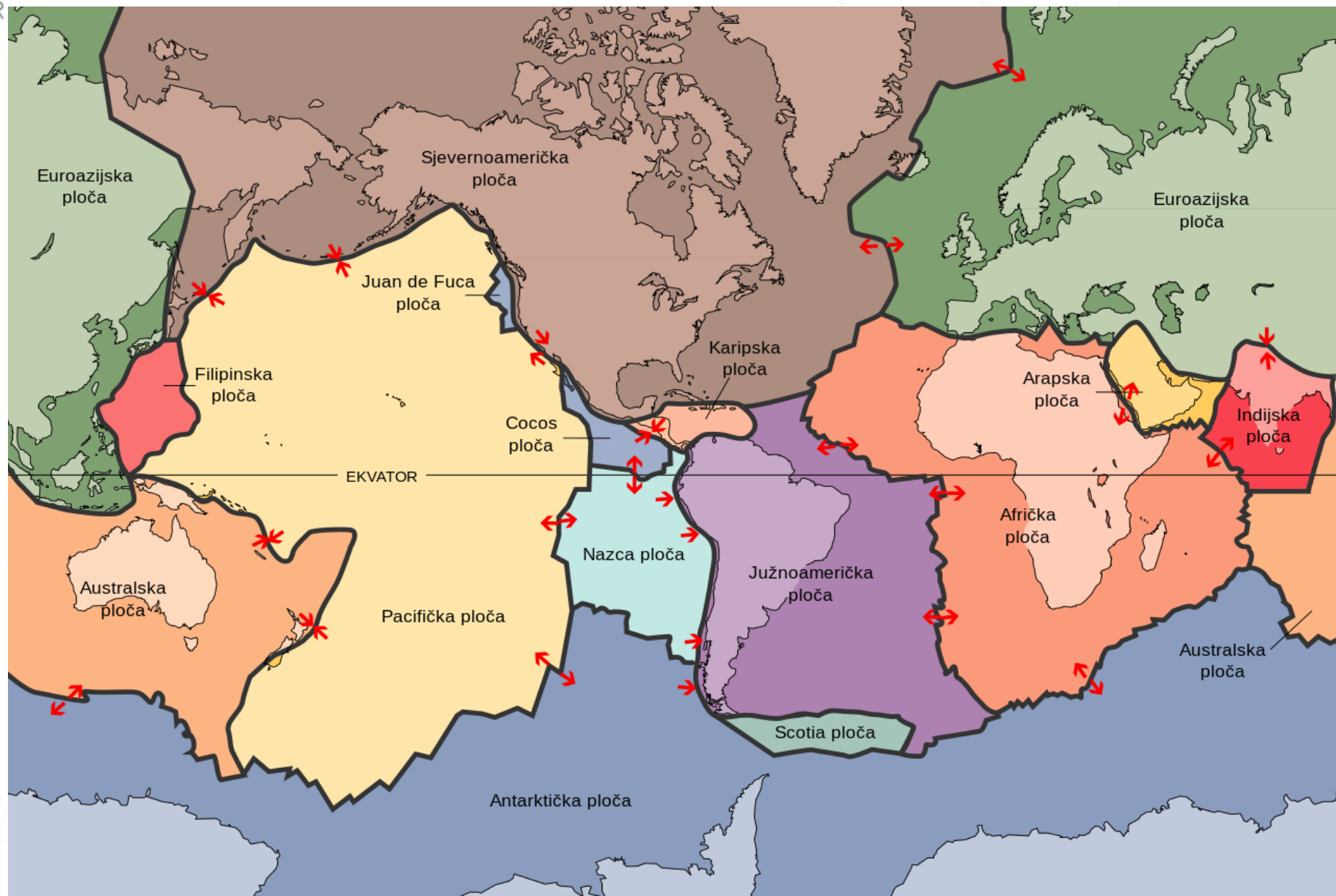
- Seizmologija uključuje bilježenje potresa, njihovo lociranje i katalogiziranje, kartiranje njihovih učinaka, modeliranje rasprostiranja elastičnih valova kroz Zemlju te određivanje građe njezine unutrašnjosti.



Struktura Zemlje



Tektonika ploča

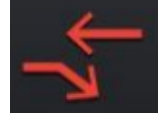
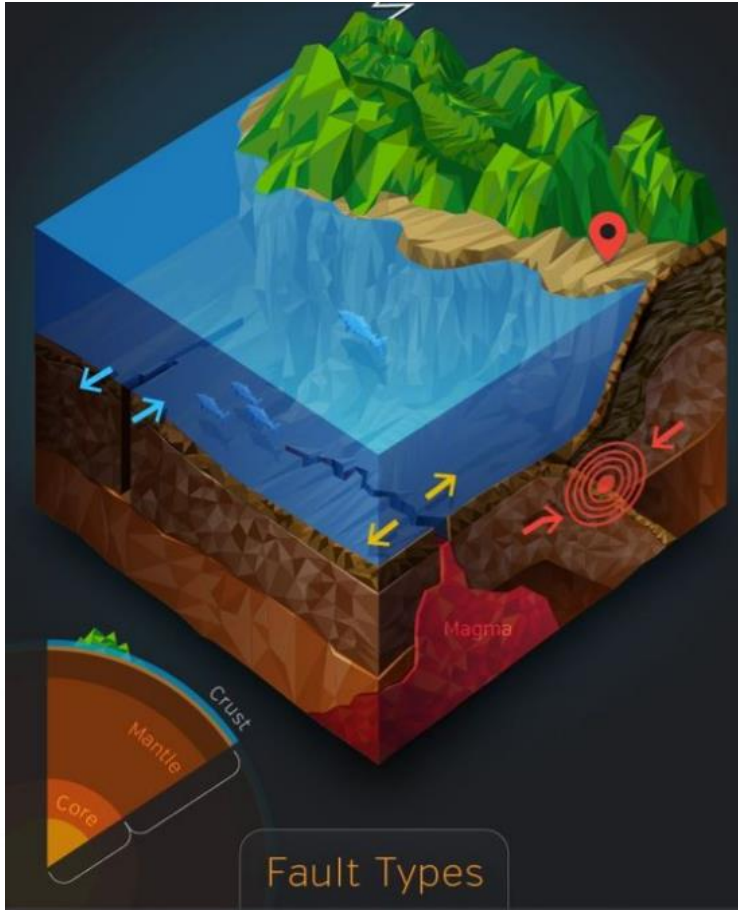


San Andreas, Kalifornija – pomak 5 do 8 cm godišnje

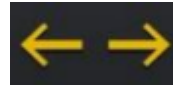




Granice



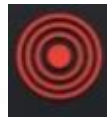
Konvergentni rasjed – ploče se pomiču jedna po drugoj



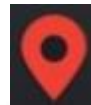
Divergentni rasjed – magma ide prema gore i razdvaja ploče



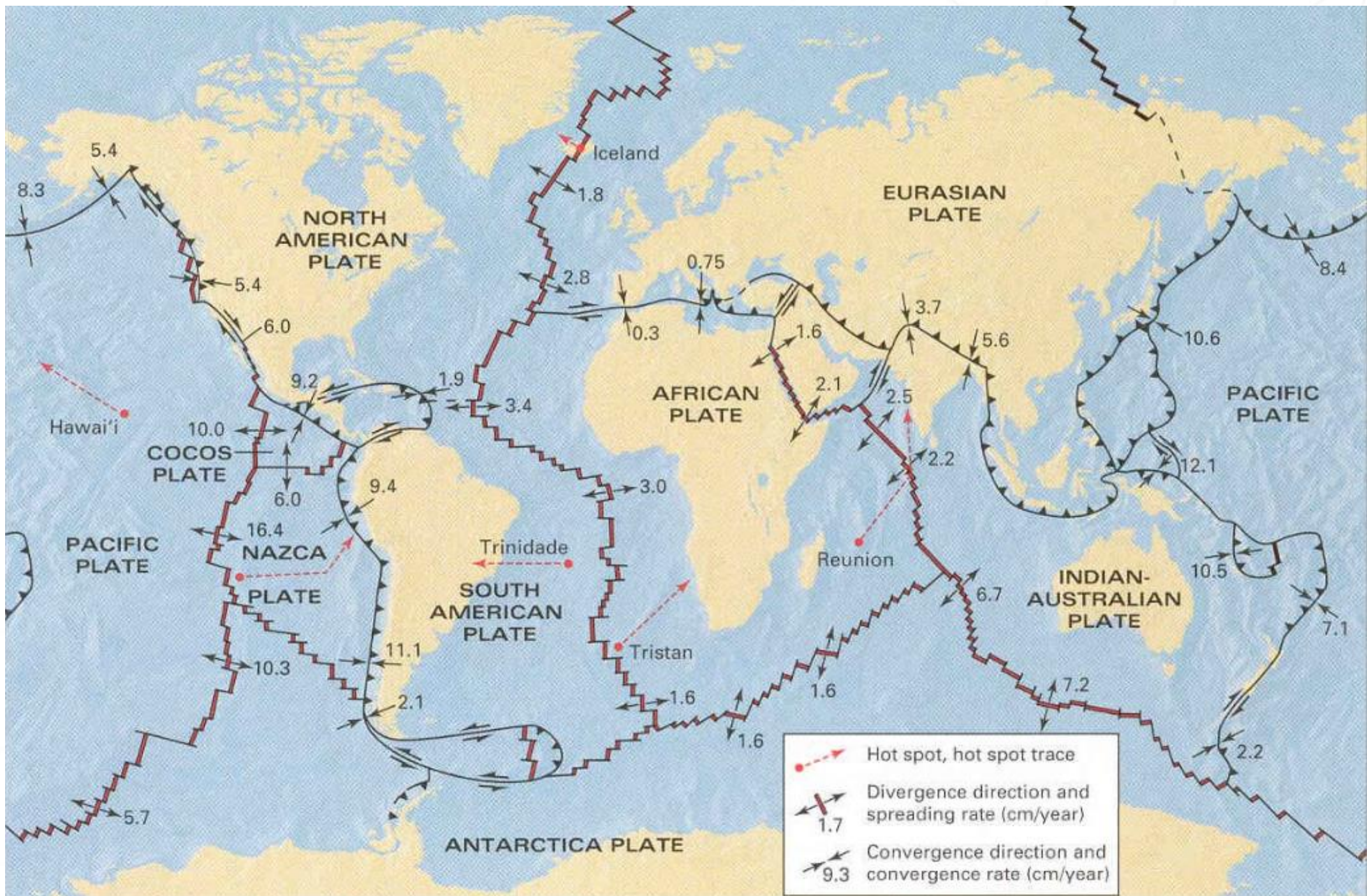
Transformni rasjed – ploče se uzdužno smiču



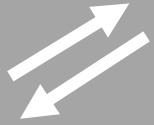
Hipocentar – mjesto potresa ispod površine



Epicentar – mjesto potresa na površini



Podjela potresa prema nastanku



Tektonski

- nastaju gibanjem ploča
- najčešći (90%)

Vulkanski



- 7%
- izazvani erupcijom vulkana
- manjeg dometa



Urušni

- 3%
- Odron, klizanje, urušavanje podzemnih šupljina

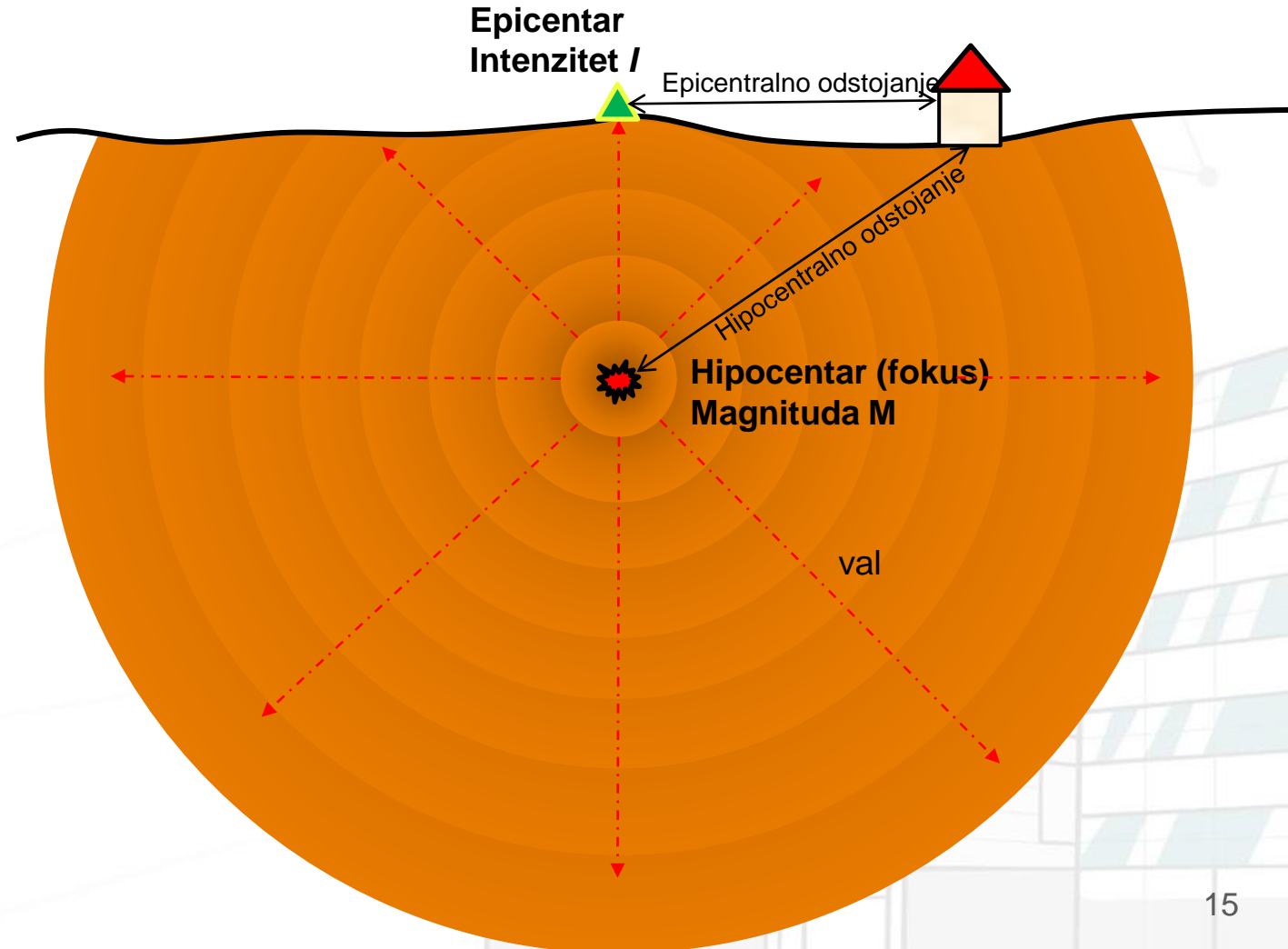
Umjetni



- npr. eksplozija

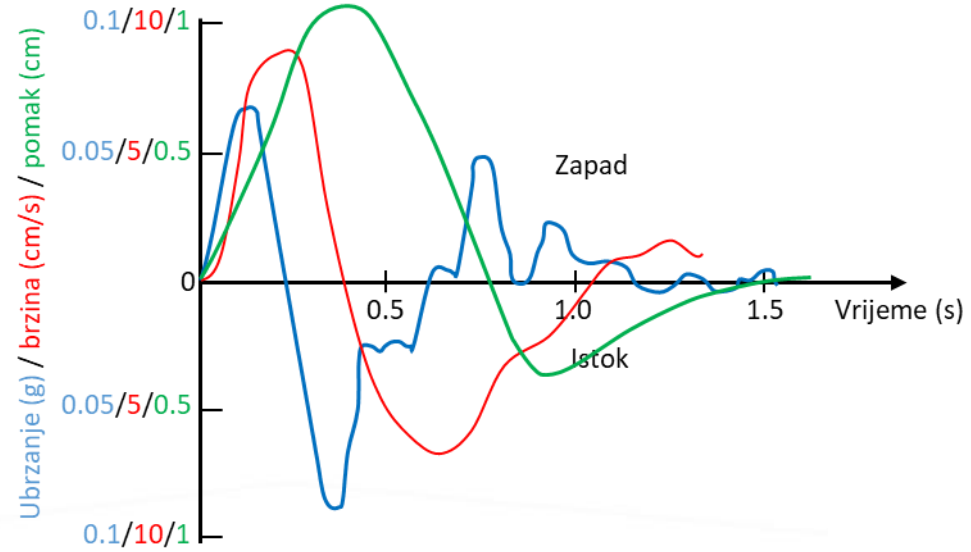


Epicentar i hipocentar





Određivanje epicentra



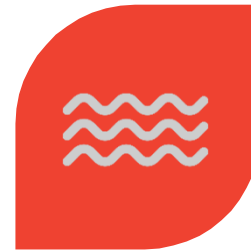


nZEB
TRENING CENTAR

Potres

Značajke tla

Udaljenost od
epicentra



Prisutnost podzemne
vode

Magnituda



Karakteristike
gređevine



nZEB
TRENING CENTAR

Skale

- Magnituda M je **mjera oslobođene energije** u hipocentru potresa koja se dalje predaje u formi elastičnih ili seizmičkih valova.
- Najpoznatija magnitudna skala nosi naziv prema njenom utemeljitelju Richter-u (1935) – M_L (ispravnije bi bilo lokalna magnituda)



nZEB
TRENING CENTAR

Magnituda

$$M = \log(A/T) + F(D,h) + C$$

Najveća amplitude vala

Udaljenost epicentra od mjerne postaje

Dubina žarišta

Dominantni period za najveću amplitudu

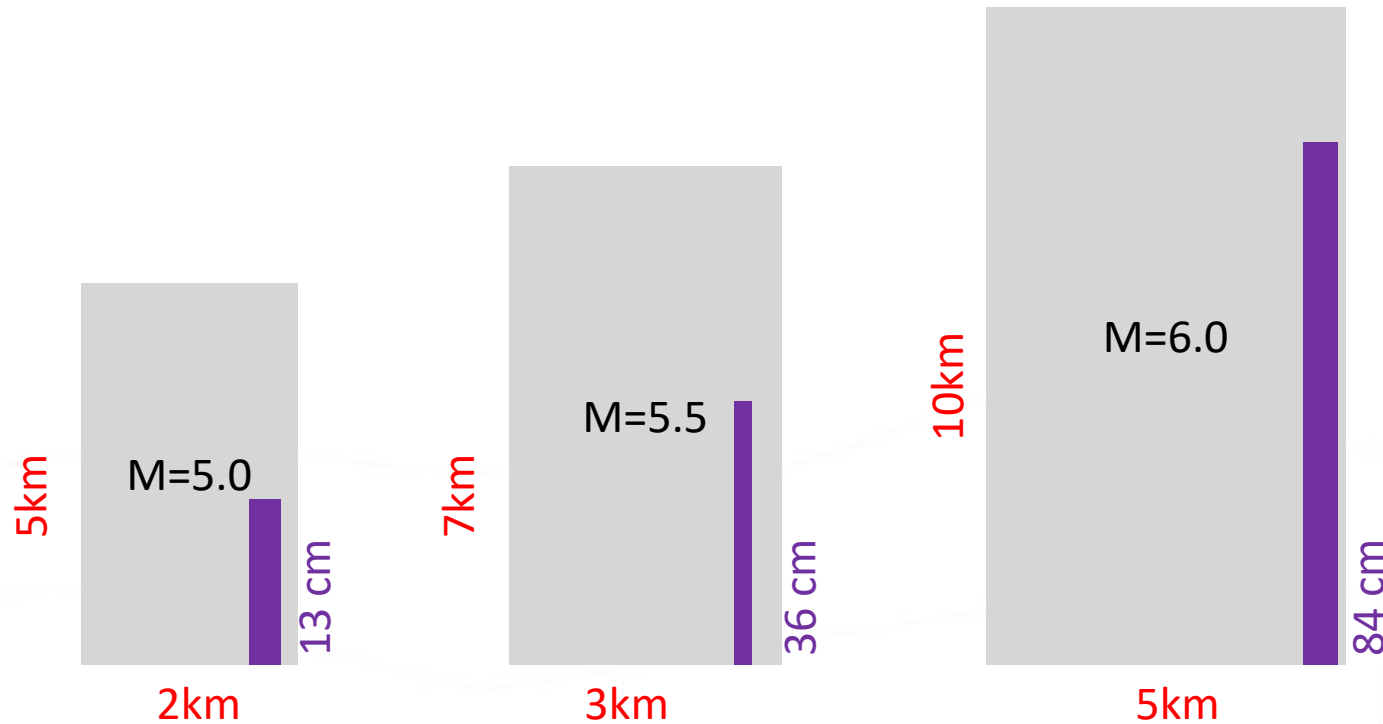
Regionalna svojstva

Momentna magnituda

$$M_w = A \times d$$

A = površina aktiviranog rasjeda

d = prosječna vrijednost pomaka



Richter

| Magnituda | Opis potresa | Učinci djelovanja potresa |
|------------------|-----------------|--|
| Ispod 2,0 | Mikro | Mikropotresi, ne osjećaju se. |
| 2,0 – 2,9 | Manji | Općenito se ne osjete, ali bilježe ih seizmografi. |
| 3,0 – 3,9 | | Često se osjete, no rijetko uzrokuju štetu. |
| 4,0 – 4,9 | Lagani | Osjetna drmanja pokućstva, zvukovi trešnje. Značajnija oštećenja rijetka. |
| 5,0 – 5,9 | Umjereni | Uzrokuje štetu na slabijim građevinama u ruralnim regijama, moguća manja šteta kod modernih zgrada. |
| 6,0 – 6,9 | Jaki | Može izazvati štete u naseljenim područjima 160 km od epicentra. |
| 7,0 – 7,9 | Veliki | Uzrokuje ozbiljnu štetu na velikom području. |
| 8,0 – 8,9 | Razarajući | Može prouzrokovati golemu štetu i po tisuću kilometara od epicentra. |
| 9,0 – 9,9 | | Katastrofalni potres koji uništava većinu objekata u krugu od nekoliko tisuća kilometara. |
| 10,0+ | Epski | Nikada nisu zabilježeni. |

Richter

| Magnituda | Opis potresa | Učinci djelovanja potresa |
|-----------|--------------|---|
| Ispod 2,0 | Mikro | Mikropotresi, ne osjećaju se. |
| 2,0 – 2,9 | Manji | Općenito se ne osjete, ali bilježe ih seizmografi. |
| 3,0 – 3,9 | | Često se osjete, no rijetko uzrokuju štetu. |
| 4,0 – 4,9 | Lagani | Osjetna drmanja pokućstva, zvukovi trešnje. Značajnija oštećenja rijetka. |
| 5,0 – 5,9 | Umjereni | Uzrokuje štetu na slabijim građevinama u ruralnim regijama, moguća manja šteta kod modernih zgrada. |
| 6,0 – 6,9 | Jaki | Može izazvati štete u naseljenim područjima 160 km od epicentra. |
| 7,0 – 7,9 | Veliki | Uzrokuje ozbiljnu štetu na velikom području. |
| 8,0 – 8,9 | Razarajući | Može prouzrokovati golemu štetu i po tisuću kilometara od epicentra. |
| 9,0 – 9,9 | | Katastrofalni potres koji uništava većinu objekata u krugu od nekoliko tisuća kilometara. |
| 10,0+ | Epski | Nikada nisu zabilježeni. |

Opisne skale - intenzitet

Magnituda

Žarišni mehanizam

Udaljenost žarišta

Topografija

Intenzitet

Dubina žarišta

Građa Zemlje (atenuacija)

Lokalna svojstva tla



MCS - intenzitet

| Stupanj potresa | Naziv potresa | Učinak potresa |
|-----------------|---------------------|--|
| 1. | Nezamjetljiv potres | Bilježe ga jedino seizmografi. |
| 2. | Vrlo lagan potres | U višim katovima stambenih zgrada osjeti ga vrlo mali broj ljudi |
| 3. | Lagan potres | Podrhtavanje tla kao pri prolazu automobila. U unutrašnjosti zgrada osjeti ga više ljudi. |
| 4. | Umjeren potres | U zgradama ga osjeti više ljudi, a na otvorenome samo pojedinci. Trese vrata i pokućstvo. Prozori i posude zveče kao pri prolazu teških kamiona. |
| 5. | Prilično jak potres | Osjeti ga više ljudi na otvorenom prostoru. Budi spavače; pojedinci bježe iz kuća. Njišu se predmeti koji slobodno vise, zaustavljaju se ure njihovice. |
| 6. | Jak potres | Ljudi bježe iz zgrada. Sa zidova padaju slike, ruše se predmeti, razbija se posuđe, pomiče ili prevrće pokućstvo. Zvone manja crkvena zvona. Lagano se oštećuju pojedine dobro građene kuće. |
| 7. | Vrlo jak potres | Crjepovi se lome i kližu s krova, ruše se dimnjaci. Oštećuje se pokućstvo u zgradama. Ruše se slabije građene zgrade, a na jačima nastaju oštećenja. |

| Stupanj potresa | Naziv potresa | Učinak potresa |
|-----------------|-----------------------------|--|
| 8. | Razoran potres | Znatno oštećuje do 25% zgrada. Pojedine se kuće ruše do temelja, a velik ih je broj neprikladan za stanovanje. U tlu nastaju pukotine, a na padinama klizišta. |
| 9. | Pustošni potres | Oštećuje 50% zgrada. Mnoge se zgrade ruše, a većina ih je neupotrebljiva. U tlu se javljaju velike pukotine, a na padinama klizišta i odroni. |
| 10. | Uništavajući potres | Teško oštećuje 75% zgrada. Velik broj dobro građenih kuća ruši se do temelja. Ruše se mostovi, pucaju brane, savijaju željezničke tračnice, oštećuju putevi. Pukotine u tlu široke su nekoliko decimetara. Urušavaju se špilje, pojavljuje se podzemna voda. |
| 11. | Katastrofalan potres | Gotovo sve zgrade ruše se do temelja. Iz širokih pukotina u tlu izbija podzemna voda noseći mulj i pijesak. Tlo se odronjava, stijene se otkidaju i ruše. |
| 12. | Veliki katastrofalan potres | Sve što je izgrađeno ljudskom rukom ruši se do temelja. Reljef mijenja izgled, zatrpavaju se jezera, rijeke mijenjaju korito. |



Intenzitet u stupnjevima MCS

I
II – III
III – IV
IV – V
V – VI
VI – VII
VII – VIII
VIII – IX
IX – X
X – XI
XI – XI
XII

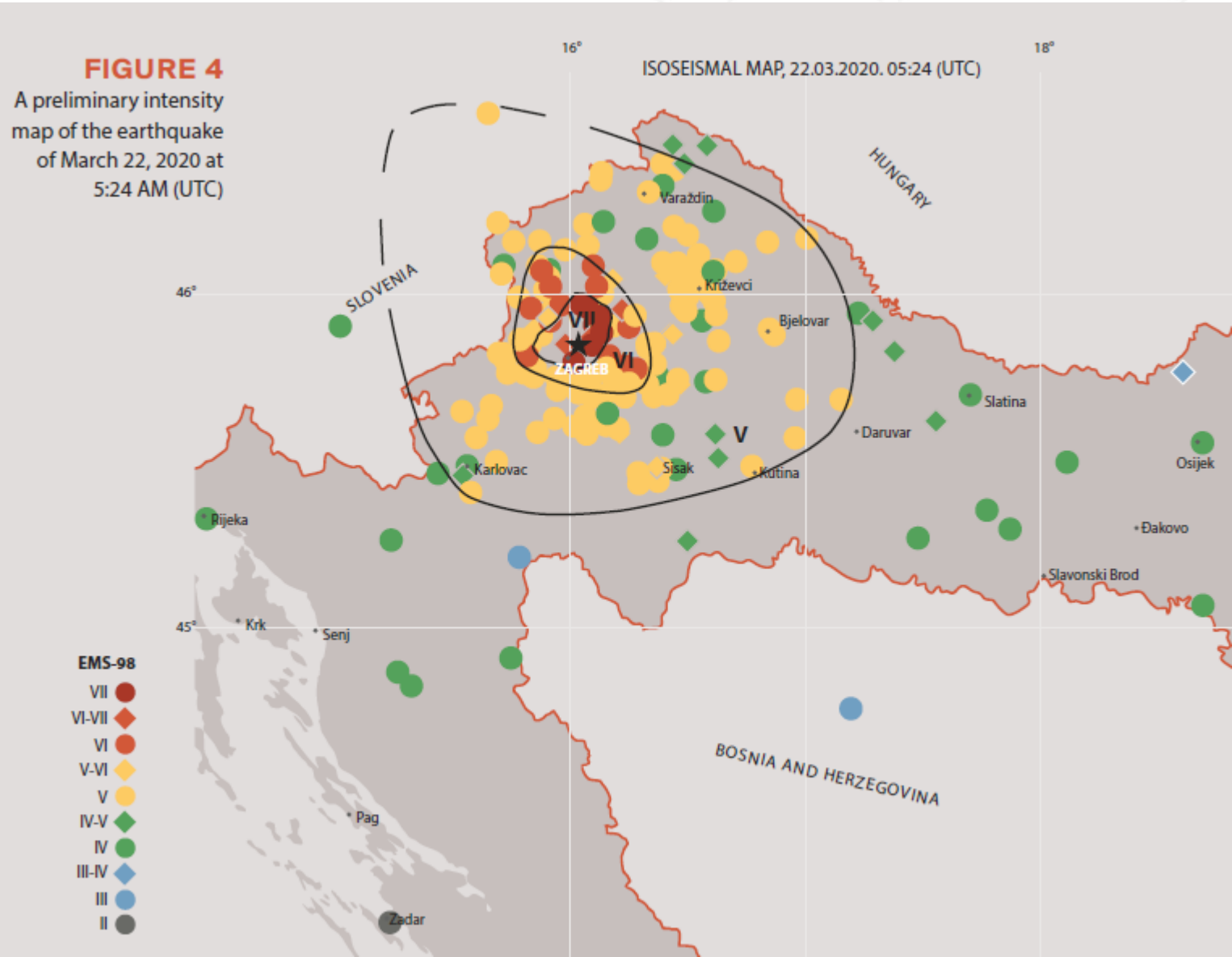
Magnituda (ljestvica po Richteru)

0,0 – 1,5
1,5 – 2,5
2,5 – 3,0
3,0 – 3,5
3,5 – 4,0
4,0 – 4,5
5,0 – 5,5
5,5 – 6,0
6,0 – 6,5
6,5 – 7,0
7,0 – 7,5
7,5 – 10,0



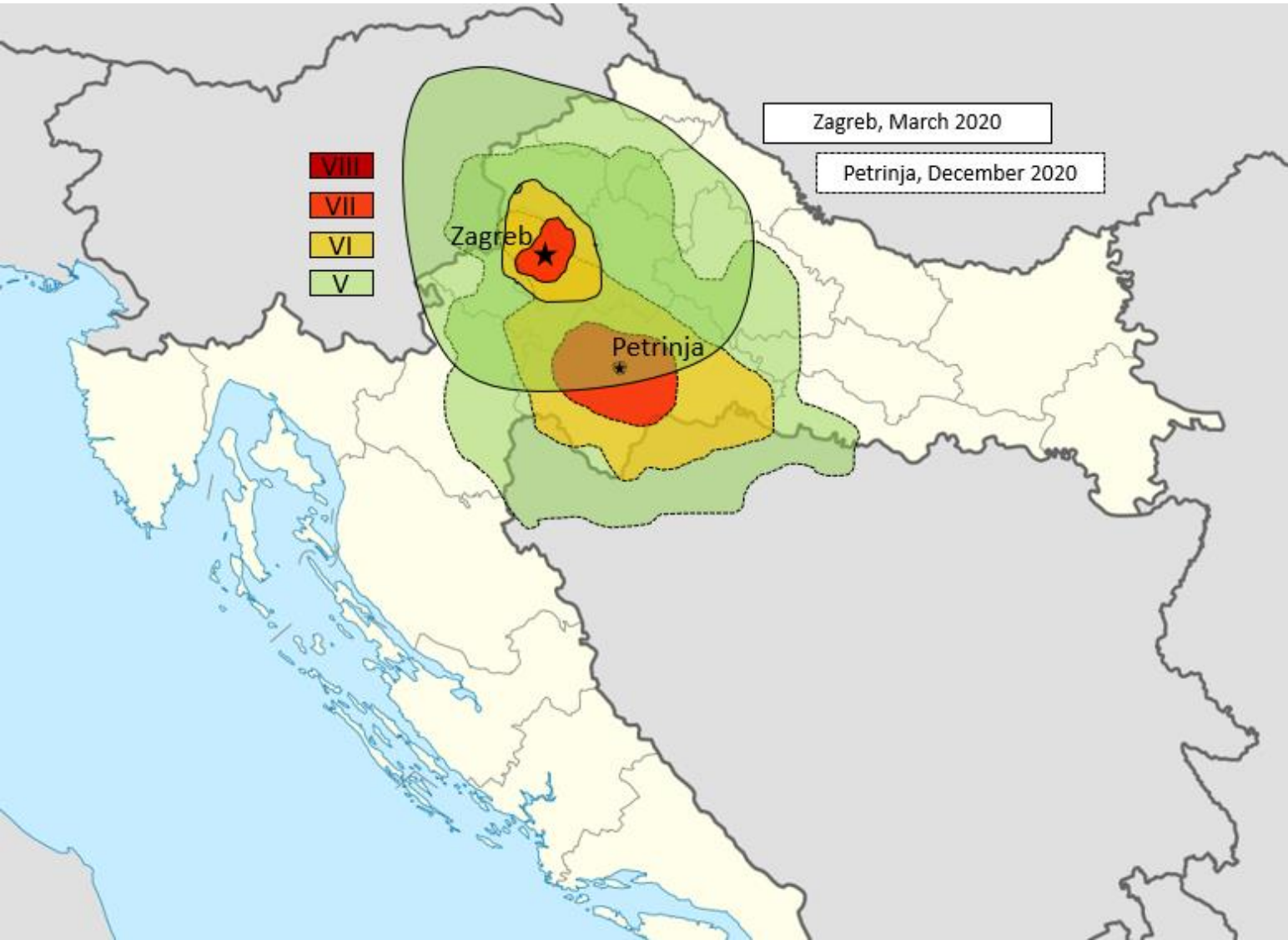
nZEB
TRENING CENTAR

Zagrebački potres

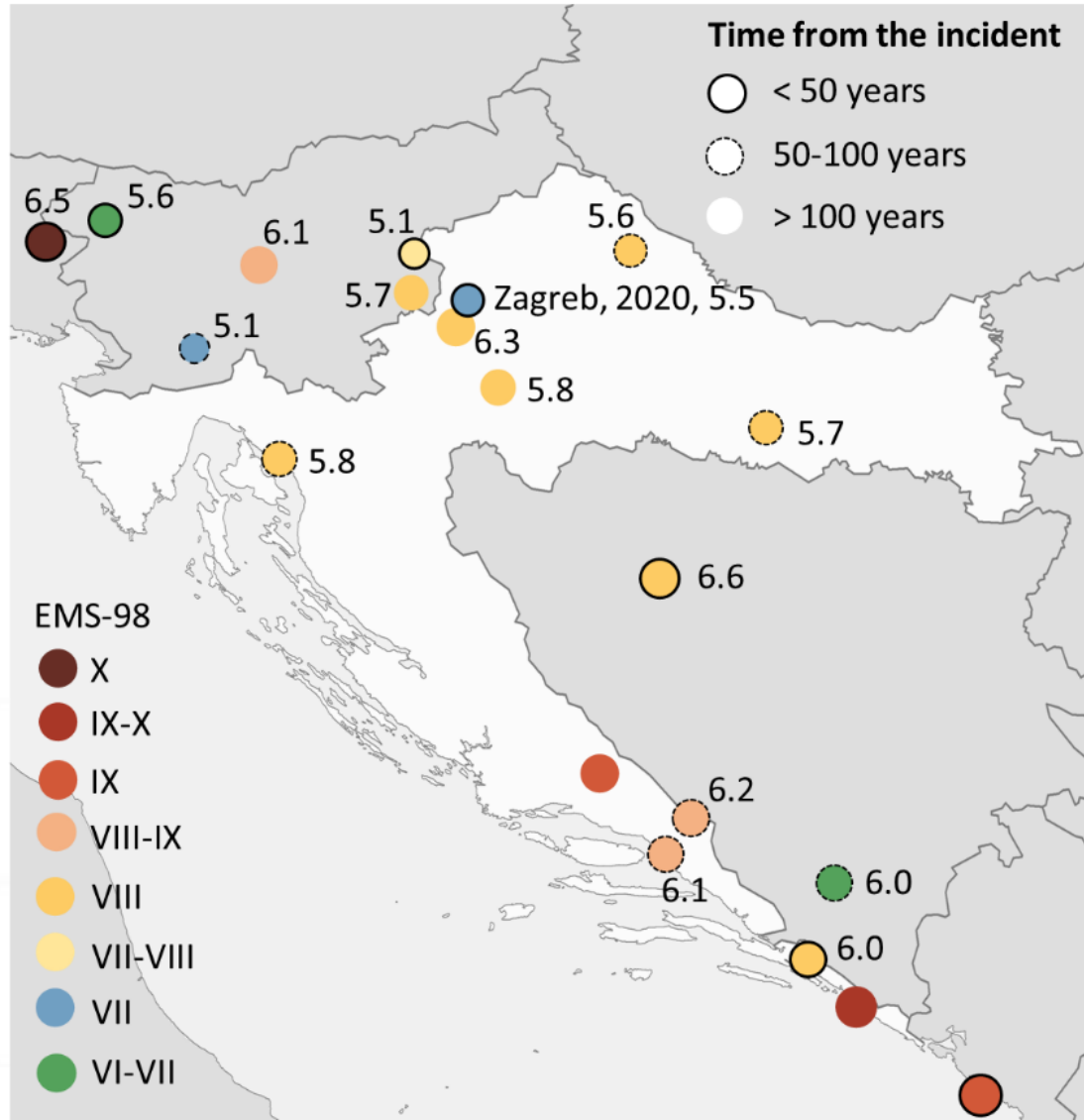




Petrinjski i zagrebački potres

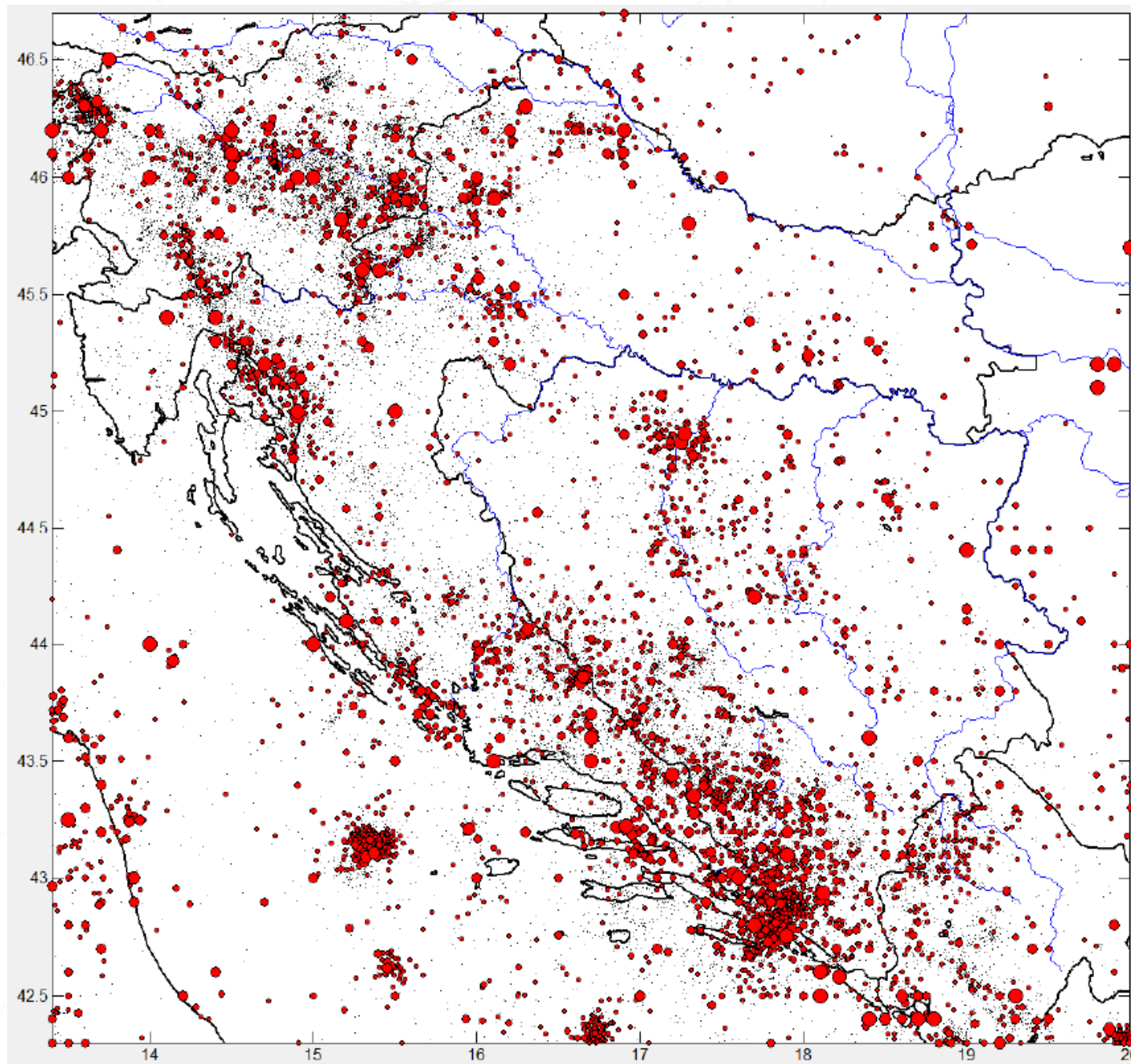


Moretić, Antonela; Stepinac, Mislav; Lourenco, Paulo
Seismic upgrading of cultural heritage – A case study using an educational building in Croatia from the historicism style // Case studies in construction materials, 17 (2022), 1-17
doi:10.1016/j.cscm.2022.e01183



Stepinac, Mislav; Lourenco, Paulo B.; Atalić, Josip; Kišiček, Tomislav; Uroš, Mario; Baniček, Maja; Šavor Novak, Marta
Damage classification of residential buildings in historical downtown after the ML5.5 earthquake in Zagreb, Croatia in 2020 // International Journal of Disaster Risk Reduction, 56 (2021), 102140, 20 doi:10.1016/j.ijdr.2021.102140

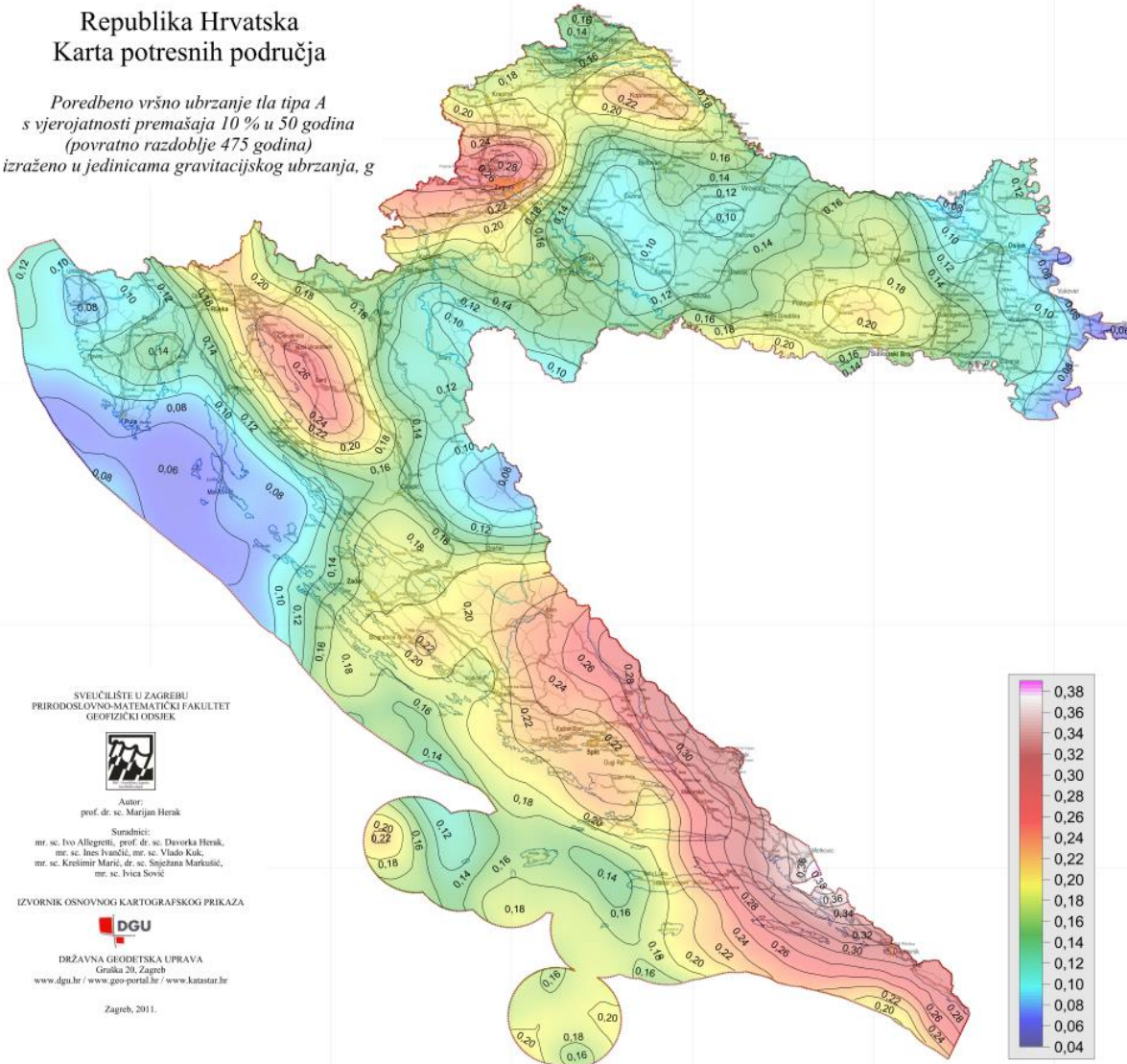
Izrada karata



Karta potresnih područja

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
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
GEOFIZIČKI ODSJEK



Autor:
prof. dr. sc. Marjan Herak

Suradnici:
mr. sc. Ivo Allegretti, prof. dr. sc. Davorka Herak,
mr. sc. Ines Ivančić, mr. sc. Vlado Kuk,
mr. sc. Kresimir Marić, dr. sc. Snježana Markušić,
mr. sc. Ivica Sović

IZVORNIK OSNOVNOG KARTOGRAFSKOG PRIKAZA

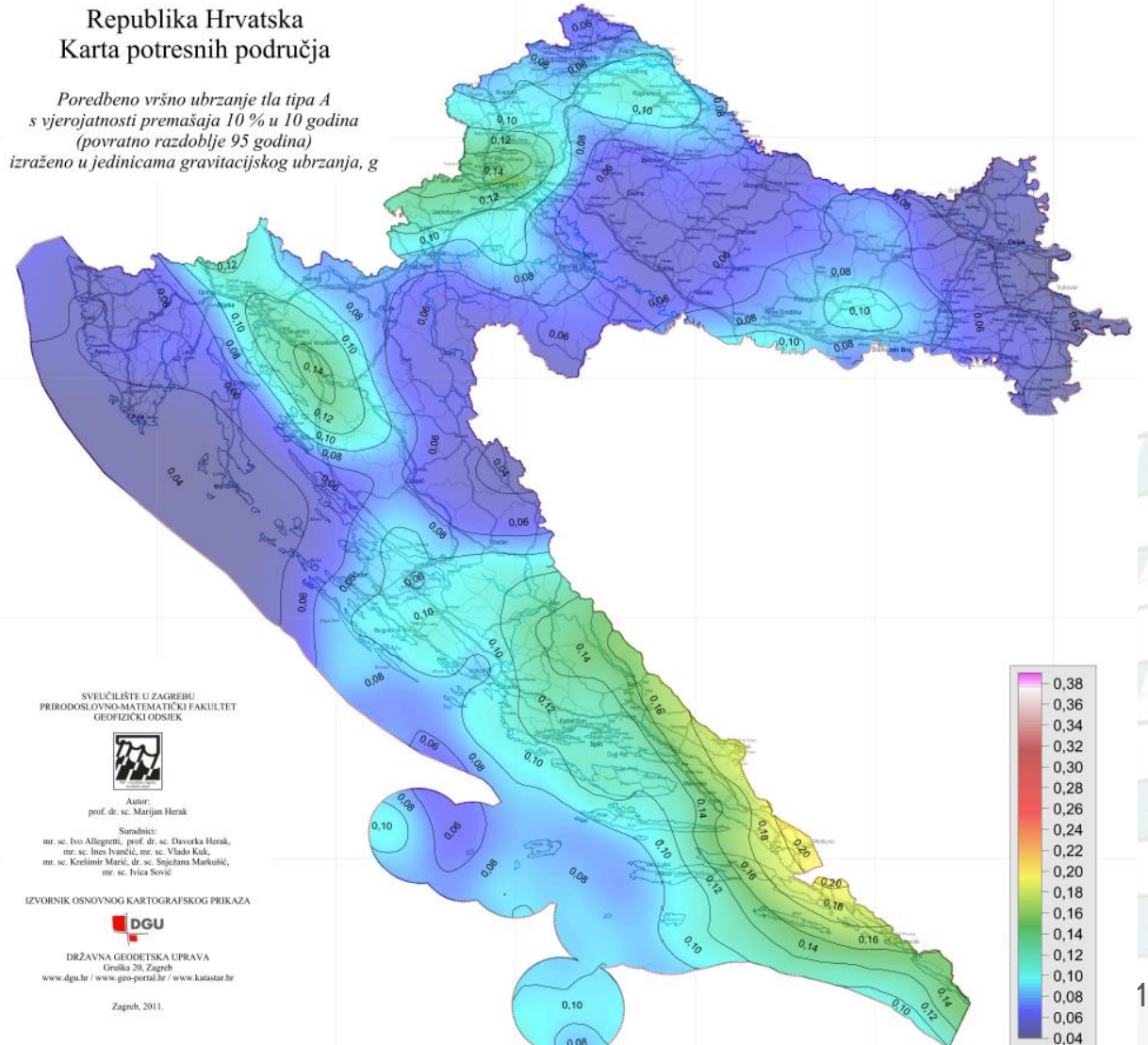


DRŽAVNA GEODETSKA UPRAVA
Grafička 20, Zagreb
www.dgu.hr / www.geo-portal.hr / www.katastar.hr

Zagreb, 2011.

Republika Hrvatska Karta potresnih područja

*Poredbeno vršno ubrzanje tla tipa A
s vjerojatnosti premašaja 10 % u 10 godina
(povratno razdoblje 95 godina)
izraženo u jedinicama gravitacijskog ubrzanja, g*



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
GEOFIZIČKI ODSJEK



Autor:
prof. dr. sc. Marjan Herak

Suradnici:
mr. sc. Ivo Allegretti, prof. dr. sc. Davorka Herak,
mr. sc. Ines Ivančić, mr. sc. Vlado Kuk,
mr. sc. Kresimir Marić, dr. sc. Snježana Markušić,
mr. sc. Ivica Sović

IZVORNIK OSNOVNOG KARTOGRAFSKOG PRIKAZA



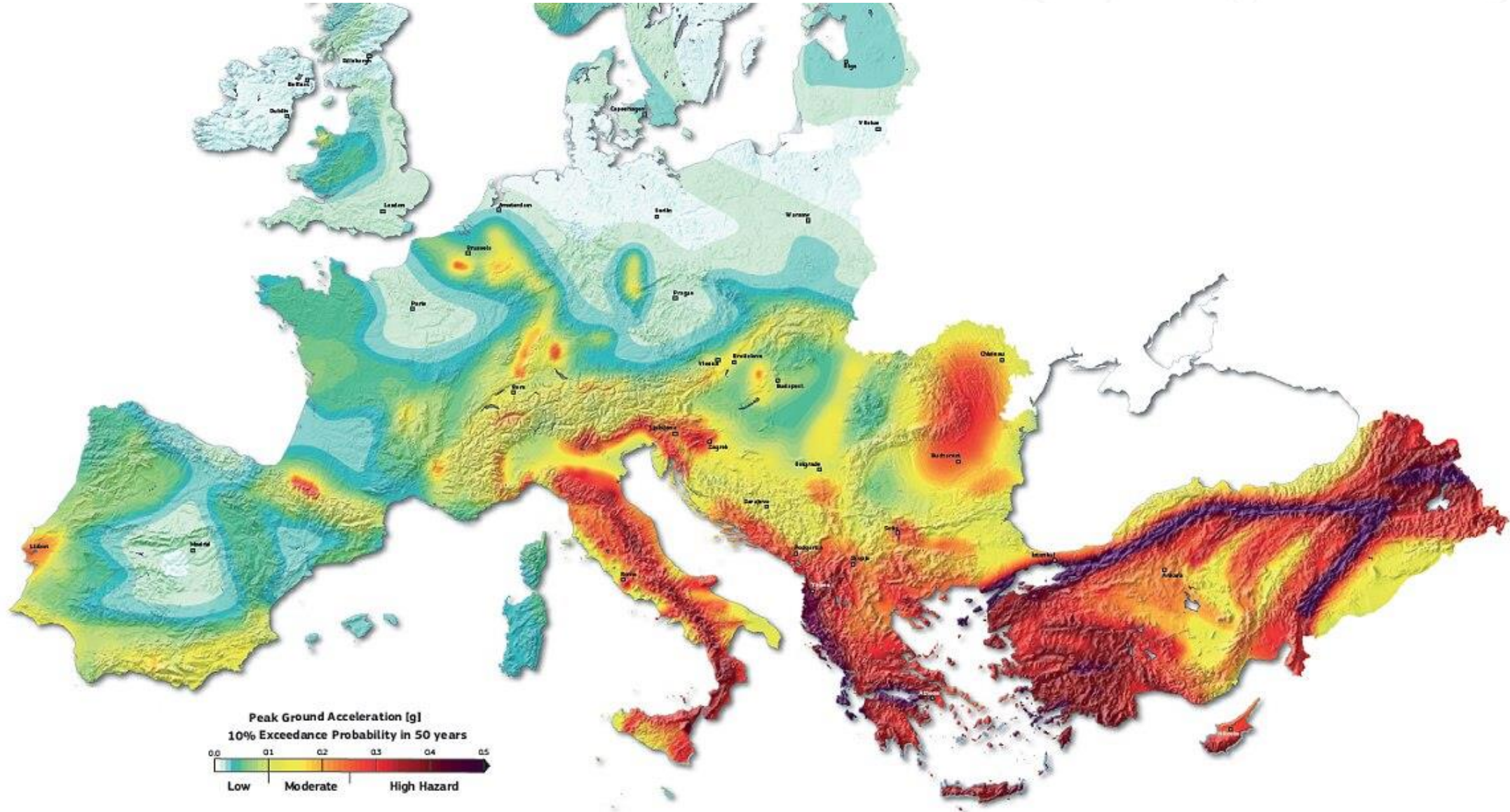
DRŽAVNA GEODETSKA UPRAVA
Grafička 20, Zagreb
www.dgu.hr / www.geo-portal.hr / www.katastar.hr

Zagreb, 2011.



nZEB
TRENING CENTAR

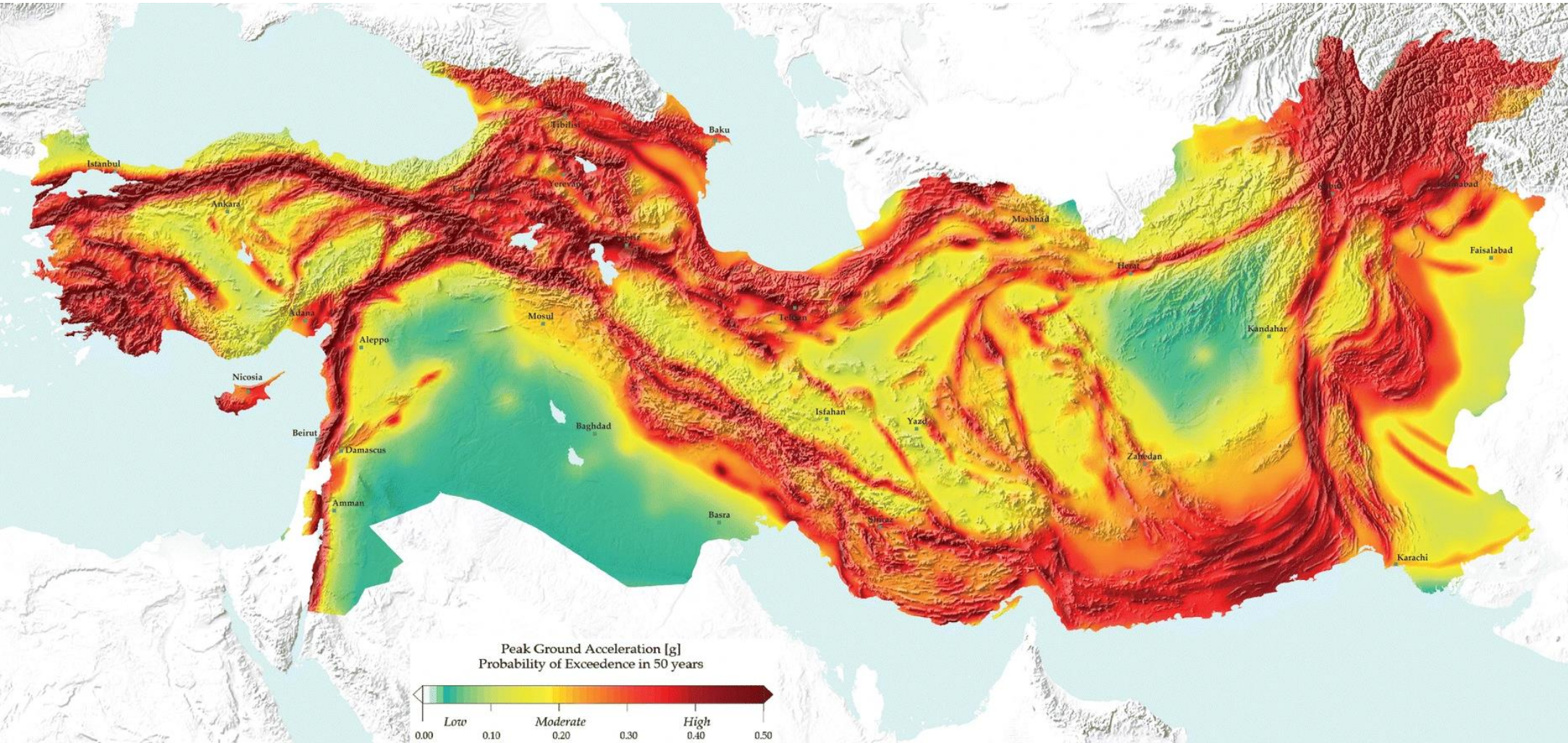
Karta potresnih područja





nZEB
TRENING CENTAR

Karta potresnih područja





nZEB
TRENING CENTAR

Poredbeni povratni period

475 i 95 godina?



Sveučilište u Zagrebu
Građevinski fakultet

Poredbeni povratni period

- Lokalni seizmički hazard – prikaz lokalnih seizmičkih aktivnosti u prošlosti
- U EN 1998 seizmički hazard se opisuje preko a_{gR} odnosno poredbenog maksimalnog ubrzanja tla razreda A

a_{gR} : vrijednost poredbene vjerojatnosti prekoračenja P_{NCR} u period od 50 godina, za koje je ispunjen uvjet da se konstrukcija ne smije urušiti (**No-Collapse Requirement**)

Poredbeni povratni period

$$T_R = \frac{T_L}{\ln(1 - P_R)}$$

$$T_R = \frac{50}{\ln(1 - 0,1)}$$

$$T_R = 475 \text{ godina}$$

T_R = povratni period seizmičkog djelovanja

T_L = životni vijek građevine

P_R = vjerojatnost prekoračenja (10% NCR)

Seizmičko djelovanje iskazuje se stručnim izrazima, kao: referentna aktivnost, povezana je s referentnom vjerojatnošću premašaja $P_{NCR}=10\%$ u 50 godina ili referentnim povratnim periodom $T_{NCR}=475$ godina, faktor važnosti koji uzima u obzir različitu pouzdanost.

Poredbeni povratni period

- Općenito, konstrukciju treba proračunati i konstruirati da se odupire seizmičkom djelovanju s velikom vjerojatnošću, **bez slučajnog oštećenja i ograničenja uporabe, a cijena obnove ne smije biti neproporcionalno visoka u usporedbi s cijenom konstrukcije.**
- Vjerojatnost premašaja (PDLR= 10%) u 10 godina, a povratni period $T_{DLR} = 95$ godina.
 T_{DLR} (DLR - Damage limitation requirement)

$$T_R = \frac{T_L}{\ln(1 - P_R)}$$

$$T_R = \frac{10}{\ln(1 - 0,1)}$$

$$T_R = 95 \text{ godina}$$

T_R = povratni period seizmičkog djelovanja

T_L = životni vijek građevine

P_R = vjerojatnost prekoračenja (10% DLR)

Ljude ne ubijaju potresi već slabo projektirane i izvedene građevine



- L'Aquila, Italija, 2009. , 6,9 Richter, 308 poginulih, 5 000-10 000 oštećenih ili uništenih zgrada



- Christchurch, Novi Zeland, 2011., 6,3 Richter (30 potresa u godinu dana), 185 poginulih, 10 000 uništenih zgrada, 100 000 oštećenih



- Nepal, 2015., 7,8 Richter, 8600 poginulih, 250 000 oštećenih i uništenih zgrada

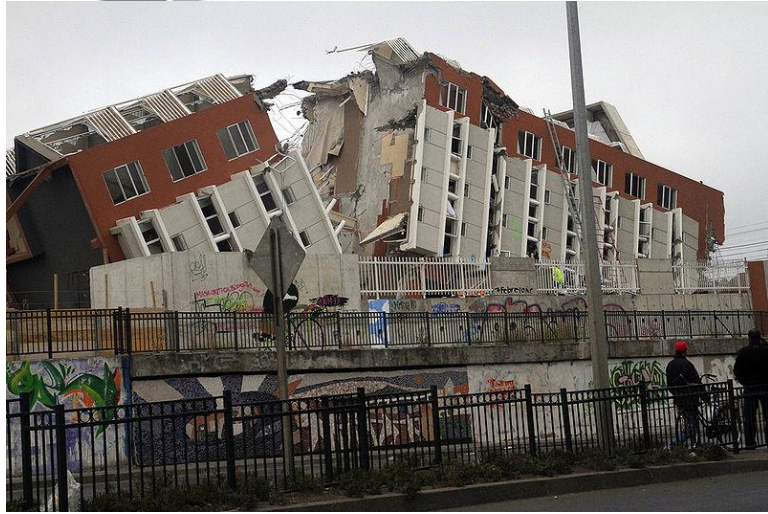




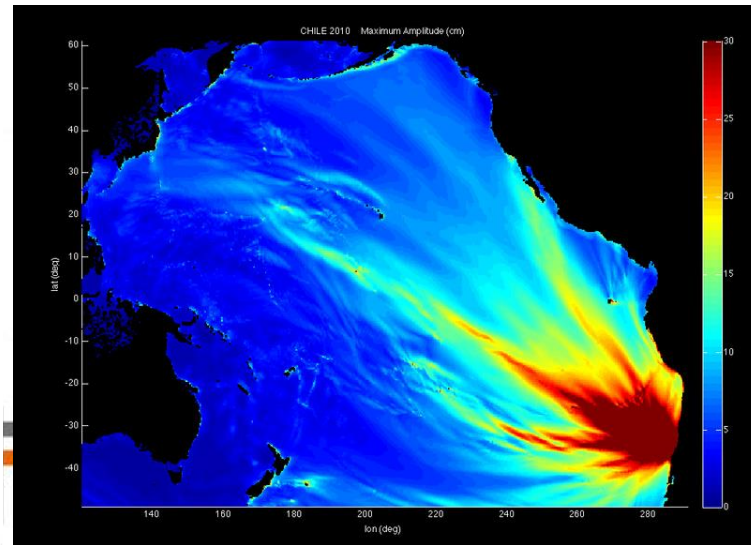
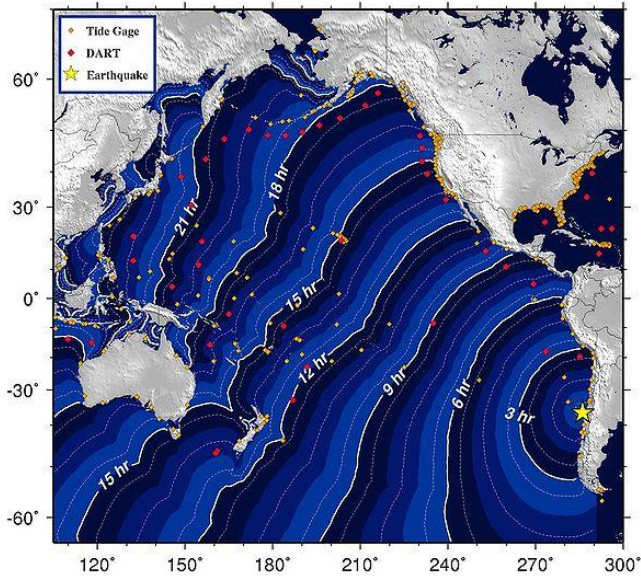


nZEB
TRENING CENTAR

Potres



Tsunami Travel Times





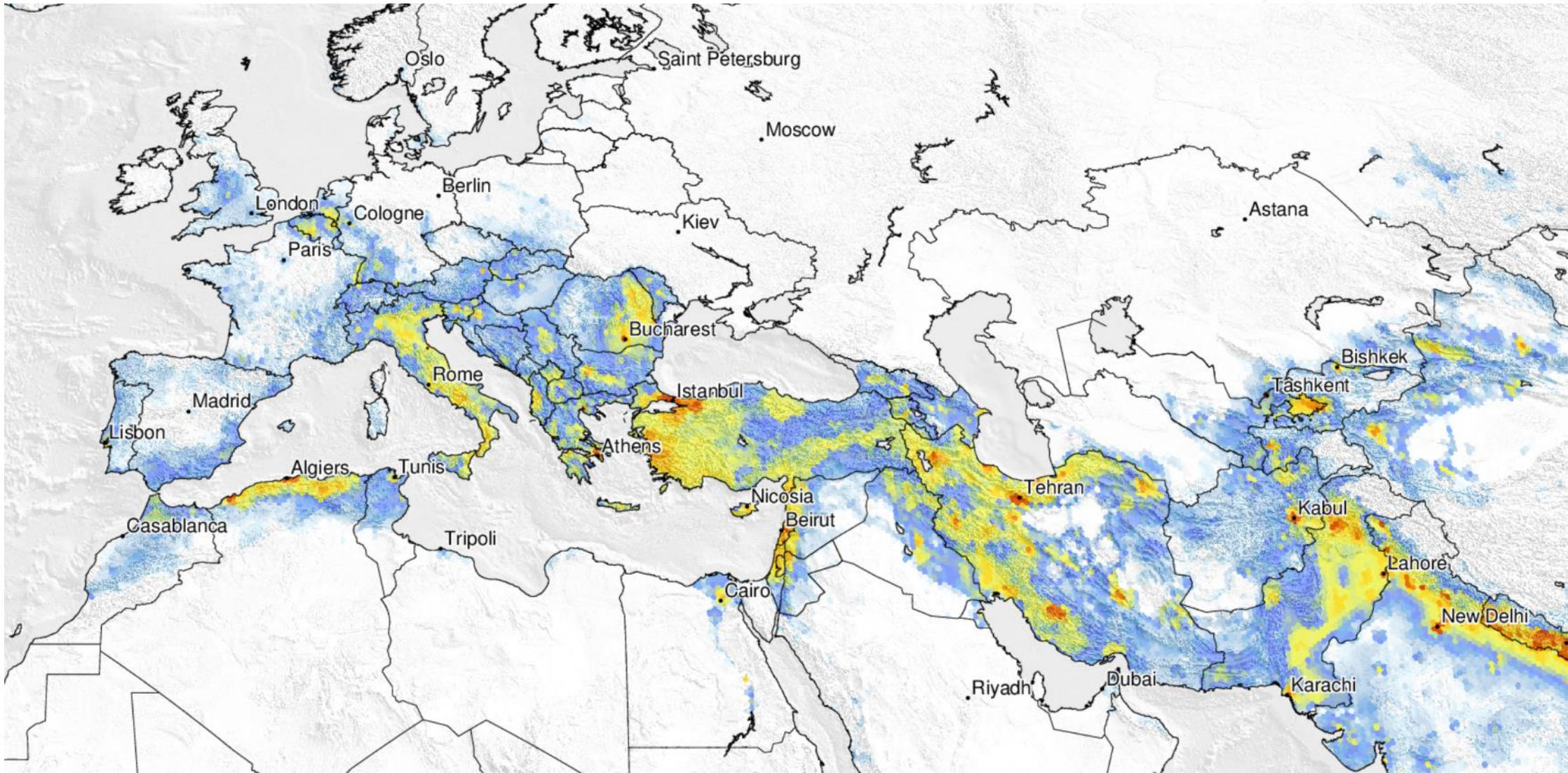
nZEB
TRENING CENTAR

Potres



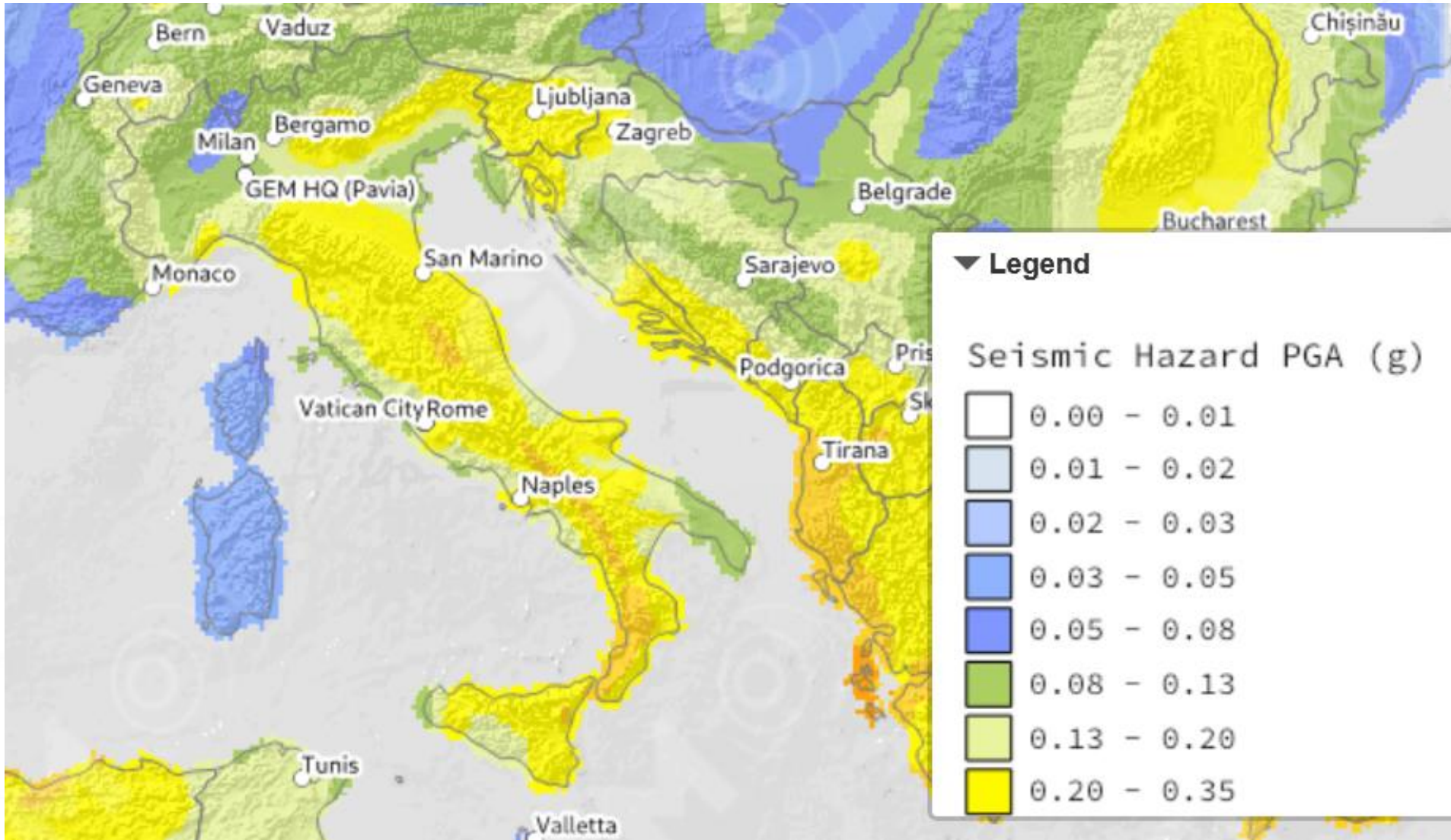


GEM - hazard





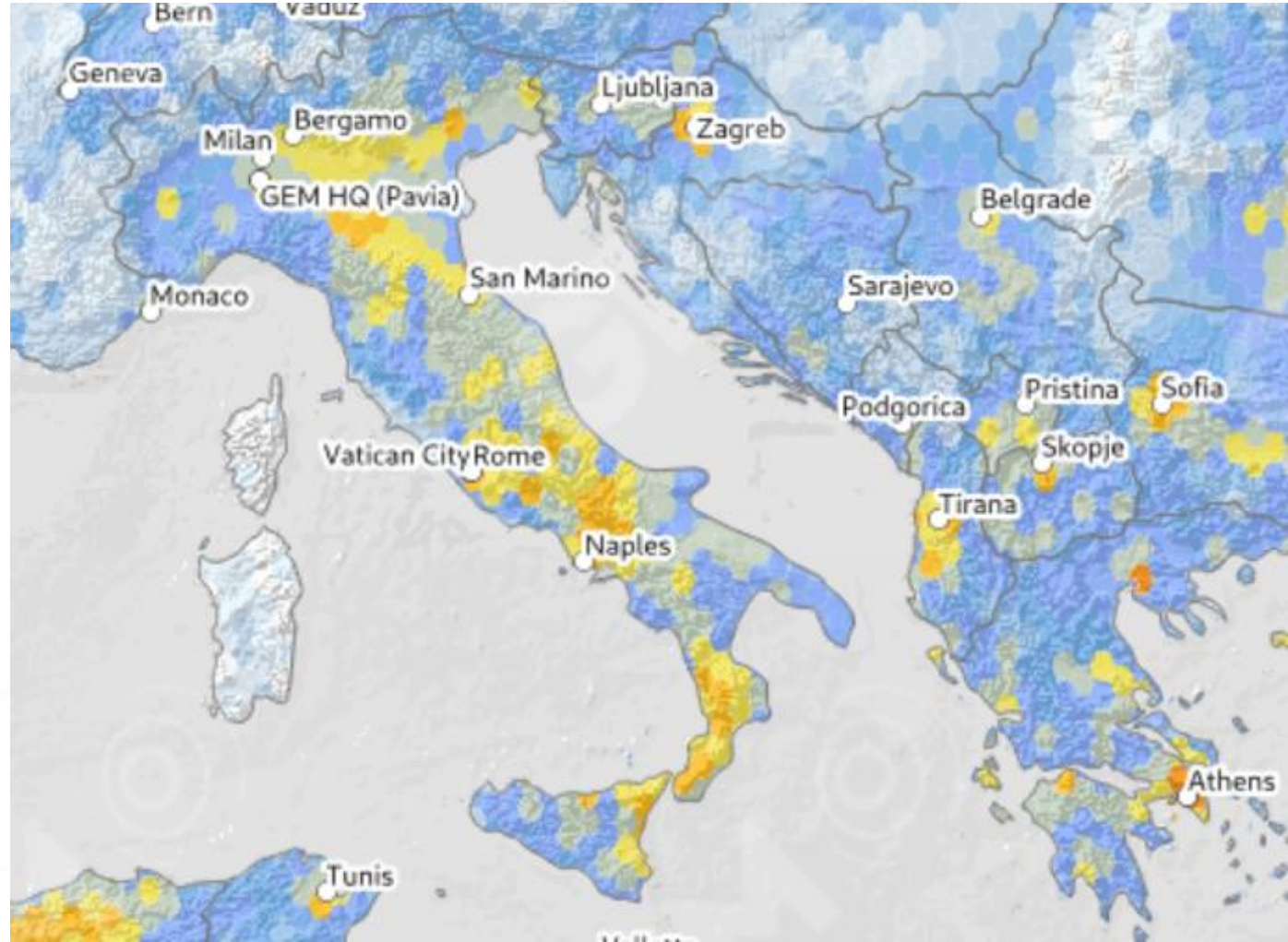
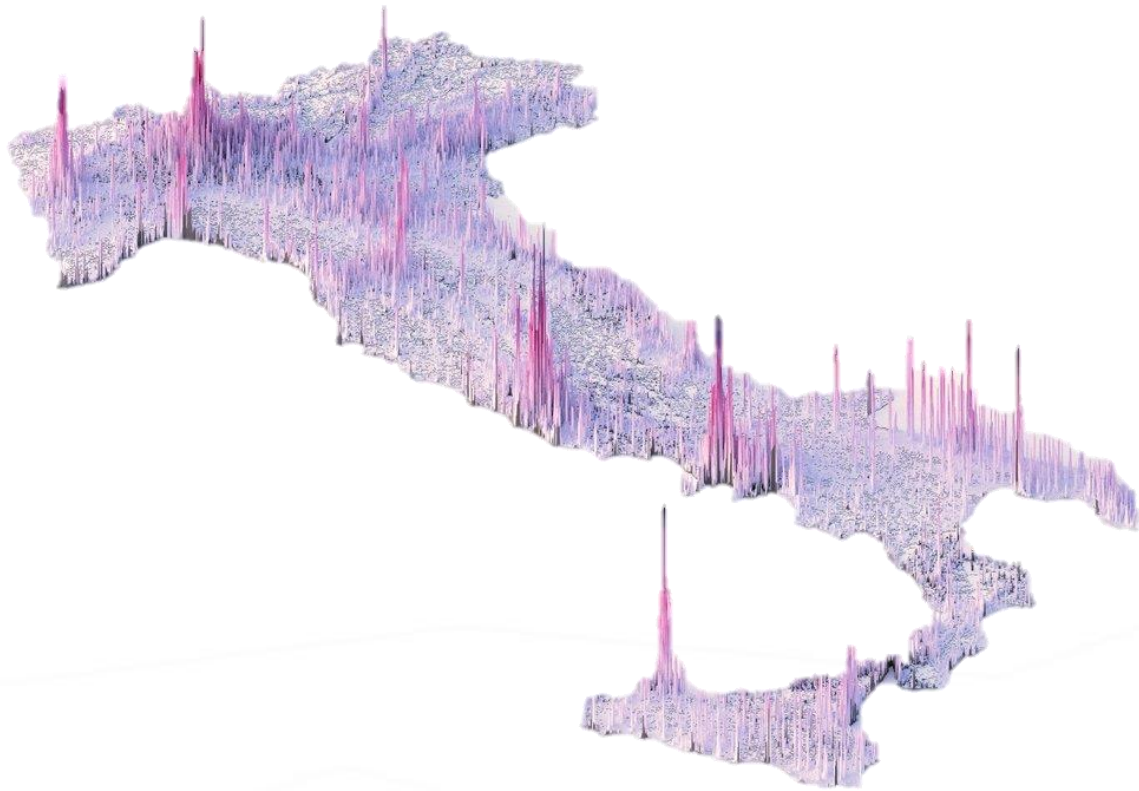
GEM - hazard



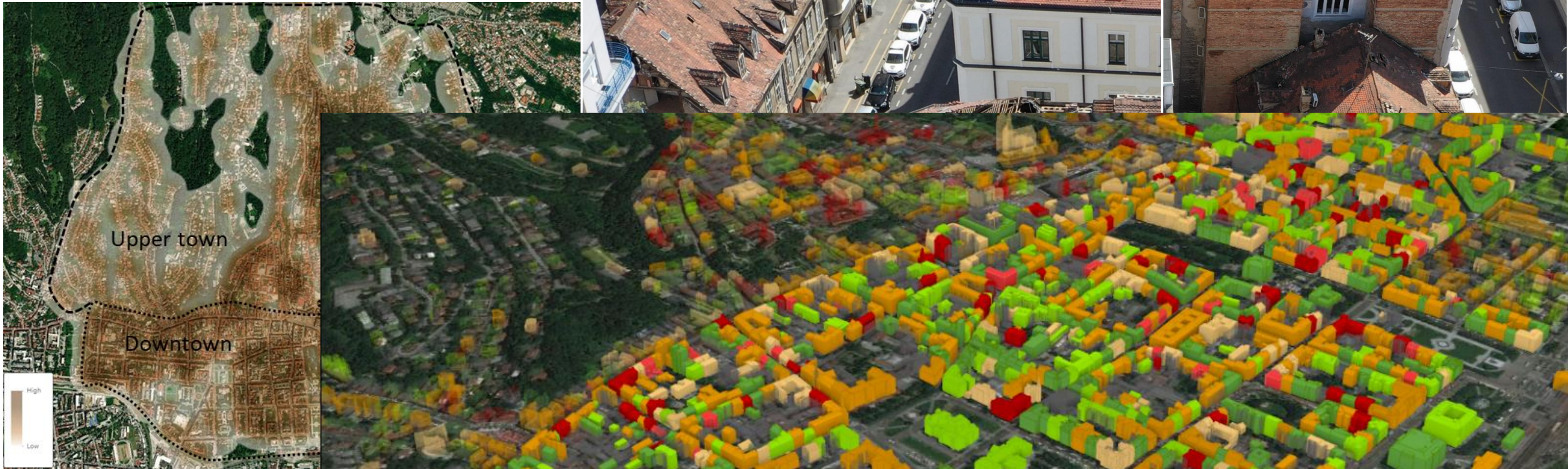


nZEB
TRENING CENTAR

Izloženost



Sveučilište u Zagrebu
Građevinski fakultet





nZEB
TRENING CENTAR

Građevinski fond



Iceland
Liechtenstein
Norway grants



Sveučilište u Zagrebu
Građevinski fakultet



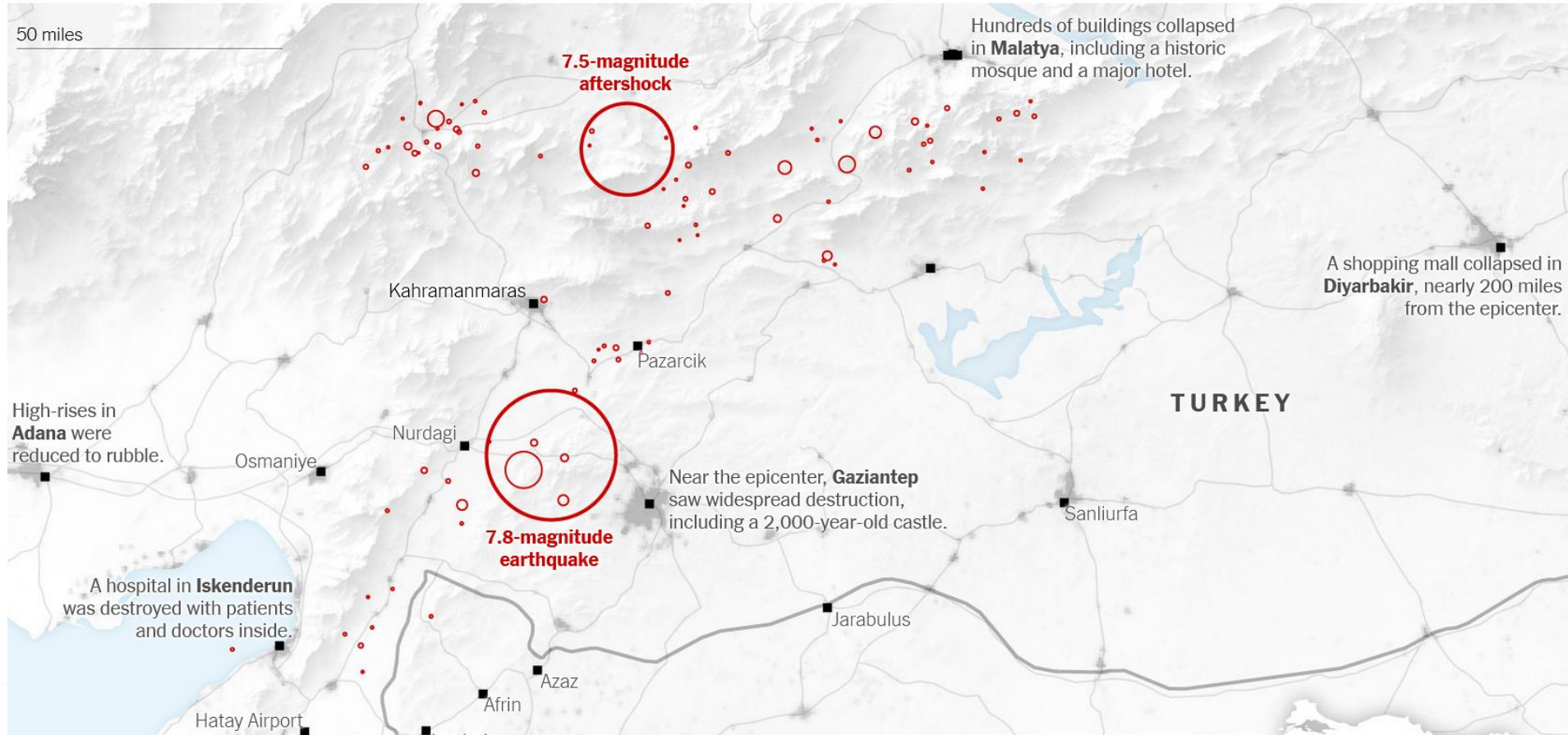
nZEB
TRENING CENTAR

Posljedice



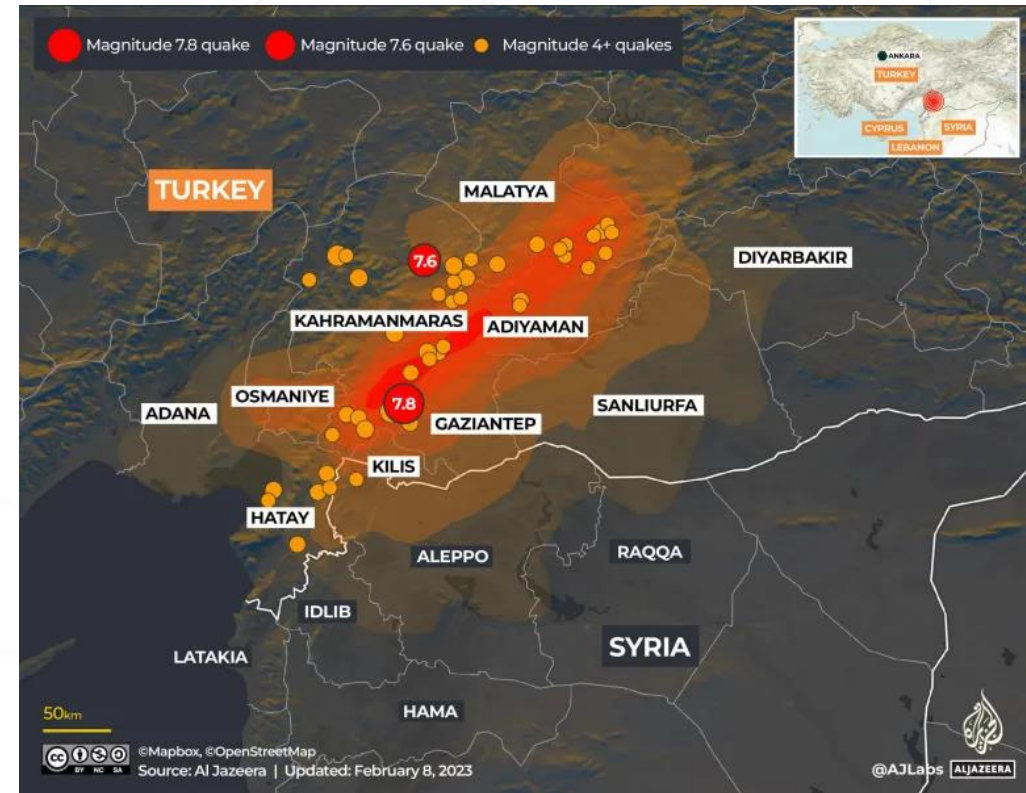


Posljedice





Posljedice



June 2020



Feb. 6, 2023



August 2022



Feb. 6, 2023





nZEB
TRENING CENTAR

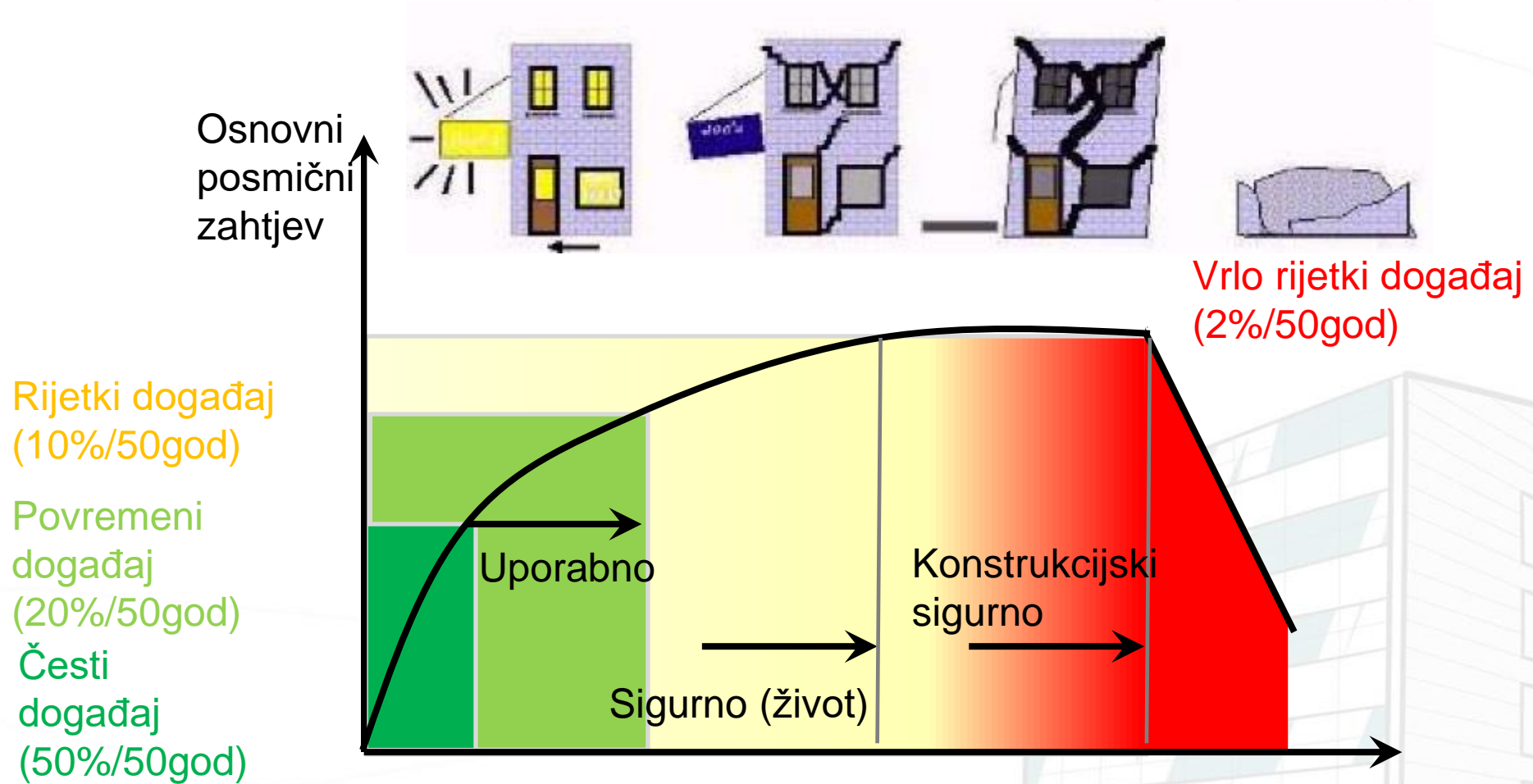
Posljedice



Sveučilište u Zagrebu
Građevinski fakultet



Ponašanje i projektiranje



Hvala na pozornosti!



Mislav Stepinac, mstepinac@grad.hr

