

Sveučilište u Zagrebu

Građevinski fakultet

Diplomski sveučilišni studij

Smjer: **GEOTEHNIKA**

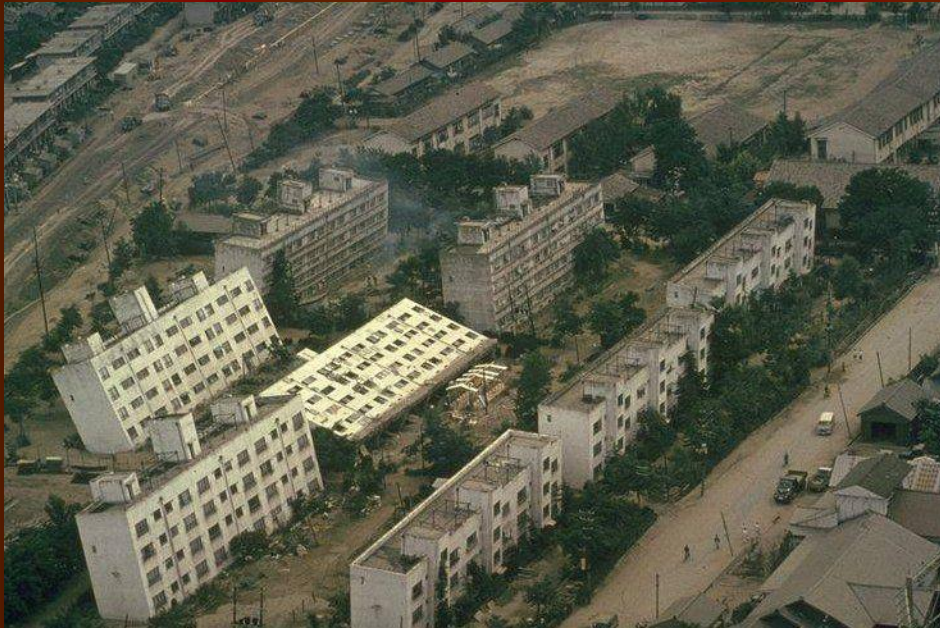
Seizmičko geotehničko inženjerstvo

Prof. dr. sc. Tomislav Ivšić
Građevinski 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



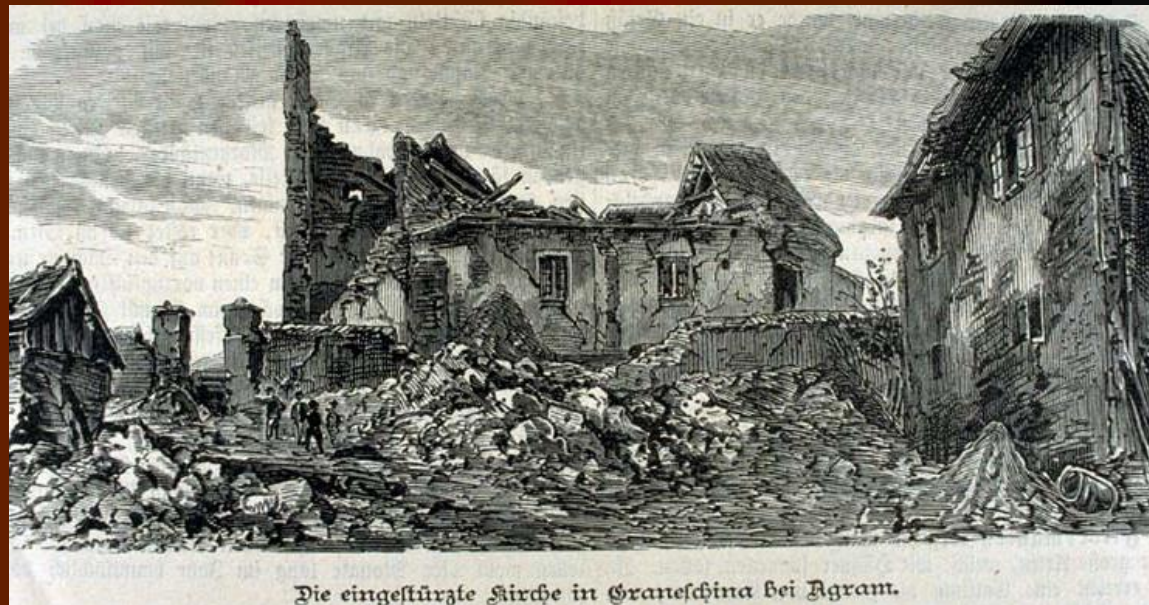
Klzanja, veliki pomaci

Seizmički geotehnički problemi



Potporne konstrukcije

Seizmički geotehnički problemi



Granešina, 1880 – srušena crkva na rasjedu

Bočno rasprostiranje tla u
obalnoj konstrukciji

Dubrovnik, 1979 – karta oštećenja



- utjecaj lokalnog tla
- mikrozonacija u pravom mjerilu

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

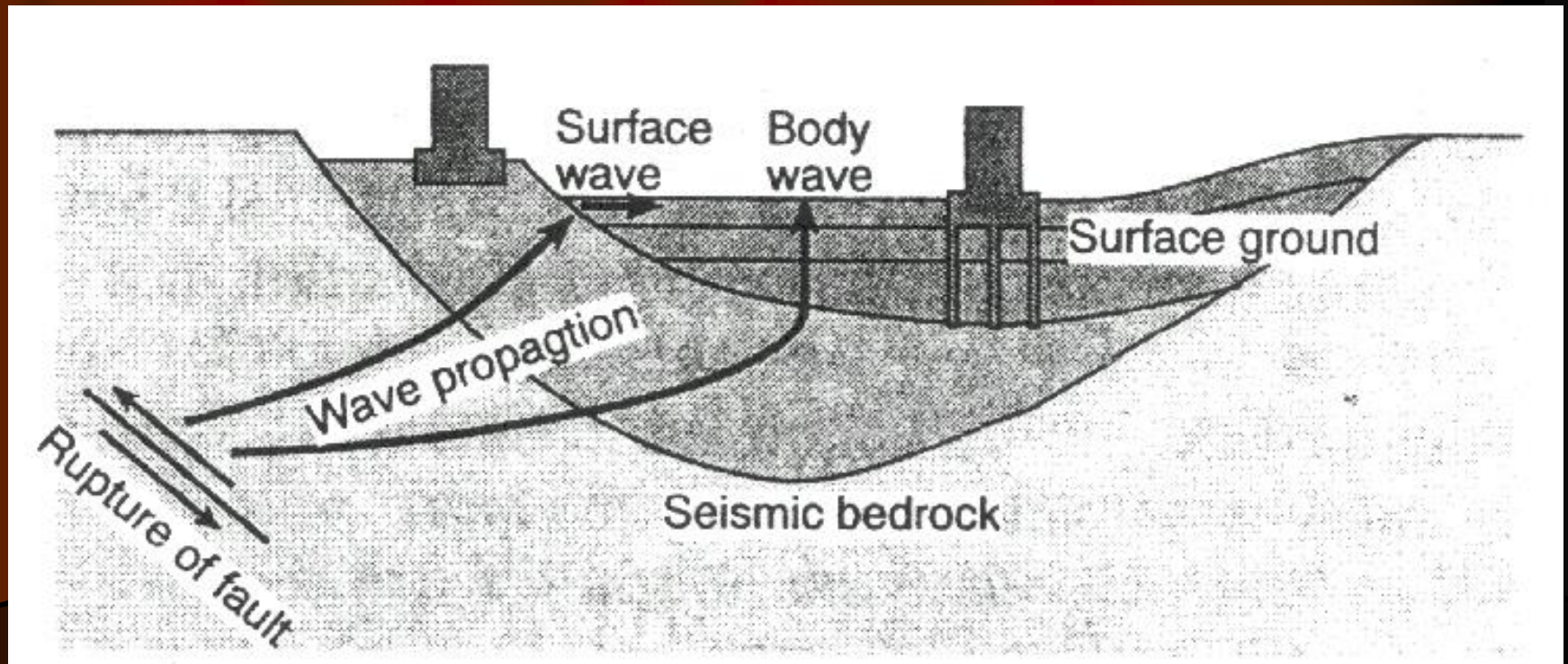
- 1. Općenito
- 2. Seizmičko djelovanje
- 3. Svojstva temeljnog tla
- 4. Zahtjevi za lokaciju i temeljno tlo
 - 4.1 lokacija – aktivni rasjedi, kosine, likvefakcija, zbijanje tla
 - 4.2 istraživanja tla i studije
- 5. Sustav temeljenja
 - 5.1 opći zahtjevi
 - 5.2 pravila za koncept temeljne konstrukcije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

Seizmičko djelovanje

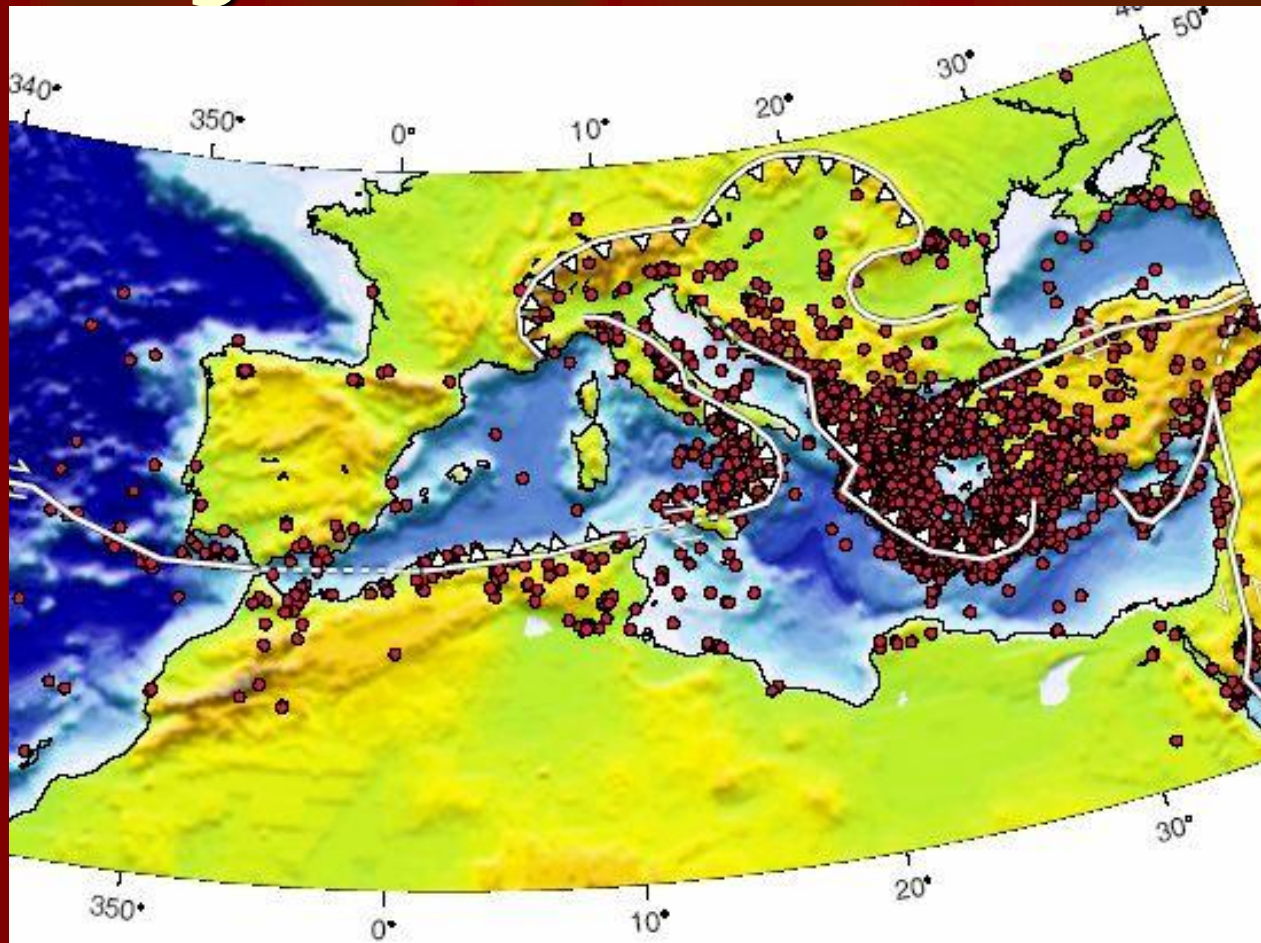
Potres – gibanje na površini terena je posljedica prolaska i modifikacija valova od izvora (rasjed) kroz slojeve stijena i tla do površine terena

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

→ Izvor djelovanja nije dovoljno poznat – grubi opis



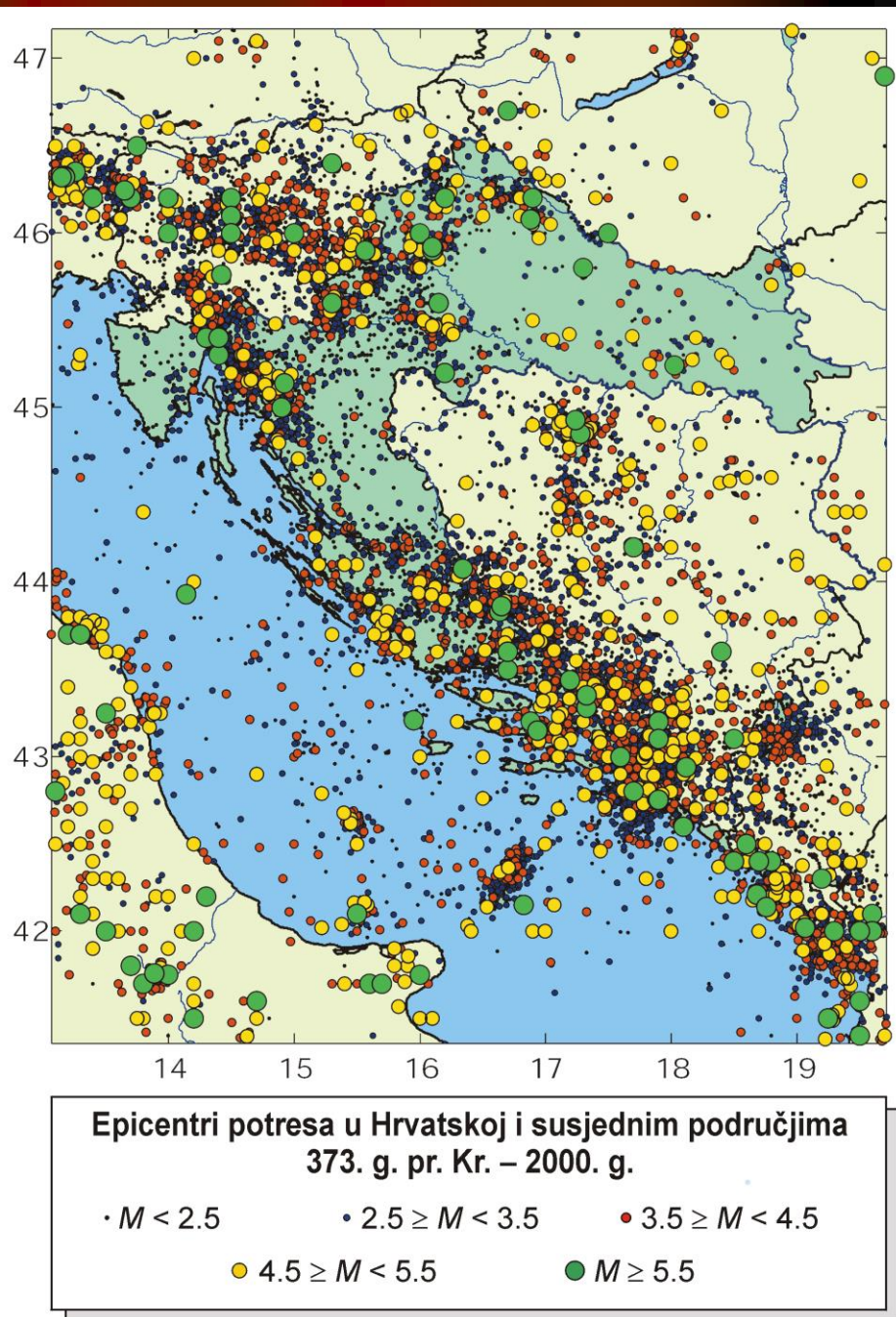
Regionalna seizmičnost



Granice Euroazijske-Afričke tektonske ploče i lokacije potresa

Povijesna seizmičnost – Hrvatska i susjedne zemlje

Seizmičnost Hrvatske – Hrvatski
katalog potresa – preko 15 000
događaja



Povijesni događaji – Dubrovnik, 1667.



Povijesni događaji – Zagreb, 1880.



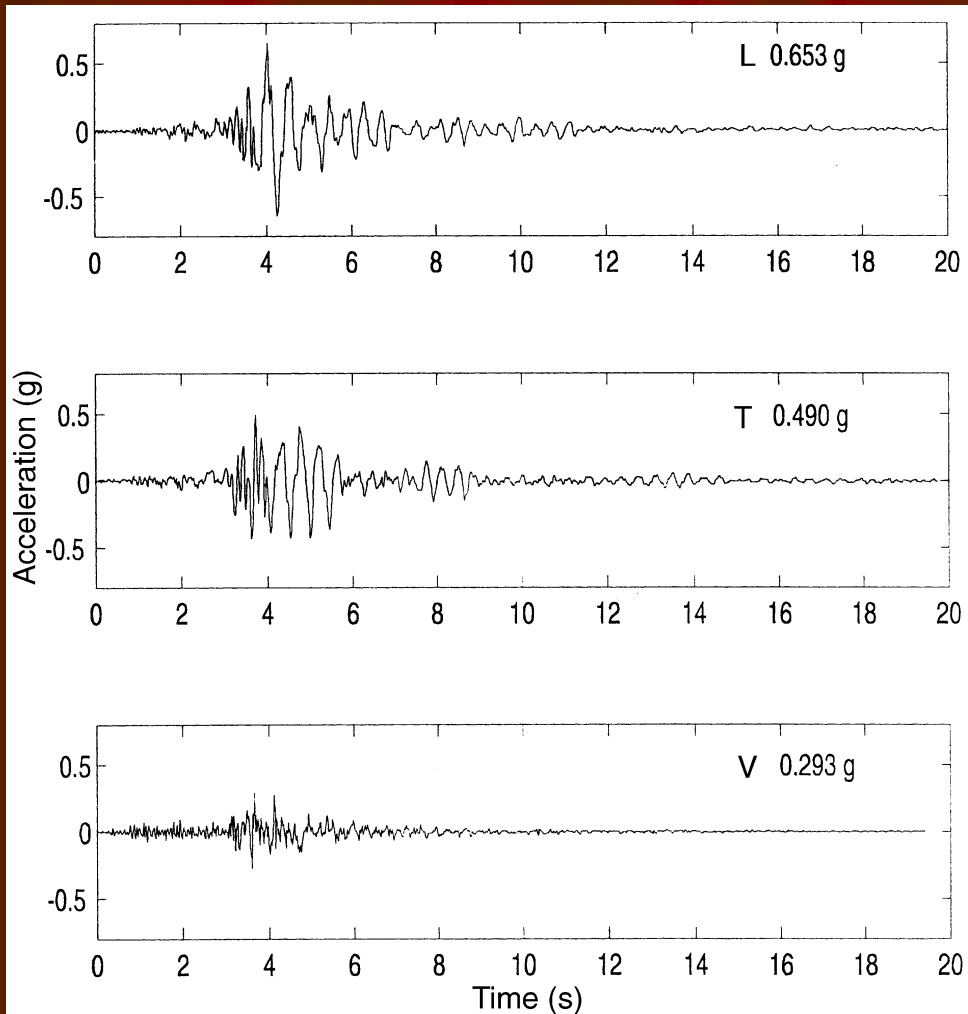
Povijesni događaji – Zagreb, 1880.



Zagreb. Katedrala s Kaptolom prije potresa god. 1880.
Die Domkirche mit Kaptol vor dem Erdbeben im Jahre 1880.



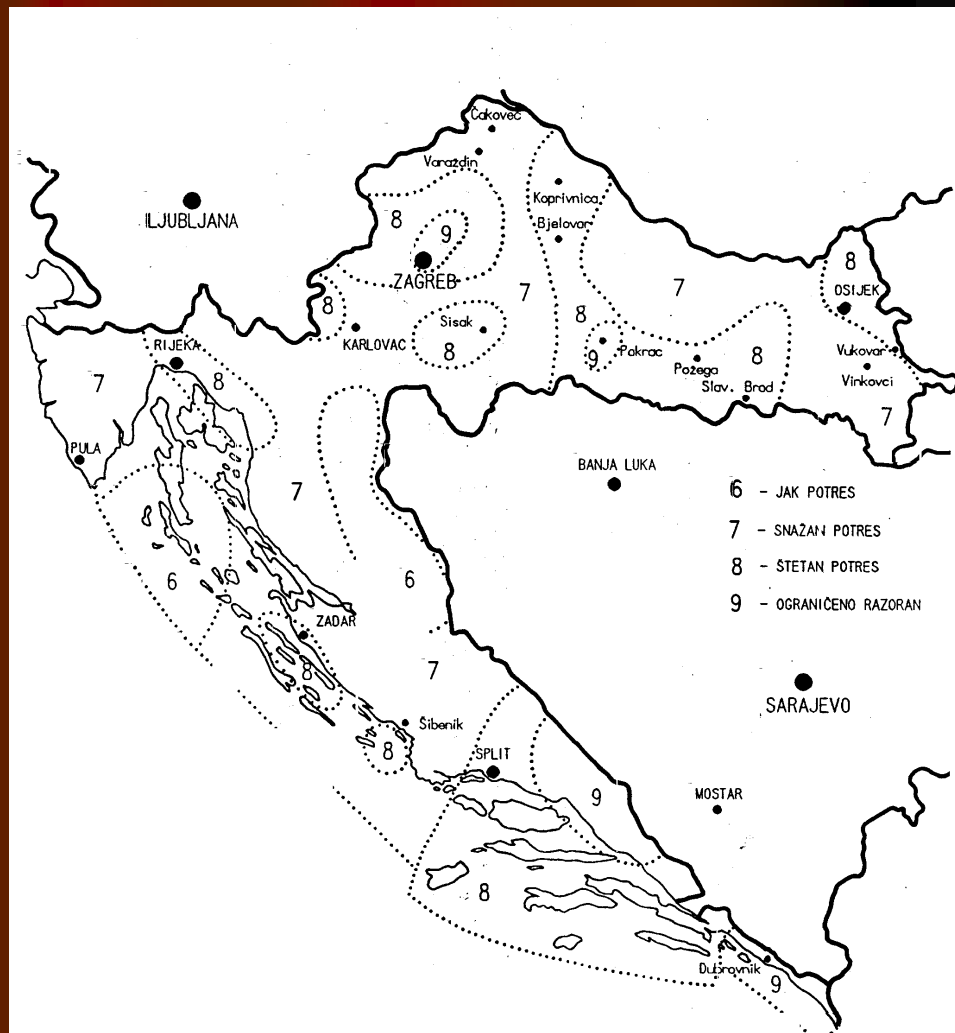
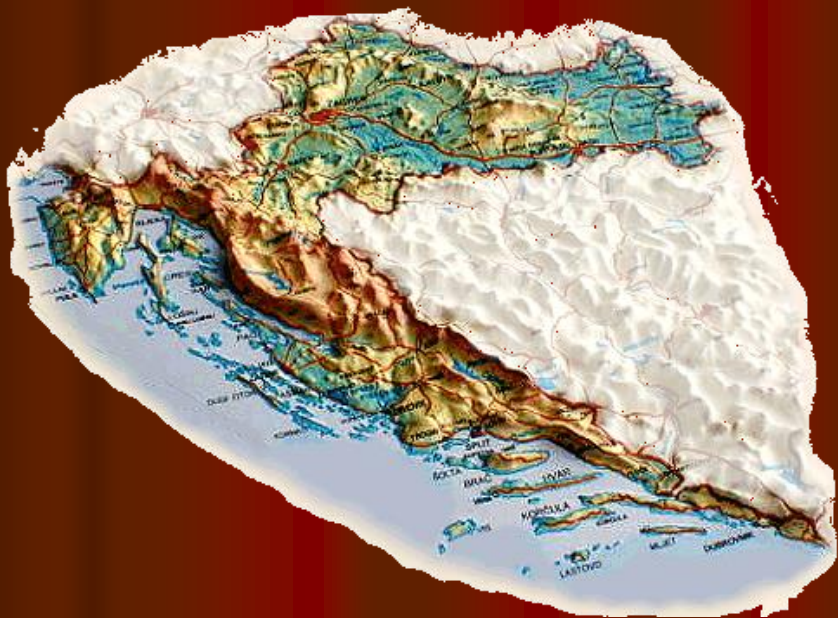
Nedavni događaj – Ston, 1996.



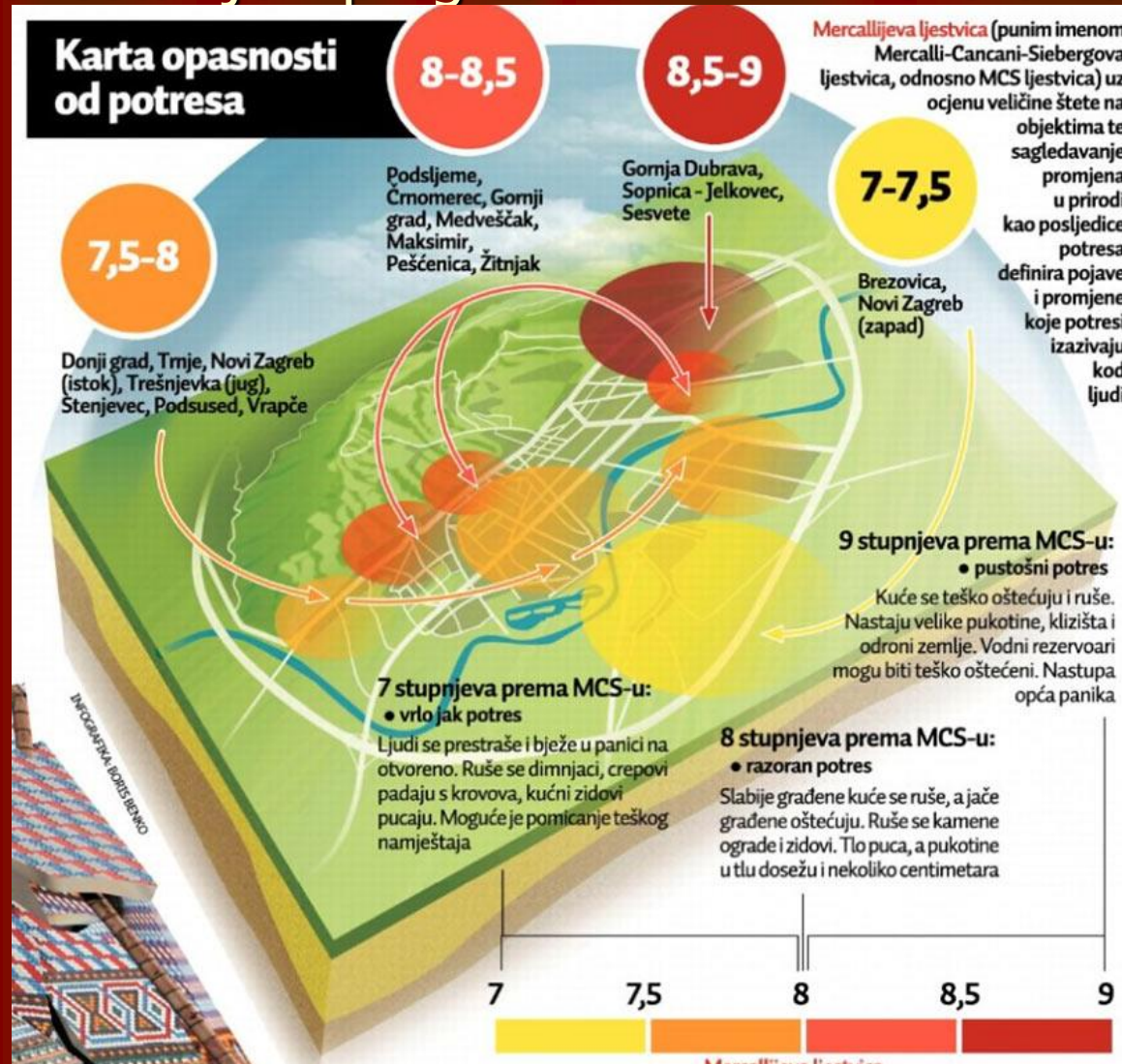
Akcelerogram potresa Ston-Slano (Croatia, M = 6.0, 1996)

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_{SPR} (br. udarača/ 30cm)	C_u (kPa)
A	Stijena ili stjenovita masa, uključujući manje od 5 m trošnog materijala na površini	> 800	-	-
B	Naslage gusto zbijenog pijeska, 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 pijesaka, 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 gnječivim koherentnim slojem, ili bez njega), ili od pretežito lako do teško 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 sklone 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 su uglavnom mjerodavni za mala seizmička ubrzanja

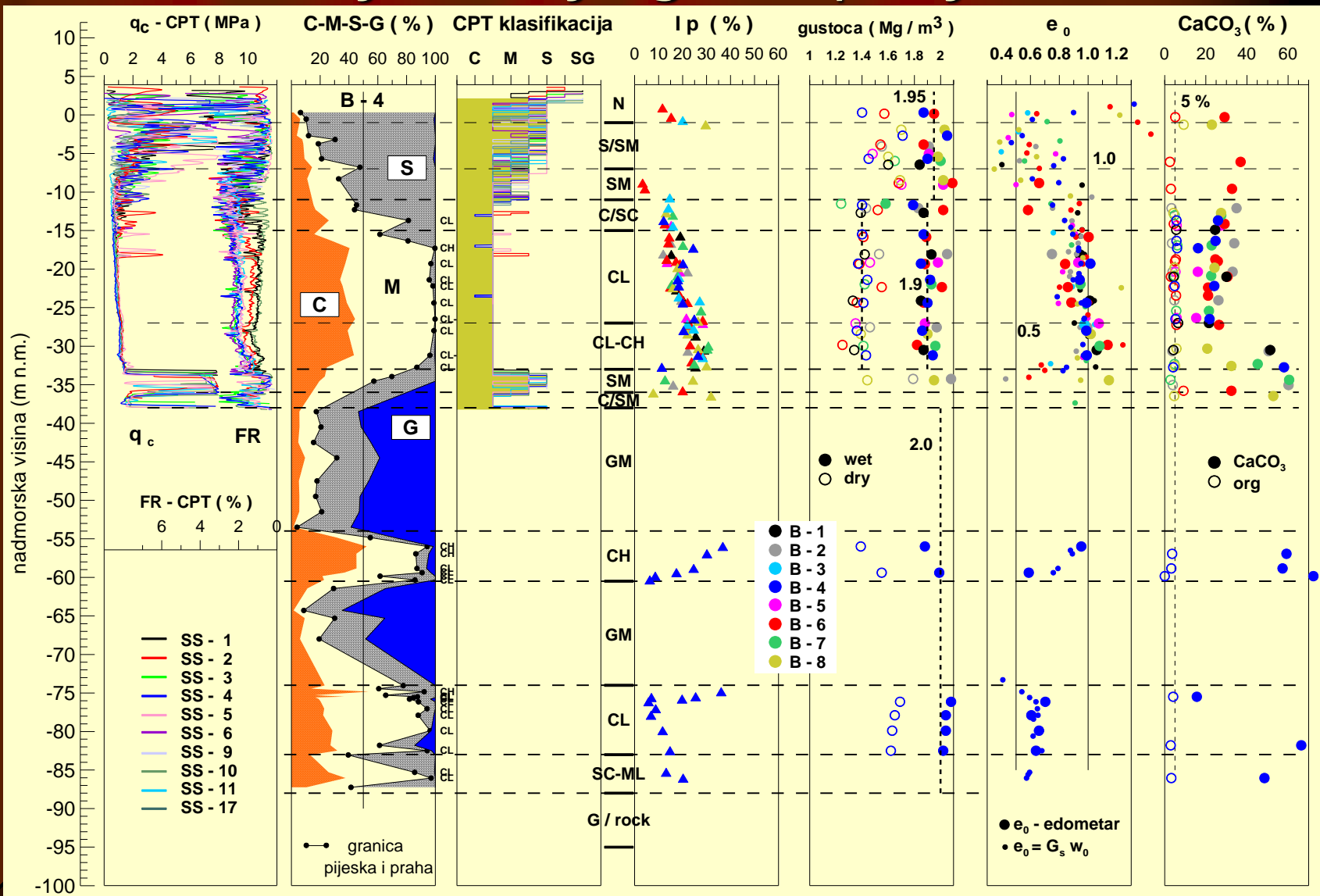
- Za važnije građevine potrebna detaljnija geotehnička i geofizička istraživanja

- Studije seizmičkog odziva tla daju bolji uvid i realnije projektne seizmičke parametre

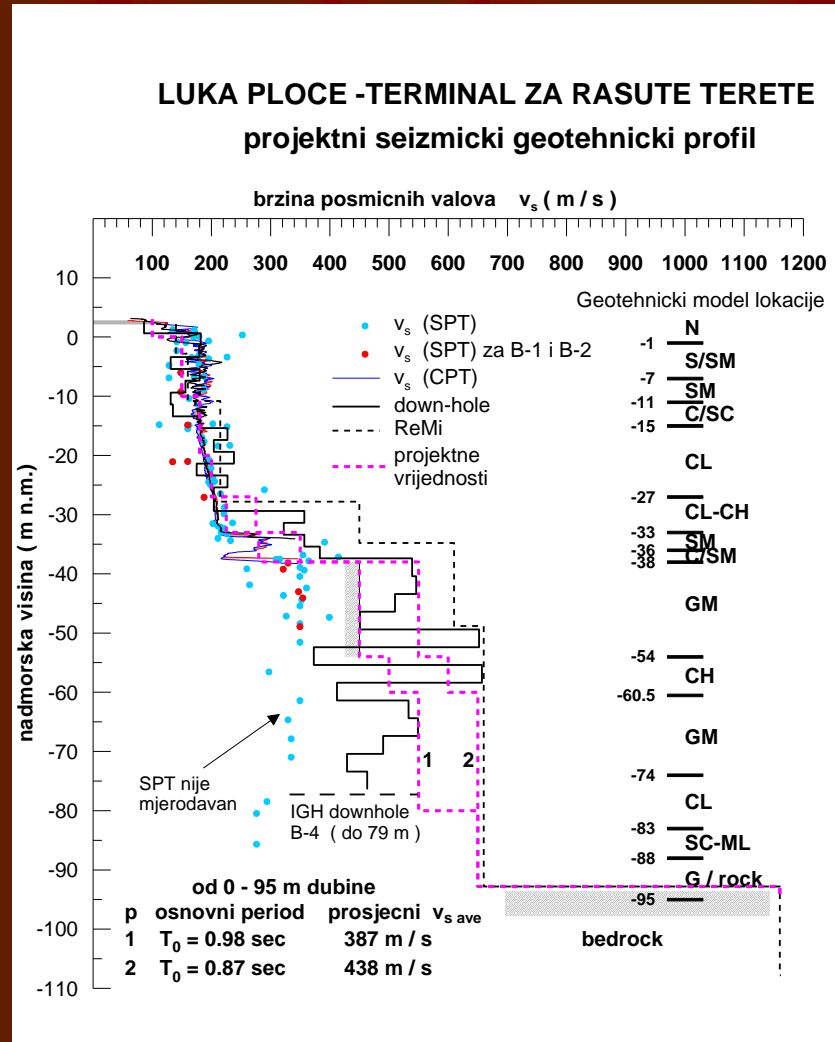
Uspostava seizmičkog geotehničkog profila tla

- Za važnije građevine ili za nepovoljna temeljna tla (tipovi D, S_1 , S_2) 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

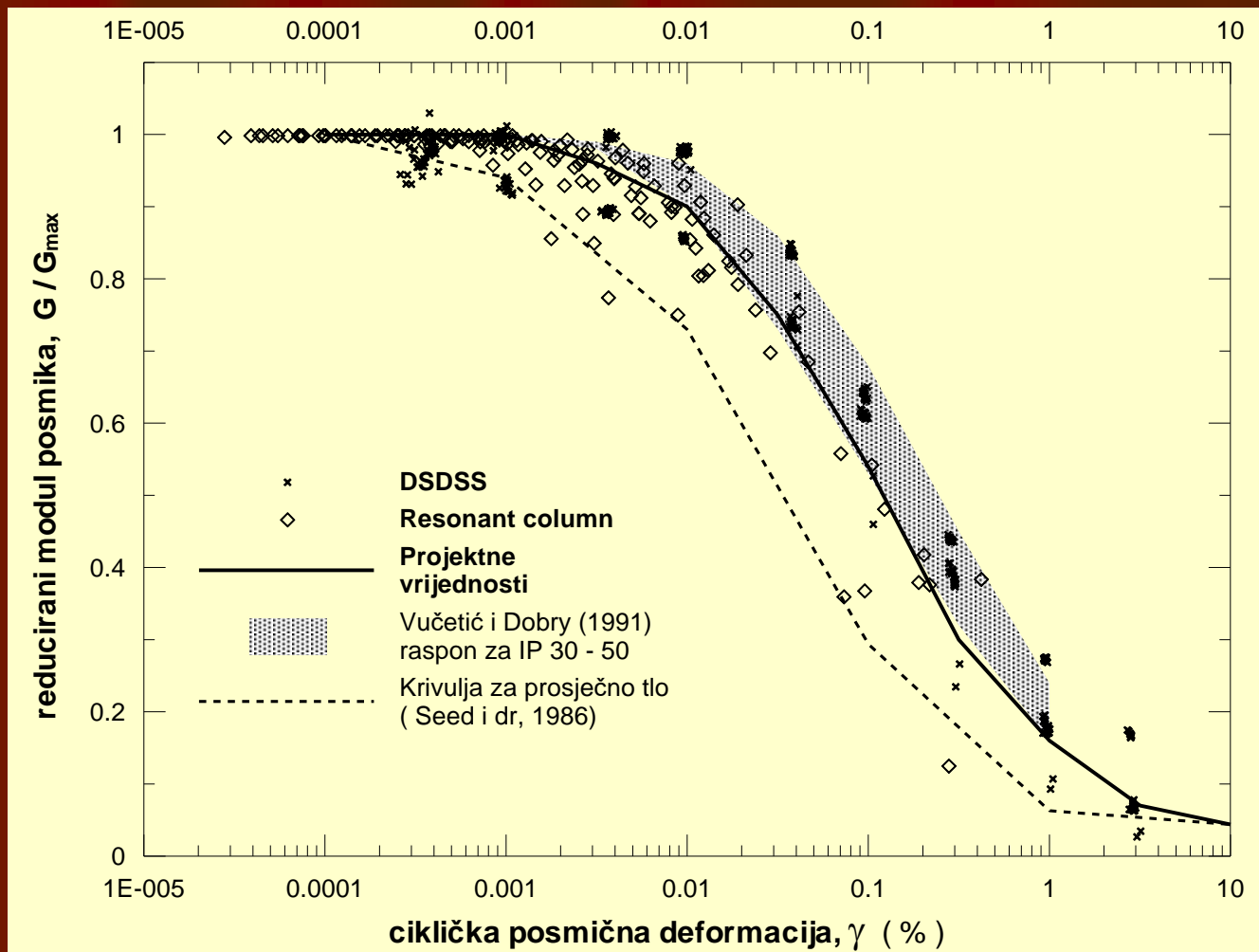
Karakterizacija temeljnog tla – primjer luka Ploče



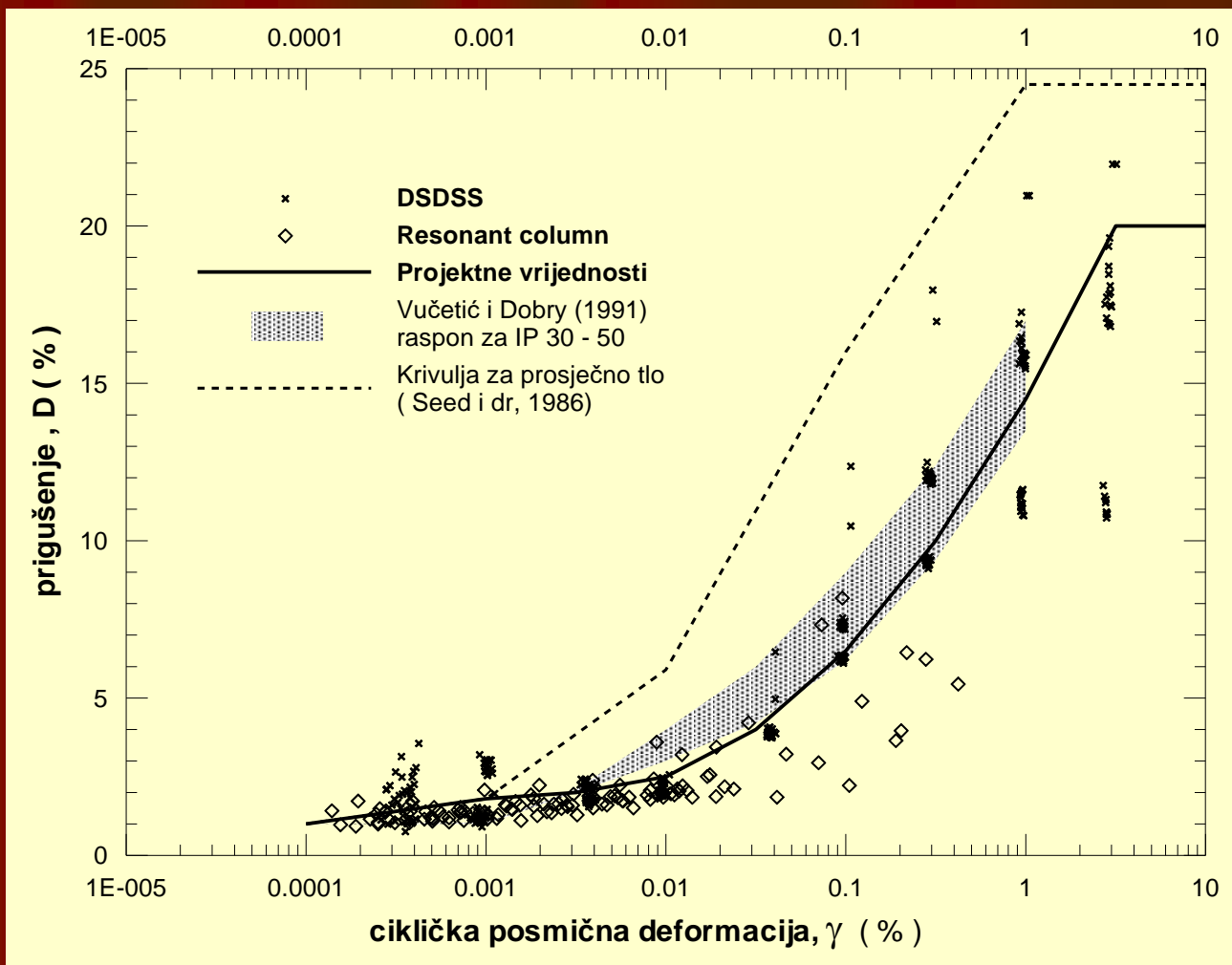
Uspostava seizmičkog profila



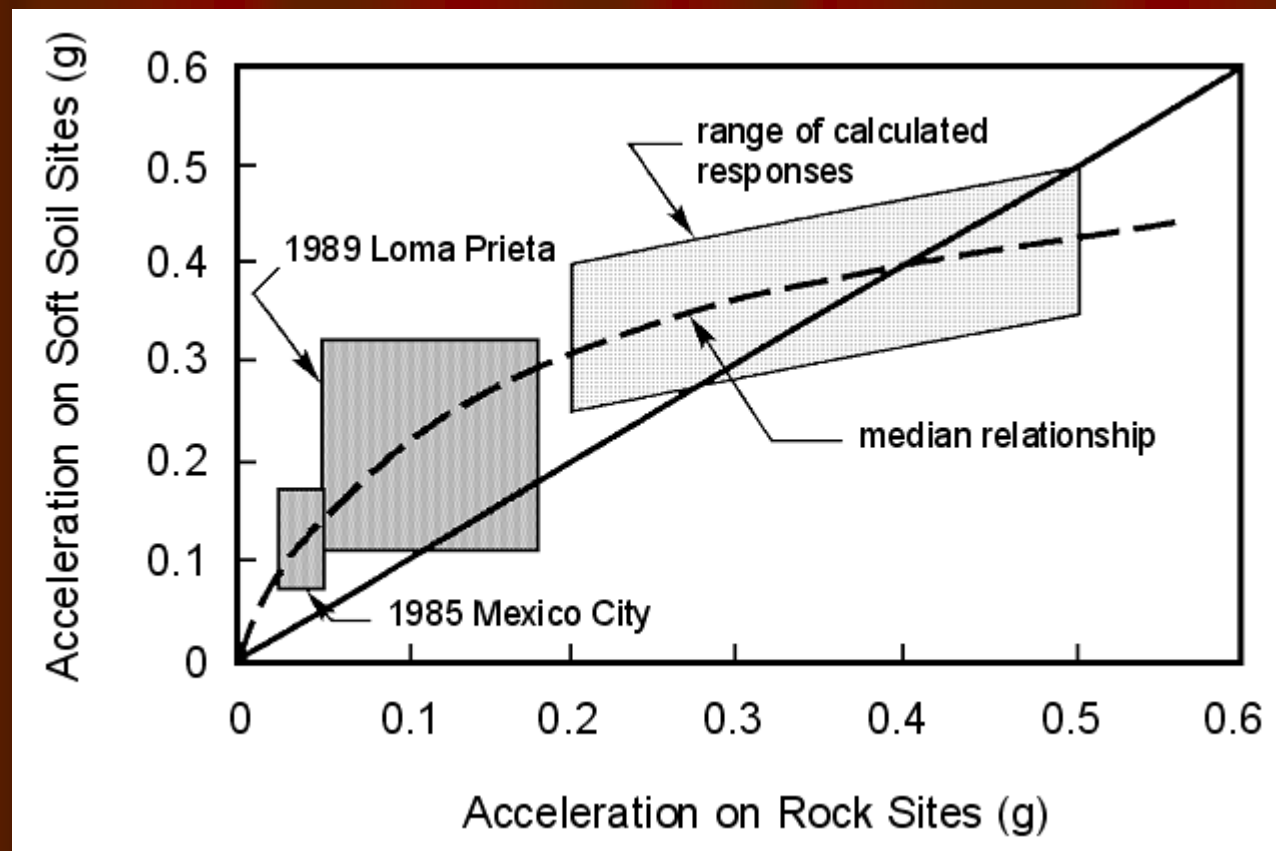
Geotehnička istraživanja - nelinearna svojstva tla – moduli posmika



Geotehnička istraživanja - nelinearna svojstva tla – prigušenje



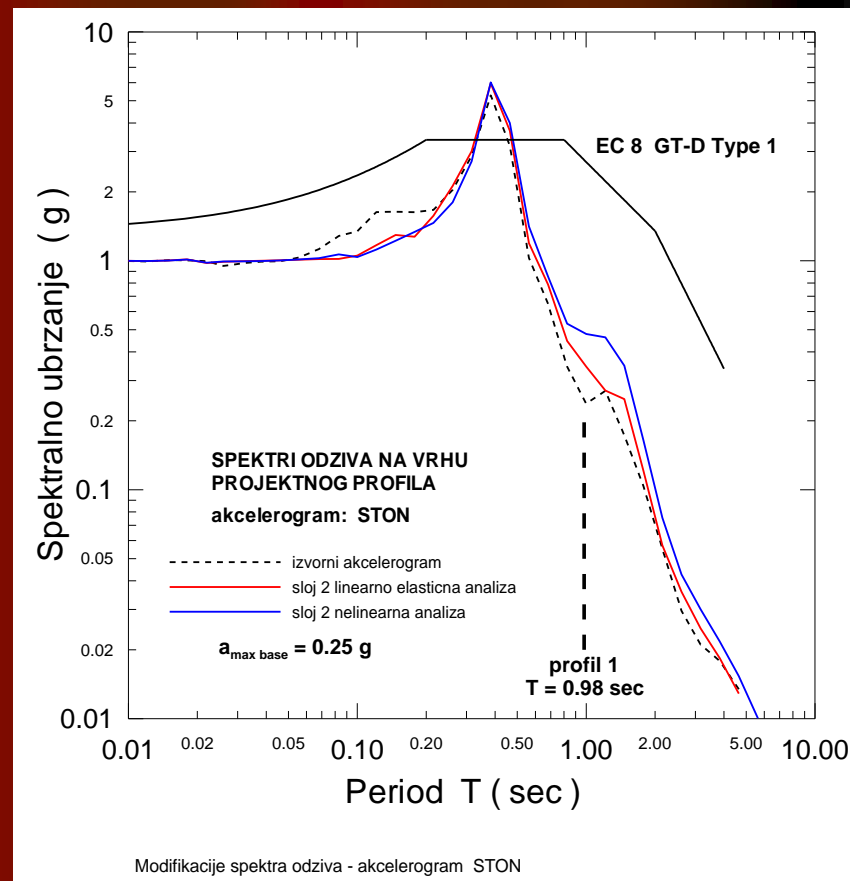
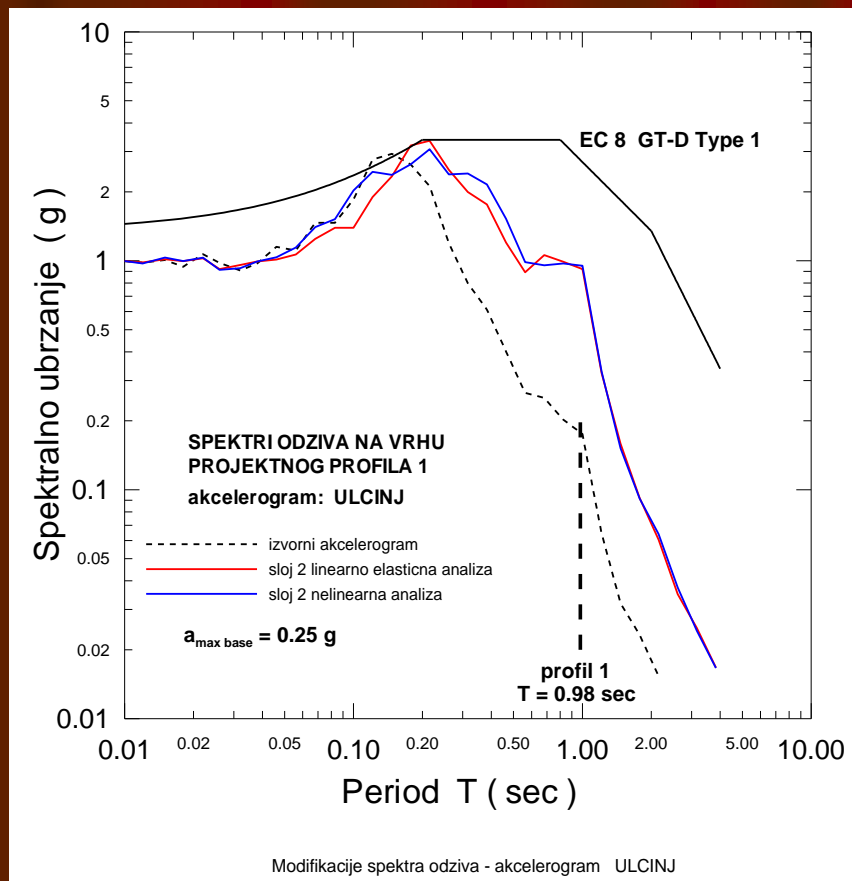
Seizmički odziv tla na lokaciji – iskustvena očekivanja



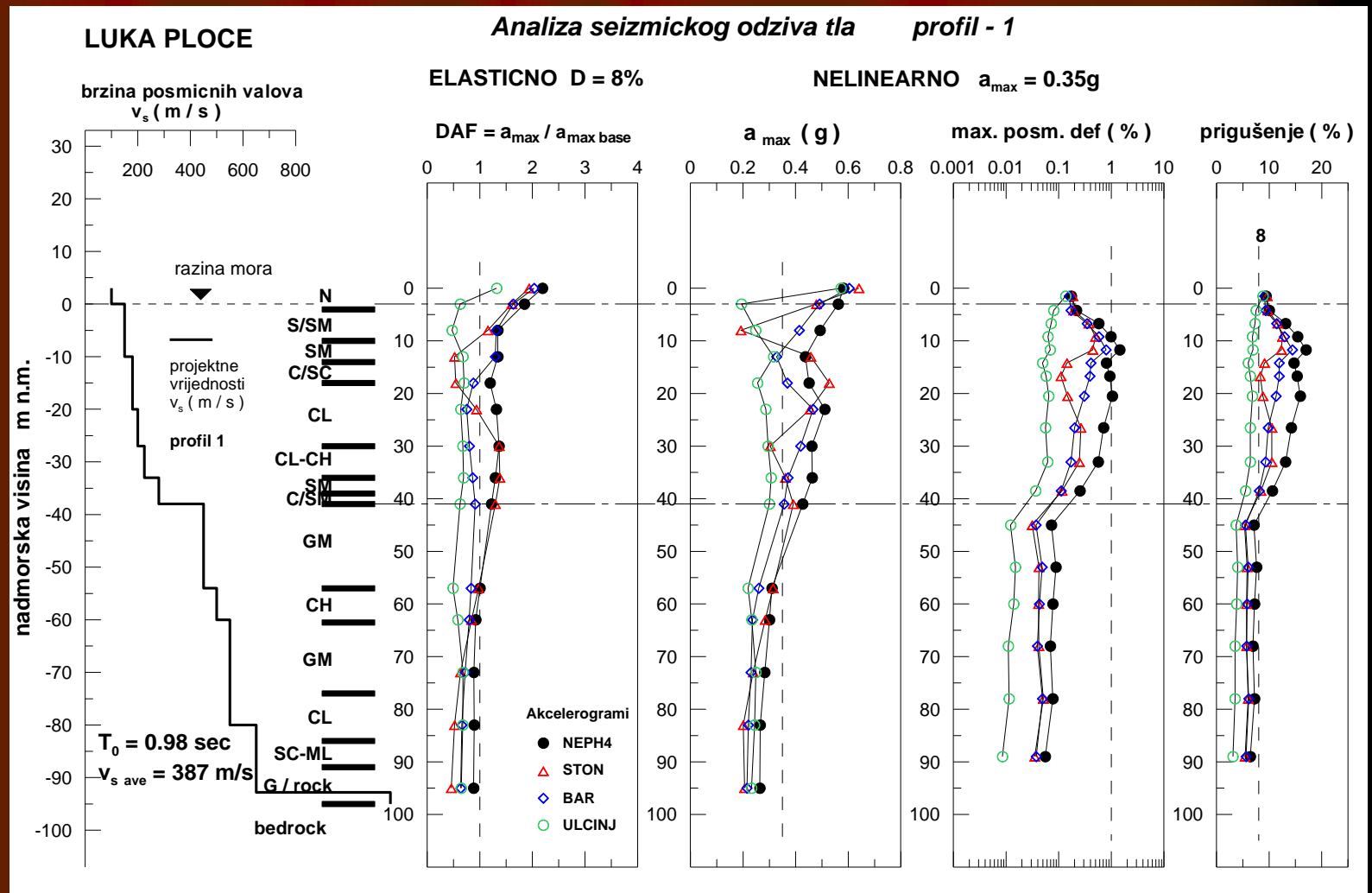
Za mekša tla :
Amplifikacija
samo pri manjim
seizmičkim
ubrzanjima
podloge

Pri većim
ubrzanjima
problem postaju
znatni pomaci

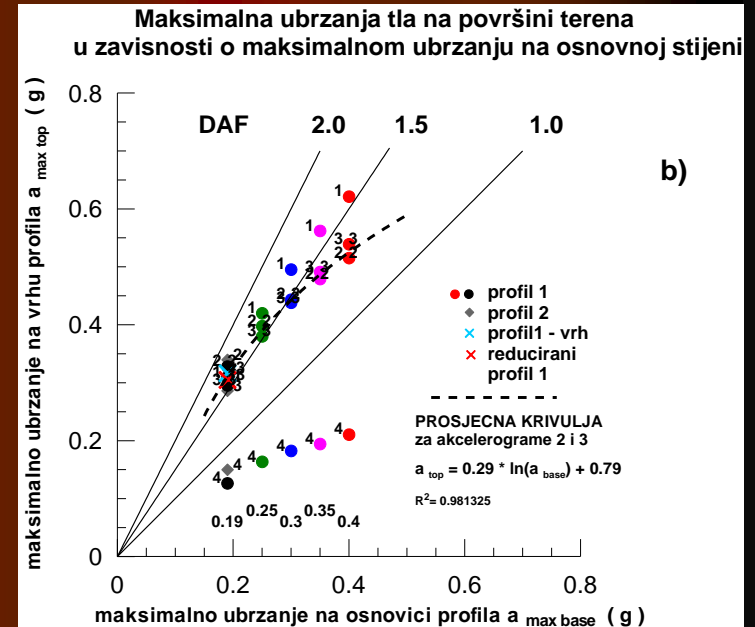
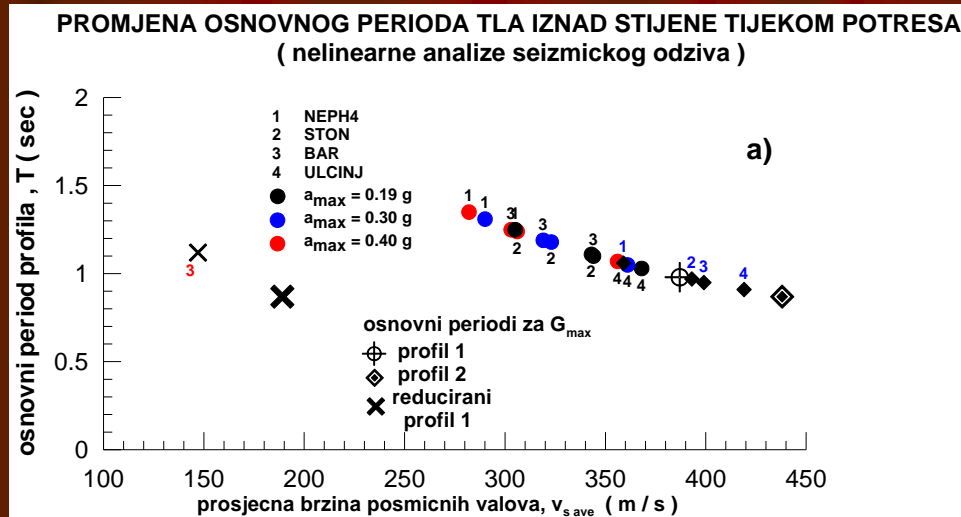
Seizmički odziv lokacije – promjene spektra odziva



Seizmički odziv lokacije – amplifikacija signala



Seizmički odziv lokacije – amplifikacija signala



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_{spr} (br. udaraca/ 30cm)	C_u (kPa)
A	Stijena ili stjenovita masa, uključujući manje od 5 m trošnog materijala na površini	> 800	-	-
B	Naslage gusto zbijenog pijeska, 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 pijesaka, 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 gnječivim koherentnim slojem, ili bez njega), ili od pretežito lako do teško 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, glina osjetljivih na poremećaje, ili druga kategorije tla koje nije uključeno u kategorije A-E	-	-	-

S

1.00 – parametar ovisan o tipu tla
– amplifikacija za $T = 0$ s

1.20

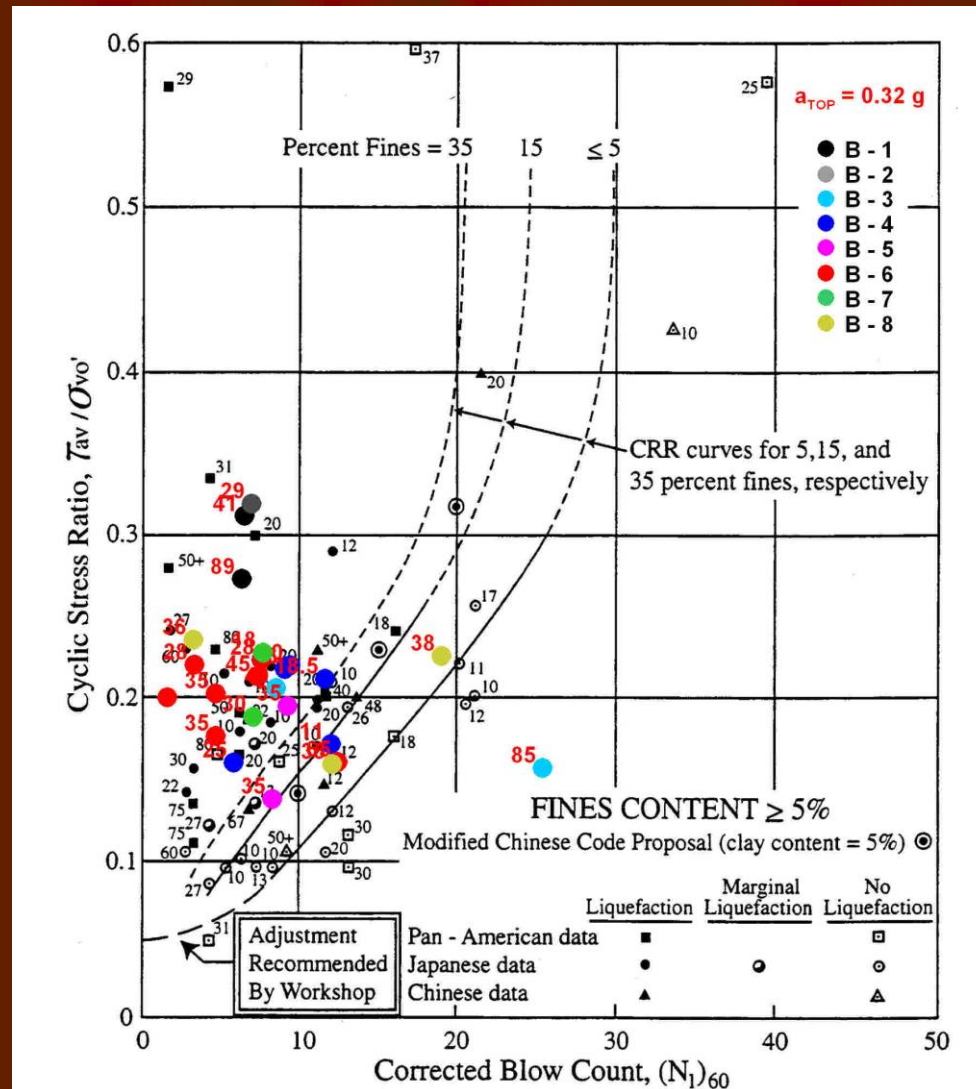
1.15

1.35

1.40

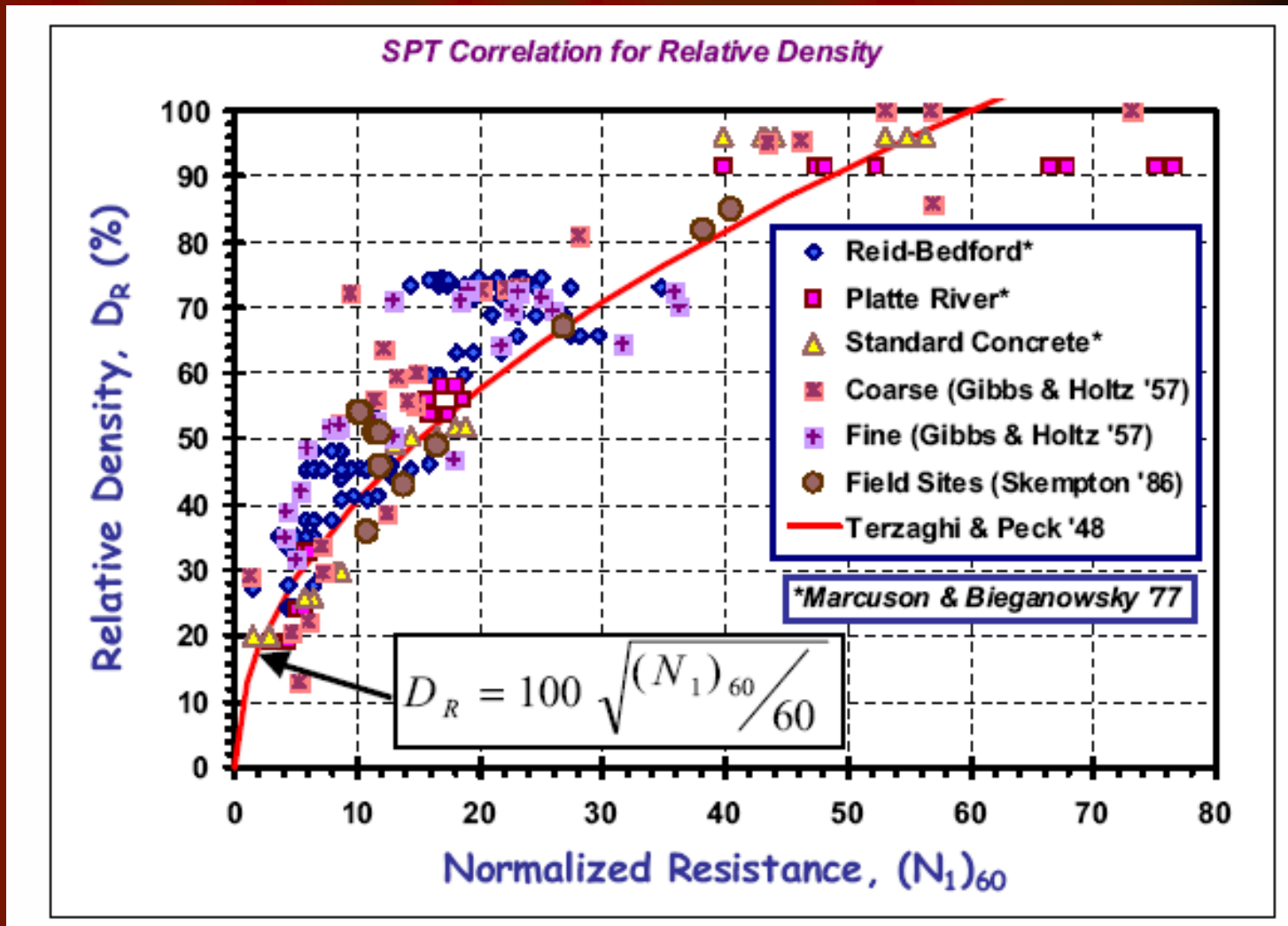
S

Ocjena likvefakcijskog potencijala

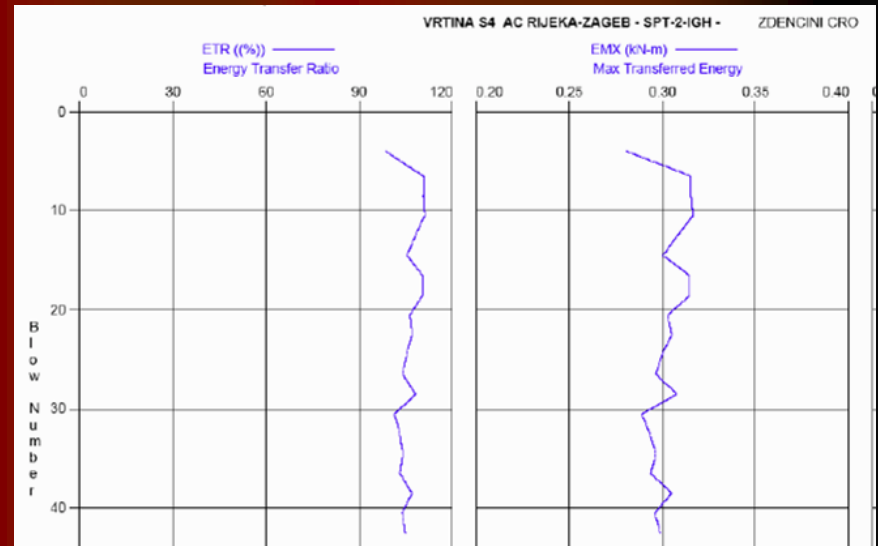
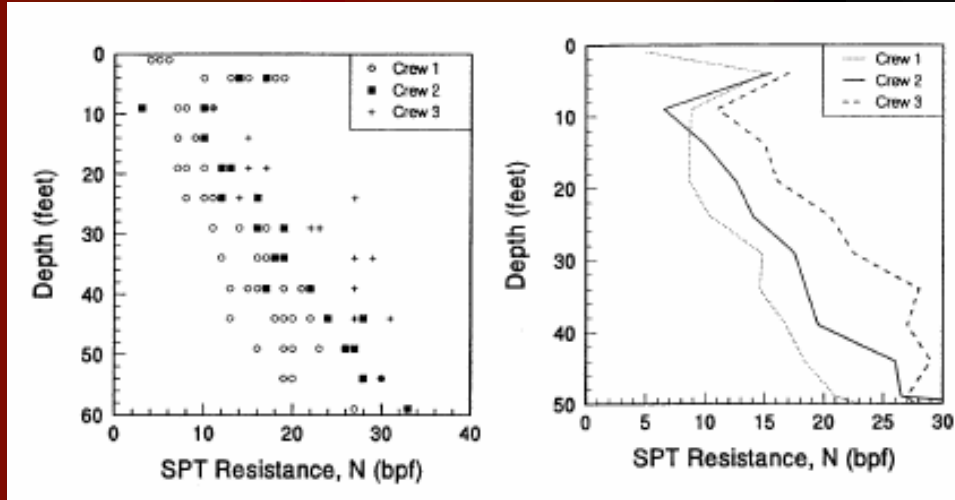


Prema broju udaraca SPT

Korelacije iz literature – oprezna upotreba



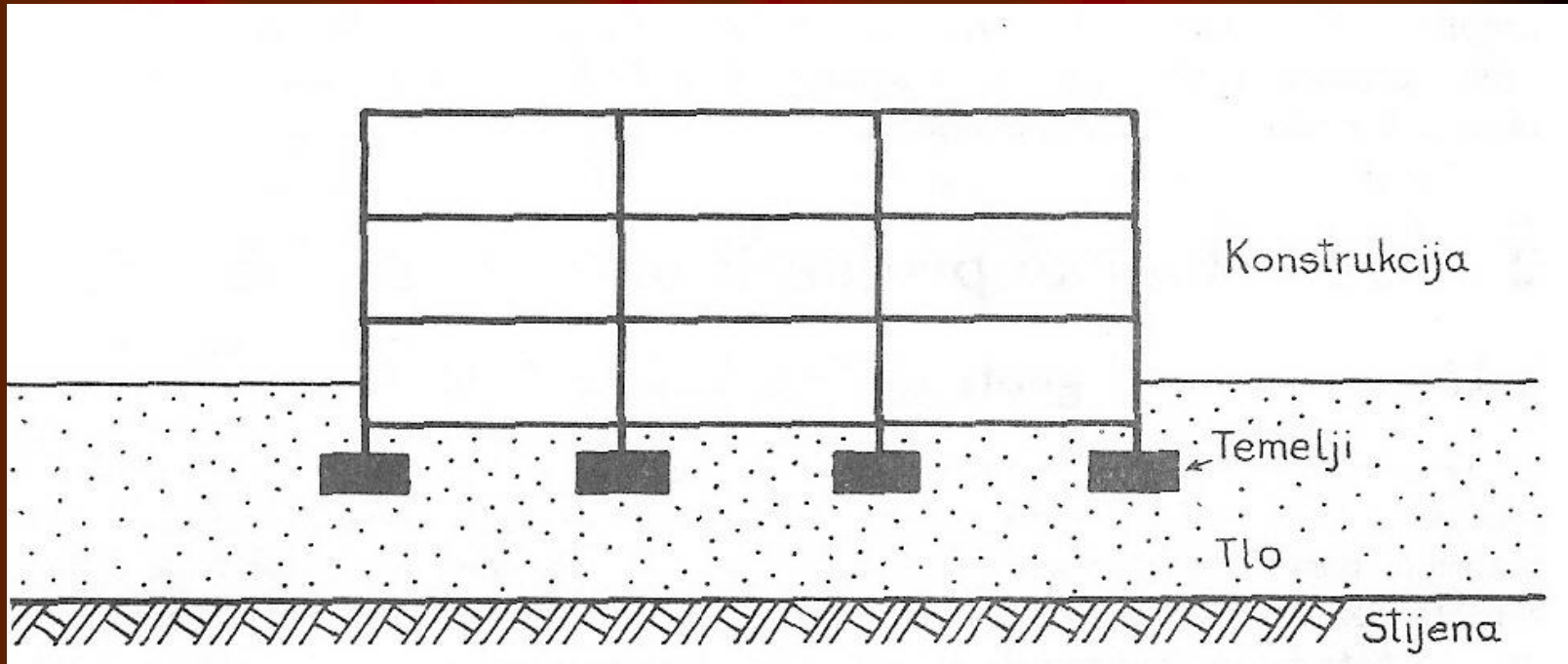
Kalibracija energije SPT - N_{60}



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**

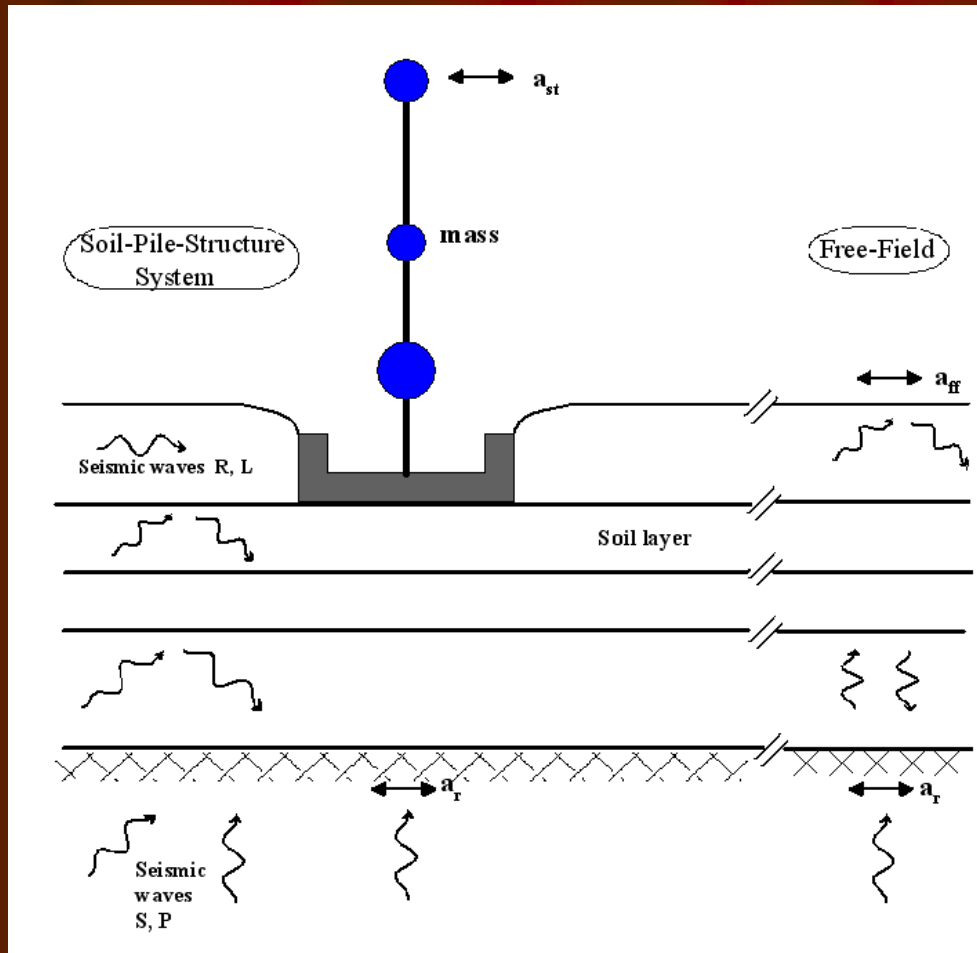
Interakcija tlo – temelj – konstrukcija 1

- U statičkim 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

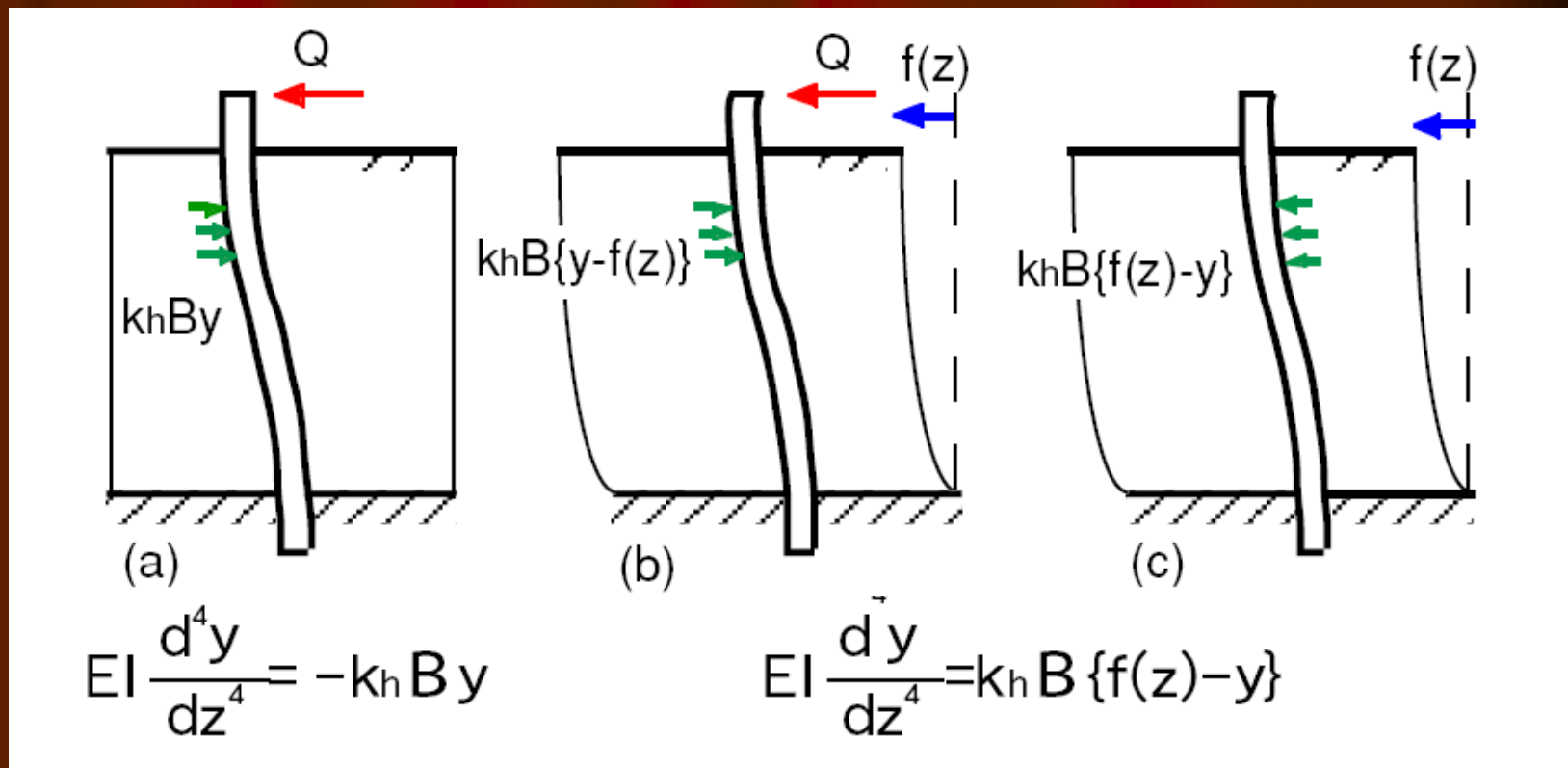
- pomaci temelja izazivaju vibracije gornje konstrukcije; razvijaju se inercijalne sile i momenti koji se prenose na osnovicu – temelje i okolno tlo

→ inercijalna interakcija

Eurocode 8-5 i interakcija tlo-konstrukcija 2

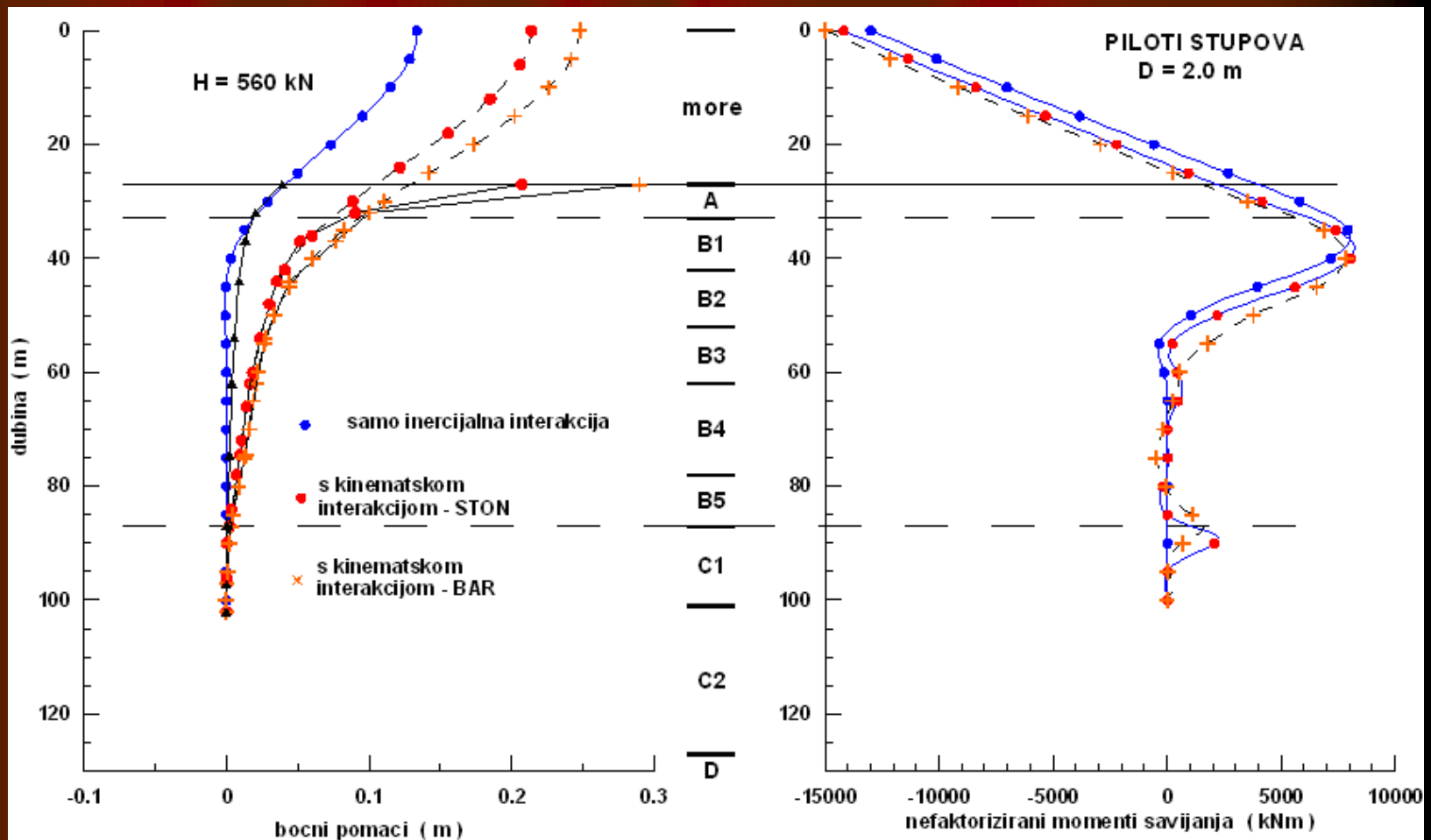
- Efekti kinematske interakcije se zanemaruju osim kod pilota kad se istodobno pojave sljedeći uvjeti:
- Temeljno tlo je tipa D, S₁ ili S₂ (meke gline ili likvefabilna tla)
- Područje umjerene ili visoke seizmičnosti- $a_g S > 0.1 g$
- Važnost građevine III ili IV

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:

$$k_h = \alpha S/r$$

α – 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

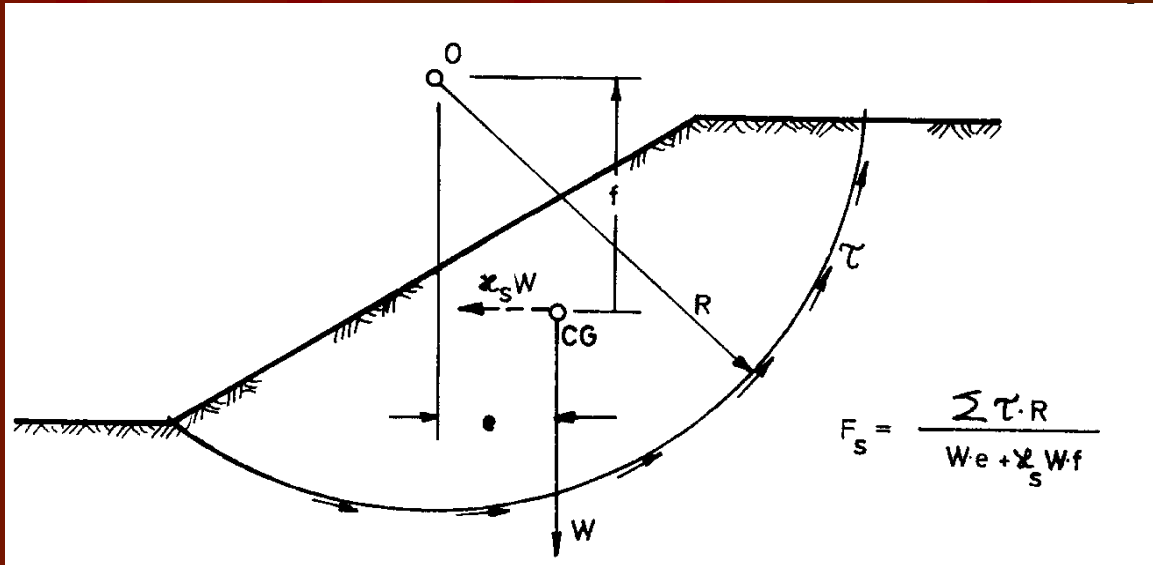
Type of retaining structure	r
Free gravity walls that can accept a displacement up to $d_r = 300 \alpha \cdot S$ (mm)	2
Free gravity walls that can accept a displacement up to $d_r = 200 \alpha \cdot S$ (mm)	1,5
Flexural reinforced concrete walls, anchored or braced walls, reinforced concrete walls founded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

Vertikalni seizmički koeficijent:

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

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

Procjena seizmičke stabilnosti kosina 1

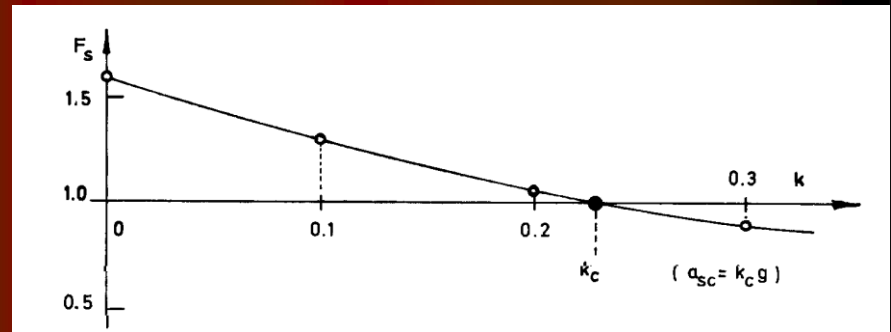
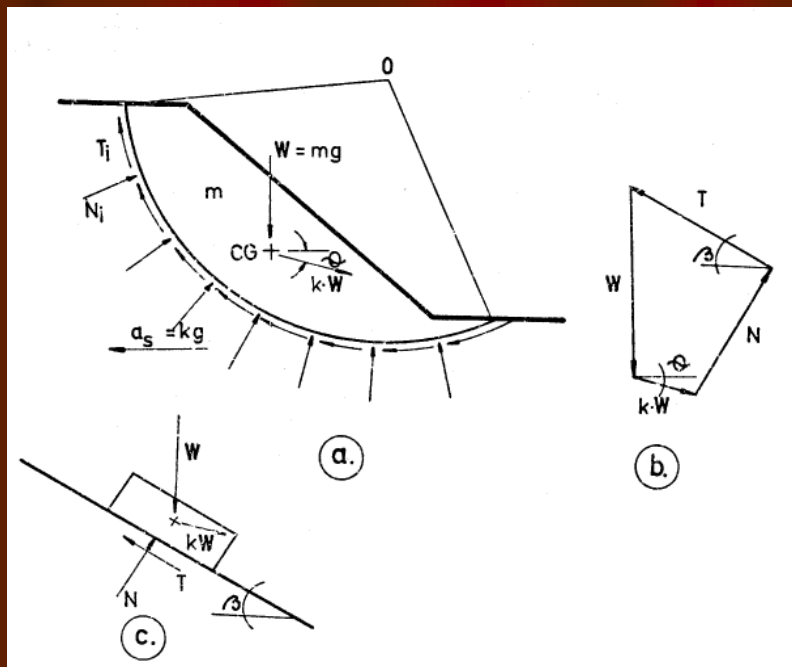


TRADICIONALNO:

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

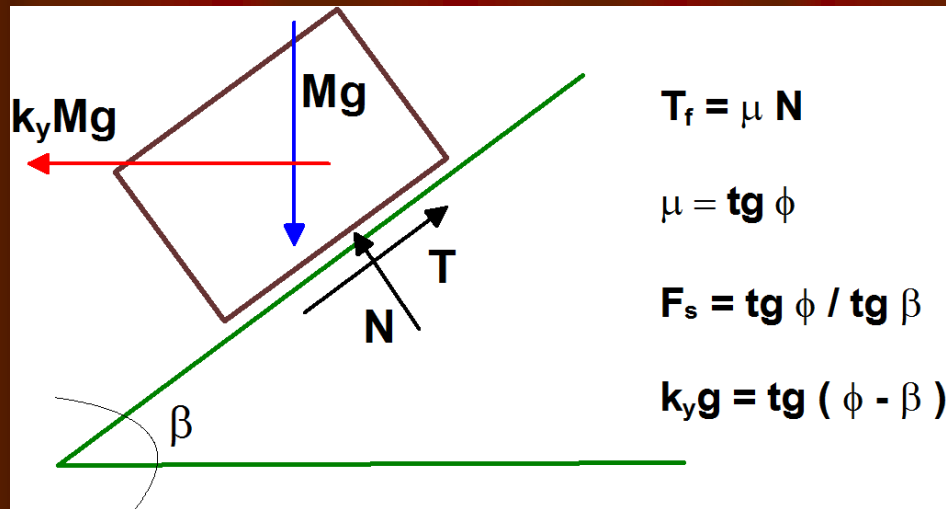
Procjena seizmičke stabilnosti kosina 2

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		

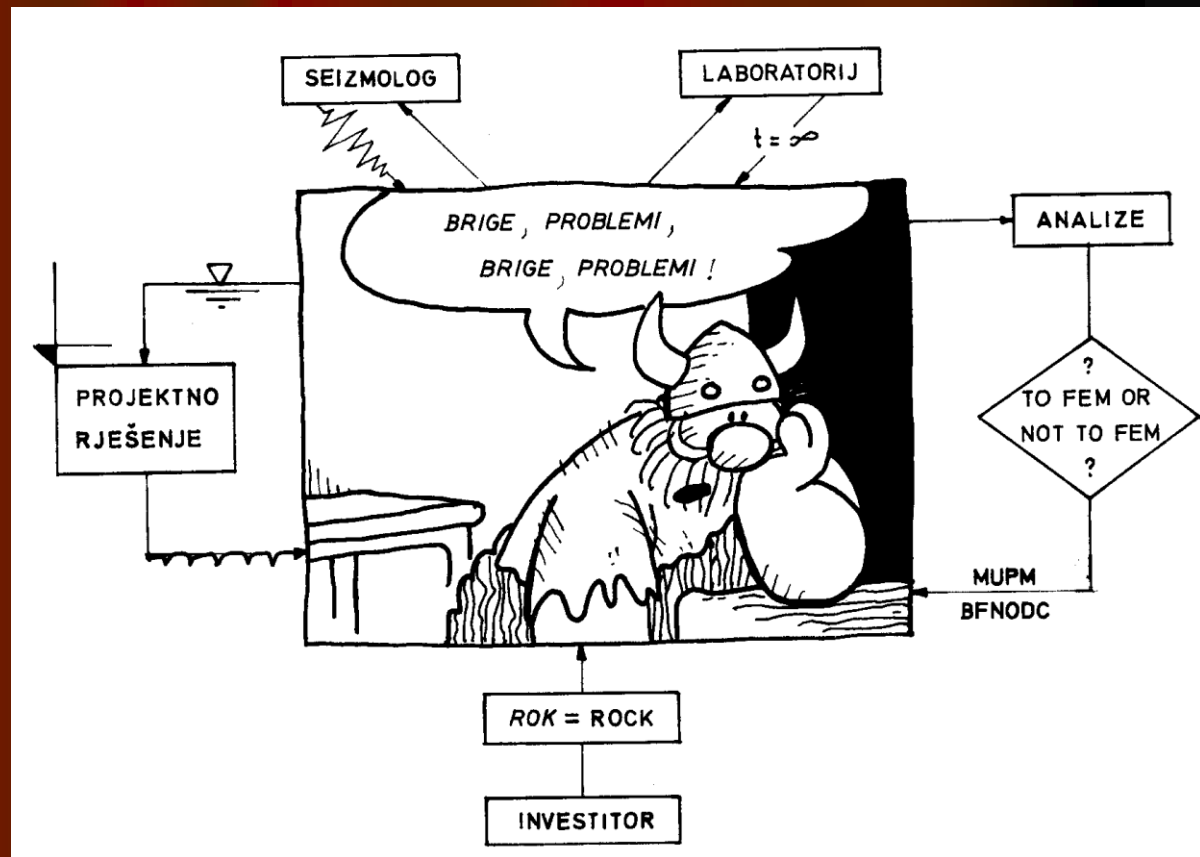
- za potresna ubrzanja veća od kritičnog dolazi do pomaka bloka po kosini

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

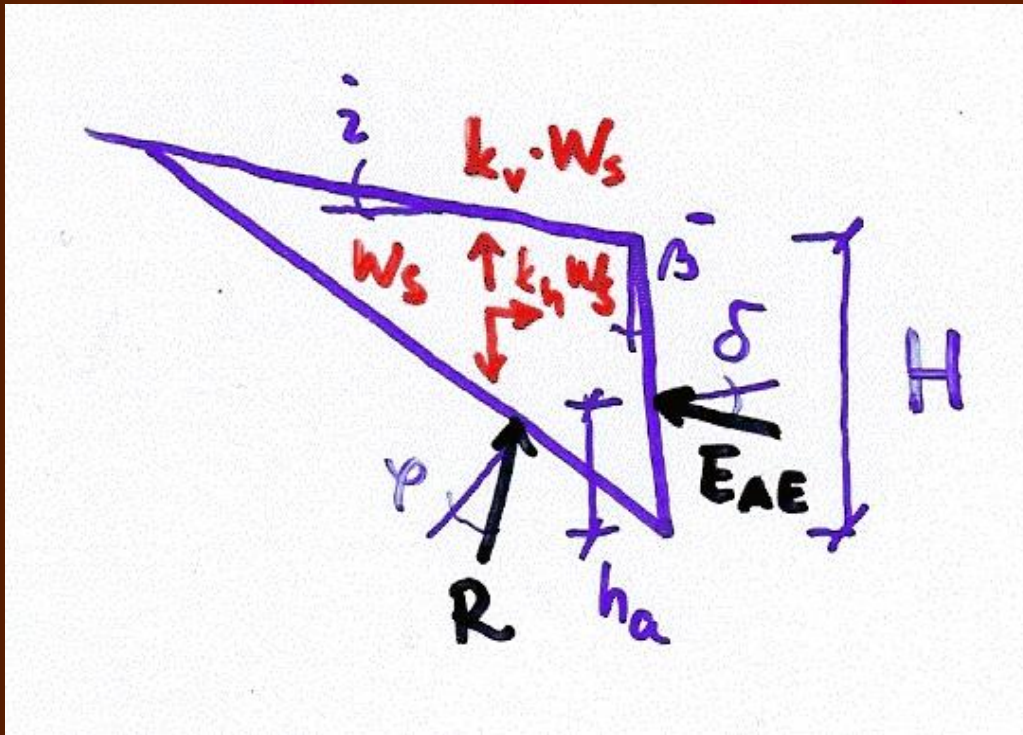
$$n \sim 3 - 3.5$$

Ocjena seizmičke stabilnosti nasutih brana

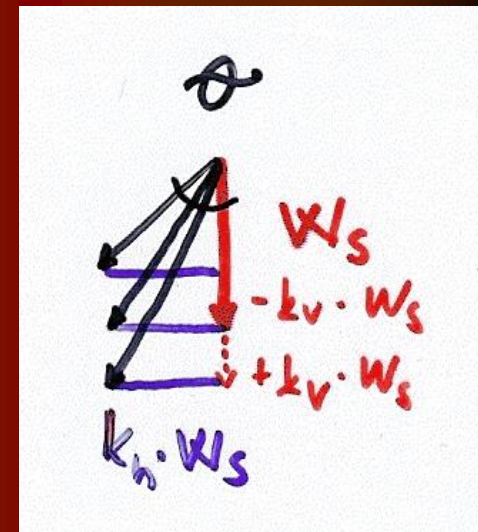
- Analiza seizmičkog odziva
- ciklička svojstva tla
- procjena trajnih pomaka



Procjena seizmičkih zemljanih pritisaka na potporne konstrukcije 1



Volumenske sile (statičke)



$$\vartheta = \arctg \frac{k_h}{1 - k_v}$$

Procjena seizmičkih zemljanih pritisaka na potporne konstrukcije 2

Mononobe – Okabe , oko 1920. godine

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

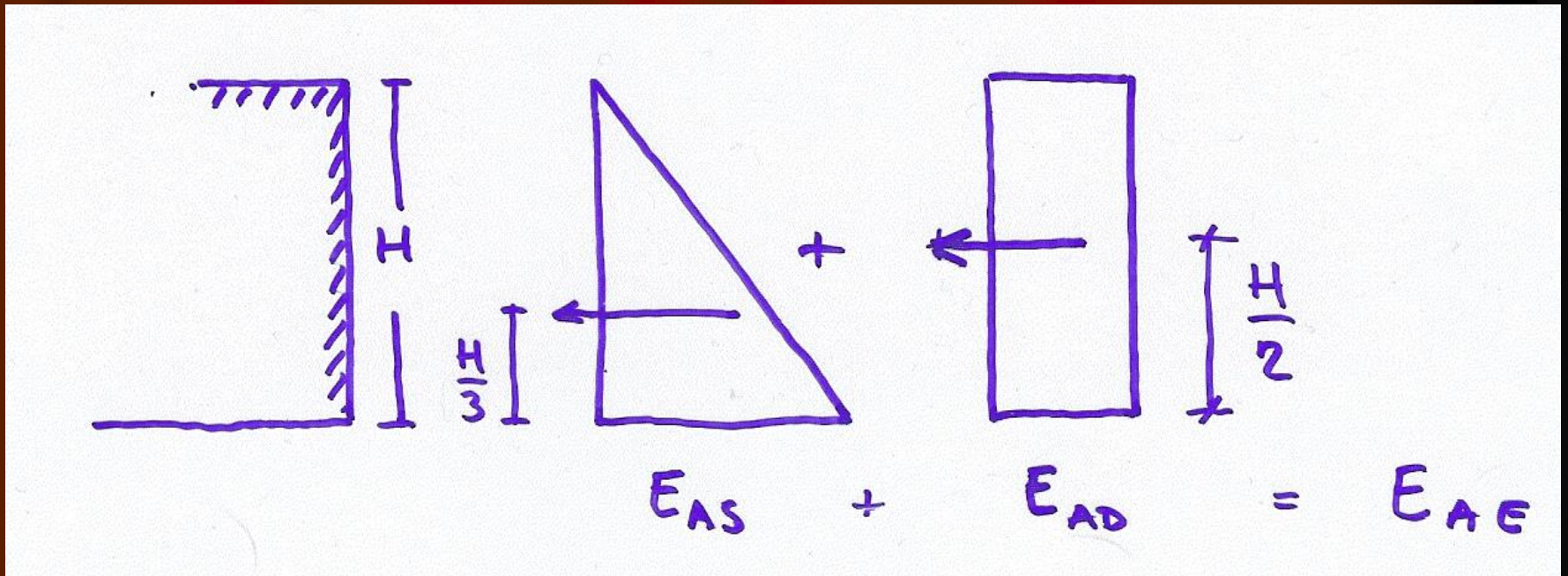
$$\cos^2 (\varphi - \theta - \beta)$$

K_{AE}
PE

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

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

