

Sveučilište u Zagrebu

Građevinski fakultet

Diplomski sveučilišni studij

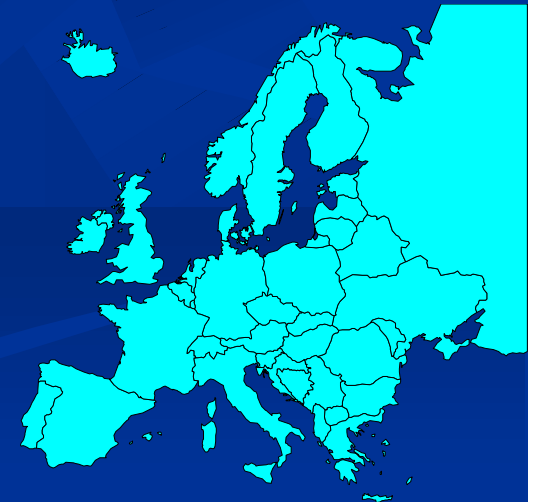
Smjer: GEOTEHNIKA

Potporne konstrukcije 2

Prof. dr. sc. Tomislav Ivšić
Građevinski fakultet Zagreb

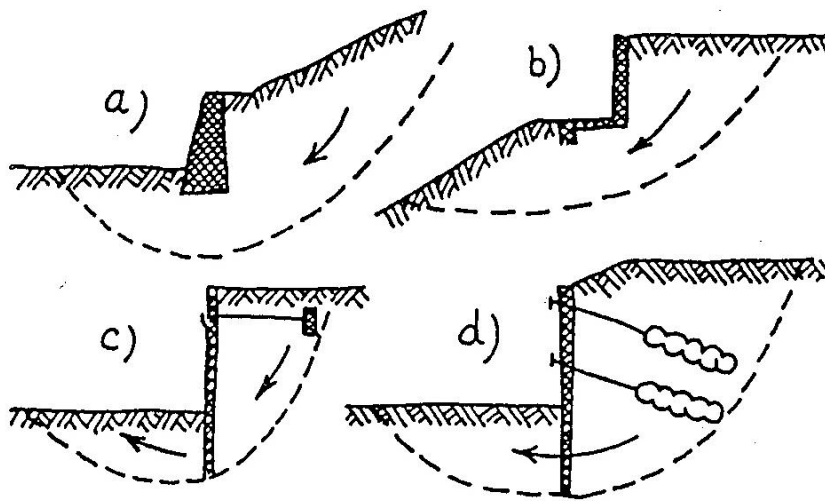
Zagreb, travanj 2012

Geotehničko inženjerstvo 7 - TI

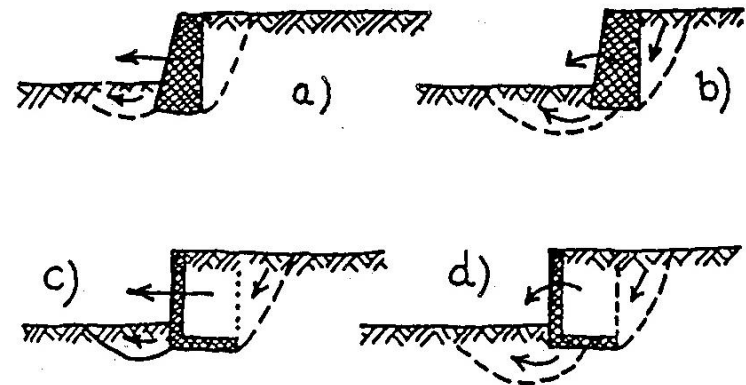


Granična stanja

Granična stanja nosivosti – “vanjska stabilnost”

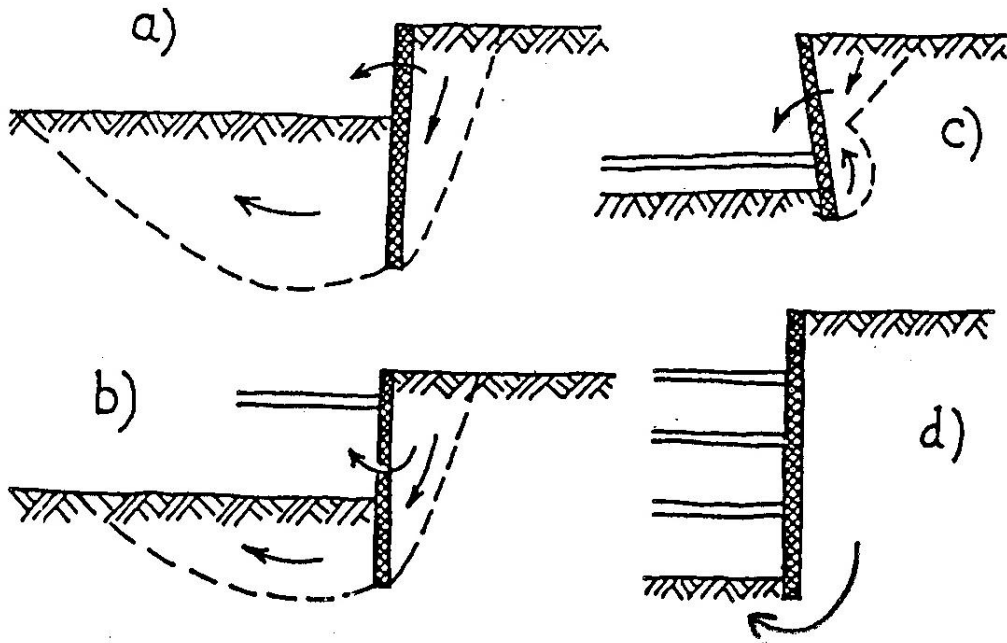


Slika 19. Primjeri graničnih stanja sloma tla za određivanje opće stabilnosti potpornih konstrukcija

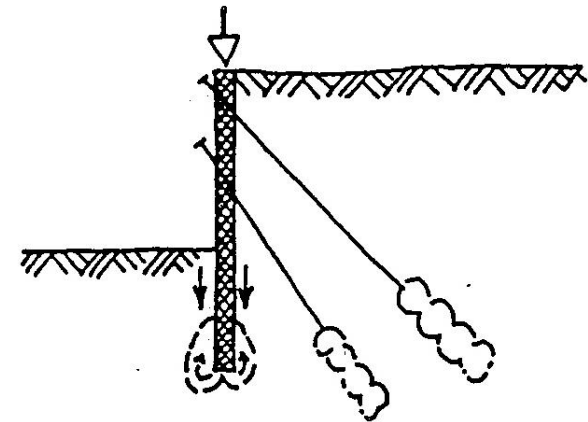


Slika 20. Primjeri graničnih stanja sloma temeljnog tla

Granična stanja nosivosti – “vanjska stabilnost”



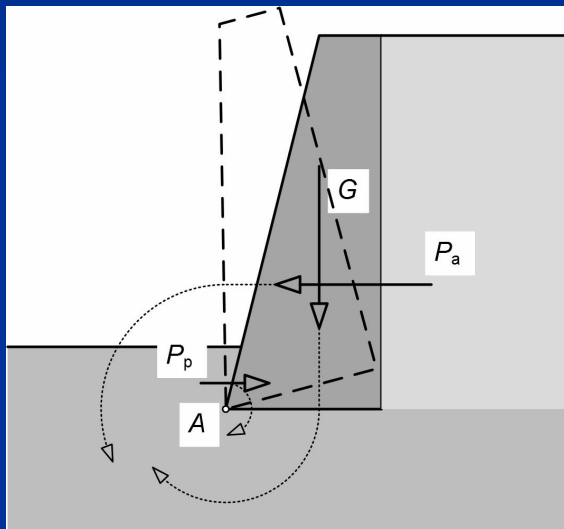
Slika 21. Primjeri graničnih stanja sloma tla izazvanog rotacijom potporne konstrukcije



Slika 22. Primjer vertikalnog sloma zagatne stijene

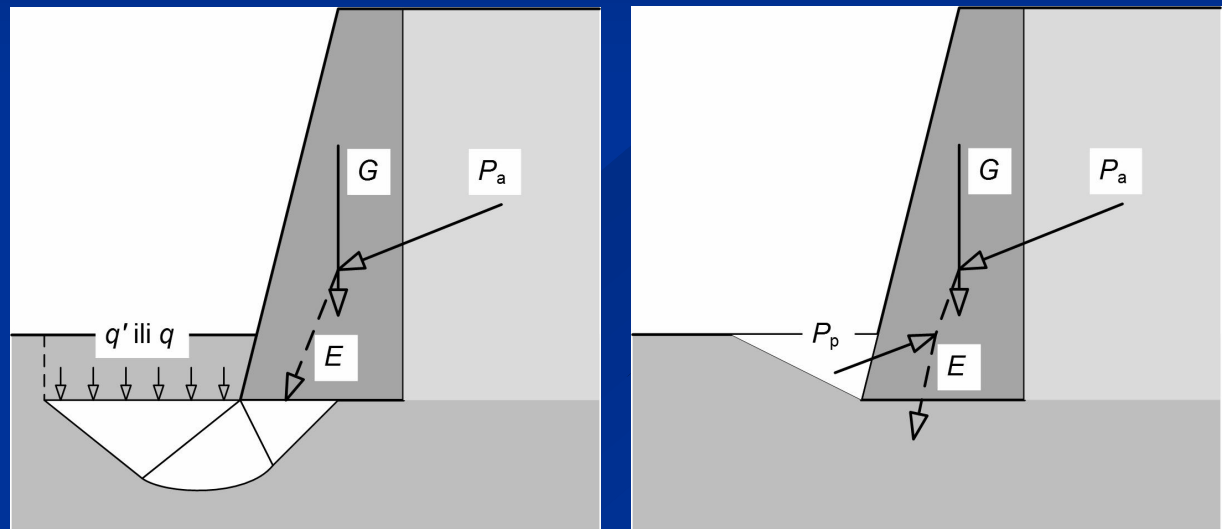
Granična stanja nosivosti – “vanjska stabilnost”

Prevrtnje zida



Slika 5-22 Granično stanje prevrtanja zida oko rubne točke temelja

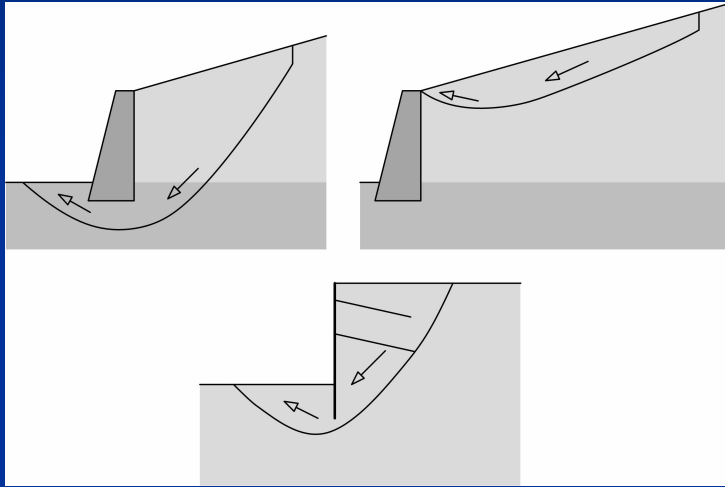
Nosivost tla ispod stope zida i klizanje zida po stopi



Slika 5-23 Nosivost tla ispod stope temelja (lijevo) i pasivni otpor ispred zida (desno)

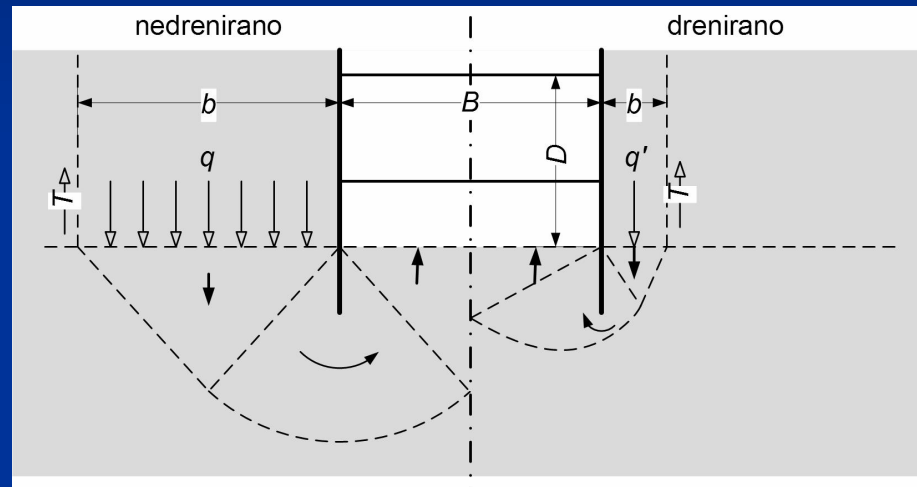
Granična stanja nosivosti – “vanjska stabilnost”

Globalna stabilnost



Slika 5-24 Moguća granična stanja globalne nestabilnosti tla kod potpornih konstrukcija

Stabilnost dna jame i hidraulički slom



Slika 5-25 Mehanizam sloma dna rova ili građevne jame osigurane od urušavanja razuprtom potpornom konstrukcijom; nedrenirano stanje (lijevo) i drenirano stanje (desno)

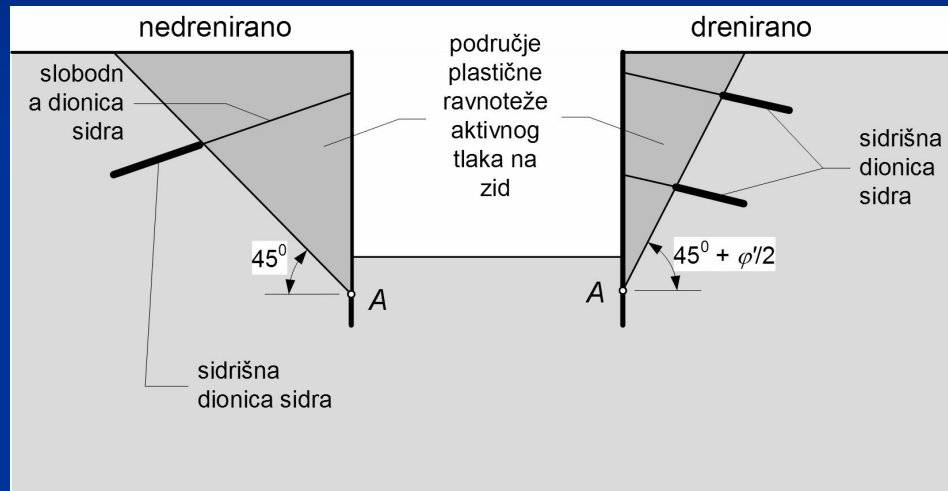
$$q - \frac{T}{b} = c_u N_c$$

$$N_c = 2 + \pi$$

$$D_{\text{slom dna}} = \frac{c_u N_c + \frac{T}{b}}{\gamma}$$

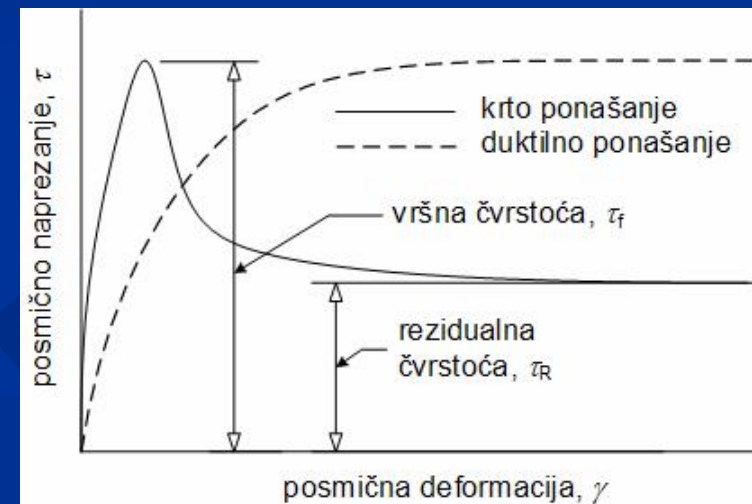
Granična stanja nosivosti – “vanjska stabilnost”

Položaj sidara



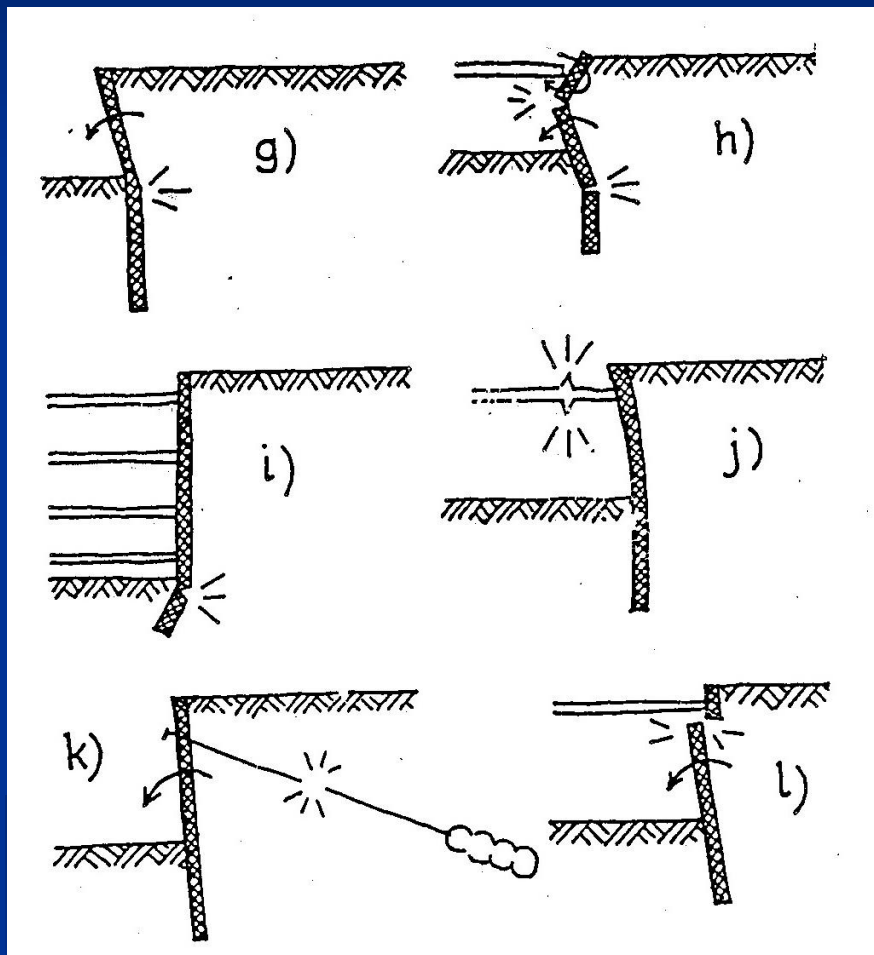
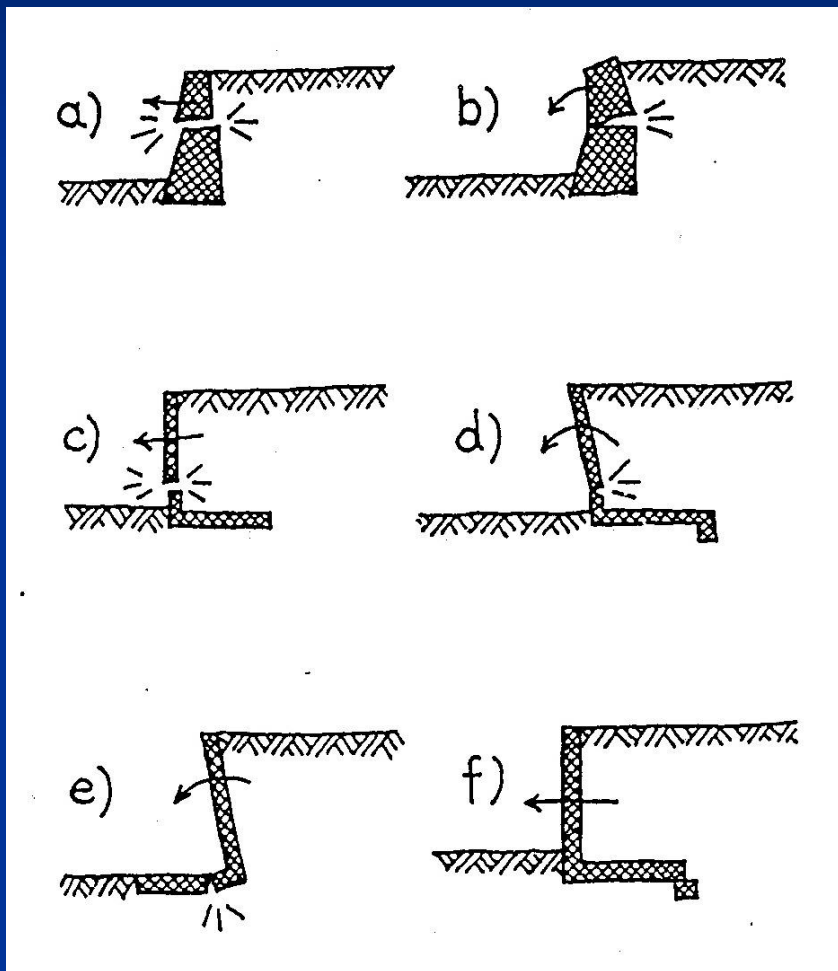
Slika 5-26 Preporučeni položaj sidara pri sidrenim potpornim konstrukcijama

Izbor parametara čvrstoće tla za granično stanje nosivosti



- Vršna – “kritična” - rezidualna čvrstoća
- Drenirano – nedrenirano stanje

Granična stanja nosivosti – “unutrašnja stabilnost” STR



Dimenzioniranje potpornih konstrukcija prema Eurokodu 7

Osnovni principi

Eurokod 7 traži da se provjeri pouzdanost konstrukcije

□ primjenom metode graničnih stanja

□ uz primjenu odgovarajućih parcijalnih koeficijenta na

- opterećenja,
- odgovarajuće parametre materijala i
- geometrijske podatke.

3 projektna pristupa

Zasipane potporne konstrukcije

- prevrtanje zida (granično stanje EQU),
- nosivost tla ispod temelja zida (GEO)
- klizanje temelja po tlu na temeljnoj plohi (GEO),
- globalna stabilnost (GEO),
- stabilnost samog tijela zida na svim kritičnim presjecima, što uključuje
 - nosivost poprečnih presjeka zida i njegovog temelja (nosivost nearmiranog ili armiranog betonskog presjeka i slično)
 - kao i stabilnost na sučeljima elemenata zida, kao što je klizanje i prevrtanje elemenata gabionskog zida na vodoravnim dodirnim plohamu među gabionima ili među blokovima zidova izgrađenih iz nepovezanih pred gotovljenih blokova (STR)

Dimenzioniranje potpornih konstrukcija prema Eurokodu 7

Ugrađene potporne konstrukcije

tipična granična stanja nosivosti

obzirom na koja treba provjeriti pouzdanost konstrukcije su :

- rotacijski slom (rotacija stijene zbog popuštanja pasivnog otpora tla, GEO)
- vertikalna stabilnost stijene (GEO),
- slom elemenata stijene (lom stijene od savijanja, pucanje slobodne dionice sidra, izvijanje i prestanak nosivosti razupore, čupanje sidrišne dionice sidra, izbijanje plitkih sidrišnih blokova, STR/GEO),
- hidraulički slom dna građevne jame (HYD),
- izdizanje dna jame zbog prevelikih vertikalnih pritisaka iza zida (GEO)
- te izdizanje konstrukcije ili njenog dijela zbog djelovanja uzgona (UPL)

Granična stanja uporabivosti mogu biti

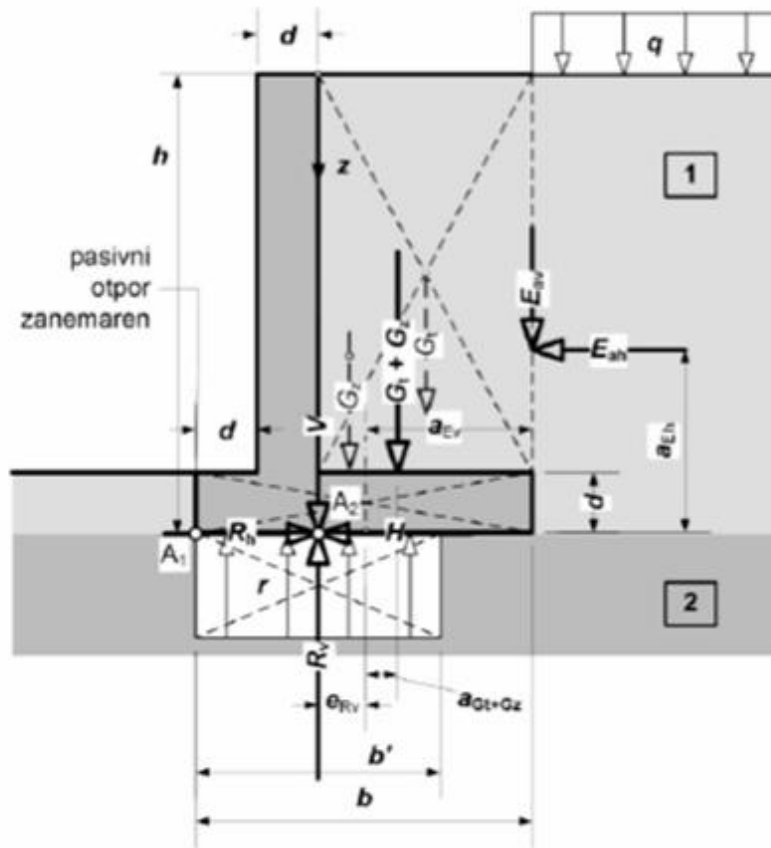
- preveliki pomaci stijene koji izazivaju pomake okolnog tla te neuporabivost okolnih građevina,
- preveliki pomaci koji nastaju tijekom izgradnje stijene,
- pomaci od promjene slike strujanja podzemne vode (na primjer slijeganja nastala prekomjernim crpljenjem vode ili sniženjem razine podzemne vode),
- nepovoljna promjena režima procjeđivanja u tlu i slično.

Sidra i razupore

- izvode se u prethodno napravljenim bušotinama (postoje “samobušiva” sidra)
- aktivna sidra – prednapinjanje, od visokovrijednog čelika
- Pasivna sidra – bez prednapinjanja, od “mekog” čelika
- povezivanje sa konstrukcijom, prijenos sila
- razupore – tlačni elementi

Sidrenja (EN 1997)

- Trajna sidra, privremena sidra
- Acceptance test - pokusi prihvatljivosti - **svako sidro do projektne nosivosti QC !**
- Suitability test – pokus podobnosti (potvrda podobnosti projektnih veličina i tehnologije u konkretnom profilu tla)
- Investigation test – “probna sidra” , određivanje nosivosti sidara
 - Granična stanja za pojedinačna sidra i grupe sidara (konstruktivni elementi sidra, kontakti zatege i injekcijske smjese, sidrišne dionica i tla, utjecaji pomaka i puzanja, opća stabilnost tla i potporne konstrukcije, utjecaj grupe sidara na tlo i susjedne konstrukcije
 - Određivanje projektne nosivosti – pokusi, dokumentirano usporedivo iskustvo
 - Materijali, pokusi, nadzor, monitoring - EN 1537:1999



Polazne veličine

zid:

$h, b, d, \gamma_{\text{beton}}$

tlo:

$\varphi', \gamma_{\text{tlo}}$

Primjer 5-1
 Provjera pouzdanosti
 zasipanog potpornog zida
 L presjeka prema EN 1997-1:2004

trenje zid/tlo	δ (obično 1/2 do 2/3 od φ_{cv} , ovisno o glatkoći temelja; φ_{cv} je efektivni kut trenja tla za kritično stanje kod kojeg pri smicanju tlo ne mijenja volumen; $\varphi_{cv} \leq \varphi'$)
prolazno opterećenje:	q (nepovoljno samo ako je iza stope zida, inače povoljno)
Parcijalni koeficijenti	
granično stanje EQU	trajna $\gamma_G = 0.9/1.1$; prolazna $\gamma_Q = 0.0/1.5$ $\gamma_{\varphi'} = 1.25$ (veće vrijednosti za stabilizirajuće, a manje za destabilizirajuće djelovanje)
granično stanje STR/GEO)	(K1) $\gamma_{\varphi'} = 1.00$ $\gamma_G = 1.0/1.35$, $\gamma_Q = 0.0/1.50$ (K2) $\gamma_{\varphi'} = 1.25$ $\gamma_G = 1.0$, $\gamma_Q = 0.0/1.30$
Pomoćne veličine	
reducirani φ' i $\tan \delta$ za (K2)	$\varphi'_r = \text{atan} \frac{\tan \varphi'}{\gamma_{\varphi'}}$, $\tan \delta_r = \frac{\tan \delta}{\gamma_{\varphi'}}$
koeficijent aktivnog tlaka	$K_{ah}(\varphi', \delta)$; prema Müller-Breslau ili EN 1997-1:2004
koeficijent mirnog tlaka	$K_o = 1 - \sin \varphi'$
reducirani K_{ahr} i K_{or} za (K2)	$K_{ahr} = K_{ah}(\varphi'_r, \delta_r)$, $K_{or} = K_o(\varphi'_r)$; prema istom izrazima kao K_{ah} i K_o
Sile i krakovi (karakteristične veličine)	
težina zida i tla iznad stope zida	$G = G_t + G_z$ (iz površina presjeka te jediničnih težina betona i tla)
krakovi	$a_{G_t+G_z}$ (iz je dnakosti sume momenata komponenti i momenta rezultante), $a_{E_v} = \frac{b}{2}$
Proračun horizontalnog opterećenja	
Horizontalni tak na vertikalnom presjeku kroz tlo	$\sigma_{zh} = (\gamma_G \gamma_{D_0} z + \gamma_Q q) K$, za K : reducirani ili ne reducirani

koeficijent aktivnog tlaka ili tlaka mirovanja, ovisno o mogućnosti horizontalnih pomaka i parcijalnim koeficijentima

Napomena 1: površinsko opterećenje je prolazno i proizvoljnog položaja pa je uzeto u obzir samo na dijelu površine terena gdje daje nepovoljan utjecaj.

Granično stanje EQU - proračun pouzdanosti za prevrtanje zida oko točke A₁

Horizontalna komponenta tlaka	$\sigma_{ah} = (1.1\gamma_{tlo}z + 1.5q)K_{ahr}$ (trapezno opterećenje)
Sila aktivnog tlaka E _{ah}	$E_{ahr} = \frac{1}{2}(1.5q + 1.1\gamma_{tlo}h + 1.5q)hK_{ahr}$, a _{gh} iz težišta trapeznog opterećenja
Sila aktivnog tlaka E _{xv}	$E_{xv} = E_{ah} \tan \delta$
Destabilizirajući učinak	$E_{dst:d} = E_{ah} a_{gh}$ (moment oko točke A ₁)
Stabilizirajući učinak	$E_{stb:d} = 0.9 [E_{xv}b + (G_t + G_z)(\frac{b}{2} + a_{G_t+G_z})]$
<u>Provjera pouzdanosti za EQU</u>	pouzdana ako $E_{dst:d} \leq E_{stb:d}$, u suprotnom nepouzdana, treba mijenjati dimenzije zida.

Granično stanje GEO - nosivost tla ispod temelja zida

Kombinacija 1 (K1)

Sile E _{ah} i E _{xv}	$E_{ah} = \frac{1}{2}(1.5q + 1.35\gamma_{tlo}h + 1.5q)hK_{ah}$ $E_{xv} = E_{ah} \tan \delta$
Proračunske sile V _d i H _d u točki A ₂	$V_d = 1.35(G_t + G_z) + E_{xv}$ (parcijalni koeficijenti su već u veličini E _{xv}) $H_d = E_{ah}$ (parcijalni koeficijenti su već u veličini E _{xv})
Vertikalna otpornost tla ispod temelja (R _v)	
ekscentricitet sile V _d	$e_{Rv} = \frac{1.35(G_t + G_z)a_{G_t+G_z} + \frac{E_{xv}b}{2} - E_{ah}a_{gh}}{V_d}$ (iz momenata na točku A ₂)

reducirana širina temelja
nosivost tla (plitki temelj)

$$b' = b - 2e_{Rv}$$

$$q'_t = \gamma_{tlo} d N_q(\varphi') i_q(H_d, V_d) + \frac{1}{2} \gamma_{tlo} b' N_\gamma(\varphi') i_\gamma(H_d, V_d)$$

$$R_v = q'_t b'$$

Provjera pouzdanosti za kombinaciju K1: ako je $V_d \leq R_d$, temelj je pouzdan obzirom na promatrano granično stanje nosivosti, u suprotnom treba mijenjati dimenzije temelja zida.

Kombinacija 2 (K2)

Sile E_{ah} i E_{av}

$$E_{ah} = \frac{1}{2} (1.3q + 1.0\gamma_{tlo} h + 1.3q) h K_{ahtr}$$

$$E_{av} = E_{ah} \tan \delta_r$$

Proračunske sile V_d i H_d u točki A_2

$$V_d = 1.0(G_1 + G_2) + E_{av} \quad (\text{parcijalni koeficijenti su već u veličini } E_{av})$$

$$H_d = E_{ah} \quad (\text{parcijalni koeficijenti su već u veličini } E_{av})$$

Vertikalna otpornost tla ispod temelja (R_v)

ekscentricitet sile V_d

$$e_{Rv} = \frac{1.0(G_1 + G_2) a_{gr-0.2} + \frac{E_{av} b}{2} - E_{ah} a_{gh}}{V_d} \quad (\text{iz momenta na točku } A_2)$$

reducirana širina temelja
nosivost tla (plitki temelj)

$$b' = b - 2e_{Rv}$$

$$q'_t = \gamma_{tlo} d N_q(\varphi_r') i_q(H_d, V_d) + \frac{1}{2} \gamma_{tlo} b' N_\gamma(\varphi_r') i_\gamma(H_d, V_d)$$

$$R_v = q'_t b'$$

Provjera pouzdanosti za kombinaciju K2: ako je $V_d \leq R_d$, temelj je pouzdan obzirom na promatrano granično stanje nosivosti, u suprotnom treba mijenjati dimenzije temelja zida.

Napomena 2: u većini slučajeva za odabir dimenzija temelja zida mjerodavna je kombinacija K2, ali to ne mora uvijek biti slučaj pa treba provjeravati obje kombinacije, K1 i K2.

Napomena 3: Eurokod 7 ne ograničava veličinu ekscentriciteta (osim očite granice $e_{Rv} \leq \frac{b}{2}$), ali traži za

$e_{Rv} \leq \frac{b}{3}$ posebnu pažnju koja se sastoji iz posebno pažljivog pregleda proračunskih sila te uzimanje u obzir (ili de finiranja) dopuštenih toleranci geometrijskih veličina temelja pri izvedbi (ako drugačije nije određeno u takvim slučajevima širinu temelja treba računski smanjiti sa svake strane za barem $\Delta a = 0.1$ m pa je proračunska širina temelja tada $b_d = b - 2\Delta a$.)

Granično stanje GEO - klizanje temelja

Proračunsko normalno opterećenje (V_d) i proračunsko horizontalno opterećenje (H_d)

Obzirom da je težina zida i tla iznad stope nezavisna veličina od aktivnog tlaka, potrebno je prema Eurokodu 7-1 izabrati nepovoljniju kombinaciju vertikalnog i horizontalnog opterećenja.

Horizontalna i vertikalna komponenta aktivnog tlaka su povezane pa „faktoriziranje“ jedne povlači i „faktoriziranje“ druge.

Kombinacija 1 (K1)

Sile E_{zh} i E_{zv}

$$E_{zh} = \frac{1}{2}(1.5q + 1.35\gamma_{tlo}h + 1.5q)hK_{zh}$$

$$E_{zv} = E_{zh} \tan \delta$$

Proračunske sile V_d i H_d u točki A_2

$$V_d = 1.0(G_1 + G_2) + E_{zv} \quad (\text{parcijalni koeficijenti su već u veličini } E_{zv})$$

$$H_d = E_{zh} \quad (\text{parcijalni koeficijenti su već u veličini } E_{zv})$$

Otpornost na klizanje

$$R_h = V_d \tan \delta_r$$

Provjera pouzdanosti za kombinaciju K1: ako je $H_d \leq R_d$ temelj je pouzdan obzirom na promatrano granično stanje nosivosti, u suprotnom treba mijenjati dimenzije temelja zida.

Kombinacija 2 (K2)

Sile E_{zh} i E_{zv}

$$E_{zh} = \frac{1}{2}(1.3q + 1.0\gamma_{tlo}h + 1.3q)hK_{zhr}$$

$$E_{zv} = E_{zh} \tan \delta_r$$

Proračunske sile V_d i H_d u točki A_2 $V_d = 1.0(G_1 + G_2) + E_{zv}$ (parcijalni koeficijenti su već u veličini E_{zv})

$H_d = E_{zh}$ (parcijalni koeficijenti su već u veličini E_{zv})

Otpornost na klizanje $R_h = V_d \tan \delta_r$

Provjera pouzdanosti za kombinaciju K2: ako je $H_d \leq R_d$, temelj je pouzdan obzirom na promatrano granično stanje nosivosti, u suprotnom treba mijenjati dimenzije temelja zida.

Napomena 4: u slučaju tla s kohezijom, koheziju treba zanemariti; u slučaju nedreniranog stanja treba računati samo s reduciranom površinom A' u proračunu R_h .

Napomena 4: Kombinacija K1 obično kritičnija, ali u slučaju nedoumice treba računati s obje kombinacije.

Granično stanje STR/GEO – nosivost presjeka zida

Za razmatrani tip zida kritični presjeci konstrukcije, to jest oni s najvećim momentom savijanja su onaj u korijenu zida i u korijenu desnog konzolnog dijela temelja zida. Dok je za konzolni dio temelja zida relativno jasno određivanje momenta savijanja jer su poznata opterećenja (vertikalni pritisak stupca tla i reaktivno jednoliko podijeljeno opterećenje r na temeljnoj plohi), dotle je složenija situacija sa samim vertikalnim zidom. Bez složenog proračuna interakcije zida i tla, raspodjela pritisaka na vertikalni dio zida ne može se pouzdano odrediti. Međutim, mogu se zaključiti neke granične veličine tih pritisaka. Na vrhu zida, tlak je vjerojatno blizu aktivnog. Na dnu zida, gdje vlada trenje između tla i gornje plohe temelja, tlak je vjerojatno blizu vrijednosti tlaka mirovanja. Ovdje će se pretpostaviti da se prosječno za čitavu visinu vertikalne konzole tlak tla može izračunati kao srednja vrijednost aktivnog tlaka i tlaka mirovanja. Za vjerovati je da će takav proračun biti na strani sigurnosti (ukoliko je inženjer u dvojbi, mora se prikloniti konzervativnijem rješenju pa pretpostaviti da je po čitavoj visini tlak na zid jednak tlaku mirovanja.) Kako je za dimenzioniranje unutarnjih sila u presjecima konstrukcije obično mjerodavnija kombinacija 1 (K1) ovdje će se prikazati proračun samo za tu kombinaciju i to za mjesto korijena vertikalne konzole zida.

Horizontalna sila (E_{zh})
$$E_{zh} = \frac{1}{4} (1.5q + 1.35\gamma_{tlo}(h - d) + 1.5q)(h - d)(K_{zh} + K_0)$$

Proračunski moment savijanja
u korijenu konzole zida
Otpornost presjeka na savijanje

$$M_d = E_{ah}(a_{eh} - d)$$

R_d treba proračunati prema pravilima
dimenzioniranja armirano-betonskih presjeka prema Eurokodu 2
(provjera debljine presjeka zida i izbor potrebne armature.)

Provjera pouzdanosti za kombinaciju K1: ako je $M_d \leq R_d$, temelj je pouzdan obzirom na promatrano
granično stanje nosivosti, u suprotnom treba mijenjati dimenzije temelja zida.

Komentar

Ovdje je prikazan jedan vrlo jednostavan primjer radi jednostavnijeg oslikavanja primjene provjere
pouzdanosti potporne konstrukcije prema Eurokodu 7. Primjer ne oslikava tipičan slučaj iz prakse u kojem
bi se vjerojatno pojavili različita tla iza i ispod zida, podzemna voda, utjecaj zbijanje tla iza zida, složeniji
oblik zida i možda dodatne proračunske situacije.

