

Seizmička i klimatska ugroženost dubrovačkog područja
Dubrovnik, 3. i 4. svibnja 2022.



SEISMIC RISK ASSESSMENT OF CULTURAL HERITAGE BUILDINGS IN CROATIA

Croatian Science Foundation Research Project IP-2020-02-3531

UTJECAJ LOKALNIH UVJETA TLA NA POTRESNU UGROŽENOST STARE GRADSKJE JEZGRE DUBROVNIKA

Doc.dr.sc. Davor Stanko

davor.stanko@gfv.unizg.hr

Geotehnički fakultet Varaždin, Sveučilište u Zagrebu



- **Kratki pregled SeisRICHerCRO projekta**
 - Seizmički rizik
 - Kulturna baština i potresi
- **Potres 1979. i stara gradska jezgra Dubrovnika**
- **Lokalni uvjeta tla – kratki pregled**
- **Pregled dosadašnjih istraživanja u okvir projekta SeisRICHerCRO u Dubrovniku**
 - Mikrosezmička mjerenja
 - Geofizička mjerenja
 - Preliminarni rezultati
 - Mikrosezmička mjerenja u građevinama
 - Daljnja istraživanja – što je krajnji cilj?
- **Zaključak i smjernice**

<https://seisrichercro.wordpress.com/>



Kratki pregled SeisRICHerCRO projekta

Procjena seizmičkog rizika građevina kulturne baštine u Hrvatskoj

Trajanje projekta: 25.01.2021. – 24.01.2025.

Financiranje projekta: Hrvatska zaklada za znanost (HRZZ)

Nositelj projekta: PMF Zagreb

Voditeljica projekta: Izv.prof.dr.sc. Snježana Markušić



Kulturna baština i potresi



- U ovom projektu istraživanje je usmjereno na objekte kulturne baštine, što je ustaljena praksa u razvijenim zemljama, ali još nije prepoznata u Hrvatskoj.
- Riječ “**baština**” podrazumijeva da se radi o vrijednostima koje prelaze uske nacionalne okvire unutar pojedinih država i koje su značajne za cijelo čovječanstvo.
- Građevine su obično projektirane na vijek trajanja od 50 godina što je premašeno (degradacija materijala) kod većeg dijela postojećeg stambenog fonda.
- Građevine kulturne, sakralne ili općenito povijesne baštine, pretežno izgrađene iz nearmiranog zida i stropnih drvenih grednika (do 1918. godine), zahtijevaju poseban pristup i mjere protupotresnih pojačanja s ciljem očuvanja nosivosti i uporabljivosti uslijed potresnih djelovanja (odnosi se na potrese magnituda većih od 5).

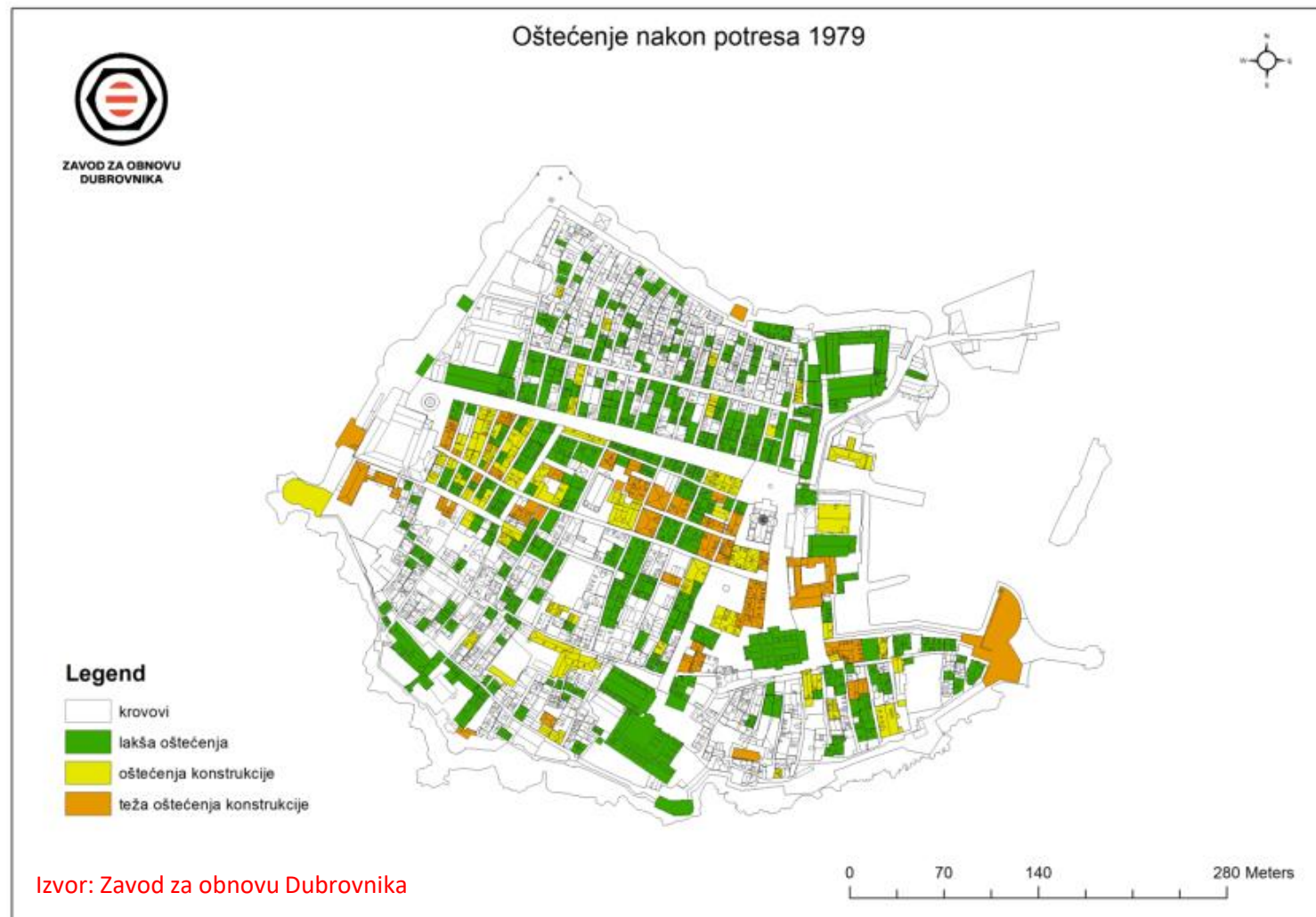
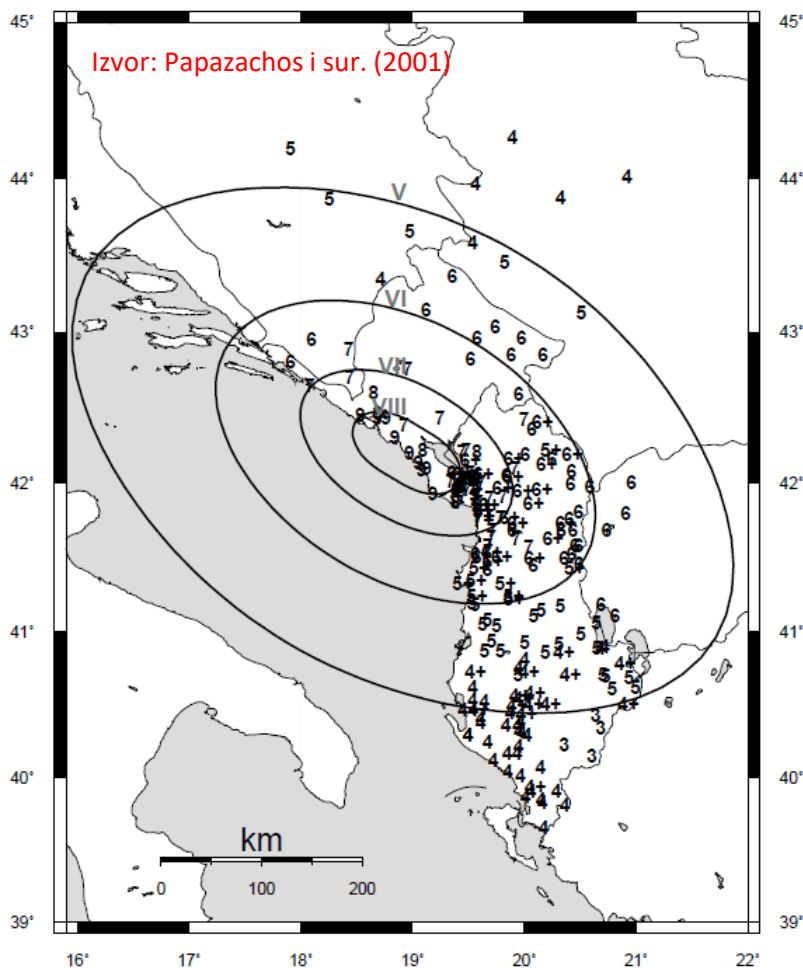
Kulturne građevine (ali i ostale građevine) izgrađene prije 1964. godine, odnosno prije prvih propisa koji značajnije uzimaju u obzir potresno djelovanje, su **značajnije ugrožene!**

NEMA ZAKONSKE OBVEZE PROTUPOTRESNOG OJAČAVANJA STARIJIH ILI POVIJESNIH ZGRADA!

Potres 1979. Mw7.1 ~ 100 km



1979, April 15, 42.20°N, 18.95°E, M=7.1, Montenegro coast



Dosadašnja saznanja o staroj jezgri



Za potrebe konstrukcijske sanacije u potresu izrađena je i **Karta detaljne seizmičke mikrozonacije** temeljem provedenih geomehaničkih, geofizičkih i geotehničkih istraživanja.

Tlo na kojem je neka građevina sagrađena igrat će značajnu ulogu u opsegu same štete od potresa.

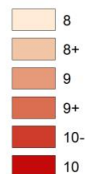


ZAVOD ZA OBNOVU
DUBROVNIKA

Seizmičko mikrozoniranje po MCS ljestvici

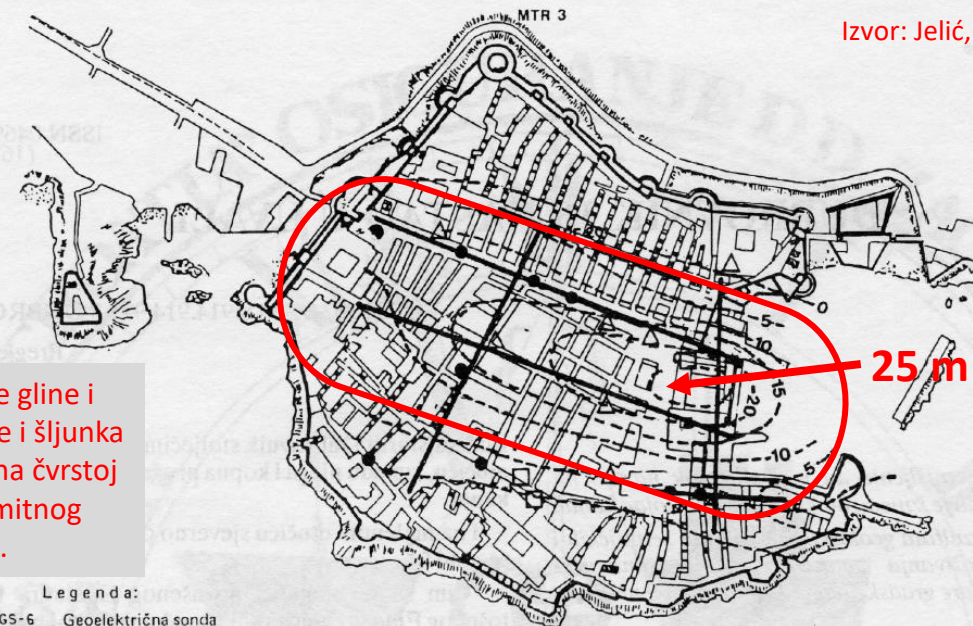


Legend



Izvor: Zavod za obnovu Dubrovnika

Pretežito naslage gline i pijeska s puno gline i šljunka debljine 10-20 m na čvrstoj podini od dolomitnog vapnenca.



Izvor: Jelić, R. (1994).

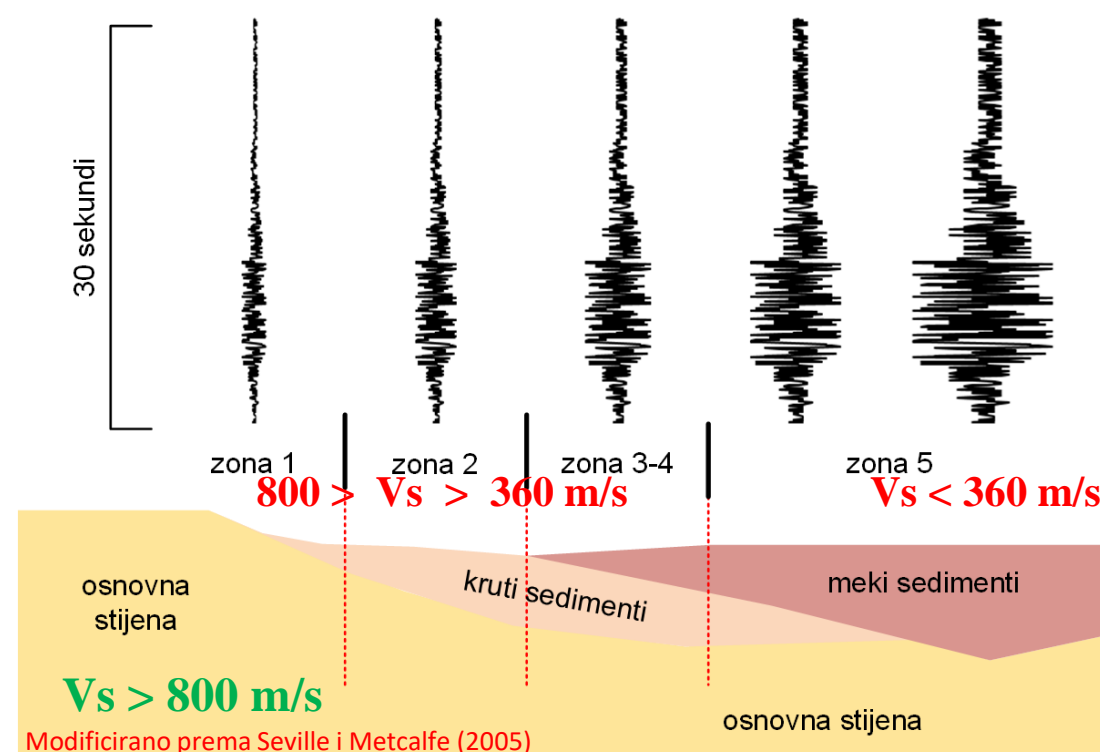
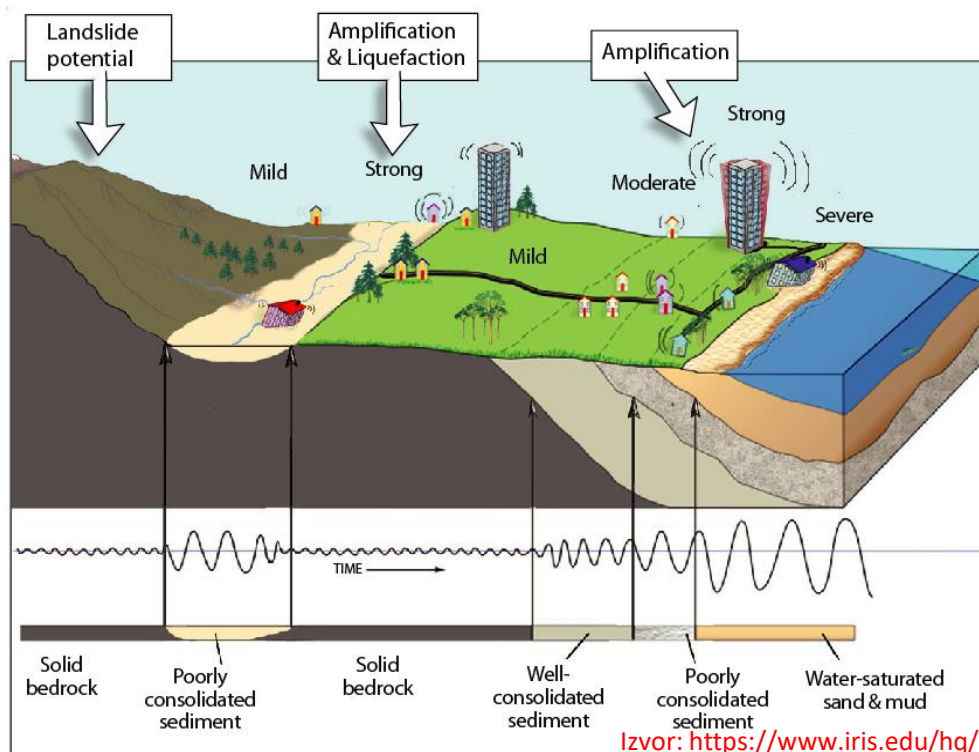
- Legenda:
- GS-6 Geoelektrična sonda
 - RF-16 Refrakcijska sonda
 - ▣ Merenje mikrotremora na tlu
 - ▣ Merenje mikrotremora na tlu
 - S-19 ▲ Geotehnička bušotina u kojoj je izvršeno merenje brzina
 - S-9 ▲ Geotehnička bušotina u kojoj je izvršeno merenje brzina i karotaž:
 - Geodinamički profil
 - 15— Izolinija debljine kvartarnih sedimer

Slika 1. Situacija izvedenih geofizičkih radova i položaj geodinamičkih profila

Lokalni uvjeti tla



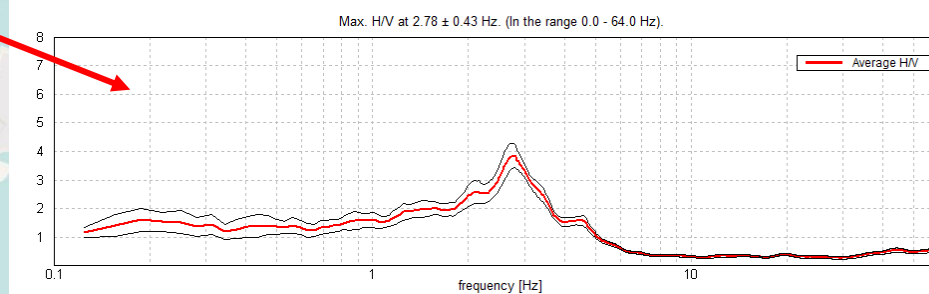
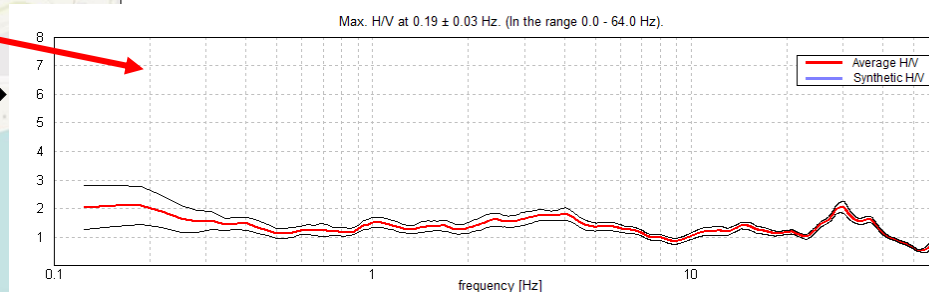
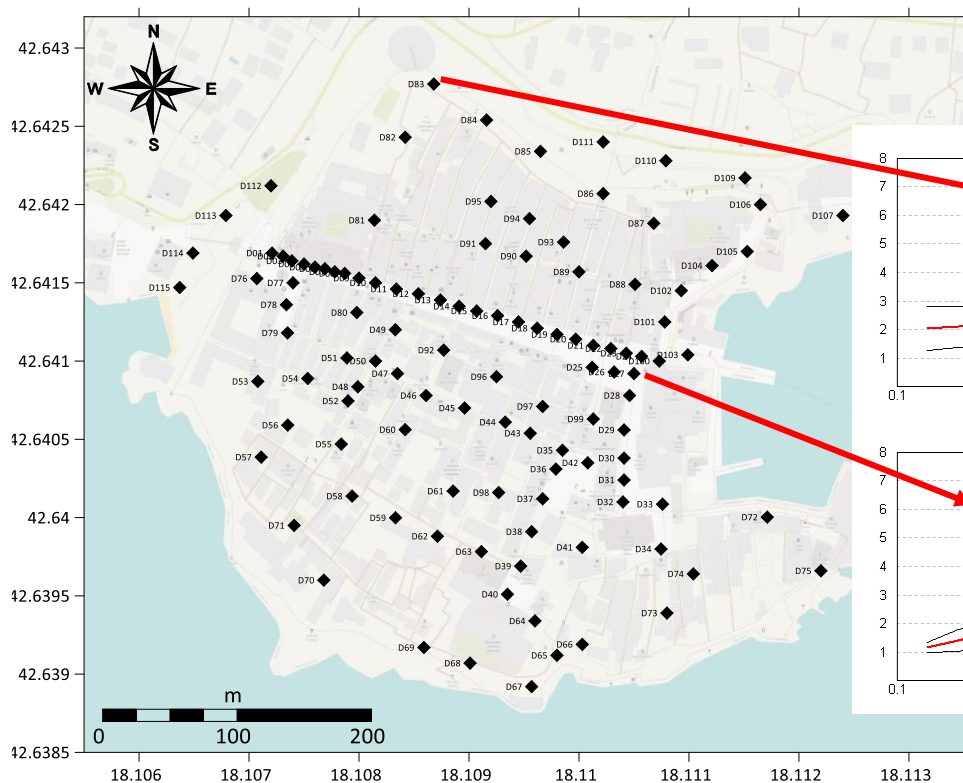
- Prirodno mekana rastresita tla, **koherentna (GLINA, PRAH) i nekoherentna tla (ŠLJUNAK, PIJESAK) debljih naslaga**, kao što su riječni ili jezerski sedimenti, posebno u dolinama kao i mehanički nasuti tereni mogu pojačati (amplificirati) trešnju i uzrokovati veća oštećenja, a time i veći intenzitet od očekivanog na tom mjestu.
- **AMPLITUDA GIBANJA TLA**
- **FREKVENCIJA GIBANJA TLA i DULJINA TRAJANJA TREŠNJE**



Mikroseizmička mjerenja



- Mikrosezmički nemir je stalna trešnja površine tla uzrokovana prirodnim (vjetar, valovi na moru, daleki potresi...) i antropogenim (industrija, infrastruktura...) izvorima.
- **Mjerenje osnovne frekvencije lokalnog tla**
- **29.11-3.12.2021. → 115 mjerenja ~ 0.2 km²**



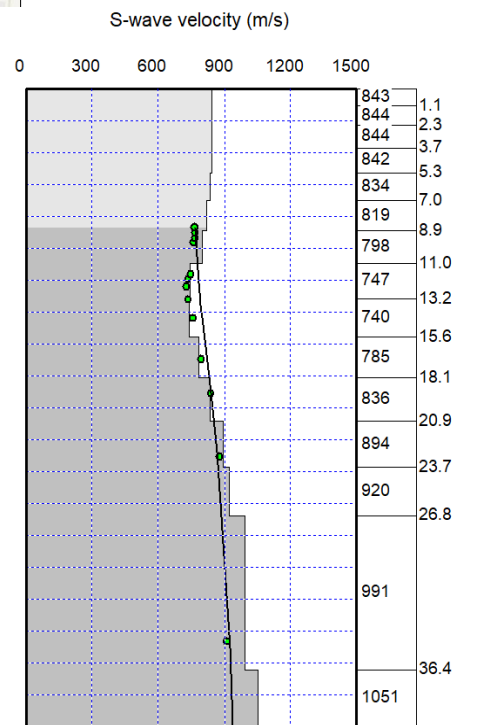
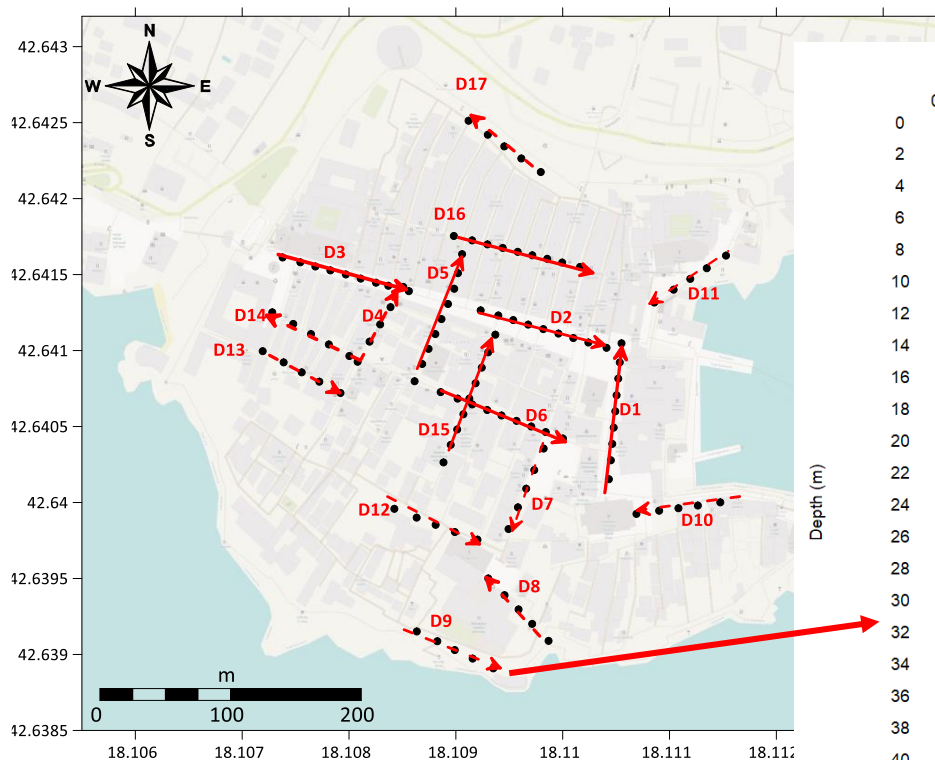
HVSR krivulje s maksimumom na niskim frekvencijama ukazuju na dublje, rahle sedimente iznad čvrsta osnovne stijene.

Ravna HVSR krivulja ukazuje na čvrste strukture (stijena).

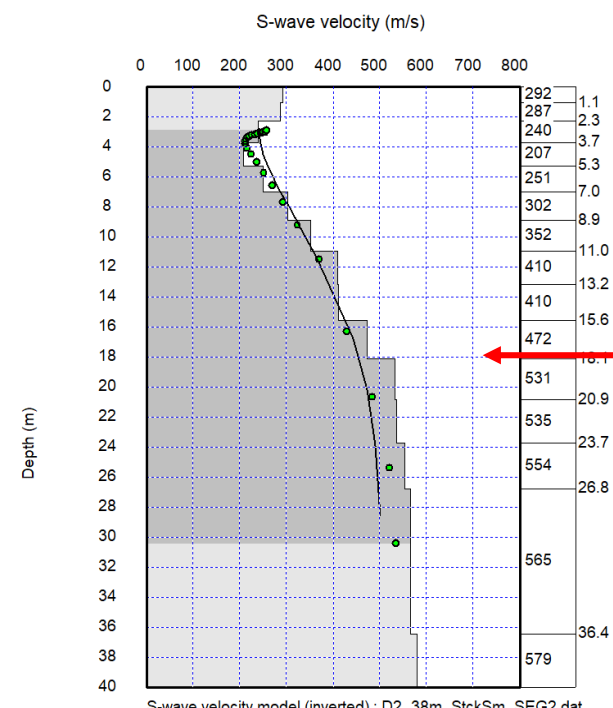
Geofizička mjerenja



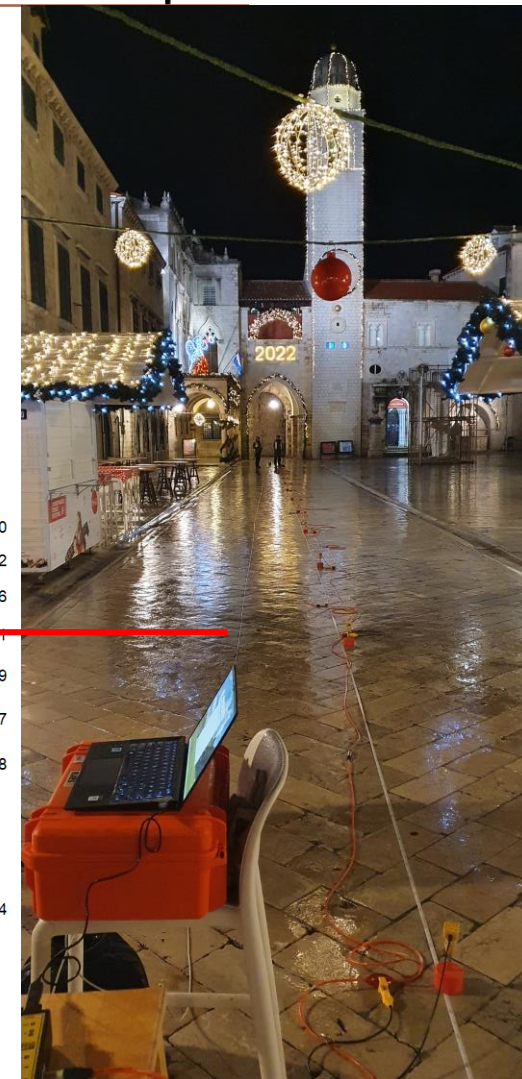
- Višekanalna analiza površinskih valova (MASW)
- **Ispitivanje građe lokalnog tla na temelju seizmičkih brzina S valova**
- **04.01-08.01.2022 → 17 profila ukupne duljine 1360 m, 117 mjernih točaka ~ 0.2 km²**



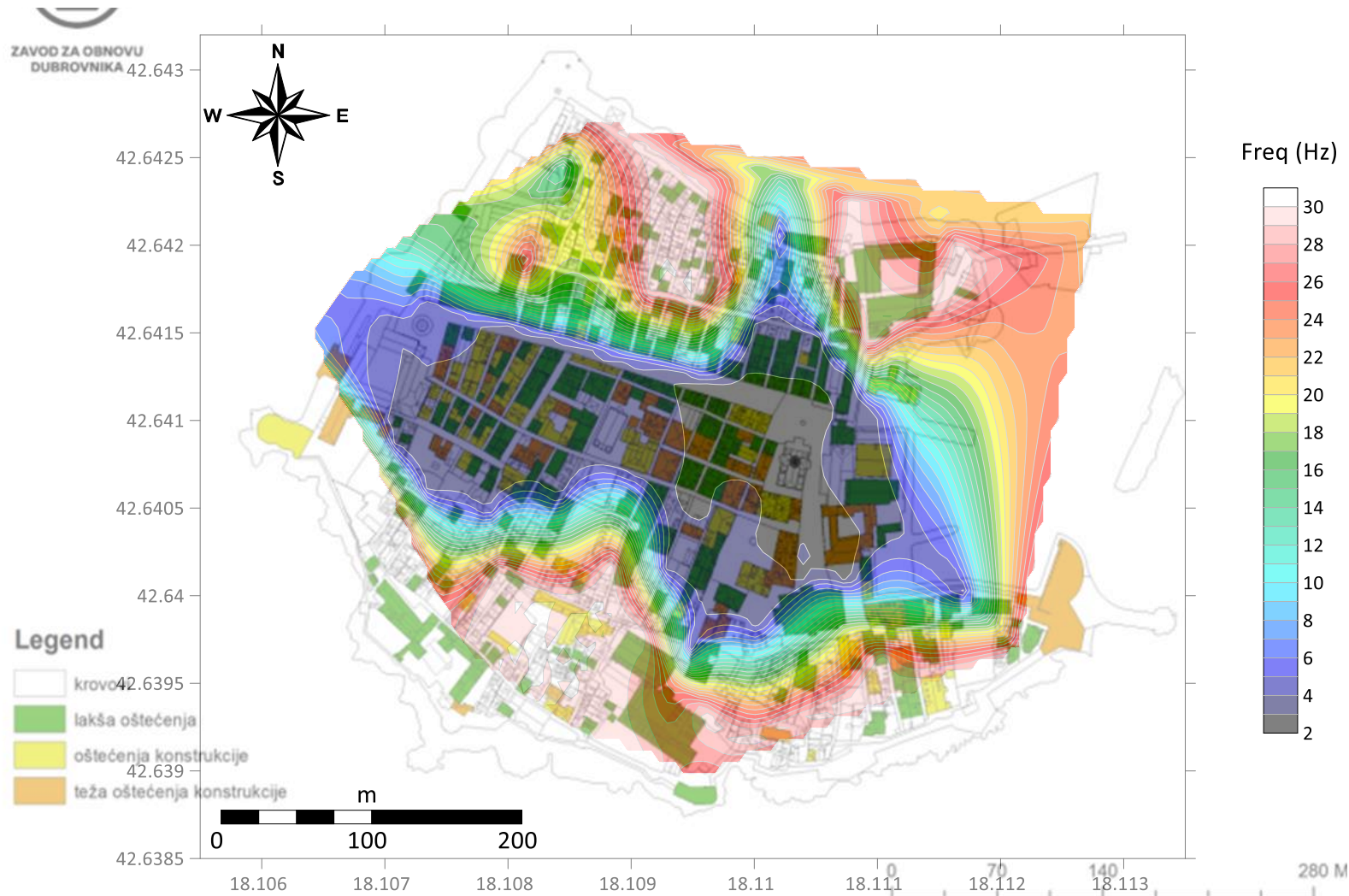
S-wave velocity model (inverted) : D9_0m_StckSm_SEG2.dat
Average Vs 30m = 842.0 m/sec



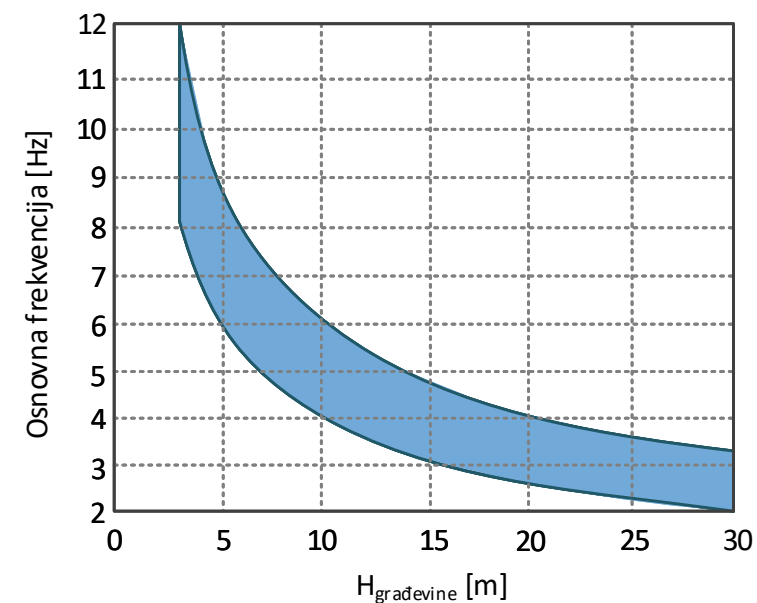
S-wave velocity model (inverted) : D2_38m_StckSm_SEG2.dat
Average Vs 30m = 383.2 m/sec



Preliminarna karta frekvencija

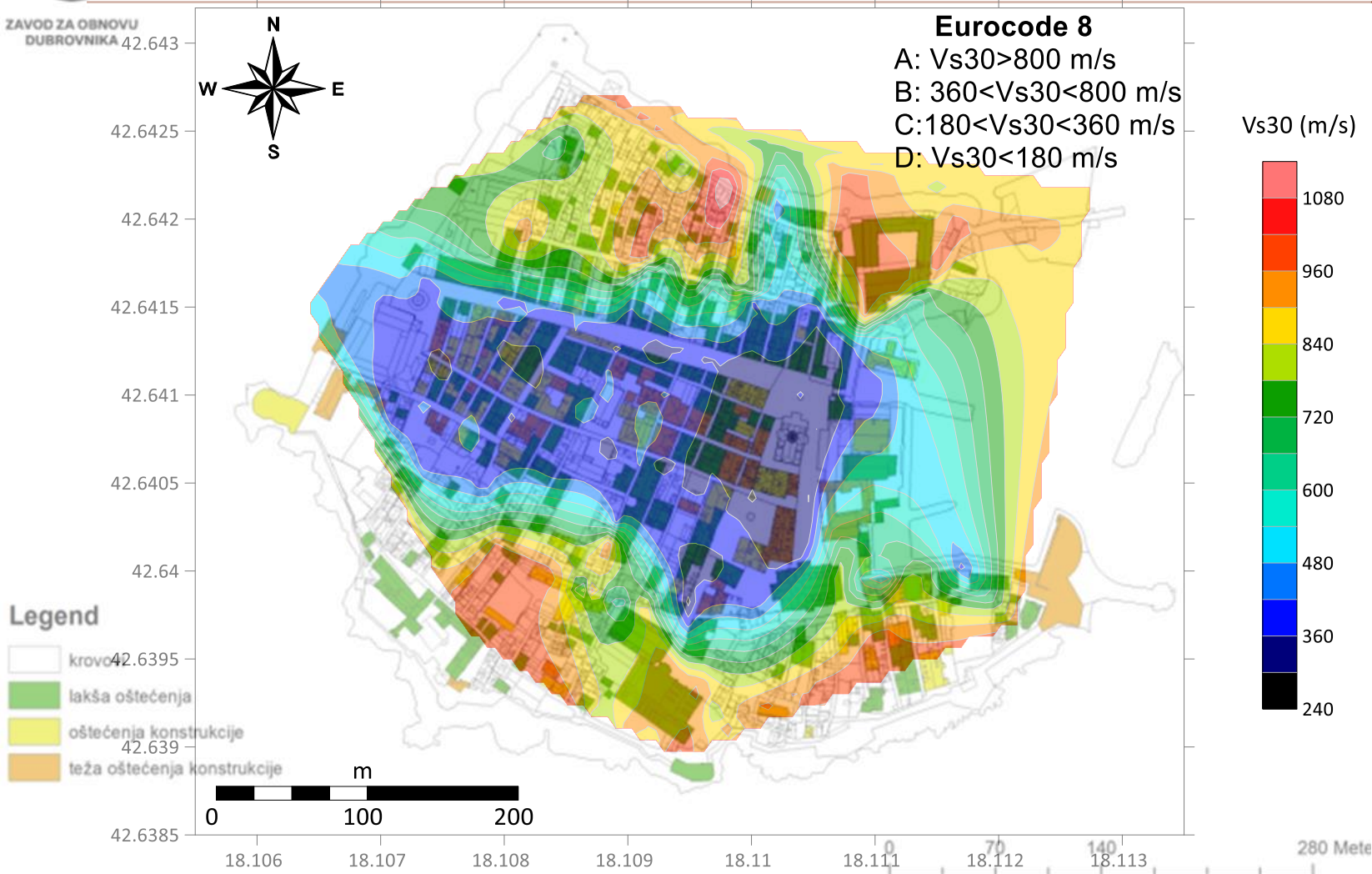


U slučaju da se **poklopi frekvencija gibanja tla s vlastitom frekvencijom građevine** može doći do pojave **REZONANCIJE** i potencijalna šteta od potresa može biti ogromna.



Približni trend odnosa frekvencije građevine i visine građevine – **vrijedi za armirano-betonske građevine.**

Preliminarna Vs30 (EC8) karta



Usklađivanje s postojećom normom protupotresnog projektiranja Eurokod 8.

Lokalni uvjeti tla → **seizmički odgovor na očekivanu seizmičku pobudu** → projektni spektri → ažuriranje seizmičke mikrozonacije.

Mjerenja u građevinama



- **Mjerenja osnovnih frekvencija u građevinama stare gradske jezgre Dubrovnika**

- Obavljena su mjerenja mikroseizmičkog nemira, 21.02.-25.02.2022

- Gradska vijećnica
- Gradski zvonik u Dubrovniku
- Zavod za obnovu Dubrovnika
- Biskupijska klasična gimnazija Ruđer Bošković
- Franjevački samostan Male braće
- 2 zgrade u Gundulićevoj poljani
- Kula Minčeta

- **Rezultati još nisu obrađeni ☹**



Što nam predstoji...krajnji cilj/smjernice



- Seizmičnost → seizmički hazard → **nova (ažurirana) karta potresne opasnosti**
- Lokalni uvjeti tla → **seizmički odgovor na očekivanu seizmičku pobudu** → **seizmička mikrozonacija**
- Mikrosezmička mjerenja u građevinama → insitu pregled → **procjena potresne rezonancije**
- Analiza konstrukcija odabranih zgrada na potresni scenarij → **seizmička ranjivost (ošteljivost) građevina**
- Katastar stanovništva i građevina → **izloženost i karta ranjivosti** na mikro i makro lokacijama
- **Procjena (karta) seizmičkog rizika (ugroženosti)** lokacije s obzirom na opasnost, izloženost i ranjivost

Primjer ŠVICARSKE



Izvor: <http://www.seismo.ethz.ch/en/knowledge/seismic-risk-switzerland/>

Izravni i krajnji korisnici projekta



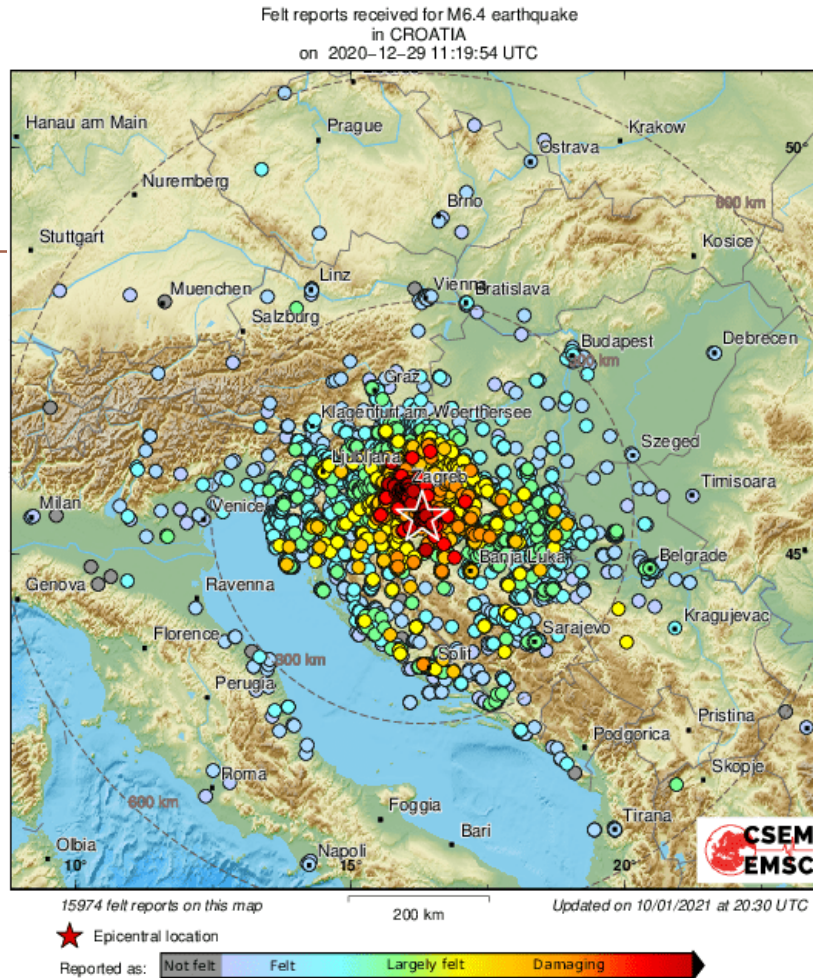
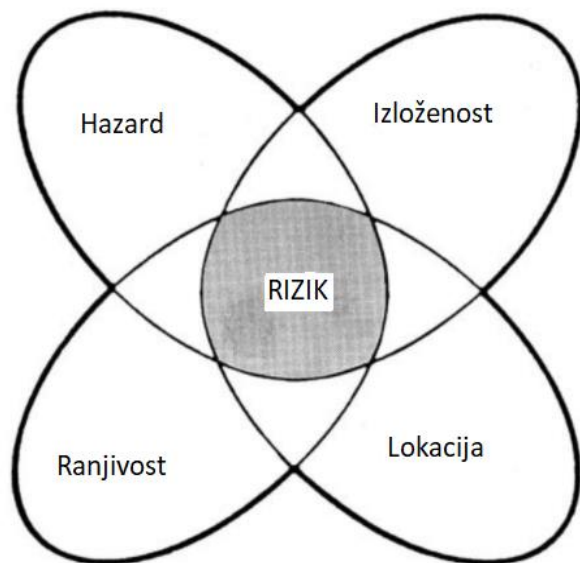
- **Primjena razvijene metodologije za procjenu seizmičkog rizika zgrada kulturne baštine (i ostalih objekata) koja uključuje:**
 - implementaciju u **PROSTORNO PLANIRANJE → SEIZMIČKA MIKROZONACIJA**
 - definiranje same lokacije gradnje i vrste građevine, provođenje terenskih geotehničkih, geoloških, geofizičkih i seizmičkih istraživanja
 - modeliranje seizmičkog odgovora lokalnog tla na očekivanu seizmičku pobudu
 - **procjenu karakteristika građevina od interesa (tip i kvaliteta gradnje) i definicije klasifikacija zgrada, te seizmičkog odgovora građevine na potresni scenarij,**
 - usklađivanje s postojećom normom protupotresnog projektiranja **Eurokod 8** – rezultati će također biti prilagođeni predstojećoj reviziji Eurokoda 8
 - **izgradnju novih i rekonstrukcija postojećih građevina s obzirom na seizmički hazard i rizik.**

Izravni korisnici ovog projekta su Ministarstvo kulture, kao i Ministarstvo graditeljstva i prostornog uređenja te Ministarstvo zaštite okoliša i energetike.

Krajnji korisnici projekta su lokalne samouprave gdje se nalaze odabrane građevine.

Građani Hrvatske su krajnji korisnici koji će imati koristi od povećane osviještenosti o seizmičkom riziku.

Zaključak



USPOSTAVLJANJE METODOLOGIJE očekivanih seizmičkih gubitaka za pojedini grad, regiju ili državu obuhvaća obradu podataka o seizmičkoj aktivnosti, **lokalnim uvjetima tla**, atenuacijskim relacijama gibanja tla (hazard), **izloženosti fonda građevina i infrastrukture** te karakteristikama ranjivosti izloženih.