

Sveučilište u Zagrebu

Građevinski fakultet

Diplomski sveučilišni studij

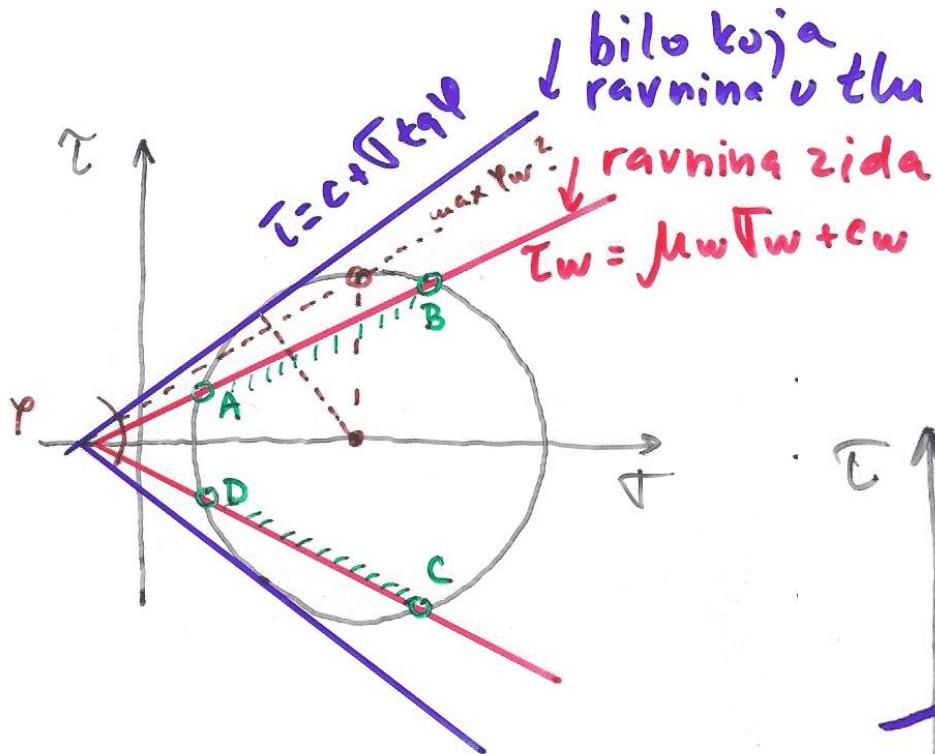
Smjer: **GEOTEHNIKA**

Nasute i potporne građevine 10

Prof. dr. sc. Tomislav Ivšić
Građevinski fakultet Zagreb

Pritisak tla na zidove i granična stanja

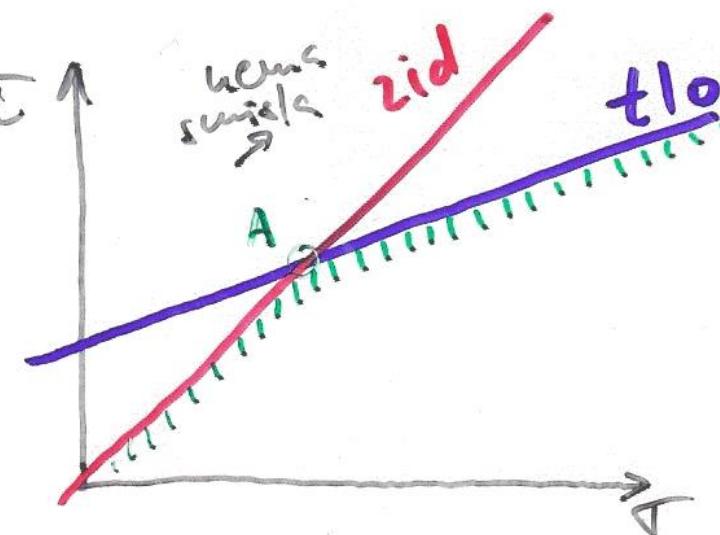
Utjecaj trenja između zida i tla



$$\tau_w = f(\sigma_w) = \mu_w \sigma_w + c_w$$

$$\mu_w = \text{koef. trenja} = \tan \varphi_w$$

$$c_w = \text{adhezija}$$

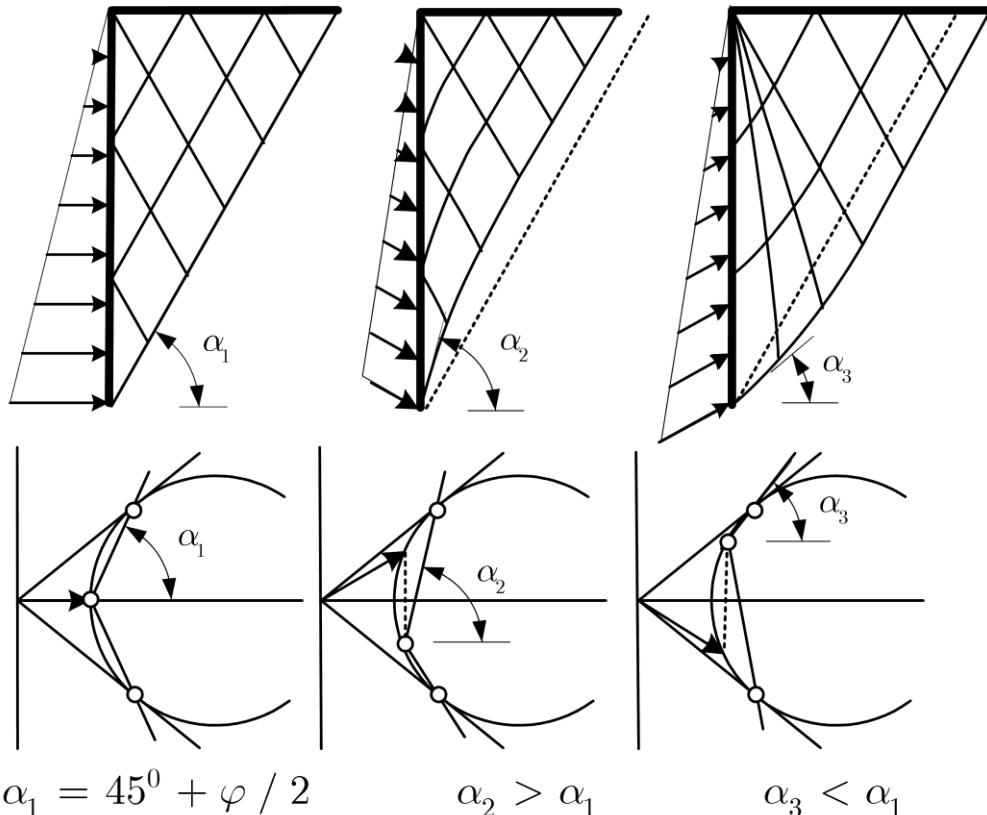


$$\varphi_w = \varphi \text{ tla} - \text{"potpuno hrapav zid"}$$

$$\max \varphi_w \text{ kad je } \tan \varphi_w = \sin \varphi \text{ tla}$$

Pritisak tla na zidove i granična stanja

Utjecaj trenja između zida i tla



Utjecaj trenja na zakrivljenost kliznih ploha u plastificiranoj aktivnoj zoni tla iza zida s prikazom određivanja smjera kliznih ploha pomoću Mohrove analize naprezanja za točke na sučelju poleđine zida i tla; slično vrijedi i za pasivno stanje, samo je utjecaj obratan

Pritisak tla na zidove i granična stanja

Utjecaj trenja između zida i tla

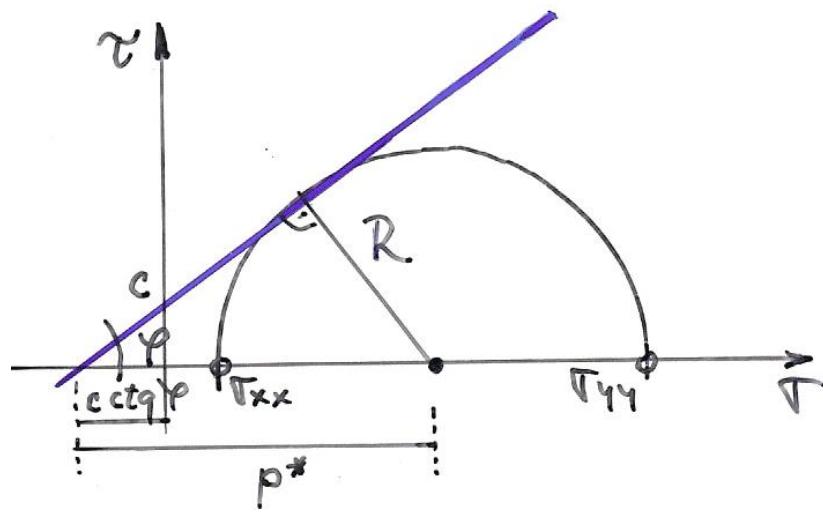
Tablica 5-4 Preporučene vrijednosti parametara trenja između zida i tla

slučaj	drenirani uvjeti		nedrenirani uvjeti	
	c'_w	δ'	c_w	δ
hrapavi zid, izliven u tlu	0 (EC7)	φ' (EC7)	$\frac{1}{2} c_u$	0
glatki zid, pred gotovljen	0 (EC7)	do $\frac{2}{3} \varphi'$ (EC7)	$\frac{1}{2} c_u$	0
zabijene talpe, neposredno nakon zabijanja	-	-	0 (EC7)	0 (EC7)

$$\tau_{f; \text{zid}} = c'_w + \sigma' \tan \delta' \quad (5.45)$$

Pritisak tla na zidove i granična stanja

Koherentni materijali



$$\Gamma_{yy} = \gamma \cdot z = p^* + R - c \operatorname{ctg} \varphi$$
$$\Gamma_{xx} = \Gamma_A = p^* - R - c \operatorname{ctg} \varphi$$
$$R = p^* \sin \varphi$$

$$\Gamma_A = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \cdot \gamma \cdot z - 2c \frac{\cos \varphi}{1 + \sin \varphi}$$

$$\Gamma_A = K_A \cdot \gamma \cdot z - 2c \sqrt{K_A}$$

iz uvjeta $\Gamma_A = 0 \rightarrow$ kritična dubina $z_c = \frac{2c}{\gamma \sqrt{K_A}}$

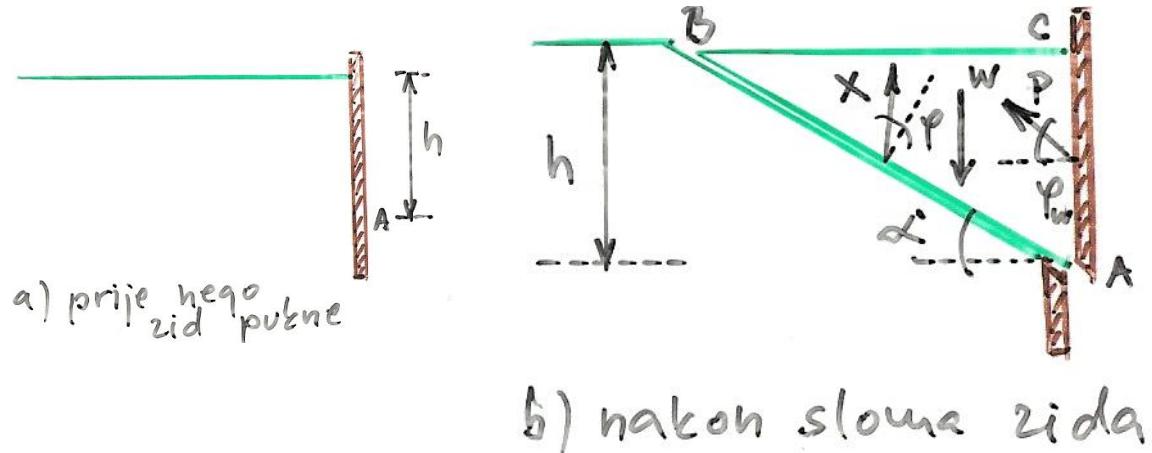
kritični kut θ u ugiba pokosa (stabilnog) $\frac{\gamma \cdot h}{2c} = \frac{2 \sin \theta \cos \varphi}{1 - \cos(\theta - \varphi)}$

Pritisak tla na zidove i granična stanja

Coulombova metoda (blokovi)



Coulomb 1736-1806
Objavljeno 1773.



$$\sum H = 0 \quad P \cos \varphi = x \sin(\alpha - \varphi)$$

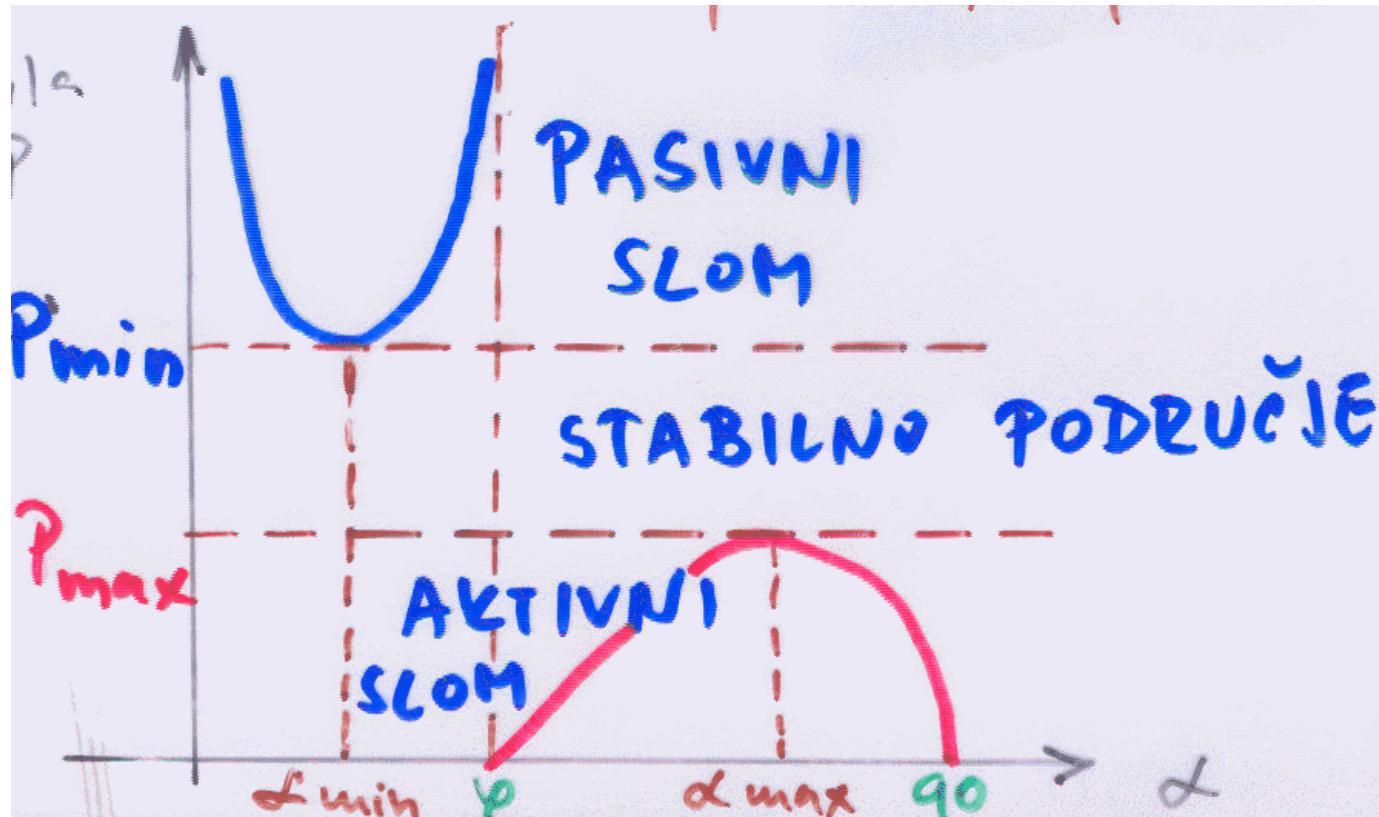
$$\sum V = 0 \quad P \sin \varphi + x \cos(\alpha - \varphi) = W$$

$$P \cos \varphi = \frac{g h^2}{2} \frac{\operatorname{ctg} \alpha}{\operatorname{tg} \varphi + \operatorname{ctg}(\alpha - \varphi)} = g \frac{h^2}{2} \cdot f(\alpha)$$

(hor. kompl.)

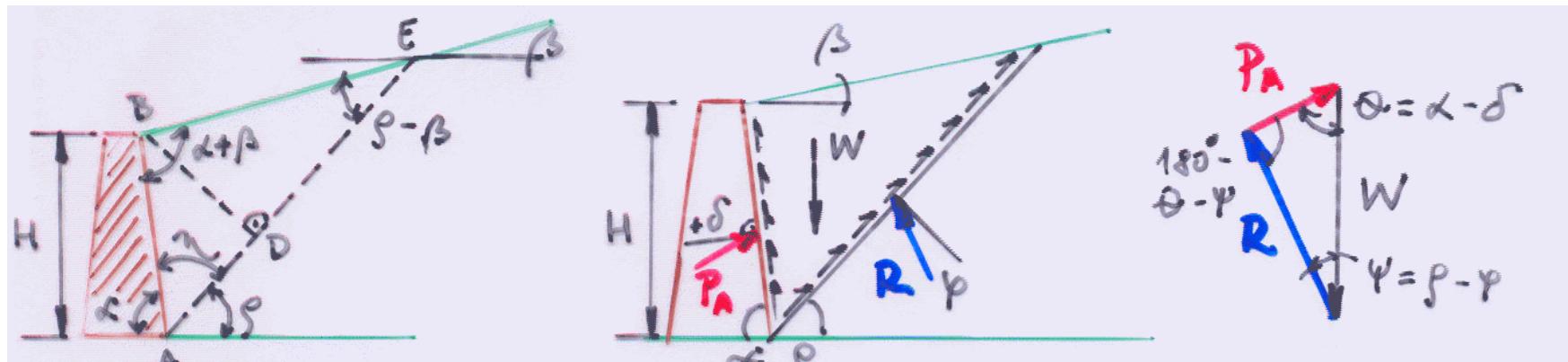
Pritisak tla na zidove i granična stanja

Coulombova metoda (blokovi)



Pritisak tla na zidove i granična stanja

Proširenje Coulombove teorije: Müller-Breslau



$$W = (ABE) \times \gamma \times 1.00 = \frac{\gamma \cdot H^2}{2 \sin^2 \alpha} \left[\sin(\alpha + \beta) \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\sin(\phi - \beta)} \right]$$

$$P_A = W \cdot \frac{\sin(\phi - \psi)}{\sin(180 - \delta - \phi + \psi + \delta)}$$

$$P_A = \frac{\gamma H^2}{2 \sin^2 \alpha} \left[\sin(\alpha + \beta) \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\sin(\phi - \beta)} \right] \frac{\sin(\phi - \psi)}{\sin(180 - \alpha - \phi + \psi + \delta)}$$

$$\frac{d P_A}{d \phi} = 0$$

$$\max_{\phi} \frac{P_A}{P} = \frac{\gamma H^2}{2} \frac{\sin^2(\alpha + \psi)}{\sin^2 \alpha \sin(\alpha - \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \beta)}{\sin(\alpha + \delta) \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2}$$

Pritisak tla na zidove i granična stanja

Teorije plastičnosti: Kötterove jednadžbe, radovi Kerisela i Absia i teoremi gornje i donje granice

Kötter 1888 –jednadžbe plastične ravnoteže

Caquot i Kerisel 1948 – numerička rješenja Bousinesquove jednadžbe

Kerisel i Absi (1990) – tabelarna rješenja za korištenje

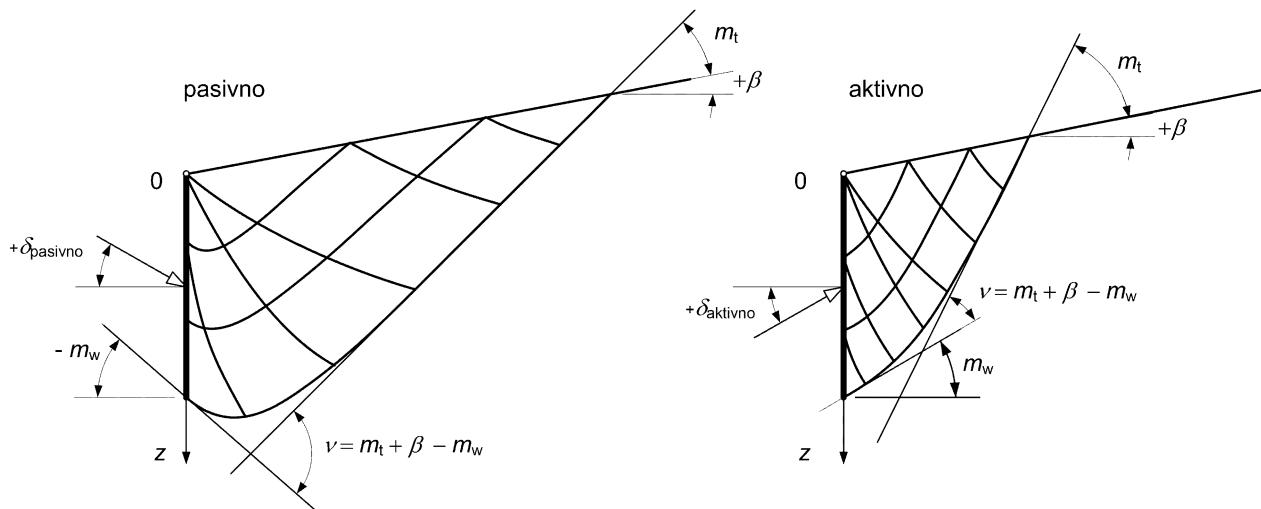
Teorem donje granice – **polje naprezanja**

Teorem gornje granice – **mehanizam, pomaci, rad sila**

Pritisak tla na zidove i granična stanja

Granični pritisci prema Eurokodu 7

Definicija veličina i predznaka za proračun pasivnog otpora (lijevo) i aktivnog tlaka (desno) prema EN 1997-1:2004 prema Kersisel i Absi (1990)



$$m_t = \frac{1}{2} \left[\cos\left(-\frac{\sin \beta}{\sin \varphi'}\right) - \varphi' - \beta \right]$$

$$m_w = \frac{1}{2} \left[\cos\left(\frac{\sin \delta}{\sin \varphi'}\right) - \varphi' - \delta \right]$$

$$\nu = m_t + \beta - m_w$$

Koefficijent horizontalne komponente tlaka

AKT: $-\delta, -\varphi'$ PAS: $+\delta, +\varphi'$

$$K_h = (\cos^2 \beta) \frac{1 + \sin \varphi' \sin(2m_w + \varphi')}{1 - \sin \varphi' \sin(2m_t + \varphi')} e^{2\nu \tan \varphi'}$$

Aktivni tlak - efektivni

$$\sigma_{ah}'(z) = K_{ah} p_v'(z) - 2c' \sqrt{K_{ah} \left(1 + \frac{c'_w}{c'}\right)}$$

Pasivni otpor - efektivni

$$\sigma_{ph}'(z) = K_{ph} p_v'(z) + 2c' \sqrt{K_{ph} \left(1 + \frac{c'_w}{c'}\right)}$$

Efektivni pritisak nad sloja

$$p_v'(z) = \int_0^z \gamma dz + q - u$$

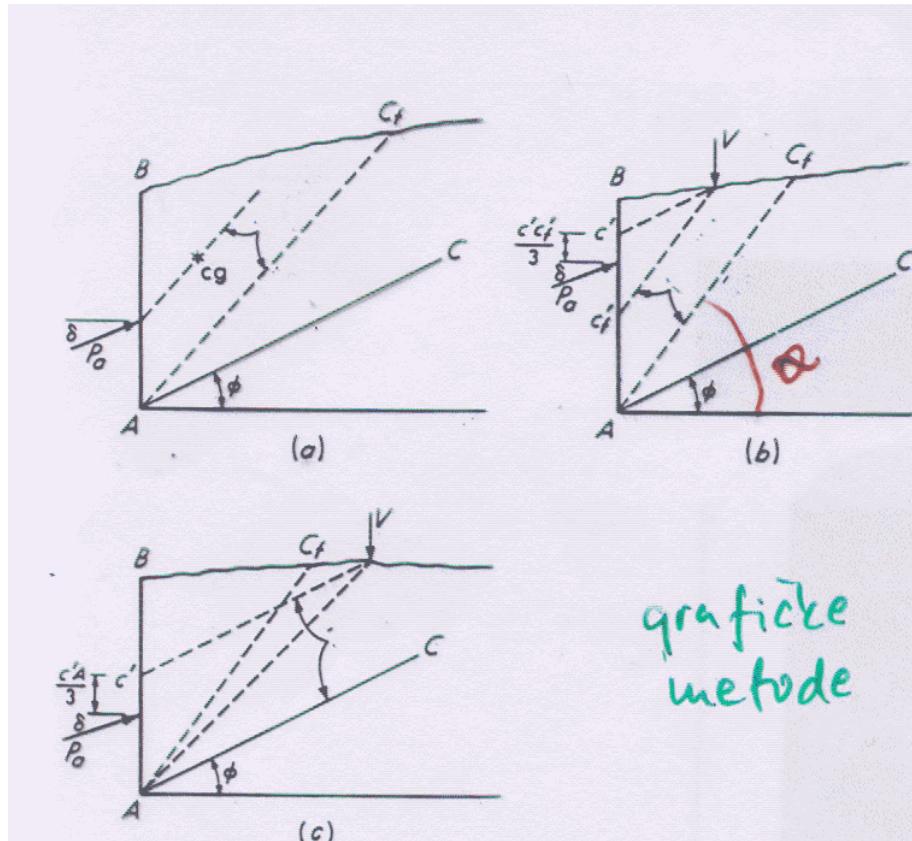
Za nedrenirano stanje:

$$\sigma_{ah}(z) = \left(\int_0^z \gamma dz + q \right) - 2c_u \sqrt{1 + \frac{c_w}{c_u}}$$

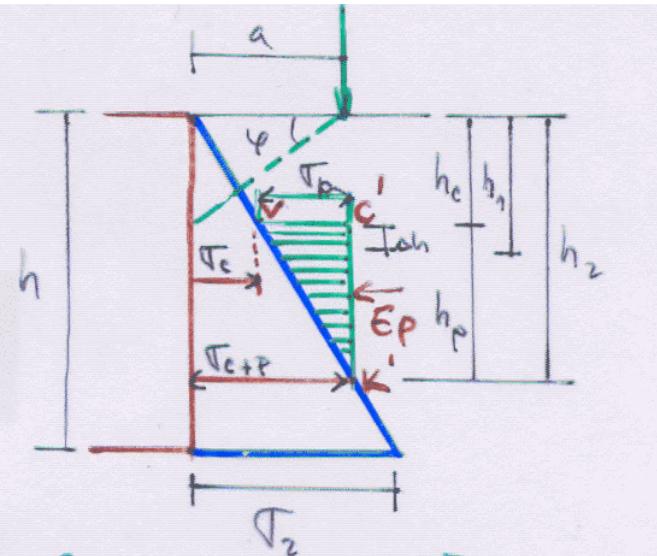
$$\sigma_{ph}(z) = \left(\int_0^z \gamma dz + q \right) + 2c_u \sqrt{1 + \frac{c_w}{c_u}}$$

Pritisak tla na zidove i granična stanja

Dodatno opterećenje na površini terena – **granična stanja**



grafičke
metode



Schultzeovo rješenje za
koncentriranu silu
$$\tilde{E}_p = P \cdot \frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\sin(\alpha - \varphi - \delta)}$$

Pritisak tla na zidove i granična stanja

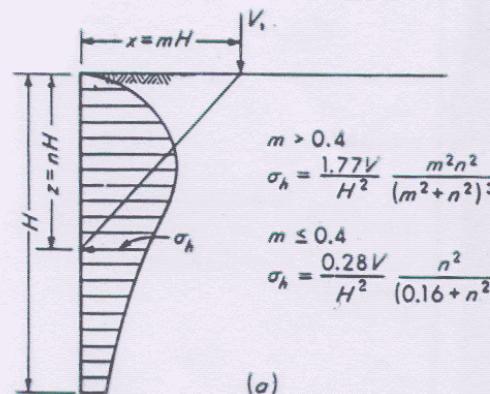
Dodatno opterećenje na površini terena – teorija elastičnosti

prema Boussinesqovom rješenju

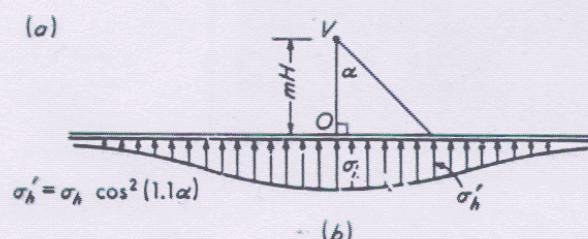
$$VZ \quad x = mH, \quad z = nH \quad i \quad \mu = 0.5$$

$$\Gamma_h = \frac{Q}{2\pi H^2} \frac{m^2 n}{(m^2 + n^2)^{5/2}}$$

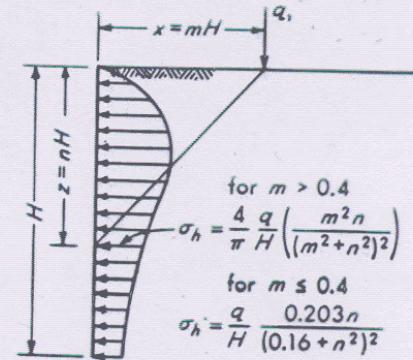
→ mora se konzervativno
prema empirijskim
mjerenuima i podacima



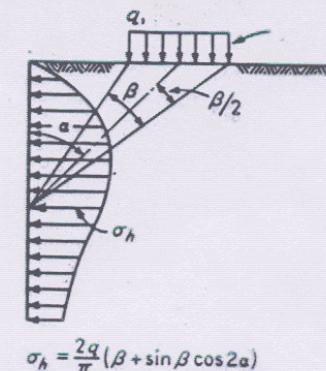
KONCENTRIRANA
SILA
(konzervativno)



LINIJSKO OPTERECENJE



TRAKASTO OPT.



Drugi utjecaji na pritiske na zidove

Utjecaj podzemne vode i procjeđivanja, dreniranje i hidraulički slom

- Hidrostatski tlak : $u = \gamma_w z$
- Sila strujnog tlaka (kod procjeđivanja – tečenja vode)
- djelovanje na efektivnu težinu tla – uzgon + sila strujnog tlaka

$$\vec{\gamma}' = \vec{\gamma} - \vec{\gamma}_w + \vec{i}|\vec{\gamma}_w| = \vec{\gamma}_b + \vec{i}|\vec{\gamma}_w| \quad \text{Volumenske sile !!}$$

$\vec{\gamma}'$ - vektor efektivne jedinične težine tla

$\vec{\gamma}$ - vektor jedinične težine tla

$\vec{\gamma}_w$ - vektor jedinične (specifične) težine vode

$\vec{i} = \overrightarrow{\text{grad } h}$ - gradijent (vektor) hidrauličkog potencijala h

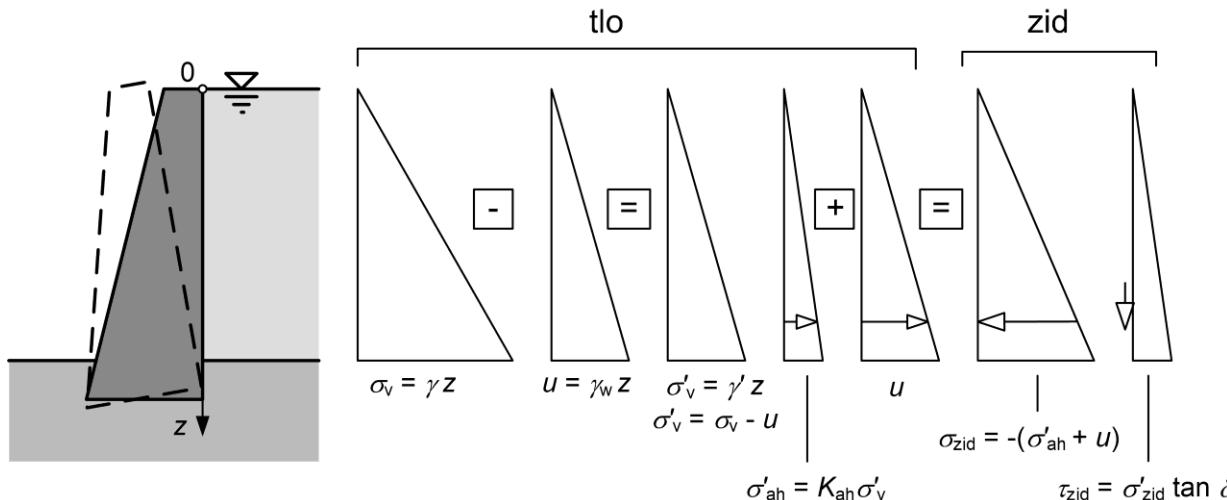
$\vec{\gamma}_b = \vec{\gamma} - \vec{\gamma}_w$ - vektor uronjene jedinične težine tla

Ukupni normalni pritisak na zid $\sigma_{\text{zid}} = -\sigma = -(\sigma' + u)$

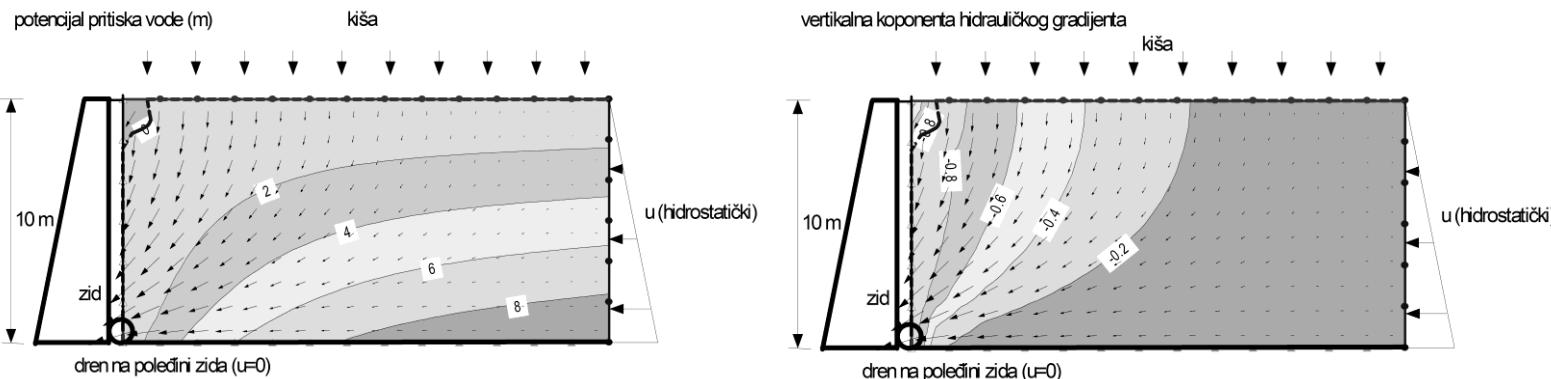
Posmično djelovanje na zid $\tau_{\text{zid}} = -\tau$

Drugi utjecaji na pritiske na zidove

Utjecaj podzemne vode i procjeđivanja, dreniranje i hidraulički slom



Proračun i raspodjela pritisaka tla na gravitacijski zid za aktivno stanje plastične ravnoteže kad je podzemna voda u hidrostatickom stanju s razinom na površini terena iza zida



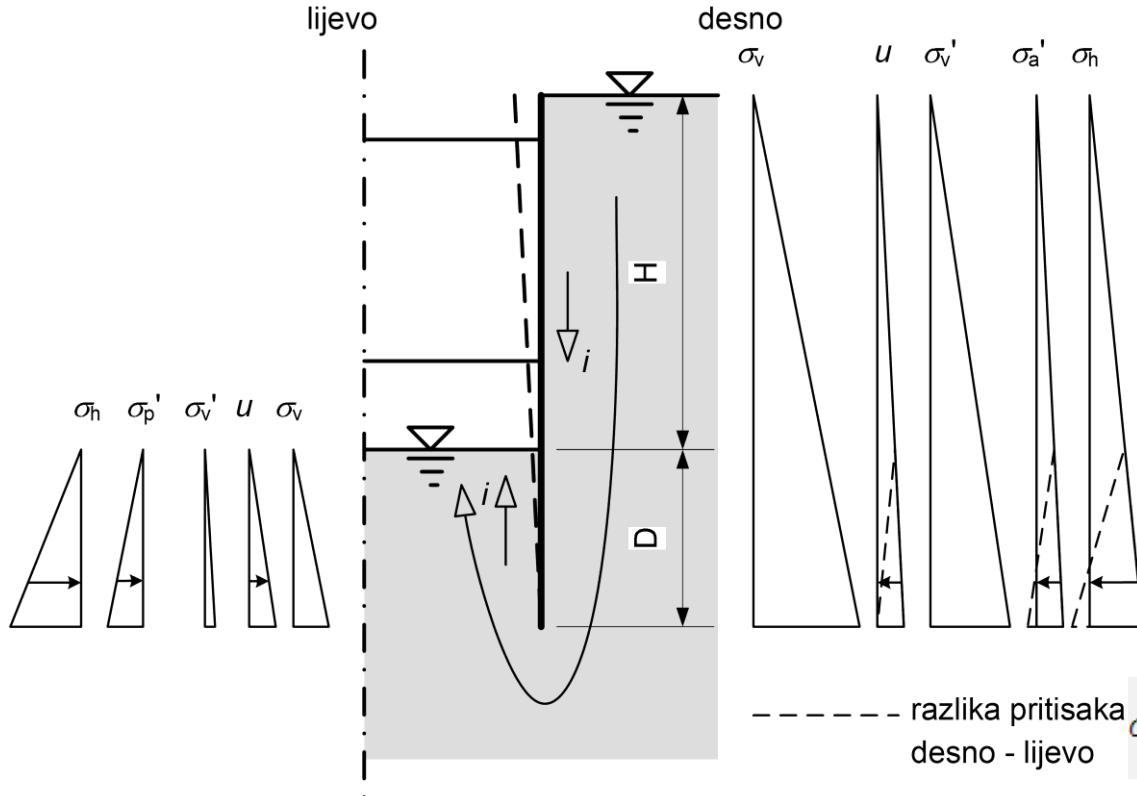
Učinak drena na poleđini gravitacijskog betonskog zida:

potencijali pritiska ili piezometarci potencijali (gore) i vertikalne komponente hidrauličkog gradijenta, (dolje)

Drugi utjecaji na pritiske na zidove

Utjecaj podzemne vode i procjeđivanja, dreniranje i hidraulički slom

DESNO



$$\sigma_{v\text{desno}}(z) = \int_0^z \gamma dz + q \quad i = \frac{\Delta h}{L} = \frac{H}{H+2D}$$

$$u_{\text{desno}}(z) = \int_0^z (\gamma_w - i\gamma_w) dz$$

$$\begin{aligned} \sigma'_{v\text{desno}}(z) &= \sigma_{v\text{desno}}(z) - u_{\text{desno}}(z) = \int_0^z \gamma' dz + q \\ &= \int_0^z (\gamma_b + i\gamma_w) dz + q \end{aligned}$$

$$\sigma'_{a\text{desno}}(z) = \sigma'_{v\text{desno}}(z) K_{ah}$$

$$\sigma_{h\text{desno}}(z) = \sigma'_{a\text{desno}}(z) + u_{\text{desno}}(z)$$

LIJEVO

----- razlika pritisaka
desno - lijevo

$$\sigma_{v\text{ljevo}}(z') = \int_0^{z'} \gamma dz' \quad u_{\text{ljevo}}(z') = \int_0^{z'} (\gamma_w + i\gamma_w) dz'$$

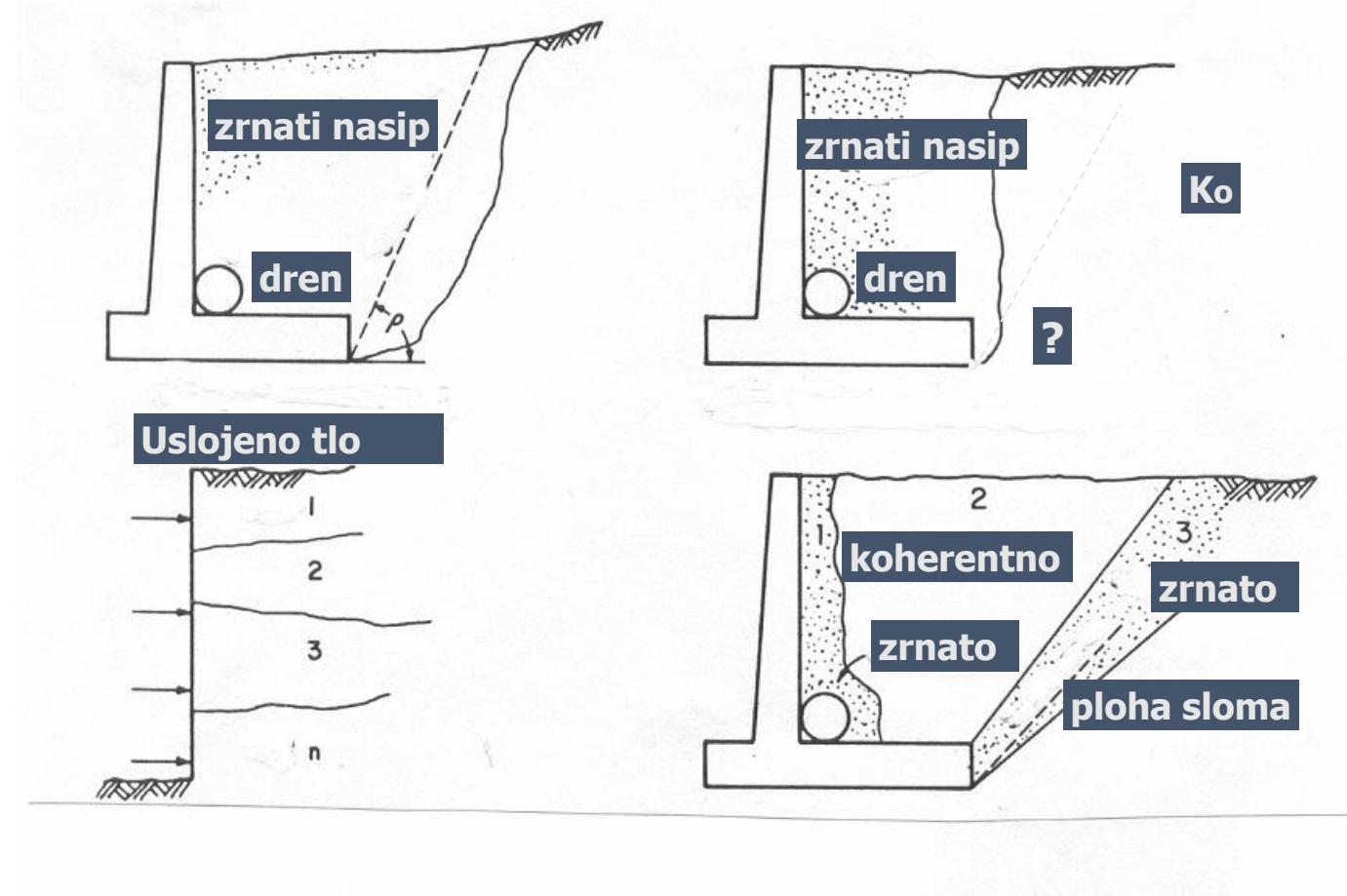
$$\sigma'_{v\text{ljevo}}(z') = \sigma_{v\text{ljevo}}(z') - u_{\text{ljevo}}(z') = \int_0^{z'} \gamma' dz' = \int_0^{z'} (\gamma_b - i\gamma_w) dz'$$

$$\sigma'_{p\text{ljevo}}(z') = \sigma'_{v\text{ljevo}}(z') K_{ph} \quad \sigma_{h\text{ljevo}}(z') = \sigma'_{p\text{ljevo}}(z') + u_{\text{ljevo}}(z')$$

HIDRAULIČKI SLOM (lijevo) $\gamma' \leq 0$ EC7: $1.35 \mu \ll 0.9 \phi_s$

Pritisak tla na zidove i granična stanja

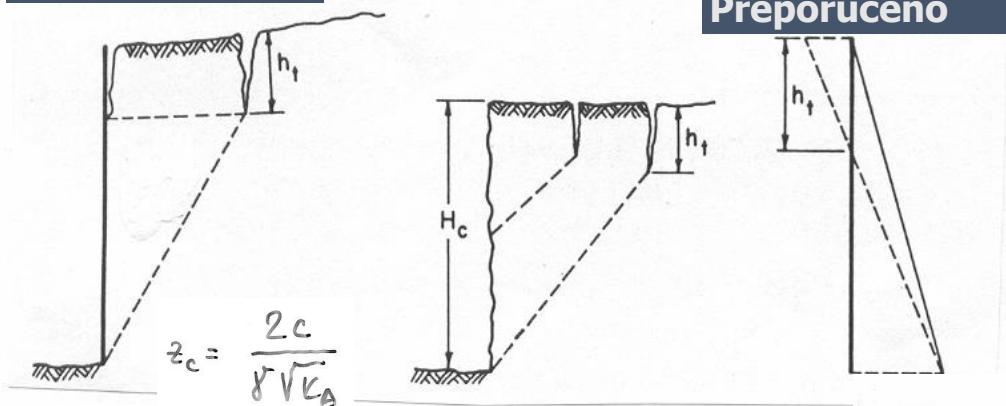
Različiti uvjeti u tlu iza zida



Pritisak tla na zidove i granična stanja

Različiti uvjeti u tlu iza zida

Vlačne pukotine



Preporučeno

Heterogenost

raspadnuta stijena

svodni efekt

$\sigma_h (kN/m^2)$

čvrsta stijena

preraspodjela pritisaka

Potporne konstrukcije kod prometnica

Vrlo česta upotreba – različiti uvjeti terena, prisilne točke

potporni zidovi: - kod nasipa i manjih usjeka

- sanacije terena, odroni ili otkliznuća
- kod tunelskih portalja

visoki usjeci – sidrene potporne konstrukcije

potencijalno nestabilni iskopi – ojačanja tla i stijene, grede-roštilj

obložni zidovi – odroni površinskog rastrošenog sloja

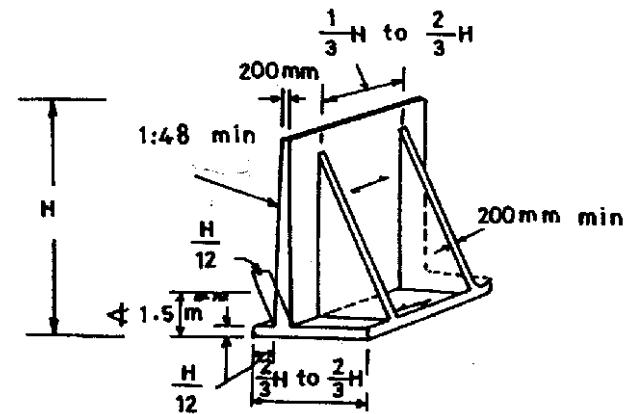
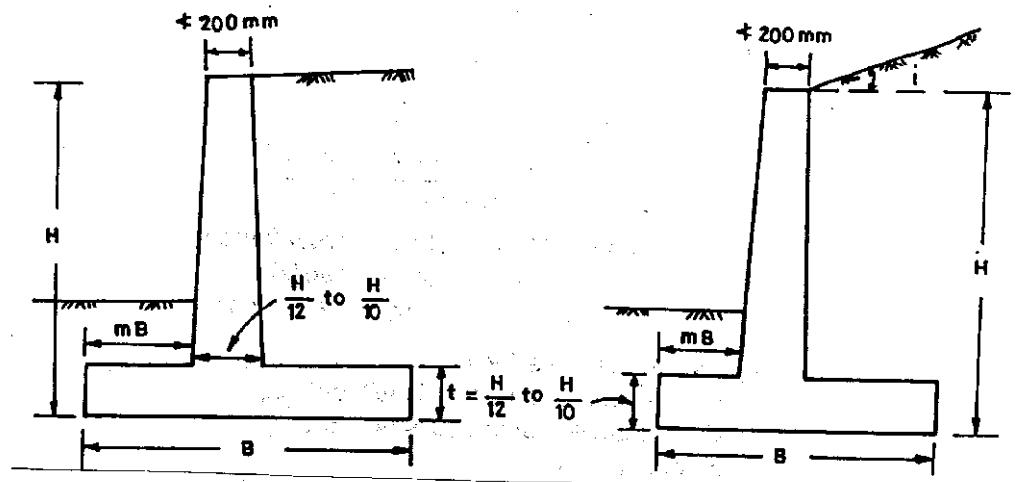
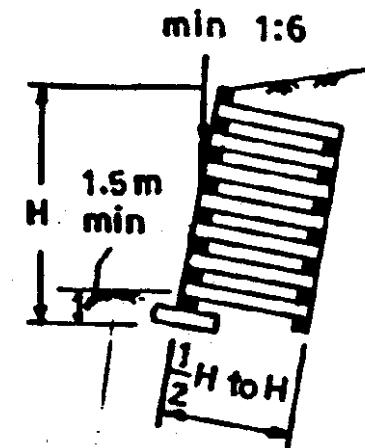
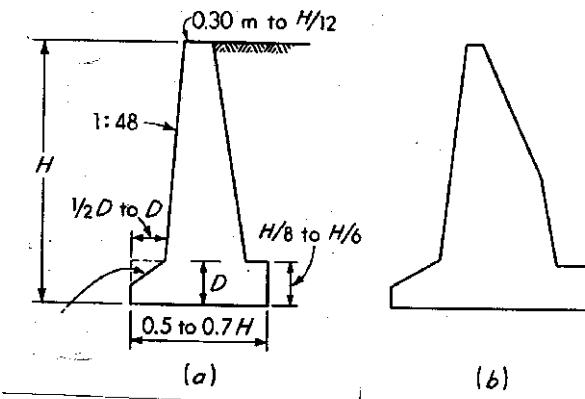
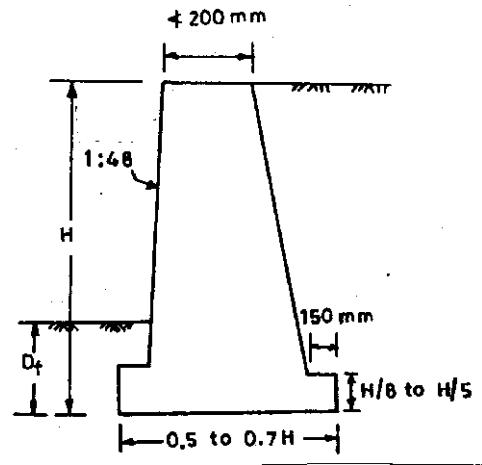
upornjaci mostova

Primjeri primjene potpornih zidova

Uz prometnice

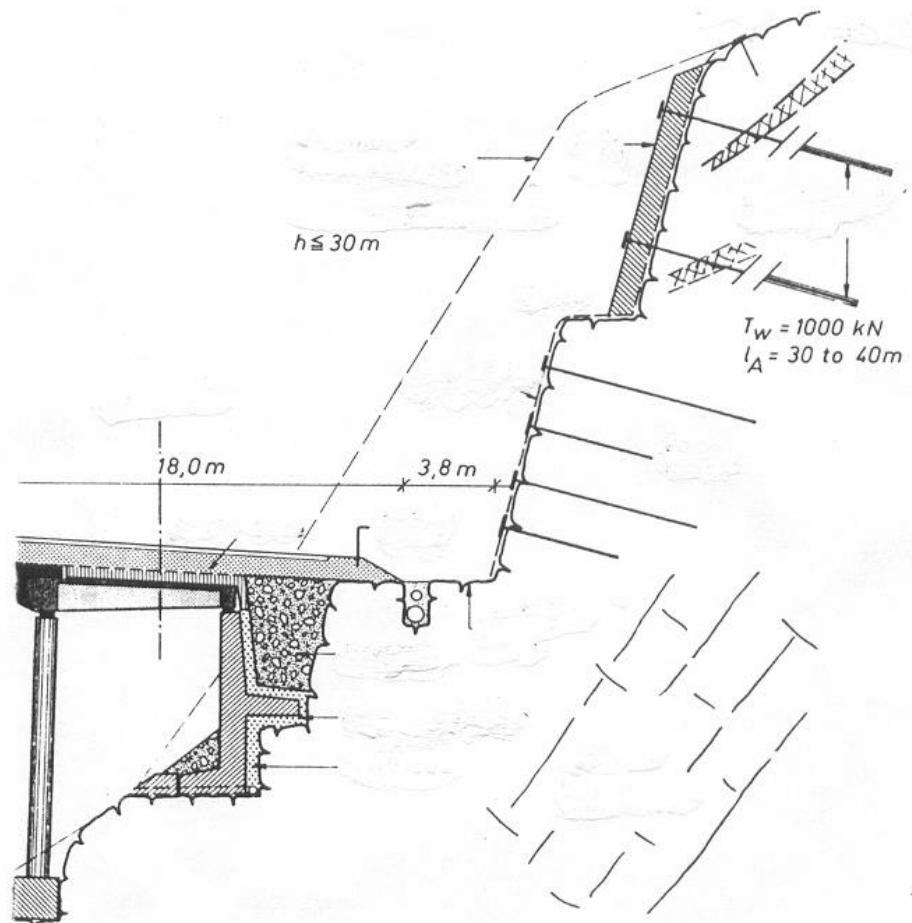
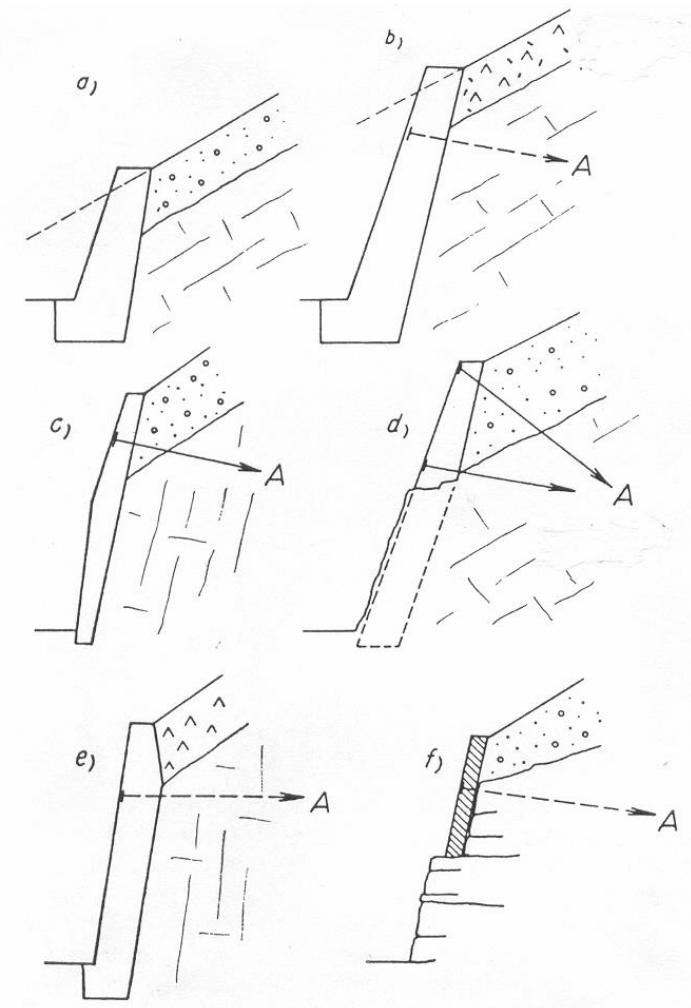


Orijentacione dimenzije potpornih zidova



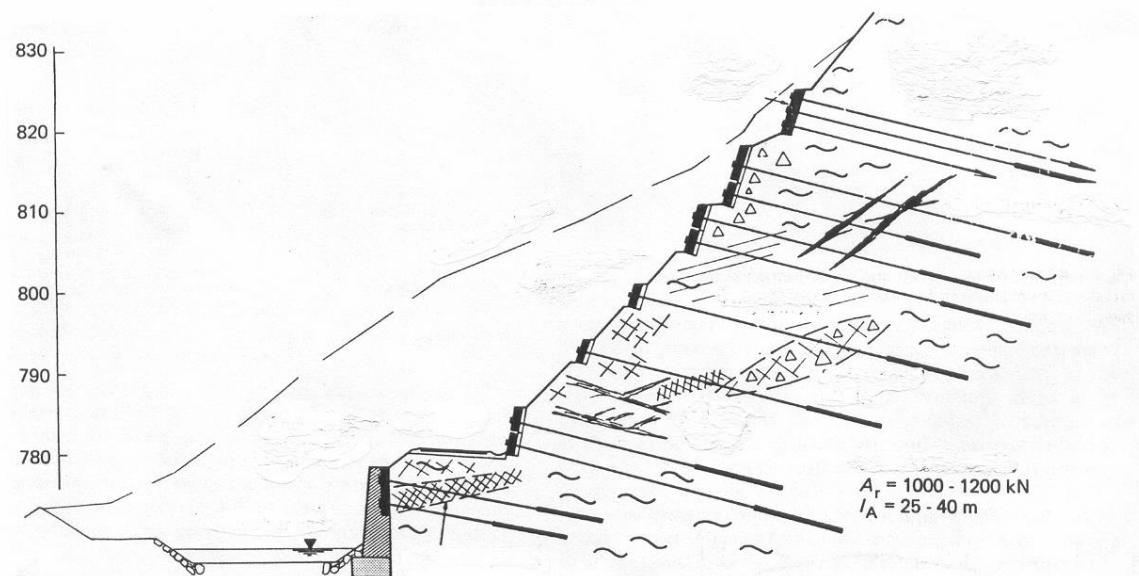
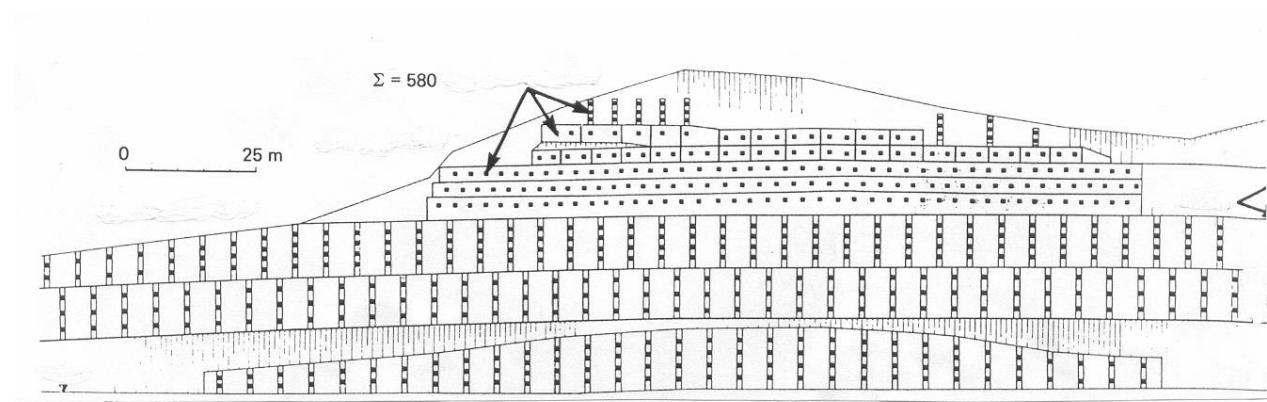
Potporne konstrukcije kod prometnica

Obložni zidovi i ojačanja tla



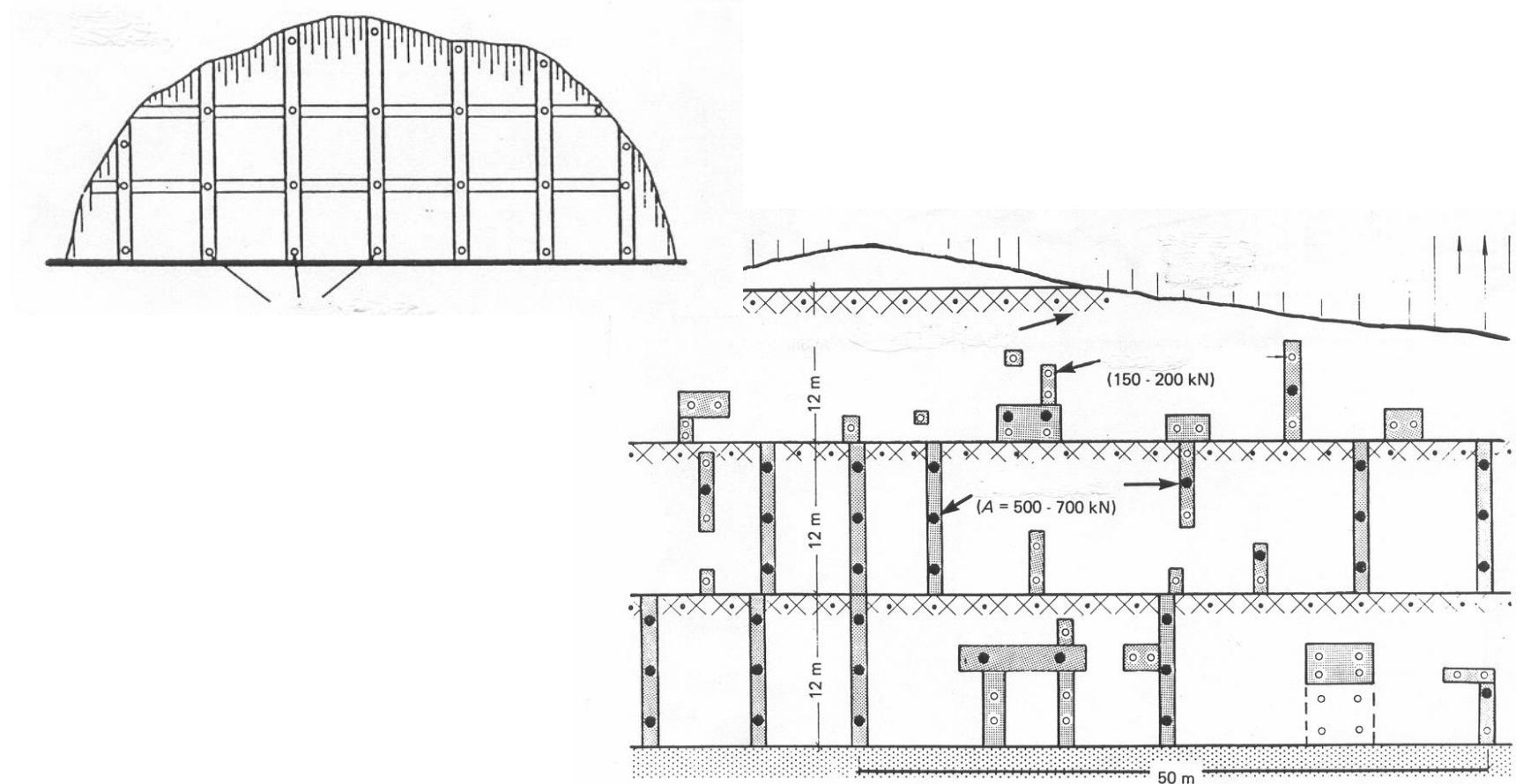
Potporne konstrukcije kod prometnica

Obložni zidovi
i ojačanja tla



Potporne konstrukcije kod prometnica

Obložni zidovi i ojačanja tla - **grede, roštilji**



Potporne konstrukcije kod prometnica

Obložni zidovi i ojačanja tla - **galerije**

