

Sveučilište u Zagrebu

Gradjevinski fakultet

Diplomski sveučilišni studij

Smjer:**GEOTEHNIKA**

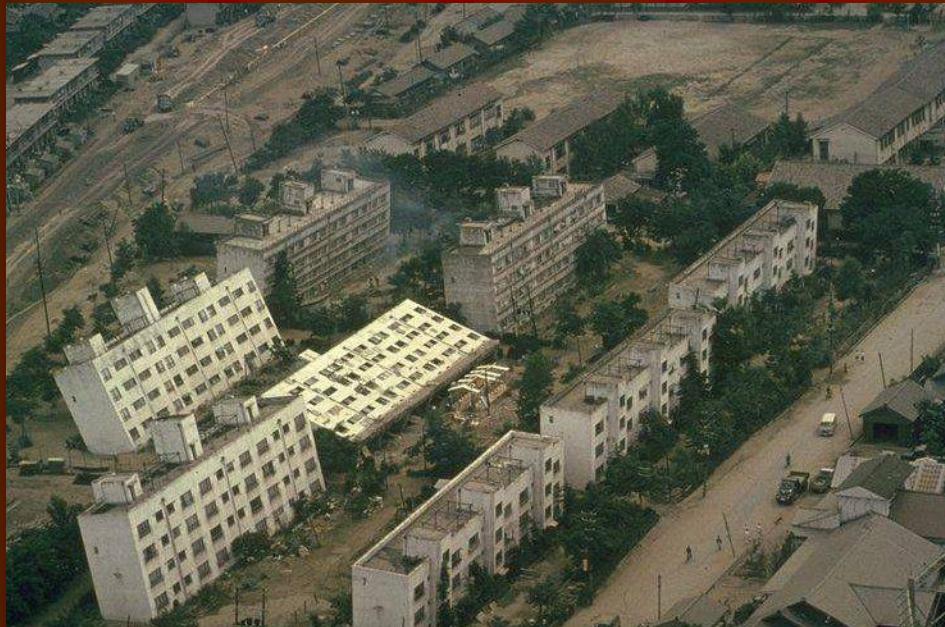
Seizmičko geotehničko inženjerstvo

Prof. dr. sc. Tomislav Ivšić
Gradjevinski fakultet Zagreb

Seizmički geotehnički problemi

- Utjecaj lokalnog tla na promjenu seizmičke pobude od osnovne stijene
 - Povećanje seizmičkog ubrzanja (amplifikacija)
 - Promjene u spektru odziva
- Pojave dinamičkih nestabilnosti tla
 - Slom tla i trajne deformacije (likvefakcija, slijeganja, klizanja, obrušavanja)
 - Aktivni rasjedi

Seizmički geotehnički problemi



Likvefakcija tla

Seizmički geotehnički problemi



Klizanja, veliki pomaci

Seizmički geotehnički problemi

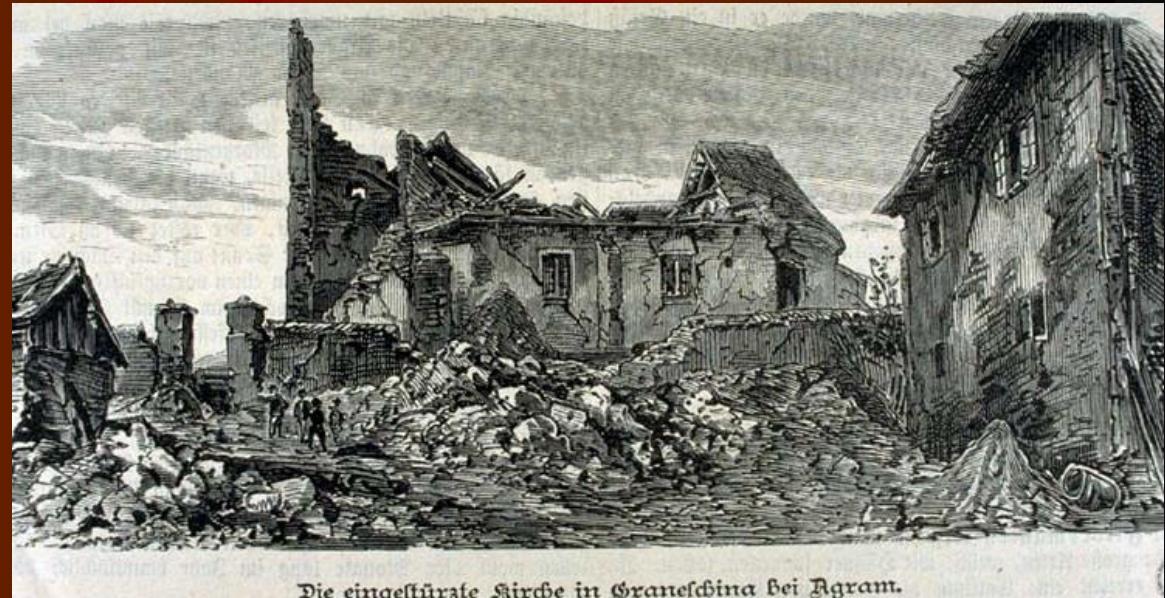


Boulder



Potporne konstrukcije

Seizmički geotehnički problemi



Granešina, 1880 – srušena crkva na rasjedu

Bočno rasprostiranje tla u obalnoj konstrukciji

Dubrovnik, 1979 – karta oštećenja



Dio 5: Temelji, potporne konstrukcije i geotehnički aspekti

- Zahtjevi, kriteriji i pravila za lokaciju i temeljno tlo
- Osnovna pravila i nužne provjere pri projektiranju sustava temeljenja, potpornih konstrukcija i interakcije tla i konstrukcije pri djelovanju potresa
- Razmjerno konzervativan i nepotpun, posebice, za geotehničke konstrukcije
- **ISO/CD 23469** Bases for design of structures — Seismic actions for designing geotechnical works – moderniji standard za seizmičke geotehničke aspekte

EC8-5 Sadržaj

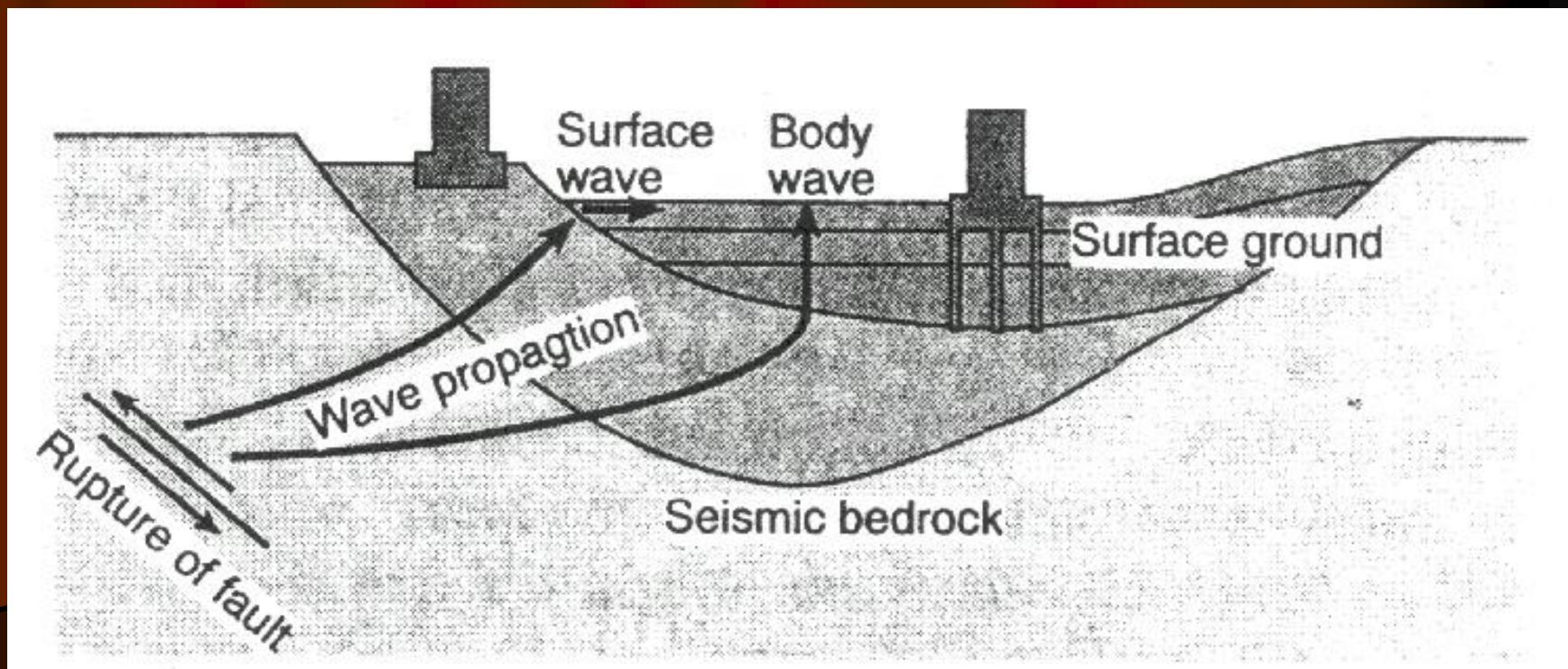
- 1. Općenito
- 2. Seizmičko djelovanje
- 3. Svojstva temeljnog tla
- 4. Zahtjevi za lokaciju i temeljno tlo
 - 4.1 lokacija – aktivni rasjedi, kosine, likvefakcija, zbijanje tla
 - 4.2 istraživanja tla i studije
- 5. Sustav temeljenja
 - 5.1 opći zahtjevi
 - 5.2 pravila za koncept temeljne konstrukcije
 - 5.3 učinci projektnih djelovanja
 - 5.4 kriteriji za provjere i dimenzioniranje
- 6. Međudjelovanje (interakcija tlo-konstrukcija)
- 7. Potporne konstrukcije
- DODACI

Seizmičko djelovanje

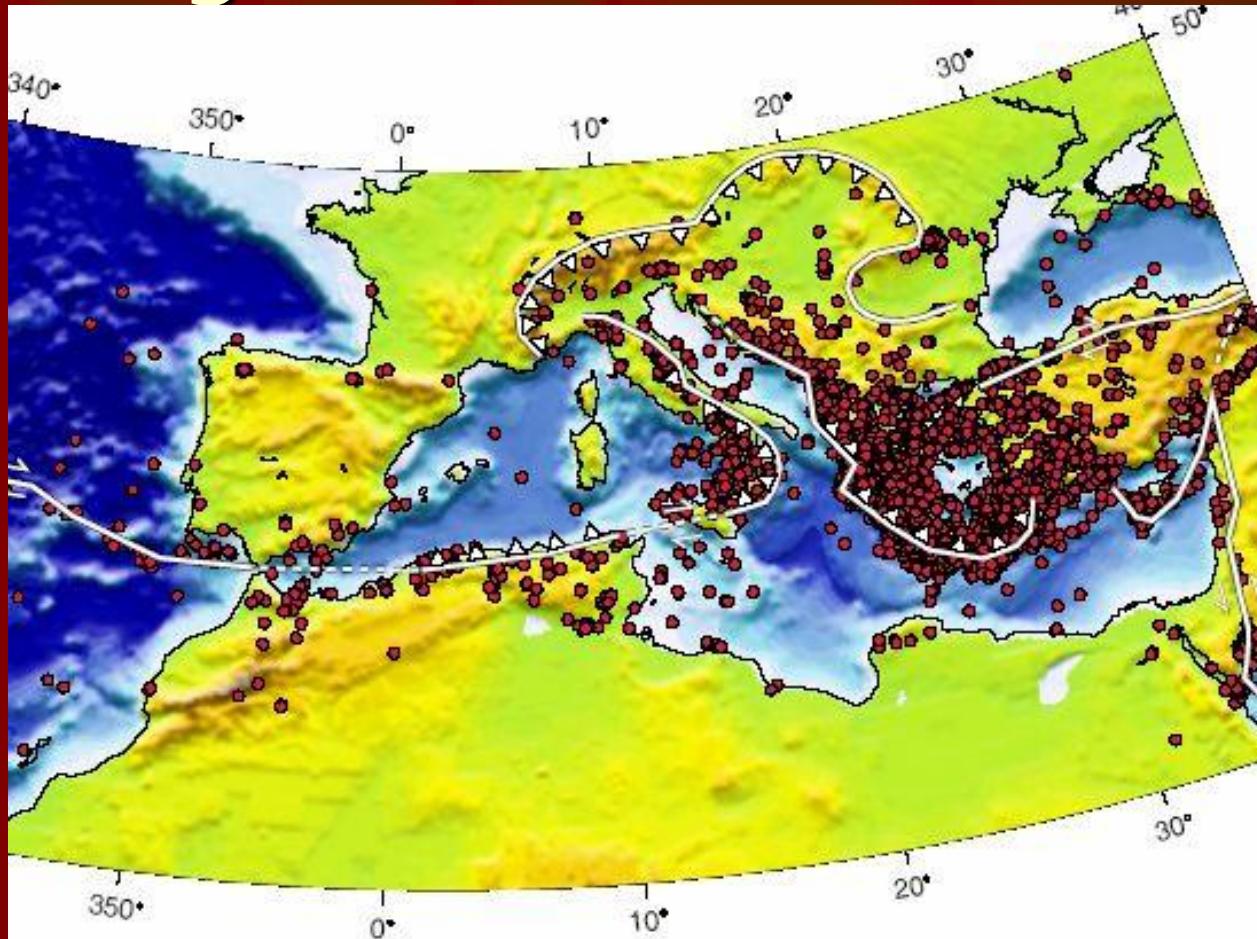
Potres – gibanje na površini terena je posljedica prolaska i modifikacija valova od izvora (rasjed) kroz slojeve stijena i tla do površine terena

- Potpuno polje svih djelujućih valova ne može se rekonstruirati samo iz zapisa na površini terena → uvođe se dodatne prepostavke

→ Izvor djelovanja nije dovoljno poznat – grubi opis



Regionalna seizmičnost



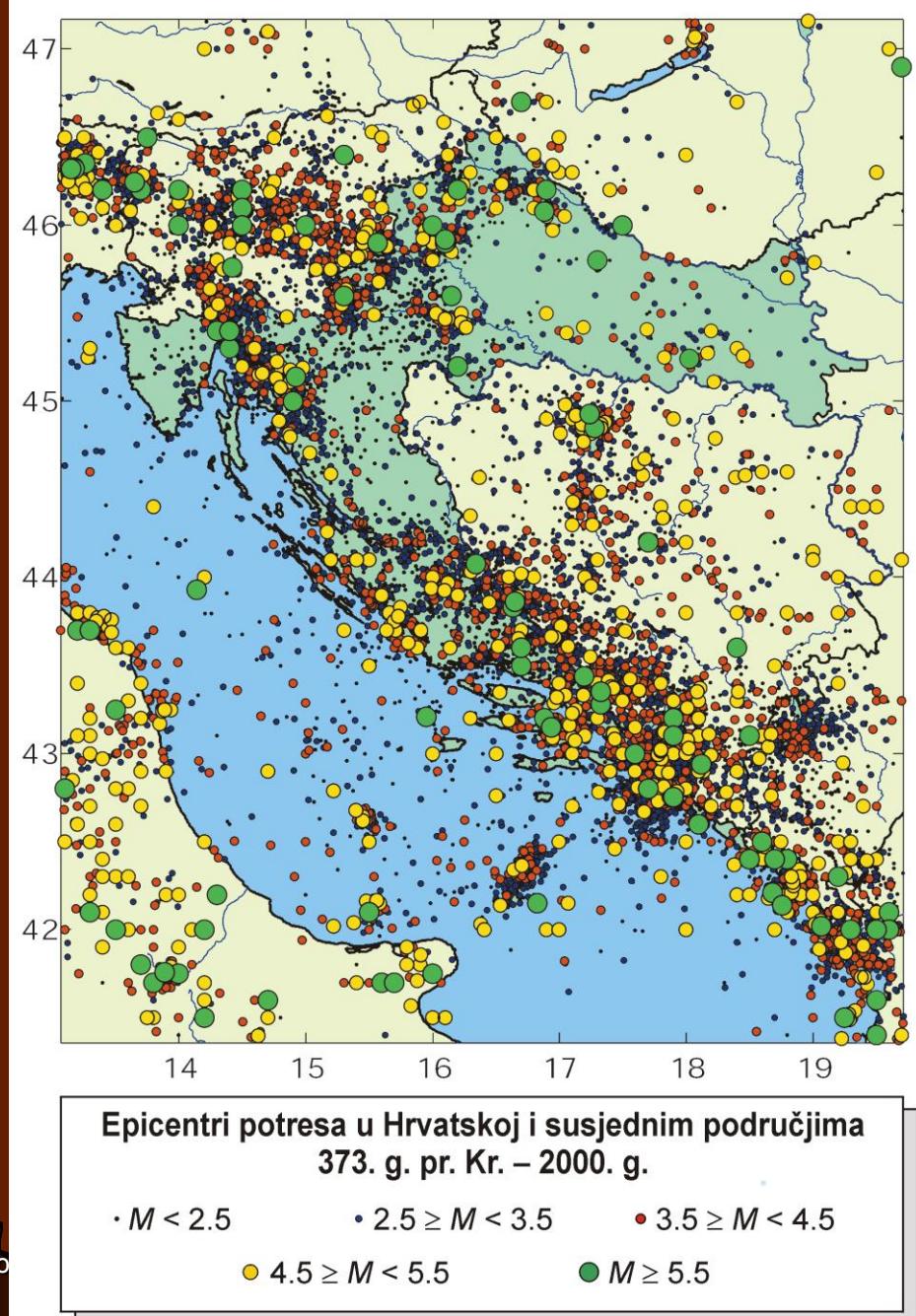
Granice Euroazijske-Afričke tektonske ploče i lokacije potresa

Povijesna seizmičnost – Hrvatska i susjedne zemlje

Seizmičnost Hrvatske – Hrvatski katalog potresa – preko 15 000 događaja

Zagreb, prosinac 2018

Geotehničko



Povijesni događaji – Dubrovnik, 1667.



Beschreibung des verschrecklichen Erdbebens / so den 6. April des 1667. Jahrs / in und außer der Stadt Ragusa in Dalmatia entstanden.

Roon hat uns der Gross Wunderthale Gott nachfolgende schreckliche Anzeigungen eines gefalln Jorns zu trauriger Verwundung gelassen: aus dem fust unerhorten / und grausam schädlichen Erdbeben sich Mittwoch den 27. Martii Alt. oder 6. April. Neuen Gal. in an und um die berühmte Hafen Stadt Ragusa am Ende der Adriatischen Meers gelegen und an viel andern / in Dalmatia und Albionia gelegenen Orten sehr begeben war zugeschlagen. Der Eingang hierzu mache sich in zwey josschen 6. und 7. Uhr von vmittag / da die unruhen Laut usz zu Seete und der Hain vor der Stadt sich unbewegen angefangen: Drauf einsamals von der Eden her eine so gewaltfame Erzschärtung / sonst von welche gleichsam in einem Augenblick sebzigen Hertz. p. H. lal / als einige Reitden / über einen Hauffen geworfen / ohne alle andere Vulkankräfte Kirchen / Güter und Häuser / bedeckt einer erdmählichen Überlage der Welt abgespalten. Diesen Januar vermehrten die viel große Seine welche in während der Erzschärtung von den Bergensteinen / und ales zu Boden schlagen / als das Ragusa nunmehr einen Steumpaum gleich sahe. Es war also auch ein heftiger Wind / der das Meer von den Verdächtten in das Gebüsch und die Häuse treib / davon dieselbe angingen / und welche Tage lang brennen / ohne daß man / wegen Abgang des Meers / so weit den Brunnens als dem Meer / welches sonst nie ab-

retzt / . . . Tage lang, bei ihnen selten Brinschende schwimmen / hervor geschaute werden. Die Rettung gegen den Land zu / ist mit schweren Schaden getroffen haben / und töne die so verlorenen / in diesem auch mal wieder in den alten Stand gehabt werden. Es da aber dieses Erdbeben die Stadt Ragusa nicht in particuliari betroffen / sondern vor lassen uns geschah / es habe solches auch ganz Albanien empfunden: Wenn ich es / daß Budva und Cakelino vor dem nahe umschleifer worden; Zu Calaro stand über 200 Menschen brennend ums Leben kommen und die Mauern über 200. Schuh lang zu Boden gefallen. Unterschiedliche Juulsen da heutlich haben die Herrschaften dieses Erdbebens kennengelernt / nur schwader empfunden; einige Befreit sind umgekehrt: also daß man jeg. Waller sieht / wo man vorher nichtt als . . . zwischen gehabt: Ja das Meer selber das sich Zeit schreibender Erhabung verschwelt bewegen daß es zweymal auf seinem Ufer gerettet. Die Tage her vor war Herr Georg Euse. Alexander der Herren General Staaten der rezentzten Meederlanden / wie auch Herr von Dam / hochgebührter Herren General Staaten vereinigter Consul zu Sinopien mit einer Flottille / von 14. Personen / alda angenommen / davon Herr Euse / bei diesen Tag dem 6. April und / Edende der Stadt / die empfangene Befreiung widergeschen sollen: Aber er wird hieran web übertrudt durch Meanderflugung / wenn Hauses / wch / s. ihre Stoffen seine kleine Tochter / eine Cammer Jungfrau / einen Diener / eine Magd und mehr andere Personen von seiner Suite / red geschlagen / also daß mir der einzige Consul / der von Dam / in dem Leben davon kommen: welche zurück nach Venetia querten / wo der in Holland zu fehrrung von dieser jämmerlichen Begegnung Reiseleitung hat. Sonstens stand zwar auch des Herrn Alexander Hoffmeister / wie auch einige andere / Doniflare Besetze / dem Tod entwisch: welche man aber in den heutigen Abend querseicht und wie bald Zudeck der Raum mit einer Wnde doror holen müßen.

Sonstags den 24. 14. Aprils war ein Schiff von Ragusa / so7. Das unterwegs gewesen eingelaufen werden mit großdruck / daß das Land und die wellfältige Nation schwere Staaten / wegen vorangegangenen Erdbebens nicht zu beobachten. Es seien von unbekommenen Mauern und Häusern über 3000. Personen erschlagen / auch unter einer andern Mauer

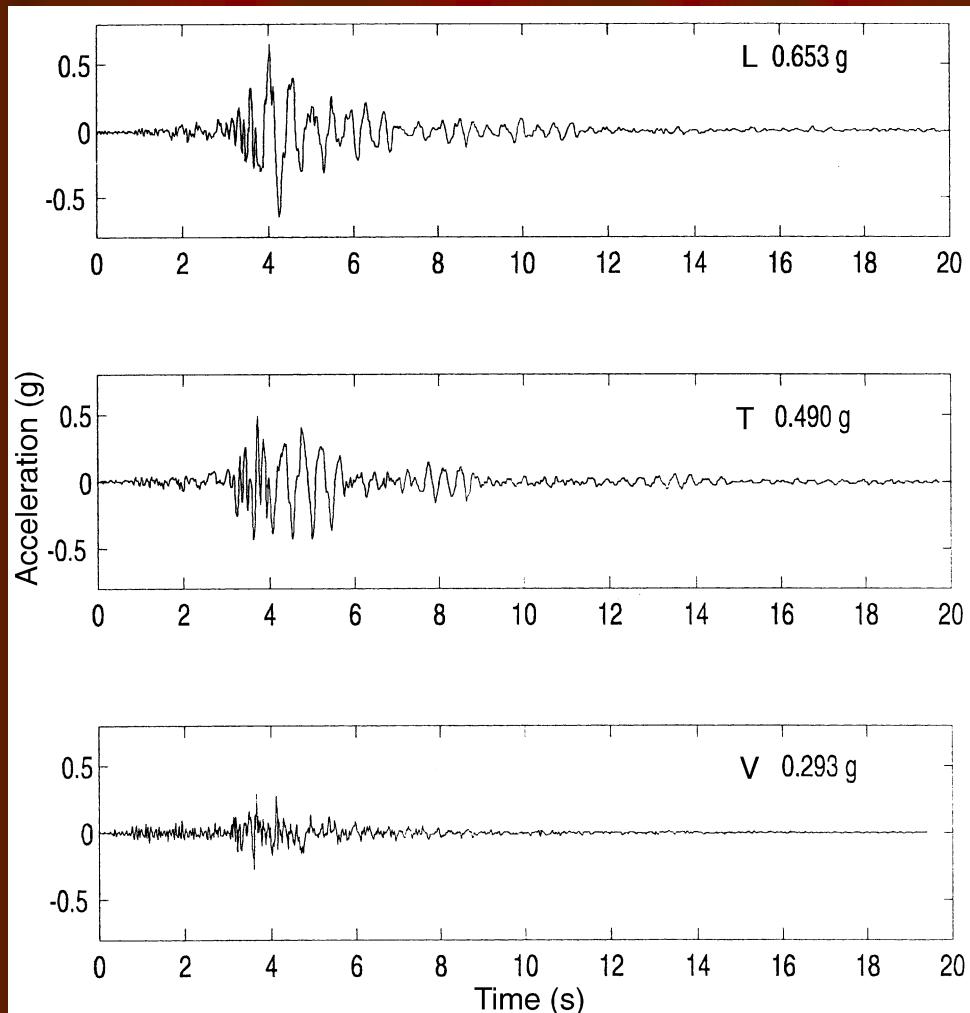
Povijesni događaji – Zagreb, 1880.



Povijesni događaji – Zagreb, 1880.



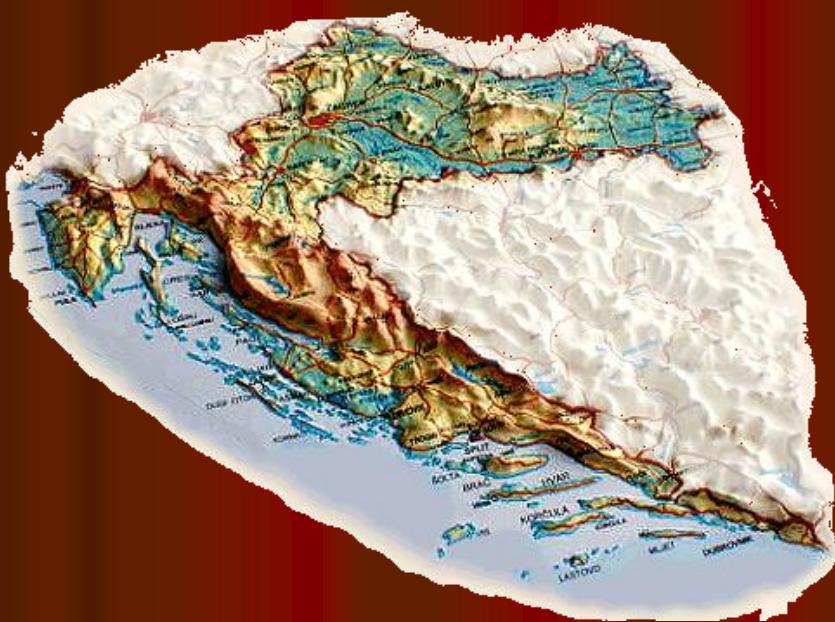
Nedavni događaj – Ston, 1996.



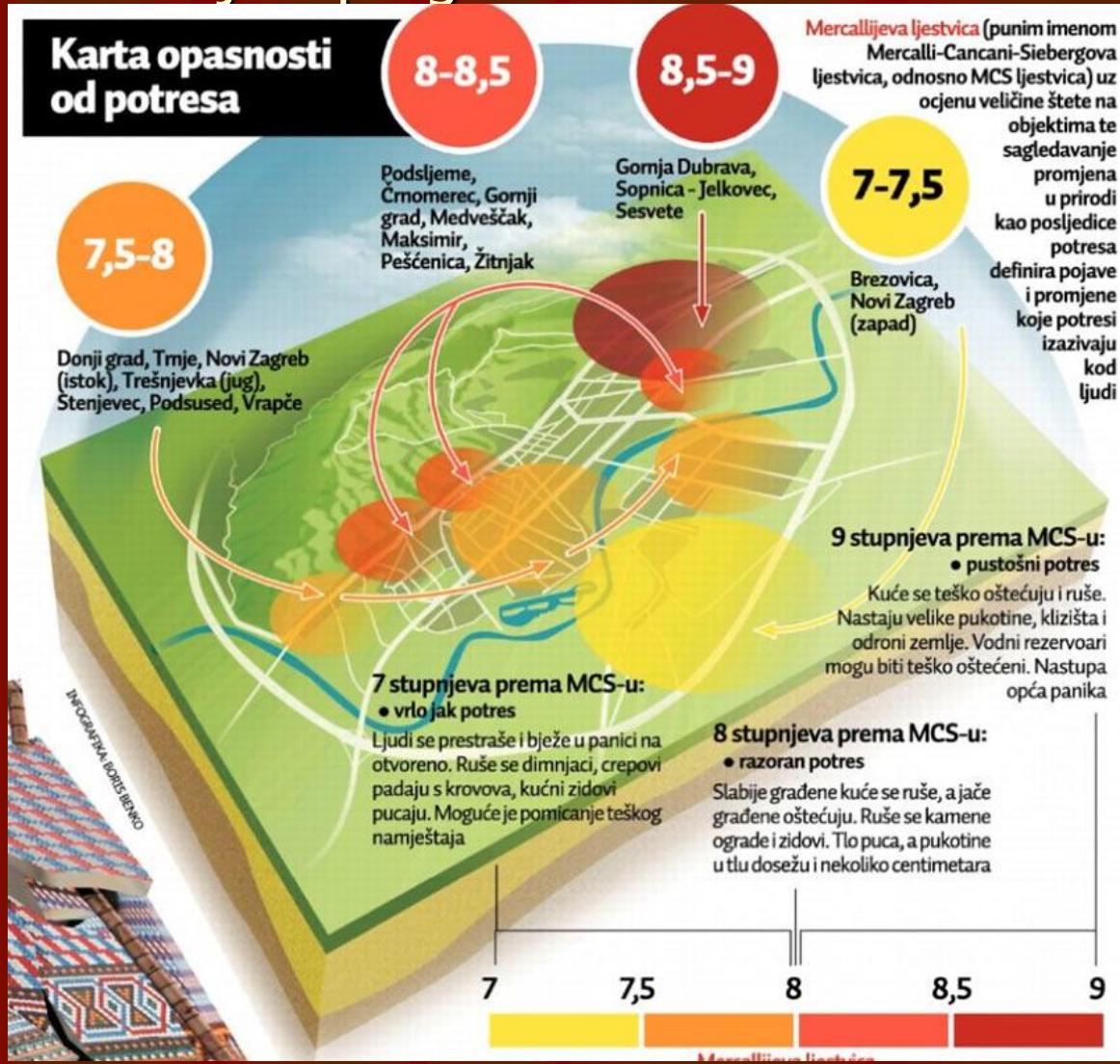
Akcelerogram potresa Ston-Slano (Croatia, $M = 6.0$, 1996)

Naglašeni efekti lokalnih uvjeta tla

Pojednostavljeni pregled seizmičkih zona u Hrvatskoj



Pojednostavljeni pregled seizmičkih zona u Zagrebu



Tipovi tla u EC8

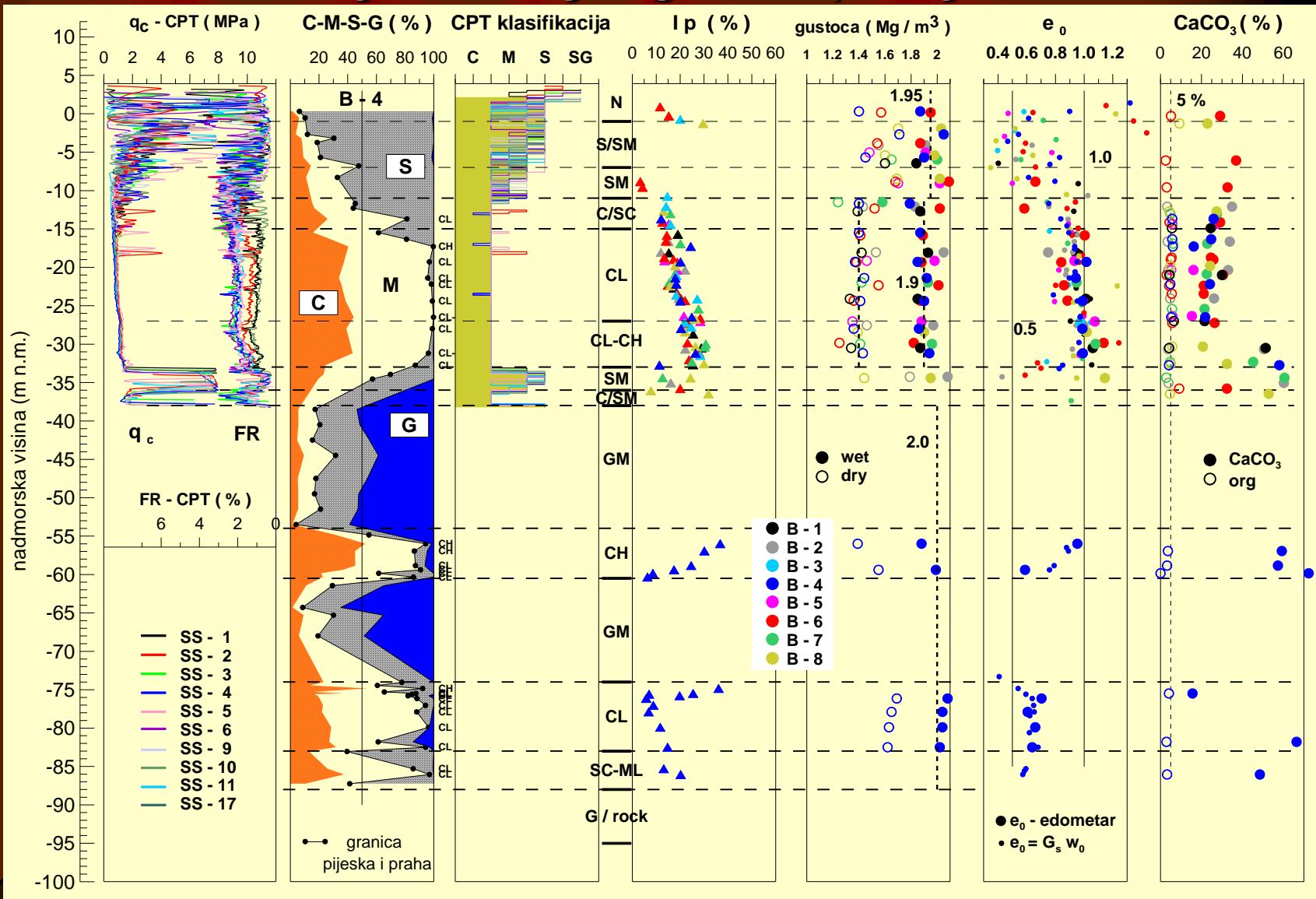
EC8 Tip tla	Litološka obilježja presjeka	Parametri		
		$V_{S,30}$ (m/s)	N_{SPT} (br. udaraca/ 30cm)	Cu (kPa)
A	Stijena ili stjenovita masa, uključujući manje od 5 m trošnog materijala na površini	> 800	-	-
B	Naslage gusto zbijenog pjesaka, šljunka ili čvrstih glina, debele najmanje nekoliko desetaka metara, karakterizirane postepenim porastom mehaničkih karakteristika sa dubinom	360 - 800	> 50	> 250
C	Debele naslage rahlo zbijenih do srednje zbijenih pjesaka, šljunaka i polučvrstih glina, debljine od nekoliko desetaka do nekoliko stotina metara	180 - 360	15 - 50	70 - 250
D	Naslage vrlo rahlo do srednje zbijenih tala (sa ponekim lako gnečivim koherentnim slojem, ili bez njega), ili od pretežito lako do težko gnečivog koherentnog tla	< 180	< 15	< 70
E	Tip tla E sastoji se od površinskog aluvijalnog sloja sa $V_{S,30}$ vrijednostima klase C ili D i debljine koja se kreće od 5 do 20 metara, sa čvrstom podlogom brzine $V_{S,30} > 800$ m/s	-	-	-
S ₁	Naslage koje se sastoje od najmanje 10 m debelih slojeva lakognječive gline / praha sa indeksom plastičnosti (PI > 40) i visokim sadržajem vode	< 100	-	10 - 20
S ₂	Naslage tala sklonih likvefakciji, glina osjetljivih na poremećaje, ili druga kategorije tla koje nije uključeno u kategorije A-E	-	-	-

- Pojednostavljena tipizacija tla
- Tipu tla pridruženi su amplifikacijski faktori koji s uglavnom mjerodavni za mala seizmička ubrzanja
- Za važnije građevine potrebna detaljnija geotehnička i geofizička istraživanja
- Studije seizmičkog odziva tla daju bolji uvid i realnije projektne seizmičke parametre

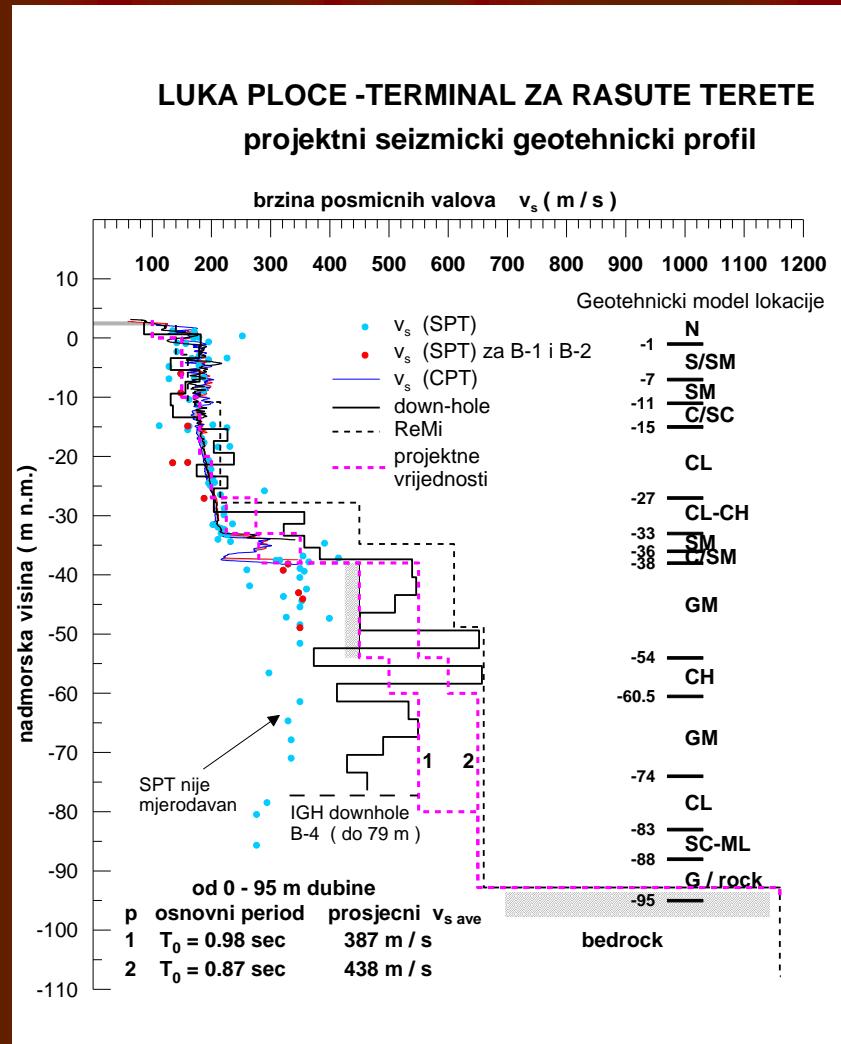
Uspostava seizmičkog geotehničkog profila tla

- Za važnije građevine ili za nepovoljna temeljna tla (tipovi D, S₁, S₂) potrebna detaljnija geotehnička i geofizička istraživanja
- Za uspostavu seizmičkog profila potrebni su podaci o dubljim slojevima tla – do stijene ili tla tipa A
- dubina od 30m u EC8 je kompromisno određena dubina utjecaja. Za dublje aluvijalne naslage preporučljivo barem jedna bušotina od 50m ili do tvrde podloge – kombinirana geotehnička i geofizička istraživanja

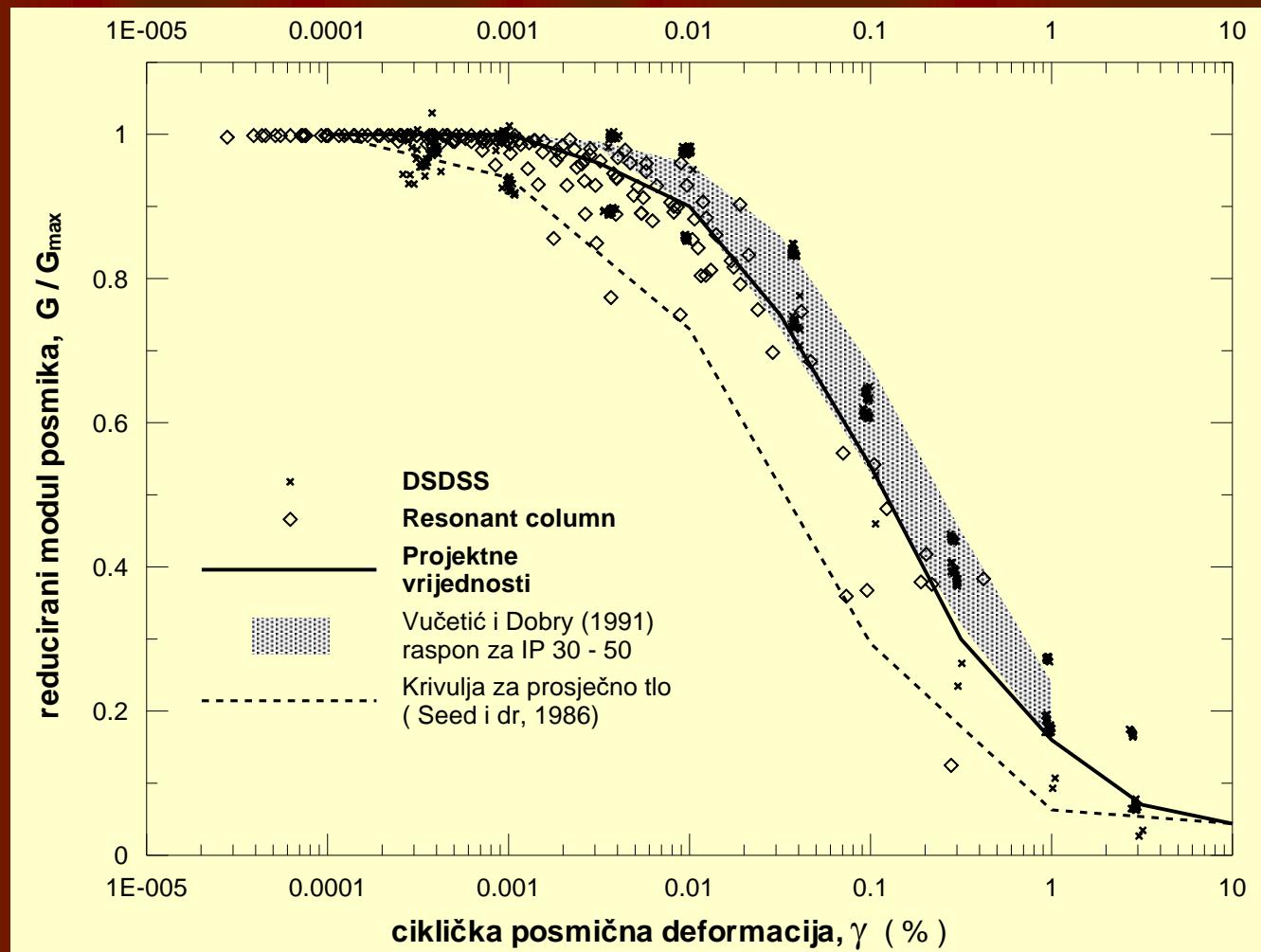
Karakterizacija temeljnog tla – primjer luka Ploče



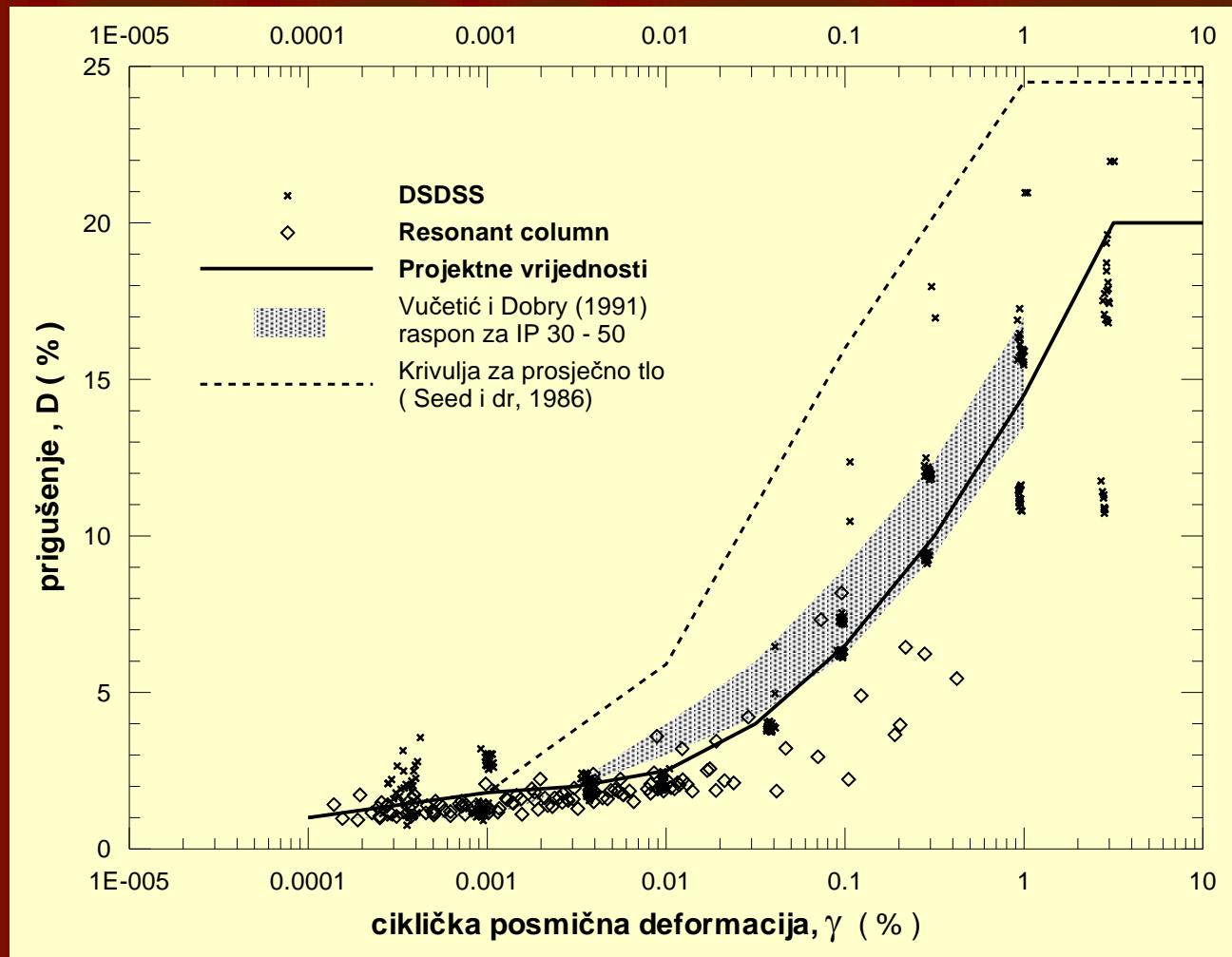
Uspostava seizmičkog profila



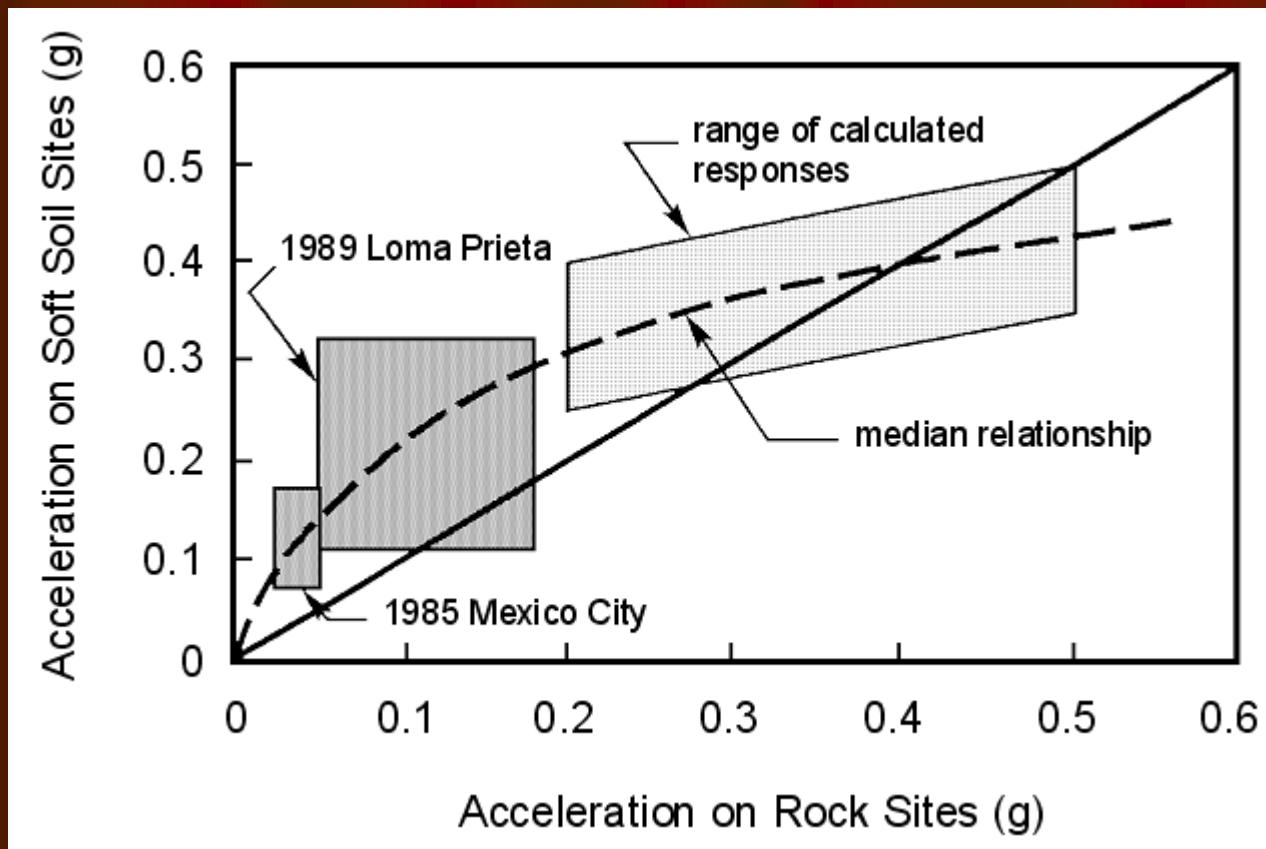
Geotehnička istraživanja - nelinearna svojstva tla – moduli posmika



Geotehnička istraživanja - nelinearna svojstva tla – prigušenje

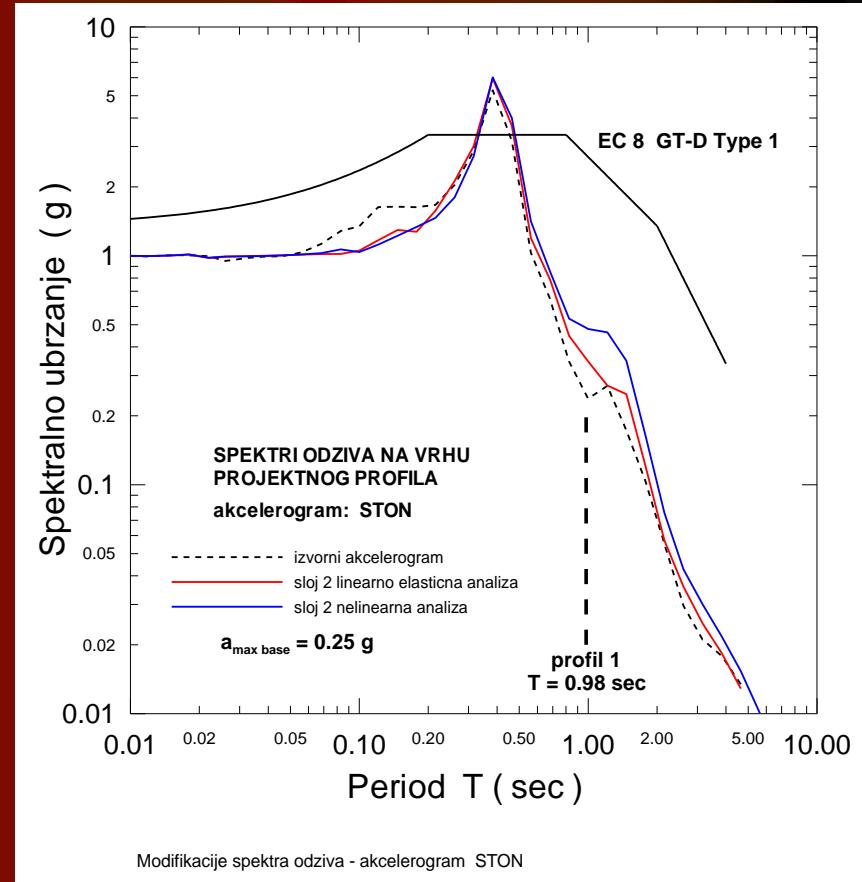
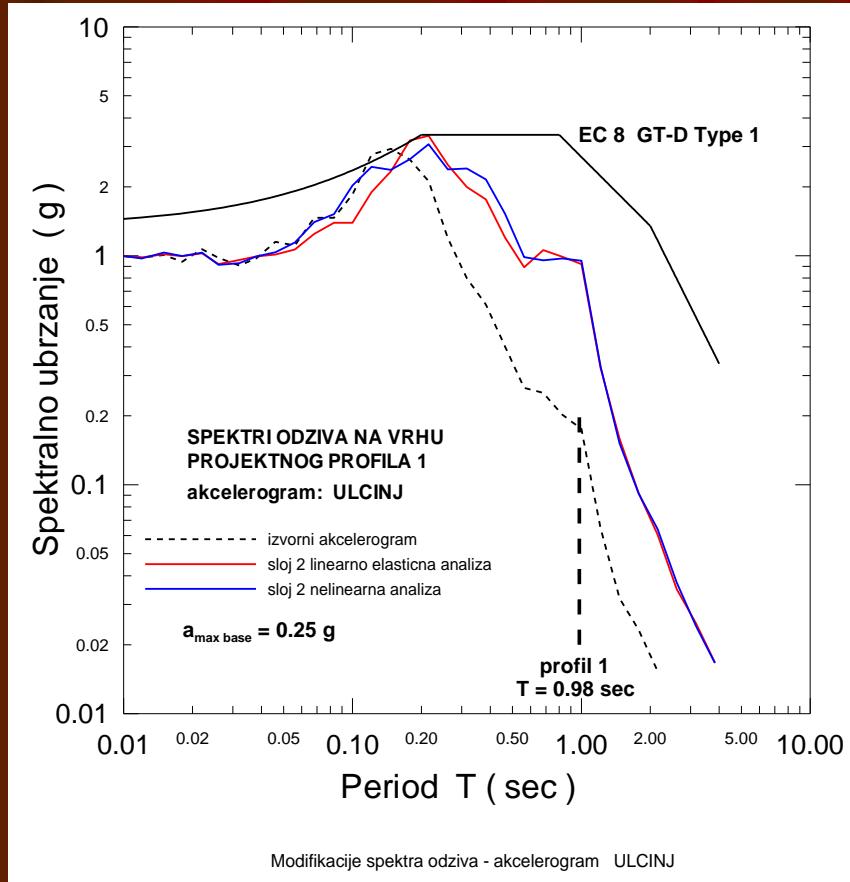


Seizmički odziv tla na lokaciji – iskustvena očekivanja

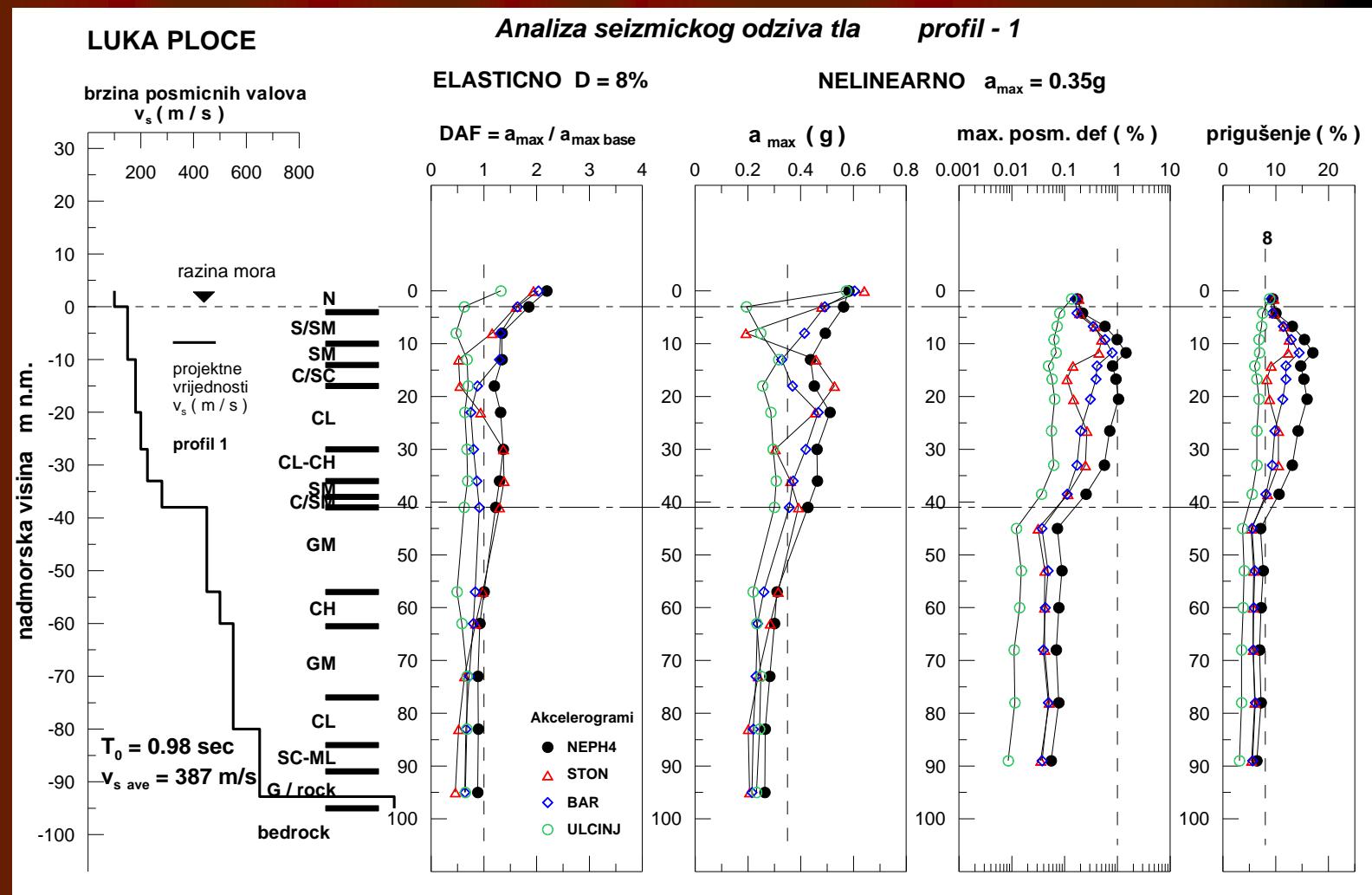


Za mekša tla :
Amplifikacija samo pri manjim seizmičkim ubrzanjima podloge
Pri većim ubrzanjima problem postaju znatni pomaci

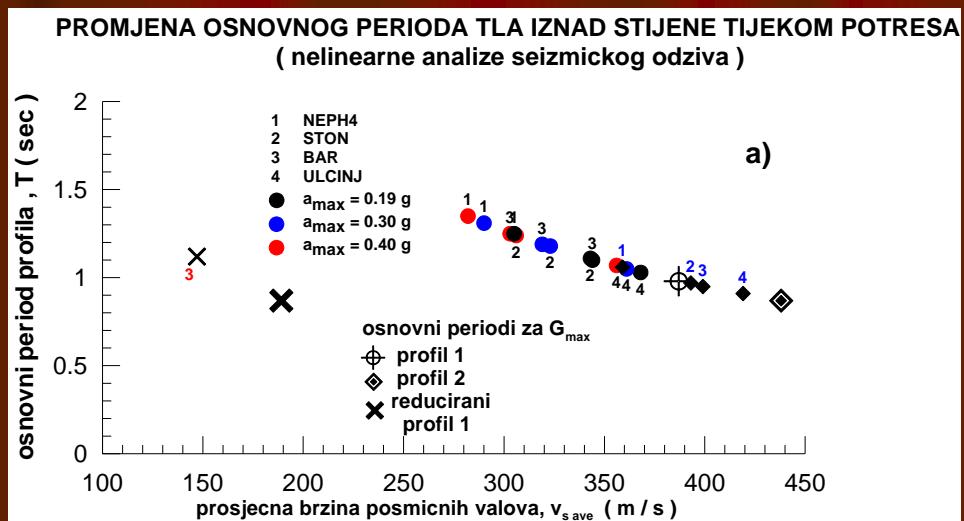
Seizmički odziv lokacije – promjene spektra odziva



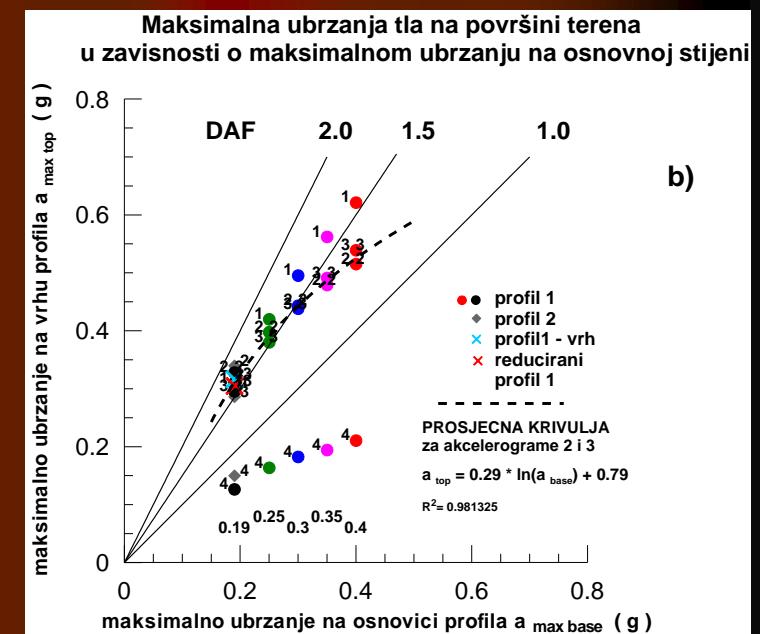
Seizmički odziv lokacije – amplifikacija signala



Seizmički odziv lokacije – amplifikacija signala



a)



b)

EC 8 – pojednostavljena amplifikacija prema tipu tla

Type 1 M>5.5

EC8 Tip tla	Litološka obilježja presjeka	Parametri		
		$V_{S,30}$ (m/s)	N_{SPT} (broj udaraca/ 30cm)	C_u (kPa)
A	Stijena ili stjenovita masa, uključujući manje od 5 m trošnog materijala na površini	> 800	-	-
B	Naslage gusto zbijenog pjesaka, šljunka ili čvrstih glina, debele najmanje nekoliko desetaka metara, karakterizirane postepenim porastom mehaničkih karakteristika sa dubinom	360 - 800	> 50	> 250
C	Debele naslage rahlo zbijenih do srednje zbijenih pjesaka, šljunka i polučvrstih glina, debljine od nekoliko desetaka do nekoliko stotina metara	180 - 360	15 - 50	70 - 250
D	Naslage vrlo rahlo do srednje zbijenih tala (sa ponekim lako gnječivim koherentnim slojem, ili bez njega), ili od pretežito lako do težko gnječivog koherentnog tla	< 180	< 15	< 70
E	Tip tla E sastoji se od površinskog aluvijalnog sloja sa $V_{S,30}$ vrijednostima klase C ili D i debljine koja se kreće od 5 do 20 metara, sa čvrstom podlogom brzine $V_{S,30} > 800$ m/s	-	-	-
S ₁	Naslage koje se sastoje od najmanje 10 m debelih slojeva lakognječive gline / praha sa indeksom plastičnosti (PI > 40) i visokim sadržajem vode	< 100	-	10 - 20
S ₂	Naslage tala sklonih likvefakciji, gлина osjetljivih na poremećaje, ili druga kategorije tla koje nije uključeno u kategorije A-E	-	-	-

S

1.00

1.20

1.15

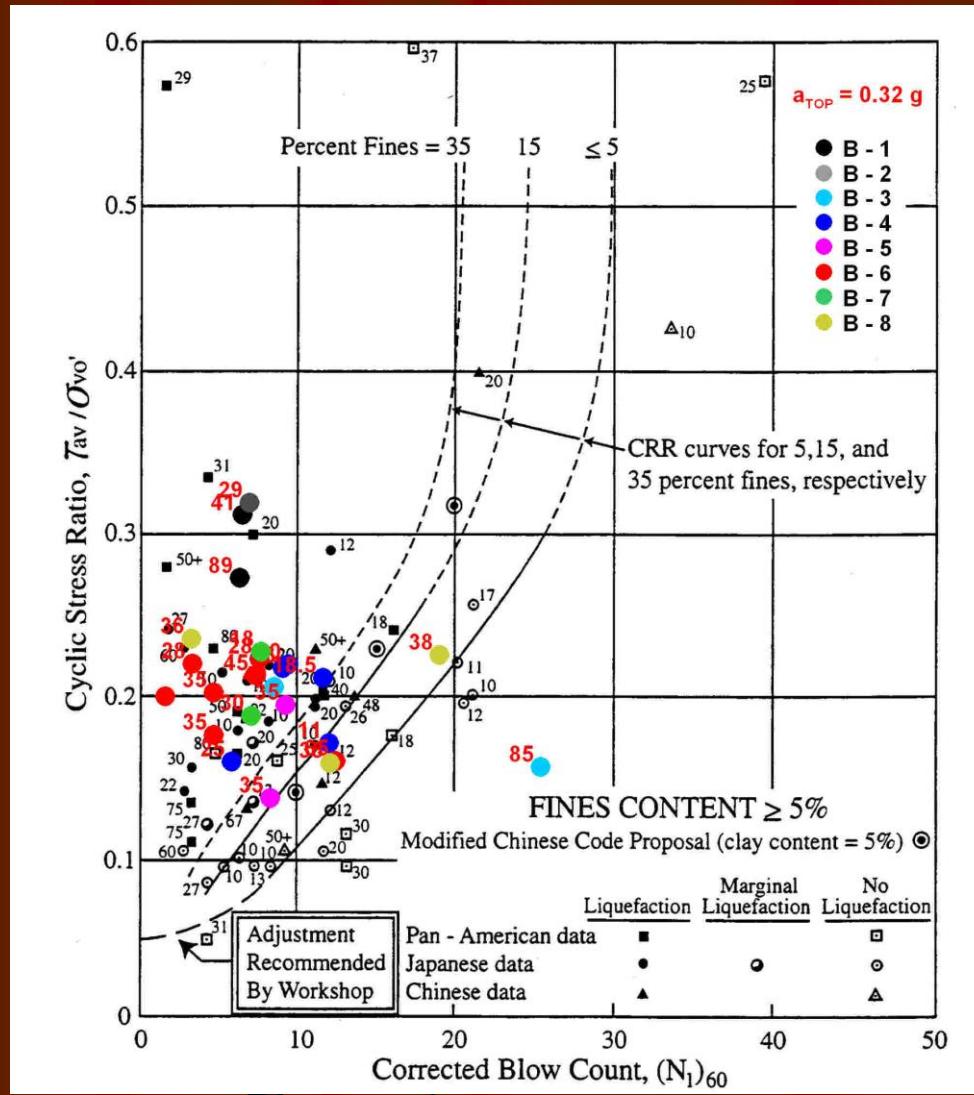
1.35

1.40

S

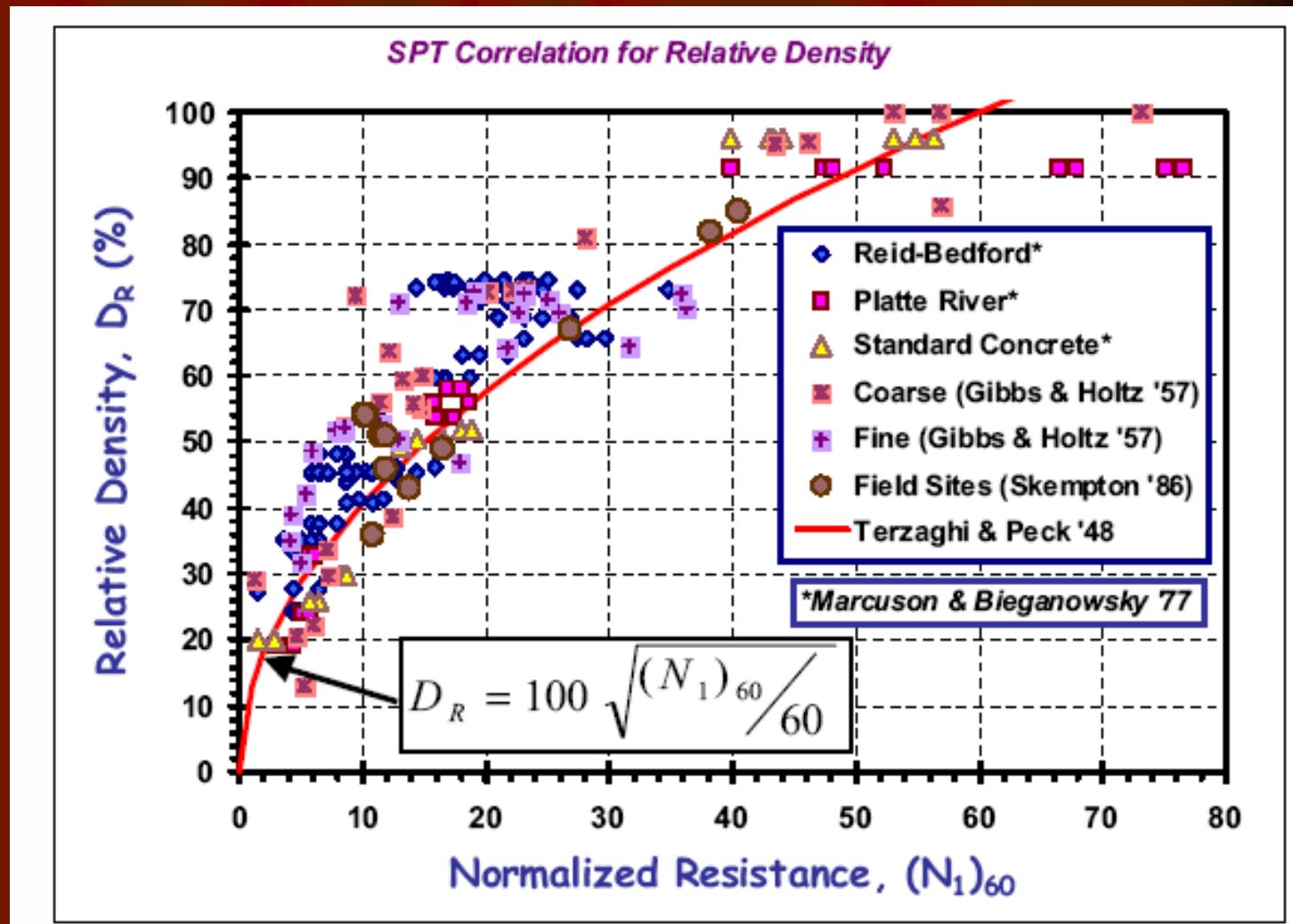
- parametar ovisan o tipu tla
- amplifikacija za T = 0 s

Ocjena likvefakcijskog potencijala

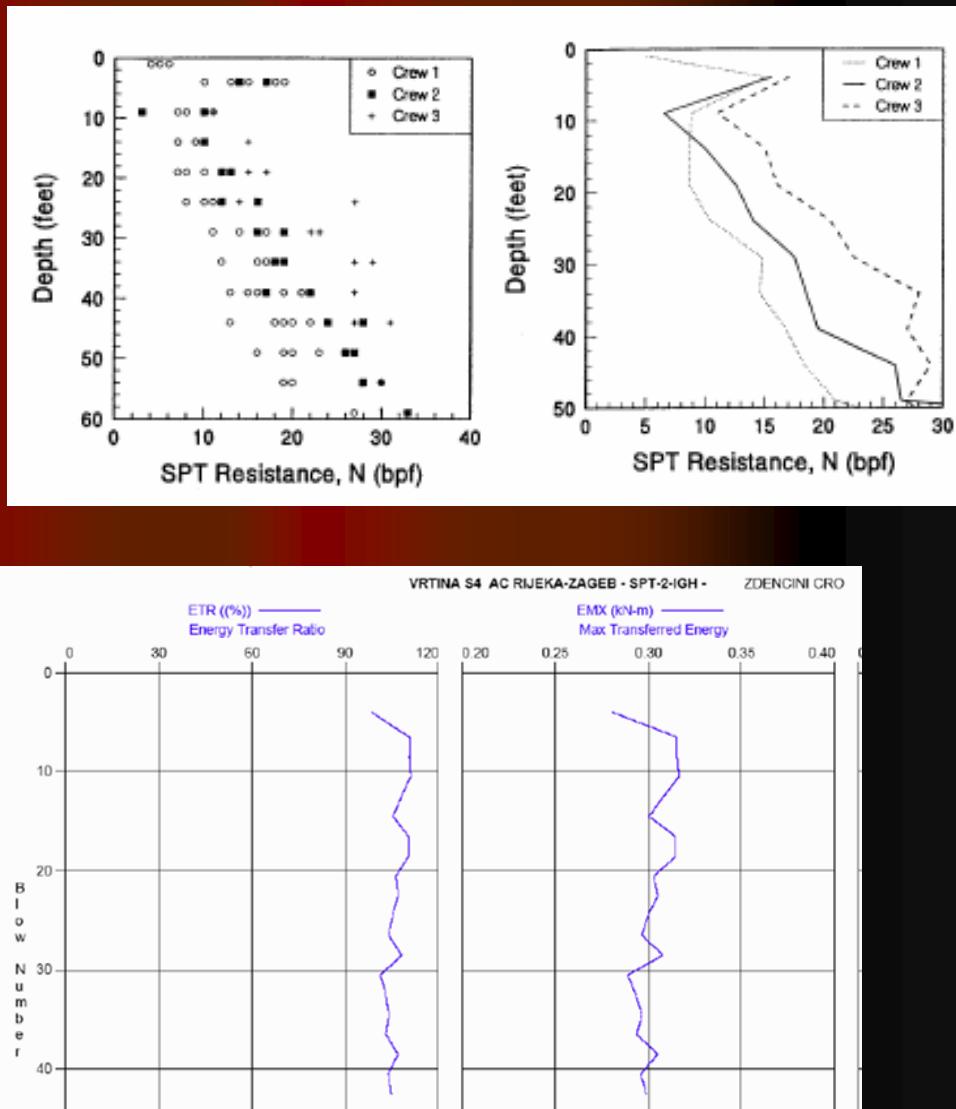


Prema broju
udaraca SPT

Korelacijske iz literature – oprezna upotreba



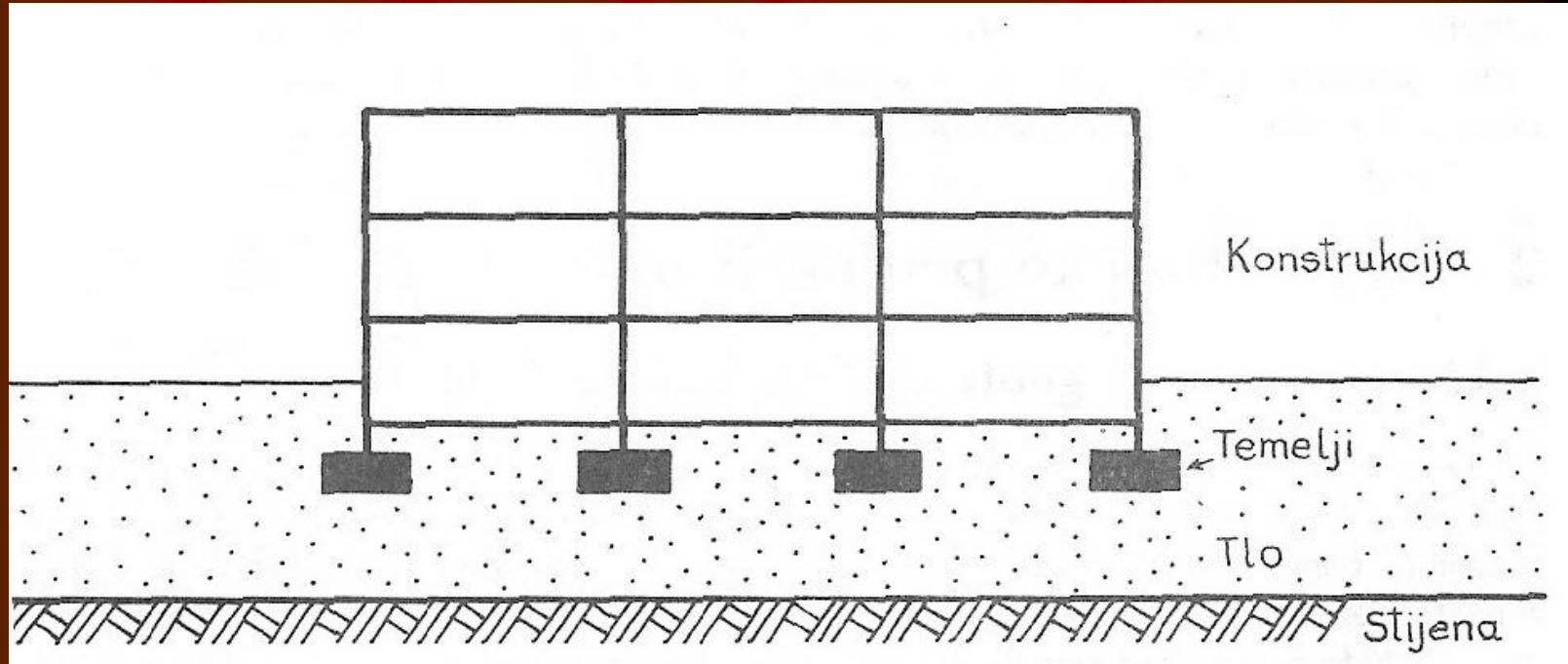
Kalibracija energije SPT - N₆₀



Sustav temeljenja

- Treba izbjegavati tzv. miješani sustav dubokog i plitkog temeljenja na istoj konstrukciji.
- Analogno nisu preporučljiva plitka temeljenja iste konstrukcije na bitno različitim tlima – tvrdo-meko, poboljšano-nepoboljšano
- Povezivanje temelja samaca ili traka veznim gredama ili pločom

Elementi sustava temeljenja



Interakcija – međudjelovanje temeljnog tla i konstrukcije koje rezultira kompatibilnim silama i pomacima u kontaktnom (interface) elementu – **temelju konstrukcije**

Interakcija tlo – temelj – konstrukcija 1

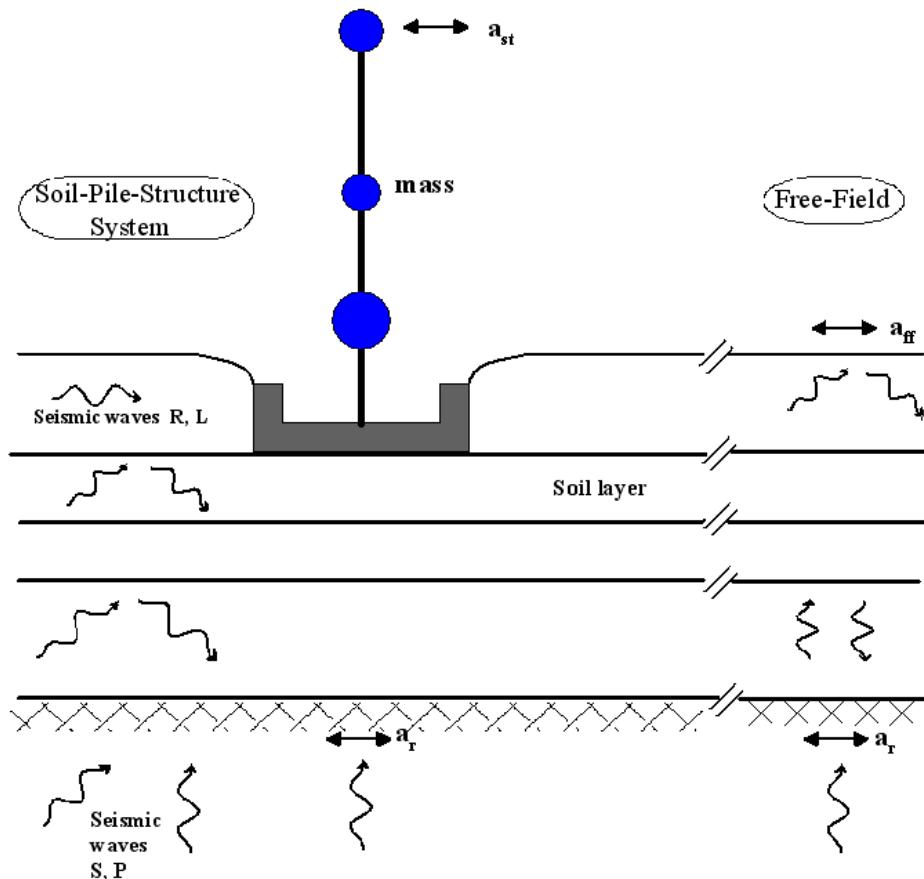
- U statickim uvjetima – trajna opterećenja od gornje konstrukcije ili tla i vode u potpornim konstrukcijama
- Prolazna opterećenja – vozila, plovila..
- Dinamička djelovanja strojeva

→ Poznat ili definiran izvor djelovanja

Eurocode 8-5 i interakcija tlo-konstrukcija

- Poglavlje 6. Međudjelovanje (interakcija tlo-konstrukcija)
 - Za većinu građevina djeluje povoljno, pa se ne uzima u obzir
 - Treba je uzeti u obzir (potencijalno nepovoljna) za:
 - konstrukcije gdje se uzimaju u obzir efekti 2 reda,
 - masivne ili duboke temeljne konstrukcije (stupovi mostova, offshore kesoni, silosi),
 - uske visoke konstrukcije (dimnjaci, tornjevi),
 - konstrukcije na vrlo mekom tlu s $v_s < 100$ m/s

Opća skica problema interakcije tlo-konstrukcija



- Slojevi tla daleko od konstrukcije podvrgnuti su seizmičkoj pobudi koju čine razni nadolazeći valovi: P,S,R,L

- Seizmički pomaci tla prisiljavaju na pomake ukopani temelj, i posljedično gornju konstrukciju. Pomaci temelja razlikuju se od pomaka tla (razlika krutosti temelja i tla)

→ **kinematska interakcija**

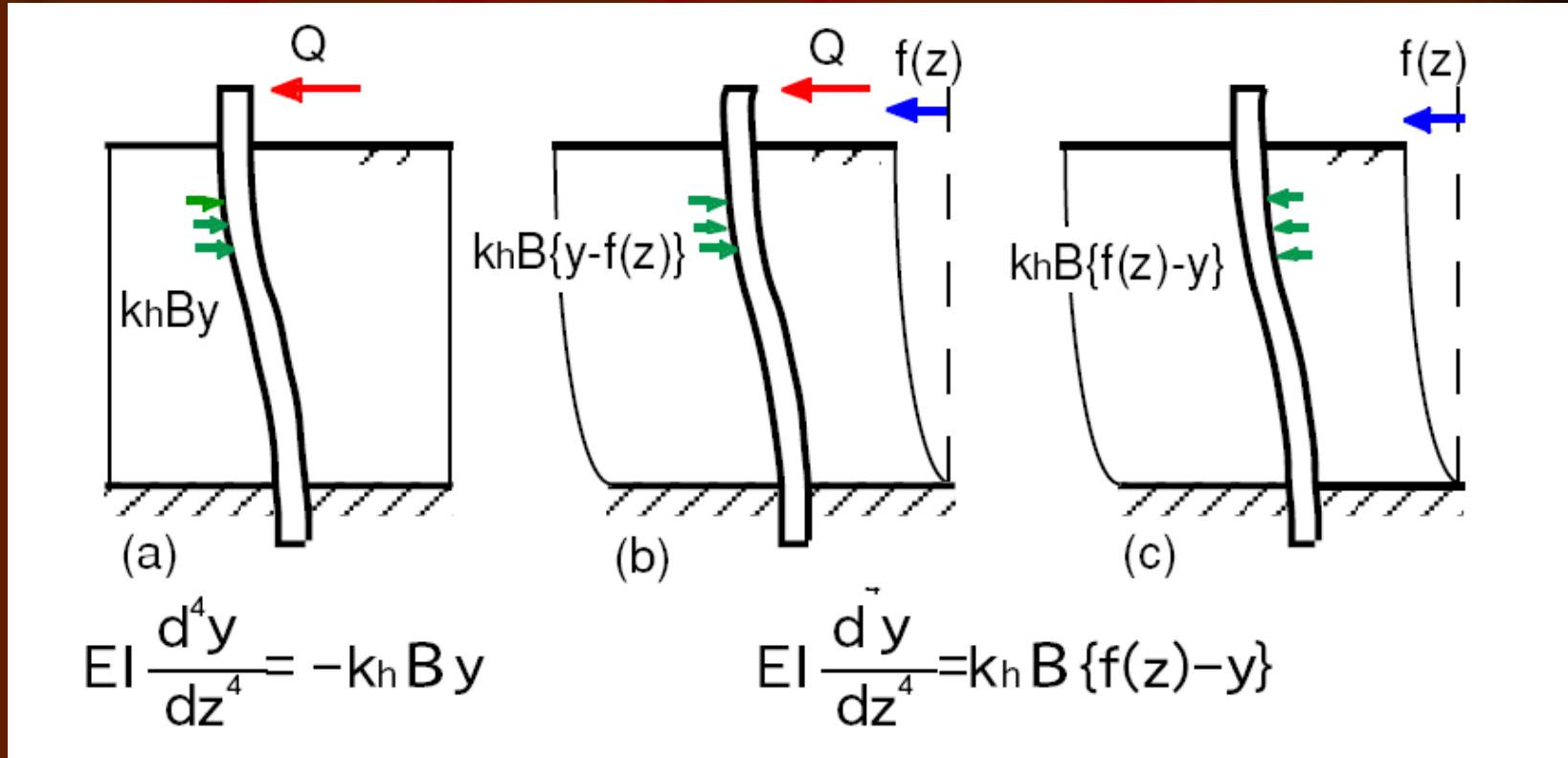
- pomaci temelja izazivaju vibracije gornje konstrukcije; razvijaju se inercijalne sile i momenti koji se prenose na osnovicu – temelje i okolno tlo

→ **inercijalna interakcija**

Eurocode 8-5 i interakcija tlo-konstrukcija 2

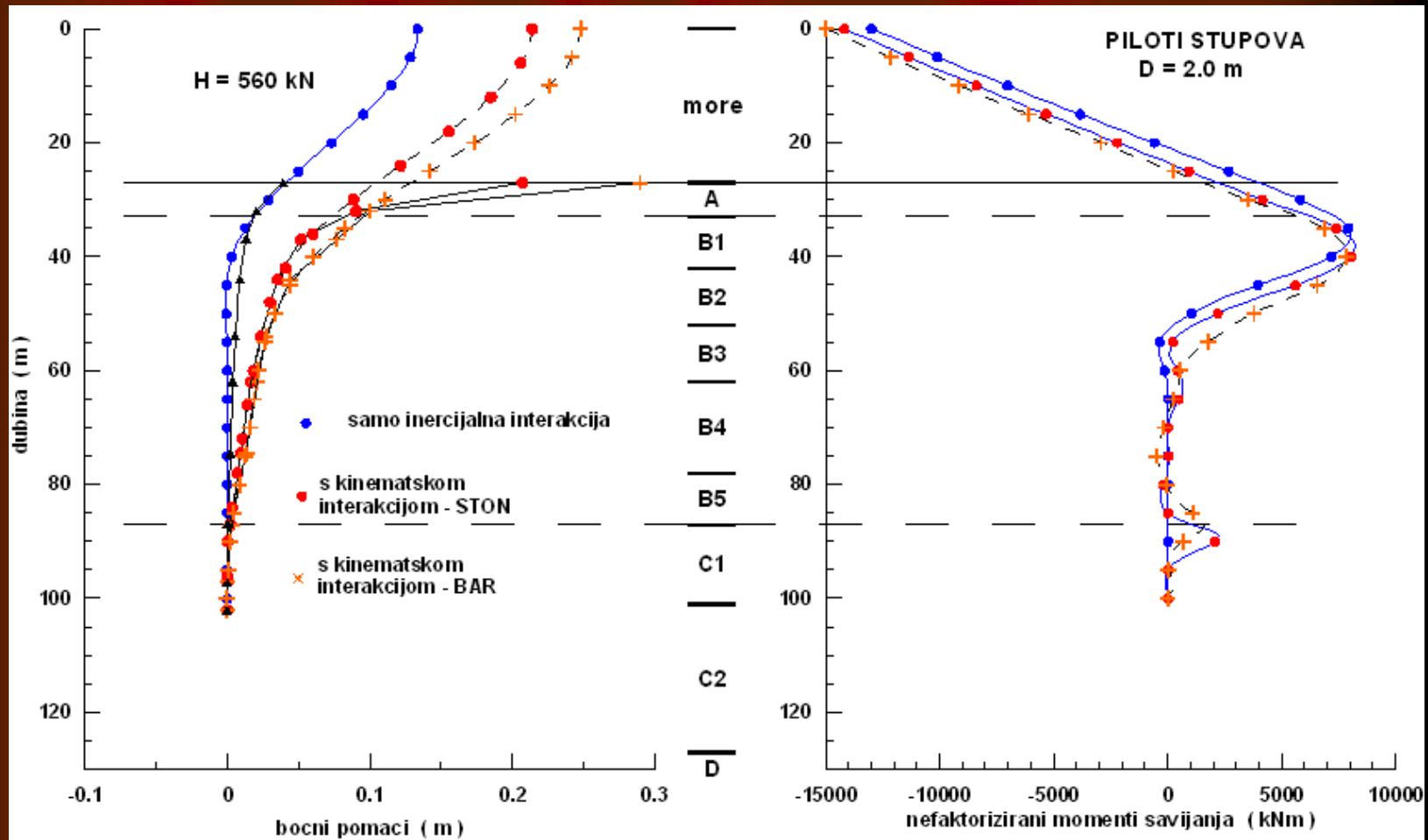
- Efekti kinematske interakcije se zanemaruju osim kod pilota kad se istodobno pojave sljedeći uvjeti:
 - Temeljno tlo je tipa D, S_1 ili S_2 (meke gline ili likvefabilna tla)
 - Područje umjerene ili visoke seizmičnosti- $a_g S > 0.1 \text{ g}$
 - Važnost građevine III ili IV

Piloti – primjeri inercijskih i kinematskih opterećenja



Shema pseudo-statičke analize pilota upotrebom p-y krivulja (nelinearne opruge)

Piloti – primjeri inercijskih i kinematskih opterećenja (most Pelješac)



EC 8-5 Određivanja seizmičkog koeficijenta za nasute i potporne konstrukcije

Horizontalni seizmički koeficijent:

$$k_h = \alpha S/r$$

$$\alpha = a_{hg} / g$$

a_{hg} – proračunska horizontalna akceleracija tla

S – parametar ovisno o tipu tla – amplifikacija za $T = 0$ s

r – parametar ovisno o dozvoljenom pomaku

konstrukcije

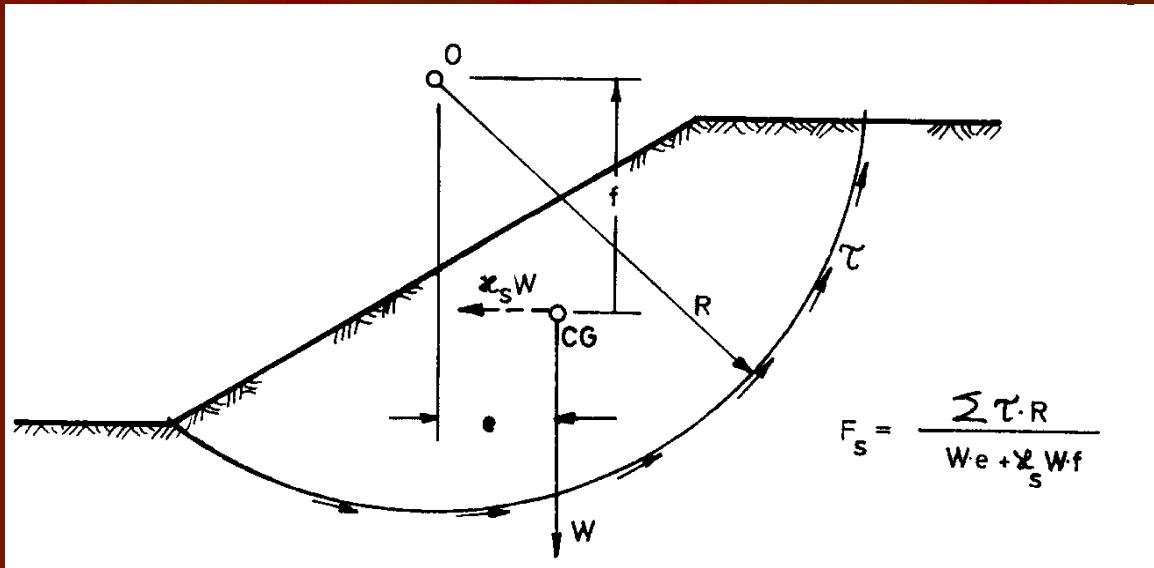
Type of retaining structure	r
Free gravity walls that can accept a displacement up to $d_r = 300 \alpha \cdot S$ (mm)	2
Free gravity walls that can accept a displacement up to $d_r = 200 \alpha \cdot S$ (mm)	1,5
Flexural reinforced concrete walls, anchored or braced walls, reinforced concrete walls founded on vertical piles, restrained basement walls and bridge abutments	1

Vertikalni seizmički koeficijent:

$$k_v = \pm 0.5 k_h \text{ (za } a_{vg} / a_g > 0.6\text{)}$$

$$k_v = \pm 0.33 k_h \text{ (ostalo)}$$

Procjena seizmičke stabilnosti kosina 1

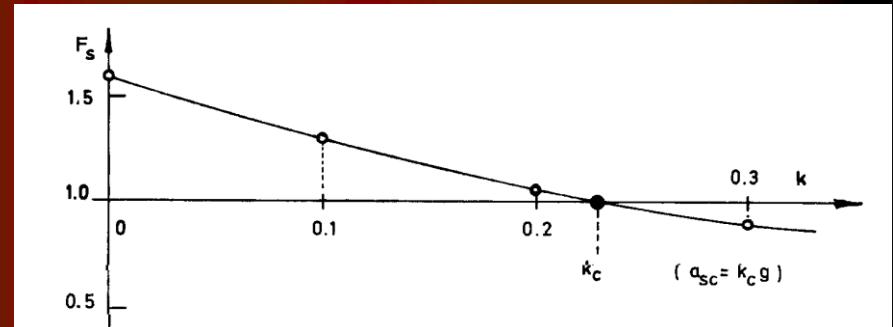
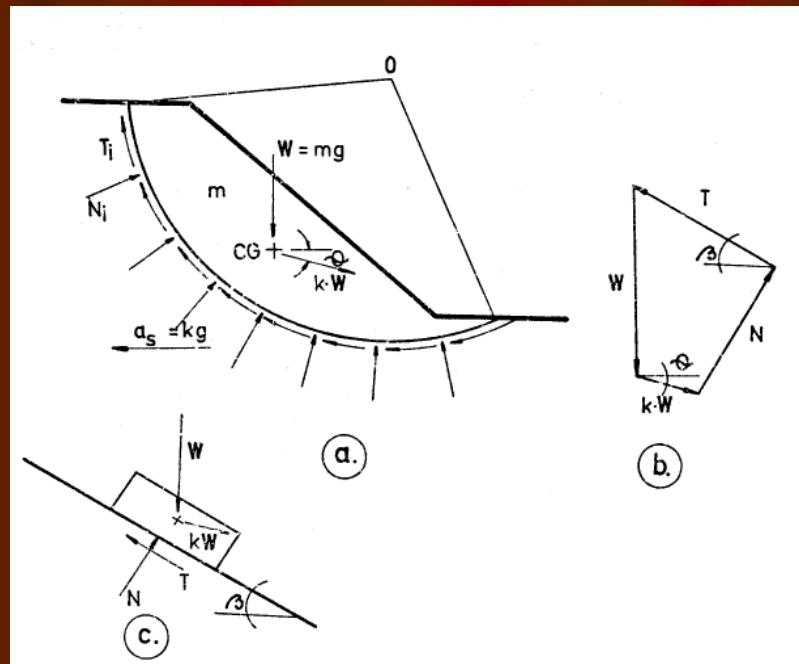


TRADICIONALNO:

- dodatna horizontalna sila – “ekvivalentna” statička sila
- Seizmički koeficijent $k_s = 1/3-1/2$ a max
- EC 8-5 : $F_H = 0.5 \alpha S W$, $F_V = \pm 1/3-1/2 F_H$
- $F_s > 1.0$

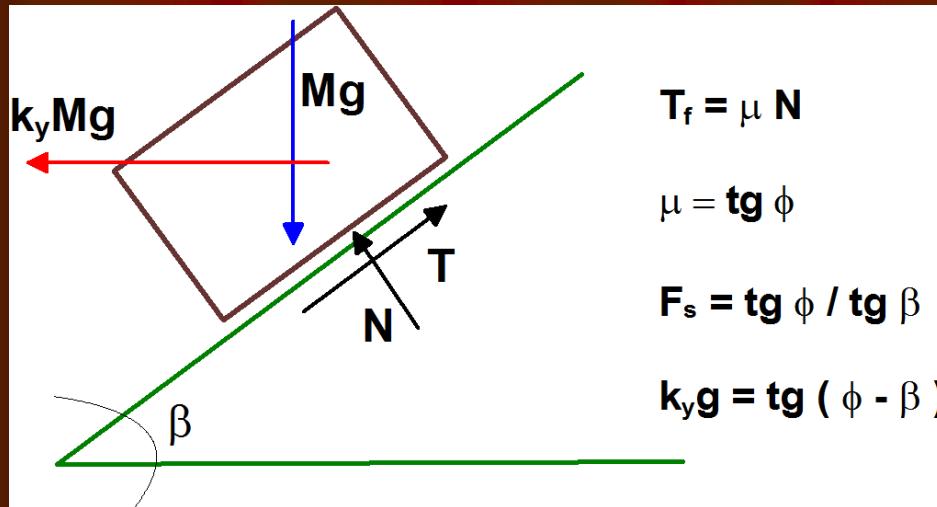
Procjena seizmičke stabilnosti kosina 2

ALTERNATIVNO: određivanje kritičnog ubrzanja i procjena pomaka



Procjena seizmičke stabilnosti kosina 3

- kritično ubrzanje , trajni pomaci



Tablica 1. Faktori sigurnosti i kritično ubrzanje za blok na kosini nagnutoj pod kutom β od horizontale

ϕ (°)	$\beta = 26.56^\circ$		$\beta = 21.8^\circ$	
	FS	k_y	FS	k_y
30	1.155	0.060	1.443	0.144
33	1.300	0.113	1.624	0.198
36	1.453	0.166	1.816	0.253
38	1.563	0.202		

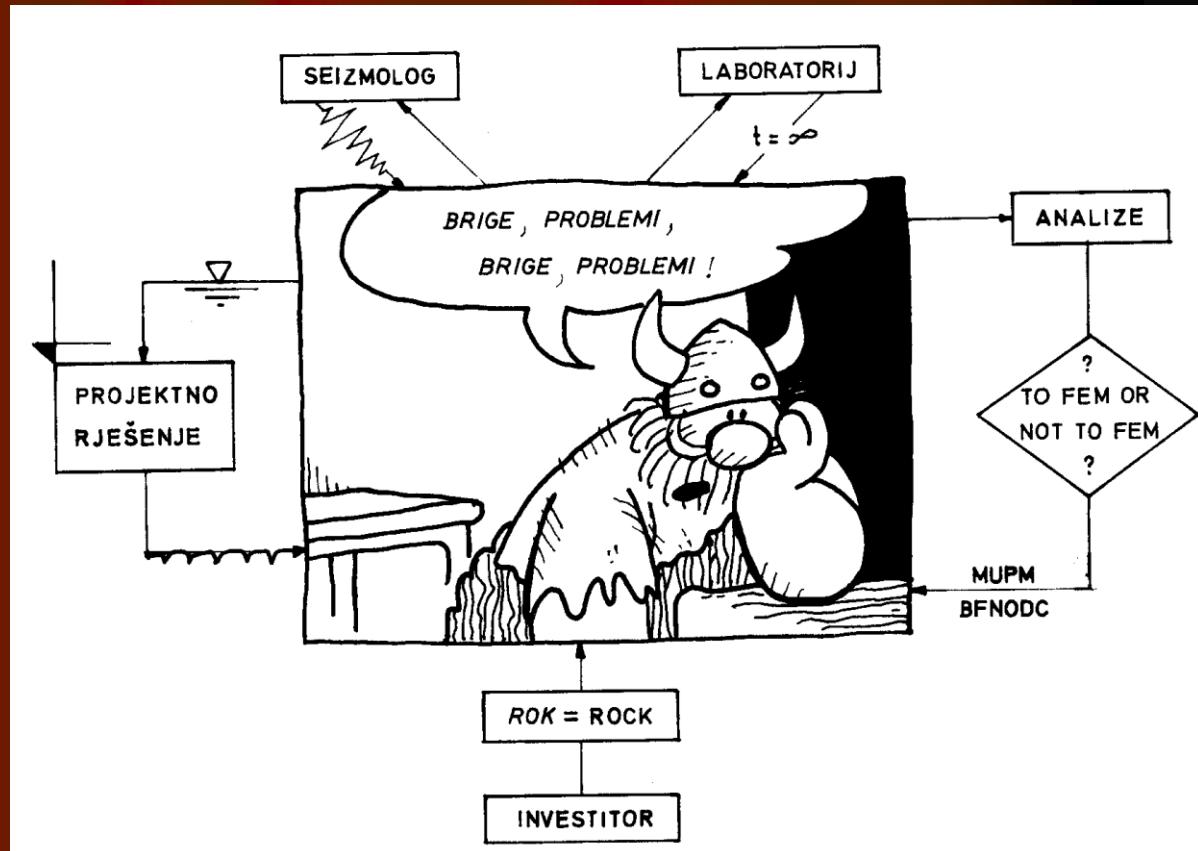
- za potresna ubrzanja veća od kritičnog dolazi do pomaka bloka po kosini

$$k_y = (FS - 1) / n$$

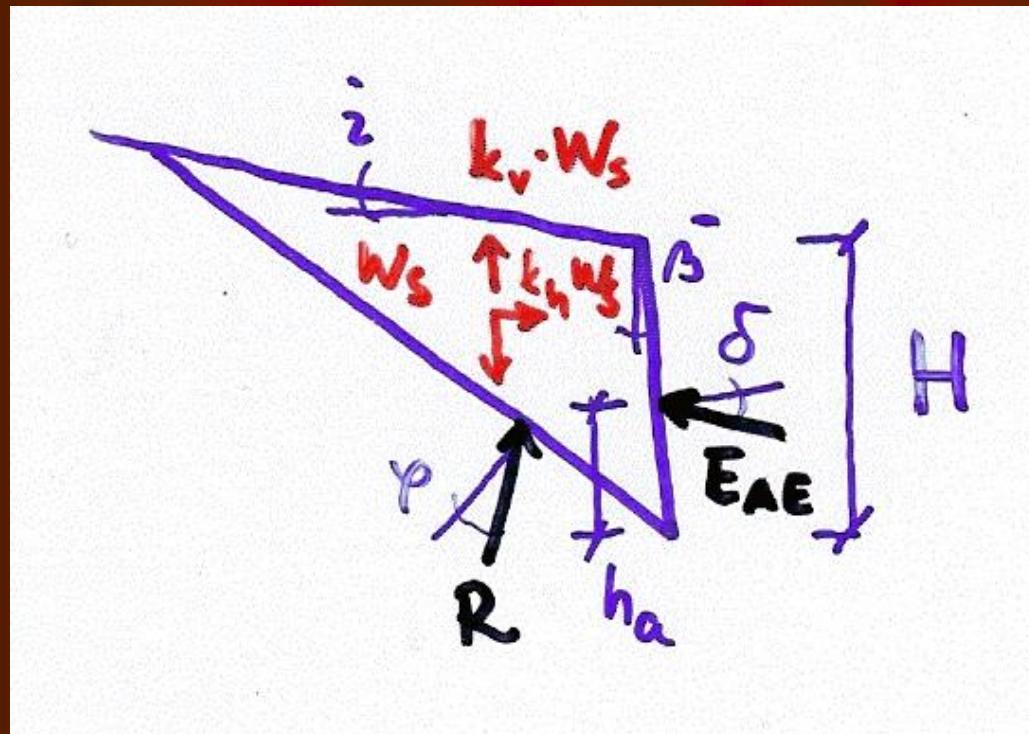
$$n \sim 3 - 3.5$$

Ocjena seizmičke stabilnosti nasutih brana

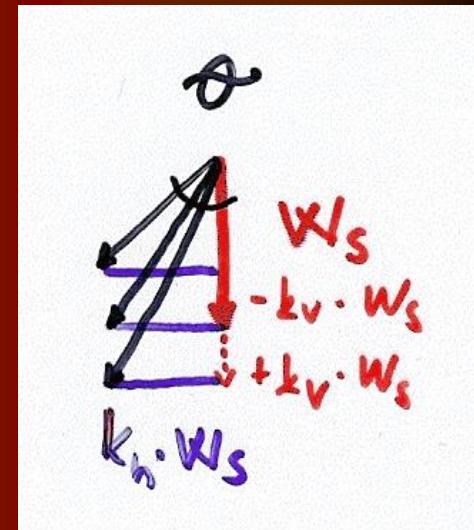
- Analiza seizmičkog odziva
- ciklička svojstva tla
- procjena trajnih pomaka



Procjena seizmičkih zemljanih pritisaka na potporne konstrukcije 1



Volumenske sile (statičke)



$$\phi = \arctan \frac{k_h}{1 - k_v}$$

Procjena seizmičkih zemljanih pritisaka na potporne konstrukcije 2

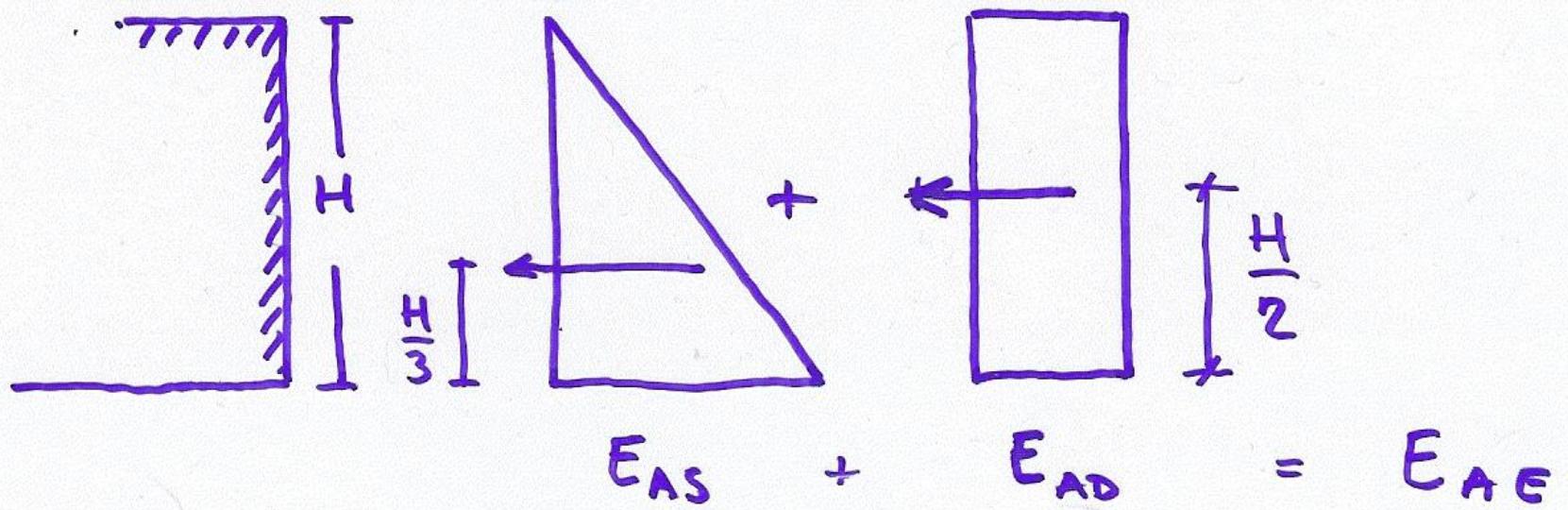
Mononobe – Okabe , oko 1920. godine

$$E_{AE} = \frac{1}{2} \gamma H^2 (1 - k_v) K_{AE}$$

$$K_{AE} = \frac{\cos^2(\varphi - \theta + \beta)}{\cos \theta \cos^2 \beta \cos(\delta + \beta + \theta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi - \theta - i)}{\cos(\delta + \beta + \theta) \cos(i - \beta)}} \right]^2}$$

Procjena seizmičkih zemljanih pritisaka na potporne konstrukcije 3

$$E_{AE} = E_{AS} + \Delta E_{AD}$$



Procjena seizmičkih zemljanih pritisaka na potporne konstrukcije 4

EC 8:

$k_h = a_{\max}$ za ukopane stijene i sidrene zidove (mali pomaci)

$k_h = 1/2 a_{\max}$ za gravitacijske zidove s dopuštenim pomacima

$k_v = 1/2$ do $2/3 k_h$

ALTERNATIVNO:

- Procjena trajnih pomaka

