

The diagram shows a frame structure with the following dimensions and loads:

- Vertical dimensions: 4,0 m (top section), 8,0 m (middle section), and 4,0 m (bottom section).
- Horizontal dimension: 4,0 m (width of the frame).
- Loads: A uniformly distributed load $q = 10,0 \text{ kN/m}$ is applied horizontally to the right on the top horizontal member.
- Supports: A fixed support is located at the bottom left corner, and a roller support is located at the top left corner.

Koeficijent aktivnog pritiska izračunat ćemo prema Rankine-ovoj teoriji, jer se radi o glatkoj površini te horizontalnoj površini terena iza zida :

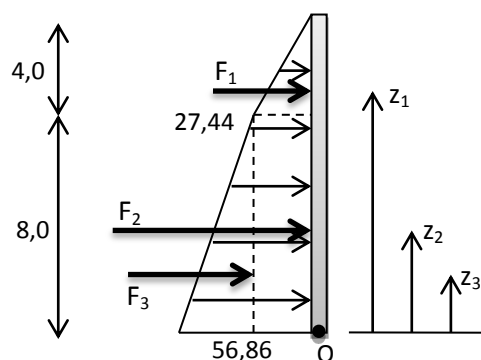
Horizontalni pritisak prema Rankine-ovoj teoriji se računa prema:

Prije proračuna horizontalnih napona, treba još izračunati vrijednosti vertikalnih efektivnih napona, pa je:

$$\sigma'_{v_{z=12}} = 76,0 + \gamma' \cdot (z - 4) = 76,0 + (20,0 - 9,81) \cdot (12 - 4) = 76,0 + 10,19 \cdot 8,0 = 157,52 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_{h,a,z=12} = 157,52 \cdot 0,361 = 56,86 \text{ kPa}$$

42



Slika 1.53 : Dijagram horizontalnog pritiska tla

Intenzitet rezultante aktivnog pritiska tla :

$$F = F_1 + F_2 + F_3 = 0,5 \cdot 4,0 \cdot 27,44 + 8,0 \cdot 27,44 + 0,5 \cdot 8,0 \cdot (56,86 - 27,44) = 54,88 + 219,52 + 117,68 = \mathbf{392,08 \text{ kN/m'}}$$

Što predstavlja silu po metru širine zida

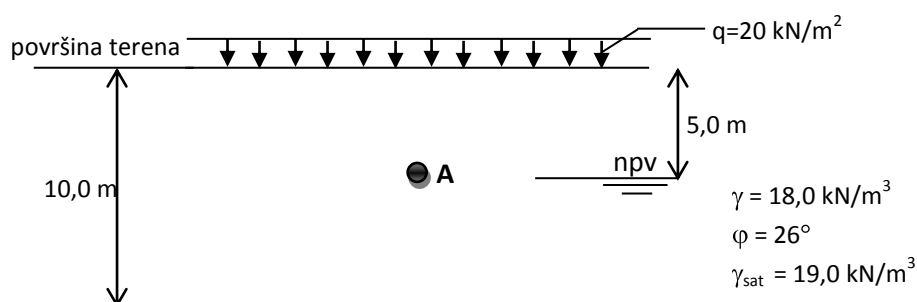
Izborom proizvoljne tačke (u konkretnom slučaju tačka O) može se odrediti položaj rezultantne (x) iz uslova :

$$F \cdot x = F_1 \cdot z_1 + F_2 \cdot z_2 + F_3 \cdot z_3$$

$$392,08 \cdot x = 54,88 \cdot 9,333 + 219,52 \cdot 4,0 + 117,68 \cdot 2,667 = 512,2 + 878,1 + 313,85 = 1704,15$$

$$x = \mathbf{4,35 \text{ m}}$$

Zadatak 59 : Odrediti vertikalni i horizontalni napon od sopstvene težine nekoherentnog normalno konsolidovanog tla, u tački A!



Slika 1.54 : Profil tla sa položajem tačke A

Vertikalni napon u tački A jednak je proizvodu zapreminske težine u prirodnom stanju i dubine na kojoj se nalazi ta tačka uvećanom za intenzitet površinskog opterećenja koje se rasprostire na velikoj površini :

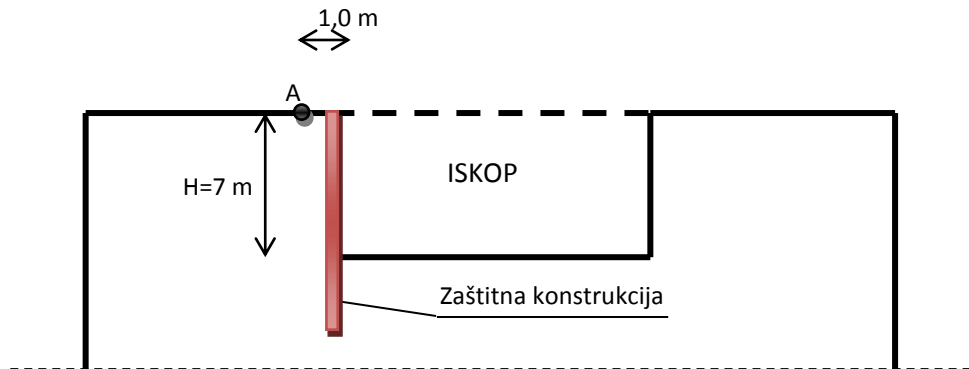
$$\sigma'_{v,A} = \gamma \cdot 5,0 + q = 18,0 \cdot 5,0 + 20 = 110,0 \text{ kPa}$$

Horizontalni napon jednak je proizvodu vertikalnog efektivnog napona i koeficijenta horizontalnog pritiska i stanju mirovanja (K_0), koji se za normalno konsolidovano tlo može definisati Jaky-evom formulom :

$$K_o = 1 - \sin \varphi = 1 - \sin 26^\circ = 0,562$$

$$\sigma'_{h,A} = 110,0 \cdot 0,562 = \mathbf{61,82 \text{ kPa}}$$

Zadatak 60 : Izračunati horizontalni napon u tački A, prije i nakon iskopa dubine 7,0 metra.



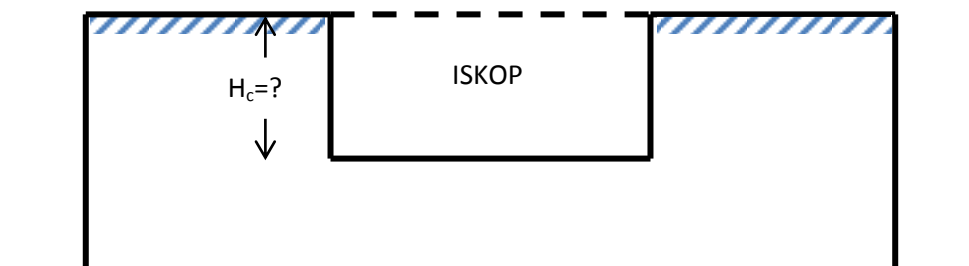
Slika 1.55 : Zaštitna konstrukcija sa položajem tačke A

Geomehaničke karakteristike materijala : $\gamma = 20,0 \text{ kN/m}^3$; $c = 0 \text{ kPa}$; $\varphi = 35^\circ$

Horizontalni pritisak tla na površini terena jednak je nuli i prije i nakon iskopa

$$\Delta \sigma_{h,A, \text{prije iskopa}} = \Delta \sigma_{h,A, \text{nakon iskopa}} = \mathbf{0}$$

Zadatak 61 : Kolika je teoretski, maksimalna stabilna visina (H_c) iskopa sa slike? Iskop i okolno tlo su suhi.



Slika 1.56 : Šema iskopa

Geotehničke karakteristike materijala : $\gamma = 20,0 \text{ kN/m}^3$; (a) $c = 0,0 \text{ kPa}$, (b) $c = 10,0 \text{ kPa}$; $\varphi = 35^\circ$

(a) Suhi nekohezivni materijal ne može stajati vertikalno, pa je kritična visina H_{cr} jednaka nuli.

(b) Prema Rankine-ovoj teoriji, aktivni horizontalni pritisak se računa prema izrazu :

$$\sigma_{h,a} = K_a \cdot \sigma'_v - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}$$

Kako se radi o kohezivnom materijalu, do određene visine aktivni pritisak će biti negativan, te na tom dijelu tlo može primiti zatezanje, pa je kritična visina ona na kojoj je horizontalni aktivni pritisak jednak nuli :

$$\sigma_{h,a} = K_a \cdot \gamma \cdot H - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a} = \tan^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right) \cdot \gamma \cdot H - 2 \cdot c \cdot \sqrt{\tan^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right)} = 0$$

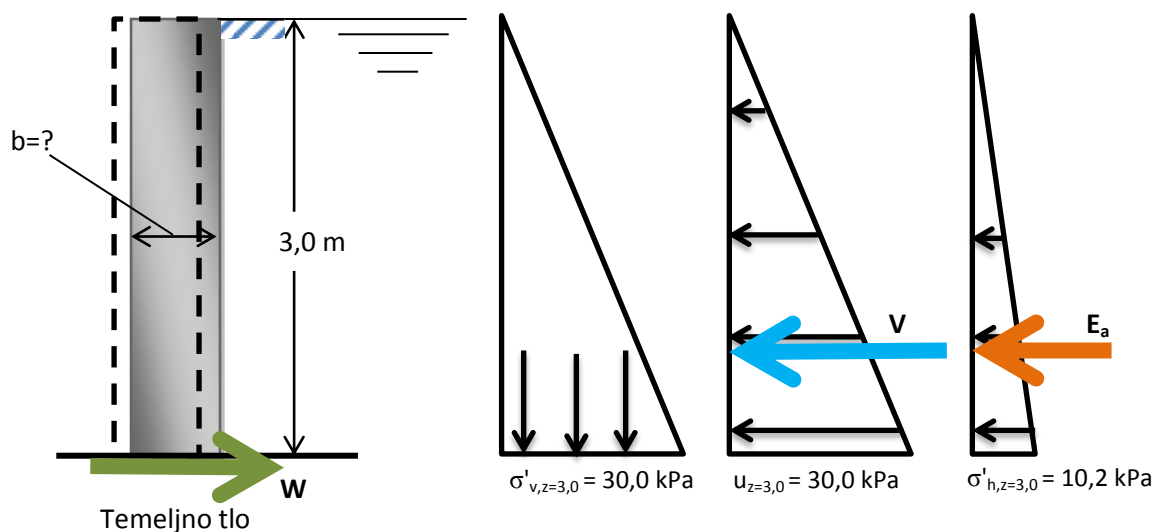
$$K_a = 0,271$$

$$0,271 \cdot \gamma \cdot H_{cr} - 2 \cdot c \cdot \sqrt{0,271} = 0$$

$$H_{cr} = \frac{2 \cdot c}{\gamma \sqrt{K_a}} = \frac{2 \cdot 10}{20 \sqrt{0,271}} = 1,92m$$

Napomena : Svjedoci smo da površinski slojevi tla često budu zasječeni vertikalno i do veće visine ($H > H_{cr}$) nego li dozvoljava njihova laboratorijski određena veličina kohezije. Naime, često se u tim slučajevima radi o prividnoj koheziji koja nije stalnog karaktera. Površinski slojevi su obično nezasićeni ($S < 100\%$), što uzrokuje pojavu negativnog porednog pritiska koji dodatno povećava čvrstoću materijala. Ipak, treba biti oprezan, jer ova čvrstoća nije stalnog karaktera i to je razlog što inženjeri u praksi računaju kao da će to tlo postati zasićeno čime su na strani sigurnosti. Uzroci zasićenja su raznoliki, od podizanja nivoa usljed začepjenja vodovoda, do padavina i sl.

Zadatak 62 : Izračunati širinu zida pravougaonog poprečnog presjeka tako da faktor sigurnosti na klizanje bude 1,5. Visina zida je 3,0 metra. Tlo iza zida ima sljedeće karakteristike : $\varphi = 30^\circ$, $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$, $c = 0,0 \text{ kPa}$. Ugao unutrašnjeg trenja temeljnog tla je $\varphi = 35^\circ$. Za proračun koeficijenta aktivnog pritiska koristiti Rankine-ovu teoriju. Nivo podzemne vode je na površini terena. Zapreminska težina betona iznosi $25,0 \text{ kN/m}^3$



Slika 1.57 : Šema zida i dijagrami pritiska na zid

Zid je opterećen aktivnim horizontalnim pritiskom, obzirom da je tendencija kretanja zida „od tla“, što je naznačeno crtkanom linijom na slici.

$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right) = \tan^2 \left(45 - \frac{30}{2} \right) = 0,333$$

$$\sigma_{h,a} = K_a \cdot \sigma'_v - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}$$

Kako se radi o nekohezivnom tlu ($c = 0,0 \text{ kPa}$), jasno je da horizontalni napon predstavlja samo proizvod vertikalnog efektivnog napona i koeficijenta aktivnog pritiska:

$$\sigma_{h,a,z=0} = K_a \cdot 0,0 = 0,0 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{h,a,z=3,0} = K_a \cdot (20,0 - 9,81) \cdot 3,0 = 10,2 \text{ kPa}$$

Pa je rezultanta aktivnog pritiska tla jednaka površini trougla koji predstavlja horizontalne napone po metru širine zida (okomito na ravan crtanja) :

$$E_a = \frac{1}{2} 10,2 \cdot 3,0 = 15,3 \text{ kN/m'}$$

Dok je pritisak vode (hidrostatski pritisak) jednak površini trougla prikazanoj dijagramom na slici 1.57 u sredini i iznosi, po metru širine zida :

$$V = \frac{1}{2} 30,0 \cdot 3,0 = 45,0 \text{ kN/m'}$$

Sile koje izazivaju klizanje zida (napadajuće sile) su : **$R = E_a + V = 60,3 \text{ kN/m'}$**

Sila koja se odupire klizanju je trenje na kontaktnoj površini zida i temeljnog tla : $W = G_{\text{zida}} \cdot \tan \phi$

Težina betonskog zida se može izraziti u funkciji širine kao : $G_{\text{zida}} = b h \gamma = b \cdot 3,0 \cdot 25,0 = 75b$

tj. **$W = 75,0b \cdot \tan 35^\circ = 52,5b \text{ kN/m'}$**

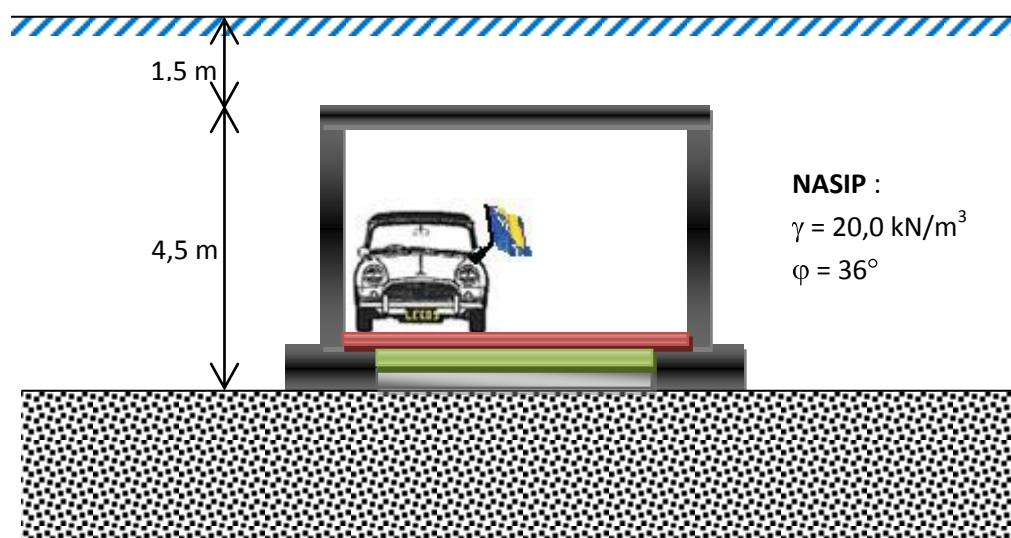
Konačno, koristeći izraz za faktor sigurnosti protiv klizanja, cilj je pokazati da će napadne sile (R) uvećane 1,5 puta biti manje od sila koje se odupiru klizanju (W) :

$$FS = \frac{W}{R} = \frac{52,5b}{60,3} = 1,5$$

$$b = \frac{1,5 \cdot 60,3}{52,5} = 1,71 \text{ m}$$

Usvojena širina zida iznosi 175,0 cm

Zadatak 63 : Izračunati i nacrtati dijagram horizontalnog pritiska na propust kroz cestovni nasip na slici. Geometrijske i geotehničke karakteristike su prikazane na presjeku sa slike 58. Nasip je izveden od granularnog materijala čija je zbijenost kontrolisana nuklearnim denzitometrom.



Slika 1.58 : Geometrija i geotehničke karakteristike

Gornja ploča propusta onemogućava horizontalno pomjeranje zida propusta, a isti efekat omogućava i donja stopa sa "razuporom", koja predstavlja podlogu za saobraćajnicu. Na slici je šematski prikazana slika deformisanja zida iz čega se zaključuje da nema pomaka koji bi omogućili aktiviranje aktivnog pritiska, te je mjerodavni horizontalni pritisak na konstrukciju propusta sa slike, onaj u stanju mirovanja. Imati na umu da je potrebno horizontalno pomjeranje za aktiviranje aktivnog pritiska reda veličine te isto nije realno očekivati u problemu zadatka

Koeficijent horizontalnog pritiska računa se Jaky-evom formulom :

$$K_0 = 1 - \sin \varphi = 1 - \sin 36 = 0,412$$

Vertikalni efektivni napon na vrhu i dnu zida jednak je :

$$\sigma'_{v,z=1,5} = \gamma \cdot 1,5 = 20 \cdot 1,5 = 30,0 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma'_{v,z=6,0} = \gamma \cdot 6,0 = 20 \cdot 6,0 = 120,0 \text{ kN/m}^2$$



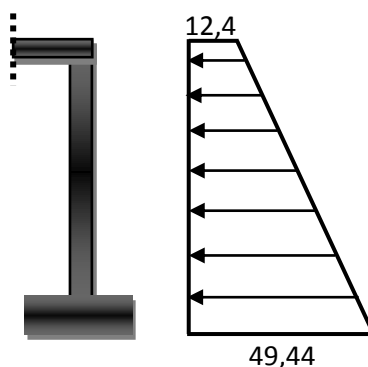
Slika 1.59 : Mogući oblik deformisanja zida

Pa su horizontalni pritisci u stanju mirovanja na vrhu i dnu zida jednaki :

$$\sigma'_{h,0,z=1,5} = \sigma'_{v,z=1,5} \cdot K_0 = 30,0 \cdot 0,412 = 12,4 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma'_{h,0,z=6,0} = \sigma'_{v,z=6,0} \cdot K_0 = 120,0 \cdot 0,412 = 49,44 \text{ kN/m}^2$$

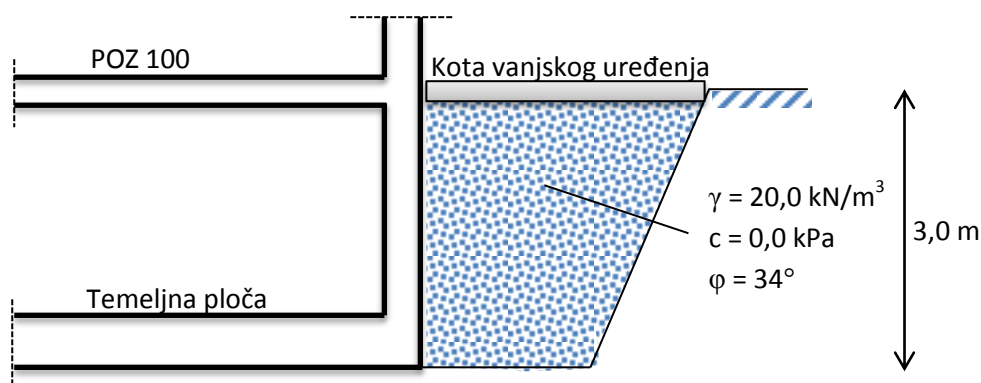
Na osnovu čega se može nacrtati i dijagram horizontalnih pritisaka :



Slika 1.60 : Horizontalni pritisci za zid propusta

Napomena : U cilju shvatanja prostorne percepcije problema iz zadatka, nacrtati dati problem u 3D prostoru.

Zadatak 64 : Izračunati rezultantu horizontalnog Rankine-ovog pritiska na podrumski zid objekta visokogradnje. Objekat je ukopan 3,0 metra ispod površine terena. Iskop je izvršen sa zasjecanjem 2:1, a nakon izvođenja istog izvršeno je zasipanje granularnim materijalom koji opterećuje zid.



Slika 1.61 : Geometrija i geotehnički paramteri

S obzirom da nije dozvoljeno deformisanje konstrukcije koja je pritisnuta sa svih strana, nije za očekivati da će biti dostignuto granično stanje sloma u tlu, pa je pritisak koji opterećuje konstrukciju onaj u stanju mirovanja.

$$K_0 = 1 - \sin \phi = 1 - \sin 34^\circ = 0,441$$

Vertikalni efektivni napon raste od nule na površini do vrijednosti $20,0 \cdot 3,0 = 60,0$ kPa u dnu temeljne ploče.

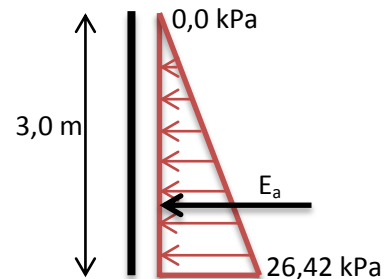
Horizontalni pritisak u dnu temeljne ploče iznosi :

$$\sigma_{h,0,z=3,0m} = 60,0 \cdot 0,441 = 26,46 \text{ kPa}$$

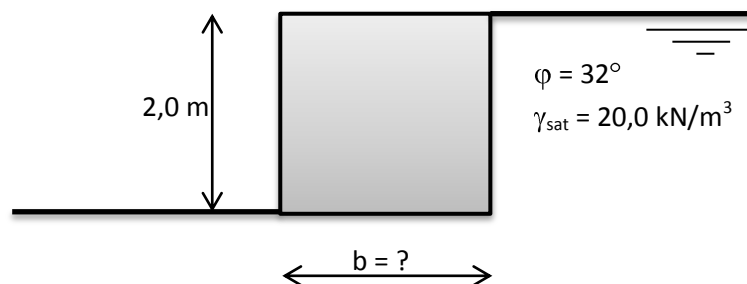
Pa je konačno rezultanta horizontalnog pritiska na metar širine zida jednaka površini trokutastog opterećenja :

$$E_a = \frac{1}{2} 26,45 \cdot 3,0 = 39,69 \text{ kN / m'}$$

Slika 1.62 : Dijagram horizontalnog pritiska na podrumski zid



Zadatak 65 : Izračunati širinu pravougaonog betonskog bloka visine 2,0 metra, koji pridržava nasip od granularnog materijala, tako da ne dođe do klizanja istog po podlozi od tog istog granularnog materijala. Geometrijske i geotehničke karakteristike su prikazane slikom . Nivo podzemne vode nalazi se na površini terena koji je pridržan betonskim blokom. Vertikalni dio betonskog bloka smatrati idealno glatkim. Zapreminska težina betona je $\gamma_{bet} = 24,0 \text{ kN/m}^3$.



Slika 1.63 : Geometrija i geotehničke karakteristike

Rješenje : Pod pretpostavkom da će se zid pomjeriti od tla dovoljno da se aktivira granično stanje predstavljeno aktivnim pritiskom, može se izračunati ukupni pritisak tla i vode koji nastoje pokrenuti zid. Vertikalni efektivni napon na dubinama $z=0,0$ m i $z=2,0$ metra je :

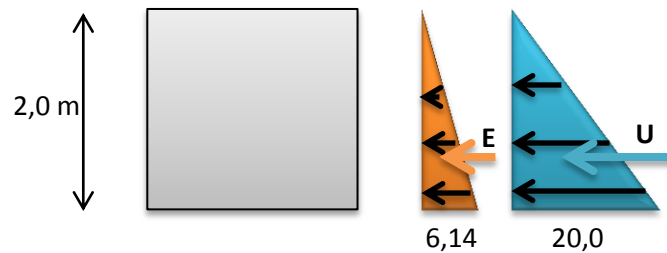
$$\sigma'_{v,z=0} = 0,0 \text{ kN / m}^2$$

$$\sigma'_{v,z=2,0} = (\gamma_{sat} - \gamma_w) \cdot 2,0 = (20,0 - 10,0) \cdot 2,0 = 20,0 \text{ kN / m}^2$$

$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) = \tan^2 \left(45 - \frac{32}{2} \right) = 0,307$$

$$\sigma'_{h,z=2,0} = \sigma'_{v,z=2,0} \cdot K_a = 20,0 \cdot 0,307 = 6,14 \text{ kN / m}^2$$

Pritisak vode raste linearno sa dubinom od površine nivoa vode i na dubini od 2,0 metra iznosi $20,0 \text{ kN/m}^2$. Tako se ukupni pritisak tla i vode (napadne sile) mogu predstaviti dijagramom pritiska po metru širine zida (okomito na ravan crtanja):



Slika 1.64 : Dijagram napadnih pritisaka na betonski blok sa pretpostavkom djelovanja aktivnog Rankine-ovog pritiska

Rezultanta aktivnog pritiska tla i pritiska vode lako se izračunaju kao površine slikom prikazanih dijagrama i ukupna horizontalna sila koja nastoji pokrenuti klizanje (napadajuće sile) zida iznosi :

$$T_{\text{napad}} = E + U = 6,14 + 20,0 = 26,14 \text{ kN/m'}$$

Mogući otpor klizanju (odbrana od klizanja) izračunat ćemo kao proizvod težine betonskog bloka i tangensa ugla unutrašnjeg trenja podložnog tla :

$$T_{\text{odbrana}} = \gamma_{\text{bet}} \cdot 2,0 \cdot b \cdot \tan \varphi = 24,0 \cdot 2,0 \cdot b \cdot 0,625 = 30,0 \cdot b$$

Da ne bi došlo do proklizavanja zida faktor sigurnosti treba da je veći od 1,0, pa iz tog uslova se može izračunati potrebna širina betonskog bloka :

$$FS = \frac{\text{odbrana}}{\text{napad}} = \frac{30,0 \cdot b}{26,14} = 1,0$$

$$30,0 \cdot b = 26,14$$

$$b = 0,871 \text{ m}$$

Potrebna širina zida treba da je veća od 87,1 cm

Zadatak 66 : Izvesti izraz za koeficijent horizontalnog pritiska u stanju mirovanja (K_0) pod pretpostavkom elastičnog ponašanja tla, koje je podvrgnuto ispitivanju edometarskim testom. Koristiti uslov da je naponsko stanje pri ovom testu osnosimetrično, a deformacija jednodimenzionalna.

Rješenje : Kada je elemenat elastičnog izotropnog tla izložen prirastu glavnih napona $\Delta\sigma_1$, $\Delta\sigma_2$, $\Delta\sigma_3$, odgovarajući priraštaji elastičnih deformacija su :

$$\Delta\varepsilon_1 = \frac{1}{E_{\text{ref}}} (\Delta\sigma_1 - \nu_{\text{ref}} (\Delta\sigma_2 + \Delta\sigma_3))$$

$$\Delta\varepsilon_2 = \frac{1}{E_{\text{ref}}} (\Delta\sigma_2 - \nu_{\text{ref}} (\Delta\sigma_3 + \Delta\sigma_1))$$

$$\Delta\varepsilon_3 = \frac{1}{E_{\text{ref}}} (\Delta\sigma_3 - \nu_{\text{ref}} (\Delta\sigma_1 + \Delta\sigma_2))$$

Iz uslova da su bočne deformacije spriječene, te primjenom oznaka za osnosimetrično stanje napona, slijedi :

$$\varepsilon_r = \frac{1}{E_{ref}}(\sigma_r' - \nu(\sigma_r' + \sigma_z')) = 0$$

Iz čega se dobije traženi odnos vertikalnog i horizontalnog napona, koji predstavlja koeficijent horizontalnog pritiska u stanju mirovanja :

$$\sigma_r' = \frac{\nu}{1-\nu} \sigma_z' = K_0 \cdot \sigma_z'$$

$K_0 = \frac{\nu}{1-\nu}$ i u skladu sa uobičajenim pretpostavkama linearne elastičnosti, ovaj koeficijent je konstantan, nezavistan od putanje i prethodne historije napona.