

GRANIČNA STANJA PLASTIČNE RAVNOTEŽE I ZEMLJANI PRITISCI

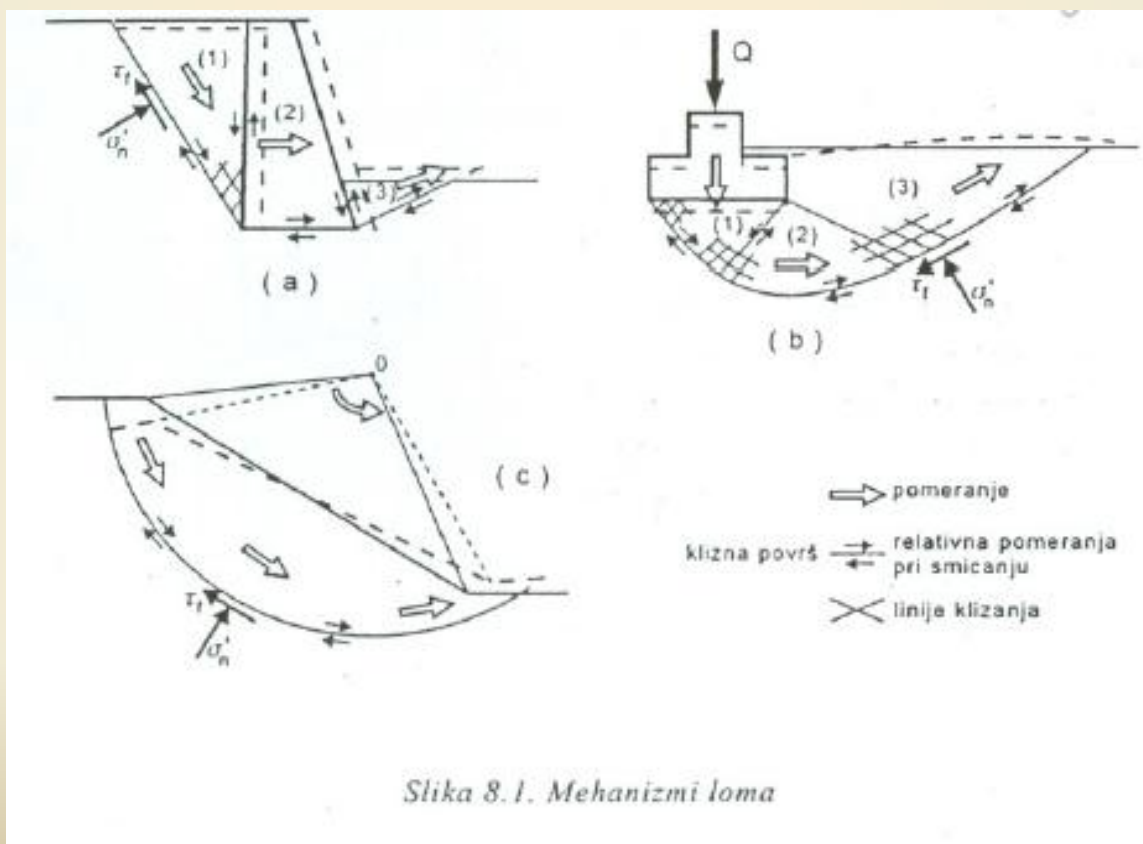
Uvod

GRANIČNA STANJA PLASTIČNE RAVNOTEŽE I ZEMLJANI PRITISCI

Uvod

U svakom konkretnom slučaju opterećenje treba da bude manje od takvog graničnog opterećenja pri kome nastaju velike distorzijske deformacije tla i nekontrolisano velika sleganja, primjenom nekog faktora sigurnosti. Ovo je samo jedan praktičan zadatak koji spada u šire područje problematike stabilnosti mase tla.

U ovom poglavlju će se, nakon prikaza opštih principa, opisati metode za određivanje opterećenja i uslova stabilnosti gravitacionih potpornih konstrukcija.



Element tla se nalazi u stanju loma ili u okvirima plastičnog ponašanja, u stanju plastične ravnoteže.

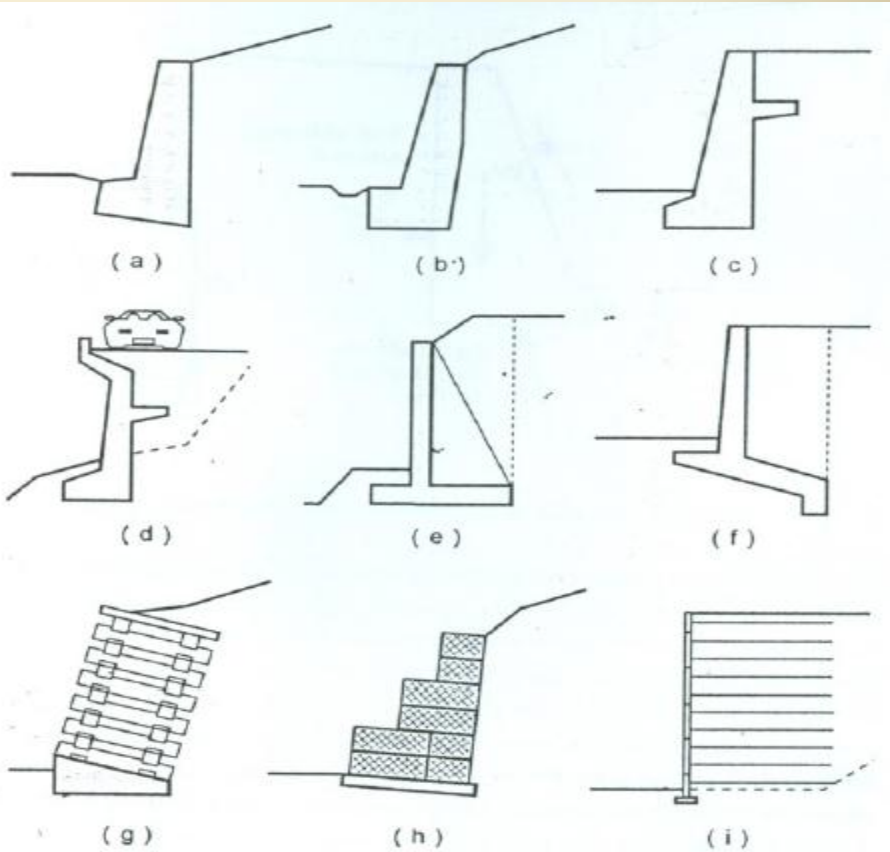
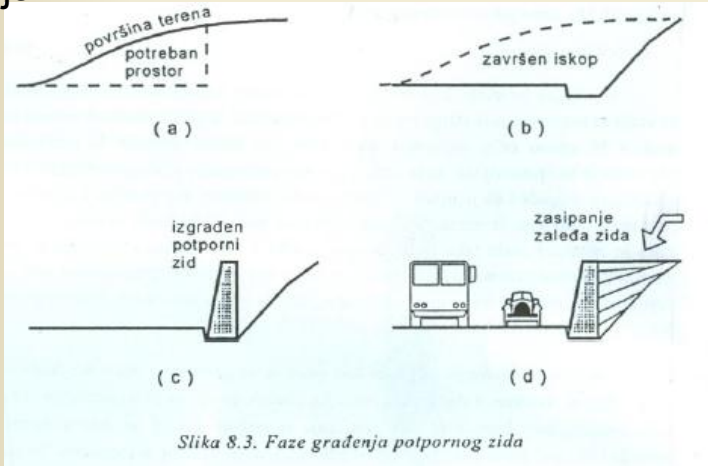
• **Treća grupa** eventualno izračunatih naponskih stanja, opisana Morovim krugovima koji bi sijekli anvelopu napona loma, ne može se smatrati ispravnom, jer je statički moguće polje napona u unutrašnjoj ravnoteži ako se nigdje ne prekoračuje napon loma definisan stanjem plastične ravnoteže, tj. zakon loma, uz zadovoljavanje uslova ravnoteže sa spoljnim opterećenjem i graničnim uslovima po naponima.

Metode koje se zasnivaju na određivanju komponentalnih napona na kliznoj površi, uz poređenje sa čvrstoćom tla nazivaju se metodama granične ravnoteže i predstavljaju jedan od oblika analize plastične ravnoteže u mehanici ponašanja mase tla.

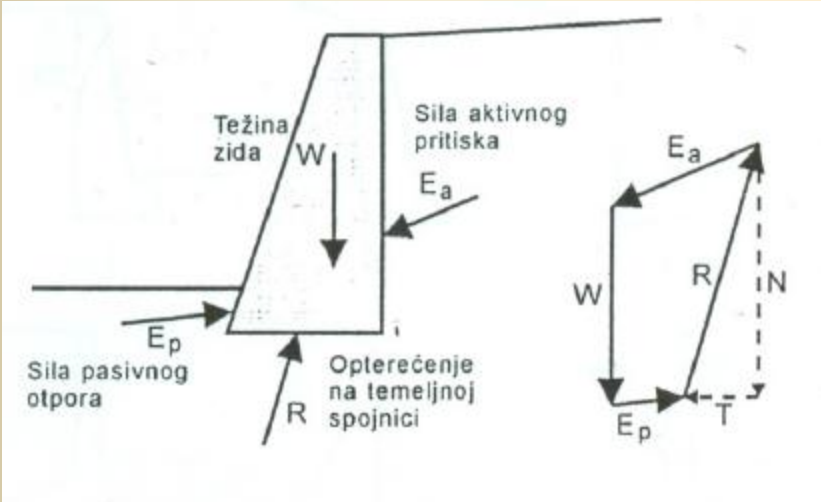
U izlaganju koje slijedi prikazuju se karakteristična rješenja problema granične ravnoteže na primjeru određivanja veličina i raspodjele bočnih pritisaka tla uz ispunjavanje uslova stabilnosti potporne konstrukcije.

Gravitacione potporne konstrukcije

Potporni zid se obično primjenjuje kao trajna konstrukcija kada je potrebno obezbjediti prostor, a želi se izbjeći kosina po konturi iskopa. Masivni ili gravitacioni potporni zid svoj naziv i stabilnost duguje sopstvenoj težini koja mu obezbjeđuje sigurnost pri djelovanju horizontalnih komponenti opterećenja.



Slika 8.4. Neki karakteristični konstruktivni oblici gravitacionih potpornih zidova



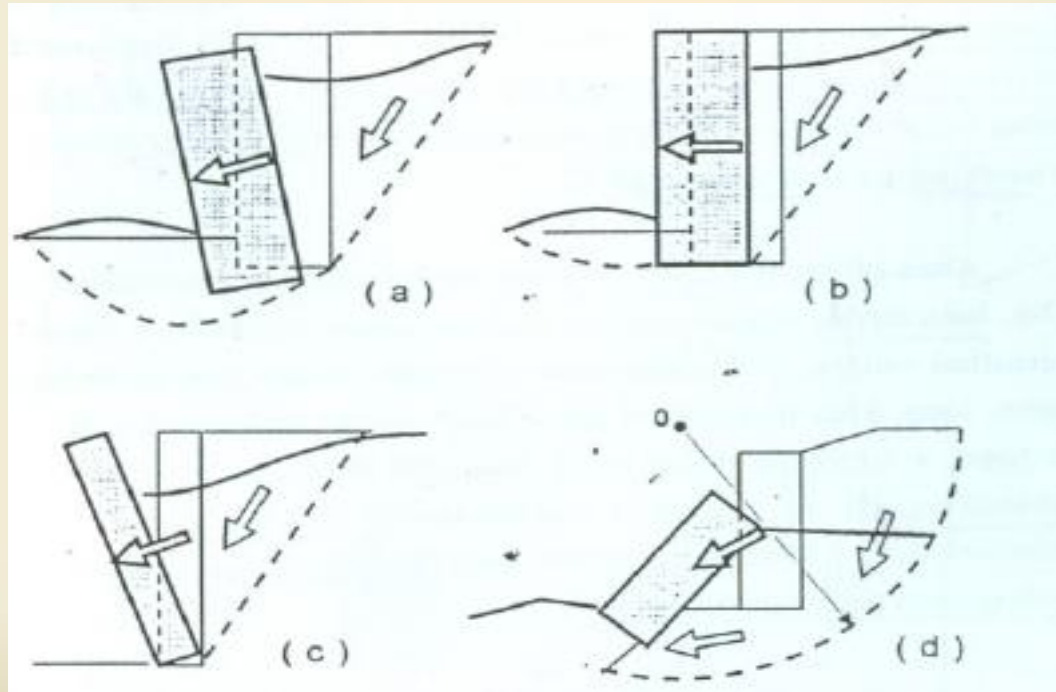
Slika 8.5. Sile koje deluju na masivnu potpurnu konstrukciju

Reaktivna sila R je u ravnoteži sa težinom zida i komponentama zemljanih pritisaka E_a i E_p .

Sila aktivnog pritiska E_a nastaje pri zasipanju zaleđa zida i ima tendenciju da potisne zid ka unuteašnjosti iskopa.

Ovom pomjeranju se suprotstavlja smičući otpor klizanja T i pasivni otpor tla iznad nivoa temeljne spojnice E_p .

Gravitacioni potporni zid zajedno sa ispunom u njegovom zaleđu i tlom na koje se oslanja, je visoko neodređen statički sistem. Veličine sila zavise od redoslijeda i načina građenja i zapunjavanja. Zbog toga se dimenzionisanje takvog zida zasniva na određivanju sila koje bi djelovale kada bi zid počeo da se ruši, tj. da se pomjera i/ili pretura, ili samo rotira oko ivice temelja zida ili kliza po temeljnoj spojnici.



Slika 8.6. Mehanizmi pomeranja potpornog zida

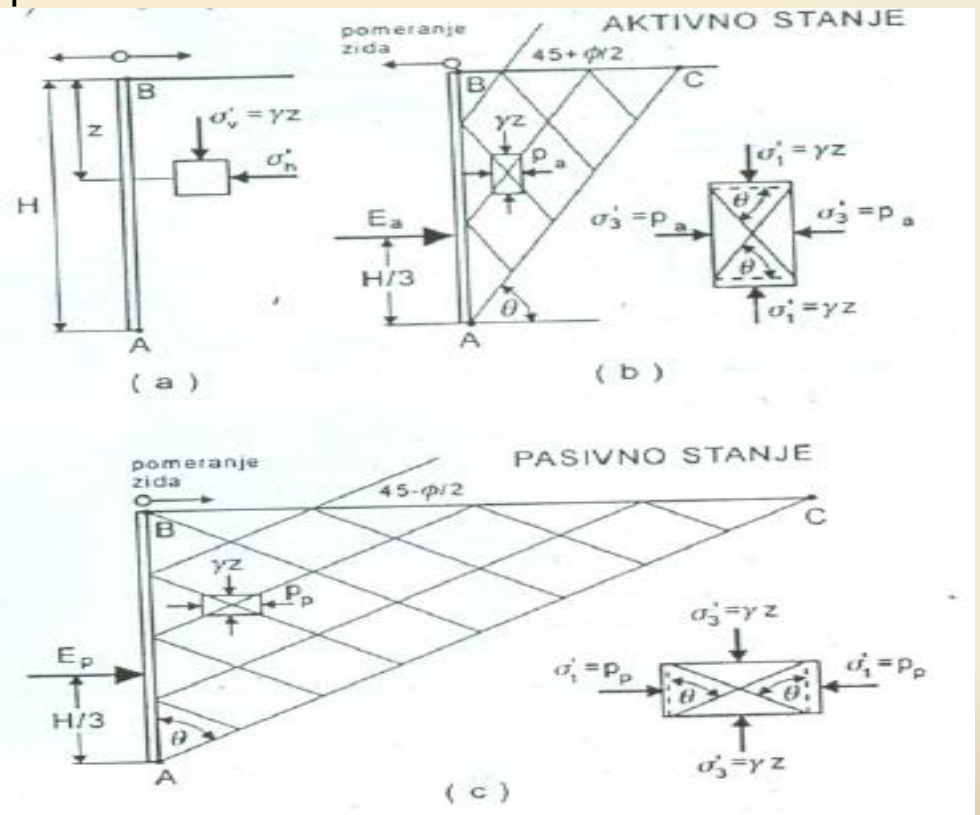
Aktivni pritisak i pasivni otpor tla

Vertikalni i horizontalni naponi su istovremeno i glavni naponi koji djeluju na međusobno upravne ravni, kao što je prikazano na slici. U slučaju da nema pomjeranja:

$$\sigma_v = \sigma_z = \sigma_1 = \gamma z$$

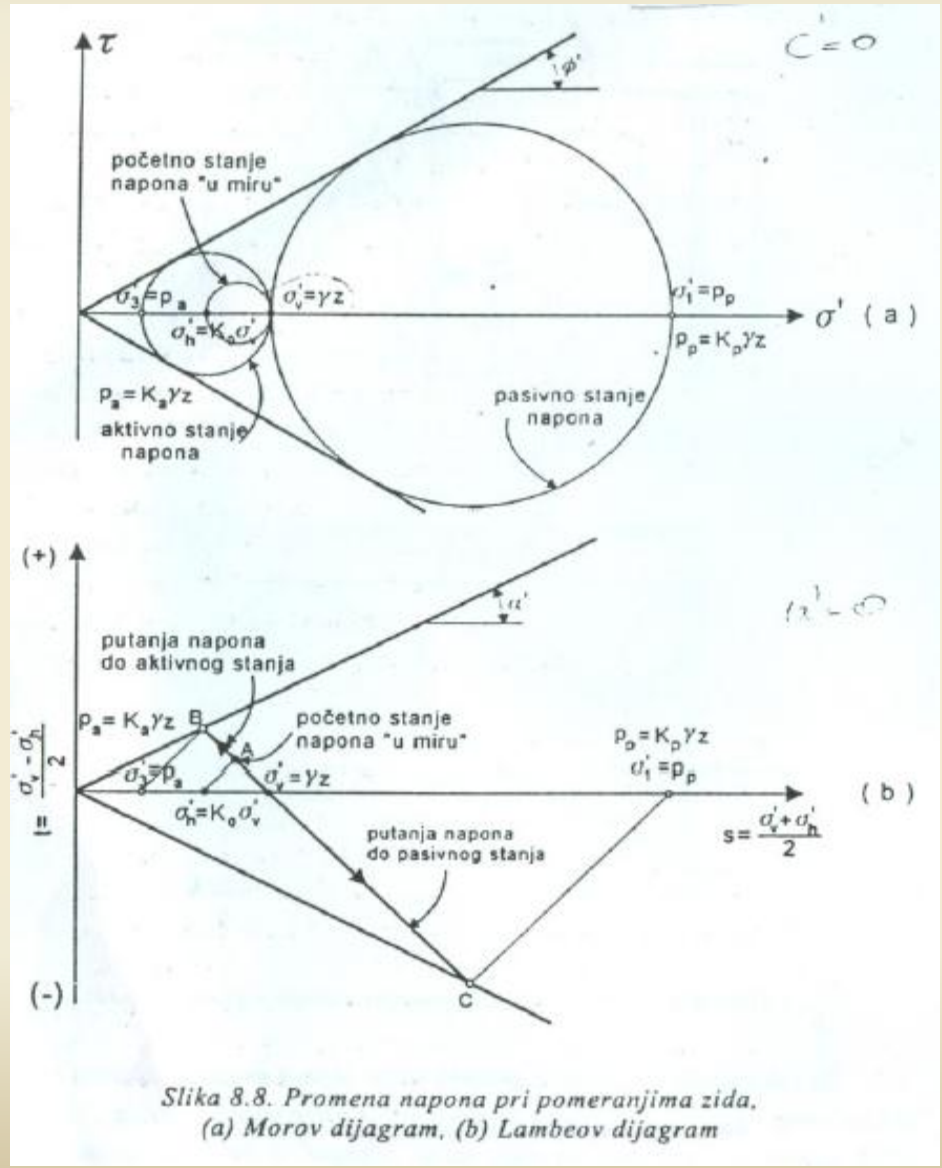
$$\sigma_h = \sigma_k = \sigma_y = \sigma_2 = \sigma_3 = K_0 \gamma z$$

Tipične vrijednosti koeficijenta pritiska tla u miru za normalno konsolidovana tla se kreću u granicama $K_0 = 0.4 - 0.75$.



Slika 8.7. Vertikalni i horizontalni naponi - glavni naponi

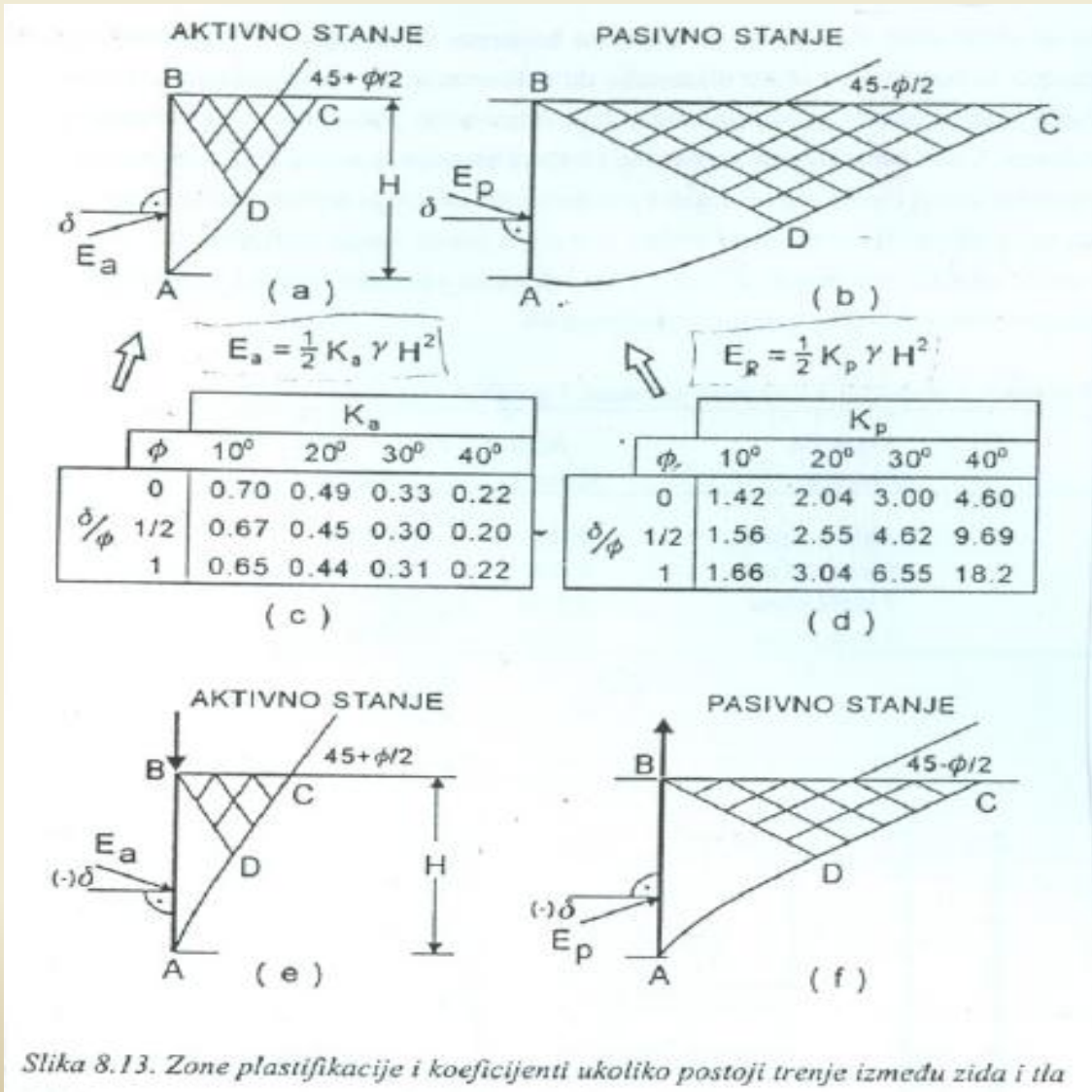
Zamislimo da se u terenu, u kome je tlo bez kohezije ($c=0$), izvede vertikalni zasjek, ne izazivajući nikakve naponske promjene u preostalom tlu, i uklonjeno tlo se zamjeni krutim vertikalnim zidom AB . Pri horizontalnom pomjeranju zida mora doći i do promjena horizontalnih napona pri nepromjenjenim vertikalnim naponima. Znak promjene horizontalnih napona zavisice od smjera pomjeranja zida.



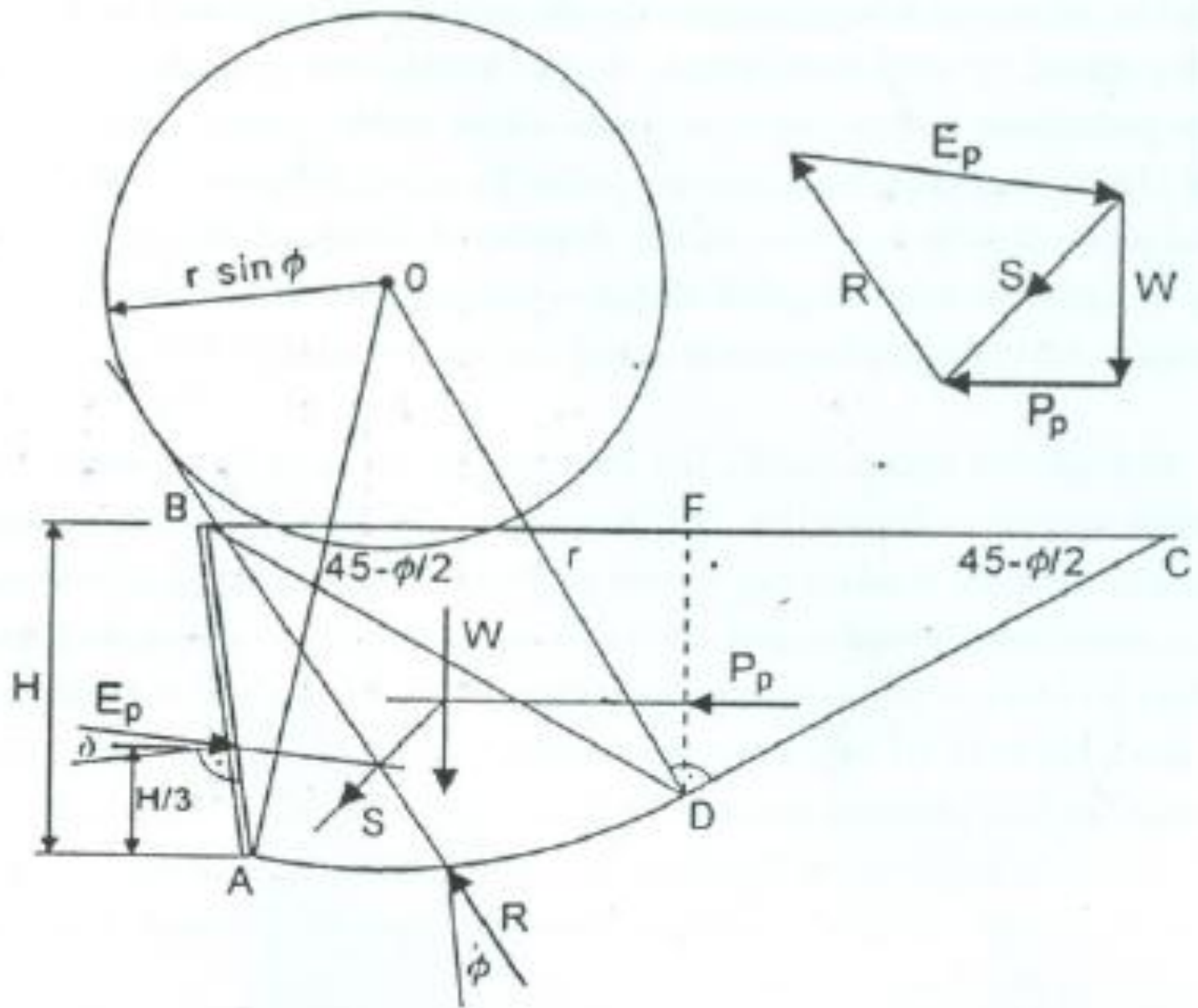
Slika 8.8. Promena napona pri pomeranjima zida, (a) Morov dijagram, (b) Lambeov dijagram

Bočni pritisci mjenjaju se linearno sa dubinom. Smičući lom se događa po ravnima koje zaklapaju ugao $45^\circ + \phi'/2$ u odnosu na ravan na koju djeluje maksimalni glavni napon.

U Rankinovoј teoriji pretpostavlja se da je: **teren horizontalan**; **zid vertikaln**, **idealno krut i gladak**.



Slika 8.13. Zone plastifikacije i koeficijenti ukoliko postoji trenje između zida i tla



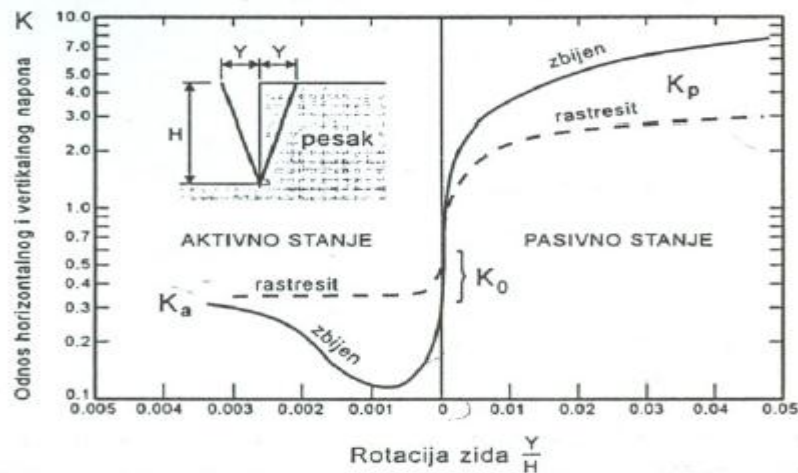
Slika 8.14. Pasivni otpor po zakrivljenoj kliznoj površi

Potrebna pomjeranja

Da bi se mobilisala čvrstoća tla i da bi se ostvarilo aktivno ili pasivno stanje, mora doći do pomjeranja zida u odgovarajućem smjeru. Izvjesna konstantna horizontalna deformacija je potrebna da bi se razvilo aktivno, odnosno pasivno stanje u Rankinovim prizmama.

Tabela 8.2 Rotacije za aktivni pritisak i pasivni otpor

Vrsta tla i stanje	Rotacija Y/H	
	Aktivno	Pasivno
Zbijen pesak	0.001	0.02
Rastresit pesak	0.004	0.06
Tvrda glina	0.010	0.02
Meka glina	0.020	0.04



Slika 8.11. Uticaj veličine pomeranja na pritiske peska

Ukoliko deformacije zida ne ispunjavaju uslov o minimalnom potrebnom pomjeranju za pojavu graničnih stanja, u aktivnoj zoni pritisak će biti između veličine aktivnog pritiska i pritiska u miru. Za ostvarivanje pasivnog otpora tla potrebna su znatno veća pomjeranja nego za ostvarivanje aktivnog pritiska.

Rankinova teorija pritiska tla

Aktivni pritisak:

$$p = \sigma_1 \left(\frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \right) - 2c \left(\frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \right)^{1/2}$$

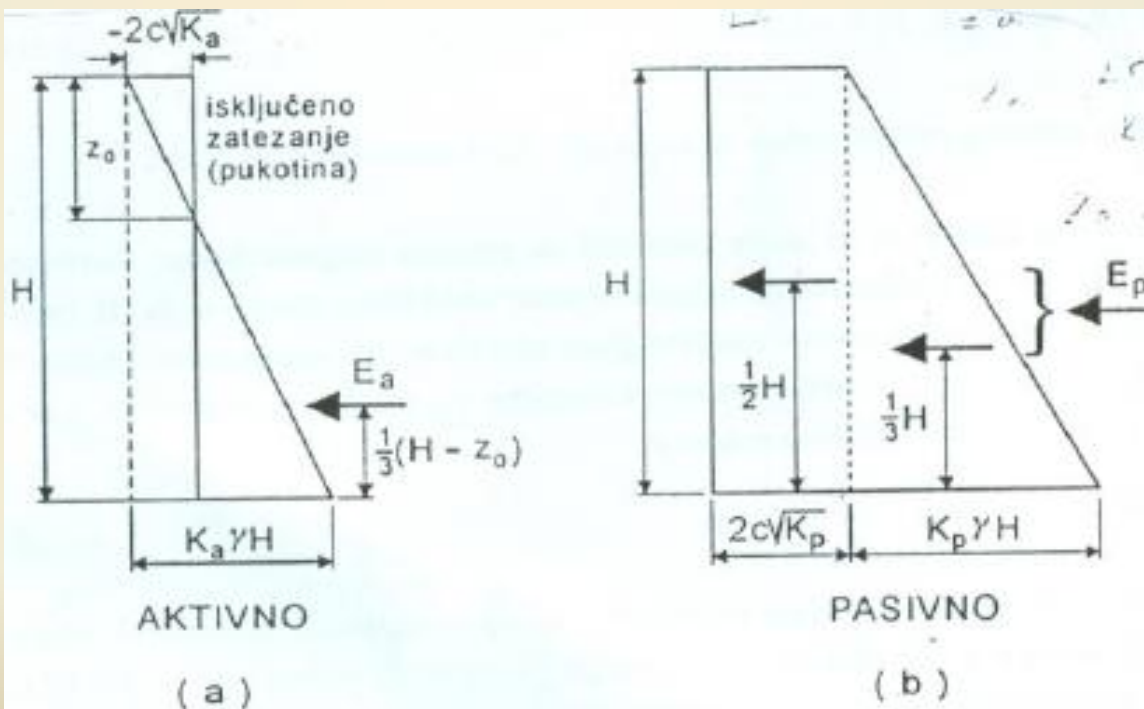
Koeficijent aktivnog pritiska je:

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

Pošto je vertikalni napon na dubini z jednak $\sigma_z = \gamma z$, veličina aktivnog pritiska se može napisati u obliku:

$$p_a = K_a \gamma z - 2c \sqrt{K_a}$$

Kada horizontalni napon ima vrijednost aktivnog pritiska, kaže se da se tlo nalazi u aktivnom Rankinovom stanju.



Slika 8.9. Raspodela aktivnog i pasivnog pritiska

Rezultantna sila aktivnog pritiska E_a jednaka je integralu horizontalnih napona po visini zida, tako da se dobija:

$$E_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a - 2 c H \sqrt{K_a}$$

Ukoliko postoji kohezija $c > 0$ iz izraza za aktivni pritisak slijedi da postoji neki vertikalni napon γz na dubini z_0 na kojoj je horizontalni napon jednak nuli, a za sve dubine manje od z_0 pojavljuju se naponi zatezanja.

$$z_0 = \frac{2c}{\gamma} \left(\frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \right)^{1/2} = \frac{2c}{\gamma \sqrt{K_a}}$$

S obzirom da je otpornost tla na napone zatezanja veoma mala i praktično zanemarljiva, u području izračunatih napona zatezanja od dubine z_0 do površine terena će se pojaviti pukotina tako da se dio dijagrama napona mora zanemariti pri izračunavanju sile aktivnog pritiska E_a .

Sila po jedinici dužine zida usljed aktivnog pritiska tla je:

$$E_a = \int_{z_0}^H p_a dz = \frac{1}{2} K_a \gamma (H - z_0)^2$$

Sila aktivnog pritiska djeluje na visini $(H - z_0)/3$ iznad donje ivice zida.

Ukoliko se zid pomjera ka tlu napon pasivnog otpora tla je jednak maksimalnom glavnom naponu, tj.

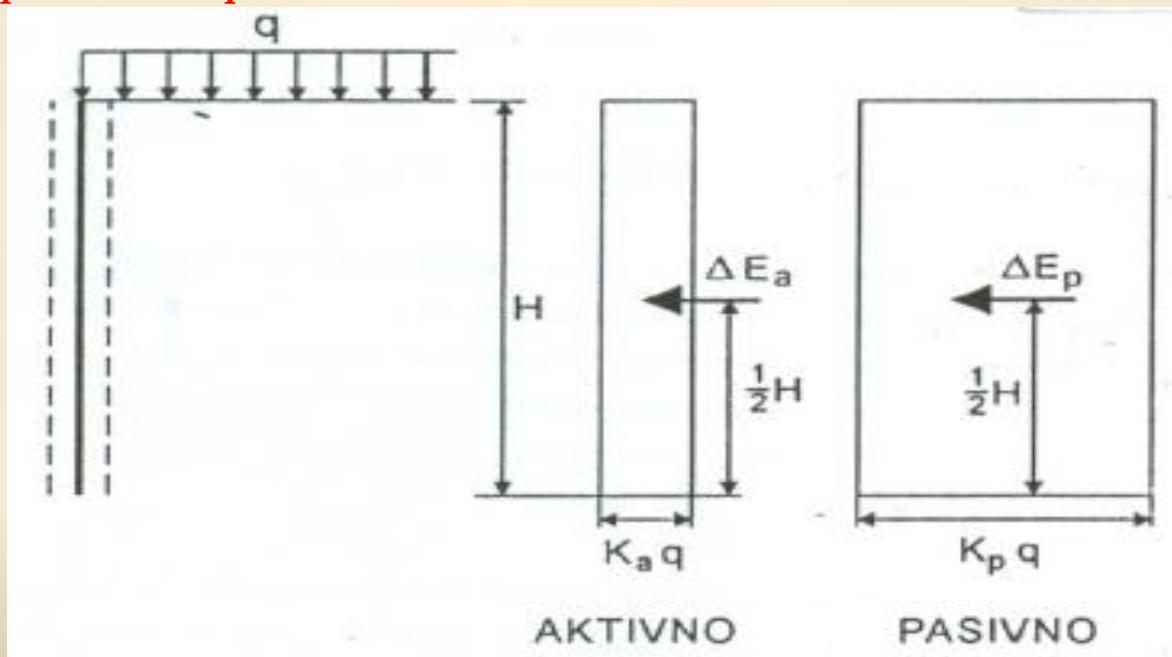
$$\frac{p}{p} = \frac{\sigma}{1}$$

$$p_p = \sigma_3 \left(\frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \right) + 2c \left(\frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \right)^{1/2}$$

$$E_p = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_p + 2cH \sqrt{K_p}$$

Rezultantna sila pasivnog otpora E jednaka je integralu horizontalnih napona po visini zida:

$$E_p = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_p + 2cH \sqrt{K_p}$$



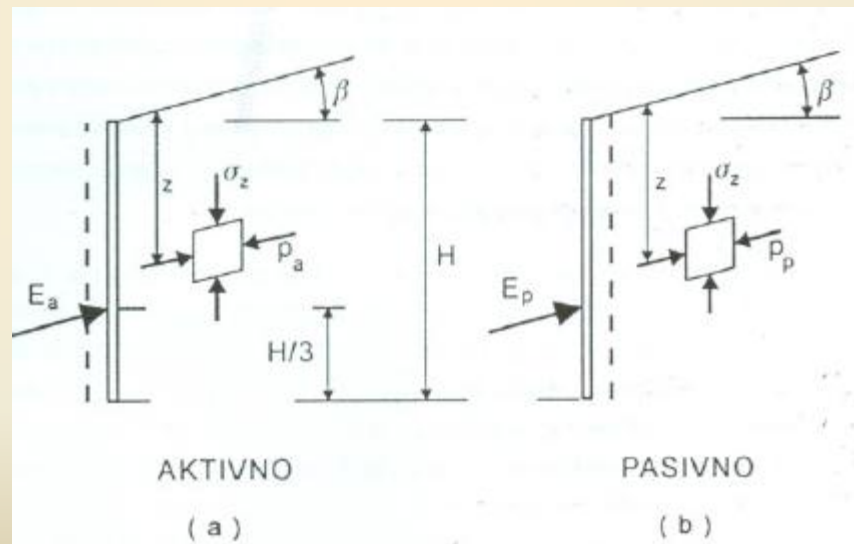
Slika 8.10. Dodatni pritisci usled opterećenja na površini

Tabela 8.1 Koeficijenti bočnih pritisaka

ϕ	K_a	K_p	K_0
10°	0.703	1.42	0.826
15°	0.589	1.70	0.741
20°	0.490	2.04	0.658
25°	0.406	2.46	0.577
30°	0.333	3.00	0.500
35°	0.271	3.66	0.426
40°	0.217	4.60	0.357
45°	0.171	5.83	0.293
50°	0.132	7.55	0.234

Kohezija, ukoliko postoji, smanjuje aktivni pritisak, a povećava pasivni otpor.

Najčešće se zaleđe zida zapunjava krupnozrnim materijalom, koji ima veći ugao smičuće otpornosti od glinovitih materijala, bolje se drenira i definitivno nema koheziju.



Slika 8.12. Rankinova analiza za vertikalni zid i nagnuto tlo

Aktivni pritisak je:

$$p_a = \gamma z \cos \beta \left(\frac{\cos \beta - (\sin^2 \phi' - \sin^2 \beta)^{1/2}}{\cos \beta + (\sin^2 \phi' - \sin^2 \beta)^{1/2}} \right) = \gamma z \cos \beta K_a$$

Pasivni otpor je:

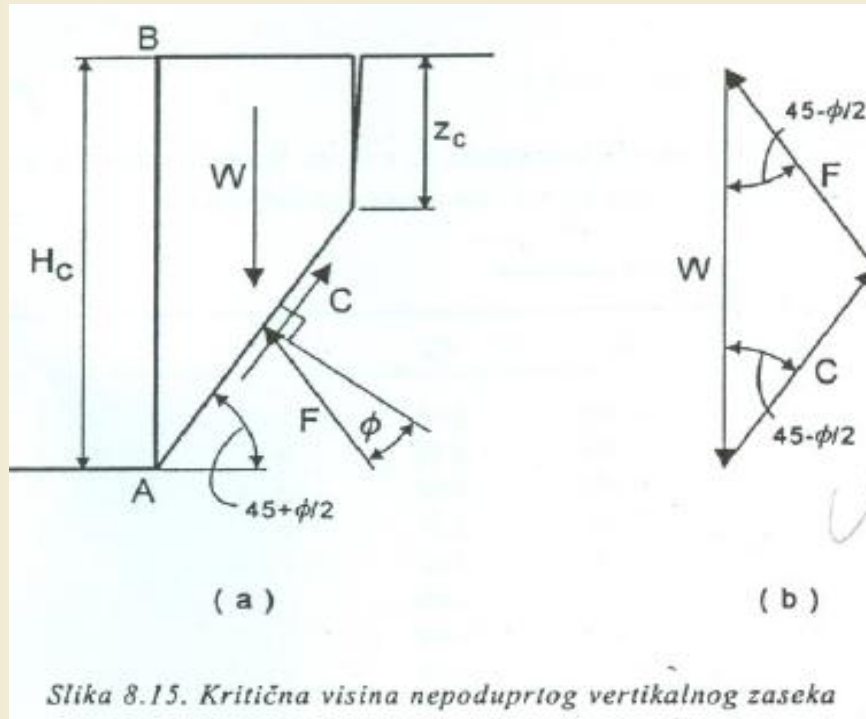
$$p_p = \gamma z \cos \beta \left(\frac{\cos \beta + (\sin^2 \phi' - \sin^2 \beta)^{1/2}}{\cos \beta - (\sin^2 \phi' - \sin^2 \beta)^{1/2}} \right) = \gamma z \cos \beta K_p$$

$$E_a = \frac{1}{2} K_a \gamma H^2 \cos \beta$$

$$E_p = \frac{1}{2} K_p \gamma H^2 \cos \beta$$

Kritična visina

Većina tla ne može da primi čak i veoma male napone zatezanja bez pojave pukotina. Pošto se pojave pukotine, ne mogu se održati izračunati naponi zatezanja.



Prva komponenta je sila C usljed kohezije c veličine:

$$C = c (H_c - z_c) / \cos(45^\circ - \phi/2)$$

a druga je sila trenja F , koja zaklapa ugao ϕ sa normalom na kliznu površ.

Težina mase tla je površina trapeznog presjeka pomnožena sa zapreminskom težinom tla:

$$W = \frac{1}{2} \gamma (H_c + z_c) (H_c - z_c) \operatorname{tg}(45^\circ - \varphi/2) = \frac{1}{2} \gamma (H_c^2 - z_c^2) \operatorname{tg}(45^\circ - \varphi/2)$$

Pošto su tri sile \mathbf{W} , \mathbf{F} i \mathbf{C} u ravnoteži, dobija se:

$$W = 2 C \cos(45^\circ + \varphi/2)$$

Dobija se da je:

$$H_c = 4 c/\gamma \operatorname{tg}(45^\circ + \varphi/2) - z_c$$

Terzagi navodi niz empirijskih zapažanja da dubina pukotine obično ne prelazi polovinu kritične visine H_c . U tom slučaju je:

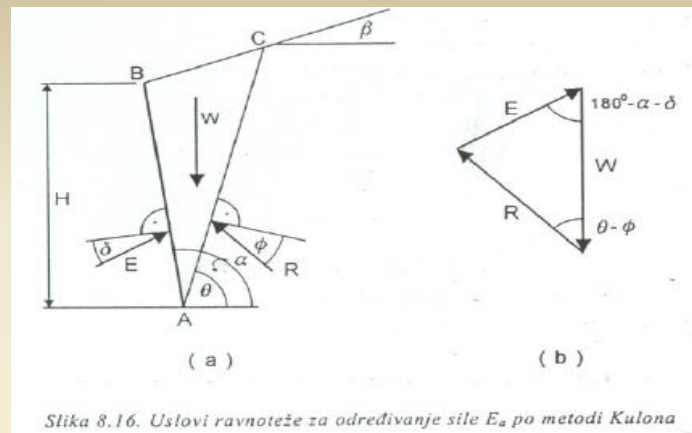
$$z_c = H_c / 2 \quad H_c = 2.67 c/\gamma \operatorname{tg}(45^\circ + \varphi/2)$$

što praktično znači da kritična visina nije mnogo veća od dubine zone zatezanja.

Kulonova teorija pritiska tla

Podrazumjeva slijedeće pretpostavke:

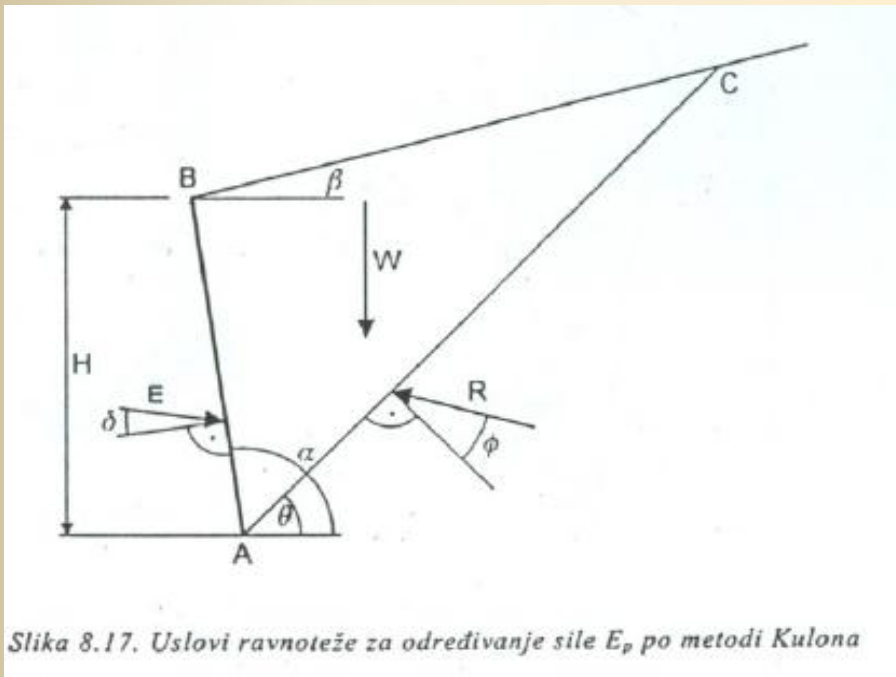
- zid je krut i ravan pod uglom α u odnosu na horizontalu,
- teren je ravan ili može biti u nagibu pod uglom β ,
- tlo je bez kohezije ($c = 0$) i čvrstoća se opisuje trenjem,
- smjer djelovanja sile pritiska zaklapa ugao δ sa normalom na zid,
- napadne tačke sila su poznate veličine,
- površina klizanja je ravan.



Slika 8.16. Uslovi ravnoteže za određivanje sile E_a po metodi Kulona

$$E_i = E(\theta, \alpha, \beta, \delta, \phi, \gamma, H)$$

Za veličinu aktivnog pritiska trži se ugao kritične ravni θ za koji se dobija maksimalna veličina sile aktivnog pritiska $E_i = E_a$, odnosno minimalna veličina pasivnog otpora $E_p = E_p$. To podrazumjeva ispisivanje uslova za ekstrem funkcije u obliku $\partial E / \partial \theta = 0$.



Slika 8.17. Uslovi ravnoteže za određivanje sile E_p po metodi Kulona

$$E_a = \frac{1}{2} K_a \gamma H^2$$

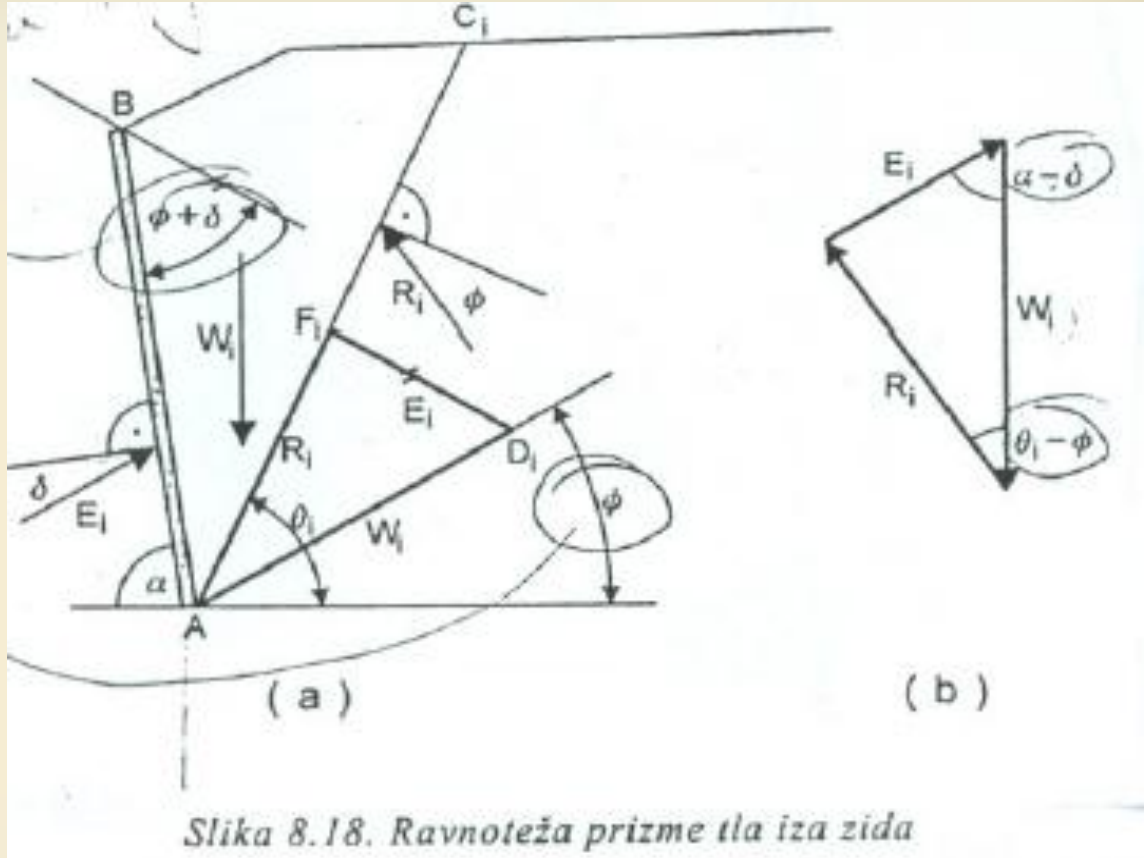
$$E_p = \frac{1}{2} K_p \gamma H^2$$

$$K_a = \left[\frac{\frac{\sin(\alpha - \phi')}{\sin \alpha}}{[\sin(\alpha + \delta)]^{1/2} + \left(\frac{\sin(\phi' + \delta) \sin(\phi' - \beta)}{\sin(\alpha - \beta)} \right)^{1/2}} \right]^2$$

$$K_p = \left[\frac{\frac{\sin(\alpha + \phi')}{\sin \alpha}}{[\sin(\alpha - \delta)]^{1/2} + \left(\frac{\sin(\phi' + \delta) \sin(\phi' + \beta)}{\sin(\alpha - \beta)} \right)^{1/2}} \right]^2$$

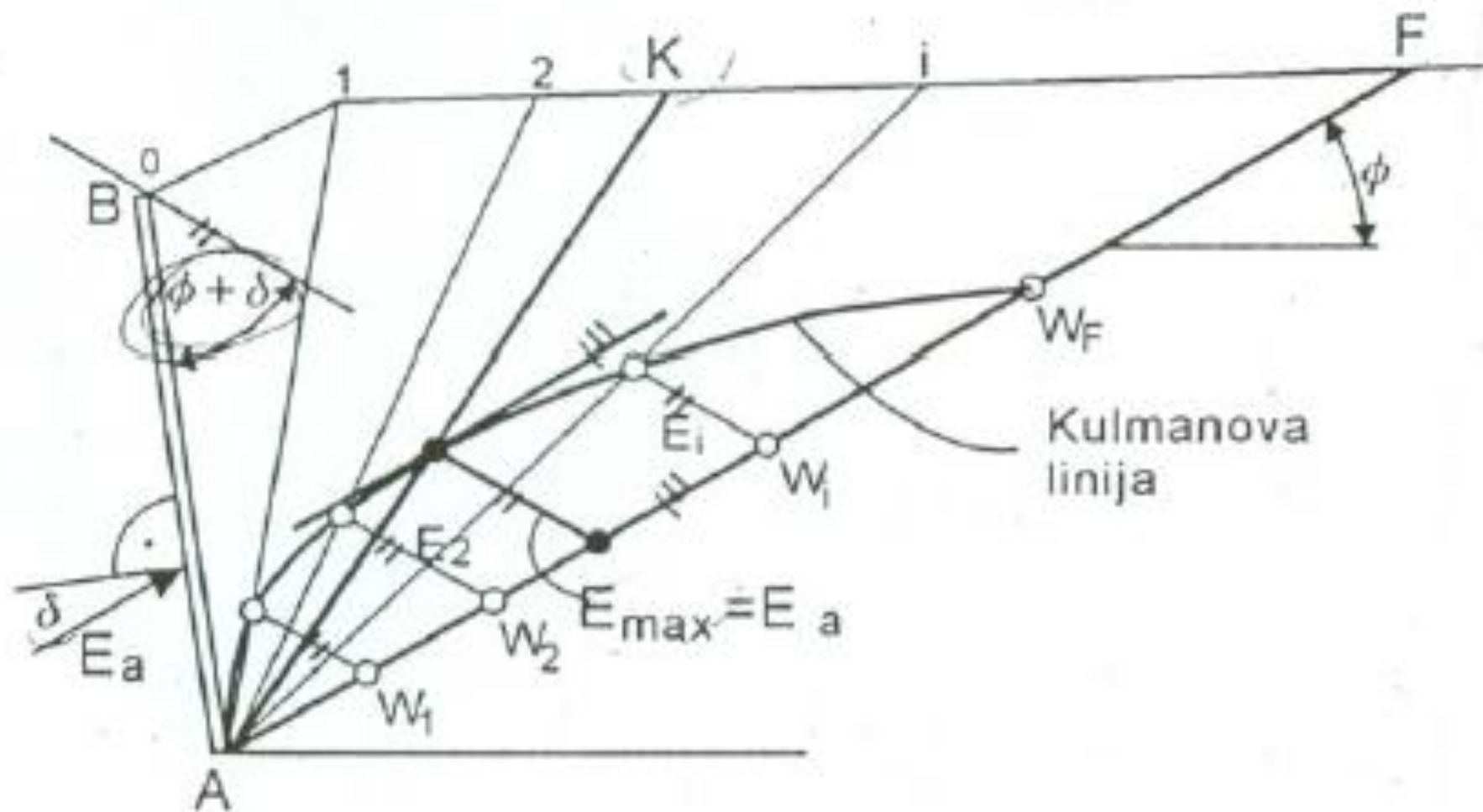
Kulmanov postupak – aktivni pritisak

Presjek površine terena može biti i nepravilna kriva ili poligona linija uz prisustvo linijskih i podjeljenih opterećenja.



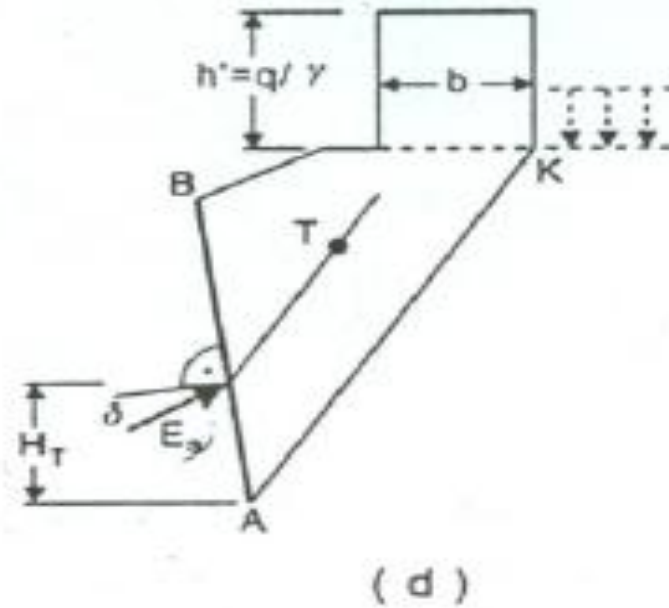
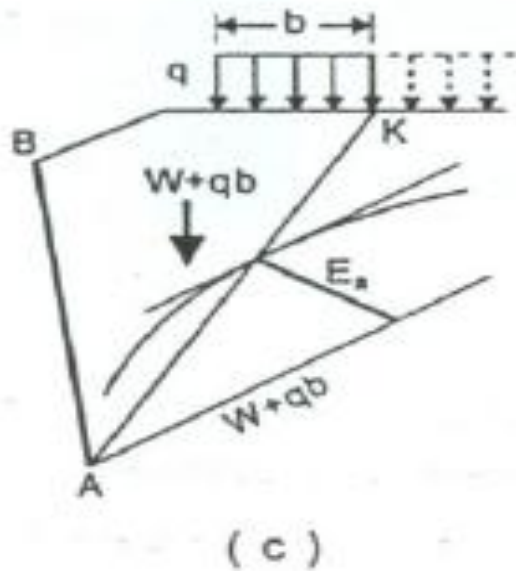
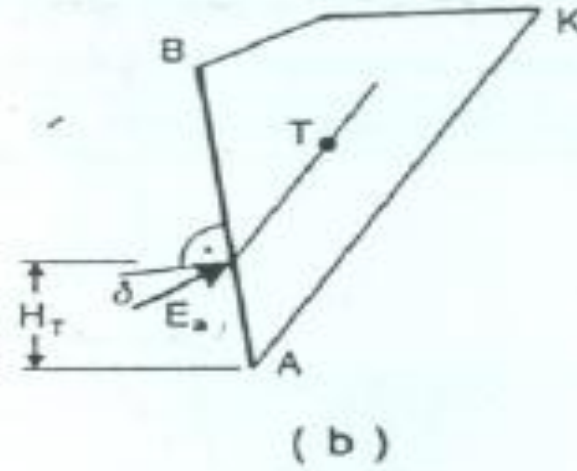
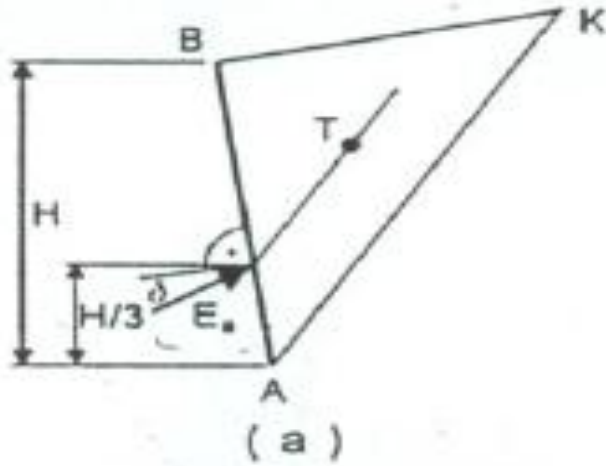
Slika 8.18. Ravnoteža prizme tla iza zida

Na prethodnoj slici prikazane su sile i poligon sila pri graničnoj ravnoteži hipotetičkog aktivnog klina određenog tačkom **C** u zaleđu zida, iz kojeg se može odrediti sila pritiska **E**. Uzastopnom primjenom ove konstrukcije na potencijalne klizne ravni sa različitim uglovima θ može se odrediti **kritična klizna ravan koja zahtijeva najveću silu za zadovoljavanje uslova ravnoteže; to je sila aktivnog pritiska E_a** .



Slika 8.19. Kulmanova metoda za određivanje aktivnog pritiska tla

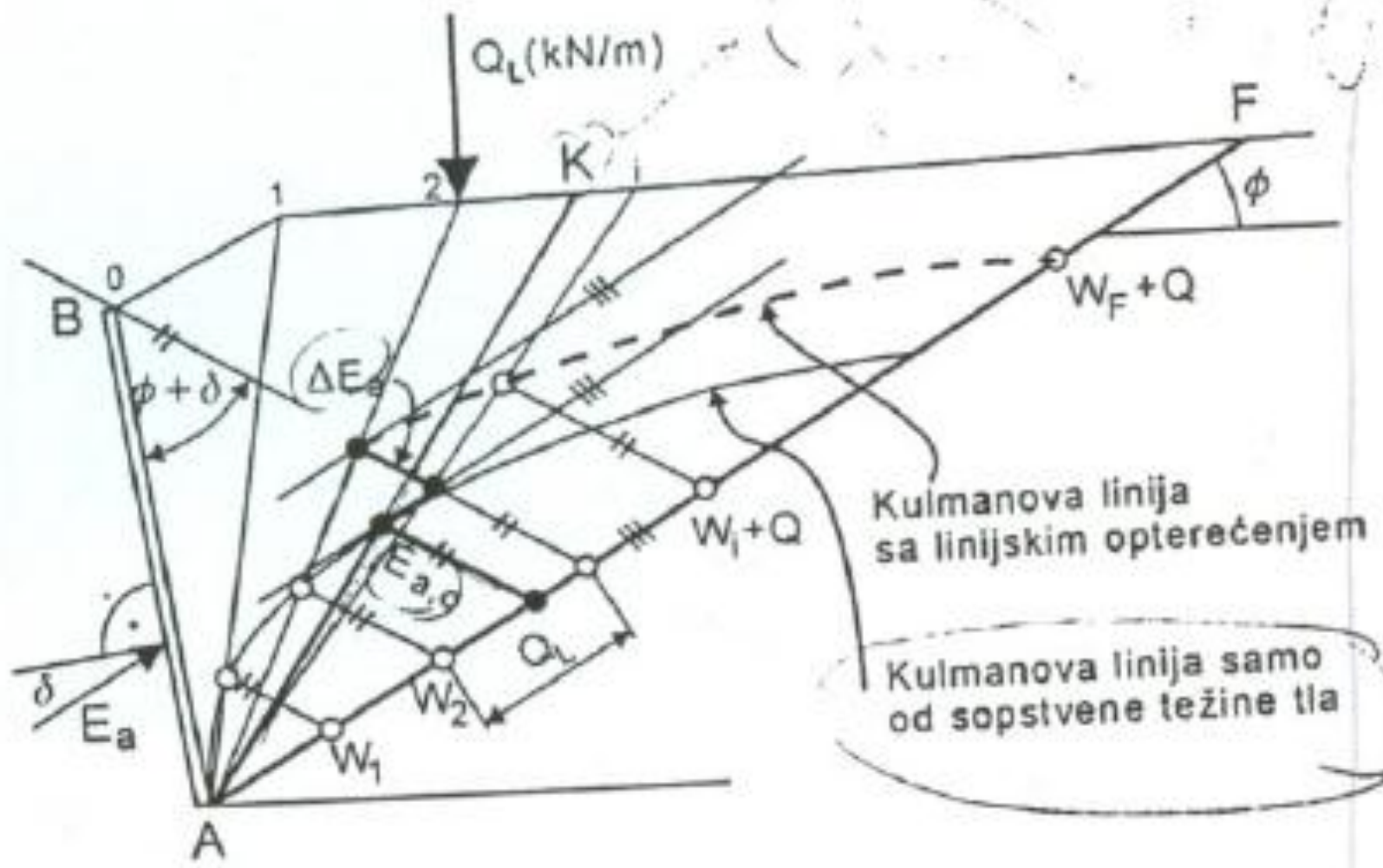
Ako je presjek konture tla poligonog oblika i površina djelimično opterećena vertikalnim podjeljenim opterećenjem q , opterećenje se može zamijeniti ekvivalentnim slojem tla visine $h' = q/\gamma$.



Slika 8.20. Položaj napadne tačke sile aktivnog pritiska u metodi Kulmana

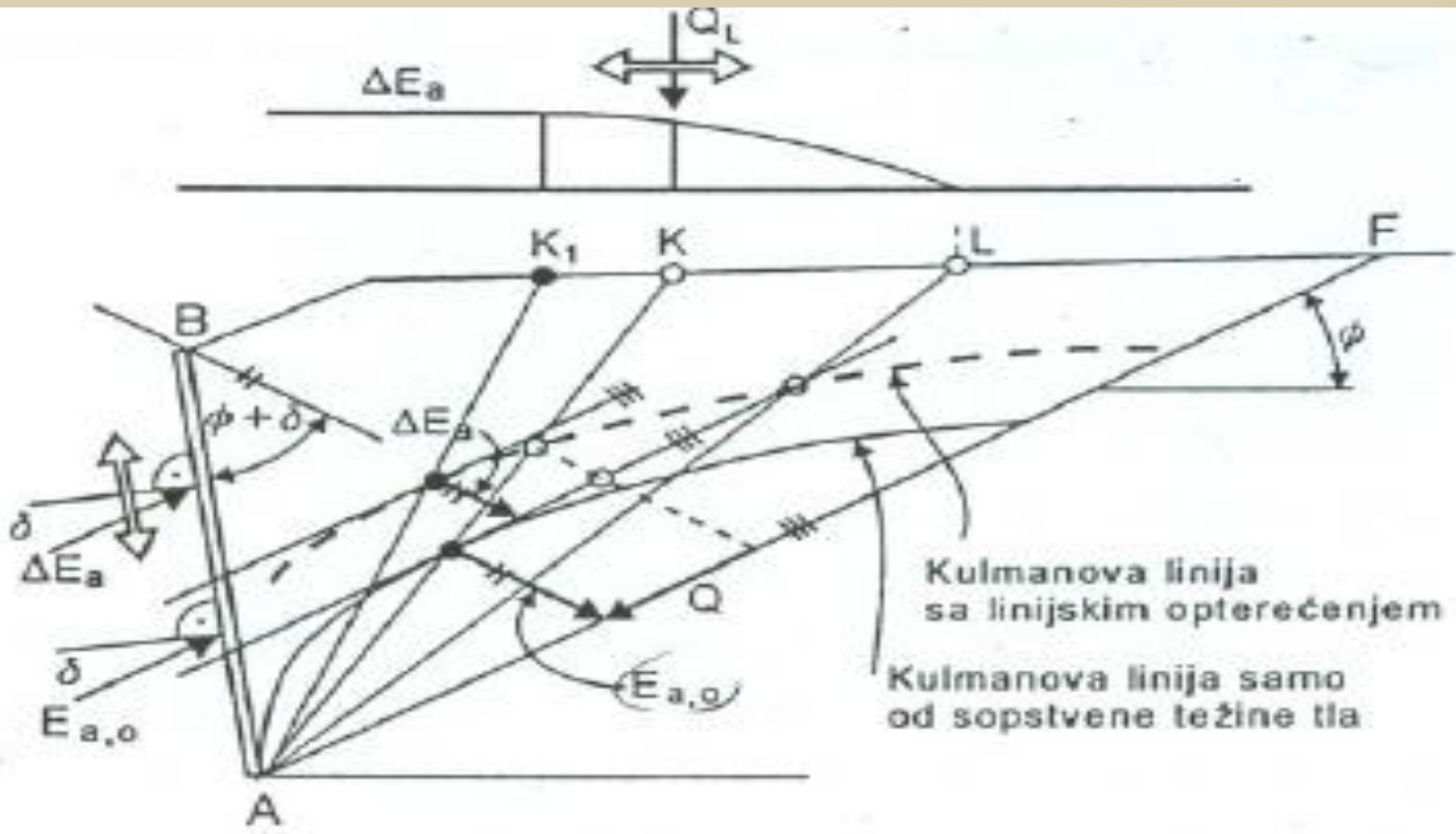
Uticaj opterećenja na površini

Ako na površinu tla u zaleđu zida djeluje linijsko opterećenje intenziteta Q_L (kN/m), postupak se može proširiti na analogan način, kao što je prikazano na slici:



Slika 8.21. Aktivni pritisak usled linijskog opterećenje u metodi Kulmana

Kulmanova konstrukcija može da posluži za ilustraciju uticaja položaja linijskog opterećenja na veličinu pritiska.

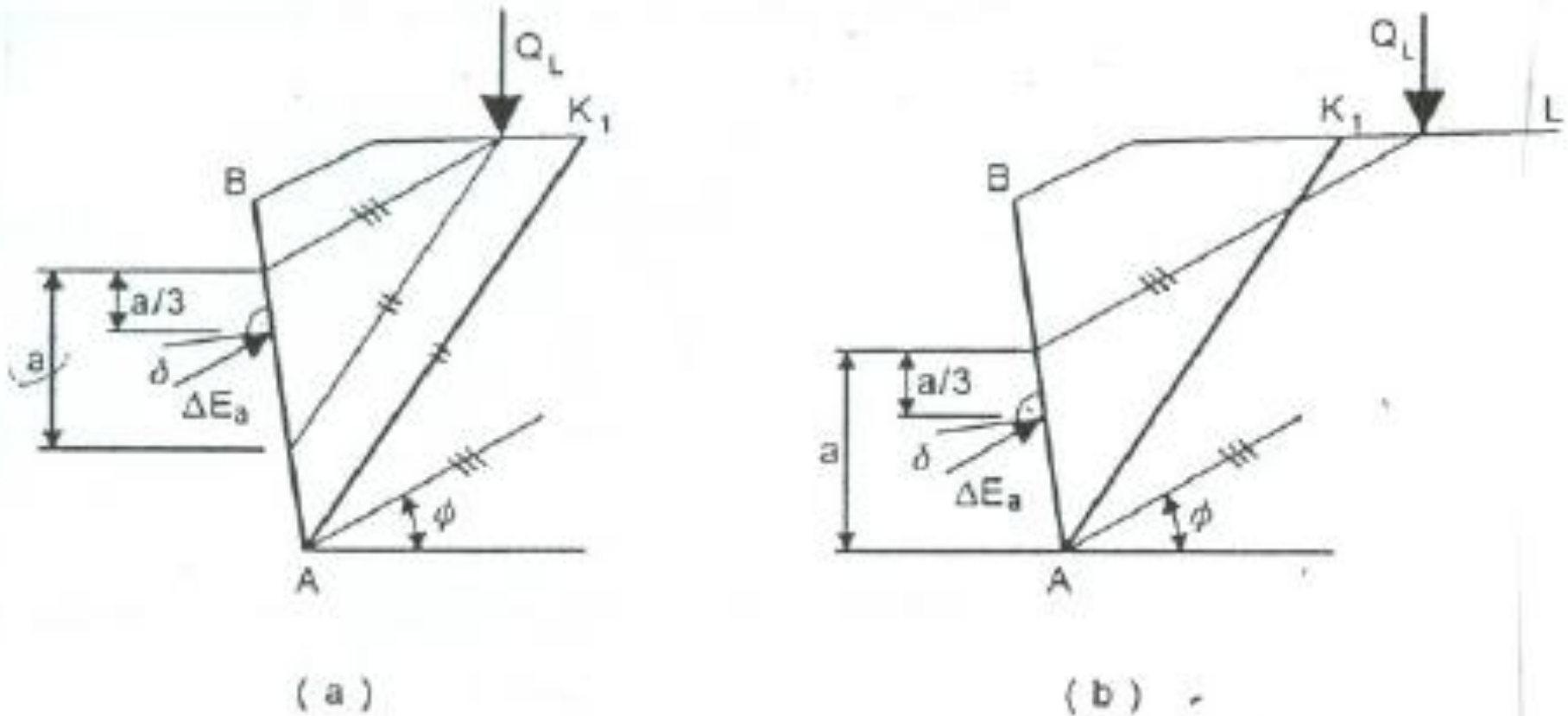


Slika 8.22. Uticajna linija za priraštaj pritiska tla usled linijskog opterećenja

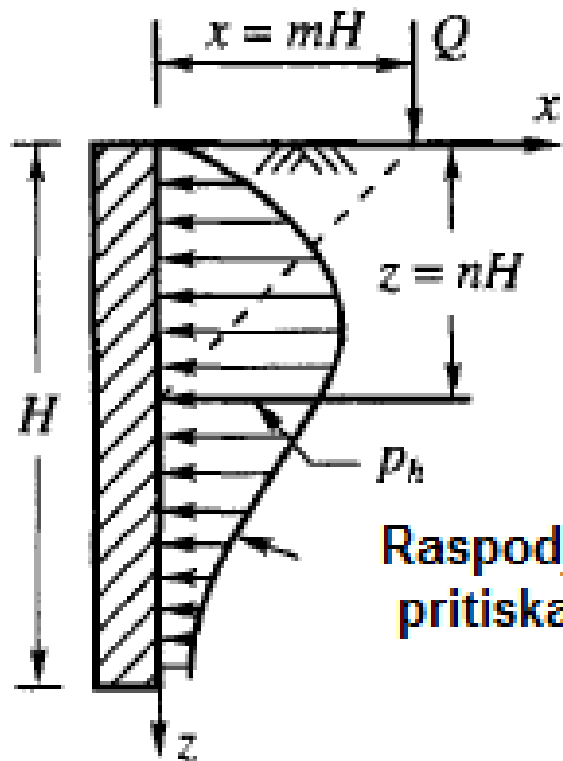
Može se vidjeti da linijsko opterećenje utiče na povećanje ukupnog pritiska iako djeluje izvan kritičnog bloka **ABK** za sopstvenu težinu tla, ali se taj uticaj smanjuje sa pomjeranjem opterećenja u desno od tačke **K**.

Za raspodjelu priraštaja pritiska po visini zida usljed dejstva linijskog opterećenja na površinu zasipa ne postoji strogo teorijsko rješenje.

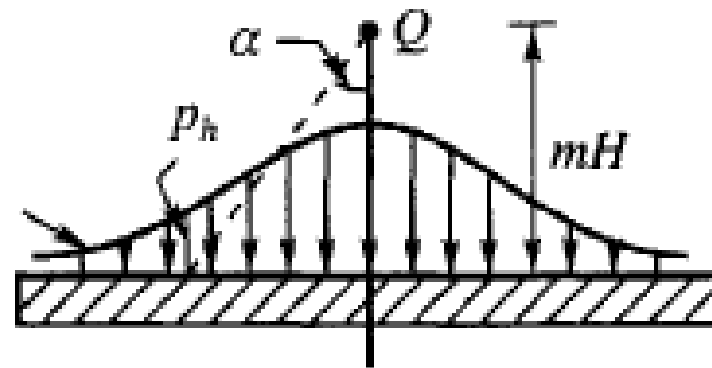
Empirijski postupak prema prijedlogu Terzagija, koji daje prihvatljive rezultate prikazan je na slici:



Slika 8.23. Napadna tačka komponenti priraštaja aktivnog pritiska



a) Vertikalni presjek



b) Horizontalni presjek

Bočni pritisak duž krutog zida od koncentrisanog opterećenja na površini

(a) $m > 0.4$

$$p_h = \frac{1.77Q}{H^2} \frac{n^2}{(m^2 + n^2)^3}$$

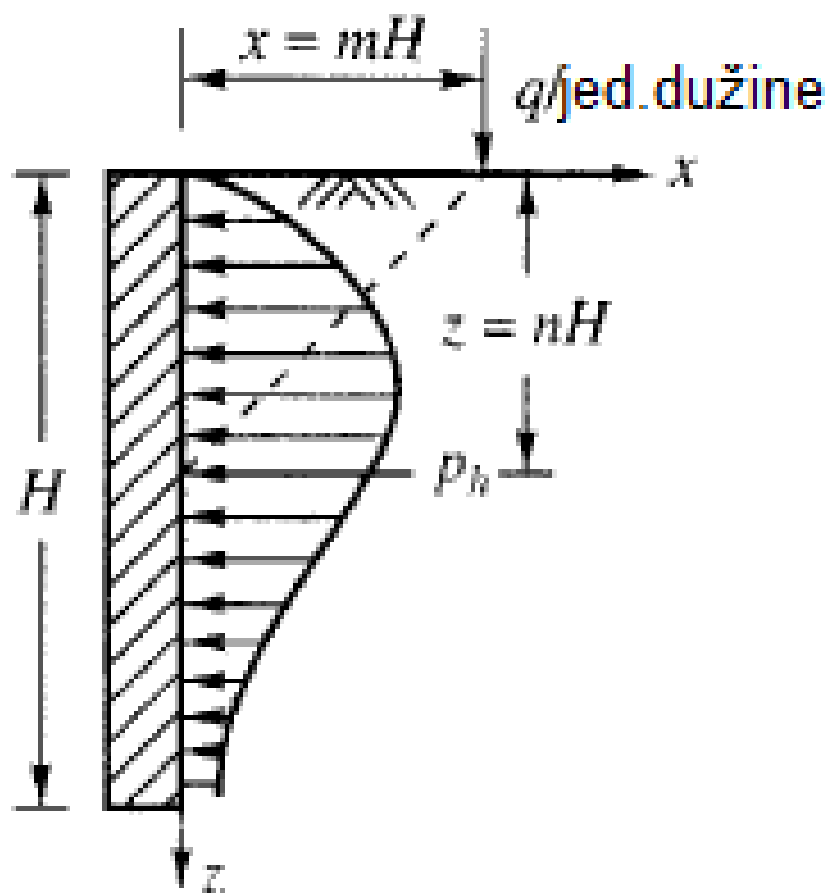
(b) $m \leq 0.4$

$$p_h = \frac{0.28Q}{H^2} \frac{n^2}{(0.16 + n^2)^3}$$

c) Bočni pritisak duž zida sa svake strane okomito na Q:

$$p'_h = p_h \cos^2(1.1\alpha)$$

Bočni pritisak na kruti zid od linijskog opterećenja:



(a) za $m > 0.4$

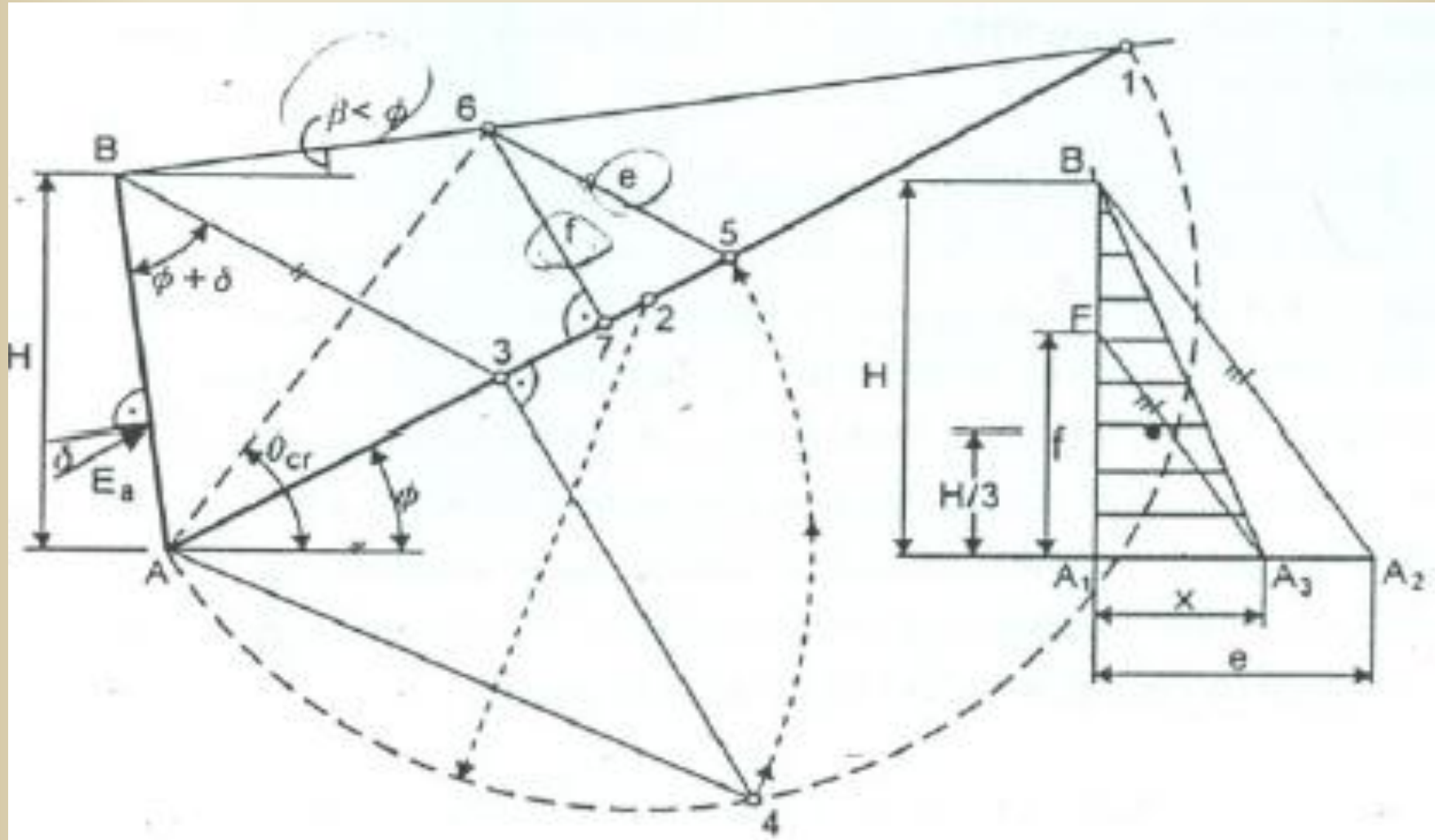
$$P_h = \frac{4}{\pi} \frac{q}{H} \left[\frac{m^2 n}{(m^2 + n^2)^2} \right]$$

(a) za $m \leq 0.4$

$$P_h = \frac{q}{H} \left[\frac{0.203n}{(0.16 + n^2)^2} \right]$$

Ponseleov(Poncelet,1840) postupak određivanja aktivnog pritiska:

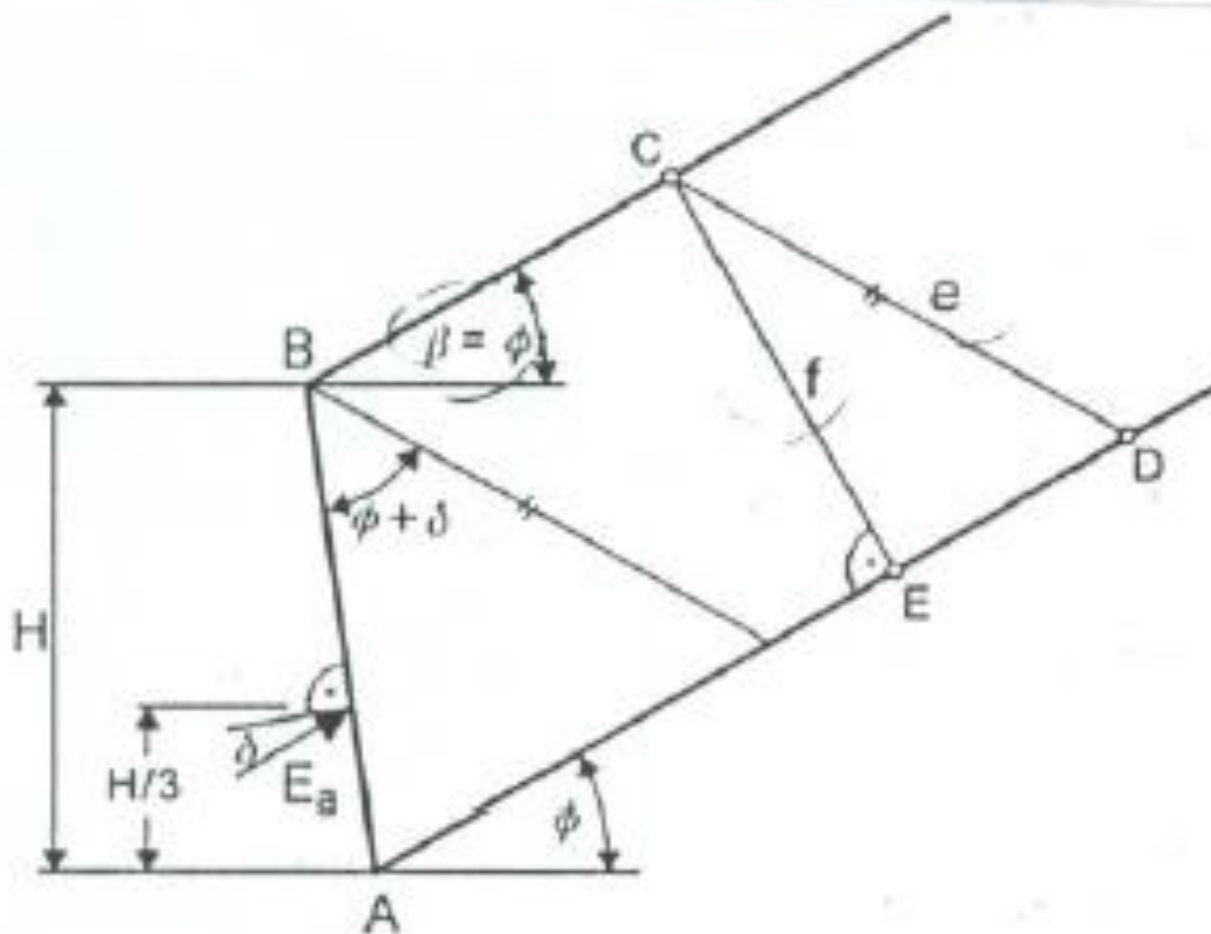
Veličina aktivnog pritiska računa se po formuli: $E_a = \frac{1}{2} \gamma \cdot e \cdot f$



Slika 8.25. Ponseljeova konstrukcija za određivanje aktivnog pritiska

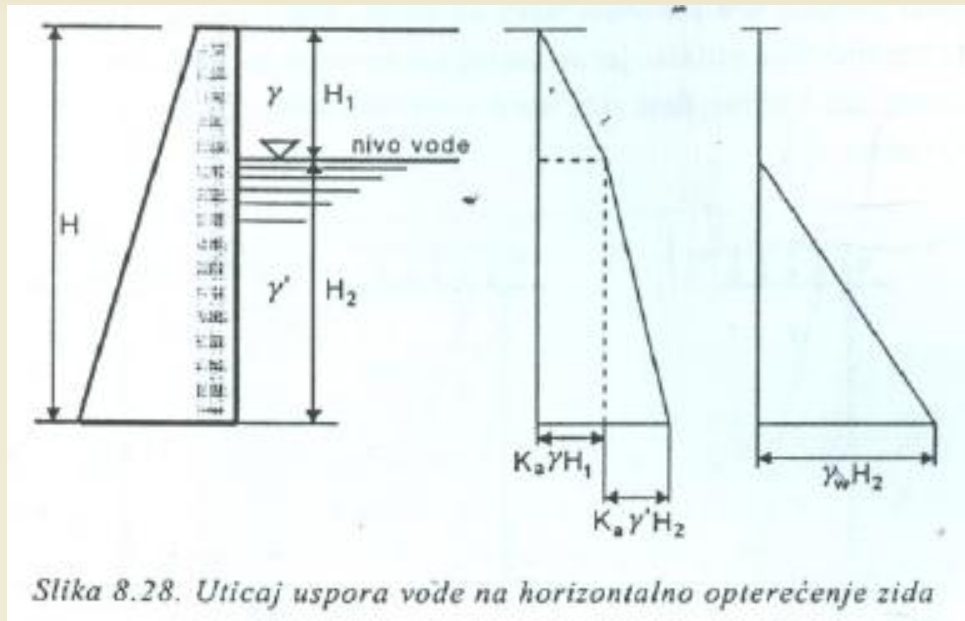
Iz proporcije je $x/f = e/H$, pa slijedi da je $xH = ef$.

$$E_a = \frac{1}{2} \gamma x H$$



Slika 8.26. Ponseleova konstrukcija kada je ugao nagiba terena jednak uglu smičuće otpornosti

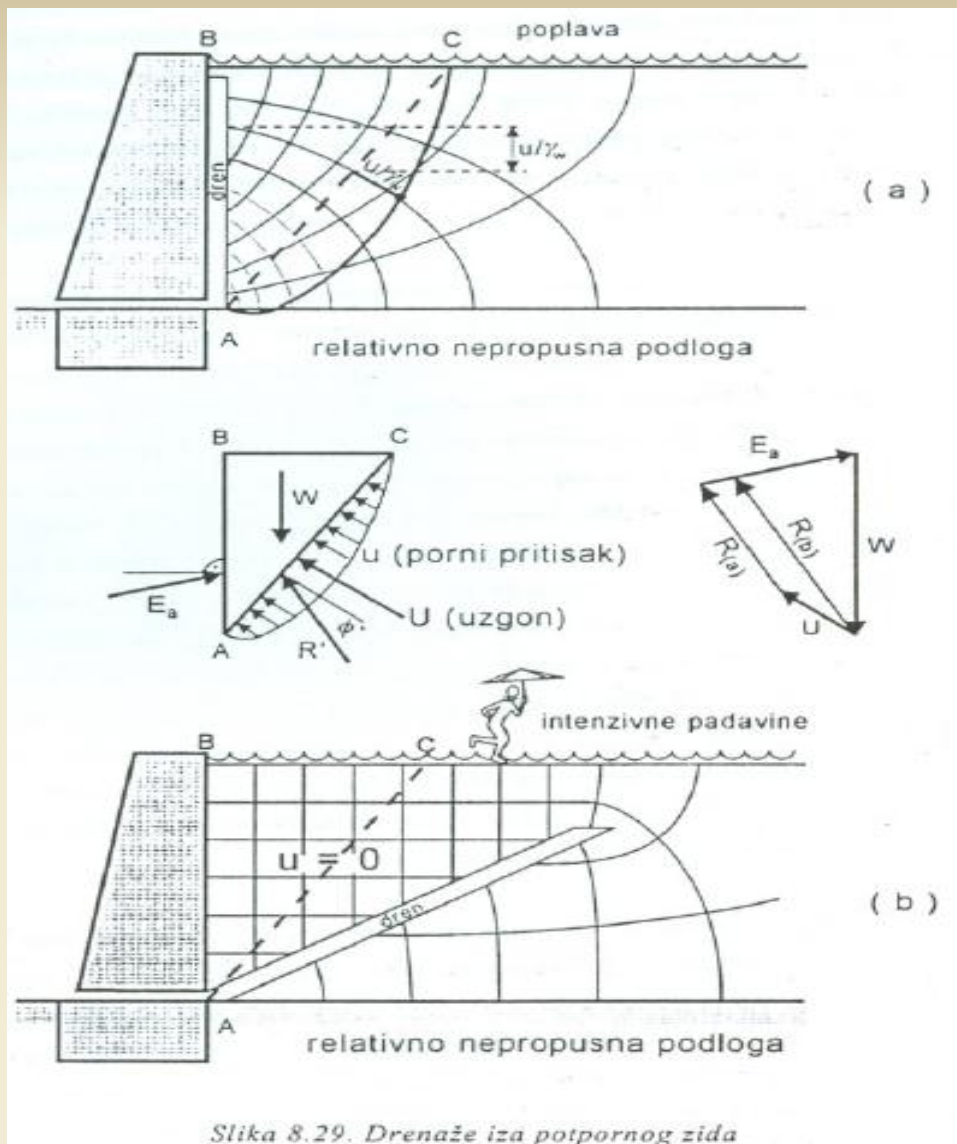
Uticaj filtracije i pornog pritiska



Ukupan horizontalni pritisak na zid se sastoji od zbira pritiska tla i hidrostatičkog pritiska:

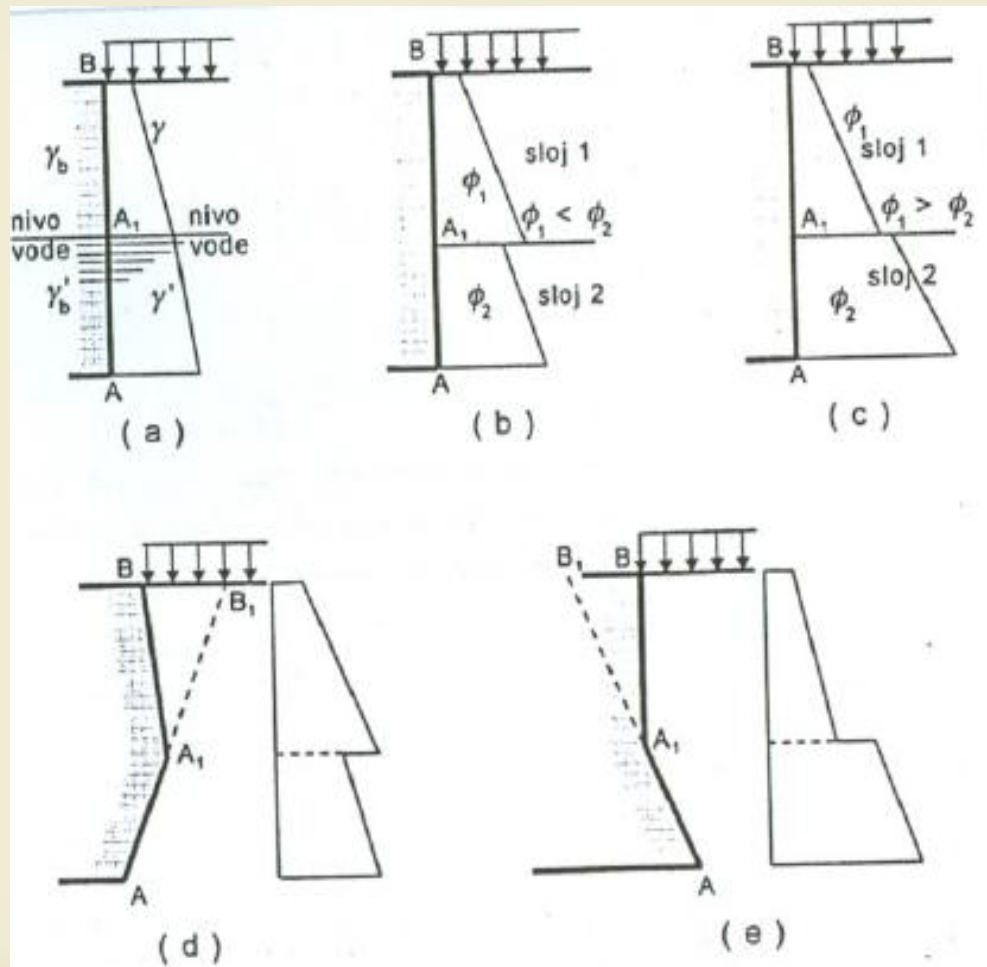
$$E_a = E'_a + P_w = \frac{1}{2} \gamma K_a H^2 + K_a \gamma H \frac{H}{2} + \frac{1}{2} K_a \gamma' H^2 + \frac{1}{2} \gamma_w H^2$$

Dreniranje zaleđa zida je veoma bitno za stabilnost potpornog zida.



Zasip u zaleđu zida od sitnozrnog tla treba izbjegavati, jer će sezonske klimatske promjene najvjerojatnije izazvati sukcesivna bubrenja i skupljanja tla. Osim toga, u našim uslovima zasipanje nije preporučljivo izvesti tlom koje je osjetljivo na dejstvo mraza.

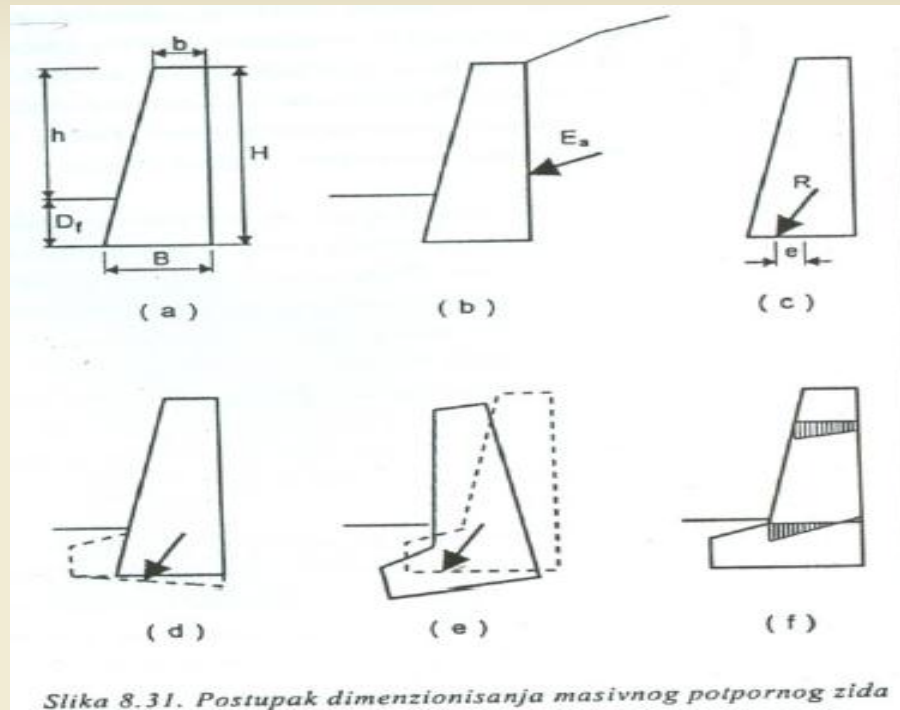
Posebni slučajevi aktivnog pritiska



Slika 8.30. Raspodele aktivnih pritiska za posebne slučajeve

Stabilnost gravitacionog potpornog zida

Određivanje potrebnih dimenzija masivnog potpornog zida je iterativan postupak.



Masivni potporni zid oslonjen na temeljno tlo treba da zadovolji dva osnovna zahtjeva: prvi je da ne dođe do klizanja zida po temeljnoj spojnici, a drugi da se ne prekorači dopušteno koso opterećenje temeljnog tla. Preporučljivo je zanemariti pasivni otpor u nožici, tako da je faktor sigurnosti protiv

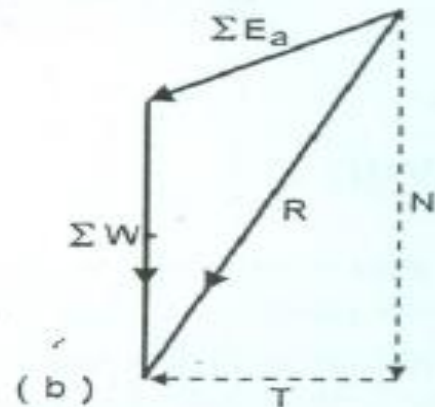
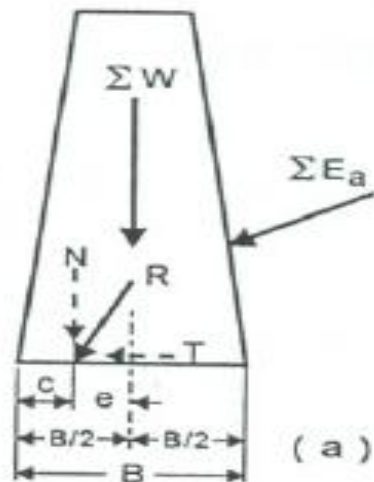
klizanja:

$$F_s = \frac{N \tan \delta}{T} > 1.5$$

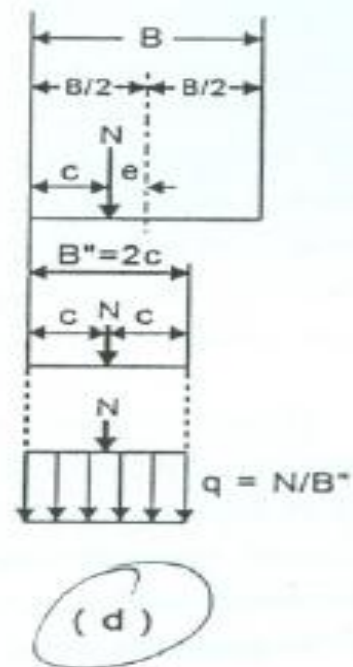
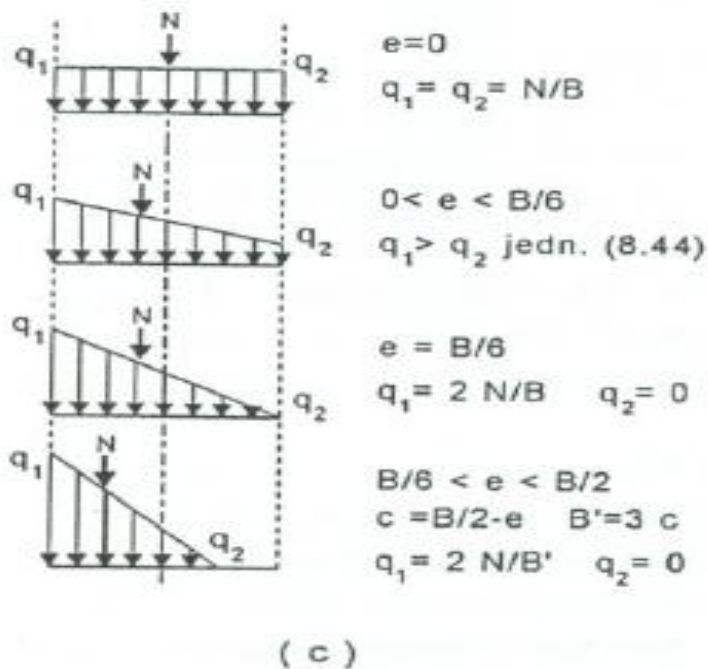
Ukoliko se uzme u obzir i pasivni otpor E_p tada se preporučuje kriterijum:

$$F_s = \frac{N \tan \delta + E_p}{T} > 2.0$$

U gornjim izrazima N je komponenta sile R upravna na temeljnu spojnicu, T smičuća komponenta, paralelna sa temeljnom spojnicom, a δ je ugao trenja između temelja i tla.



Da bi se obezbijedili naponi pritiska po cijeloj širini temeljne spojnice, ekscentričnost rezultante treba da je unutar jezgra presjeka, tj. na odstojanju $e < B/6$, gdje je B širina temelja.



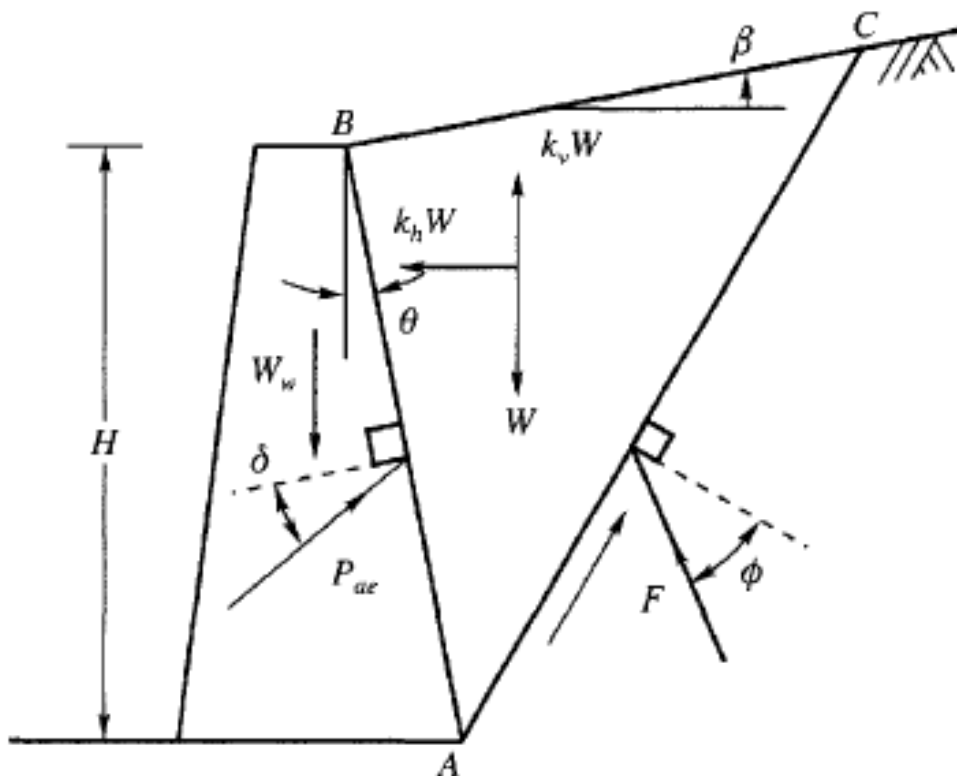
Slika 8.32. Ispitivanje stabilnosti potpornog zida

Uticaj zemljotresa na aktivne pritiske granulisanog tla

$$P_{ae} = \frac{1}{2} \gamma H^2 (1 - k_v) K_{Ae}$$

gdje je:

$$K_{Ae} = \frac{\cos^2(\phi - \eta - \theta)}{\cos \eta \cos^2 \theta \cos(\delta + \theta + \eta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \eta - \beta)}{\cos(\delta + \theta + \eta) \cos(\beta - \theta)}} \right]^2}$$



Totalni pritisak po
Momonobe-Okabe

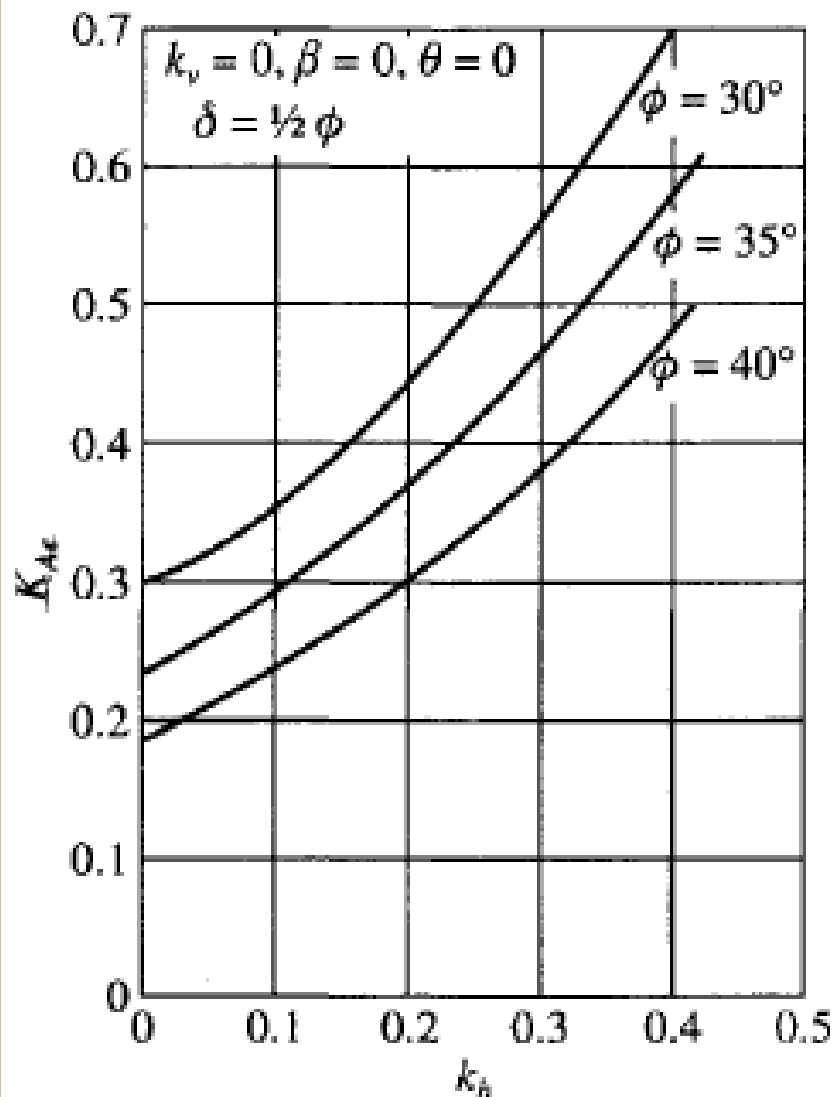
Totalna rezultanta
aktivnog pritiska pod
seizmičkim djelovanjem:

$$P_{ae} = P_a + \bar{P}_{ae}$$

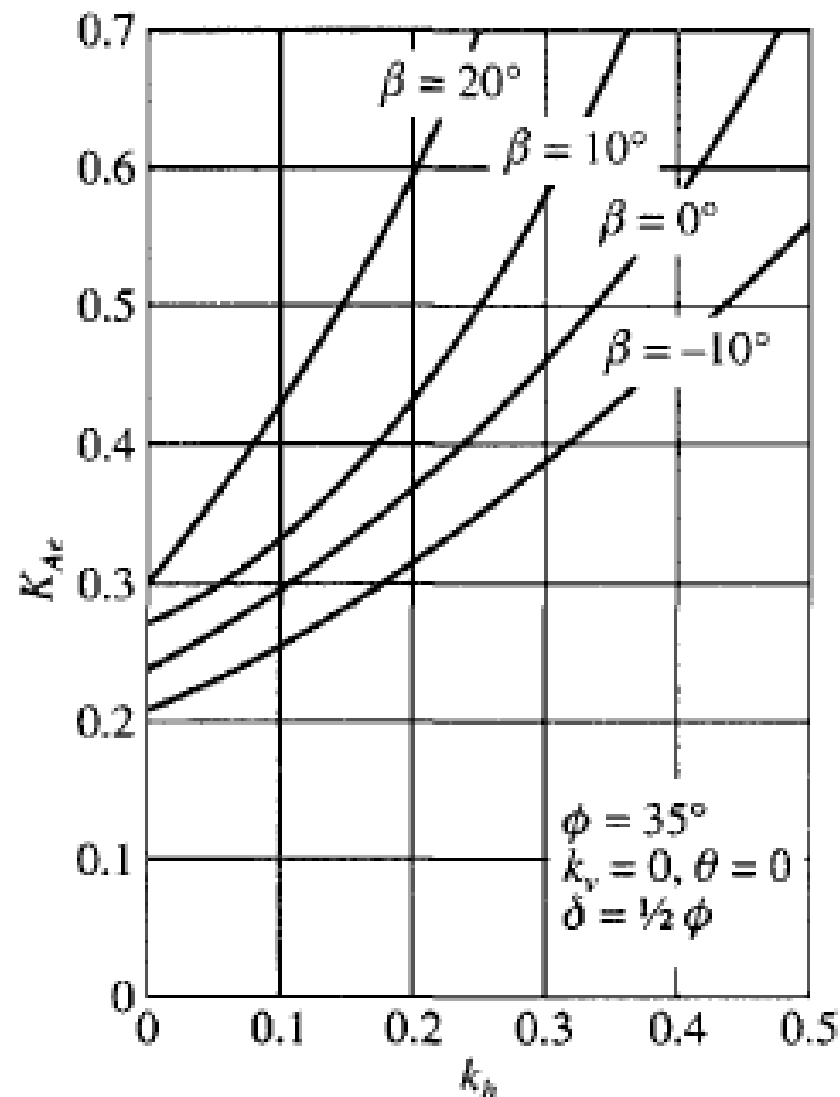
$$\eta = \tan^{-1} \left[\frac{k_h}{1 - k_v} \right]$$

Očekivati je da dinamička
komponenta djeluje na visin
0,6H od osnove zida

Uticaj zemljotresa na aktivne pritiske granulisano g tla



a) Uticaj unutrašnjeg ugla trenja tla na dinamički pritisak (Richards i dr. 1979)

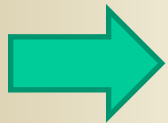


b) Uticaj nagiba terena na dinamički bočni pritisak (Richards i dr. 1979)

Uticaj zemljotresa na aktivne pritiske granulisane tla

Značaj izraza pod korjenom:

$$\sin(\phi - \eta - \beta) \geq \text{nule}$$



$$\beta \leq (\phi - \eta)$$

b) Za slučaj seizmički neaktivnog područja $\eta = 0$:



$$\beta \leq (\phi - \eta)$$

c) Ako je teren horizontalan, $\beta = 0$:



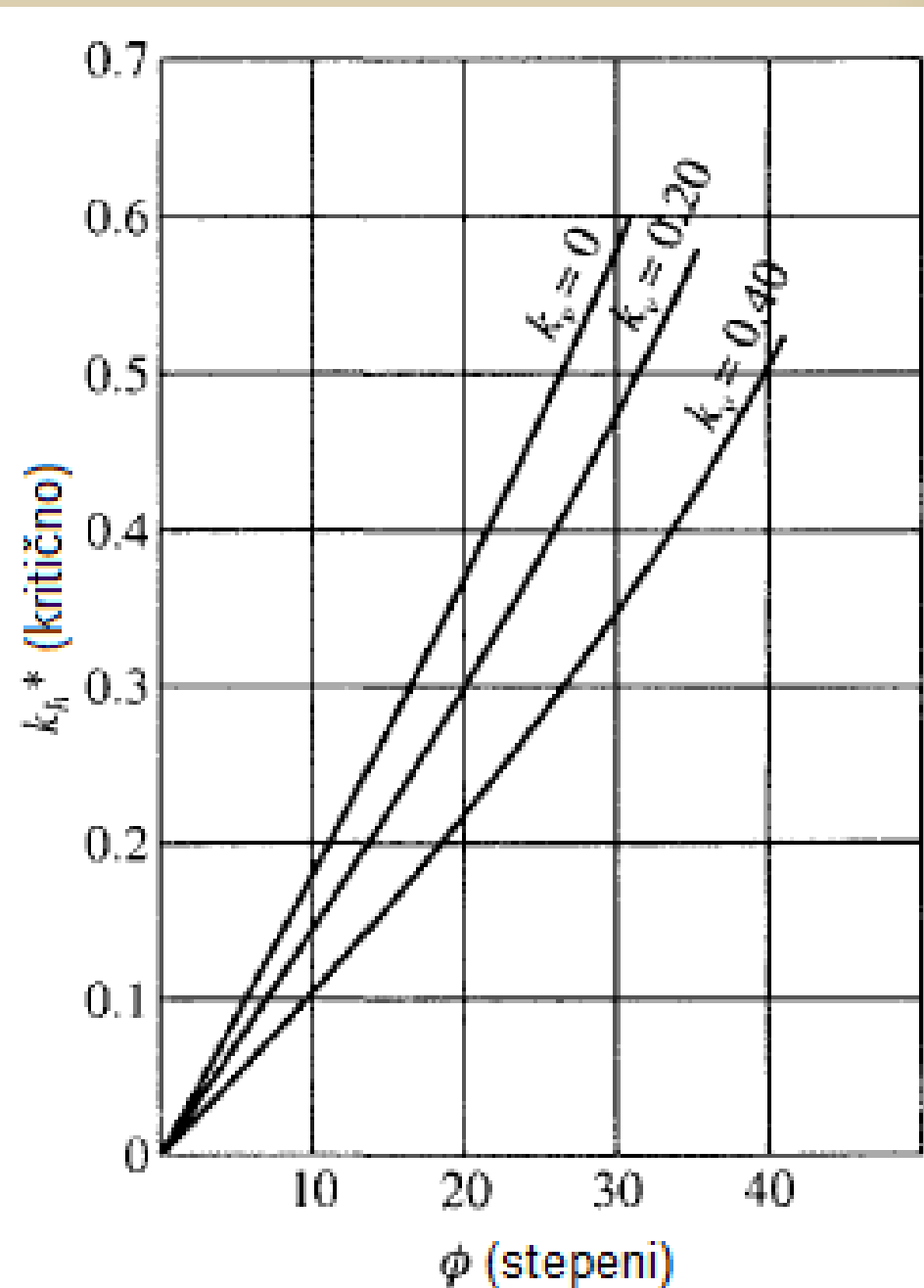
$$\eta \leq \phi$$

d) Kombinacijom prethodnih izraza:

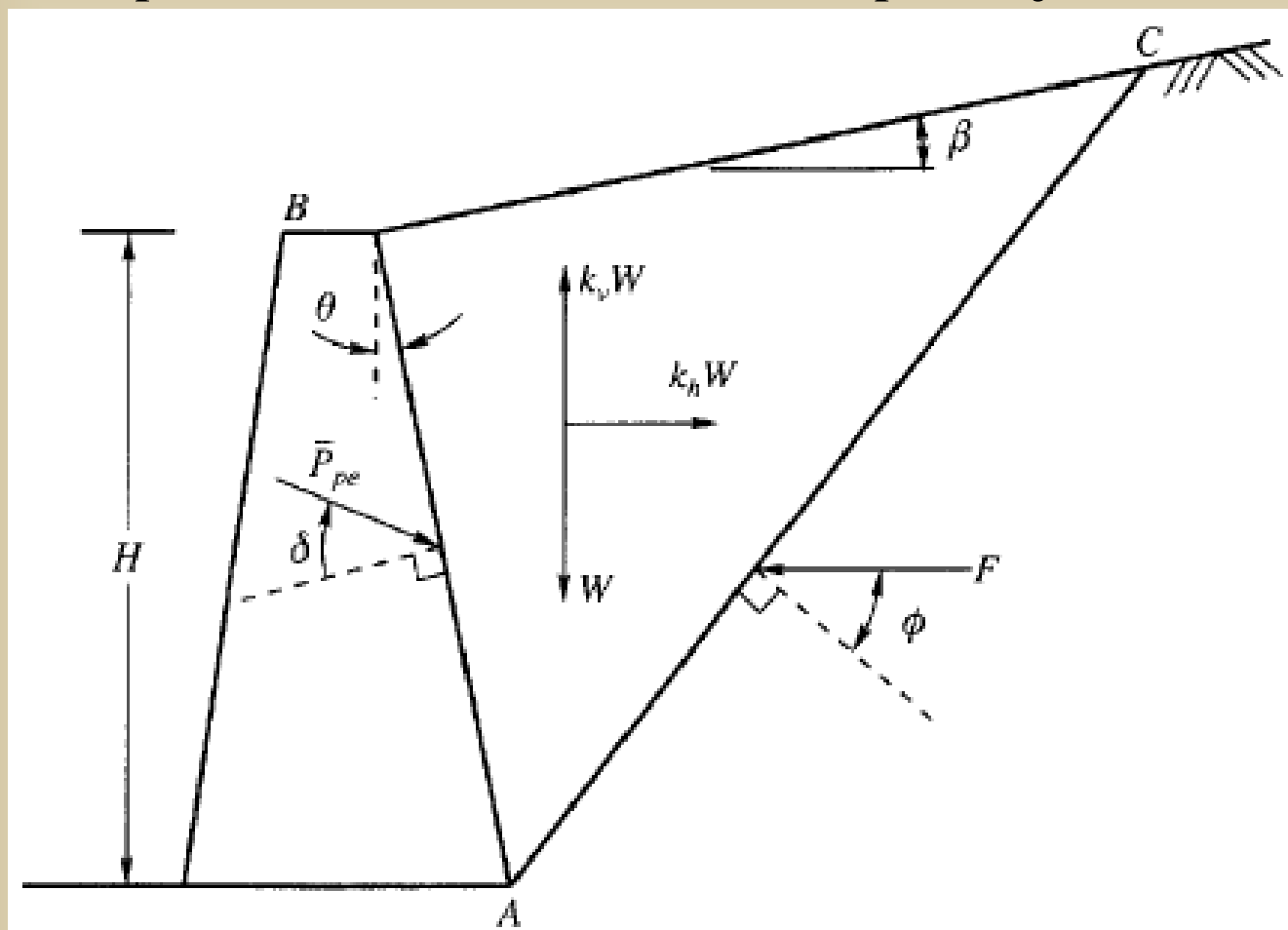
$$k_h \leq (1 - k_v) \tan \phi$$



$$k_h^* = (1 - k_v) \tan \phi$$



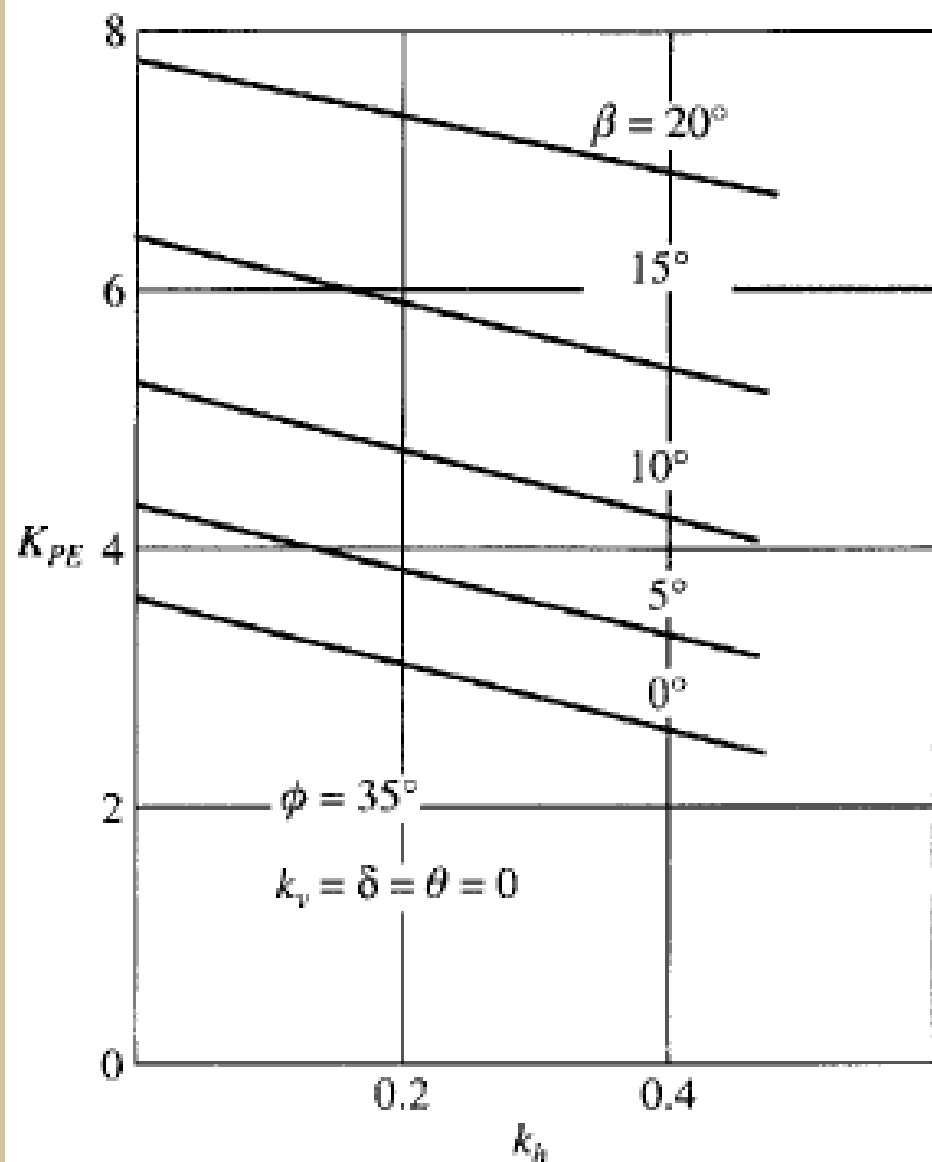
Pasivni pritisak tla u seizmički aktivnom području



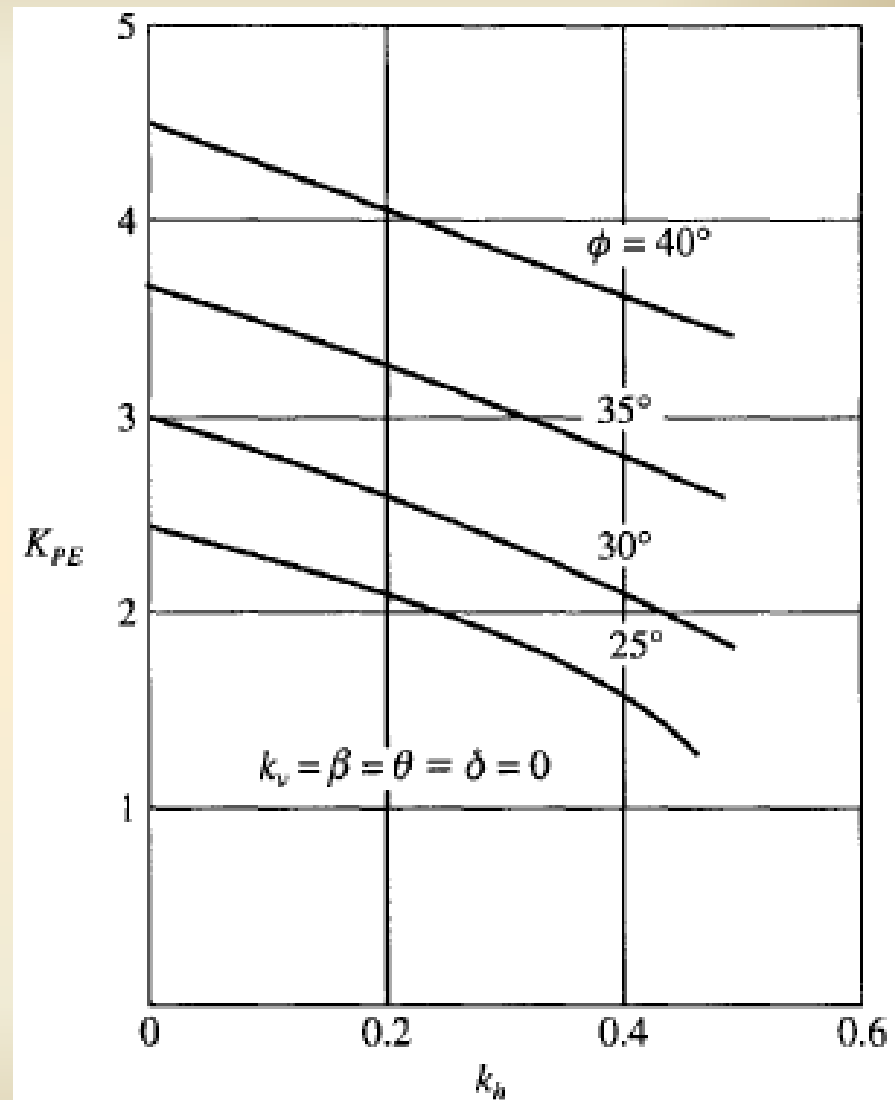
$$P_{pe} = \frac{1}{2} \gamma H^2 (1 - k_v) K_{pe}$$

$$K_{pe} = \frac{\cos^2(\phi - \eta + \theta)}{\cos \eta \cos^2 \theta \cos(\delta - \theta + \eta) \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \eta + \beta)}{\cos(\delta - \theta + \eta) \cos(\beta - \theta)}} \right]^2}$$

Pasivni pritisak tla u seizmički aktivnom području



Utica j nagiba kosine tla na pasivni pritisak

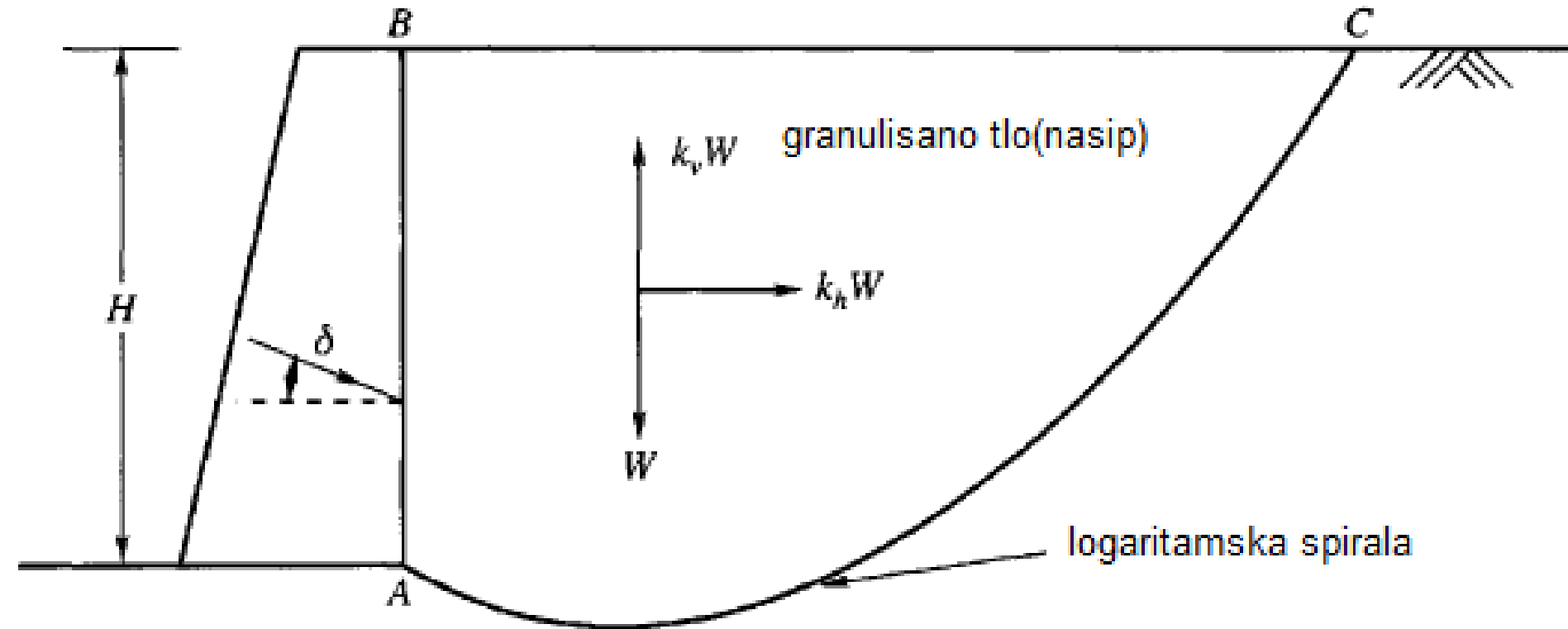


Utica j unutrašnjeg trenja (ugao) na pasivni pritisak

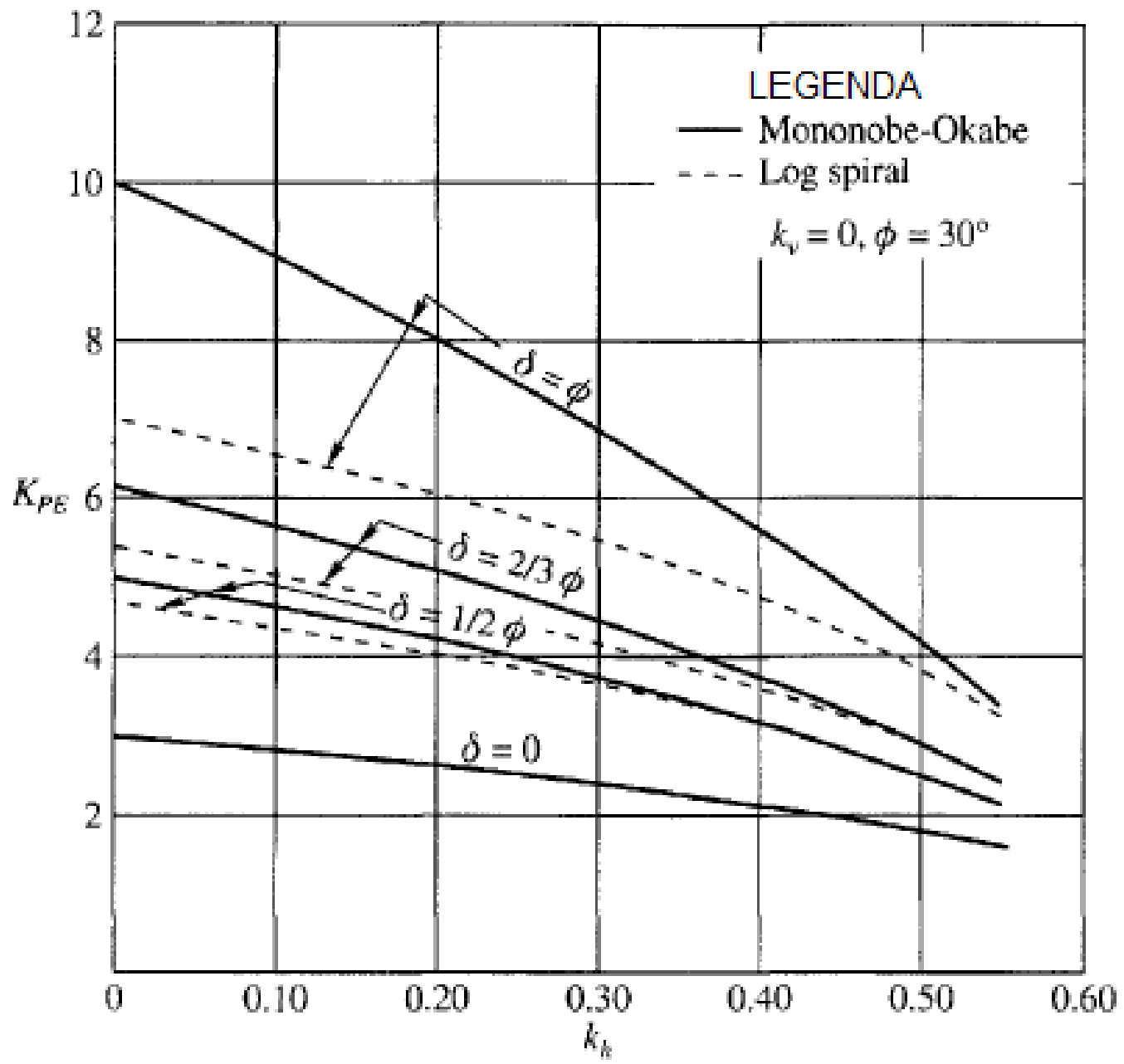
Pasivni pritisak tla u seizmički aktivnom području

Morrison i Ebelling(1995) prepostavili su površinu loma kao logaritamsku spiralu i računali intezitet pasivnog pritiska u zeizmičkoj aktivnosti područja.

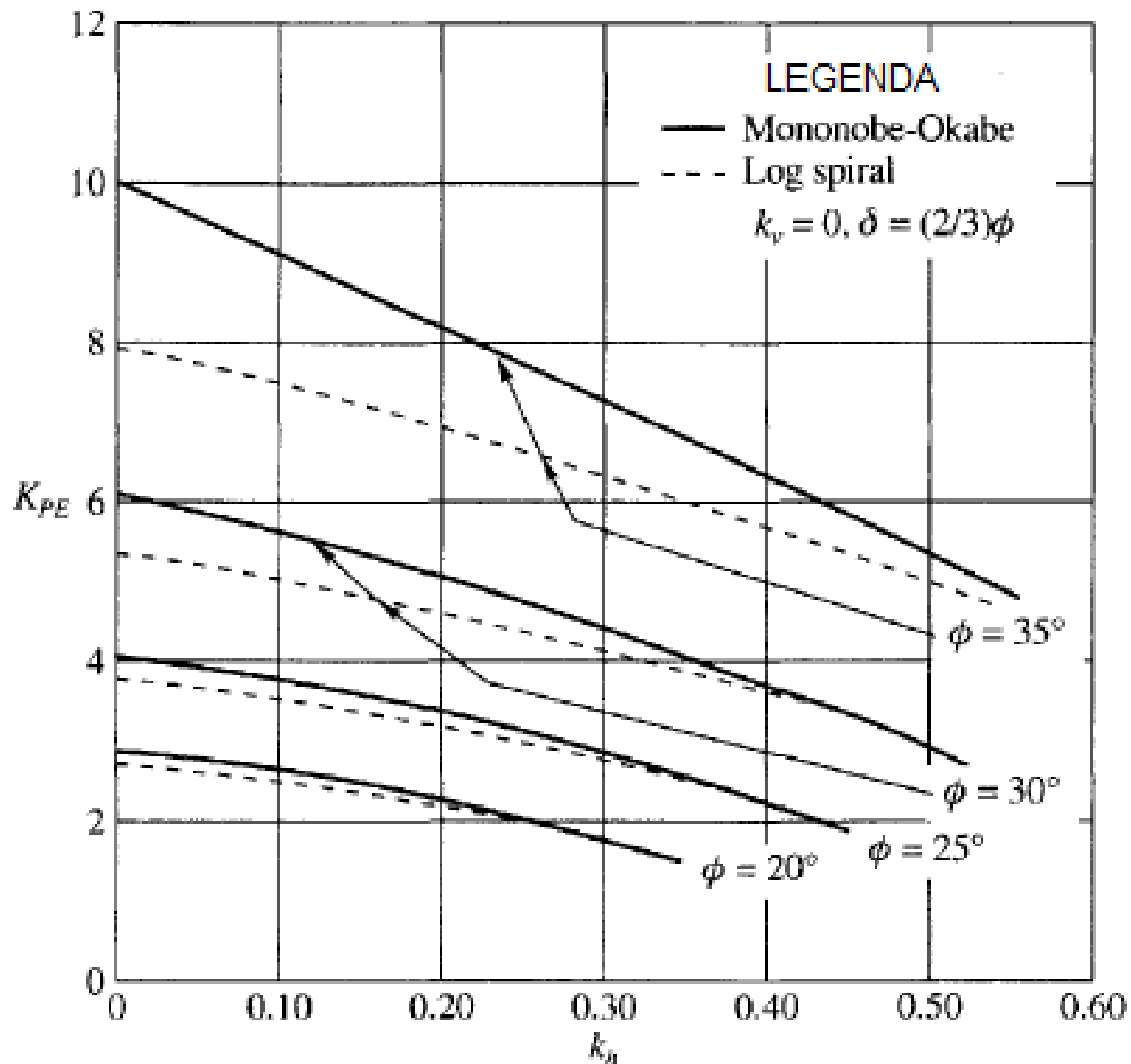
Prepostavili su da je dodina ploha zida i tla *vertikalna* i da je teren *horizontalan*



Pasivni pritisak tla u seizmički aktivnom području



Pasivni pritisak tla u seizmički aktivnom području



REZIME

Standardne metode granične ravnoteže i plastične ravnoteže primjenjuju se za određivanje stanja stabilnosti mase tla. Ove metode su u najširoj primjeni u rješavanju problema nosivosti temelja, stabilnosti kosina i pritisaka na potporne konstrukcije.

Metoda granične ravnoteže se u osnovi sastoji u formulisanju mehanizama loma i granično opterećenje se određuje iz uslova ravnoteže hipotetičkog kliznog tla pri dostizanju loma tla. Jednostavni primjeri takvog postupka su teorije pritisaka tla po Kulonu i po Kulmanu. Alternativno, metoda plastične ravnoteže, koja je na najjednostavniji način opisana metodom Rankina, razmatra plastifikaciju, odnosno lom na nivou elementa tla.

Gravitacione potporne konstrukcije izložene bočnom pritisku svoju stabilnost duguju sopstvenoj težini, nosivosti tla i pomjeranjima koja su dovoljna za mobilizaciju smičuće čvrstoće tla u zaleđu zida. Veličina i raspored pornih pritisaka ima znatan uticaj na stabilnost potpornog zida. Analiza stabilnosti potpornog zida treba da obuhvati sve moguće mehanizme loma da bi se odredio kritičan.