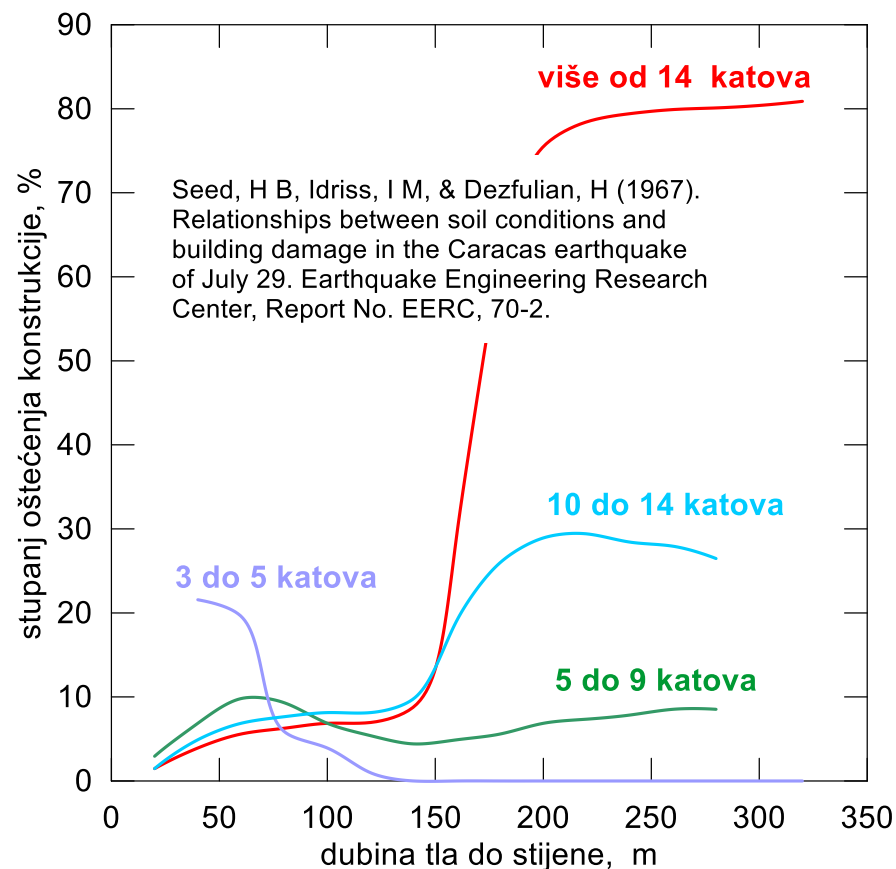


Seizmičko međudjelovanje tlo–konstrukcija

Dr. sc. Antun Szavits–Nossan
ASN–GEO d.o.o., Zagreb

Uvod (1)

- ▶ Oštećenja zgrada nakon potresa u Caracasu 1967. (Seed, Idriss & Dezfulian, 1967)



Uvod (2)

- ▶ **Seizmičko (potresno) djelovanje:**
 - djelovanje na građevinu kroz nepravilno cikličko gibanje tla izazvano udaljenim tektonskim poremećajem;
- ▶ **Seizmička interakcija (HRN EN 1998–5: dinamičko međudjelovanje) tlo–konstrukcija:**
 - mehaničko međudjelovanje tla i konstrukcije za vrijeme potresnog djelovanja;
 - opisuje pojavu promjene gibanja konstrukcije koja leži na tlu konačne krutosti u odnosu na slučaj beskonačno krutog tla;
 - jedno od brojnih područja potresnog inženjerstva.

Uvod (3)

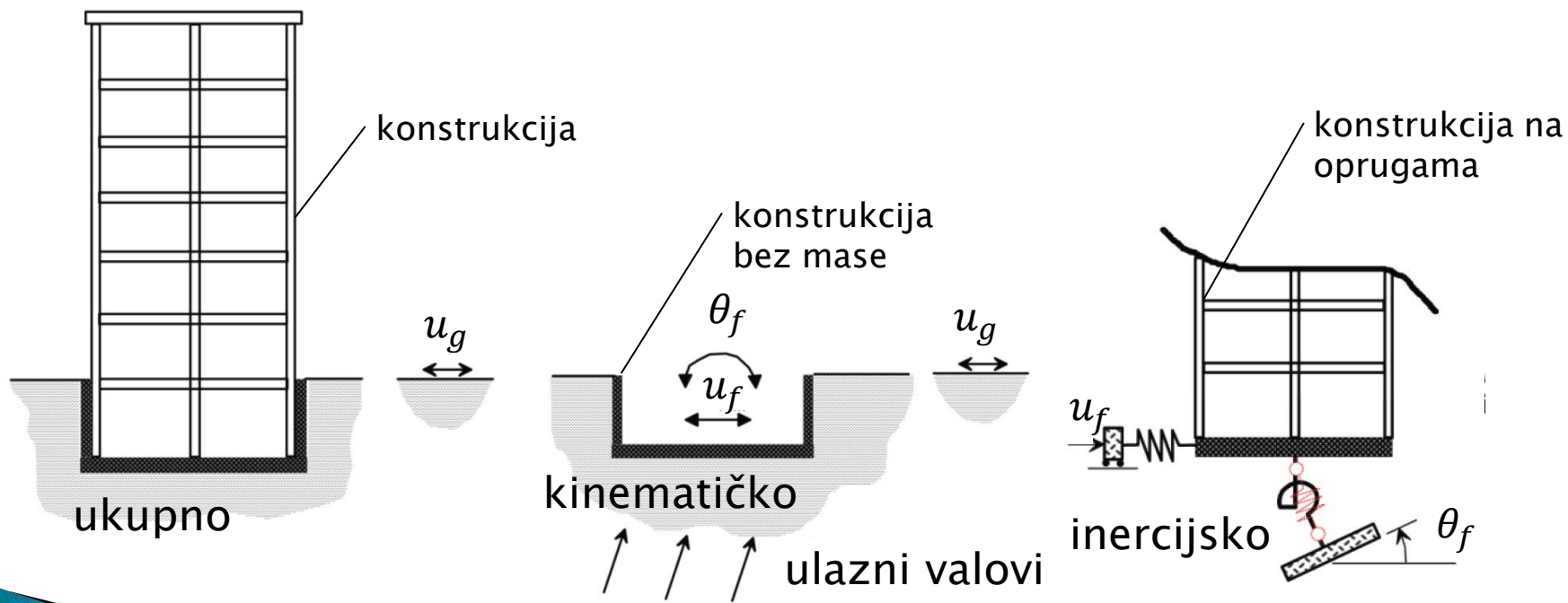
HRN EN 1998–5:2011, poglavlje 6, o tome **kad je potresno međudjelovanje tlo–konstrukcija potrebno uzeti u obzir** (kad međudjelovanje može imati nepovoljan utjecaj):

- ▶ konstrukcije kod kojih su **učinci 2. reda značajni** ($P - \Delta$) značajni;
- ▶ konstrukcije s **masivnim dubokim temeljima** (mostovi i sl.);
- ▶ **vitke visoke konstrukcije** (dimnjaci i sl.);
- ▶ **konstrukcije na vrlo mekanim tlima** ($v_s < 100$ m/s);

Međutim, međudjelovanje često ima i povoljan utjecaj. U okviru tih slučajeva je za uobičajene konstrukcije moguće koristiti postupke potresnog proračuna konstrukcije uz približno uvažavanje međudjelovanja koristeći iste alate (računarske programe) koji se koriste i za proračun bez uvažavanja međudjelovanja. Ovdje će se prikazati pravilna primjena tih postupaka te upozoriti na nepravilnu primjenu koja se ponekad susreće u praksi.

Uvod (4)

- ▶ Modaliteti potresnog međudjelovanja:
 - kinematičko međudjelovanje
 - inercijsko međudjelovanje



Uvod (5)

► Sadržaj

- Kinematičko međudjelovanje;
- Inercijsko međudjelovanje;
- Proračun prema HRN EN 1998-1;
- **Krutost plitkih temelja;**
- **Winklerov koeficijent za plitke temelje;**
- **Winklerovi koeficijent za pilote;**
- **Pojednostavljeni proračun inercijskog međudjelovanja;**
- **Kad je proračun potresnog međudjelovanja smislen?**
- **Ispitivanja tla za potrebe proračuna potresnog međudjelovanja;**
- Potreba suradnje konstruktora i geotehničara;
- Zaključci;
- Literatura.

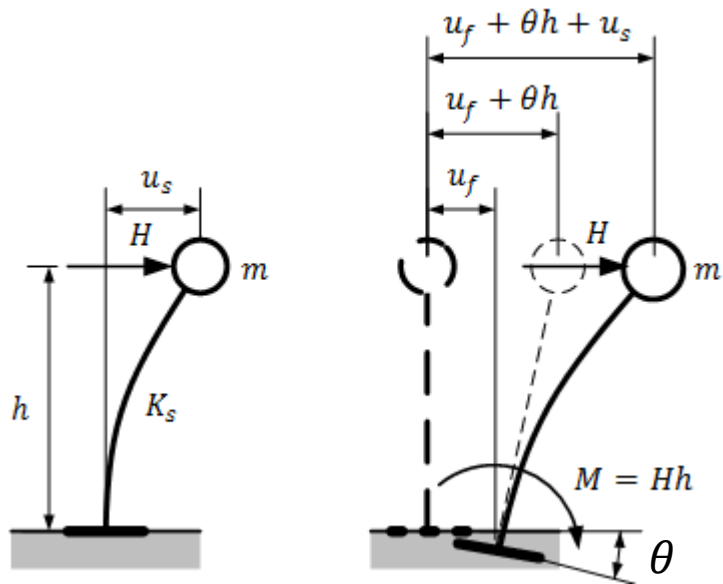
Kinematičko međudjelovanje

- ▶ Kinematičko međudjelovanje se obično izražava putem tzv. **transfer funkcija** koje opisuju odnos amplitude gibanja temelja bez mase o amplitudi gibanja tla bez temelja („**gibanje slobodnog polja**” ili „*free field motion*”) u ovisnosti o frekvenciji harmonijskog gibanja (transformacija nekog nepravilnog gibanja slobodnog polja u gibanje temelja zato traži primjenu Fourierove i obratne Fourierove transformacije);
- ▶ **gibanje „slobodnog polja”** pri potresu obično nije jednako u svim točkama u istom trenutku (**nekoherentno gibanje**), a uzrokovano je kosim naletom potresnih valova na površinu tla;
- ▶ **tipične transfer funkcije imaju vrijednost 1 ili manju**; za male frekvencije imaju vrijednost 1, a dalje postupno padaju s povećanjem frekvencije harmonijskog gibanja;
- ▶ **osim za građevine najvišeg rizika, u rutinskom se projektiranju zanemaruje**;

Inercijsko međudjelovanje (1)

Oscilator s jednim stupnjem slobode

Statičke krutosti



$$K_S = \frac{H}{u_s}$$
$$K_H = \frac{H}{u_f}$$
$$K_M = \frac{M}{\theta} = \frac{Hh}{\theta} = \frac{Hh^2}{\theta h}$$
$$K = \frac{H}{u_s + u_f + \theta h}$$
$$\frac{1}{K} = \frac{1}{K_S} + \frac{1}{K_H} + \frac{h^2}{K_M}$$

Inercijsko međudjelovanje (2)

Oscilator s jednim stupnjem slobode

Vlastiti periodi oscilacija:

konstrukcija $T = \frac{1}{f} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{K_S}}$

konstrukcija + temelj $\tilde{T} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{K}}$

odnos perioda $\frac{\tilde{T}}{T} = \sqrt{1 + \frac{K_S}{K_H} + \frac{K_S h^2}{K_M}}$

Prigušenje:

konstrukcija $\beta_s = 0.05$

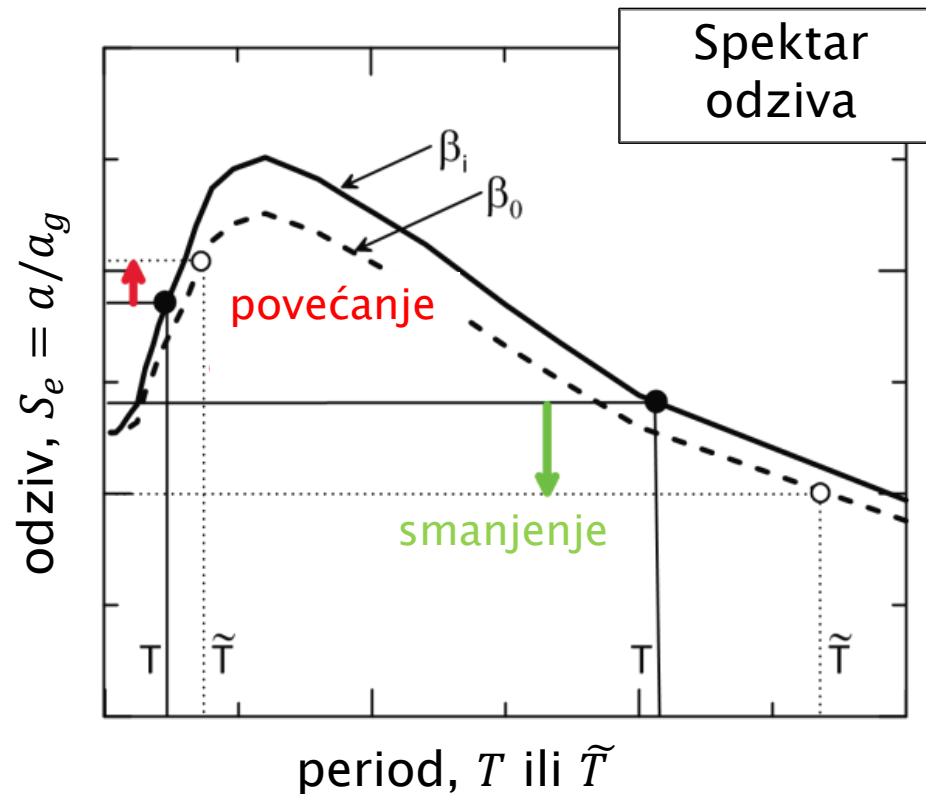
temelj $\beta_{\text{tem.}} = \beta_{\text{tlo}} + \beta_{\text{radijacijsko}}$

konstrukcija + temelj $\tilde{\beta} = \frac{\beta_s}{\left(\frac{\tilde{T}}{T}\right)^n} + \beta_{\text{tem.}}; (n = 3)$

Inercijsko međudjelovanje (3)

Oscilator s jednim stupnjem slobode

- ▶ Učinak produljenja perioda i povećanja prigušenja

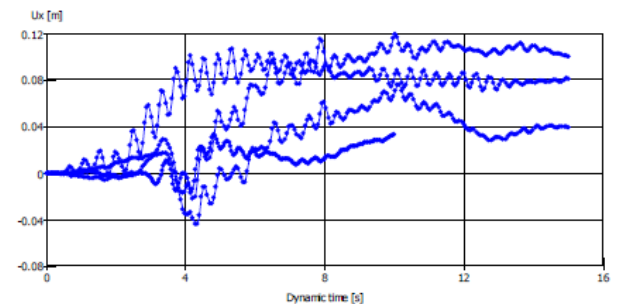
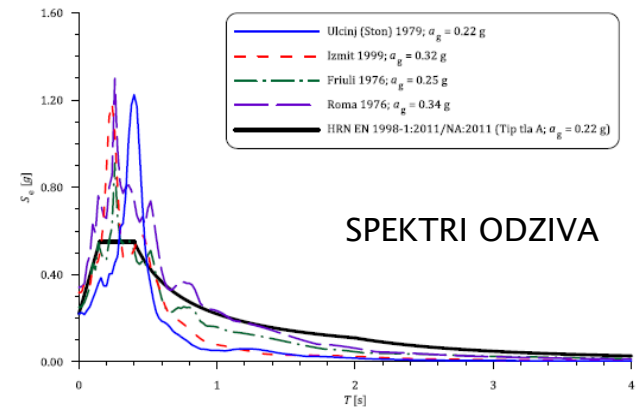
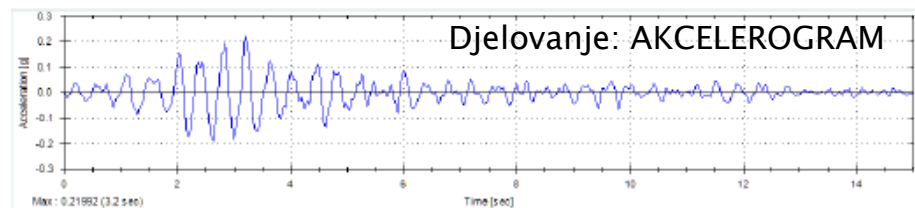
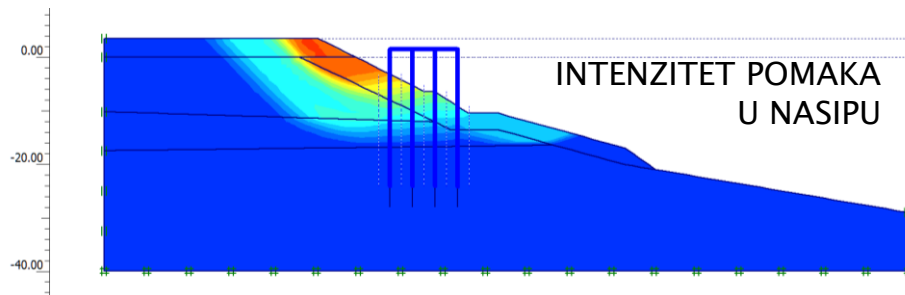
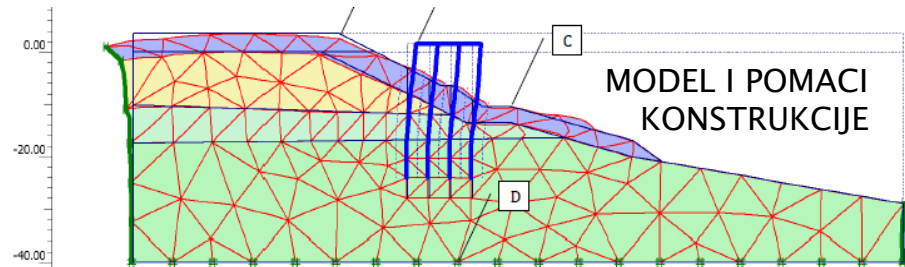


Proračun prema HRN EN 1998-1 (1)

	Metoda proračuna	Komentar
1	Bočne sile (ekvivalentna statička metoda)	<ul style="list-style-type: none">- linearno elastični proračun- samo za ograničenu vrstu zgrada- uvažavanje međudjelovanja tlo-konstr. moguće- referentna metoda u SAD
2	Modalni, primjenom spektra odziva	<ul style="list-style-type: none">- linearno elastični proračun- za sve zgrade- uvažavanje međudjelovanja tlo-konstr. moguće- referentna metoda u HRN EN 1998-1
3	Nelinearni statički proračun postupnim guranjem	<ul style="list-style-type: none">- nelinearni proračun- uvažavanje međudjelovanja tlo-konstrukcija ?
4	Nelinearni dinamički proračun primjenom vremenskog zapisa	<ul style="list-style-type: none">- nelinearni proračun – najpotpuniji- može obuhvatiti i kinematičko međudjelovanje- uvažavanje međudjelovanja tlo-konstr. moguće- vrlo zahtjevan, u praksi se rijetko koristi

Proračun prema HRN EN 1998-1 (2)

Primjer: nelinearni dinamički proračun primjenom vremenskog zapisa



- Elastično-plastični model ponašanja tla
- Potresno djelovanje uneseno na dnu modela

Proračun prema HRN EN 1998-1 (3)

Modalni proračun primjenom spektra odziva: uobičajeno za zgrade i konstrukcije koje dozvoljavaju proračun primjenom linearno elastičnih modela.

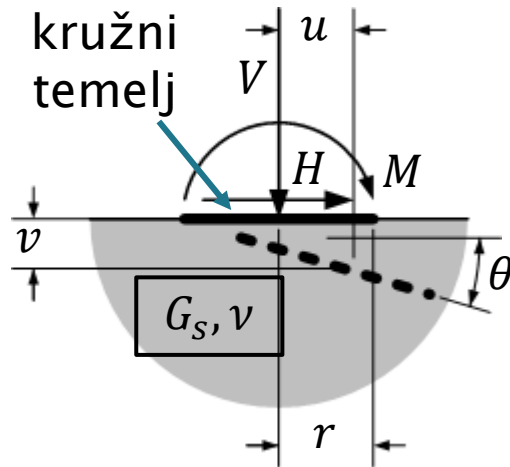
U nastavku će se prikazati kako se u modalni proračun primjenom spektra odziva može jednostavno prilagoditi kako bi se približno uvažili utjecaji interakcije tlo-konstrukcija:

Postupak:

- (1) odredi krutost temelja na elastičnom tlu,
- (2) prilagodi model konstrukcije ugradnjom odgovarajućih Winklerovih opruga.

Krutost plitkih temelja (1)

Statička krutost plitkog kružnog temelja polumjera r na površini elastičnog poluprostora (Richart i dr. 1970)



G_s – posmični
modul tla (MPa)

ν – Poissonov
omjer tla (-)

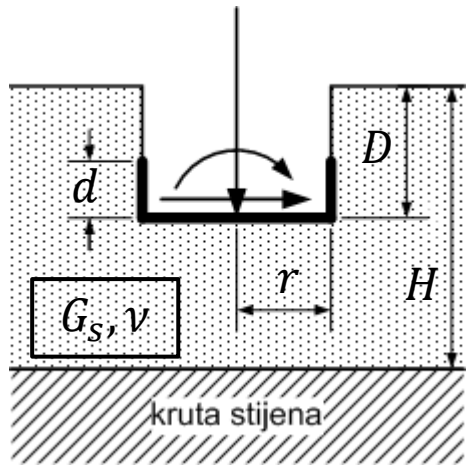
$$G_s = \rho v_s^2$$

v_s – brzina posmičnih
valova

Krutost	Definicija, $K_{X,0}$ ($X = V, H, M, T$)	Izraz za $K_{X,0}$
vertikalna	$K_{V,0} = V/v$	$K_{V,0} = \frac{4rG_s}{1-\nu}$
horizontalna	$K_{H,0} = H/u$	$K_{H,0} = \frac{8rG_s}{2-\nu}$
rotacijska	$K_{M,0} = M/\theta$	$K_{M,0} = \frac{8r^3G_s}{3(1-\nu)}$
torzijska (oko vertikalne osi)	$K_{T,0} = T/\theta_T$	$K_{T,0} = \frac{16r^3G_s}{3}$
Jedinice: $K_{V,0}, K_{H,0} \rightarrow \text{MN/m}$; $K_{M,0}, K_{T,0} \rightarrow \text{MNm!}$		

Krutost plitkih temelja (2)

Statička krutost plitkog kružnog temelja u elastičnom sloju
(Gazetas 1991)

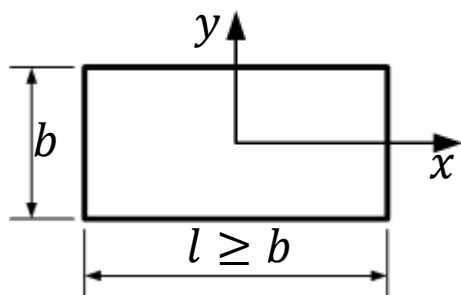


Krutost	Izraz
horizontalna	$K_H = K_{H,0} \left(1 + \frac{0,5r}{H}\right) \left(1 + \frac{2d}{r}\right) \left(1 + 0,65 \frac{D}{H}\right)$
vertikalna	$K_V = K_{V,0} \left(1 + \frac{1,3r}{H}\right) \left(1 + \frac{0,55d}{r}\right) \cdot \left[1 + \left(0,85 - \frac{0,28D}{r}\right) \left(\frac{D}{H-D}\right)\right]$
rotacijska	$K_M = K_{M,0} \left(1 + \frac{0,17r}{H}\right) \left(1 + \frac{d}{r}\right) \left(1 + 1,25 \frac{D}{H}\right)$
povezana	$K_{M,H} = \frac{M}{u} = K_{H,M} = \frac{H}{\theta} = \frac{K_H d}{3}$
torzijska	$K_T = K_{T,0} \left(1 + \frac{0,1r}{H}\right) \left(1 + 2,67 \frac{d}{r}\right)$

Krutost plitkih temelja (3)

Statička krutost pravokutnih temelja: iz izraza za kružni temelj uz uvrštavanje polumjera r ekvivalentnog kružnog temelja.

Tlocrt temelja



$$A = bl$$

$$I_x = \frac{lb^3}{12}$$

$$I_y = \frac{bl^3}{12}$$

$$I_p = I_x + I_y$$

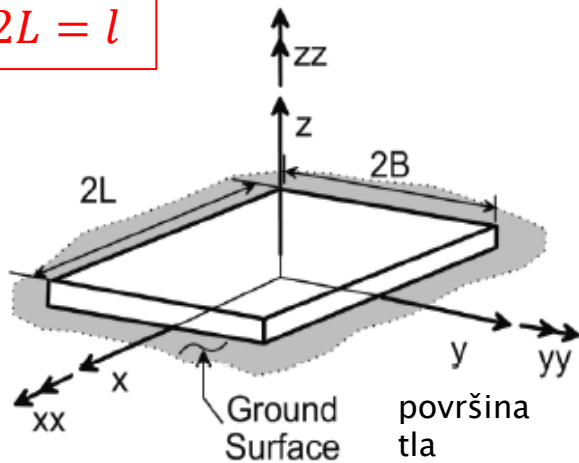
Smjer gibanja	Polumjer r
vodoravna ili vertikalna translacija	$r = r_{Hx} = r_{Hy} = (A/\pi)^{0,5}$
rotacija oko osi x	$r = r_{Mx} = (4I_x/\pi)^{0,25}$
rotacija oko osi y	$r = r_{My} = (4I_y/\pi)^{0,25}$
torzija oko vertikalne osi z	$r = r_{Mz} = (4I_p/\pi)^{0,25}$

Napomena: za temelje drugih tlocrtnih oblika treba u izraze za polumjer r uvrstiti odgovarajuće izraze za površinu A ili momente inercija I_x , I_y ili polarni moment I_p tlocrtnog lika temelja.

Krutost plitkih temelja (4)

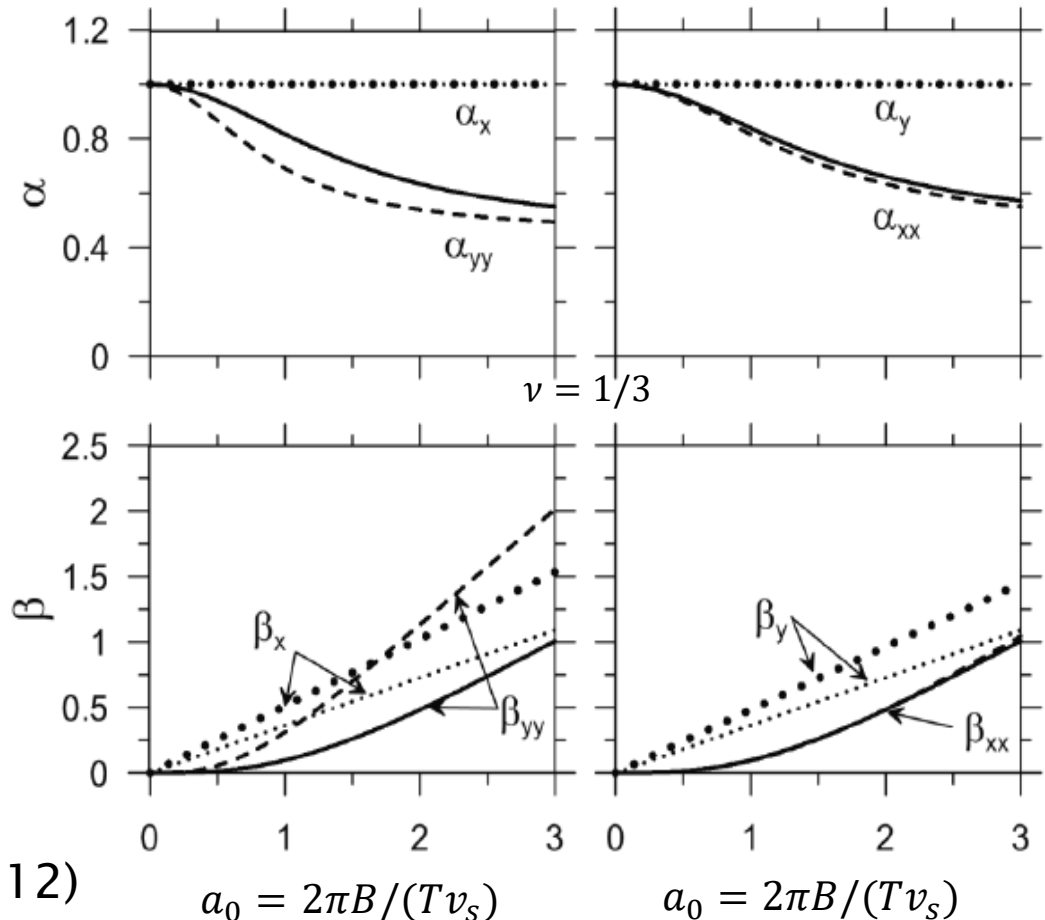
Dinamička krutost K^d i radijacijsko prigušenje β plitkog pravokutnog temelja na površini elastičnog poluprostora (NIST 2012); $K^d = \alpha K$

$2B = b$
 $2L = l$



- translac. (L/B = 2)
- translac. (L/B = 1)
- rotacija (L/B = 2)
- rotacija (L/B = 1)

(Preuzeto iz NIST 2012)



Krutost plitkih temelja (5)

(uz sliku s prethodnog slajda)


dinamička translacijska krutost u smjeru osi x ili y	$K_{Hx}^d = K_{Hy}^d = \alpha_x K_H(r_{Hx})$ $= \alpha_y K_H(r_{Hy}) = K_H$
dinamička rotacijska krutost oko osi x	$K_{Mx}^d = \alpha_{xx} K_M(r_{Mx})$
dinamička rotacijska krutost oko osi y	$K_{My}^d = \alpha_{yy} K_M(r_{My})$
koeficijent prigušenja (u odnosu na kritično) za translacijsku oscilaciju u smjeru osi x	β_x
koeficijent prigušenja za translacijsku oscilaciju u smjeru osi y	β_y
koeficijent prigušenja za rotacijsku oscilaciju oko osi x	β_{xx}
koeficijent prigušenja za rotacijsku oscilaciju oko osi y	β_{yy}
period harmonijske oscilacije	T

Primjeri:

za $B = L = 1$ m, uz $v_s = 300$ m/s, $T = 0,2$ s, $a_0 = 0,1$: $\alpha_x = 1$; $\alpha_{xx} = 1,0$; $\beta_x = 0,03$; $\beta_{yy} = 0,0$

za $B = L = 10$ m, uz $v_s = 300$ m/s, $T = 0,2$ s, $a_0 = 1$: $\alpha_x = 1$; $\alpha_{xx} = 0,8$; $\beta_x = 0,3$; $\beta_{yy} = 0,05$

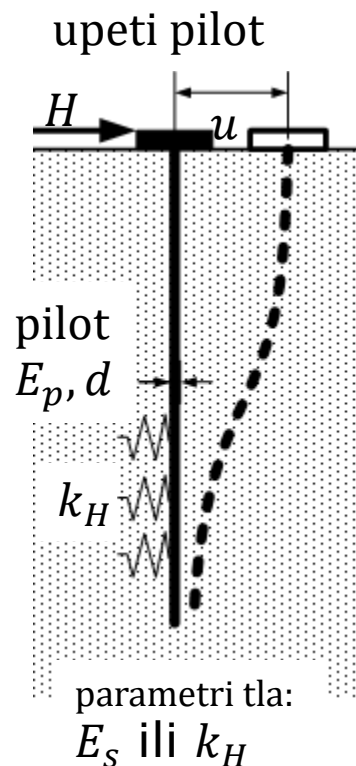
Winklerov koeficijent –plitki temelji

 k_V	iz vertikalne krutosti	iz rotacijska krutosti
Winklerov koeficijent, k_V ($\text{kN/m}^2/\text{m} = \text{kN/m}^3$ ili $\text{MN/m}^2/\text{m} = \text{MN/m}^3$)	$k_V = K_V/A$	$k_V = K_M/I$
A je površina, a I je moment tromosti tlocrtnog lika temelja u odnosu na os rotacije kroz težište.		
Polumjer ekvivalentnog kružnog temelja	$r = (A/\pi)^{0,5}$	$r = (4I/\pi)^{0,25}$
Winklerov koeficijent, k_V ; formula:	$k_V = \frac{2,26}{A^{0,5}} \frac{G_s}{1-\nu}$	$k_V = \frac{3,20}{I^{0,25}} \frac{G_s}{1-\nu}$
Kružni temelj, $d = 2r$, $A = r^2\pi$, $I = \frac{r^4\pi}{4}$	$k_V = \frac{1,27}{r} \frac{G_s}{1-\nu} = \frac{2,54}{d} \frac{G_s}{1-\nu}$	$k_V = \frac{3,40}{r} \frac{G_s}{1-\nu} = \frac{6,80}{d} \frac{G_s}{1-\nu}$
Kvadratni temelj, $A = b^2$, $I = \frac{b^4}{12}$	$k_V = \frac{2,26}{b} \frac{G_s}{1-\nu}$	$k_V = \frac{5,96}{b} \frac{G_s}{1-\nu}$
Pravokutni temelj, $A = bl$, $I = \frac{bl^3}{12}$ (rotacija oko osi usporedne s b, kroz težište)	$k_V = \frac{2,26}{b} \left(\frac{b}{l}\right)^{0,5} \frac{G_s}{1-\nu}$	$k_V = \frac{5,96}{b} \left(\frac{b}{l}\right)^{0,25} \frac{G_s}{1-\nu}$

Nema jedinstvenog Winklerovog koeficijenta koji daje ispravnu krutost za sve forme oscilacija temelja! Izbor veće vrijednosti je na strani sigurnosti jer veća krutost smanjuje povoljan utjecaj interakcije.

Winklerov koeficijent – piloti (1)

Bočni pomaci: dugački pilot upet na glavi, elastično tlo (Gazetas 1991, HRN EN 1998–5:2011)



Elastični poluprostor
(Gazetas 1991)

$$K_H^e = \frac{H}{u} = E_s d \left(\frac{E_p}{E_s} \right)^{0,21}$$

Winklerov medij
(Hetenyi 1946)

$$K_H^W = \frac{H}{u} = k_H \left(\frac{4E_p I_p}{k_H} \right)^{0,25}$$

Određivanje Winklerovog koeficijenta k_H za dugački pilot kružnog presjeka iz uvjeta $K_H^e = K_H^W$ ($l \geq 2d \left(\frac{E_p}{E_s} \right)^{0,25}$):

Za pilot kružnog presjeka promjera d , uz $I_p \approx \frac{d^4}{20}$ i za $k_H = \alpha E_{tlo}$ slijedi za Winklerovu krutost $K_H^W = 0,67 \alpha^{0,75} E_s d \left(\frac{E_p}{E_s} \right)^{0,25}$.

Iz $K_H^e = K_H^W$ i $\left(\frac{E_p}{E_s} \right)^{0,21} \approx \left(\frac{E_p}{E_s} \right)^{0,25}$ pak slijedi $\alpha = 1,71 \approx 2$ ili za Winklerov koeficijent za bočno opterećenje pilota, k_H :

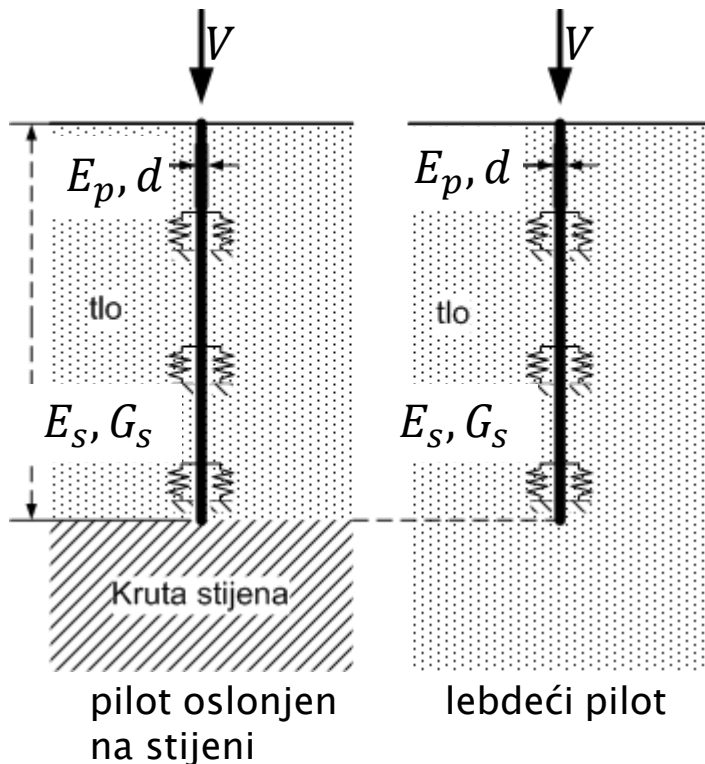
$$k_H \approx 2E_s \approx 5G_s \text{ (kN/m}^2, \text{ MN/m}^2)$$

$$(E_s = 2G_s(1 + \nu_s); \\ 0 \leq \nu_s \leq 0,5)$$

Jedinice: k_H, E_s i E_p izraženi u kN/m^2 ili MN/m^2
(k_H : $\text{kN/m/m} = \text{kN/m}^2$ ili $\text{MN/m/m} = \text{MN/m}^2$)

Winklerov koeficijent – piloti (2)

Osni pomaci: pilot oslonjen u stopi i lebdeći pilot, elastično tlo (Selgado 2008)



Oslonjeni pilot

$$k_V \approx 1.3G_s \left(\frac{E_p}{E_s} \right)^{-\frac{1}{40}} \left[1 + 7 \left(\frac{L}{d} \right)^{-0,6} \right]$$

Lebdeći pilot

$$k_V \approx 2\pi G_s \frac{1}{\ln \frac{0,5L}{d}}$$

Jedinice

k_V izražen u kN/m^2 ili MN/m^2
($\text{kN/m/m} = \text{kN/m}^2$ ili $\text{MN/m/m} = \text{MN/m}^2$)

Komentar na pojednostavljeni proračun (1)

- HRN EN 1998-5:2011 dozvoljava (točka 4.2.3) da se u ovisnosti o intenzitetu seizmičkog opterećenja i posmičnim deformacijama koje to opterećenje izaziva, uzme u obzir pri proračunu krutosti i odgovarajuće smanjenje posmičnog modula tla G_S .

Redukcija parametara zbog nelinearnosti za tlo tipa C i D (za tip A nema redukcija a za tip B primijeniti linearnu interpolaciju između A i C)

Omjer ubrzanja temeljnog tla αS	Omjer prigušenja tla β_{tlo}	redukcija brzina posmičnih valova v_{sr}/v_s	redukcija posmičnog modula G_{sr}/G_S
0,1	0,03	0,90 (\pm 0,07)	0,80 (\pm 0,10)
0,2	0,06	0,70 (\pm 0,15)	0,50 (\pm 0,20)
0,3	0,10	0,60 (\pm 0,15)	0,36 (\pm 0,20)

- Vrijednosti iz prethodne tablice vrijede za lokalne uvjete temeljnog tla tipa C ili D iz navedene norme, dok za kruće profile (A i B) veličine smanjenja treba razmjerno smanjiti (norma ne kaže kako, ali za pretpostaviti je da za tip tla A nema smanjenja krutosti tla i nema prigušenja, dok se za tip B može uzeti smanjenje koje je srednja vrijednost između onog za tip A i onog za Tipove C i D iz tablice).

Komentar na pojednostavljeni proračun (2)

- pojednostavljeni proračun inercijskog međudjelovanja moguće je provesti istim alatom (računalnim programom) kao i proračun konstrukcije na potpuno krutim temeljima;
- pravilnim izborom Winklerovih koeficijenata temelja može se osigurati da je približni proračun „na strani sigurnosti”; pravilni izbor znači da se od alternativnih vrijednosti Winklerovih koeficijenata izaberu oni na strani sigurnosti, tj. oni koji osiguravaju realnu ili već krutost temelja;
- Winklerovi koeficijenti u proračunu inercijalnog međudjelovanja bitno su različiti (znatno krući i obično različito raspodijeljeni) od onih koji odgovaraju statičkom opterećenju;

Kad je proračun seizmičkog međudjelovanja smislen?

- Glavni učinak seizmičkog međudjelovanja: produljenje vlastitog perioda konstrukcije i povećanje prigušenja.
- Oba učinka obično smanjuju učinak potresnog djelovanja.
- **Za zgrade** je omjer krutosti konstrukcije i tla, $h/(v_s T)$, važan za ocjenu učinka inercijskog međudjelovanja (h je visina od temelja do težišta konstrukcije – oko 70 % visine konstrukcije H), v_s je brzina posmičnih valova u tlu do dubine od oko dvije širine temelja, a T je osnovni period konstrukcije na krutom tlu. Prema HRN EN 1998-1:2011 osnovni period konstrukcije se može procijeniti iz izraza $T[s] = 0,016 H[m]$. Prema NIST (2012), za

$$\frac{h}{v_s T} < 0,1$$

utjecaj inercijskog međudjelovanja na zgrade je zanemariv i nije ga potrebno računati. To se odnosi na slučajeve kad međudjelovanje ima povoljan utjecaj na konstrukcije. U suprotnom, međudjelovanje treba uvijek proračunati.

Ispitivanja tla za potrebe proračuna seizmičkog međudjelovanja

Osnovni parametar tla za proračun utjecaja potresnog međudjelovanja tlo–konstrukcija je brzina širenja posmičnih valova, v_s . Poissonov omjer ν se obično pretpostavlja oko 0,2 za krupnozrna tla (pijesci, šljunci) i stijene, a 0,5 za sitnozrna tla (gline i prašine).

- ▶ Brzinu posmičnih valova najbolje je neposredno mjeriti odgovarajućim postupcima na terenu (**seizmička refrakcija, MASW i SASW s površine terena, i down-hole i cross-hole iz bušotina**).
- ▶ U nedostatku tih mjerenja, mogu poslužiti korelacije s SPT ili CPT ispitivanjima:

- Iz **SPT**-a (Ohta&Goto 1978, prema Fardis i dr. 2005):

$$v_s = 68,5(N_{60})^{0,17} z^{0,20} f_A f_G$$

gdje je v_s izražen u m/s, a dubina z , na kojoj je mjeren korigirani broj udaraca N_{60} , u metrima; f_A iznosi 1 za mlada tla holocenske starosti (do 10 000 godina), odnosno 1,3 za pleistocenska i starija tla (preko 600 000 godina); f_G iznosi 1 za gline, 1,1 za pijeske i 1,45 za šljunke. Posmični modul slijedi iz $G_s = \rho v_s^2$.

- Iz **CPT**-a: niz korelacija; vidi Schnaid (2009).

Potreba suradnje konstruktora i geotehničara

U NIST (2012) se, među ostalim, upozorava na slijedeće probleme u profesionalnoj praksi SAD-a koja u tom pogledu nije bitno različita niti u drugim zemljama:

- ▶ često su statičke i dinamičke Winklerove opruge pogrešno ili nekonzistentno određene od strane geotehničara;
- ▶ šira primjena proračuna potresnog međudjelovanja je rijetka;
- ▶ razumijevanje učinka potresnog međudjelovanja je ograničeno, prigušenje temelja se gotovo i ne koristi;
- ▶ suradnja konstruktora i geotehničara jako varira, a razumijevanje međusobnih potreba je uglavnom manjkavo.

Bliže suradnje konstruktora i geotehničara je poželjna!

Zaključak

- ▶ **Seizmičko međudjelovanje tla i konstrukcije (SMETIK)** u mnogo slučajeva ima povoljan učinak na konstrukciju i njene elemente;
- ▶ Proračun **SMETIK** se često u praksi ili ne koristi ili se koristi pogrešno; bliža suradnja geotehničara i konstruktora tu je poželjna;
- ▶ Prije upuštanja u proračun **SMETIK** poželjno je provjeriti da li se njime uopće mogu očekivati povoljni učinci te da li ga je potrebno ili smisleno uopće provesti;
- ▶ Za proračun **SMETIK** postoje pojednostavljeni postupci prikladni za primjenu u svakodnevnoj rutinskoj praksi, a sukladni zahtjevima HRN EN 1998;
- ▶ Proračun **SMETIK** je moguće provesti koristeći iste alate kao i za proračun konstrukcija gdje je **SMETIK** zanemareno;
- ▶ Priprema podataka o temeljima za pojednostavljeni proračun **SMETIK** je dosta jednostavna i dostupna u svakodnevnoj rutinskoj praksi.

Literatura

- ASCE/SEI (2013), *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. American Society of Civil Engineers Standard. ASCE/SEI 7-10. Third Printing. Reston, Virginia.
- Fardis, M. N., Carvalho, E., Einashai, A., Faccioli, E., Pinto, P., Plumier, A. (2005), *Designers' Guide to EN 1998-1 and 998-5*. Thomas Telford, London.
- Gazetas, G. (1991), Foundation vibrations; u: *Foundation Engineering Handbook, Second Edition*; ed.: Hsai-Yang Fang. Chapman & Hall, New York, 553-593.
- Hetenyi, M. (1946), *Beams on Elastic Foundation*. The University of Michigan Press, Ann Arbor, Michigan.
- HRN EN 1998-1:2011, *Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija – 1. dio: Opća pravila, potresna djelovanja i pravila za zgrade* (EN 1998-1:2004+AC 2009). Hrvatski zavod za norme.
- HRN EN 1998-5:2011, *Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija – 5. dio: Temelji, potporne konstrukcije i geotehnička pitanja* (EN 1998-5:2004). Hrvatski zavod za norme.
- NIST (2012), *Soil-Structure Interaction for Building Structures*. National Institute of Standards and Technology, Engineering Laboratory, Gaithersburg, Maryland.
- Richard, F. E., Woods, R. D., Hall, J. R. (1970), *Vibration of Soils and Foundations*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Salgado, R. (2008), *The Engineering of Foundation*. McGraw-Hill, New York.
- Schnaid, F. (2009), *In Situ Testing in Geomechanics, The Main Tests*. Taylor & Francis, London.
- Seed, H B, Idriss, I M, & Dezfulian, H (1967). Relationships between soil conditions and building damage in the Caracas earthquake of July 29. Earthquake Engineering Research Center, Report No. EERC, 70-2.

Hvala na pažnji