

Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet

Diplomski sveučilišni studij Smjer: **GEOTEHNIKA**

Nasute i potporne građevine 8

Prof. dr. sc. Tomislav Ivšić
Građevinski fakultet Zagreb

O građevinskom i geotehničkom projektiranju

Projektiranje

i izvedba

tradicija

iskustvo

intuicija

Proračuni i numeričke analize

tehnička i gospodarska racionalnost

ocjena zalihe sigurnosti, funkcionalnost

prognoza ponašanja

Mehanika tla – “ crna magija ”

Često nejasne granice između realnosti, iskustva i teorije

Problem komunikacija npr. s konstruktorima

O građevinskom i geotehničkom projektiranju

Zakon o gradnji – bitni zahtjevi za građevinu

Zahtjev mehaničke otpornosti i stabilnosti

“Građevina mora biti projektirana i izgrađena tako da tijekom gradnje i korištenja predvidiva djelovanja ne prouzroče:

- *rušenje građevine ili njezina dijela;*
- *deformacije nedopuštenog stupnja;*
- *oštećenja građevinskog dijela ili opreme uslijed deformacija nosive konstrukcije;*
- *nerazmjerno velika oštećenja u odnosu na uzrok zbog kojih su nastala;*
- *oštećenja na okolnim građevinama i ugroza stabilnosti tla na okolnom zemljistu.”*

Burlandov “ geotehnički trokut ”

- istražni radovi, svojstva tla i stijene
 - geometrija slojeva

Profil tla

- voda u tlu

ISKUSTVO

**Mehaničko
ponašanje tla**

**Primijenjena
mehanika**

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none">- pokusi- ispitivanja- mjerjenja na terenu | <ul style="list-style-type: none">- idealizacije- modeliranje- analize |
|--|--|

O geotehničkom projektiranju 3

Tlo i stijena

- nosivi element (temeljenje, širenje valova)
 - gradivo (nasipi, brane)
- građevinska sredina
 - (iskopi, podzemne građevine)

Prirodni materijal

- široki raspon svojstava i pojavnosti (fenomena)
- prostorna i mehanička heterogenost

Zahvati u tlu

- nepoznanice, pretpostavke, neizvjesnost

Sustav eurokodova

EN	kra.	opis
1990	EC0	Osnove projektiranja -dimenzioniranja konstrukcija
1991	EC1	Djelovanja na konstrukcije
1992	EC2	Dimenzioniranje betonskih konstrukcija
1993	EC3	Dimenzioniranje čeličnih konstrukcija
1994	EC4	Dimenzioniranje spregnutih konstrukcija
1995	EC5	Dimenzioniranje drvenih konstrukcija
1996	EC6	Dimenzioniranje zidanih konstrukcija
1997	EC7	Geotehničko projektiranje
1999	EC9	Dimenzioniranje alumin. konstrukcija

Projektiranje po EC 7 - koncept graničnih stanja

- Zadovoljiti sigurnost, uporabivost i trajnost
- Uvažiti složenost i rizik (geotehničke kategorije)
- Primijeniti koncept graničnih stanja:
 - nosivosti (GSN)
 - uporabivosti (GSU)

- Projektiranje:
 - računom
 - iskustvenim mjerama
 - pomoću modela i probnog opterećenja
 - metodom opažanja (Terzaghi, Peck)
- Korištenje suvremenih i provjerenih metoda
- Geotehnički projekt

Eurocode 7 – poglavlje 9. Potporne konstrukcije

- 9.7 Projektiranje za granično stanje nosivosti
 - Opća stabilnost - GEO
 - Slom temeljnog tla - GEO
 - Rotacijski slom ukopanih zidova - GEO
 - Vertikalni slom ukopanih zidova – GEO
 - Slom konstruktivnih elemenata – STR
 - Čupanje sidara iz tla – GEO
- 9.8 Projektiranje za granično stanje uporabivosti
 - Sve za karakteristične vrijednosti (djelovanja i materijali)
 - Oprezna procjena pomaka na osnovi usporedivog iskustva
 - Proračuni pomaka i interakcije – ne propisuje se metoda nego samo zahtjevi koje treba zadovoljiti

Eurocode 7 – poglavlje 9. Potporne konstrukcije

Za **sve vrste potpornih konstrukcija** treba razmotriti sljedeća granična stanja :

- gubitak sveukupne stabilnosti;
- slom konstrukcijskog elementa kao što je zid, sidro ili razupora, ili slom spoja među tim elementima;
- složeni slom u temeljnog tlu i u konstrukcijskom elementu;
- pomaci potporne konstrukcije koji mogu izazvati urušavanje, ili utjecati na izgled ili djelotvornu upotrebu konstrukcije, susjednih konstrukcija ili instalacija koje se na nju oslanjaju;
- neprihvatljivo procjeđivanje kroz zid ili ispod njega;
- neprihvatljivi prijenos čestica tla kroz zid ili ispod njega;
- neprihvatljivu promjenu strujanja podzemne vode.

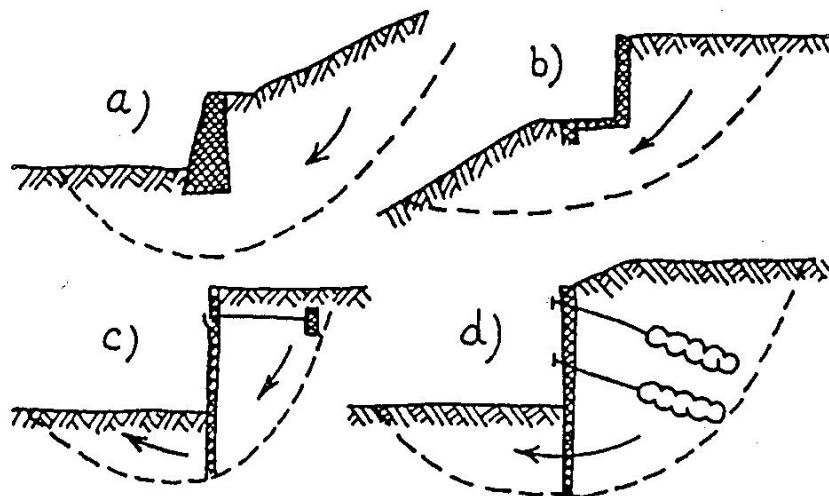
Za **gravitacijske potporne zidove i za potporne sklopove** treba razmotriti još i:

- slom gubitkom nosivosti tla ispod osnovice;
- slom klizanjem osnovice zida;
- slom prevrtanjem (prevaljivanjem) zida.

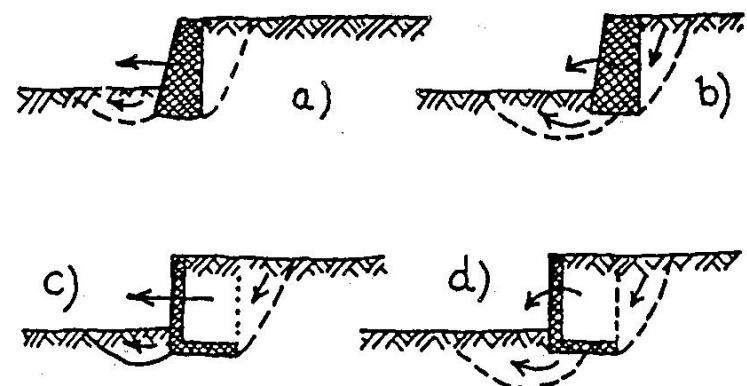
Za **ukopane potporne konstrukcije**:

- slom zaokretom ili translacijom zida ili njegovog dijela;
- slom zbog nepostojanja vertikalne ravnoteže zida.

Granična stanja nosivosti – “vanjska stabilnost”

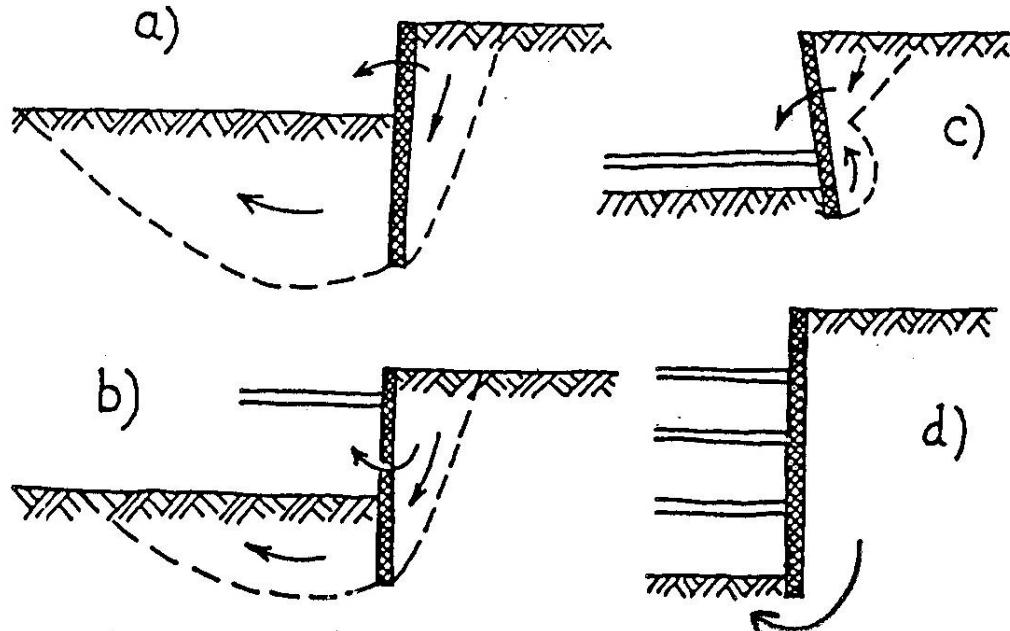


Slika 19. Primjeri graničnih stanja sloma tla za određivanje opće stabilnosti potpornih konstrukcija

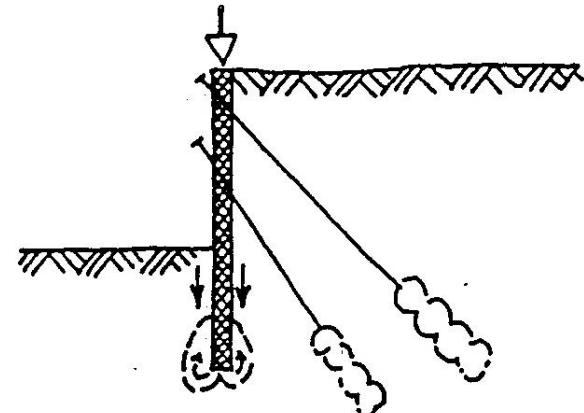


Slika 20. Primjeri graničnih stanja sloma temeljnog tla

Granična stanja nosivosti – “vanjska stabilnost”

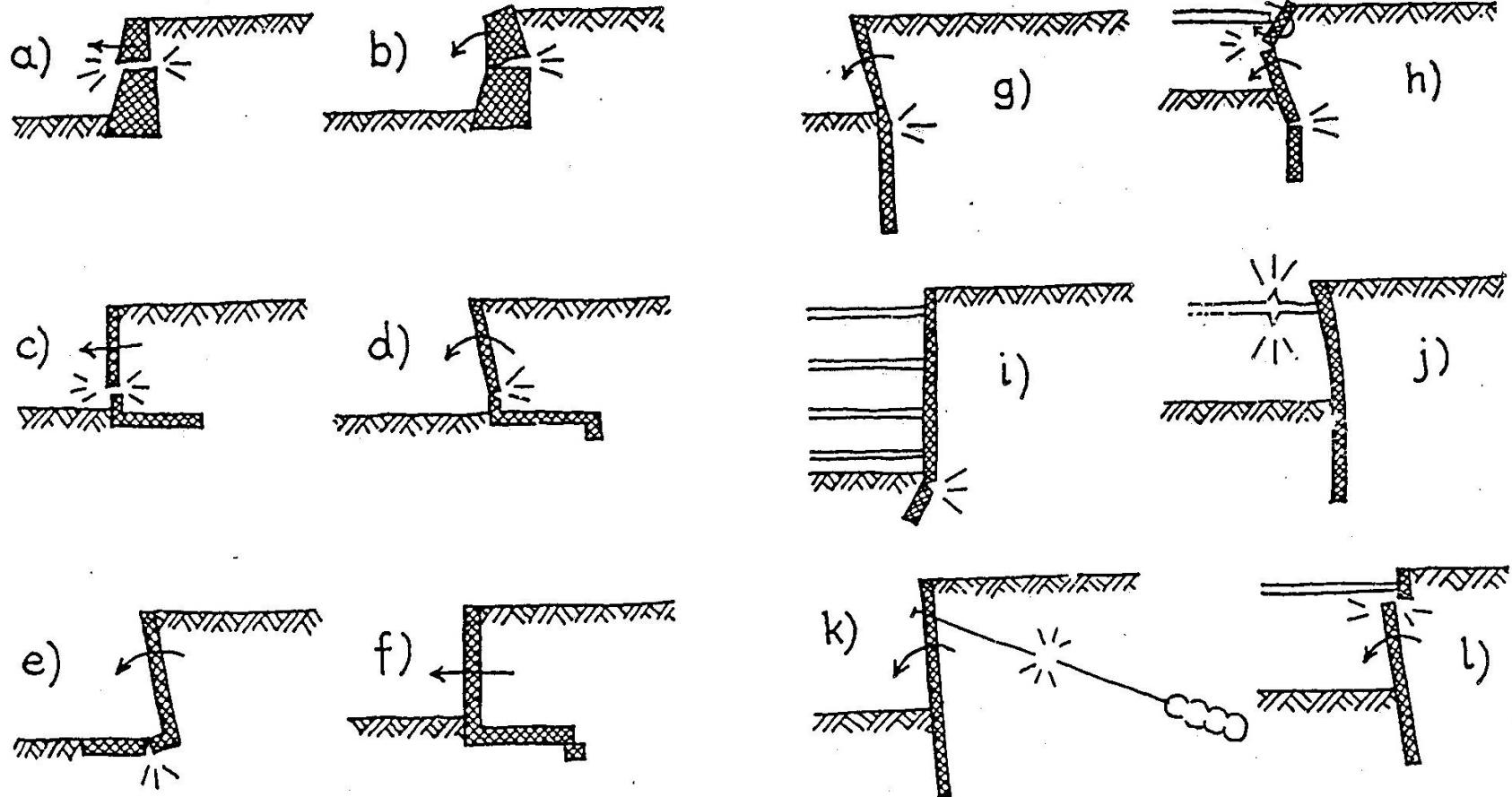


Slika 21. Primjeri graničnih stanja sloma tla izazvanog rotacijom potporne konstrukcije



Slika 22. Primjer vertikalnog sloma zagatne stijene

Granična stanja nosivosti – “unutrašnja stabilnost”



Djelovanja na potporne konstrukcije

Predvidiva djelovanja

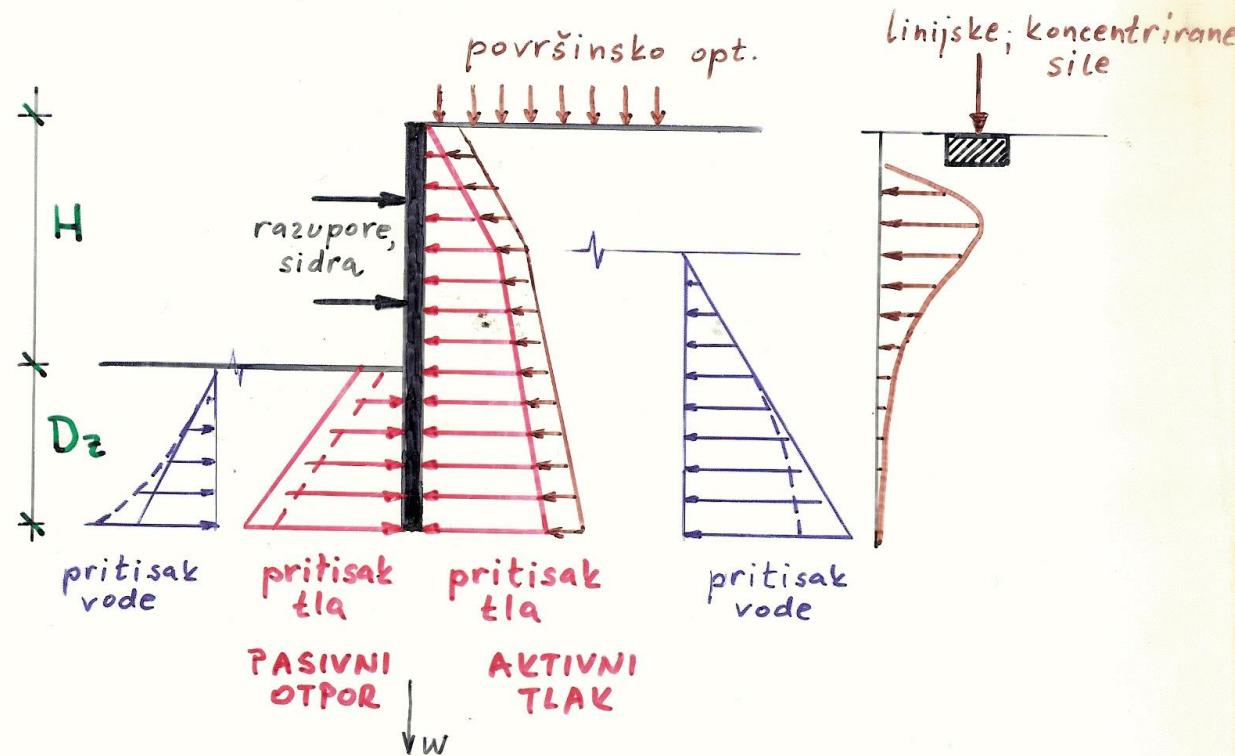
- prvenstveno mehanička djelovanja (sile ili deformacije)
- Također i : nepovoljne promjene svojstava materijala (npr. korozija), nepovoljno djelovanje biljaka ili sitnih životinja, erozija tla, ali i neprijateljska djelovanja ljudi (vandalizam, namjerna rušenja...)

1. Težina potporne konstrukcije
2. Težina tla (ispred i iza konstrukcije)
3. **Zemljani pritisci**
4. Pritisci vode
5. Dodatna opterećenja na površini terena
6. Sile od razupora i sidara
7. Potres
8. Sile od gornje konstrukcije
9. Udari brodova i valova
10. Vibracije
11. Utjecaj leda i smrzavanja
12. Utjecaj bujanja tla

Djelovanja na potporne konstrukcije

Po prirodi problema - dominantne napadne sile su horizontalne sile, posebice zemljani pritisci

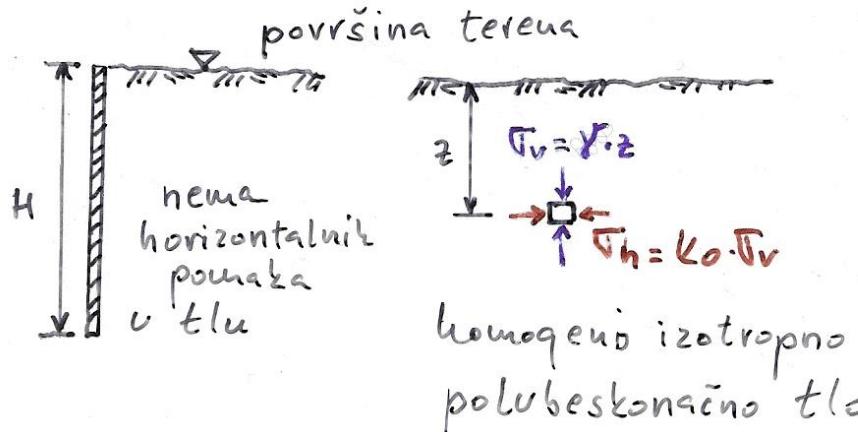
dominantno: horizontalne sile



Osnove proračuna zemljanih pritisaka

Naprezanja u tlu i stanja ravnoteže

Početno stanje naprezanja u tlu



$$K_0 = \frac{\sigma'_h}{\sigma'_v} = 1 - \sin \phi'$$

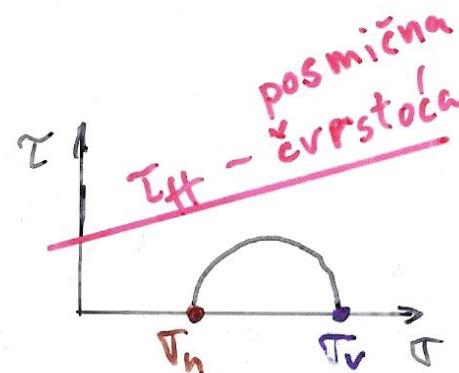
koeficijent bočnog mirnog pritiska – Jaky, 1944

Za nekoherenčno tlo

$$K_0 = K_{0nc} \sqrt{OCR} = (1 - \sin \phi') \sqrt{OCR}$$

Za koherenčno tlo

Stanje ELASTIČNE RAVNOTEŽE

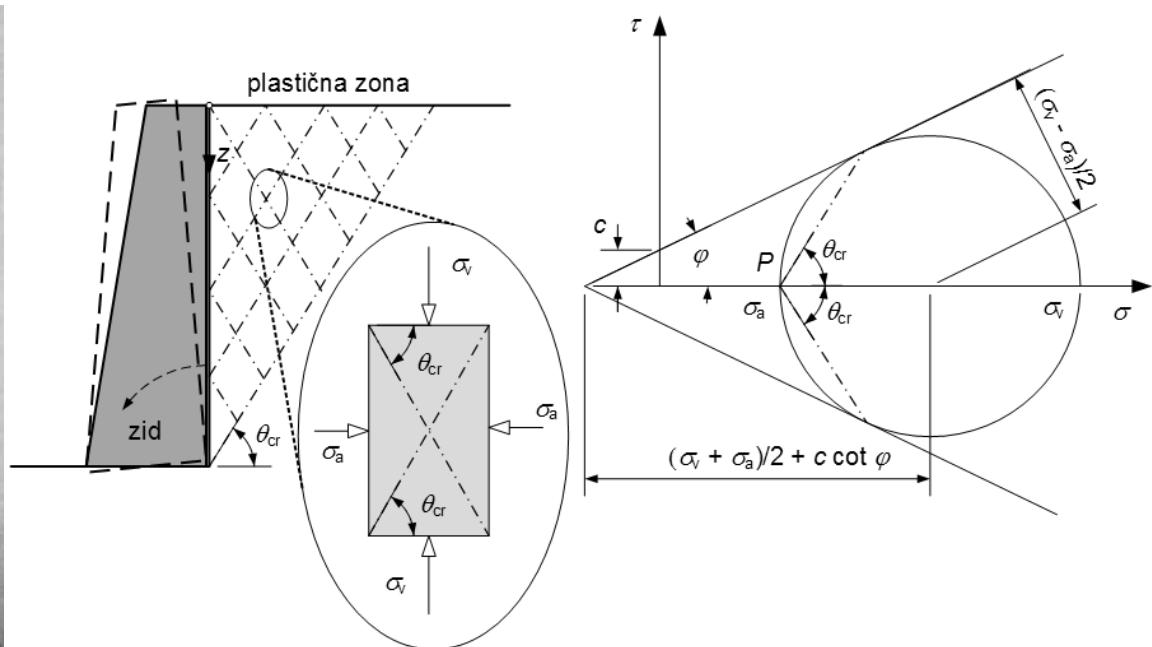
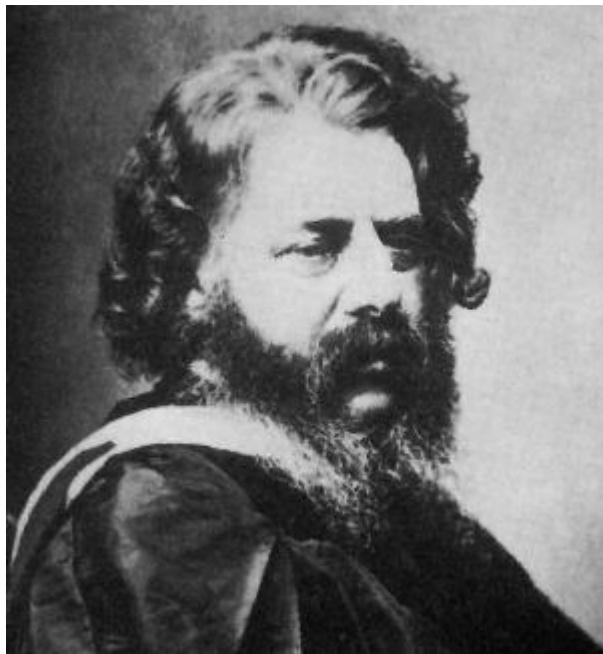


$$K_{0;\beta} = K_0 (1 + \sin \beta)$$

Za nagnuti teren

Osnove proračuna zemljanih pritisaka

Naprezanja u tlu i stanja ravnoteže



Rankine 1820-1872

Objavljeno 1857.

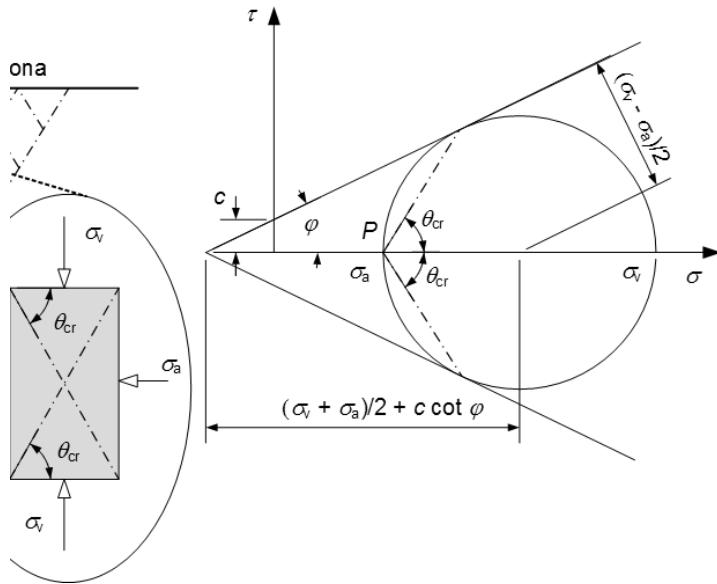
Stanje nadolazećeg sloma – ne razmatra deformacije

Stanje ELASTIČNE RAVNOTEŽE: mala promjena naprezanja izaziva malu promjenu deformacije

Stanje PLASTIČNE RAVNOTEŽE: mala promjene naprezanja izaziva plastično tečenje materijala

Pritisak tla na zidove i granična stanja

Uz Rankineovo stanje aktivnog tlaka iza zida



$$\tau_f = c + \sigma_a \tan \varphi$$

Čvrstoća tla

$$\frac{\frac{1}{2}(\sigma_v - \sigma_a)}{\frac{1}{2}(\sigma_v - \sigma_a) + c \cot \varphi} = \sin \varphi$$

Jednakost iz dijagrama

$$\sigma_a = \sigma_v K_a - 2c \sqrt{K_a}$$

Aktivni tlak

$$K_a = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$$

Koeficijent aktivnog tlaka

$$\theta_{cr} = \theta_a = \pm \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right)$$

Kut otklona ravnina na kojima se doseže čvrstoća

- za aktivni tlak

$$\theta_{cr} = \theta_p = \pm \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$$

- za pasivni otpor

$$\sigma_p = \sigma_v K_p + 2c \sqrt{K_p}$$

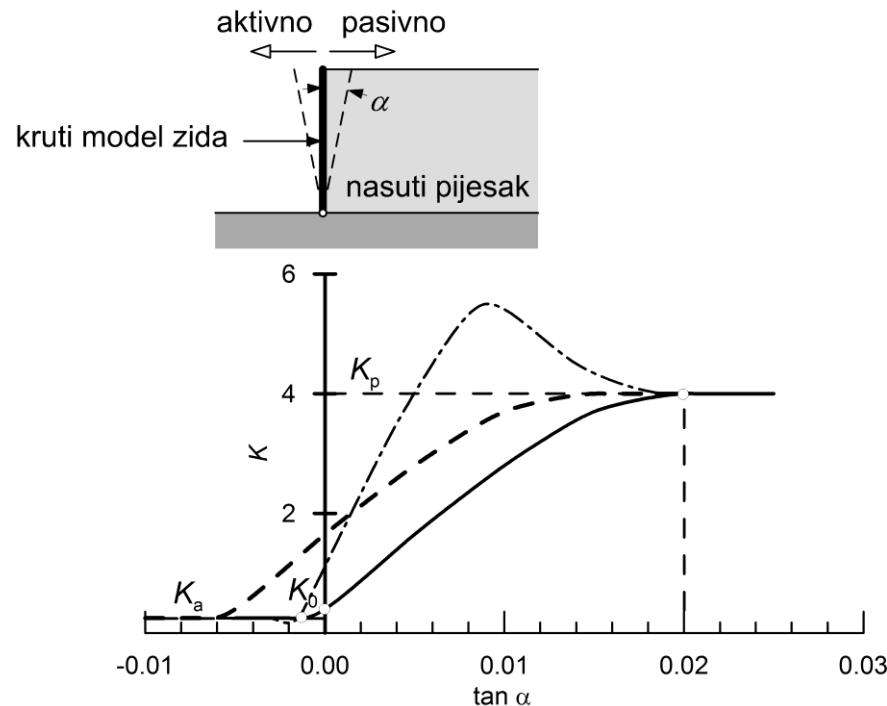
Pasivni otpor

$$K_p = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) = \frac{1}{K_a}$$

Koeficijent pasivnog otpora

Pritisak tla na zidove i granična stanja

Pritisci i pomaci: Terzaghi



Terzaghi 1883-1963
Objavljeno 1920-1930

Terzaghijeva modelska ispitivanja pritiska nasutog pjeska na kruti zid u ovisnosti o rotaciji zida (puna linija); kasnija istraživanja su pokazala da ovisnost pritiska o rotaciji zida ovisi i o početnom bočnom naprezanju u tlu (crtkana linija) i zbijenosti tla (točka-crta); K je odnos bočnog pritiska (normalnog naprezanja) na poleđini zida i vertikalnog naprezanja u tlu

Pritisak tla na zidove i granična stanja

Potrebni pomaci za potpuno aktiviranje graničnih pritisaka

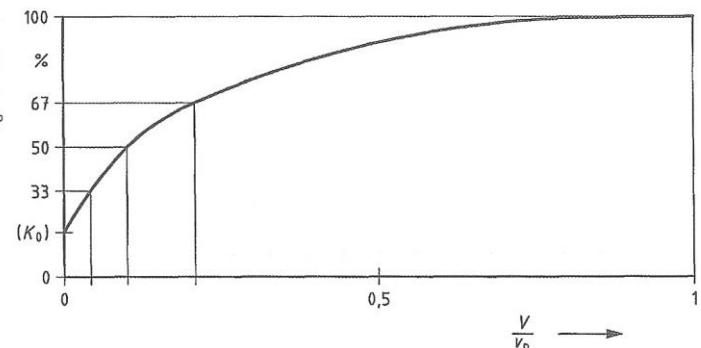
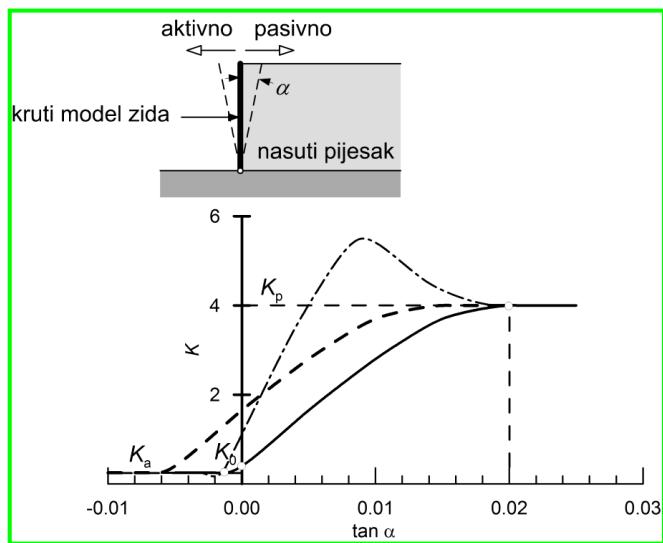


Figure C.3 — Mobilisation of passive earth pressure of non-cohesive soil versus normalized wall displacement v/v_p
(v_p : displacement for the full mobilisation of passive earth pressure)

Tablica 5-1 Vodoravni pomaci potrebni za potpuno aktiviranje aktivnog tlaka i pasivnog otpora (prema EN 1997-1:2004)

oblik pomicanja zida	aktivno v_a/h (%)		pasivno v_p/h (%)	
	rahlo tlo	zbijeno tlo	rahlo tlo	zbijeno tlo
a	0.4 – 0.5	0.1 – 0.2	7 – 25 (1.5 – 4)	5 – 10 (1.1 – 2)
b	0.2	0.05 – 0.1	5 – 10 (0.9 – 1.5)	3 – 6 (0.5 – 1)
c	0.8 – 1.0	0.2 – 0.5	6 – 15 (1 – 1.5)	5 – 6 (0.5 – 1.3)
d	0.4 – 0.5	0.1 – 0.2	–	–

v ... pomak u zagradi ... pomaci za mobiliziranje $\frac{1}{2}$ pasivnog otpora
 h ... visina zida

Veličine potrebnih pomaka za mobilizaciju pasivnog otpora treba povećati 1.5 do 2 puta ako se radi o tlu ispod razine podzemne vode