



ULOGA GEOTEHNIKE U POTRESNOM INŽENJERSTVU

Savjetovanje 3: Obnova Zagreba nakon potresa - Znanjem za Zagreb

doc.dr.sc. Mario Bačić

prof.dr.sc. Tomislav Ivšić

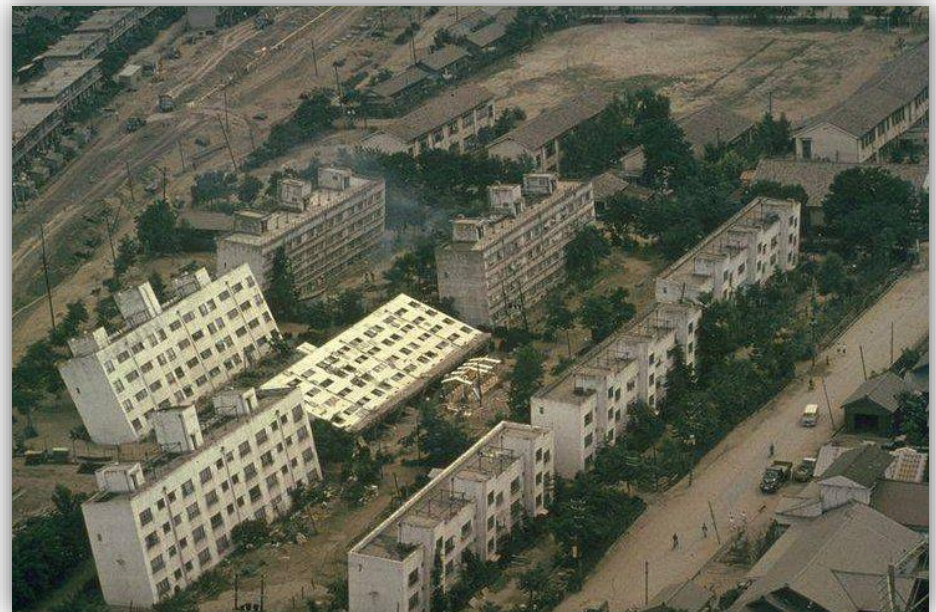
prof.dr.sc. Meho Saša Kovačević

Zavod za geotehniku

Građevinski fakultet

Sveučilište u Zagrebu

Zagreb, listopad 2020.





SADRŽAJ

- 1 Uvod – geotehnika kao sastavni dio potresnog inženjerstva
- 2 Amplifikacija seizmičkog odziva kao posljedica lokalnih uvjeta u tlu
- 3 Nestabilnosti tla u seizmičkim uvjetima i njihova evaluacija
- 4 Seizmička mikrozonacija: nužnost sveobuhvatnog pristupa
- 5 Utjecaj potresa na geotehničke konstrukcije
- 6 Zaključak

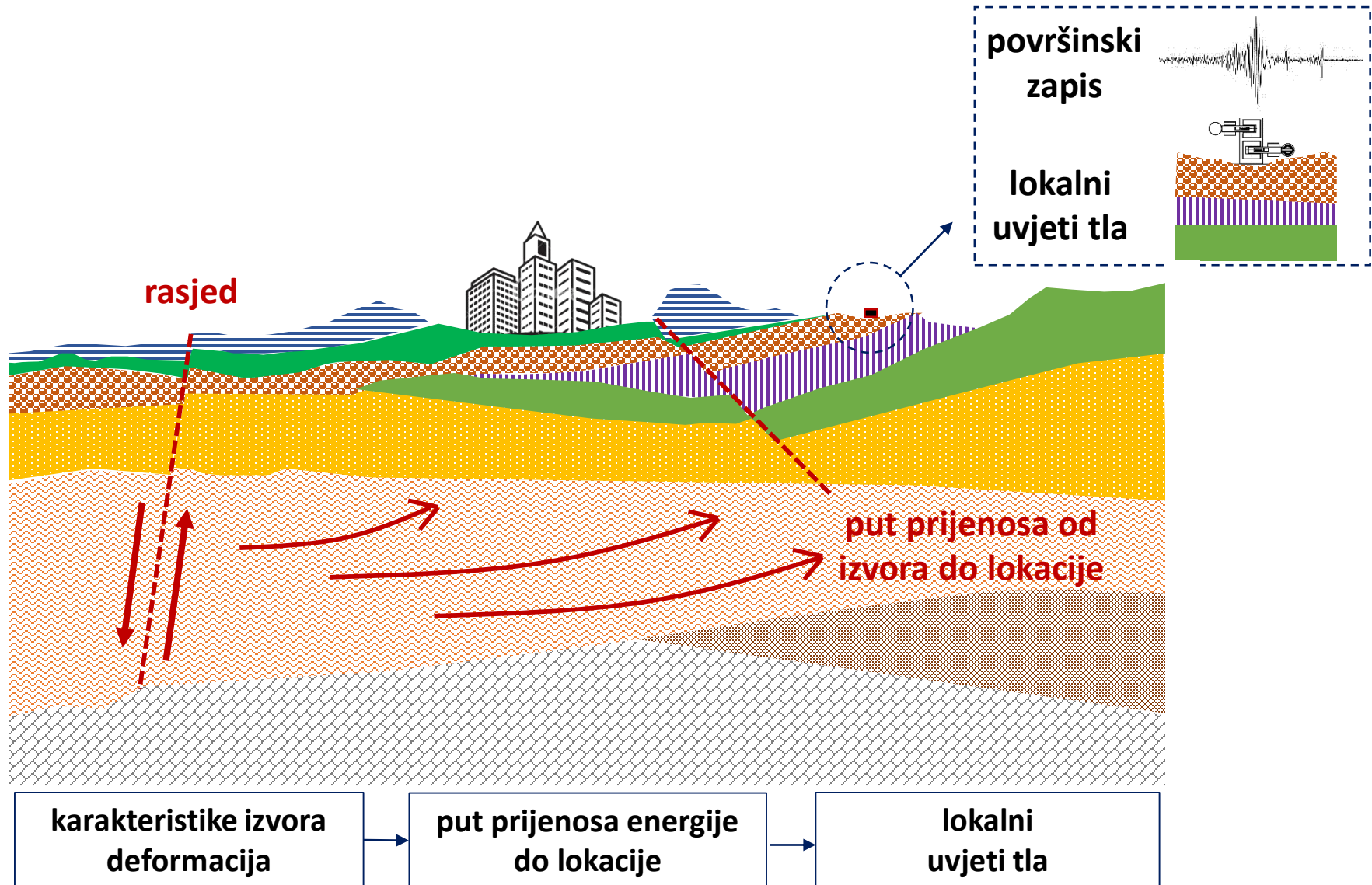


Uvod – geotehnika kao sastavni dio potresnog inženjerstva



- **Geotehničko potresno inženjerstvo** je disciplina koja "još uvijek uči":
 - svaki novi jači svjetski potres donosi nova saznanja
 - povećani broj zapisa potresa i razvoj instrumenata poboljšavaju baze podataka za određivanje seizmičnosti, te omogućuju objektivnije određivanje seizmičkog inputa za inženjerske aplikacije

- Intenzivniji razvoj u zadnjih pedesetak godina:
 - dinamička ispitivanja tla u laboratoriju i na terenu
 - teorijski i numerički modeli – opis i prognoze dinamičkog ponašanja
 - primjene geo-tehnologija za potrebe sigurne gradnje



karakteristike izvora i put do lokacije

Lokalni uvjeti tla

seizmologija i strukturalna geologija

inženjerska geologija i geotehnika

- Geotehnika promatra naslage tla iznad osnovne stijene kao "konstrukciju" koja pri potresnoj pobudi iz dubine ima svoj odziv i dominantna gibanja, i koju čine materijali prepoznatljivih **mehaničkih** (krutost, čvrstoća, prigušenje) i **hidrauličkih** svojstava.



Geotehničke okolnosti na pojedinoj građevinskoj lokaciji koje tijekom istražnih radova treba odrediti ili ocijeniti su sljedeće:

a) profil temeljnog tla:

- odziv lokalnog tla pri širenju seizmičkih valova od osnovne stijene do površine terena (amplifikacija i modifikacija spektra odziva)
- pojave dinamičke nestabilnosti tla (likvefakcija) i prekomjernih slijeganja

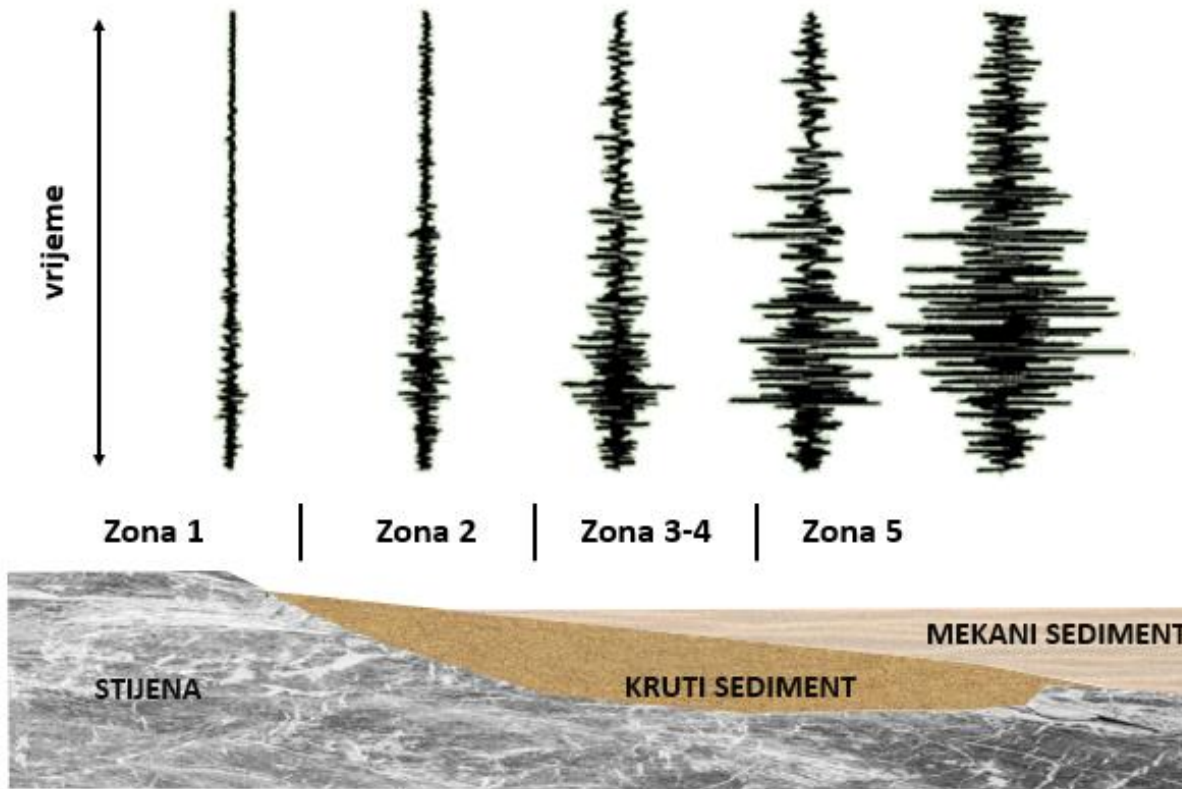
b) globalna stabilnost lokacije: pojava aktivnih rasjeda i nestabilne padine

c) povećanje zemljanih pritisaka na temeljne, potporne, nasute i ukopane konstrukcije zbog djelovanja potresa



Amplifikacija seizmičkog odziva kao posljedica lokalnih uvjeta u tlu

promjena amplitude i spektralnog sastava seizmičke pobude



lokalni inženjersko –
geološki uvjeti u tlu

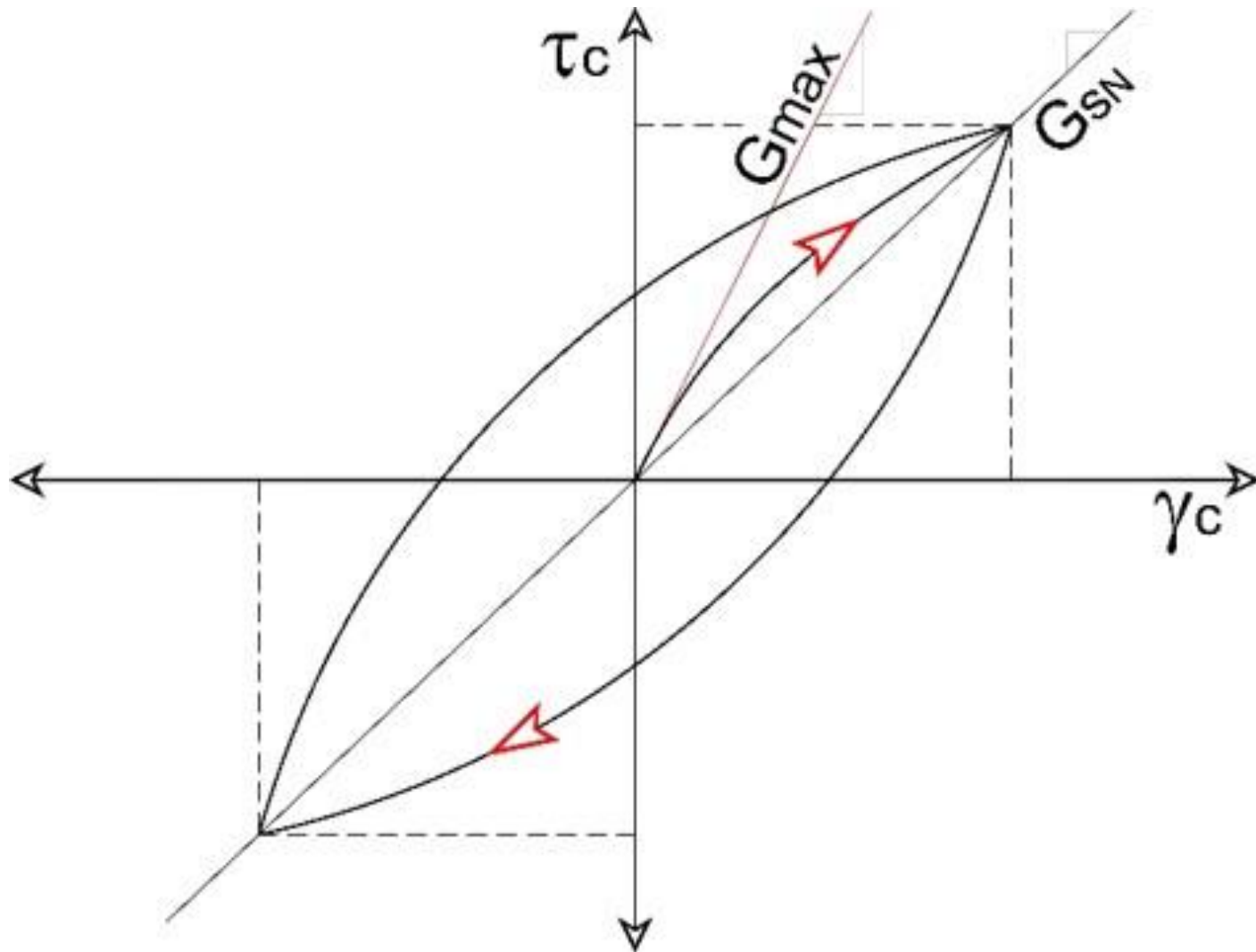


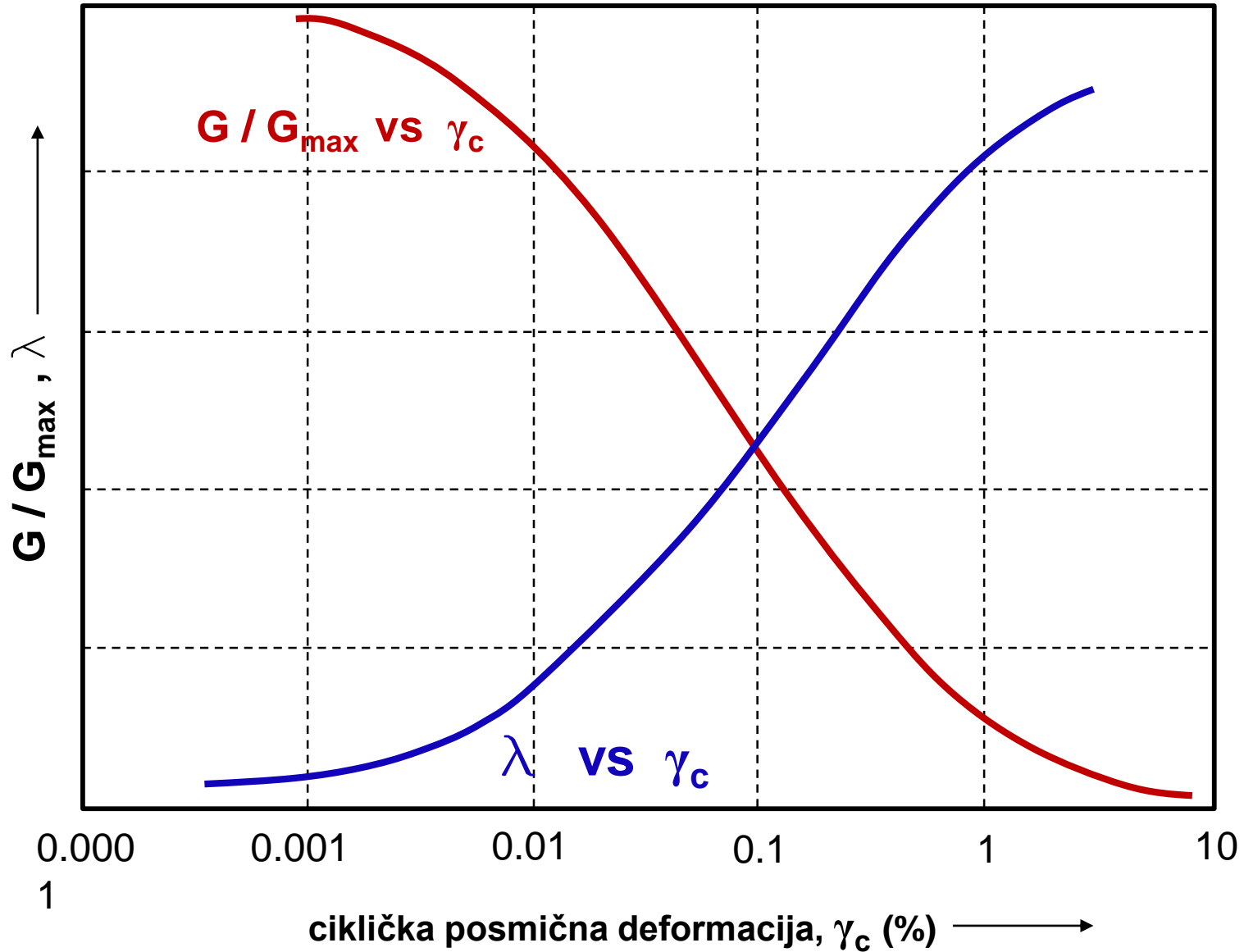
Postupak za određivanje **utjecaja lokalnog tla** uključuje :

- uspostavljanje geotehničkog seizmičkog modela (projektni seizmički profil),
- izbor seizmičke pobude i
- jednodimenzionalna analiza rasprostiranja posmičnih valova.

Za određivanje **geotehničkog seizmičkog profila** potrebno je:

- brzina posmičnih valova karakterističnih slojeva,
- gustoća tla,
- nelinearni odnosi modula posmika i prigušenja s posmičnom deformacijom,
- dubina profila do (modelskog) poluprostora.



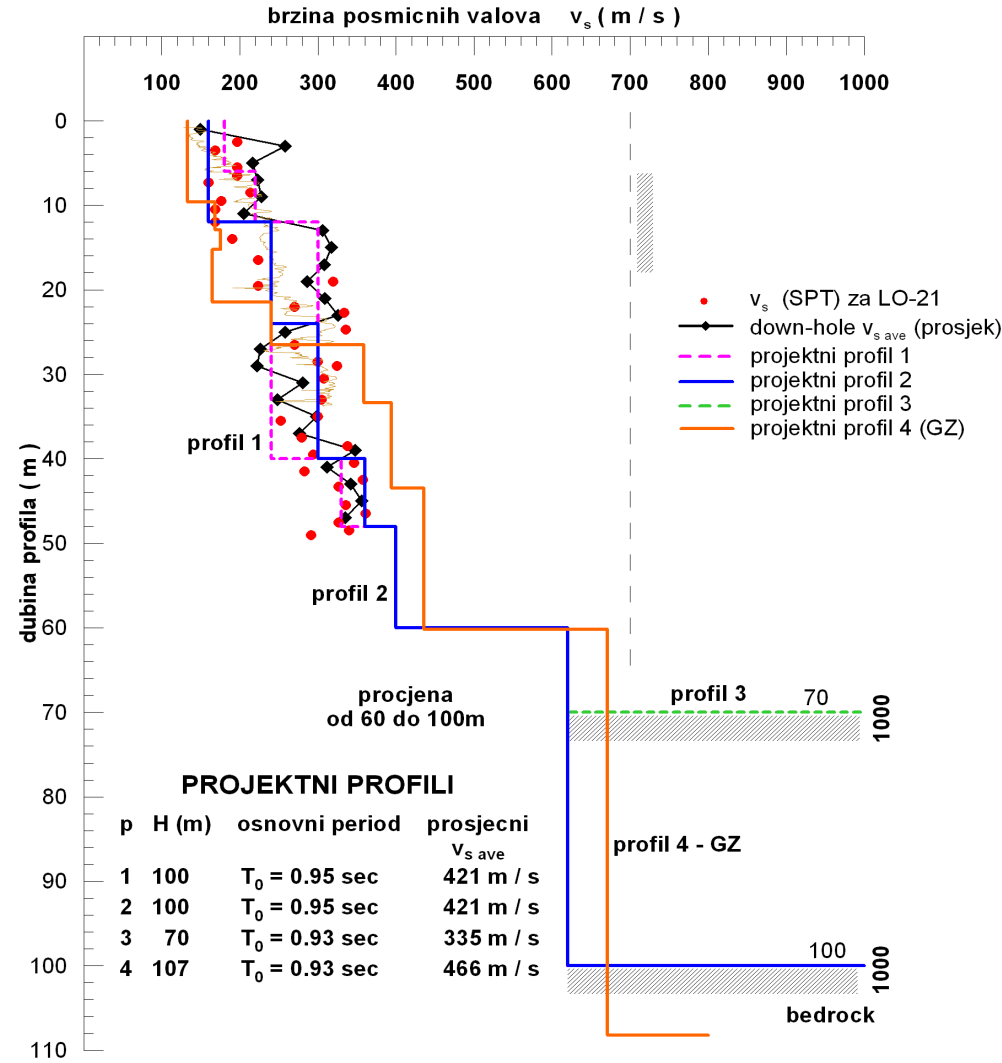


Dinamička ispitivanja i analize na lokaciji Luke Osijek



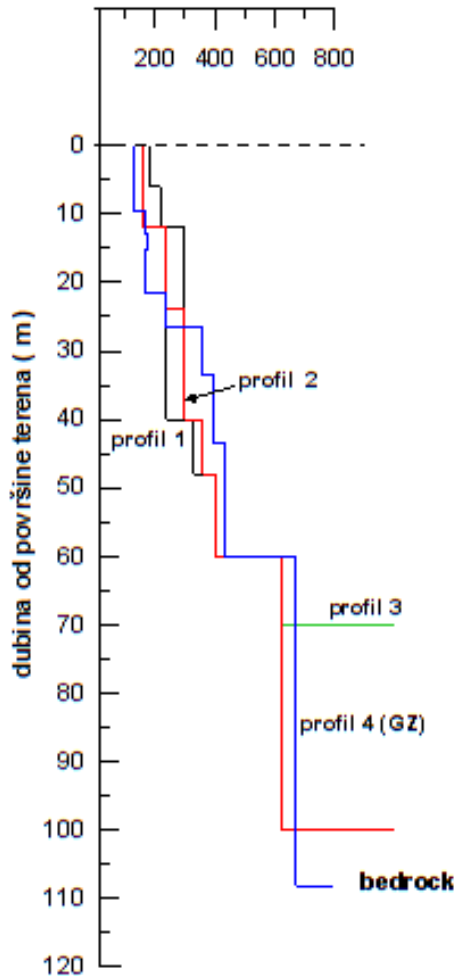
Ivšić (2016)

LUKA OSIJEK projektni seizmicki geotehnicki profil



LUKA OSIJEK TERMINAL

brzina posmicnih valova
 v_s (m/s)



Analiza seizmickog odziva tla

akcelerogram: OSIJEK-SINT

ELASTICNO $D = 8\%$

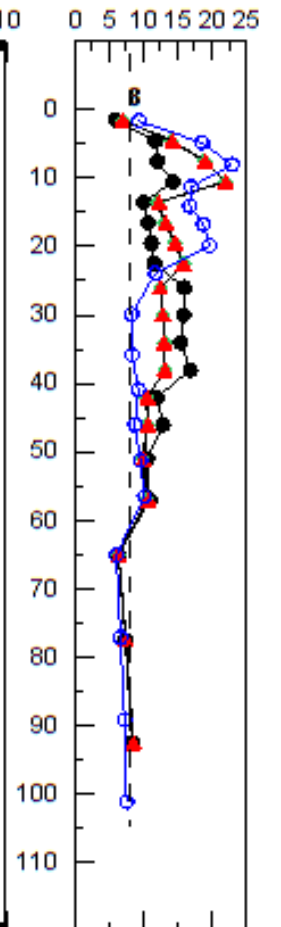
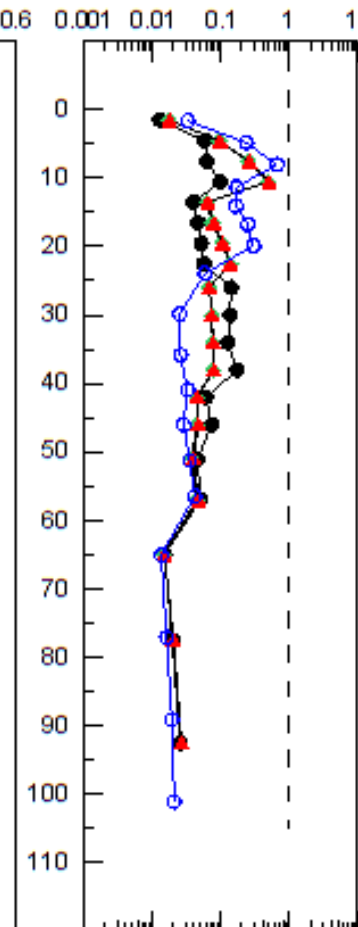
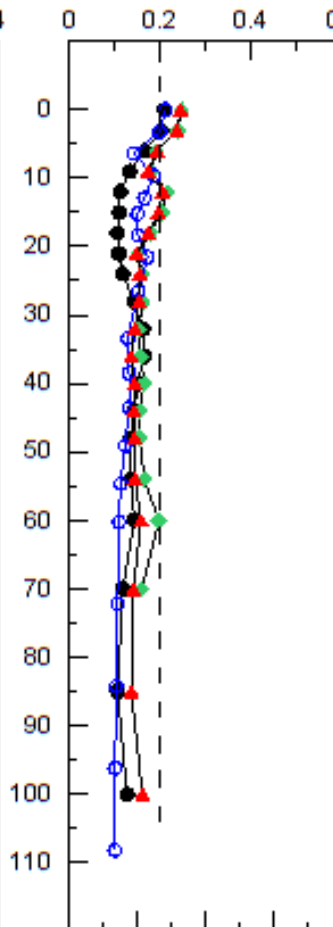
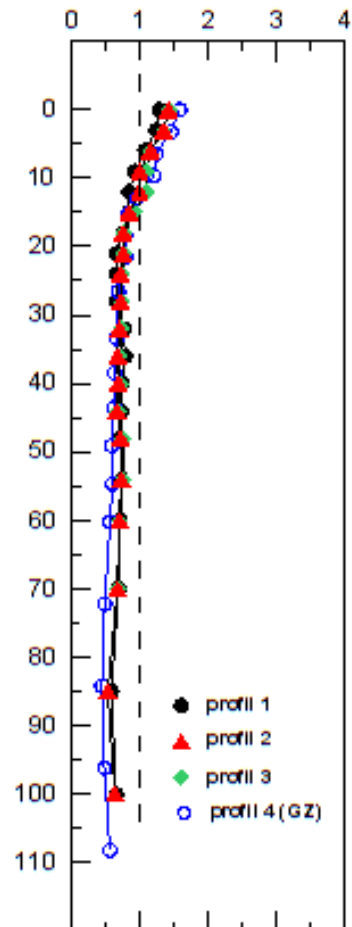
NELINEARNO $a_{max} = 0.20g$

DAF = $a_{max} / a_{max,base}$

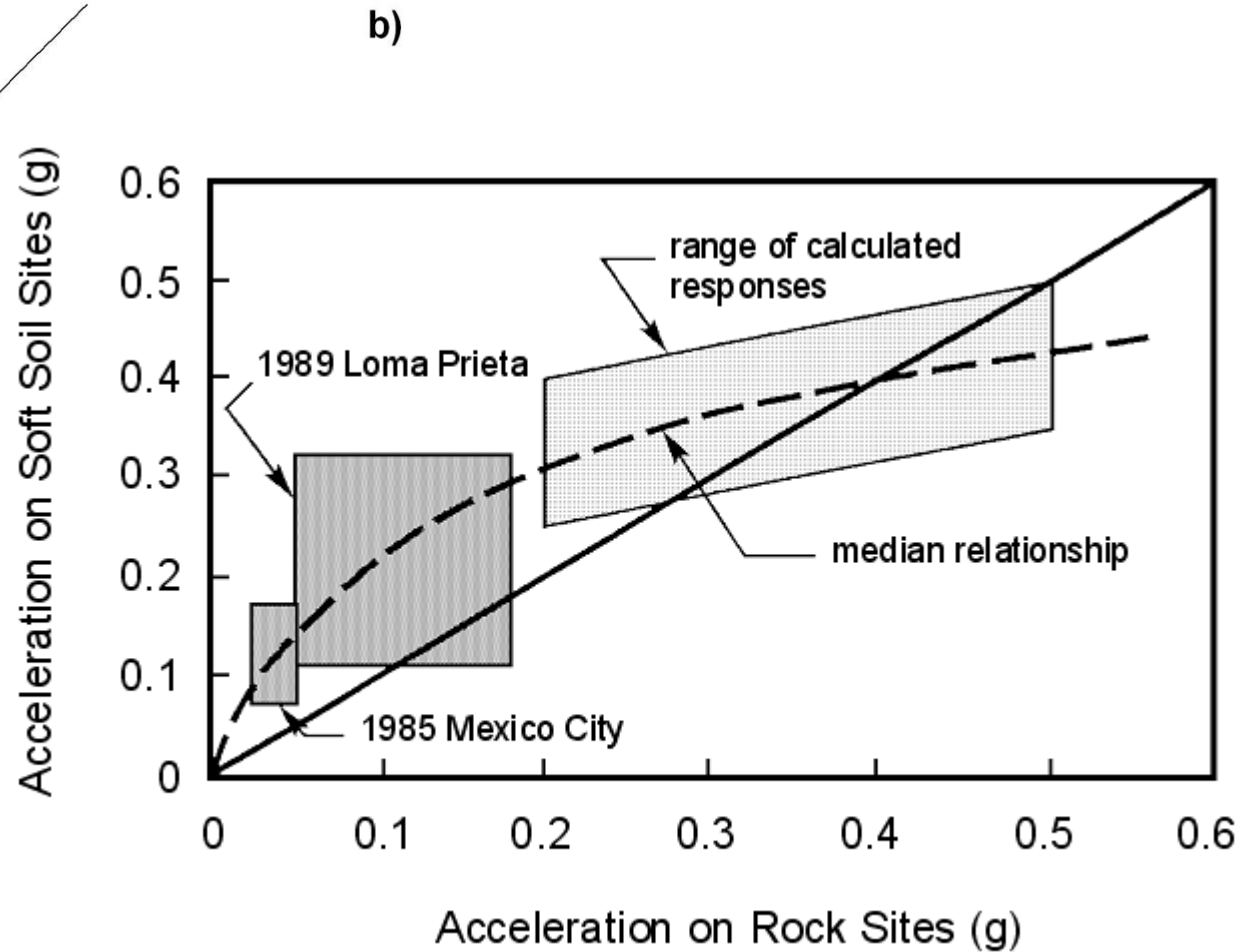
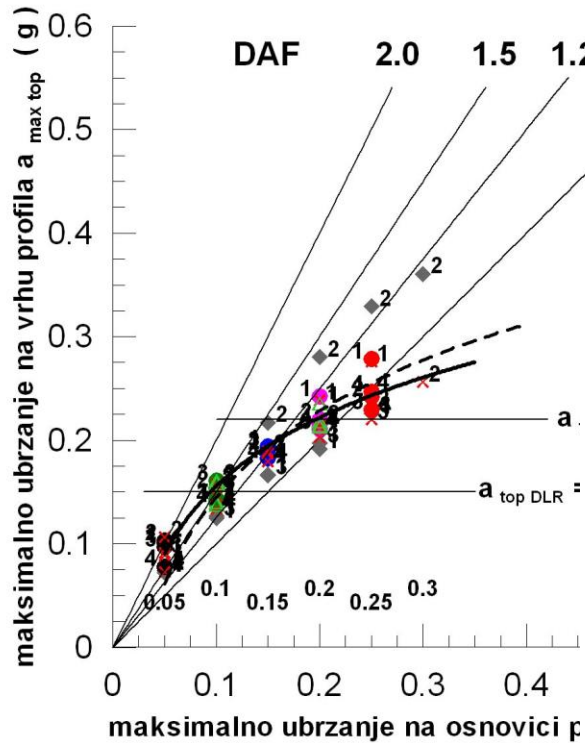
a_{max} (g)

max. posm. def (%)

prigušenje



Maksimalna ubrzanja tla na površini terena u zavisnosti o maksimalnom ubrzanju na osnovnoj stijeni



Tip tla	Opis geotehničkog profila	$V_{s,30}$ (m/s)	N_{SPT} (n / 30cm)	c_u (kPa)	Amp. faktor S
A	Stijena ili druga geološka formacija uključujući najviše 5 m slabijeg materijala na površini. ?	>800	-	-	1.00
B	? Nanosi vrlo zbijenog pijeska, šljunka ili vrlo krute gline debljine najmanje nekoliko desetaka metara sa svojstvom postupnog povećanja mehaničkih svojstava s dubinom.	360-800	>50	>250	1.20
C	Debeli nanosi srednje zbijenoga pijeska, šljunka ili srednje krute gline debljine od nekoliko desetaka do više stotina metara. ?	180-360	15-50	70-250	1.15
D	Nanosi slabo do srednje koherentni (sa ili bez mekih koherentnih slojeva) ili s predominantno mekim do srednje krutim koherentnim tlima.	<180	<15	<70	1.35
E	Profili koji sadrže površinski sloj koji karakterizira brzina v_s tzv. tipove tla C i D i debljine od 5 m do 20 m, a ispod njih je kruti materijal s brzinom većom od 800 m/s.				1.40
S1	Nanosi koji sadrže najmanje 10 m debeli sloj mekane gline s visoko plastičnim indeksom ($PI > 40$) i visokim sadržajem vode.	<100		10 - 20	
S2	Nanosi likvefakcijski osjetljivog tla pijeska i gline ili bilo koji tip tla koji nije opisan od A do E i pod S1.				

$$v_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{v_i}} \longrightarrow \text{“kompromis” (trenutna EC8-1)}$$

Prijedlog nove generacije EC8-1

$$v_{s,H} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{v_i}} \left. \begin{array}{l} H = 30 \quad \text{ako je} \quad H_{800} \geq 30 \text{ m (kada } v_{s,H} \text{ postaje } v_{s,30}) \\ H = H_{800} \quad \text{ako je} \quad H_{800} < 30 \text{ m} \end{array} \right\}$$

H_{800} dubina stijene koja je identificirana sa v_s koji je veći od 800 m/s.

	Tip tla	kruto	srednje	mekano
Dubina	$v_{s,H}$ raspon H_{800} raspon	$800 \text{ m/s} > v_{s,H} \geq 400 \text{ m/s}$	$400 \text{ m/s} > v_{s,H} \geq 250 \text{ m/s}$	$250 \text{ m/s} > v_{s,H} \geq 150 \text{ m/s}$
vrlo plitko	$H_{800} \leq 5 \text{ m}$	A	A	E
plitko	$5 \text{ m} < H_{800} \leq 30 \text{ m}$	B	E	E
srednje	$30 \text{ m} < H_{800} \leq 100 \text{ m}$	B	C	D
duboko	$H_{800} > 100 \text{ m}$	B	F	F

$$S_{\alpha} = F_T F_{\alpha} S_{\alpha,RP}$$

$$S_{\beta} = F_T F_{\beta} S_{\beta,RP}$$

Site category	F_{α}		F_{β}	
	H_{800} and $v_{s,H}$ available	Default value	H_{800} and $v_{s,H}$ available	Default value
A	1,0	1,0	1,0	1,0
B		1,20		1,60
C	$\left(\frac{v_{s,H}}{800}\right)^{-0,25r_{\alpha}}$	1,35	$\left(\frac{v_{s,H}}{800}\right)^{-0,70r_{\beta}}$	2,25
D		1,50		3,20
E	$\left(\frac{v_{s,H}}{800}\right)^{-0,25r_{\alpha} \frac{H}{30} \left(4 - \frac{H}{10}\right)}$	1,7	$\left(\frac{v_{s,H}}{800}\right)^{-0,70r_{\beta} \frac{H}{30}}$	3,0
F	$0,90 \cdot \left(\frac{v_{s,H}}{800}\right)^{-0,25r_{\alpha}}$	1,35	$1,25 \cdot \left(\frac{v_{s,H}}{800}\right)^{-0,70r_{\beta}}$	4,0

$$r_{\alpha} = 1 - 2 \cdot 10^3 \frac{S_{\alpha,RP}}{v_{s,H}^2}, \quad r_{\beta} = 1 - 2 \cdot 10^3 \frac{S_{\beta,RP}}{v_{s,H}^2} \quad (S_{\alpha,RP} \text{ and } S_{\beta,RP} \text{ in } \text{m/s}^2, v_{s,H} \text{ in } \text{m/s})$$

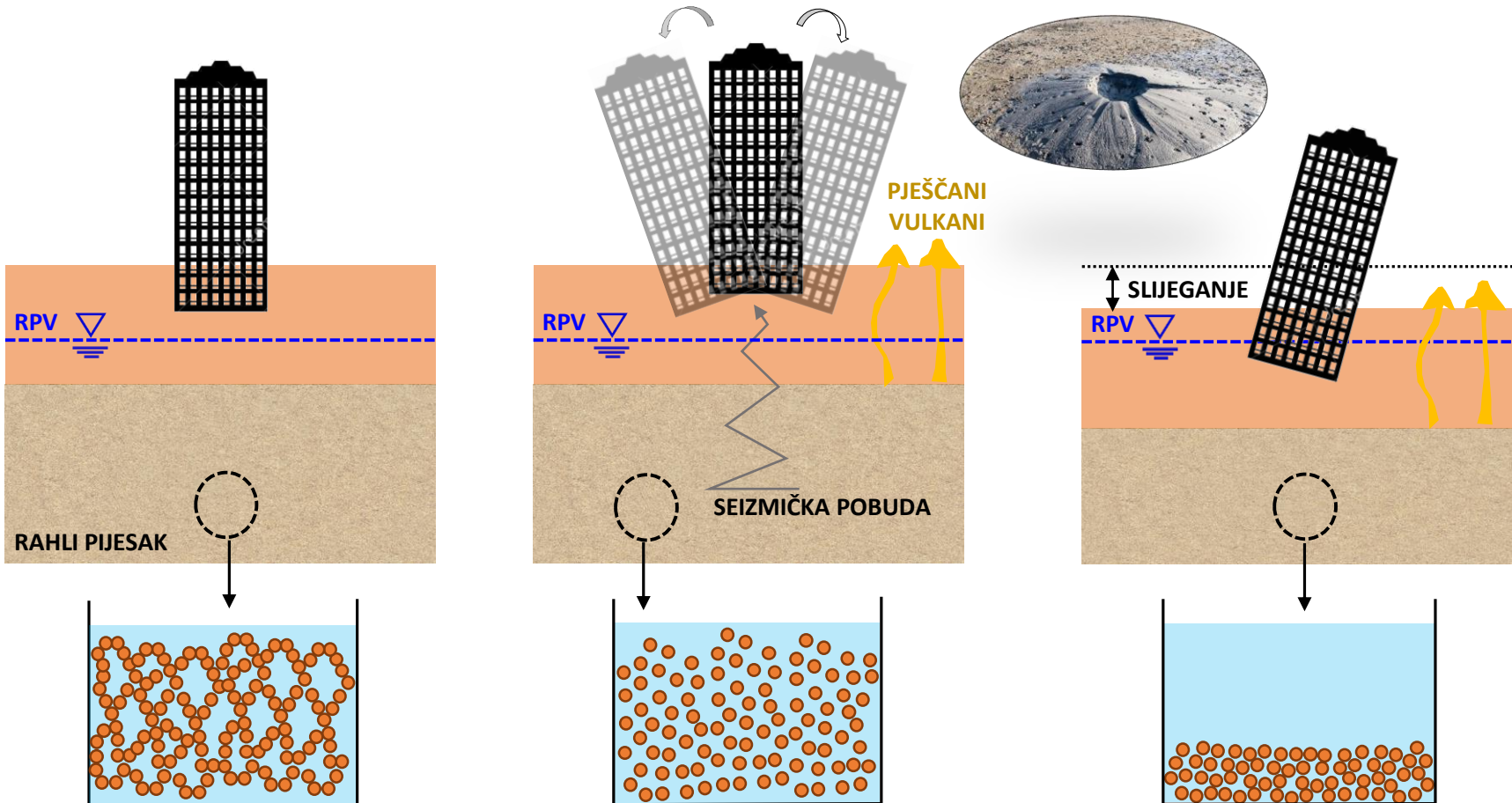
Labbe (2018)

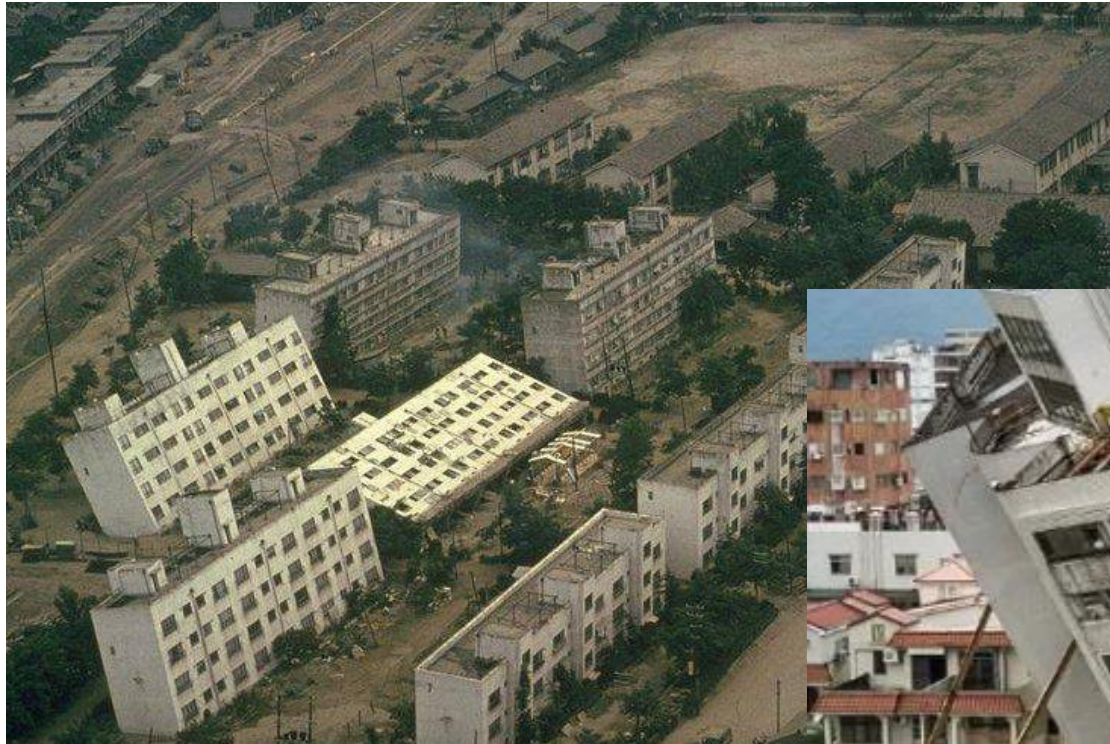


Nestabilnosti tla u seizmičkim uvjetima

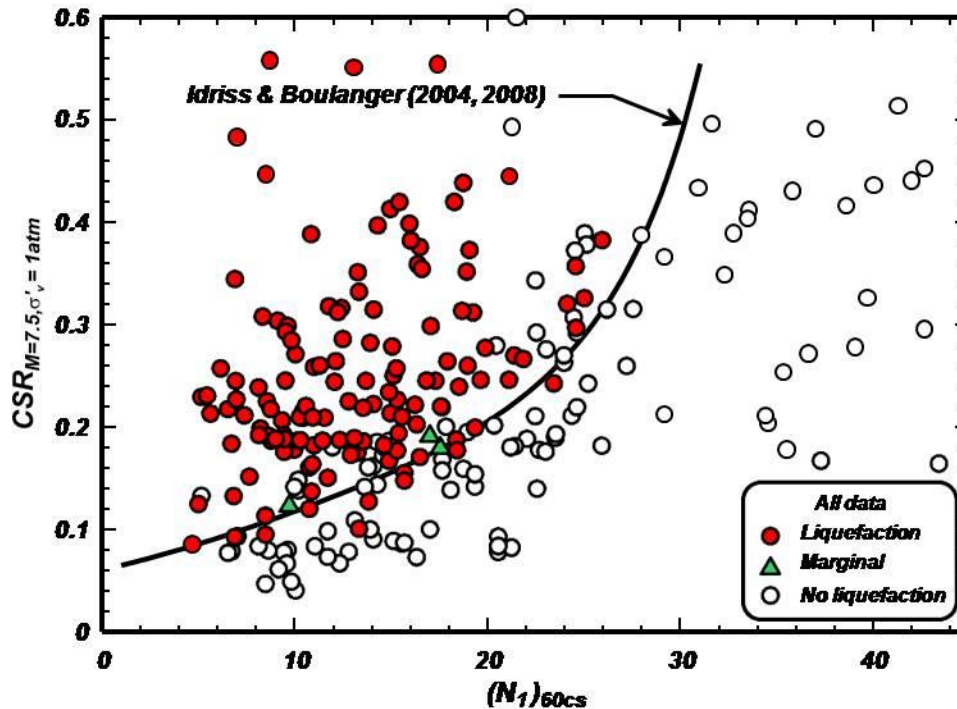
Likvefakcija tla

- Tla se privremeno pretvaraju u gustu tekućinu, gubeći pritom svoju posmičnu čvrstoću te sposobnost da podupru temelje građevina





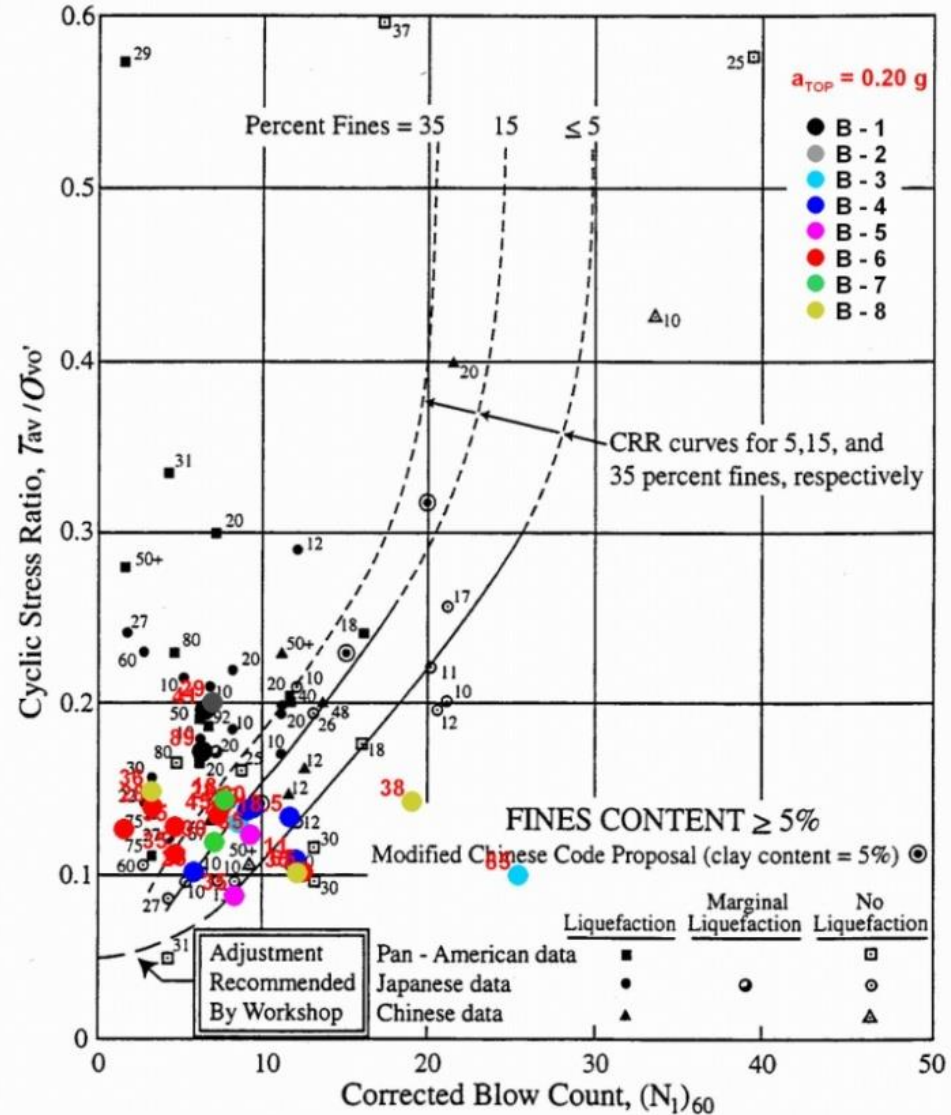
- empirijski pristup – zasnovane na podacima o lokacijama tijekom potresa
- ‘karte’ - kalibrirane na slučajevima dogođene ili nedogođene likvefakcije
- korekcije za magnitudu potresa, naprezanje, postotak sitnih čestica ...






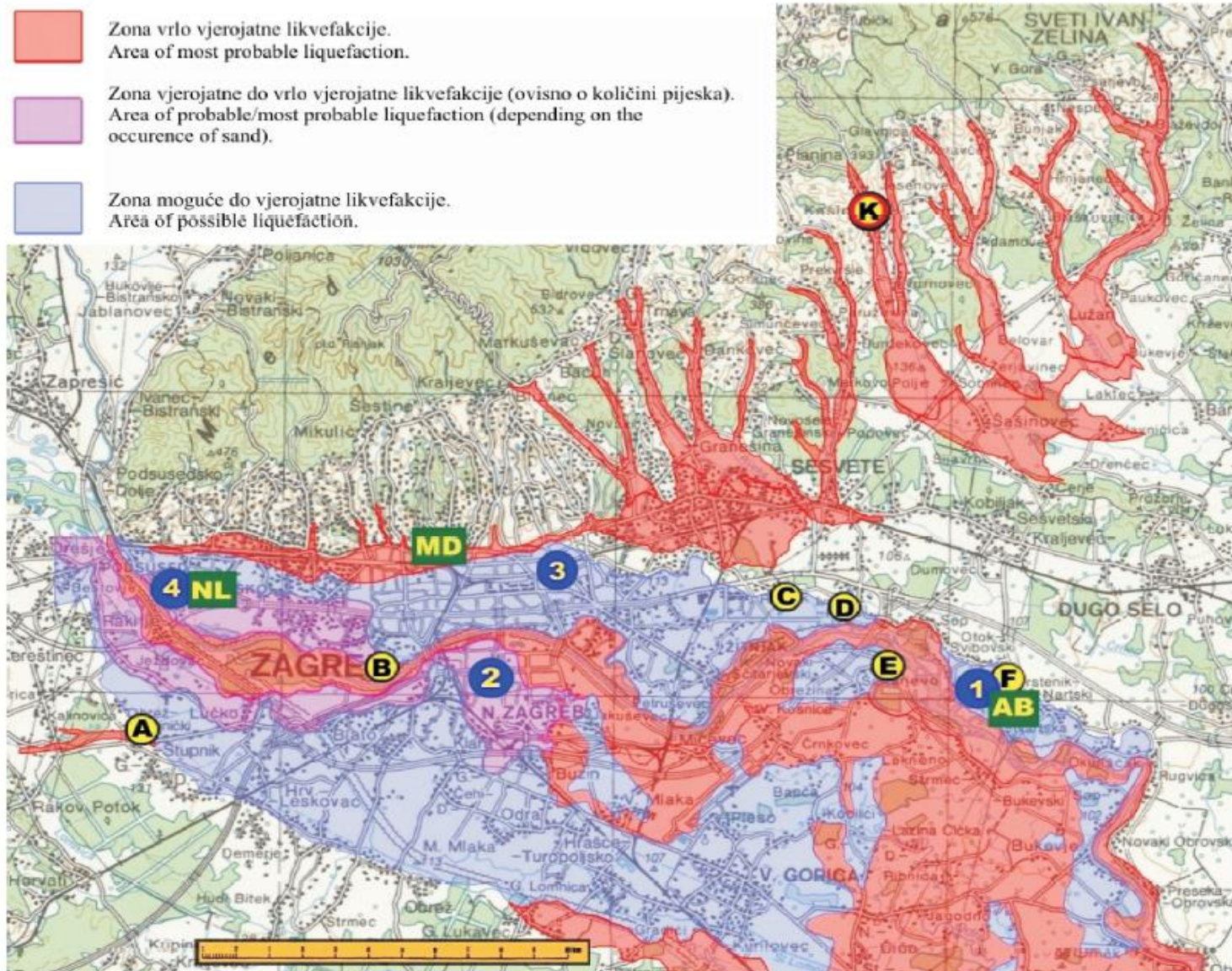
Analize potencijala likvefakcije – Luka Ploče



Ivšić (2016)



-  Zona vrlo vjerojatne likvefakcije.
Area of most probable liquefaction.
-  Zona vjerojatne do vrlo vjerojatne likvefakcije (ovisno o količini pijeska).
Area of probable to most probable liquefaction (depending on the occurrence of sand).
-  Zona moguće do vjerojatne likvefakcije.
Area of possible to probable liquefaction.



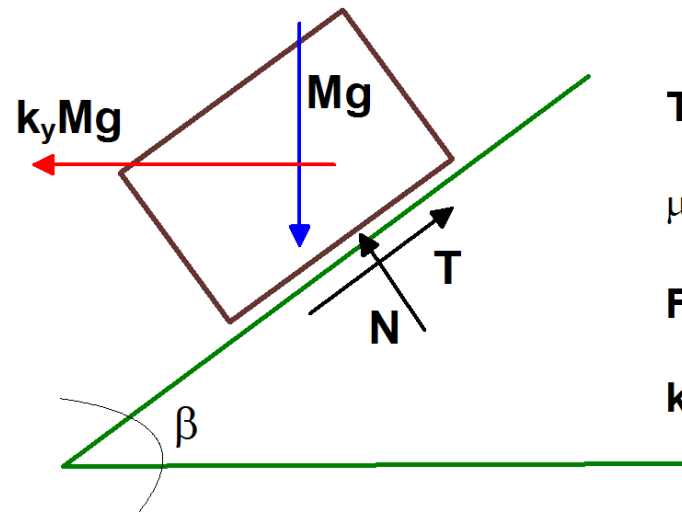
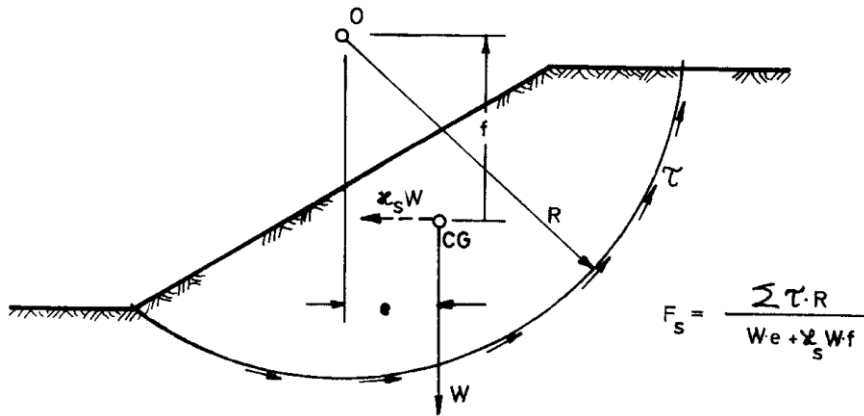
Klizanje tla

- Stabilnost padine je uvjetovana nizom faktora kao što su njezina geometrija, vrsta tla, položaj podzemne vode, djelovanja itd. U dinamičkim uvjetima se povećavaju inercijska opterećenja, a moguć je i gubitak posmične čvrstoće materijala uslijed cikličkog opterećenja.



Geotehničke analize stabilnosti kosina u seizmičkim uvjetima:

- pseudo-statička analizu stabilnosti temeljena na konceptu faktora sigurnosti
- analiza trajne deformacije - Newmark-ov pristup ključućeg bloka



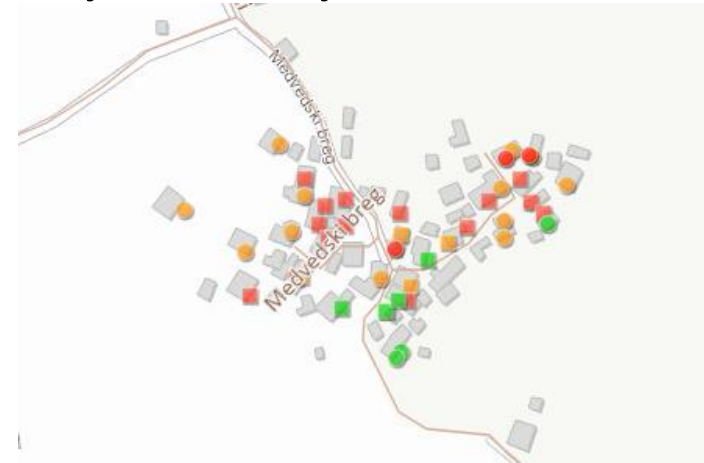
$$T_f = \mu N$$

$$\mu = \text{tg } \phi$$

$$F_s = \text{tg } \phi / \text{tg } \beta$$

$$k_y g = \text{tg } (\phi - \beta)$$

- Relativno manji broj pokrenutih, ili bar registriranih, klizišta nakon zagrebačkog potresa u ožujku 2020. se donekle može objasniti relativno niskom saturacijom tla na lokacijama većeg potencijala klizanja



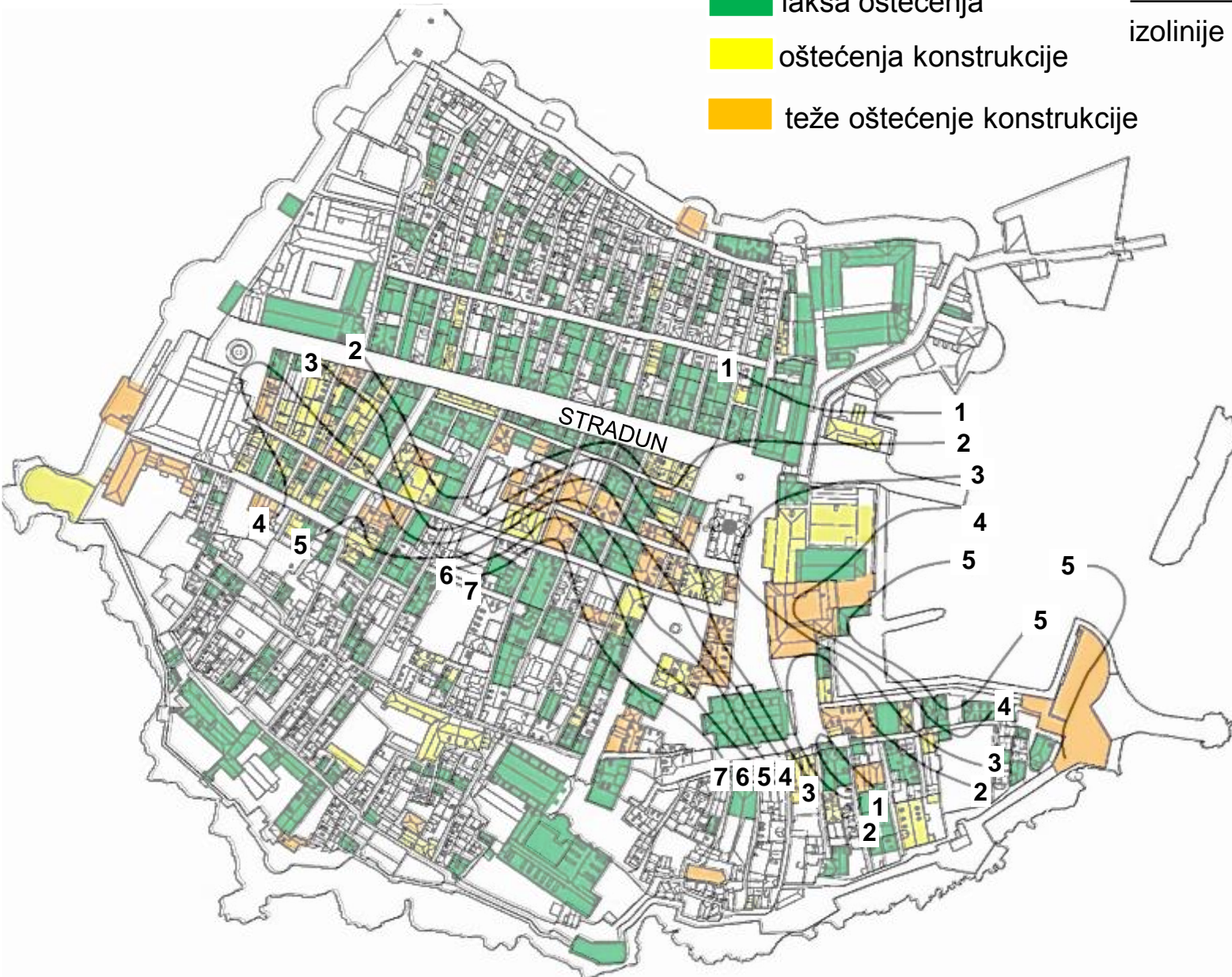


Seizmička mikrozonacija: nužnost sveobuhvatnog pristupa



- Kartiranje ili zoniranje seizmičkog hazarda u lokalnom mjerilu (npr. 1:25000 – 1:5000), kako bi se uključili i efekti lokalnih uvjeta tla, naziva se seizmička mikrozonacija.
- U državama povećane seizmičnosti (Japan, Italija, Turska, Grčka, itd.) postoji snažna potreba sveobuhvatne seizmičke mikrozonacije, pa se nastoji formalizirati standardni pristup seizmičkom mikrozoniranju
- **Pri tom se zoniranje prvenstveno fokusira na geotehničke fenomene uzrokovane seizmičkim djelovanjem na lokaciji i u temeljnom tlu kao što su amplifikacija i pomaci tla, klizišta i likvefakcija tla.**

- lakša oštećenja
 - oštećenja konstrukcije
 - teže oštećenje konstrukcije
- izolinije debljine nasipa (u m)

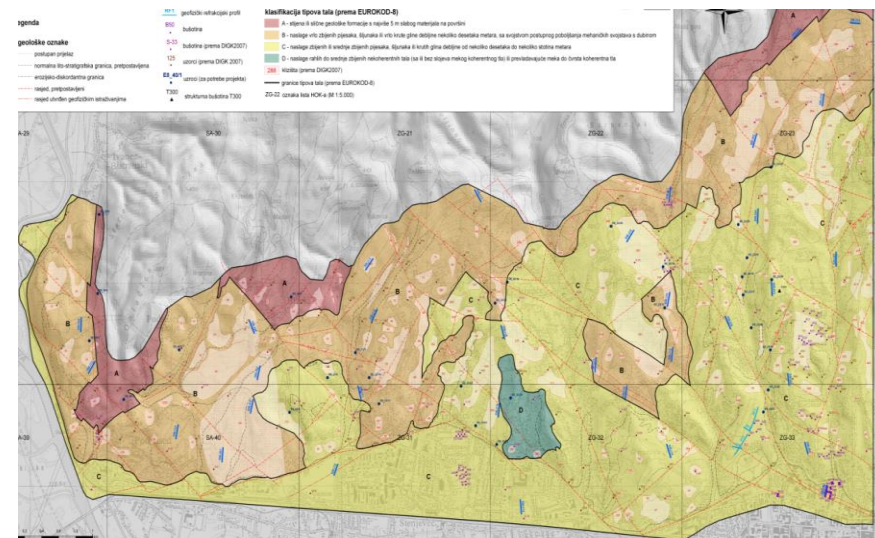


modificirano prema podacima sa www.zod.hr

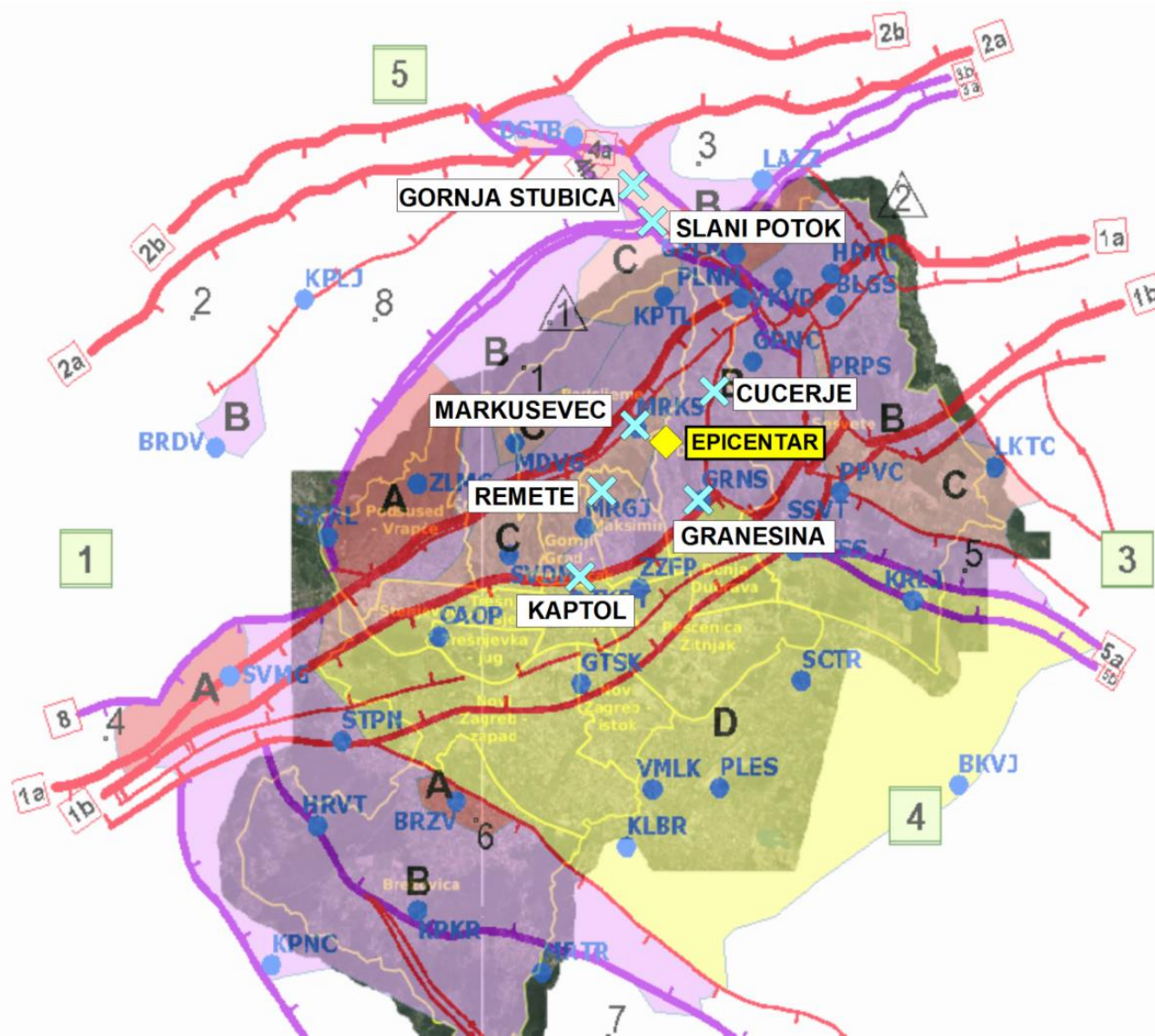
- Projekt geozoniranja grada Zagreba po suvremenim principima započet je još 2005. godine izradom I. faze detaljne inženjerskogeološke karte (DIGK) **podsljemenske urbanizirane zone**, dok je II. faza DIGK završena 2019. godine

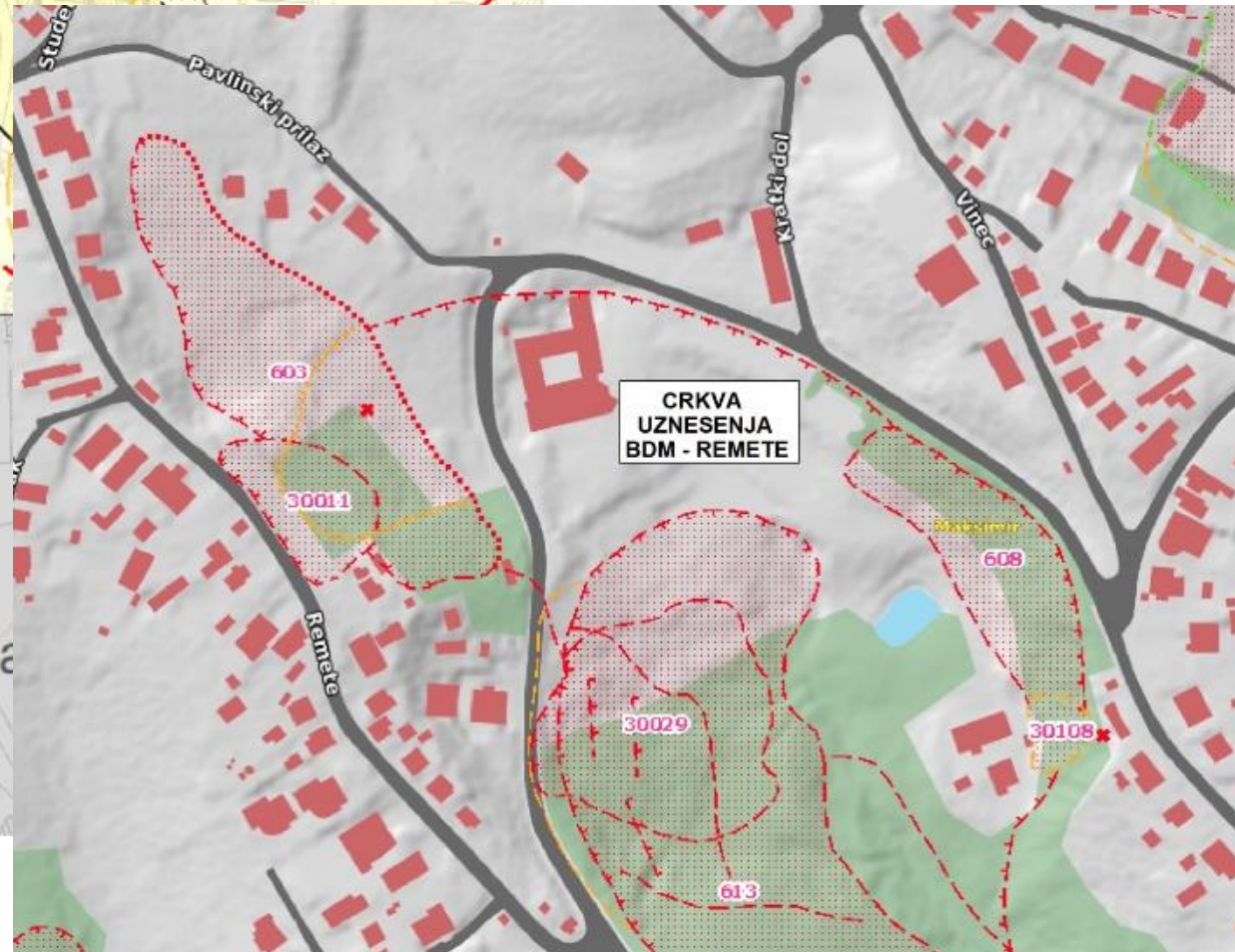
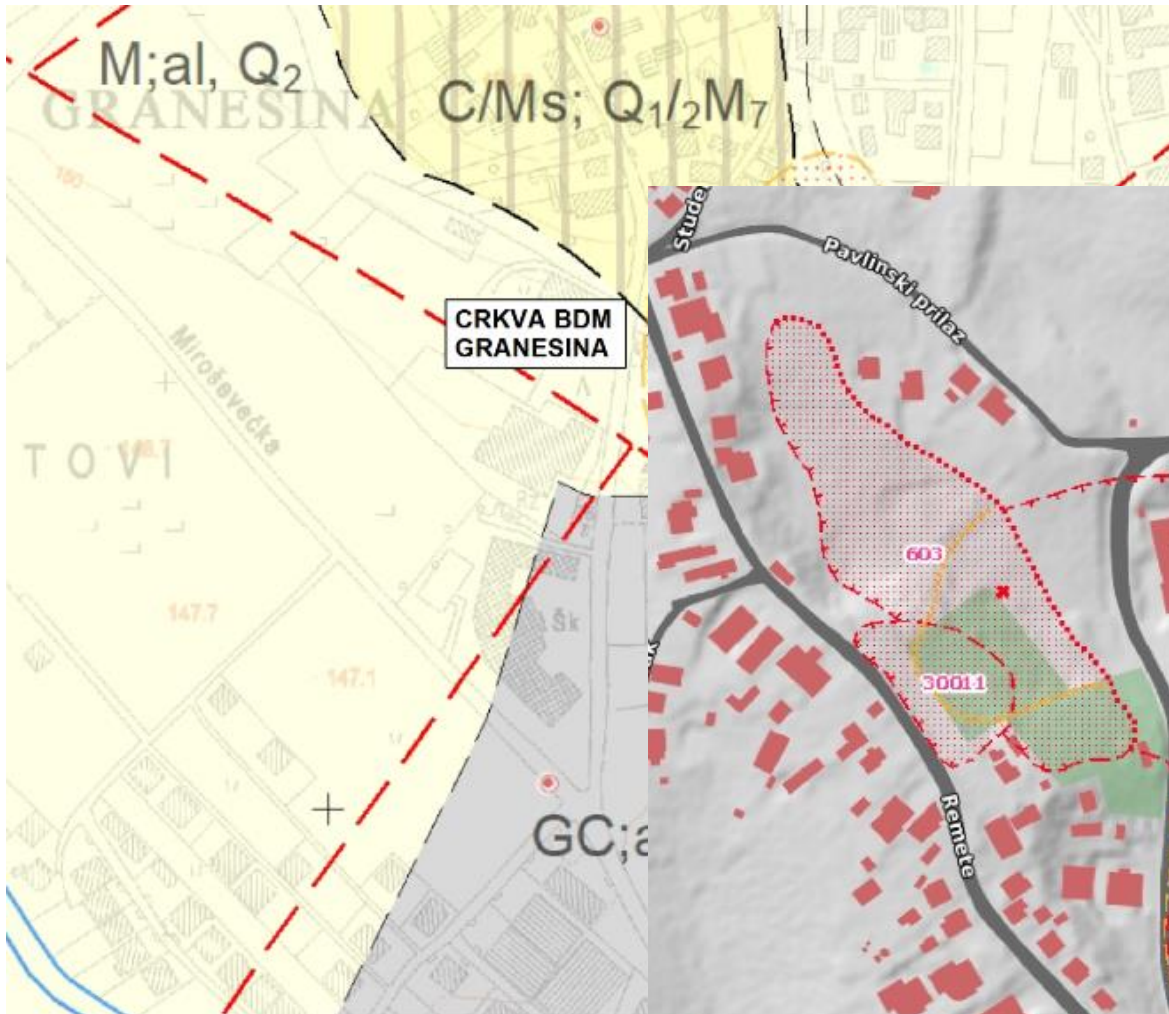
- U sklopu navedenog kartiranja tog dijela grada, u mjerilu 1:5000, posebno su izdvojena klizišta i nestabilne padine, a prikazane su i preliminarne zone tipova tla (A-D) prema aktualnoj normi Eurokod 8.

Miklin i dr. (2007)



potpuna seizmička mikrozonacija? revizija – nova generacija EC8?





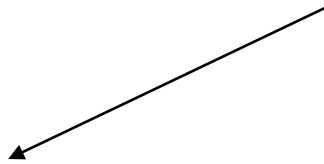


- Za karakterizaciju i točnije identificiranje stanja u dubini tla na nestabilnim padinama ili aktivnim rasjedima potrebna su opsežnija inženjerskogeološka, geofizička i geotehnička istraživanja.
- Ovi podaci, zajedno s podacima o litologiji te inženjersko-geološkim i hidrogeološkim karakteristikama, bi poslužili kao osnova za izradu karti seizmičkog mikrozoniranja.



Utjecaj potresa na geotehničke konstrukcije

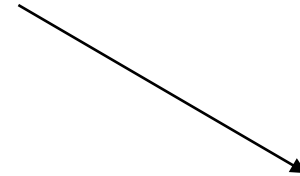
trešnja inducira inercijske sile koje mogu rezultirati s prekoračenjem nekih od graničnih stanja geotehničke konstrukcije



slom temeljnog tla ispod temelja ili prevelike deformacije tla



slom potporne konstrukcije ili preveliki pomaci



pukotine na kruni, slijeganja, klizanja



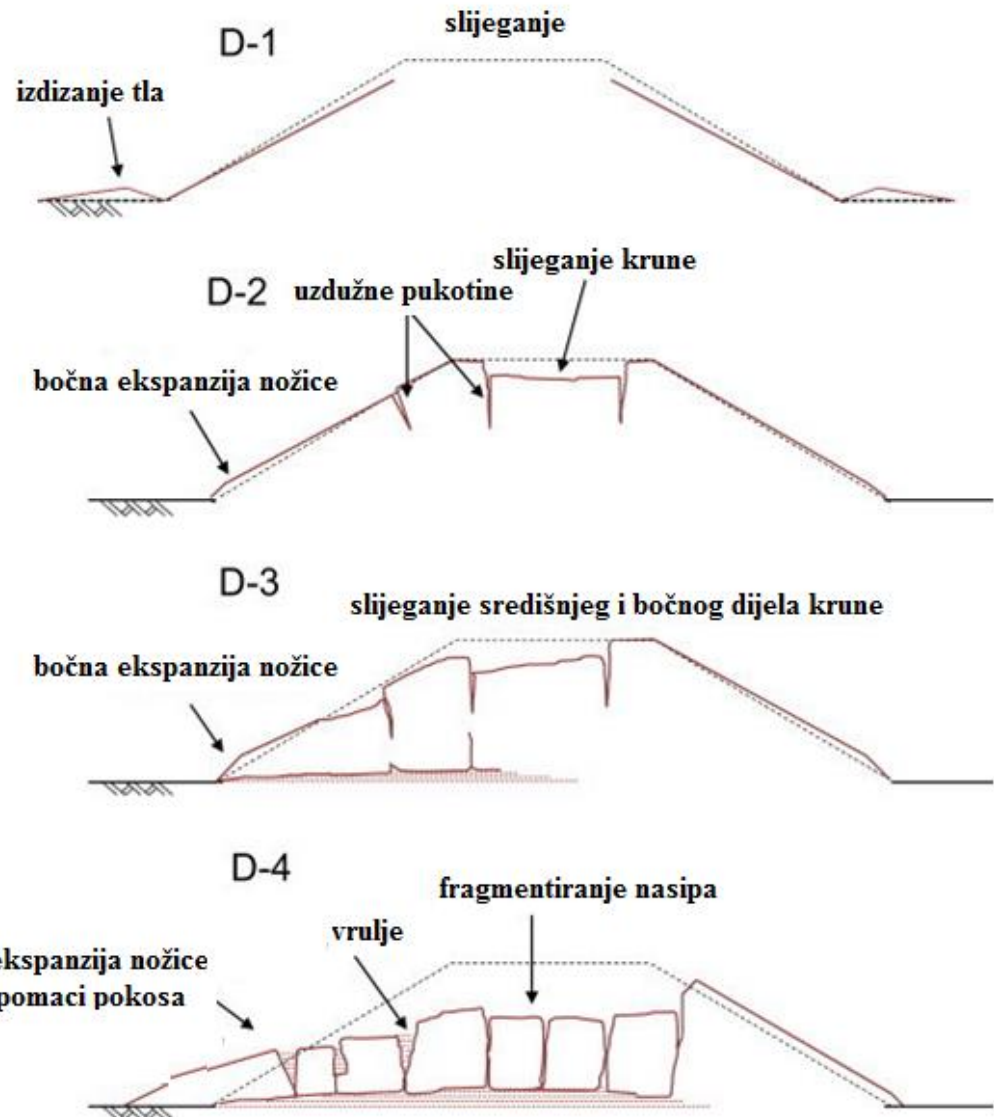


- Kod **sitnozrnih tala** uslijed cikličnog opterećenja u pravilu ne dolazi do prevelikog gubitka čvrstoće - manja dodatna slijeganja, bočne pomake ili rotaciju samih temelja. Međutim, izrazito je važno odrediti nosivost temeljnog tla u nedreniranim uvjetima, uz opreznu kvantifikaciju nedrenirane kohezije kao mjerodavnog parametra.
- Uslijed cikličkog posmičnog opterećenja suhих **pijesaka**, istima se smanjuje volumen što može rezultirati sa značajnim slijeganjem plitke temeljne konstrukcije, pogotovo ako je temelj izveden u slabo zbijenim i rahlim pijescima. U saturiranim pijescima je moguća pojava likvefakcije koja rezultira sa značajnim slijeganjima tla nakon disipacije dodatnog pornog tlaka.

- Duboki temelji moraju biti projektirani na način da pružaju otpornost djelovanju inercijskih sila gornje konstrukcije, ali i djelovanju kinematskih sila koje su rezultat deformacije okolnog tla.
- Iako se uobičajeno razmatra linearno ponašanje tla pri analizi seizmičke interakcije, u pojedinim slučajevima je nužno obuhvatiti geometrijske i materijalne nelinearnosti sustava.



Razvoj deformacija i pukotina u nasipu za obranu od poplava nakon potresa



- Ispitivanja savskih i uspornih nasipa savskih pritoka na Sektoru C.
- Cilj ispitivanja je utvrditi postojanje potencijalnih oštećenja u tijelu nasipa, nastalih kao posljedica potresa koji je zadesio Zagreb i širu okolicu dana 22.03.2020.

BRANJENO PODRUČJE 8		23,46
C.8.5.	I.o.; Ustava Prevlaka-Oborovo (skela)	4,96
C.8.7.	I.o.; Oborovo (skela) – Vodomer Rugvica	8,35
C.8.8.	I.o.; Lijevi savski nasip „AVS Rugvica – (rampa) Hruščica	10,15

BRANJENO PODRUČJE 12		6,92
C.12. 3.	I. savski nasip i usporni nasip uz I.o. potoka Lužnica	3,44
C.12. 3.	I. savski nasip i usporni nasip uz I.o. rijeke Sutle	3,48

BRANJENO PODRUČJE 13		39,2
C.13.1.	d.o.; Suša-Vrbovo Posavsko (skela)	10,5
C.13.2.	d.o.; Vrbovo Posavsko (skela)-Bukevje (granica općine Orle)	8,06
C.13.2.	- novi nasip Donje Bukveje – Drnek	2,1
C.13.3.	d.o.; Bukveje (granica općine Orle) - Zablatje Posavsko	4,14
C.13.4.	d.o.; Zablatje Posavsko – most obilaznice	6,78
C.13.5.	d.o.; Most obilaznice - granica županije	7,62

BRANJENO PODRUČJE 14		59,83
C.14.1.	I.o.; Utok GOK Zagreb – most Slobode	14,58
C.14.2.	I.o.; Most Slobode - utok Krapine	14,15
C.14.6.	d.o.; granica županije – O.K. Odra	14,98
C.14.7.	d.o.; OK Odra – most Jankomir	2,1
C.14.8.	d.o.; Jankomir (most) – ušće potoka Gradna	
C.14.8.	- Jankomirski most –Podsusedski most	3,01
C.14.8.	- trup autoceste; „Podsused (most) – utok p. Rakovice“	1,73
C.14.8.	- ustava Matovčina – ušće p. Gradna	3,87
C.14.9.	d.o.; Ušće potoka Gradna – državna granica s R. Slovenijom	
C.14.9.	- utok Gradne – skela Samoborski otok	3,11
C.14.9.	- zaštitni AB zid u Samoborskom otoku	0,68
C.14.9.	- Samoborski otok – utok Bregane	1,62

Dužine uspornih nasipa pritoka r. Save:		17,28
C.14.1.	usporni nasipi uz I.o. G.O.K. Zagreb	2
C.14.1.	usporni nasipi uz d.o. G.O.K. Zagreb	5,2
C.14.8.	usporni nasip uz d.o. p. Rakovica	4,1
C.14.8.	usporni nasip uz d.o. i I.o. p. Gradna	5
C.14.9.	usporni nasip uz I.o. r. Bregane	0,52
C.14.9.	usporni nasip uz d.o. r. Bregane	0,46



- Ukupno ispitano nasipa i uspornih nasipa: **141.4 km**
- Period ispitivanja: **26.03. – 08.04.2020.**

Dodatno ispitano:

- Retencije: **21 (ukupno 19.5 km)**
- Period ispitivanja: **16.04. – 27.04.2020.**
- Maksimirski nasipi: **nasipi III, IV, V (ukupno 1.4 km)**
- Period ispitivanja: **27.04.2020.**

RETENCIJE		(m)
01	Jezerčica	298
02	Vidovec 1	406.3
03	Vidovec 2	708
04	Bidrovec 1	48
05	Bidrovec 2	1349.4
06	Trnava	530
07	Štefanovec	1639.3
08	Fučkov Jarek	228
09	Kuniščak	552.6
10	Jelenovac	389
11	Črnomerec	926
12	Dubravica	501.6
13	Sopot	696.5
14	Čokot	942.8
15	Kustošak E	221.9
16	Kustošak F3	490.6
17	Rudarska Gradna	735.8
18	Burnjak	475
19	Pustodol	472.4
20	Lagvić	722
21	Jazbina	7184

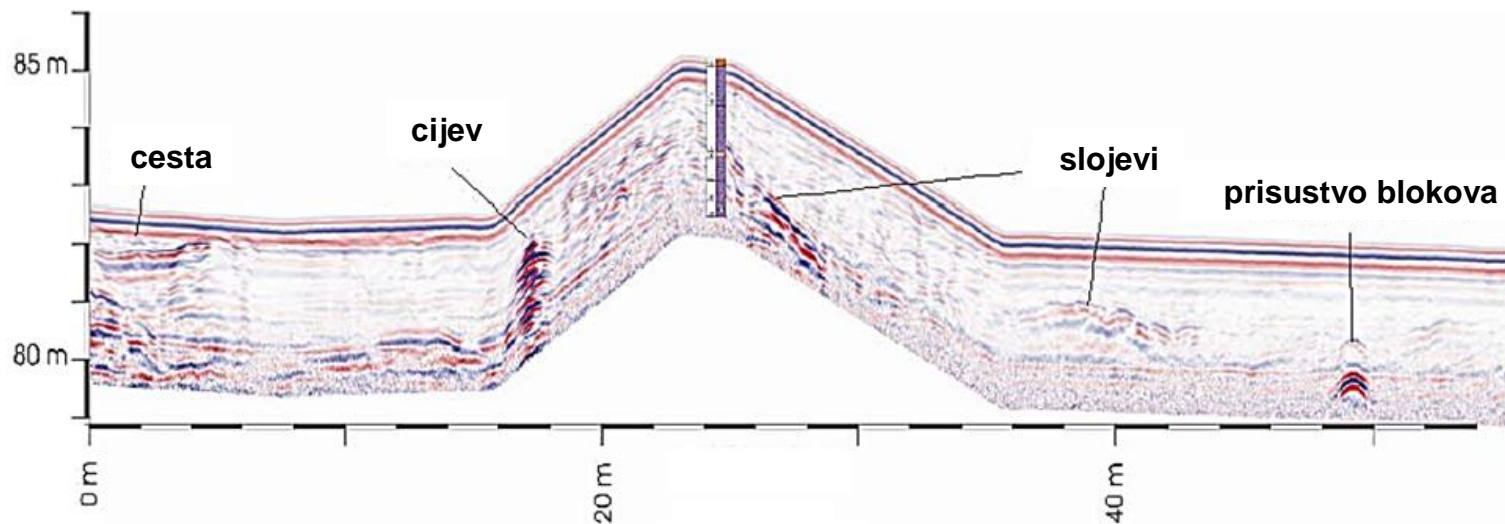
Profili: kruna

Profil: kruna i pokos

Profil: kruna i galerija




Profil: kruna, pokos i galerija

- **Georadarsko snimanje (GPR - Ground Penetrating Radar)**, predstavlja elektromagnetnu metodu koja omogućuje dobivanje visoko rezolutne slike dielektričnih karakteristika površinskih nekoliko desetaka metara tla / stijene / ispitivane konstrukcije.
- Frekvencija georadara određuje dva ključna parametra ispitivanja – **dubinu ispitivanja i rezoluciju.**



• Primijenjena oprema

**PRIMIENJENE
ANTENE**

	Air-coupled (AC) ili Ground-coupled (GC)	Centralna frekvencija [MHz]	Najveća moguća dubina penetracije [m]	Rezolucija [m]
	GC	103	15	0.500
	AC	250	4	0.200
	GC	380	4	0.125

**UPRAVLJAČKA
JEDINICA**



ODOMETAR



GPS



- Ispitivanje nasipa



GPS za kalibraciju odometra

upravljačka jedinica

100 MHz

250 MHz

400 MHz

posebna kolica



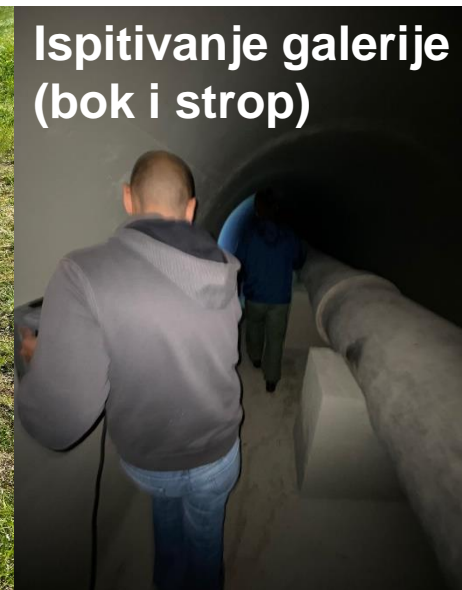
Ispitivanje s krune

- Ispitivanje retencija

laptop

upravljačka jedinica

100 MHz (prvi prolaz)
400 MHz (drugi prolaz)



Ispitivanje s pokosa

Ispitivanje galerije
(bok i strop)

Ispitivanje s krune

Što se traži?

Primjeri pukotina u nasipima nakon potresa

Indija



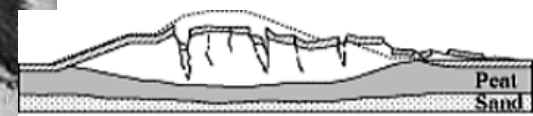
Novi Zeland



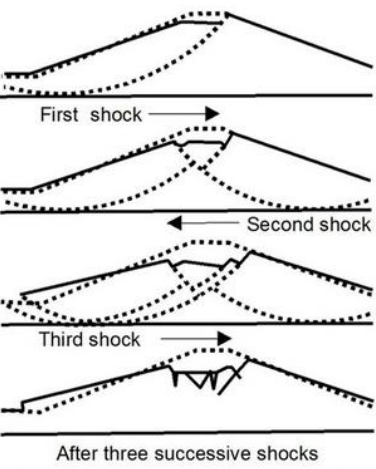
Irak

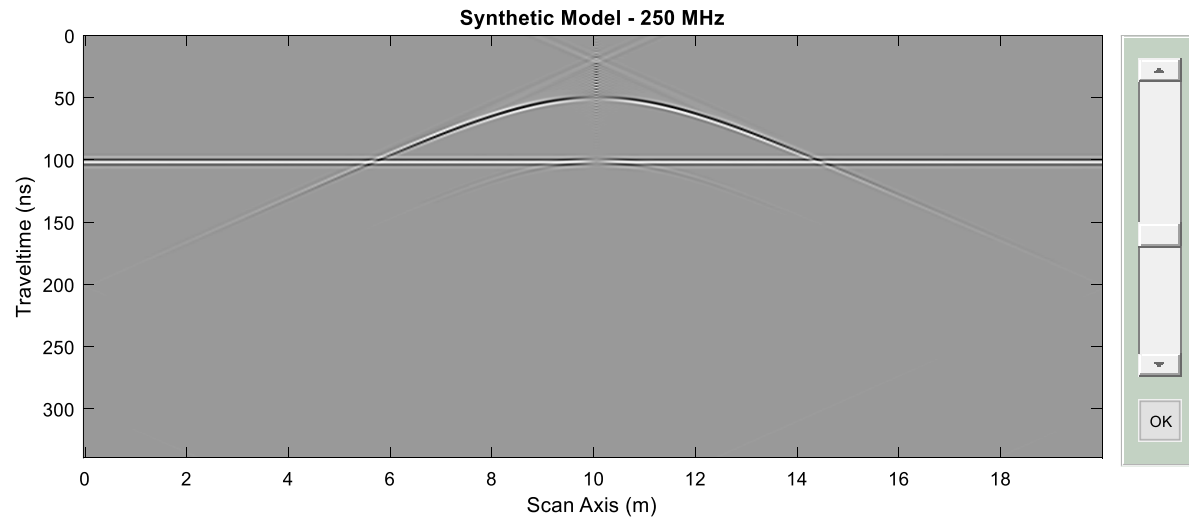
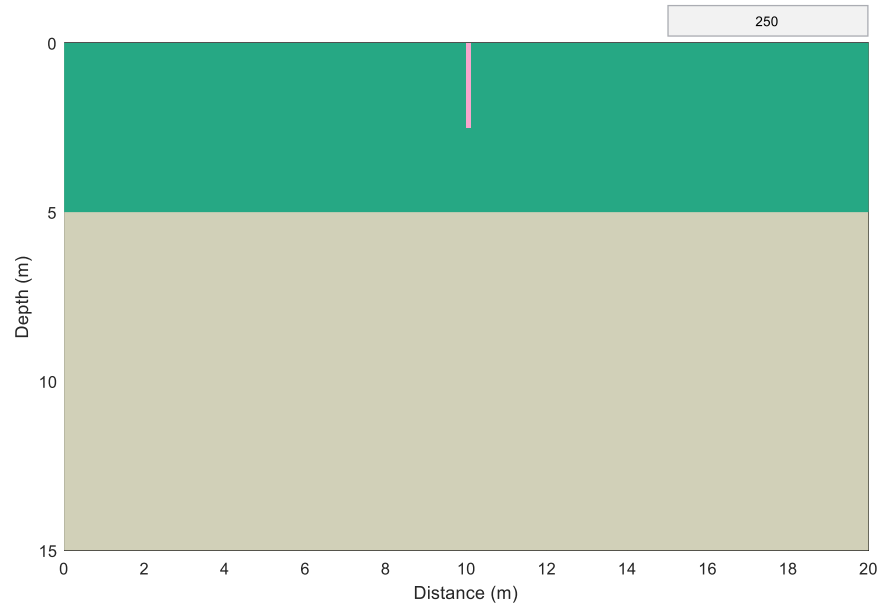


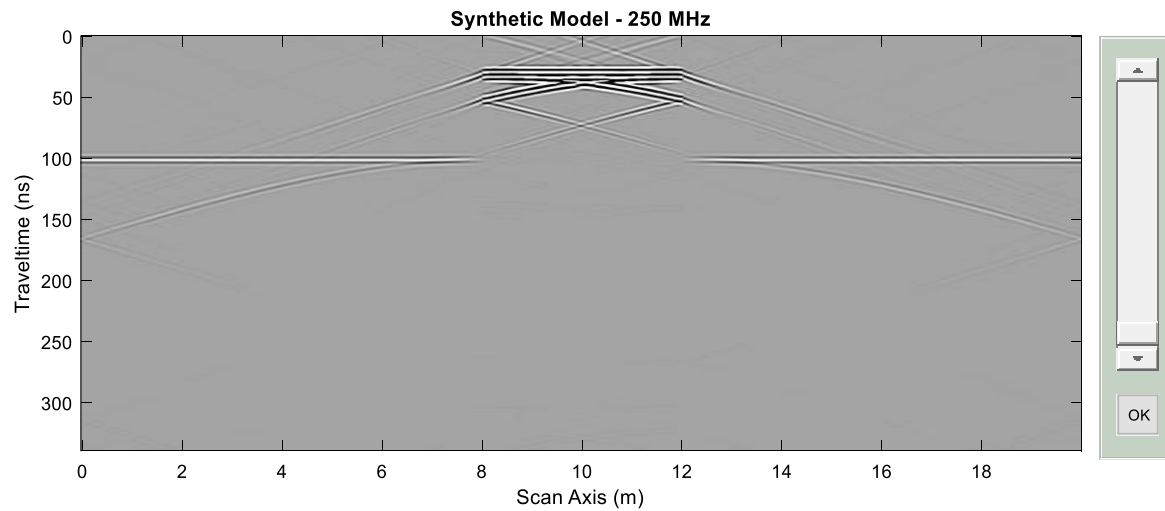
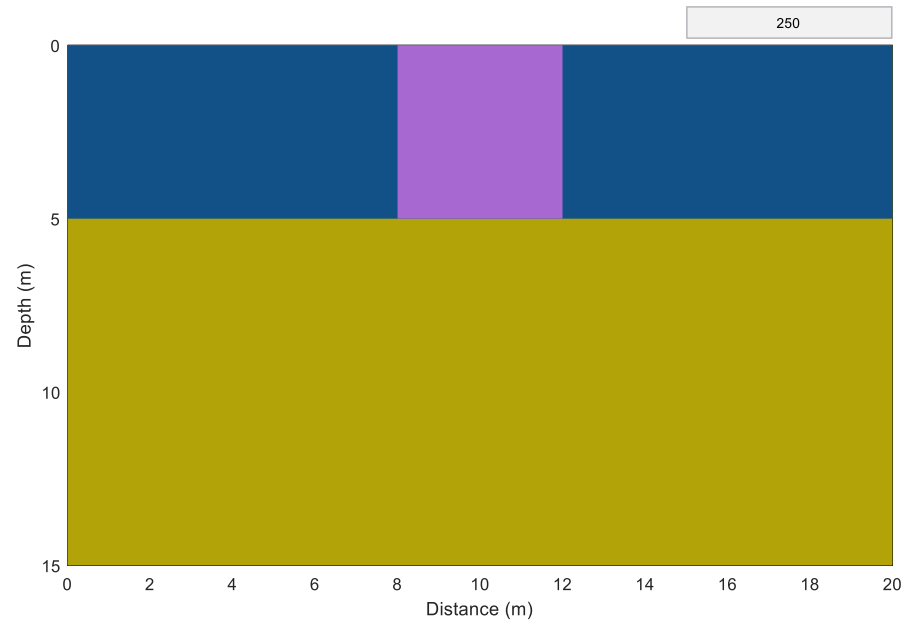
Japan

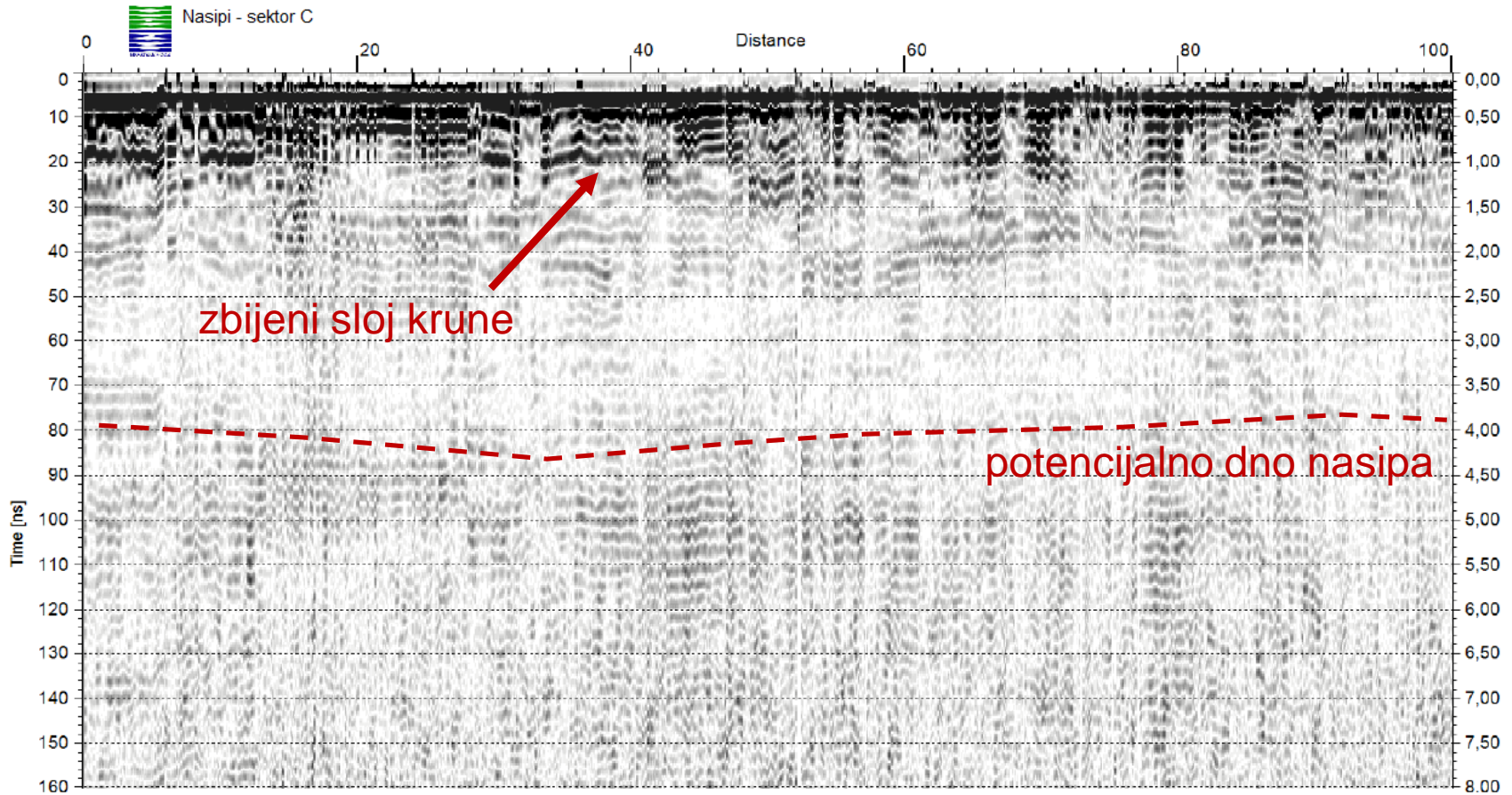


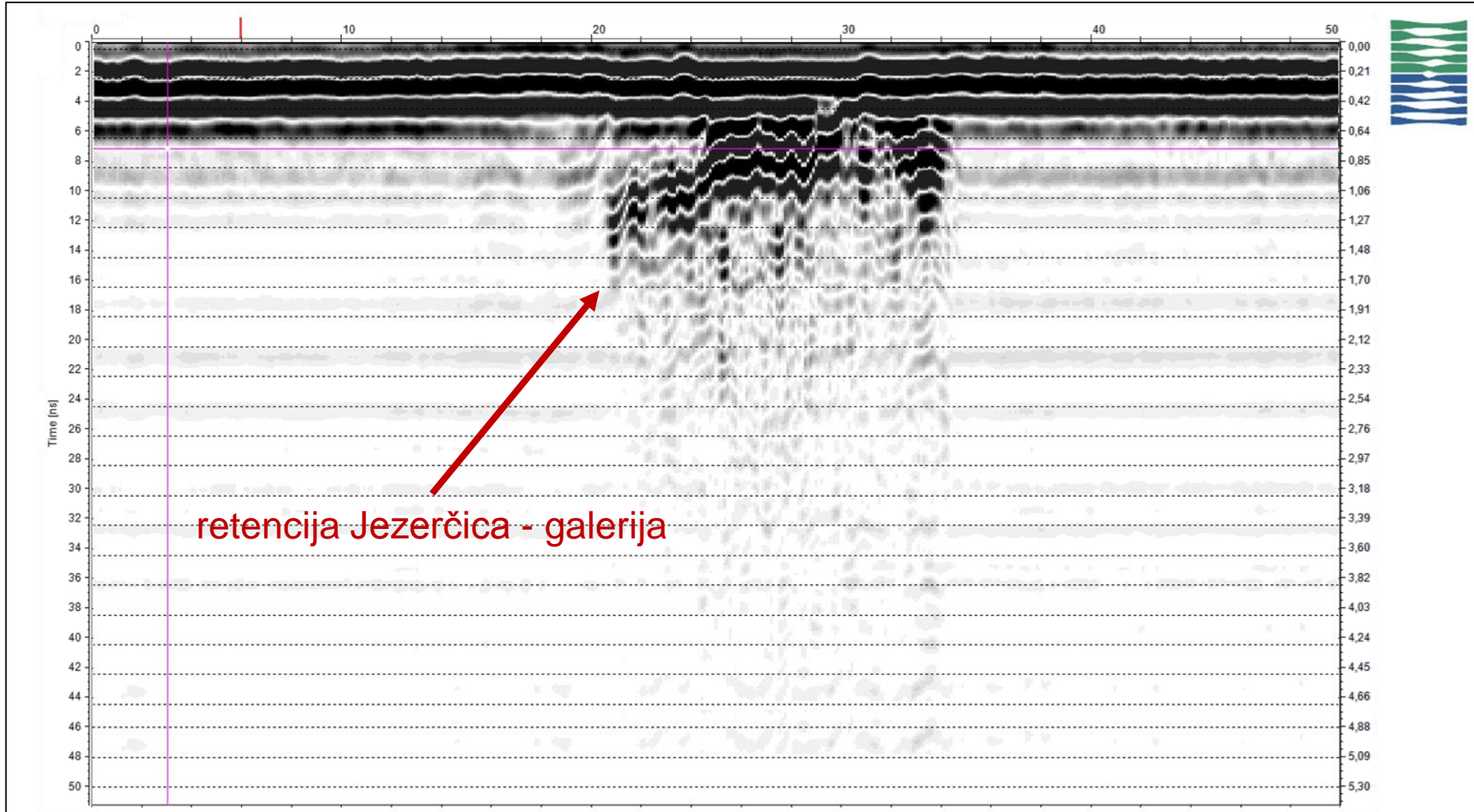
0 5 10m













Zaključci



- Amplifikacija tla, likvefakcija tla, klizanje tla te drugi vidovi nestabilnosti i prekoračenja graničnih stanja geotehničkih konstrukcija, zahtijevaju detaljniju karakterizaciju i ocjenu geotehničkih okolnosti na pojedinim lokacijama, i to kroz provedbu opsežnijih geotehničkih i geofizičkih istraživanja, kao i odgovarajućih in-situ i laboratorijskih pokusa.
- Ova istraživanja će, zajedno s povećanjem baze seizmičkih podataka, zasigurno povećati pouzdanost seizmičkih analiza, što je naročito od značaja uvažavajući trend povećanja projektnih seizmičkih ubrzanja.
- Nužnost sveobuhvatnog pristupa seizmičkom mikrozoniranju, koji uvažava čitav niz pokazatelja, od litoloških, inženjersko-geoloških i hidrogeoloških karakteristika te položaja aktivnih rasjeda, do identifikacije nestabilnih padina i zona izraženog likvefakcijskog potencija – ne samo za Zagreb nego za cijelu Hrvatsku!



HVALA NA PAŽNJI

doc.dr. sc. Mario Bačić
Zavod za geotehniku, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
mbacic@grad.hr

prof.dr.sc. Tomislav Ivšić
Zavod za geotehniku, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
tom@grad.hr

prof. dr.sc. Meho Saša Kovačević
Zavod za geotehniku, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
msk@grad.hr