

Sveučilište u Zagrebu

Građevinski fakultet

Diplomski sveučilišni studij

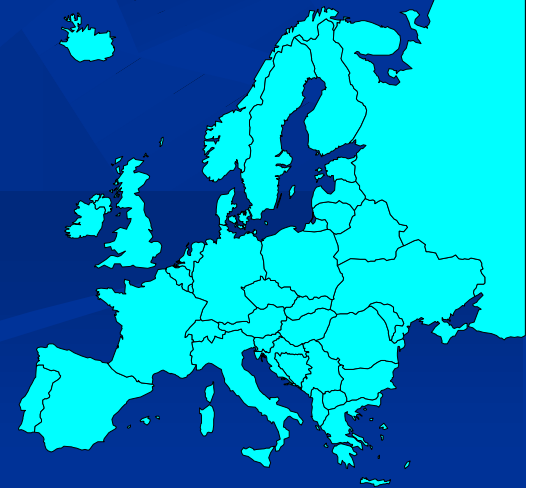
Smjer: GEOTEHNIKA

Plitki temelji

Prof. dr. sc. Tomislav Ivšić
Građevinski fakultet Zagreb

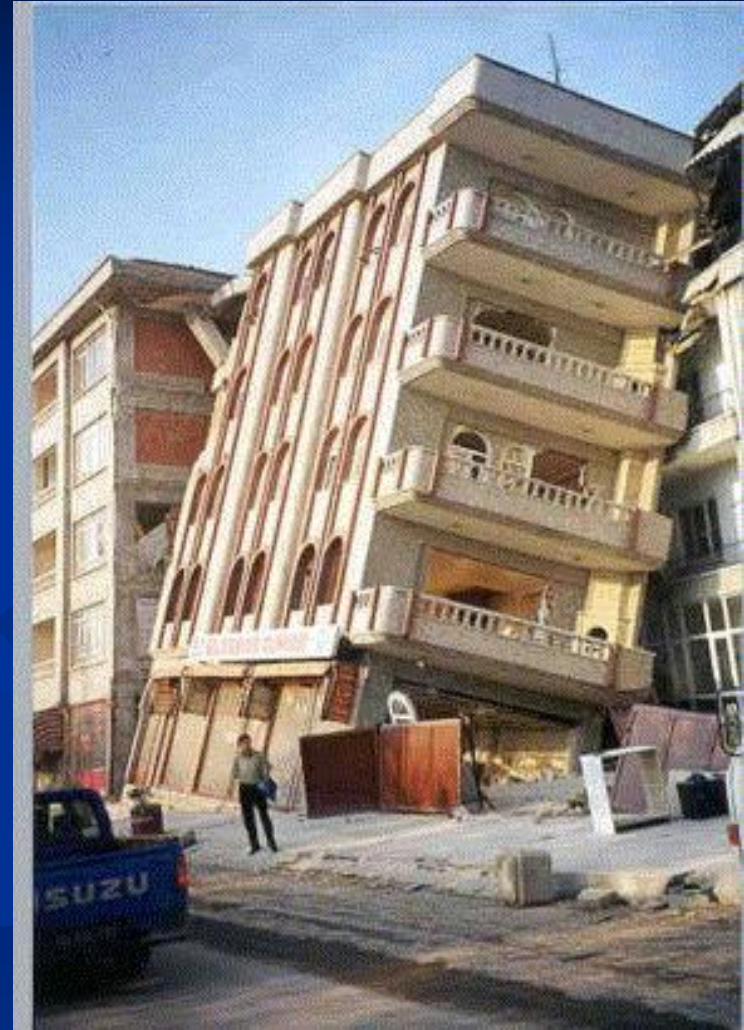
Zagreb, ožujak 2012.

Geotehničko inženjerstvo 3, TI



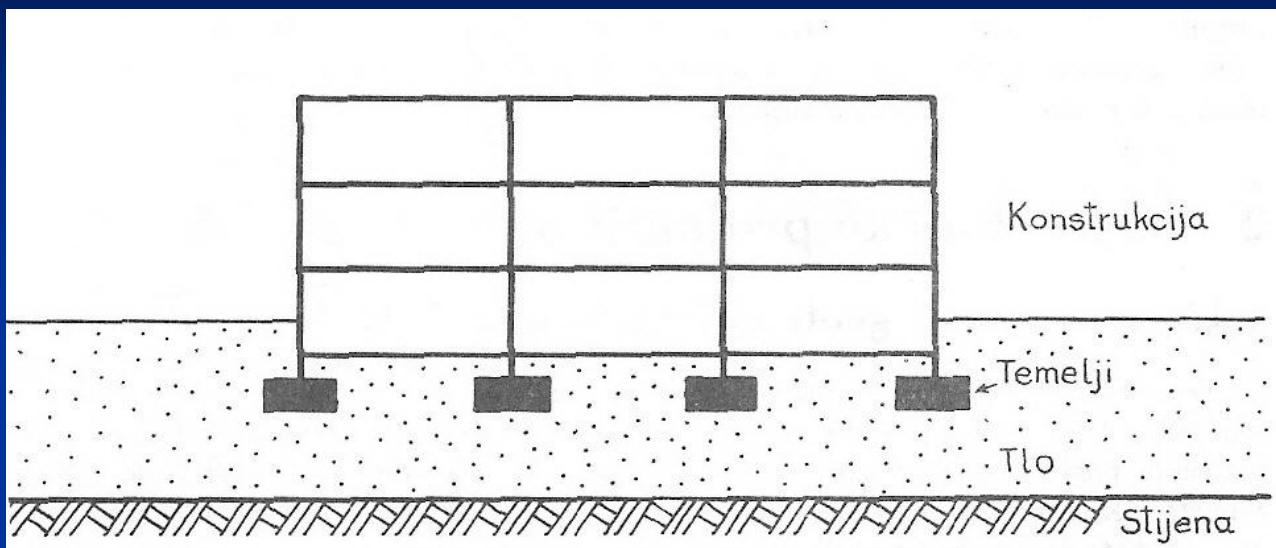


Zagreb, ožujak 2012.



Geotehničko inženjerstvo 3, TI

Svrha i klasifikacija temelja



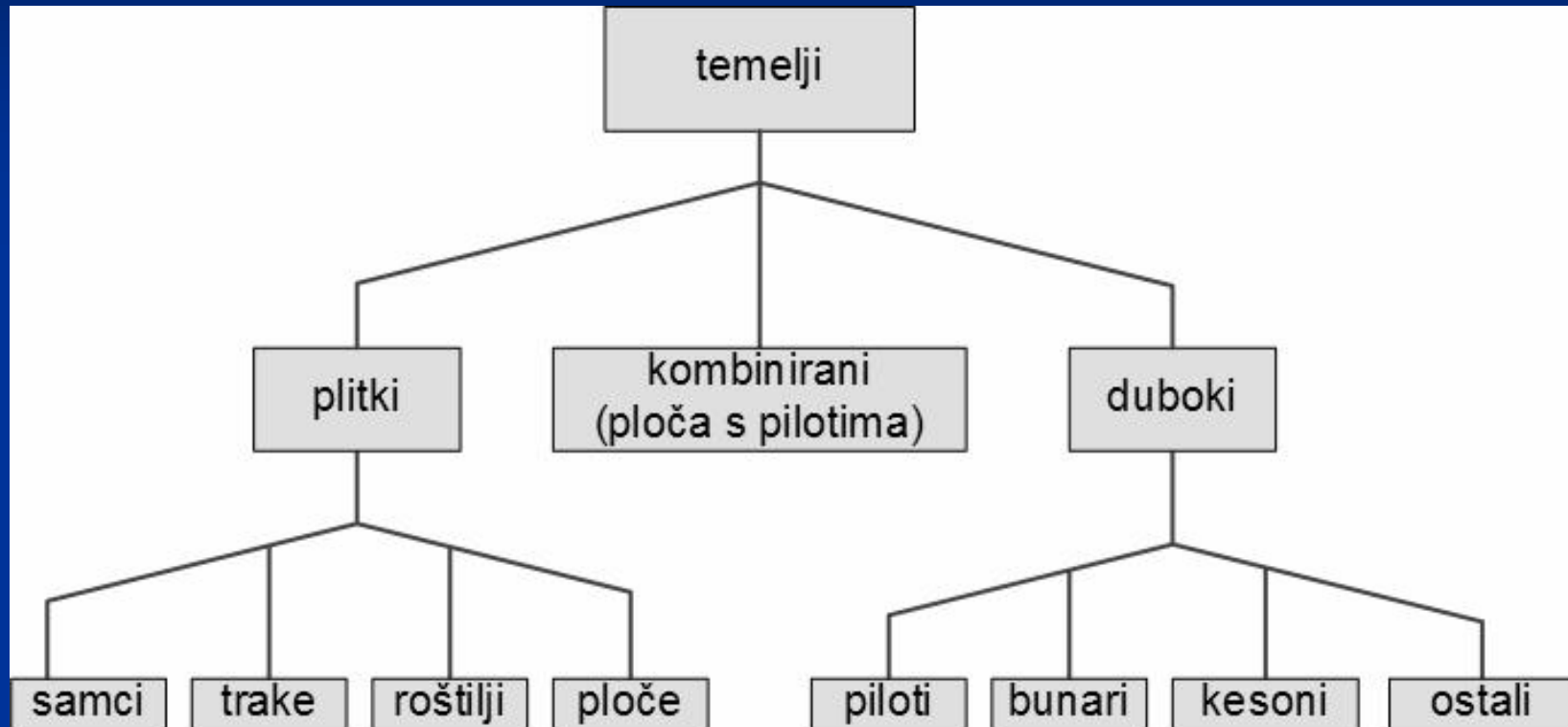
Temelji su dijelovi konstrukcije preko kojih se ona oslanja o tlo.

Preko temelja se djelovanja na konstrukciju prenose na tlo.

Temelji su prijelazni dijelovi u kojima se preraspodjeljuju unutrašnje sile iz vitkih i tankih elemenata konstrukcije u masivne i široke zone tla.

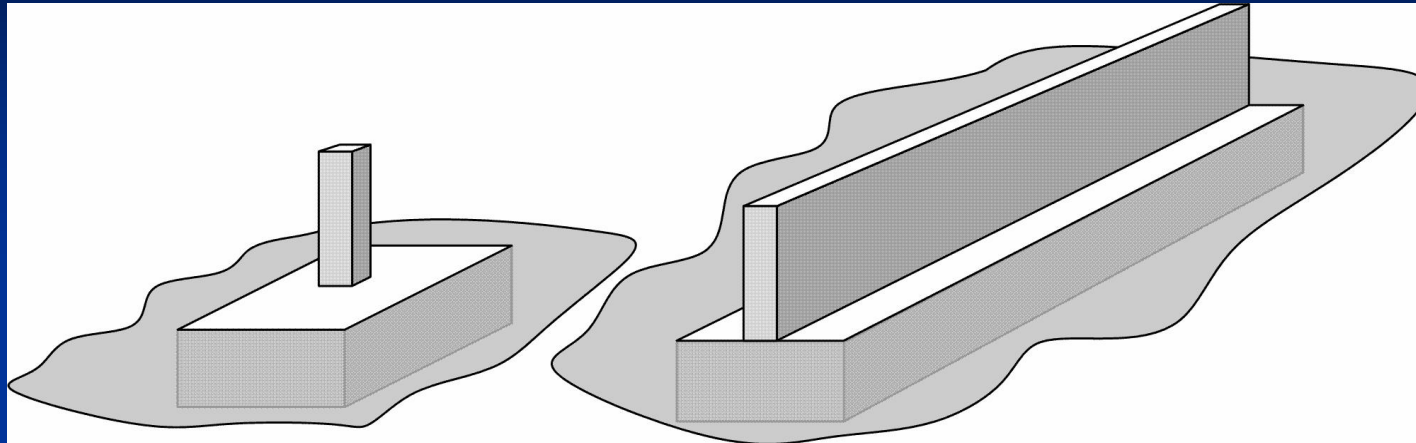
“interface”

Klasifikacija temelja

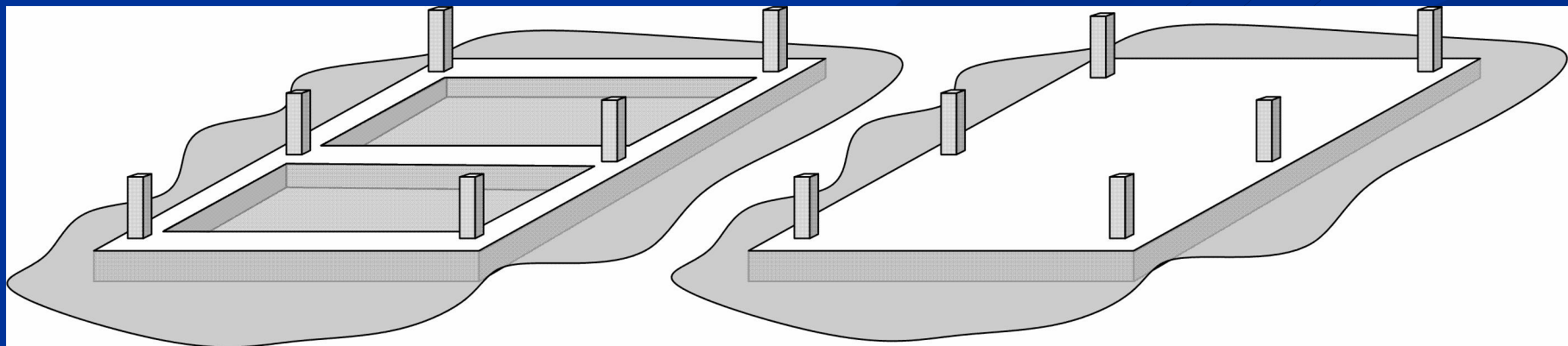


Slika 4-1 Jedna od klasifikacija temelja

Plitki temelji

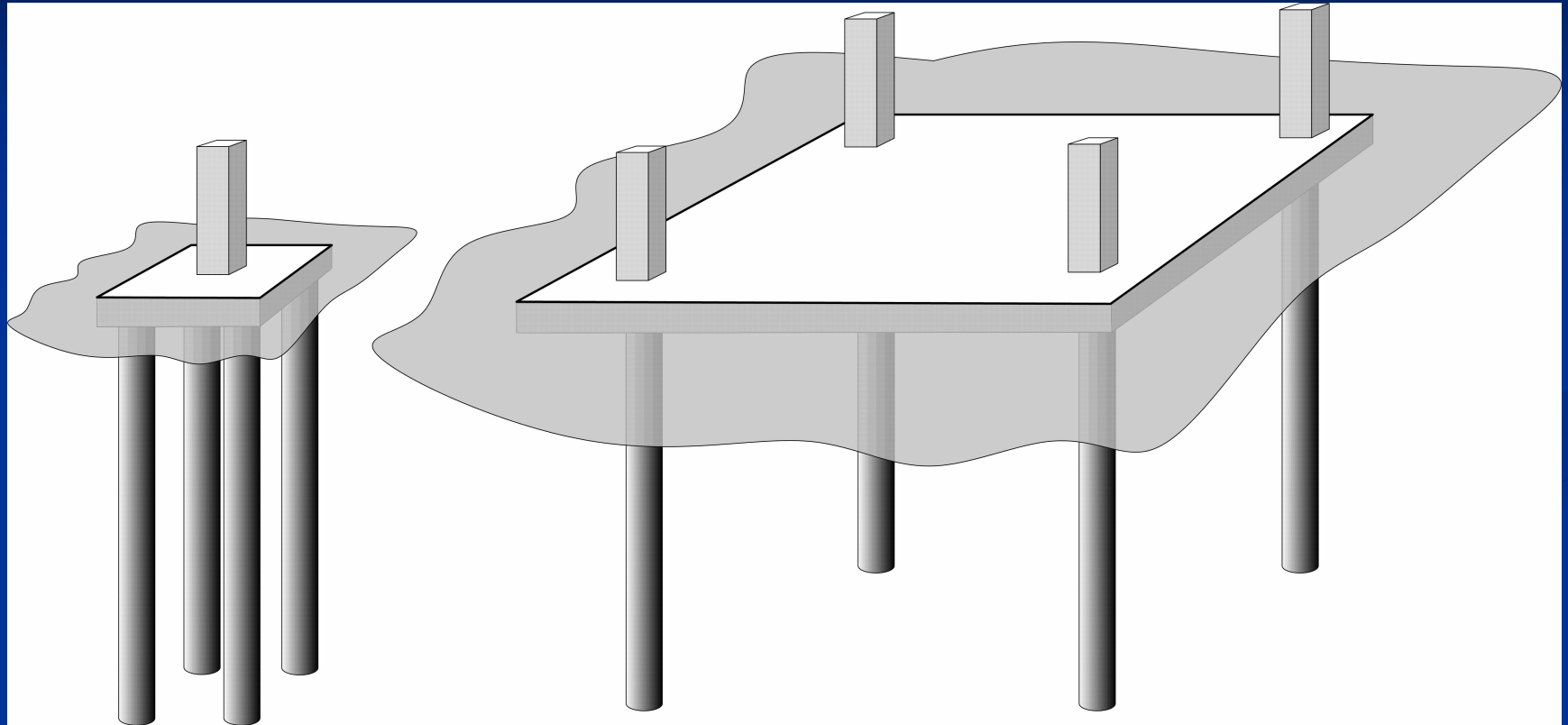


Slika 4-2 Temelj samac (lijevo) i temeljna traka (desno)



Slika 4-3 Temeljni roštilj (lijevo) i temeljna ploča (desno)

Duboki temelji

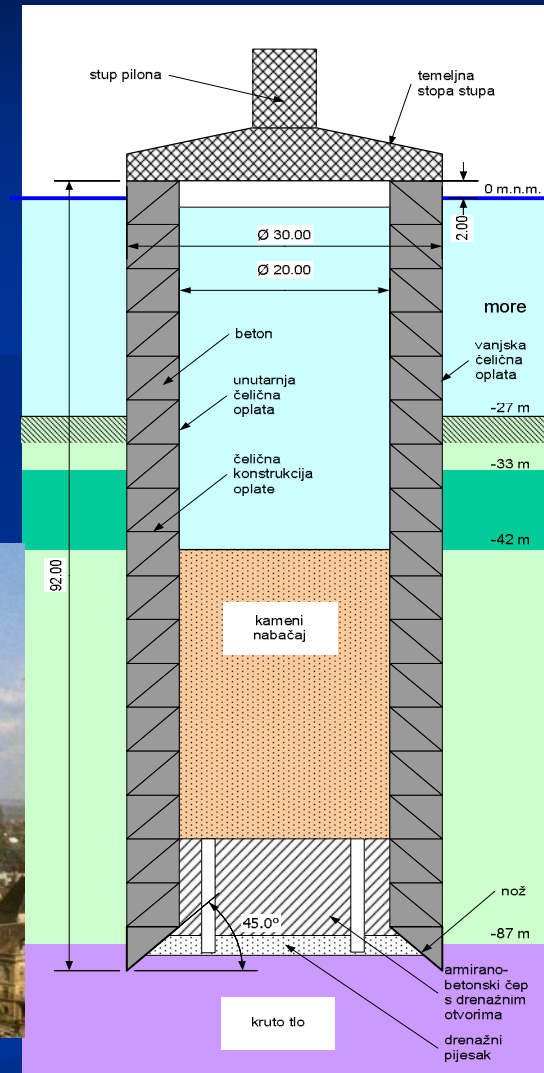
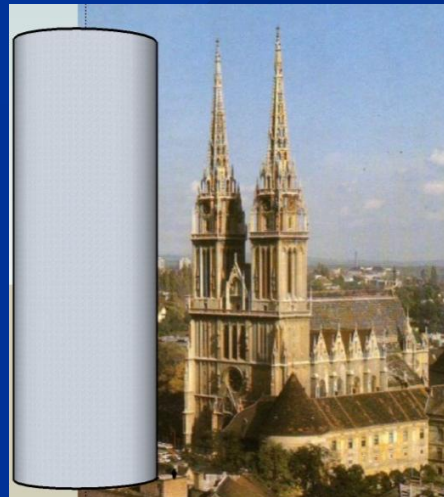


Slika 4-4 Grupa pilota s naglavnom pločom (lijevo) i temeljna ploča s pilotima (desno)

Bunari, temelji dvaju pilona

Bunar – betonski cilindar u
čeličnoj oplati s nožem na dnu

- visina: 92 m
- vanjski promjer: 30 m
- unutarnji promjer: 20 m
- beton: 35 000 m³
- čelična oplata: 6 300 t
- iskop tla: 37 000 m³
- nasuti kamen: 12 000 m³



Opterećenja temelja i interakcija konstrukcija-temelj-tlo

Opterećenja temelja uglavnom nastaju djelovanjem konstrukcije koju pridržavaju.

Ta opterećenja se preko temelja prenose u tlo koje se zbog toga deformira, što pak izaziva pomake, rotacije i deformacije temelja.

Konstrukcija, temelj i tlo čine jedan jedinstveni sustav koji zahtijeva zajedničke pomake, rotacije, deformacije i kontaktna naprezanja na njihovim međusobnim sučeljima.

To međudjelovanje konstrukcije, temelja i tla naziva se i interakcijom.

Proračunski modeli i proračuni potpune interakcije -vrlo složen, zahtjevan i obiman problem koji se u praksi vrlo rijetko provodi u svojoj potpunosti

Pojednostavljena npr.

- odvojeno razmatranje gornje konstrukcije i temelja
- odvojeno razmatranje problema nosivosti i deformacija temelja i tla

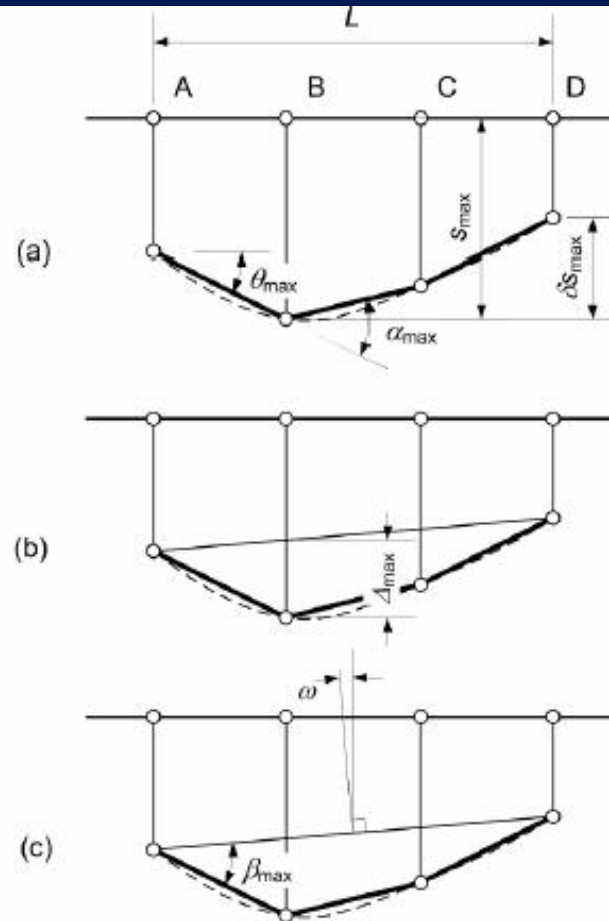
Izbor temelja i kriteriji prihvatljivosti

- o vrsti i karakteristikama tla na gradilištu,
- vrsti i veličini opterećenja,
- kriterijima prihvatljivosti kao što su prvenstveno stabilnost, uporabivost, trajnost i primjerena tehnologija gradnje (geotehnički kriteriji),
- o cijeni i trajanju same gradnje.

EC – 7 stabilnost , uporabivost

- Granična stanja nosivosti temelja - najčešće su kritična stanja GEO i STR. U pojedinim slučajevima – EQU, UPL, HYD
 - GEO najvažnije je nosivost temeljnog tla
- Granična stanja uporabivosti temeljnih konstrukcija - proizlaze iz posljedica gubitka uporabivosti gornje konstrukcije pomaci, rotacije i deformacije temelja

Granična stanja uporabivosti



Slika 4-5 Definicije slijeganja s , diferencijalnih slijeganja δs , rotacija θ i kutnih deformacija α temelja (a), definicije relativnih progiba Δ i kvocijenta progiba Δ/L (b), te definicije nagnjanja ω i relativne rotacije ili kutne distorzije β (EN 1997-1:2004).

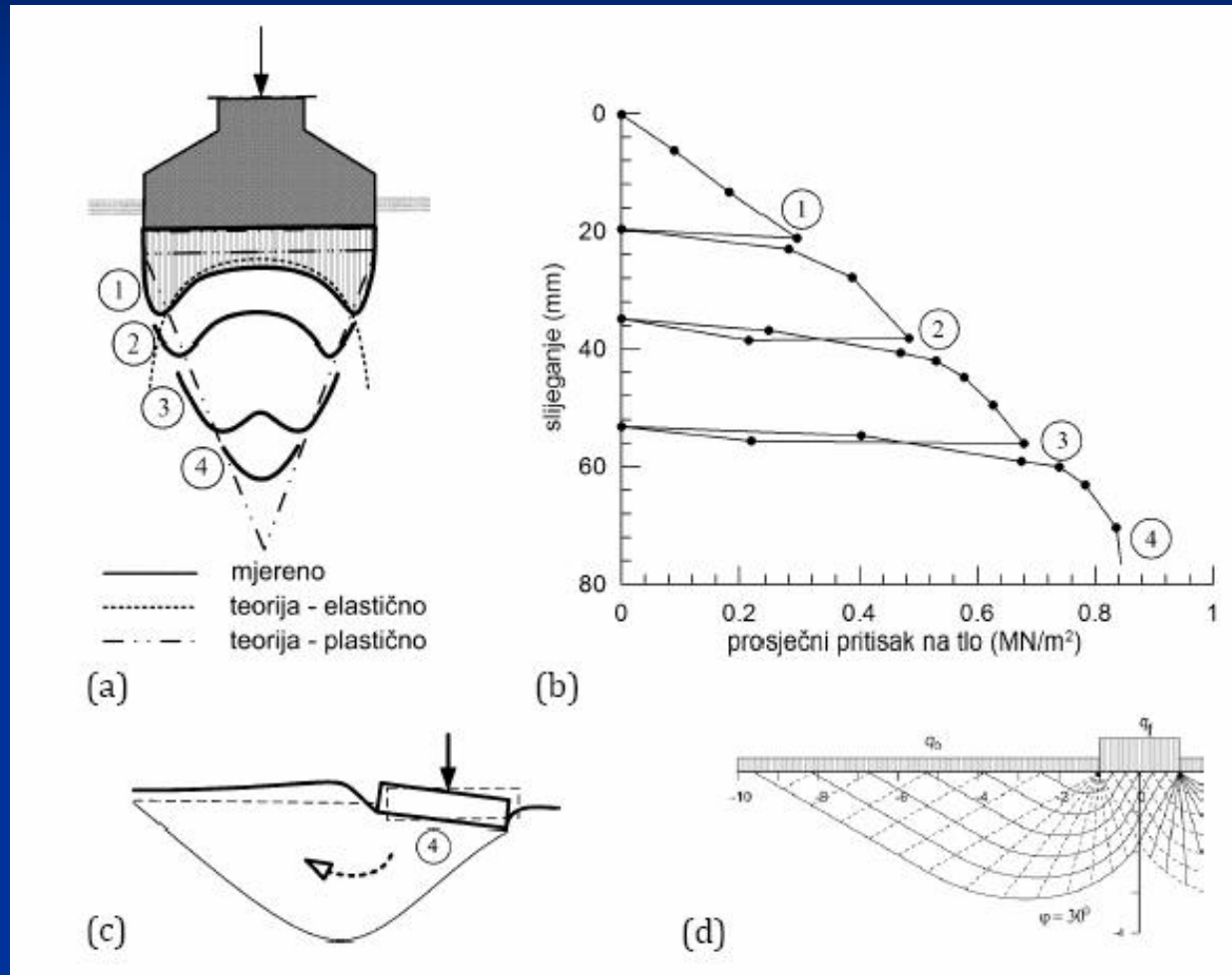
Granična stanja uporabivosti

Tablica 4-1 Granične vrijednosti deformacija konstrukcija i pomaka temelja za obične konstrukcije s ujednačenim opterećenjima na temelje (EN 1997-1:2004) - ulegnuti oblik deformacija

Opis graničnog pomaka, kuta ili deformacije	oznaka	vrijednost	napomena
najveća dozvoljena relativna rotacija otvorenih okvirnih konstrukcija, ispunjenih okvira i nosivih zidova od opeke	β_{max}	$\frac{1}{2000}$ do $\frac{1}{300}$, obično $\frac{1}{500}$	$\beta = \frac{1}{150}$ izazvat će najvjerojatnije granično stanje nosivosti u gornjoj konstrukciji
prihvatljivo najveće slijeganje	s_{max}	50 mm	vrijedi za obične konstrukcije na temeljima samcima ili trakama; veća slijeganja su prihvatljiva ako relativne rotacije ostanu u prihvatljivim granicama i ako ukupna slijeganja ne izazivaju probleme s instalacijskim priključcima na zgradu, komunikaciju s okolinom, prevelika naginjanja i slično.

Analiza i projektiranje plitkih temelja

Kontaktne pritisci između temelja i tla



Slika 4-7 Probno opterećenje kvadratnog temelja samca na pijesku centričnom vertikalnom silom: (a) mjerena raspodjela normalnih kontaktnih naprezanja na temeljnoj plohi na srednjem presjeku (puna linija) i usporedba s teoretskim rješenjem za elastični poluprostor (crtkano) i za plastični slom (crta-dvotočka) u raznim fazama opterećenja; (b) odnos prosječnog kontaktnog normalnog naprezanja na temeljnoj plohi i slijeganja temelja; (c) skica sloma tla opažena u četvrtom ciklusu opterećenja; (d) slika sloma tla ispod plitkog temelja prema teoriji plastičnosti za trakasto opterećenje (Prandtlovo rješenje)

Opći izraz za nosivost tla ispod plitkog temelja

prosječno efektivno normalno kontaktno naprezanje na vodoravnoj temeljnoj plohi centrično opterećenog trakastog temelja koji izaziva slom tla

za drenirane uvjete u tlu

$$q_f' = c' N_c + \frac{1}{2} b \gamma' N_\gamma + q' N_q$$

N_c , N_γ i N_q

faktori nosivosti koji ovise o efektivnom parametru čvrstoće φ' (efektivni kut trenja) Mohr-Coulombovog zakona čvrstoće za tlo

za nedrenirane uvjete u tlu

$$q_f = c_u (2 + \pi) + q$$

c' - parametar čvrstoće (efektivna kohezija)

b' - širina trakastog temelja

γ' - efektivna jedinična težina tla

q' - efektivno vertikalno naprezanje u tlu na dubini temeljne plohe

Izraz za nosivost tla ispod plitkog temelja EC7

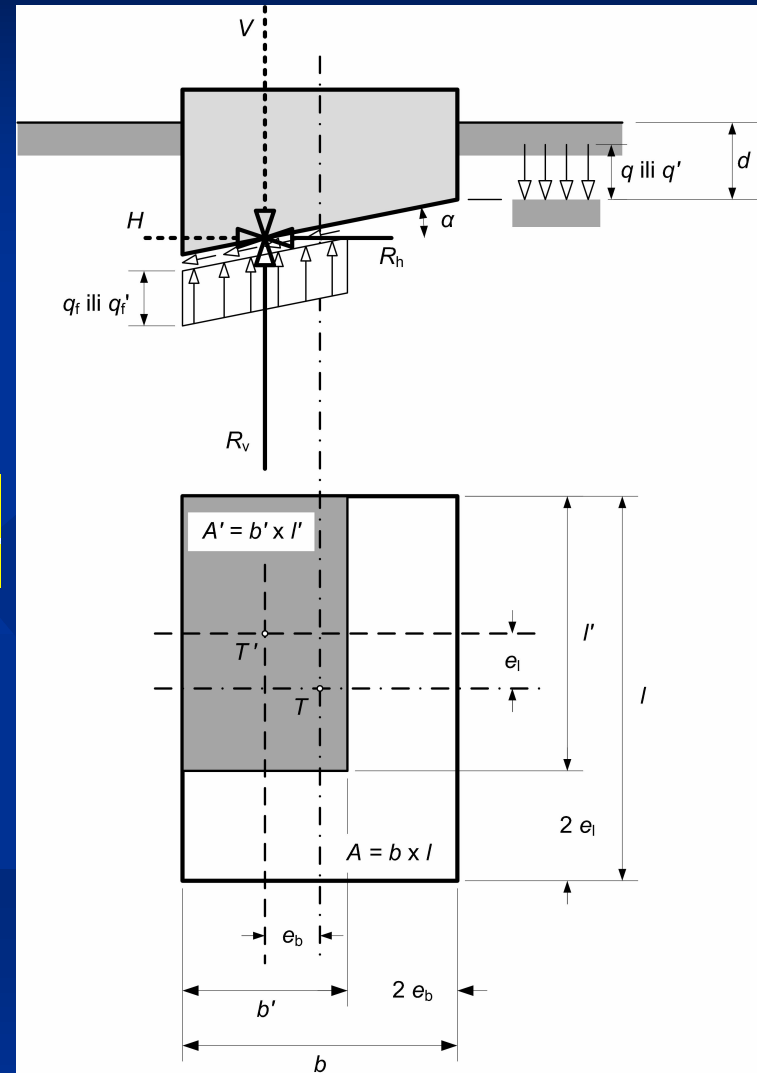
za nedrenirane uvjete u tlu

$$\frac{R}{A'} = q_f = (\pi + 2)c_u b_c s_c i_c + q$$

za drenirane uvjete u tlu

$$\frac{R}{A'} = q'_f = c' N_c b_c s_c i_c + q' N_q b_q s_q i_q + \frac{1}{2} \gamma' b' N_\gamma b_\gamma s_\gamma i_\gamma$$

Slika 4-8 Ekscentrično opterećen plitki temelj s ekvivalentnom temeljnom plohom površine A' , mjerodavnom za proračun nosivosti temeljnog tla, i dubinom temeljenja d ($b \leq l, b' \leq l'$); prema Eurokodu 7 (EN 1997-1:2004)



Izraz za nosivost tla ispod plitkog temelja EC7

Tablica 4-2 Formule za članove u izrazu za nosivost tla q_f prema EN 19971:2004

član	izraz	
	nedrenirano	drenirano
N_q	1	$\tan\left(45^\circ + \frac{\varphi'}{2}\right) e^{\pi \tan \varphi'}$
b_q	1	$(1 - \alpha \tan \varphi')^2$; α izraženo u radijanima
s_q	1	$1 + \frac{b'}{l'} \sin \varphi'$
i_q	1	$[1 - H/(V + A'c' \cot \varphi')]^m$ $m = m_b = \left[2 + \frac{b'}{l'}\right] / \left[1 + \frac{b'}{l'}\right]$ kad H djeluje u smjeru b $m = m_l = \left[2 + \frac{l'}{b'}\right] / \left[1 + \frac{l'}{b'}\right]$ kad H djeluje u smjeru l ; kad H djeluje pod kutom θ u odnosu na l , tada je $m = m_\theta = m_l \cos^2 \theta + m_b \sin^2 \theta$
N_c	$2 + \pi$	$(N_q - 1) \cot \varphi'$
b_c	$1 - 2\alpha/(\pi + 2)$	$b_q - (1 - b_q)/(N_c \tan \varphi')$
s_c	$1 + 0.2 \frac{b'}{l'}$	$(s_q N_q - 1)/(N_q - 1)$
i_c	$\frac{1}{2} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{H}{A'c_u}}\right)$	$i_q - (1 - i_q)/(N_c \tan \varphi')$
N_γ	0	$2(N_q - 1) \tan \varphi'$
b_γ	-	b_q
s_γ	-	$1 - 0.3 \frac{b'}{l'}$
i_γ	-	$[1 - H/(V + A'c' \cot \varphi')]^{m+1}$; m kao za i_q

Pomaci plitkih temelja

Slijeganje za centrično vertikalno opterećenje

s_0 - trenutno slijeganje

s_1 - konsolidacijsko slijeganje

s_2 - slijeganje izazvano puzanjem tla

$$s_0 = \frac{pb}{E_u} f$$

$$s_0 + s_1 = \frac{pb}{E'} f$$

$$s_1(t) \approx s_1 U(t)$$

$$s_2(t_2) - s_2(t_1) = \log \frac{t_2}{t_1}$$

Tablica 4-3 Koeficijent slijeganja f za plitke temelje na homogenom tlu

Opis	Opći izraz	Drenirano ($0 \leq \nu' \leq 0.3$)	Nedrenirano ($\nu = 0.5$)
- sredina savitljivog kružnog temelja promjera b na homogenom tlu	$1 - \nu^2$	~ 1	0.75
- kruti kružni temelj promjera b na homogenom tlu (za kruti temelj površine tlocrtnog obrisa temelja A: $b = 2 \sqrt{\frac{A}{\pi}}$) ...	$\frac{\pi}{4} (1 - \nu^2)$	~ 0.8	~ 0.59

■ Savitljivi temelji: interakcija konstrukcija-temelj-tlo

Provjera pouzdanosti prema Eurokodu 7

Granična stanja nosivosti i uporabivosti

Najčešća moguća **granična stanja nosivosti** za plitke temelje su:

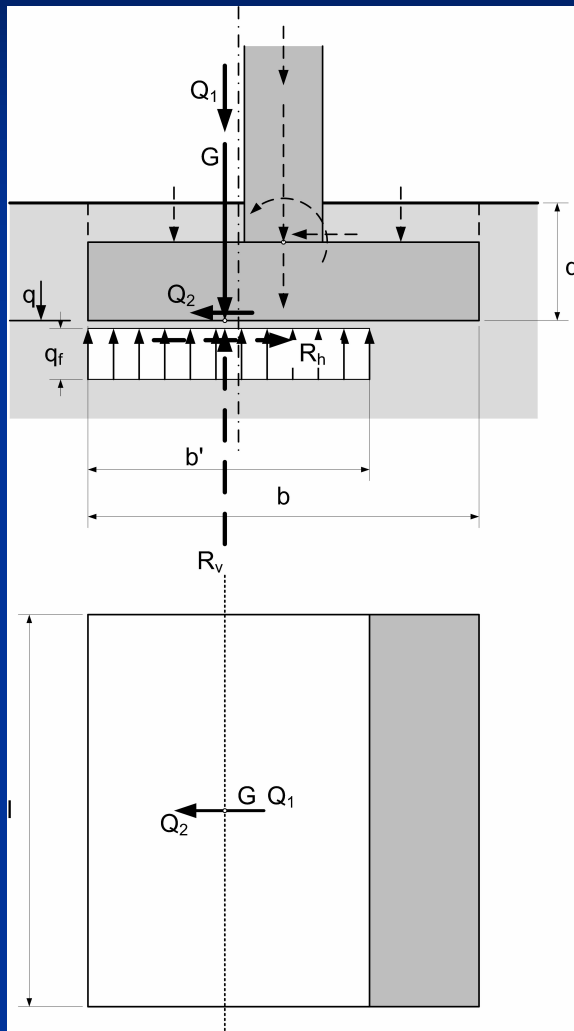
- **gubitak opće stabilnosti** pri kojem neki dio temeljnog tla zajedno s temeljom i konstrukcijom postaje klizno tijelo, a mehanizam klizanja odgovara onom kod nestabilnih kosina (granično stanje GEO); ovakvi se slučajevi javljaju kad je temelj na kosini ili blizu ruba kosine^[1];
- **slom tla ispod temelja** izazvan prevelikom pritiskom kojim temelj opterećuje tlo (granično stanje GEO); kontakti pritisak ili kontaktno naprezanje između temelja i tla koje izaziva slom u tlu je nosivost tla;
- **gubitak stabilnosti klizanjem** pri kojem dolazi do klizanja temelja po temeljnoj plohi zbog pre velikog bočnog opterećenja temelja (granično stanje GEO);
- **kombinirani slom konstrukcije, temelja i tla** (granično stanje STR/GEO);
- **slom konstrukcije uslijed pomaka temelja pri čemu u tlu ne mora doći do sloma** (granično stanje STR); ovaj se slučaj može javiti kod temelja na mekom tlu u kojem su deformacije i pomaci veliki i prije sloma;

Najčešća **granična stanja uporabivosti** su:

- **prevelika slijeganja ili diferencijalna slijeganja unutar temelja ili među susjednim temeljima;**
- **preveliko izdizanje temelja** uslijed bujanja tla, djelovanja mraza i drugih uzroka;
- **neprihvatljive vibracije** koje se mogu javiti kod temelja strojeva.

Provjera pouzdanosti prema Eurokodu 7

Provjera pouzdanosti temelja samca obzirom na granična stanja nosivosti i uporabivosti



PROVJERA GRANIČNOG STANJA NOSIVOSTI ZA NOSIVOST TLA (GEO)

Kombinacija K1:

Djelovanja

Vertikalno: $E_{vd} = 1.35G + 1.50Q_1$

Horizontalno: $E_{hd} = 1.50Q_2$

Otpornost

nosivost tla: q_f treba izračunati prema izrazu (4.4) koristeći karakteristične parametre čvrstoće za tlo $c_d = c_k$, $\varphi_d = \varphi'_k$ (parcijalni faktori na jedinične težine tla, γ , su uvijek i u svim kombinacijama jednaki jedinici, to vrijedi i za jediničnu težinu vode)

Vertikalna: $R_{vd} = q_f b' l$

Provjera graničnog stanja: ako stoji uvjet $E_{vd} \leq R_{vd}$, pouzdanost temelja zadovoljava, u suprotnom je dimenzija temelja pre mala.

Slika 4-9 Ekscentrično opterećen plitki temelj samac

Zagreb, ožujak 2012.

Geotehničko inženjerstvo 3, TI

Provjera pouzdanosti prema Eurokodu 7

Provjera pouzdanosti temelja samca obzirom na granična stanja nosivosti i uporabivosti

Kombinacija K2:

Djelovanja

Vertikalno: $E_{vd} = 1.00G + 1.30Q_1$

Horizontalno: $E_{hd} = 1.30Q_2$

Otpornost

nosivost tla: q_f treba izračunati prema izrazu (4.4) koristeći „faktorizirane“ parametre čvrstoće za tlo $c_d = c_k/1.25$, $\tan \varphi'_d = \tan \varphi'_k/1.25$ (parcijalni faktori na jedinične težine tla, γ , su uvijek i u svim kombinacijama jednaki jedinici, to vrijedi i za jediničnu težinu vode; nadalje, u slučaju nedreniranog stanja, parcijalni faktor na nedreniranu čvrstoću iznosi 1.40!)

Vertikalna: $R_{vd} = q_f b' l$

Provjera graničnog stanja: ako stoji uvjet $E_{vd} \leq R_{vd}$, pouzdanost zadovoljava, u suprotnom je dimenzija temelja pre mala.

Provjera pouzdanosti prema Eurokodu 7

Provjera pouzdanosti temelja samca obzirom na granična stanja nosivosti i uporabivosti

PROVJERA GRANIČNOG STANJA NOSIVOSTI ZA KLIZANJE (GEO)

Mjerodavna će biti kombinacija K1 (u slučaju dvojbe proračun treba provesti za obje kombinacije)

Djelovanja

Vertikalno: $E_{vd} = 1,00G + 0,00Q_1$ (parcijalni koeficijent za povoljno djelovanje)

Horizontalno: $E_{hd} = 1,50Q_2$

Otpornost

$R_{hd} = E_{vd} \tan \varphi'_k$ (zanemaren pasivni otpor ispred temelja)

Provjera graničnog stanja: ako stoji uvjet $E_{hd} \leq R_{hd}$, pouzdanost zadovoljava, u suprotnom je dimenzija temelja pre mala.

Provjera pouzdanosti prema Eurokodu 7

Provjera pouzdanosti temelja samca obzirom na granična stanja nosivosti i uporabivosti

PROVJERA GRANIČNOG STANJA NOSIVOSTI ZA NOSIVOST PRESJEKA STOPE TEMELJA (STR)

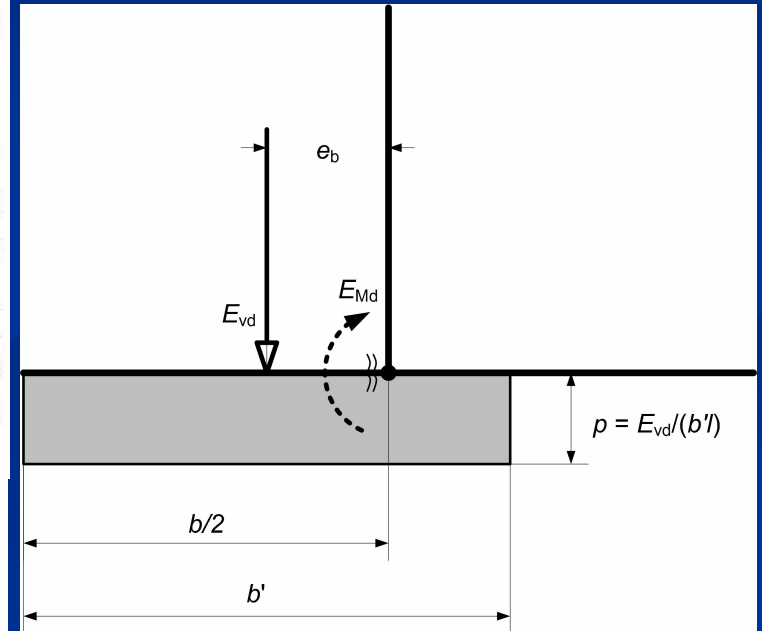
Mjerodavna će biti kombinacija K1 jer daje veće kontaktne pritiske. U slučaju dvojbe o mjerodavnosti kombinacije, treba provjeriti obje.

Djelovanja

Vertikalno: $E_{vd} = 1.35G + 1.50Q_1$, iz toga treba izračunati prosječni pritisak temelja na tlo $p = E_{vd}/(b'l)$ te moment savijanja u temeljnoj stopi uz stup, ili na sredini temelja (Slika 4-10) što je na strani sigurnosti, $E_{Md} = \frac{pb^2}{8}$ (kNm/m)¹⁹, s kojim treba provjeriti nosivost presjeka betona prema pravilima Eurokoda 2.

Otpornost: Proračunski moment otpornosti armirano-betonskog presjeka R_{Md} prema Eurokodu 2 (Eurokod 2 ne poznaje proračunske pristupe 1, 2 ili 3 iz Eurokoda 7 pa će se proračunska otpornost presjeka računati korištenjem odgovarajućih materijalnih parcijalnih koeficijenata za beton i betonski čelik, kako već predviđa Eurokod 2).

Provjera graničnog stanja: ako stoji uvjet $E_{Md} \leq R_{Md}$, pouzdanost presjeka temeljne stope zadovoljava, u suprotnom je dimenzija presjeka ili površina armature pre mala.



Slika 4-10 Dimenzioniranje presjeka konzole temeljne stope na granično stanje nosivosti (STR)

Provjera pouzdanosti prema Eurokodu 7

Provjera pouzdanosti temelja samca obzirom na granična stanja nosivosti i uporabivosti

PROVJERA GRANIČNOG STANJA UPORABIVOSTI

Djelovanja

Vertikalno: $E_{vd} = 1.00G + 1.00Q_1$ (parcijalni koeficijenti za granično stanje uporabivosti)

Provjera graničnog stanja: ako stoji uvjet za najveća dozvoljena slijeganja, $s(E_{Md}) \leq s_{max}$, ili neki drugi zadani uvjet na pomake temelja, pouzdanost za to granično stanje zadovoljava; ako ne, treba mijenjati dimenzije temelja (ili čak vrstu temelja). Slično treba provjeriti za naginjanje ako je takav uvjet zahtijevan.

Pitanje dozvoljenog ekscentriciteta

Utjecaj na susjedne građevine

Najmanja dubina temeljenja