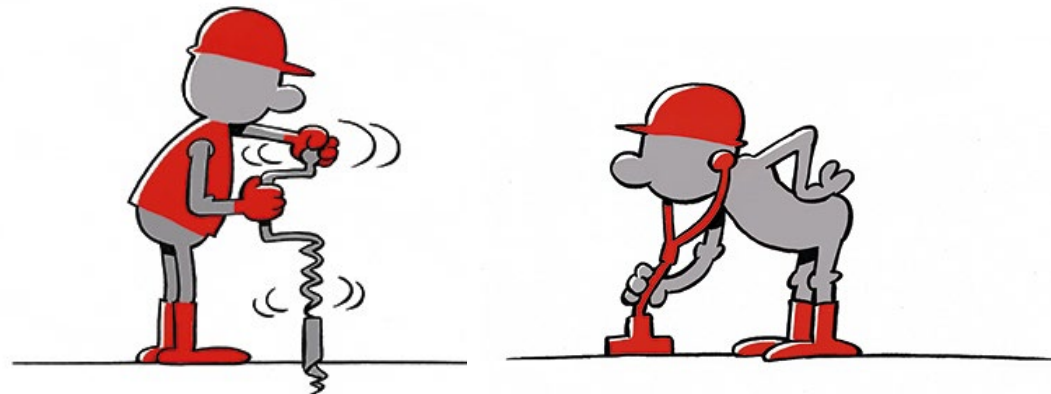




Studijski program:	GRAĐEVINARSTVO
Modul:	Zajedničke osnove
Godina/Semestar:	2. godina / 4. semestar
Naziv predmeta (šifra):	MEHANIKA TLA (B3O2MT)
Demonstrator:	Nikola Tošić
Naslov vežbi:	ZEMLJANI PRITISCI
Datum:	13-17.5.2024.

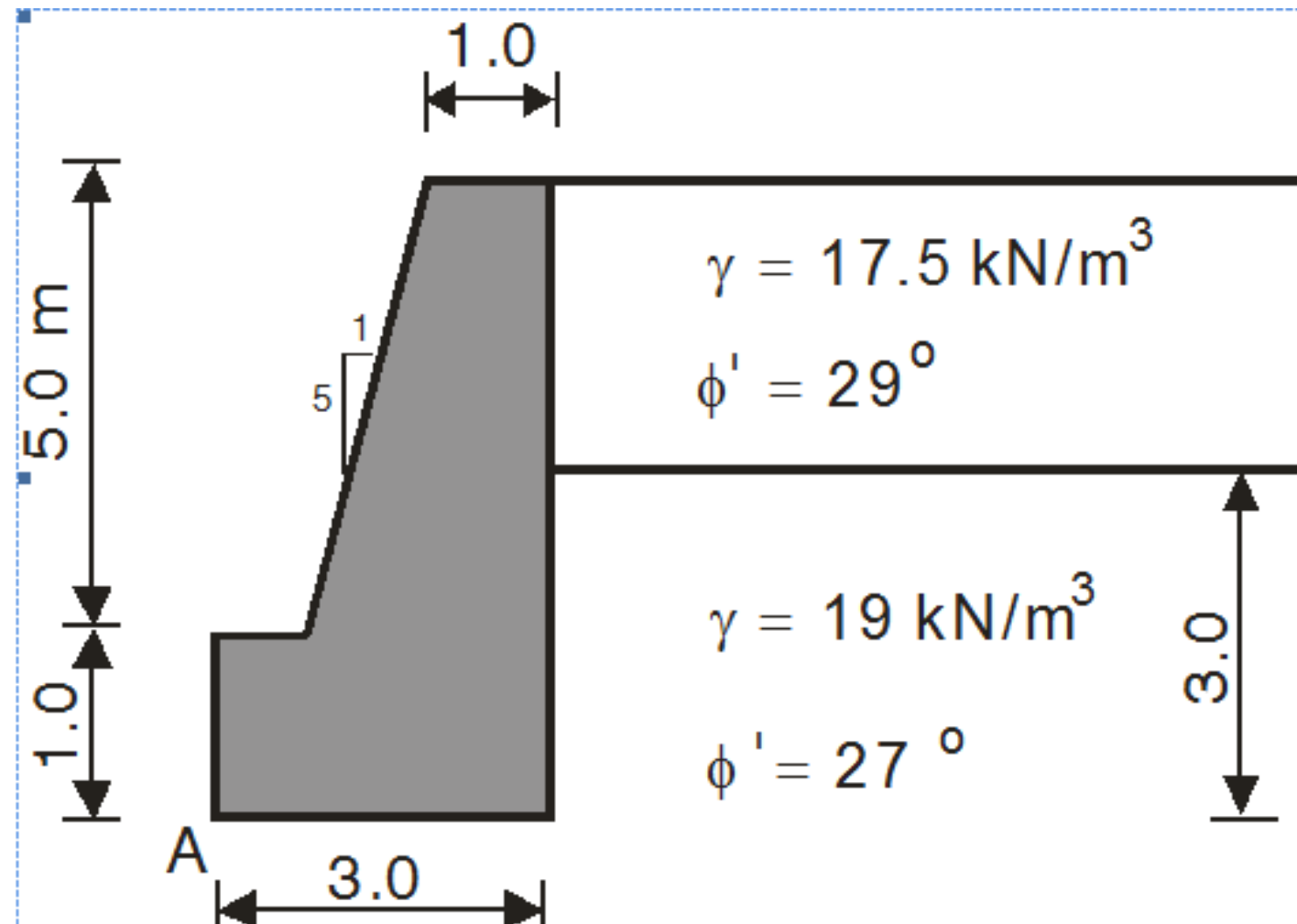
Beograd, 2024.

ZEMLJANI PRITISCI

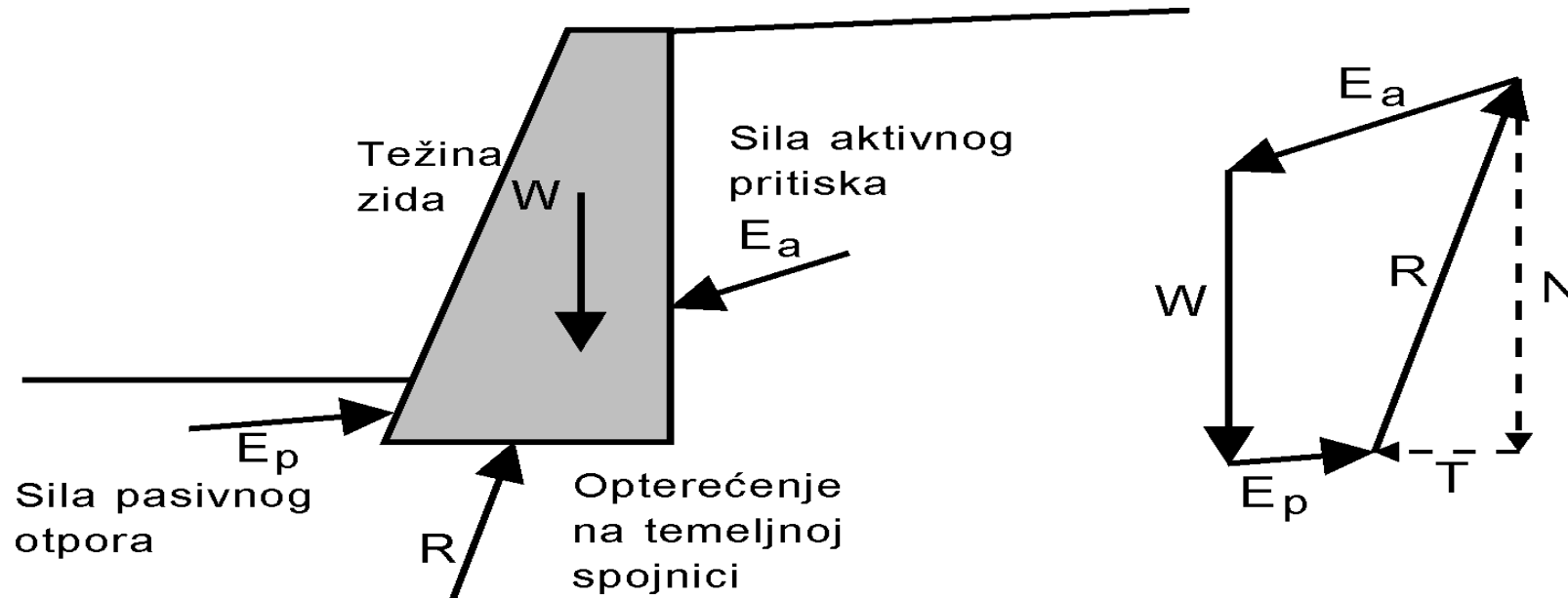


1. ZADATAK

- Za potporni zid prikazan na slici izvršiti analizu opterećenja zida koristeći aktivne pritiske po Rankinu ($\delta=0$).



- Gravitaciona potporna konstrukcija duguje svoju stabilnost sopstvenoj težini uz eventualno mali doprinos sile pasivnog otpora
- Sile koje deluju na masivnu potpornu konstrukciju:



- Osnovno opterećenje koje deluje na potporni zid su horizontalni (bočni) pritisci tla, koji se određuju prema **teoriji plastične ravntoteže** – pretpostavlja se da pri dejstvu bočnih pritisaka zid počinje da se ruši (pomera ili pretura, ili samo rotira oko ivice temelja zida, ili kliza po temeljnoj spojnici).

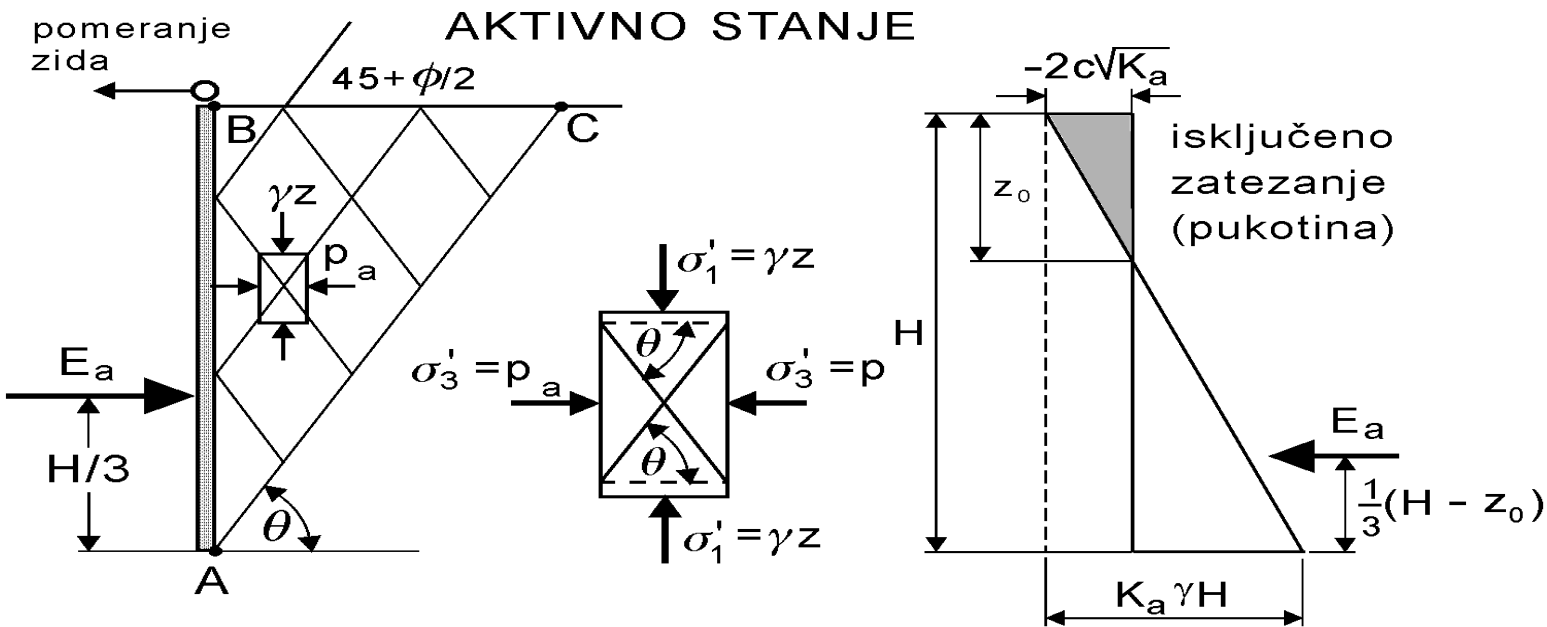
STABILNOST POTPORNIH KONSTRUKCIJA

- Prvi korak u analizi je određivanje nepoznatih horizontalnih pritisaka koji deluju na zid.
- Prema uslovu zadatka, ove pritiske određujemo prema **Rankinovoј teoriji pritisaka**.
- **Primena Rankinove teorije pritisaka moguća je pod sledećim pretpostavkama:**
 - Potporni zid je gladak ($\delta=0$) – nema trenja između zida i okolnog tla, pritisak tla deluje upravno na zid
 - Potporni zid je vertikaln
 - Teren ispred potpornog zida je horizontalan

RANKINOVA TEORIJA PRITISAKA TLA – aktivni pritisak (PODSEĆANJE)

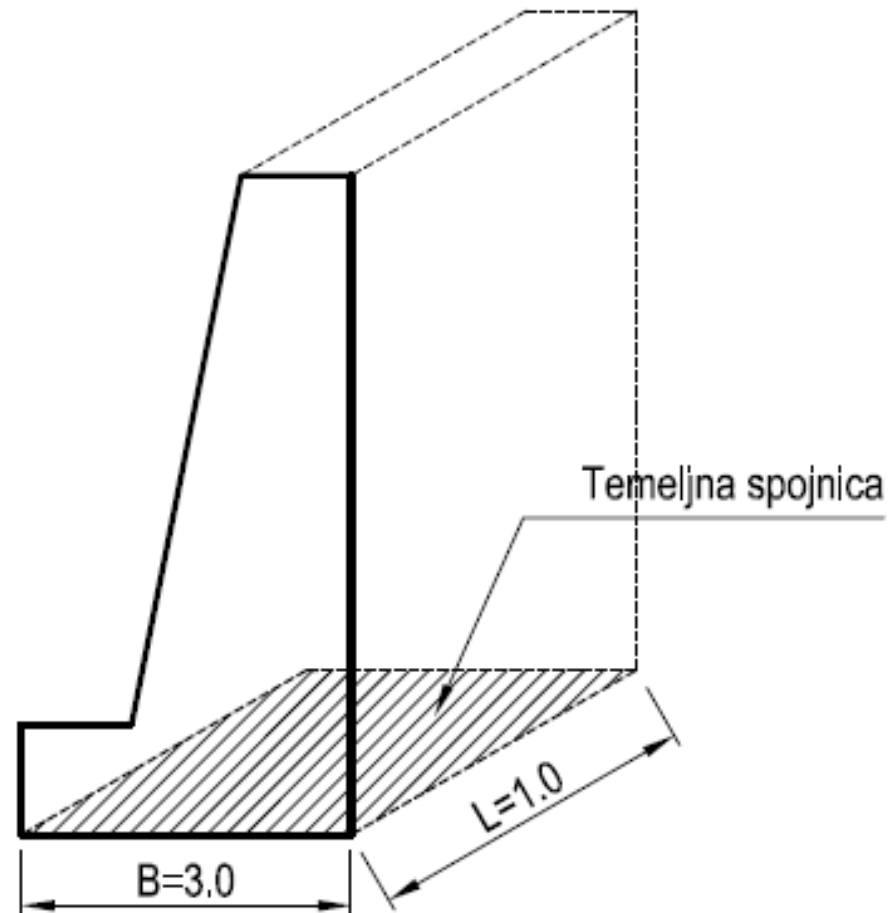
$$p_a = K_a \gamma z - 2c\sqrt{K_a}$$

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

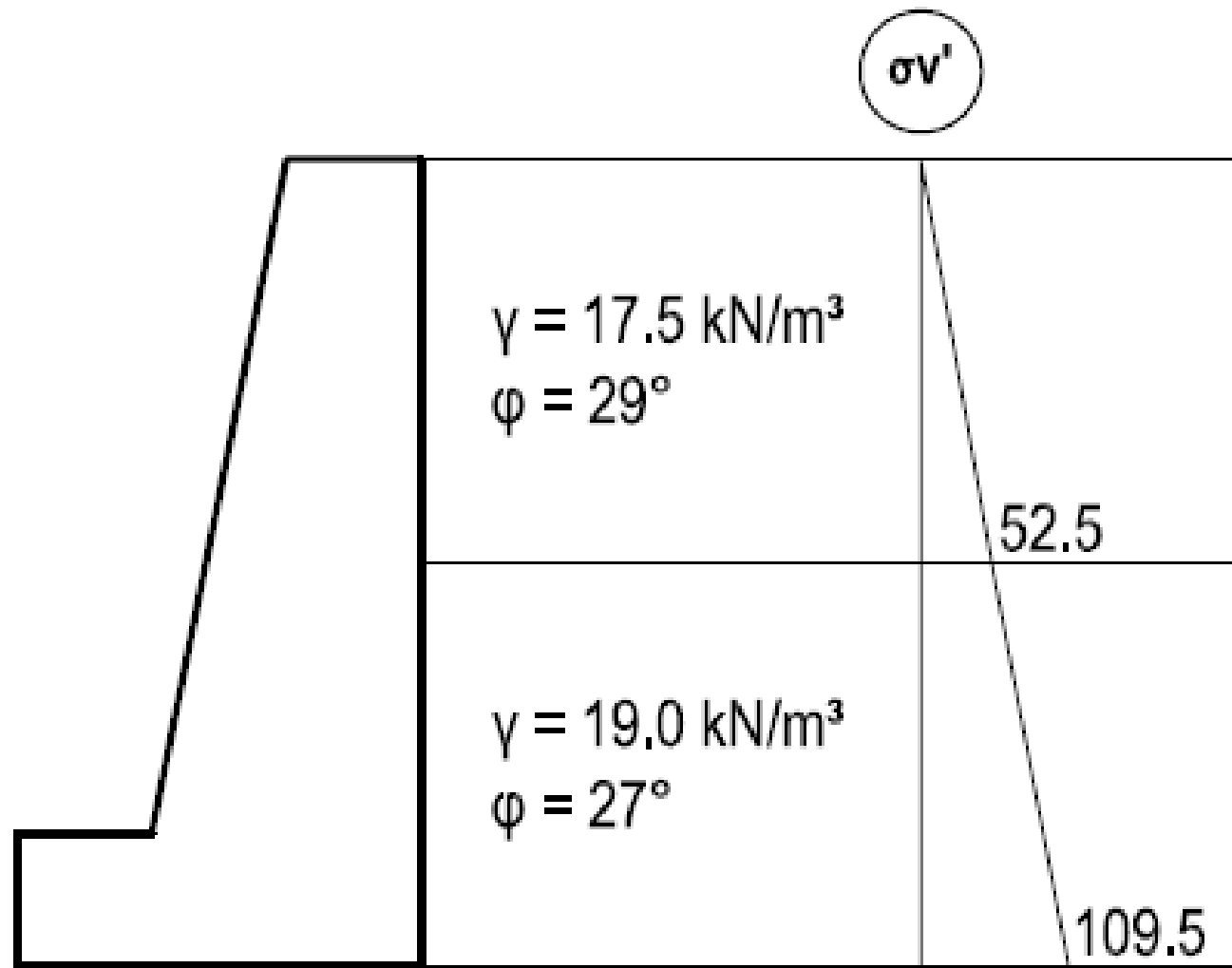


STABILNOST POTPORNIH KONSTRUKCIJA

- Celokupan proračun vršimo za jediničnu dužinu potpornog zida, pod pretpostavkom ravnog stanja deformacije.
- Analiza se vrši na nivou poprečnog preseka zida.

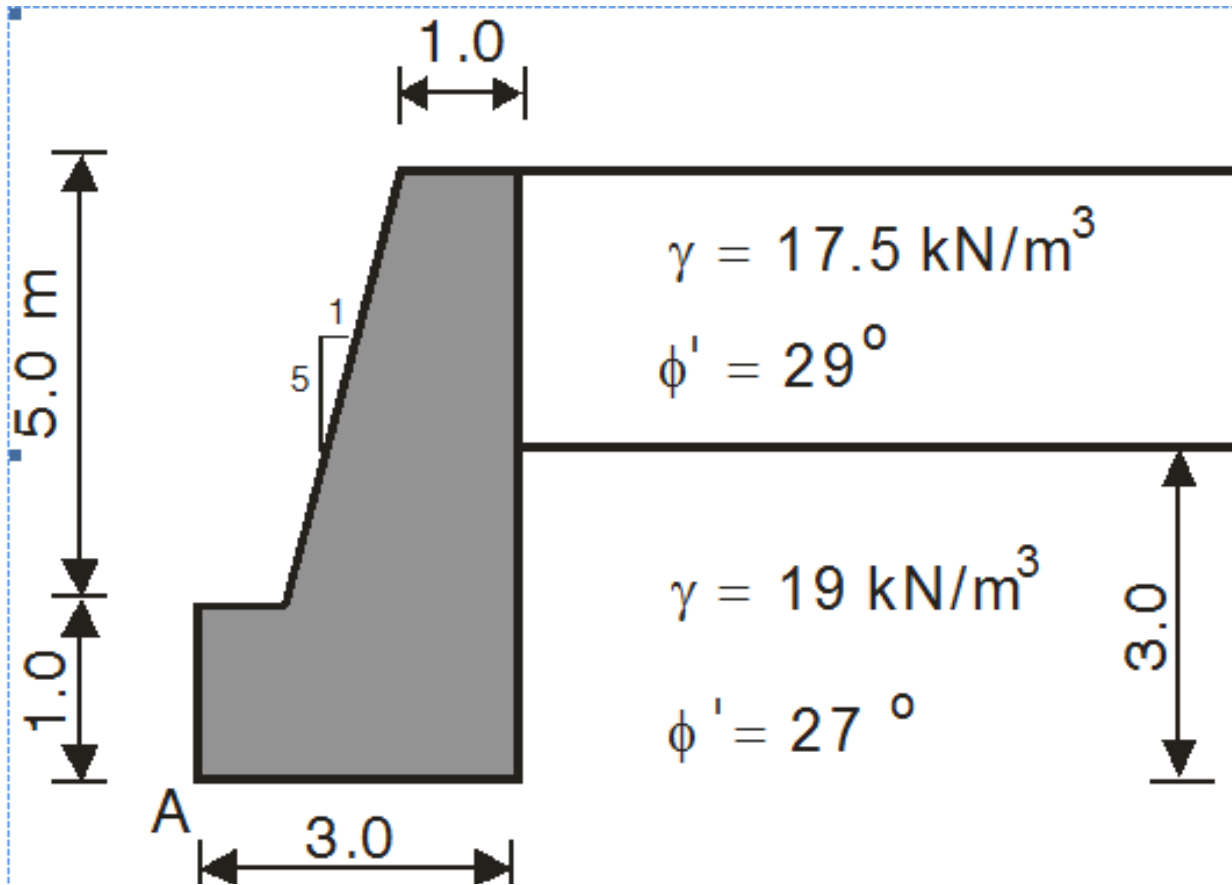


RASPODELA VERTIKALNOG NAPONA



- Proračun se vrši primenom proračunskih vrednosti zapreminske težine tla

KOEFICIJENT AKTIVNOG PRITISKA TLA



- Zbog različitih vrednosti ugla unutrašnjeg trenja u slojevima tla, koeficijenti aktivnog pritiska u slojevima 1 i 2 imaju različite vrednosti!

- Sloj 1:

$$K_{a1} = \frac{1 - \sin \phi_{1,d}'}{1 + \sin \phi_{1,d}'} = \text{tg}^2 \left(45 - \frac{\phi_{1,d}'}{2} \right) = \frac{1 - \sin 29}{1 + \sin 29} = 0.347$$

- Sloj 2:

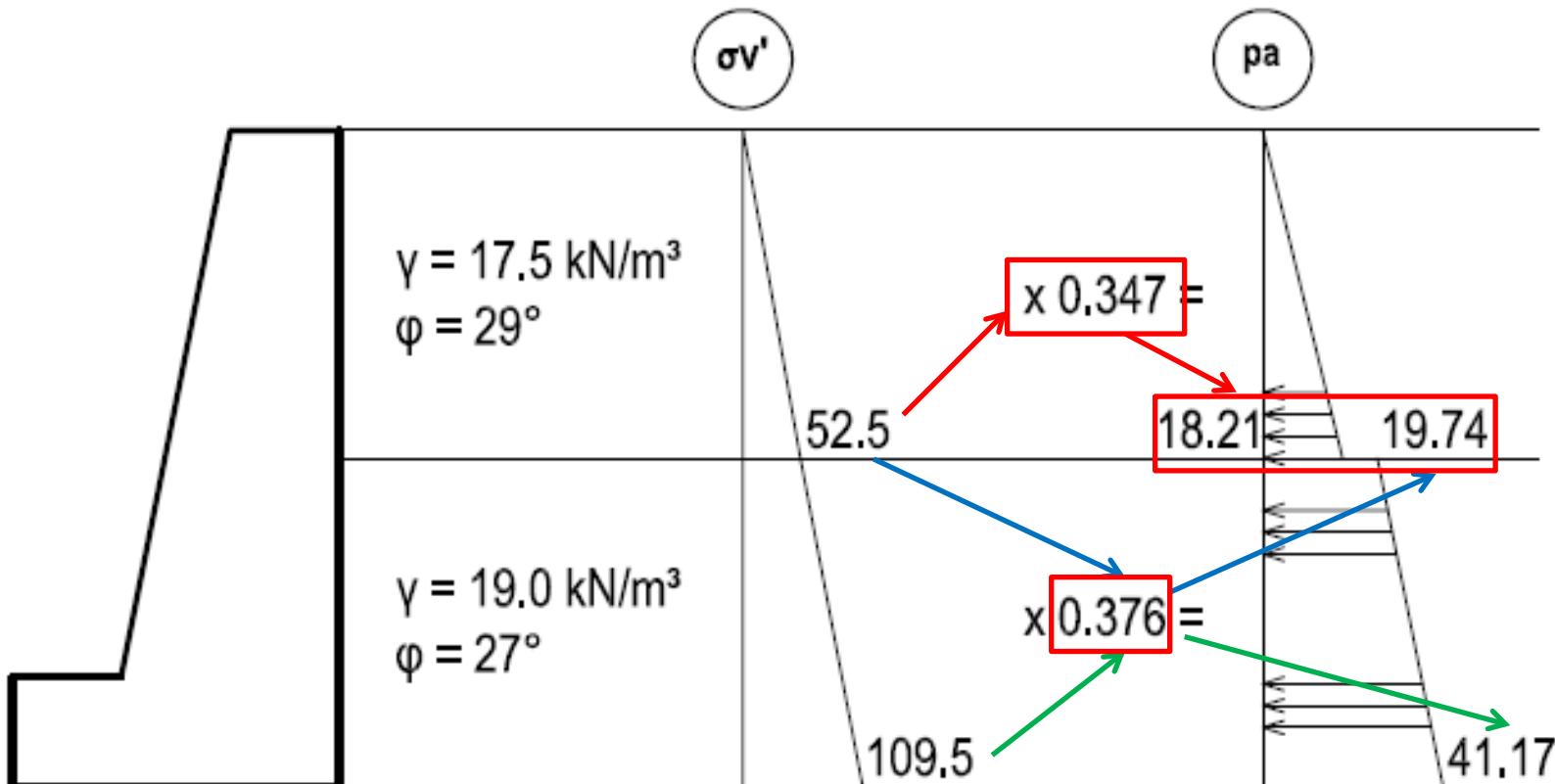
$$K_{a2} = \frac{1 - \sin \phi_{2,d}'}{1 + \sin \phi_{2,d}'} = \text{tg}^2 \left(45 - \frac{\phi_{2,d}'}{2} \right) = \frac{1 - \sin 27}{1 + \sin 27} = 0.376$$

DIJAGRAM AKTIVNOG PRITISKA TLA

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

- Kako je kohezija u oba sloja jednaka nuli, gore navedeni izraz za raspodelu aktivnog pritiska svodi se na:

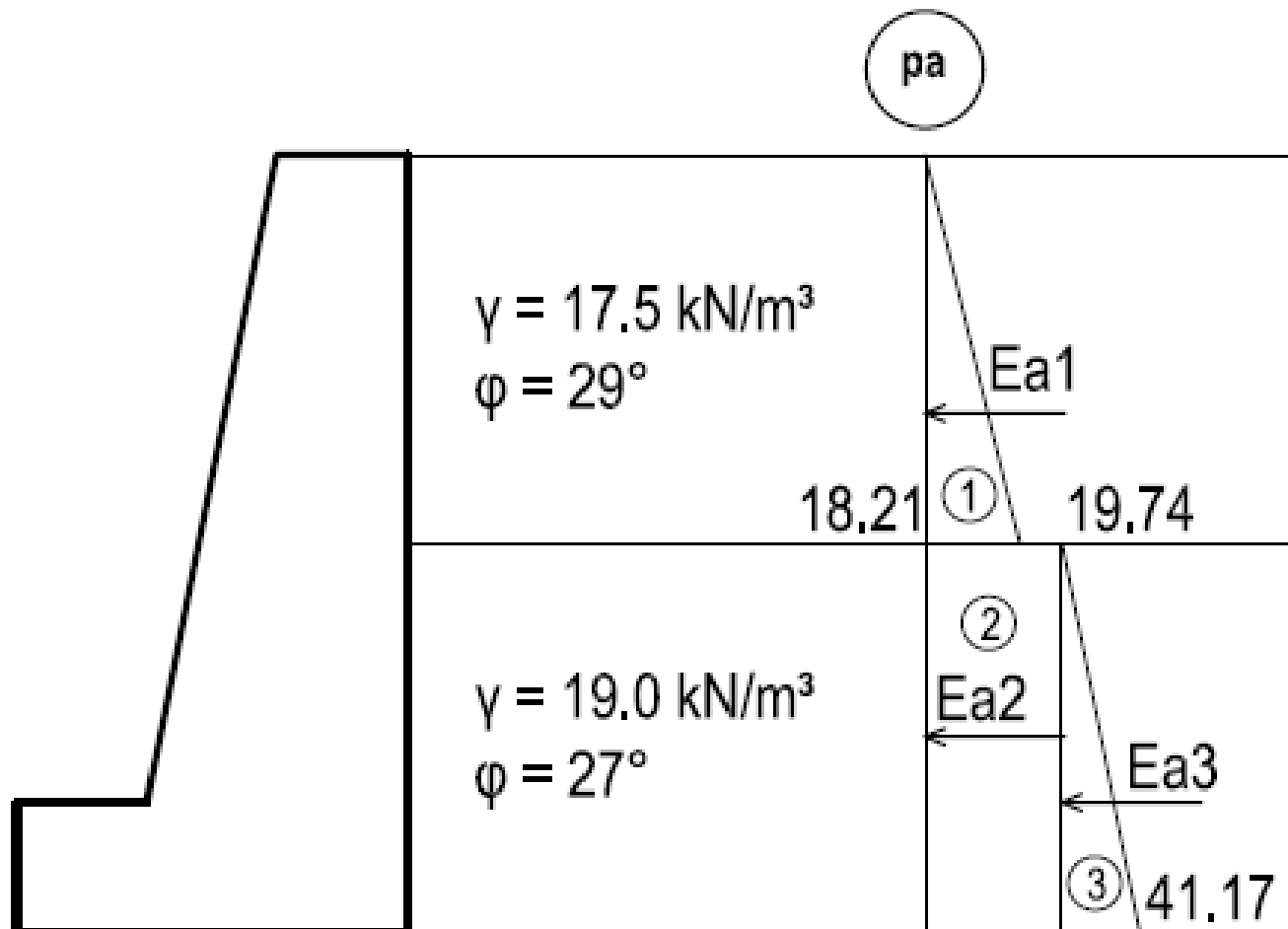
$$p_a = K_a \sigma_v'$$



- Dijagram aktivnog pritiska dobija se množenjem dijagrama vertikalnog efektivnog napona (σ_v') odgovarajućim koeficijentom aktivnog pritiska K_a .
- U slučaju dva sloja sa različitim uglovima unutrašnjeg trenja, na granici slojeva će se pojaviti skokovita promena horizontalnih pritisaka po visini zida, zbog različitih vrednosti koeficijenata K_a .

REZULTANTA AKTIVNOG PRITISKA TLA

- Rezultanta aktivnog pritiska određuje se kao površina dijagrama aktivnog pritiska tla.
- Dijagram aktivnog pritiska možemo podeliti na elementarne figure: trouglove i pravougaonike

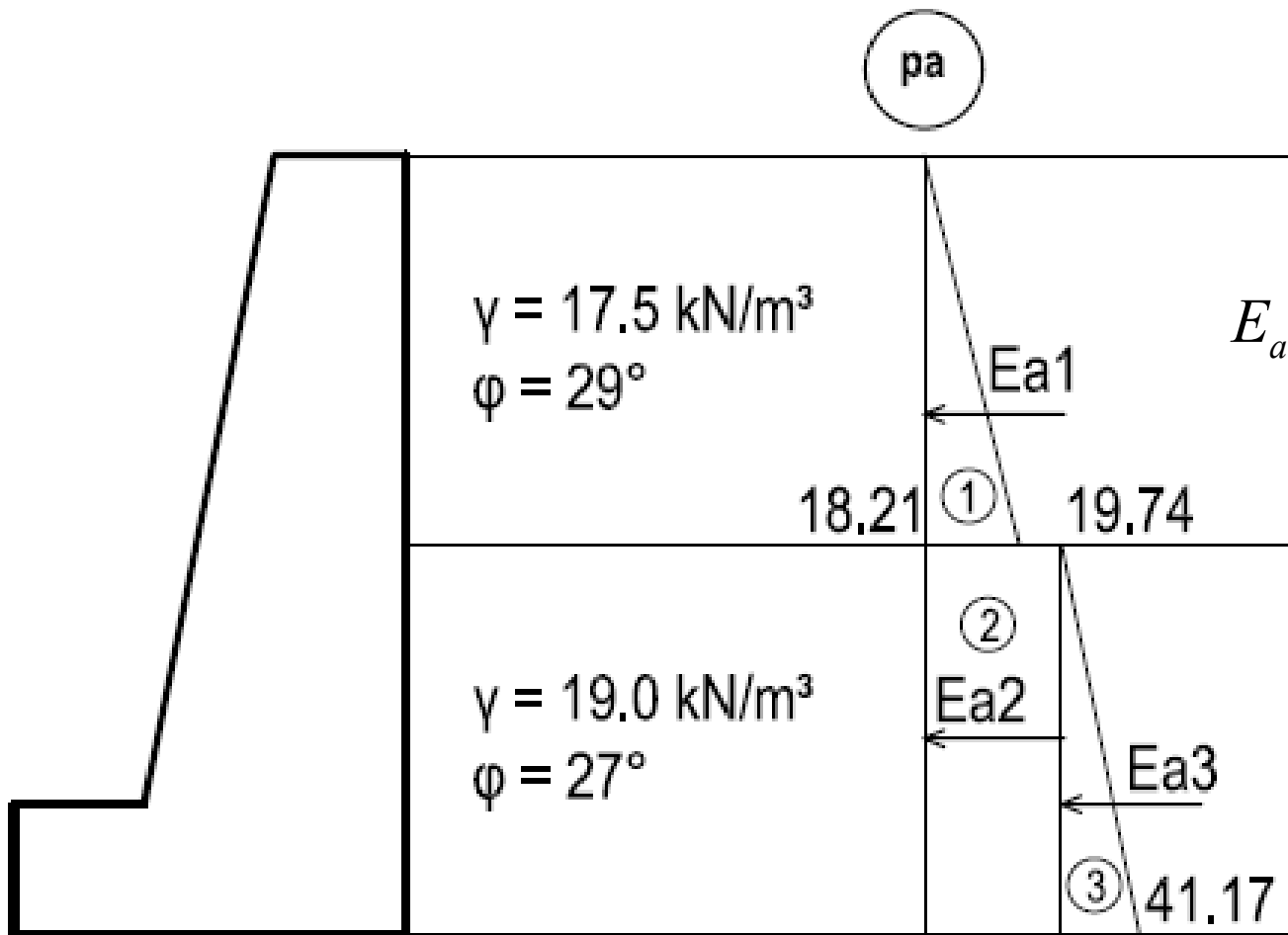


$$E_{a1} = \frac{1}{2} \cdot 3 \cdot 18.21 = 27.31 \text{ kN} / \text{m}$$

$$E_{a2} = 3 \cdot 19.74 = 59.22 \text{ kN} / \text{m}$$

$$E_{a3} = \frac{1}{2} \cdot 3 \cdot (41.17 - 19.74) = 32.14 \text{ kN} / \text{m}$$

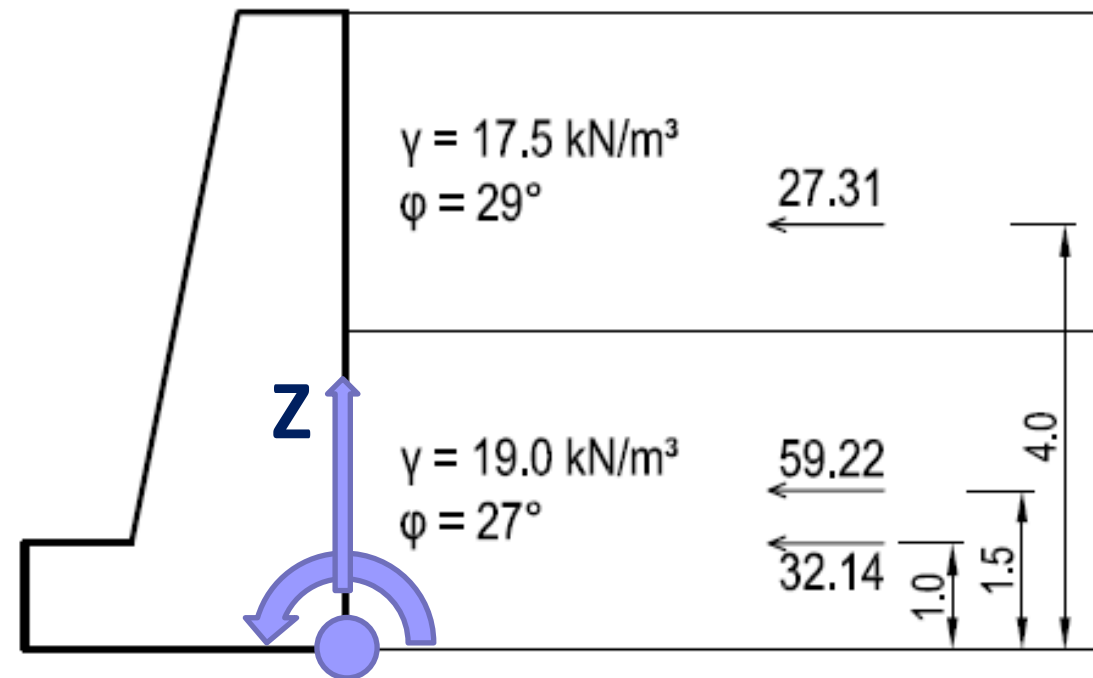
REZULTANTA AKTIVNOG PRITISKA TLA



$$E_a = \sum E_{a,i} = 27.31 + 59.22 + 32.14 = 118.67 \text{ kN / m}$$

POLOŽAJ REZULTANTE AKTIVNOG PRITISKA TLA

- Položaj rezultante aktivnog pritiska po visini određuje se iz uslova ravnoteže momenata svih komponentalnih sila aktivnog pritiska, za koje su poznati položaji težišta.
- Najjednostavnije je odrediti momente u donjem desnom uglu potpornog zida.



- $z_1 = 4.0 \text{ m}$

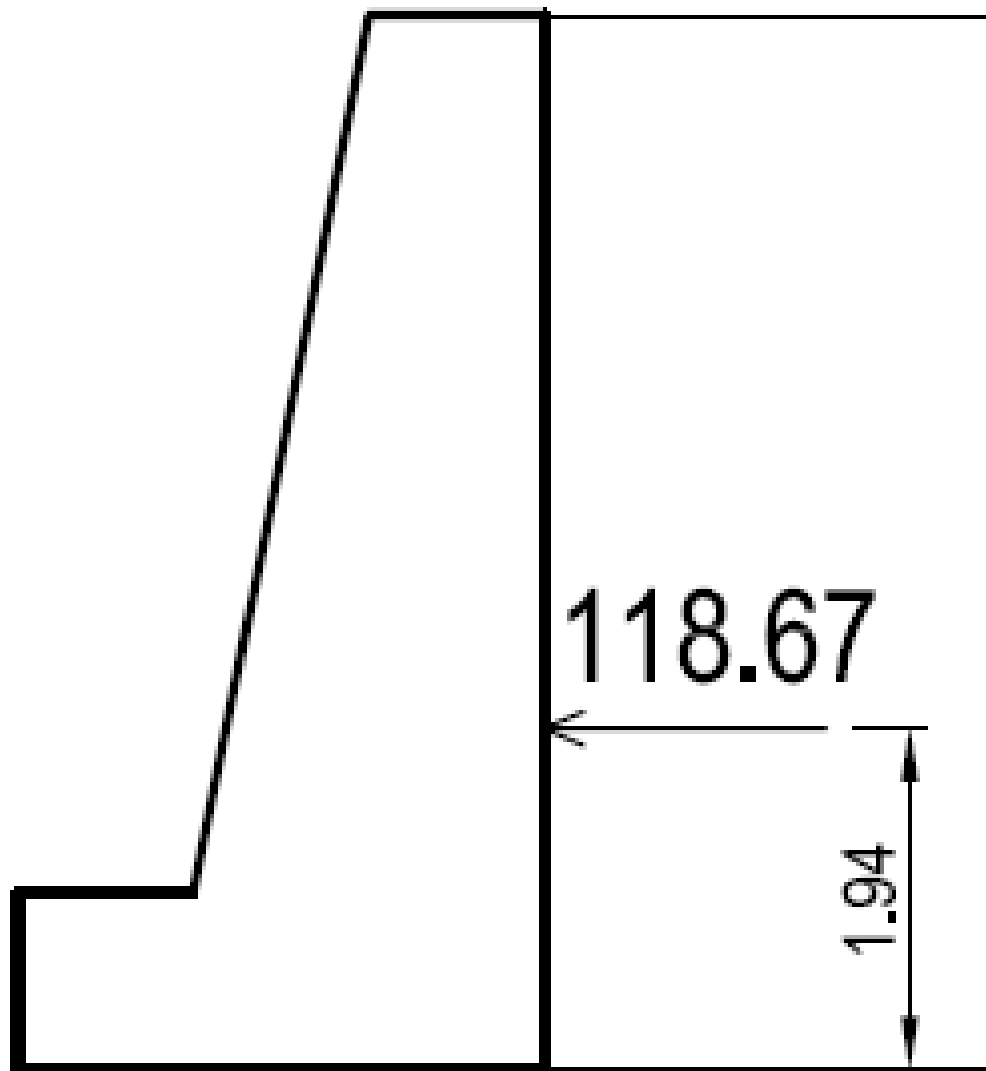
- $z_2 = 1.5 \text{ m}$

- $z_3 = 1.0 \text{ m}$

$$\sum M = \sum E_{a,i} \cdot z_i = E_a \cdot z_{Ea} \rightarrow z_{Ea} = \frac{\sum M}{E_a}$$

$$z_{Ea} = \frac{\sum M}{E_a} = \frac{27.31 \cdot 4.0 + 59.22 \cdot 1.5 + 32.14 \cdot 1}{118.67} = \frac{230.21}{118.67} = 1.94 \text{ m}$$

AKTIVNI PRITISAK TLA - REKAPITULACIJA



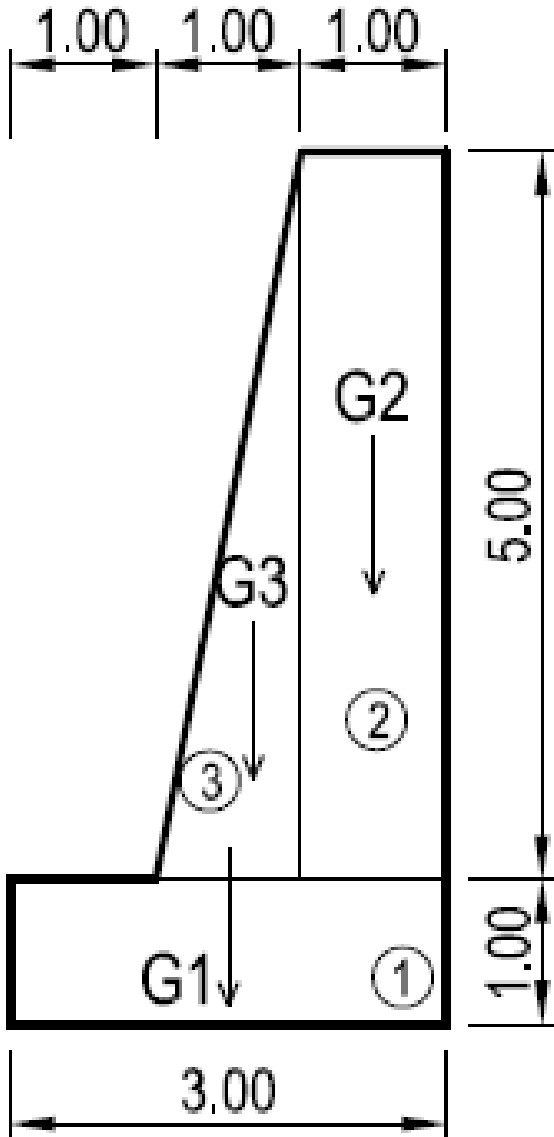
STABILNOST POTPORNIH KONSTRUKCIJA

- Sledeći korak analize je određivanje nepoznate sile usled sopstvene težine potpornog zida.
- Gravitacioni potporni zidovi se najčešće grade od nearmiranog betona
- Sila usled sopstvene težine potpornog zida određuje se kao površina figure potpornog zida pomnožena zapreminskom težinom nearmiranog betona.

$$G_i = A_i \times \gamma_b$$

$$\gamma_b = 24 \text{ kN/m}^3$$

REZULTANTA SOPSTVENE TEŽINE POTPORNOG ZIDA



$$G_i = A_i \times \gamma_b$$

$$\gamma_b = 24 \text{ kN/m}^3$$

$$G = \sum G_i = 252 \text{ kN} / \text{m}$$

$$G_1 = 3 \cdot 1 \cdot 24 = 72.00 \text{ kN} / \text{m}$$



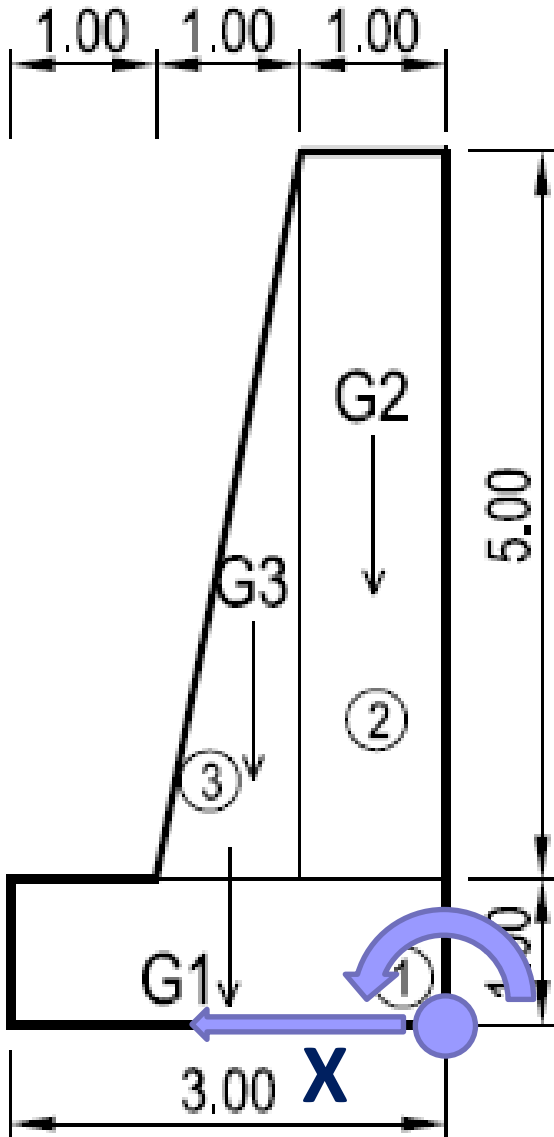
$$G_2 = 5 \cdot 1 \cdot 24 = 120.00 \text{ kN} / \text{m}$$



$$G_3 = \frac{1}{2} \cdot 5 \cdot 1 \cdot 24 = 60.00 \text{ kN} / \text{m}$$



POLOŽAJ REZULTANTE SOPSTVENE TEŽINE POTPORNOG ZIDA



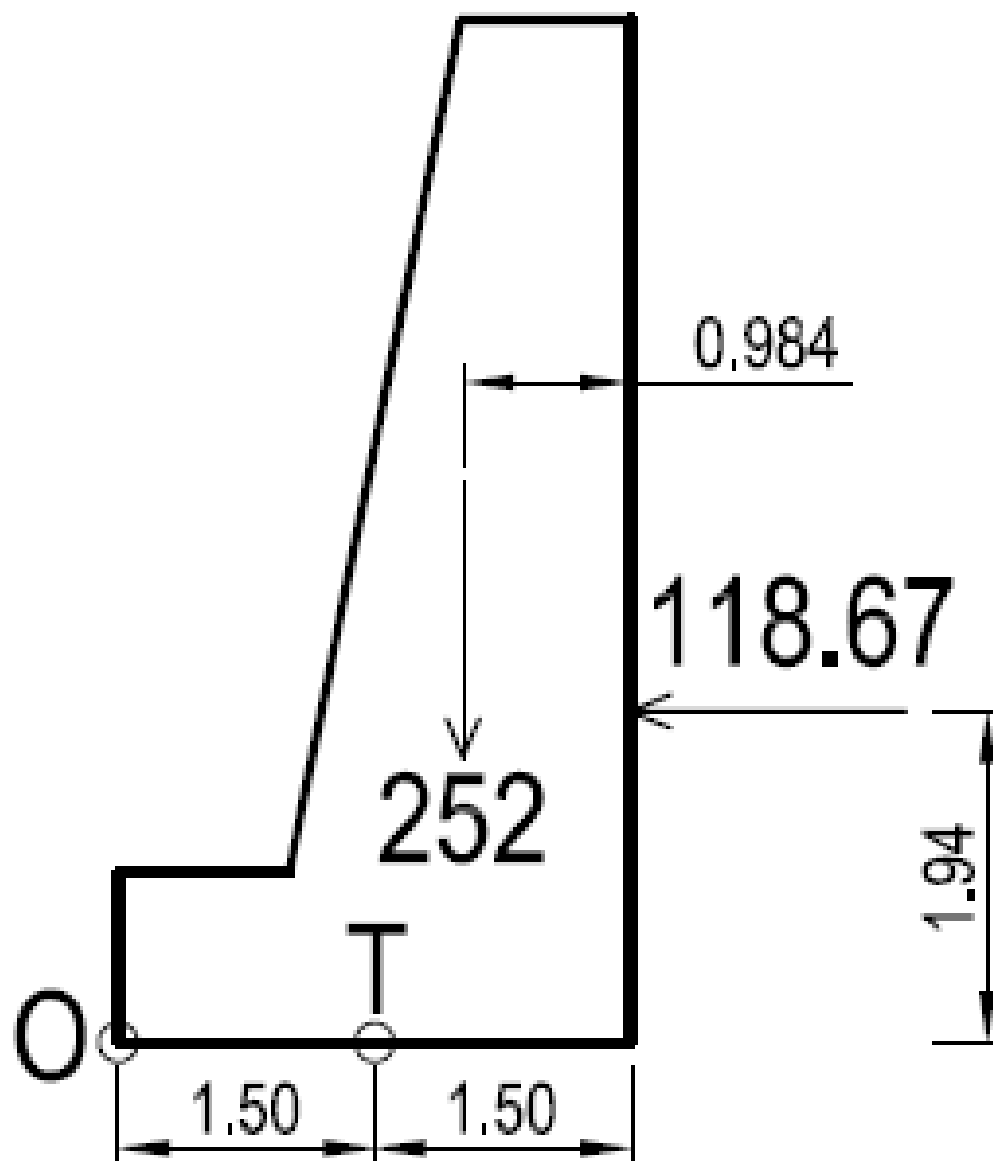
- Položaj rezultante sile sopstvene težine određuje se iz uslova ravnoteže momenata svih komponentalnih sila sopstvene težine, za koje su poznati položaji težišta.

- $x_1 = 1.5 \text{ m}$

- $x_2 = 0.5 \text{ m}$

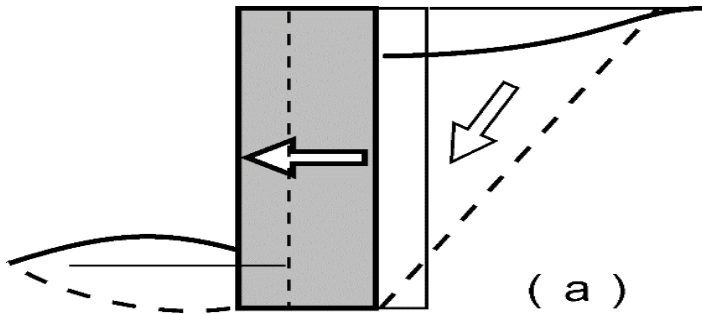
- $x_3 = 1.33 \text{ m}$

$$\sum M = \sum G_i \cdot x_i = G \cdot x_G \rightarrow x_G = \frac{\sum M}{G} = \frac{72 \cdot 1.5 + 120 \cdot 0.5 + 60 \cdot 1.33}{252} = 0.984 \text{ m}$$

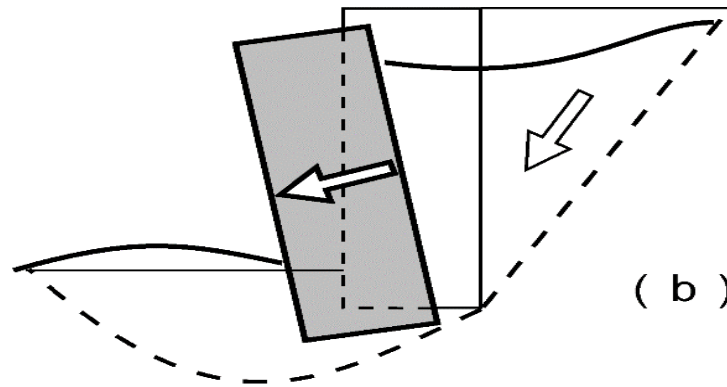
OPTEREĆENJE NA POTPORNI ZID - REKAPITULACIJA

STABILNOST POTPORNIH KONSTRUKCIJA

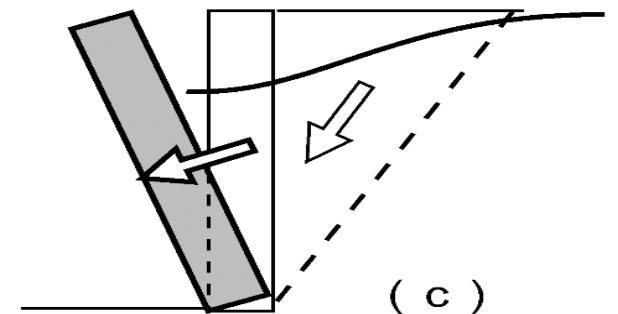
- Za gravitacione potporne zidove moraju se razmotriti sledeća granična stanja:
 - a) Lom usled klizanja duž temeljne spojnice
 - b) Nosivost tla ispod osnove zida
 - c) Lom usled preturanja



Lom usled klizanja duž temeljne spojnice



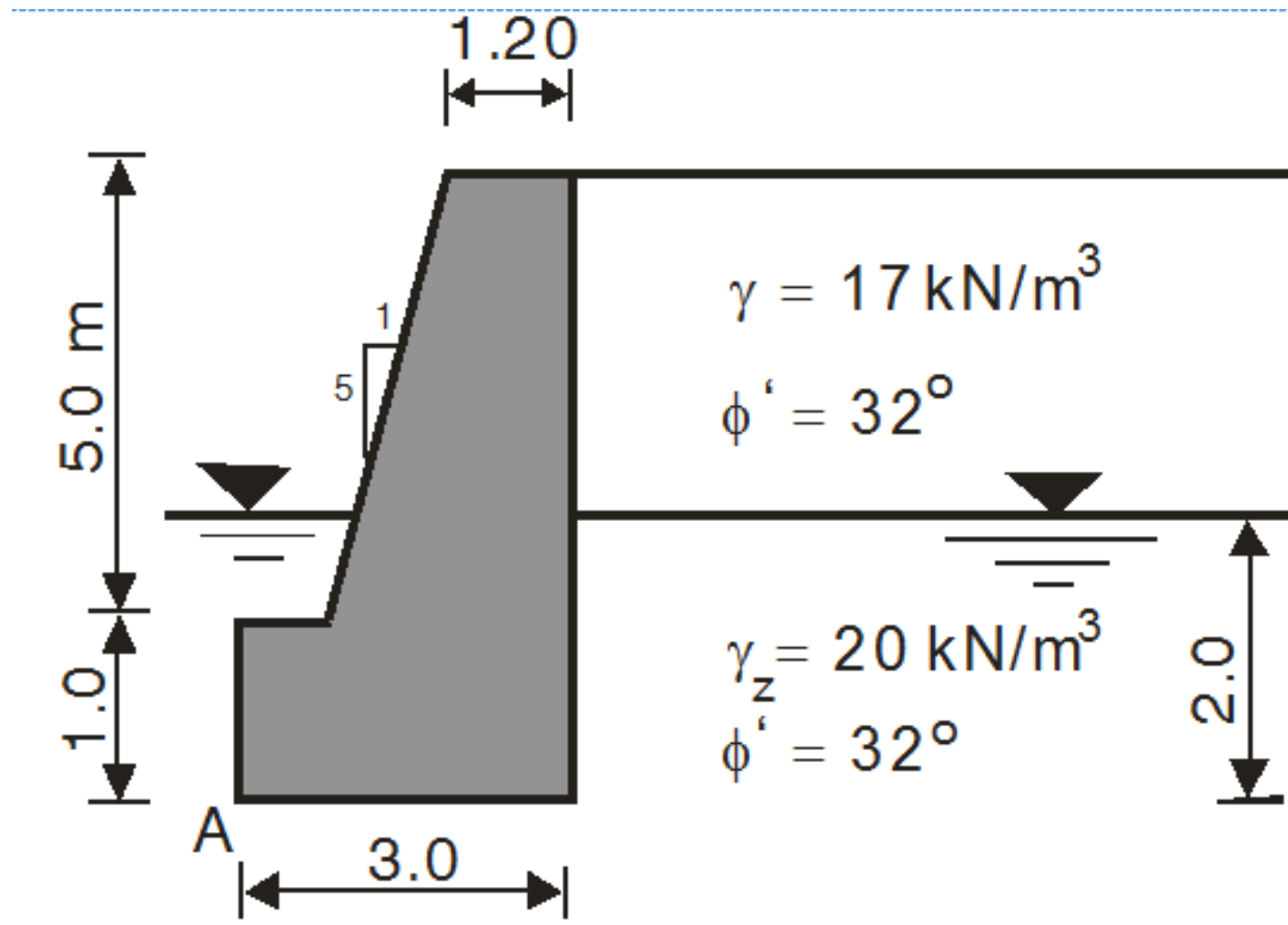
Nosivost tla ispod osnove zida



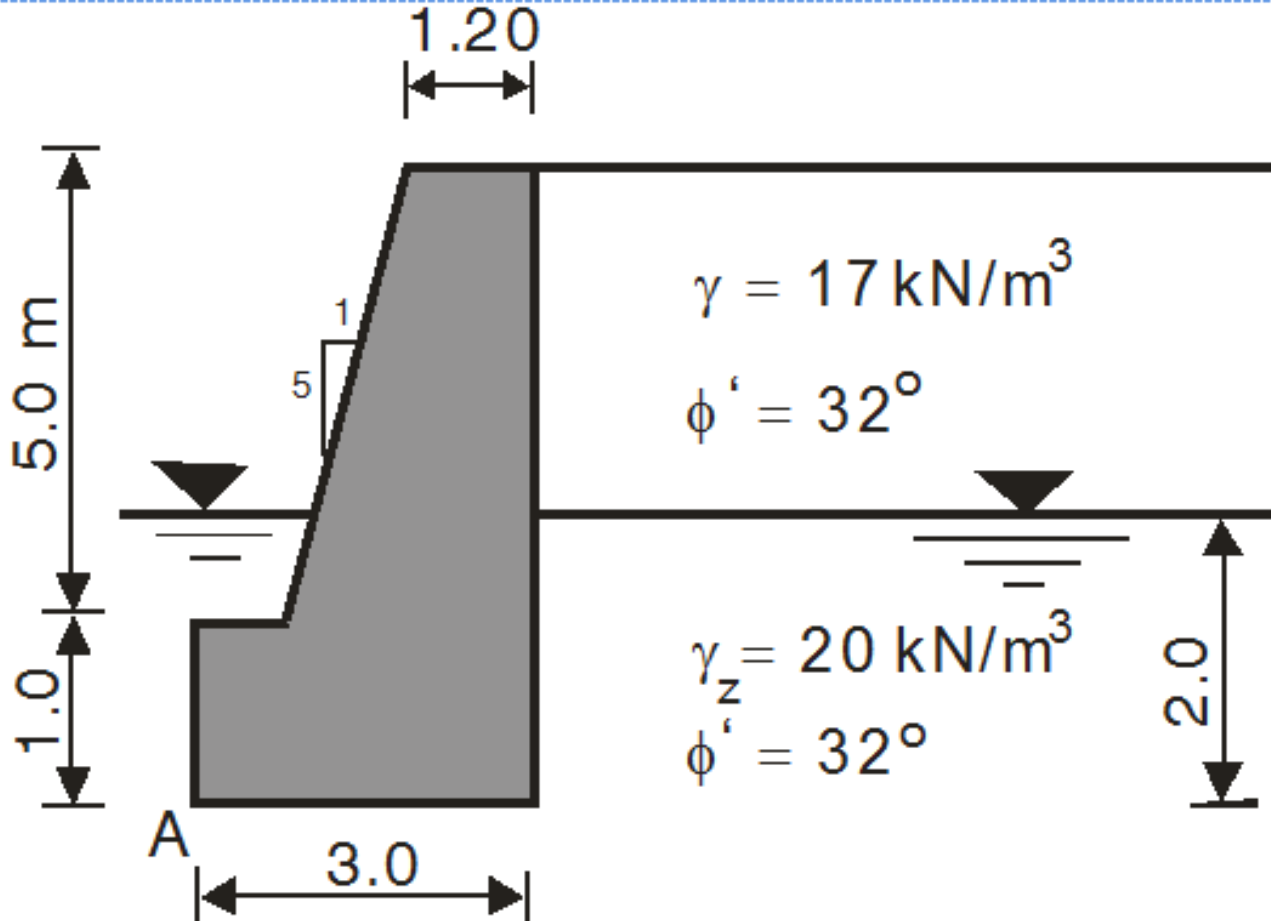
Lom usled preturanja

2. ZADATAK

- Za potporni zid prikazan na slici izvršiti analizu opterećenja zida koristeći aktivne pritiske po Rankinu ($\delta=0$).

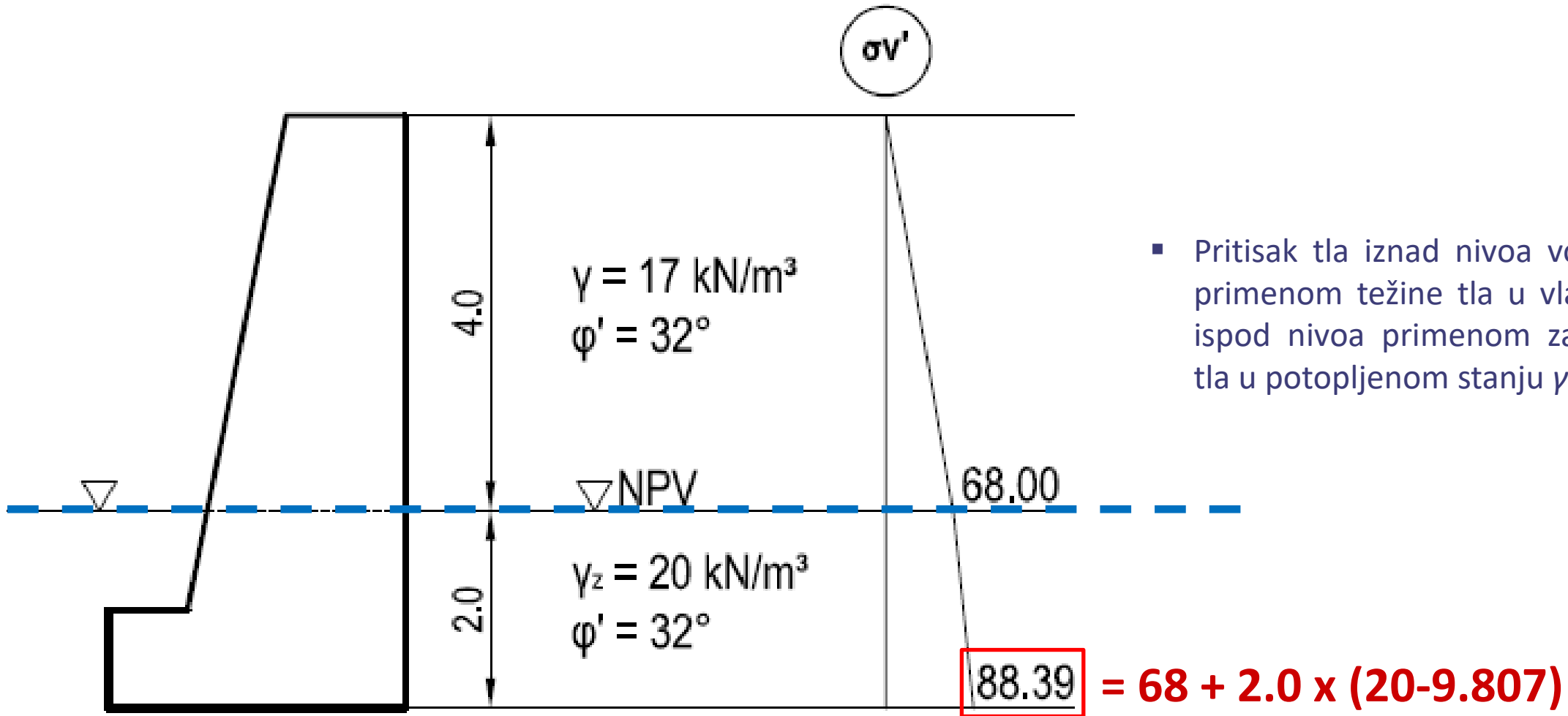


KOEFICIJENT AKTIVNOG PRITISKA TLA



$$K_{a1} = K_{a2} = \frac{1 - \sin \phi'_{1,d}}{1 + \sin \phi'_{1,d}} = \frac{1 - \sin 32}{1 + \sin 32} = 0.307$$

RASPODELA VERTIKALNOG NAPONA



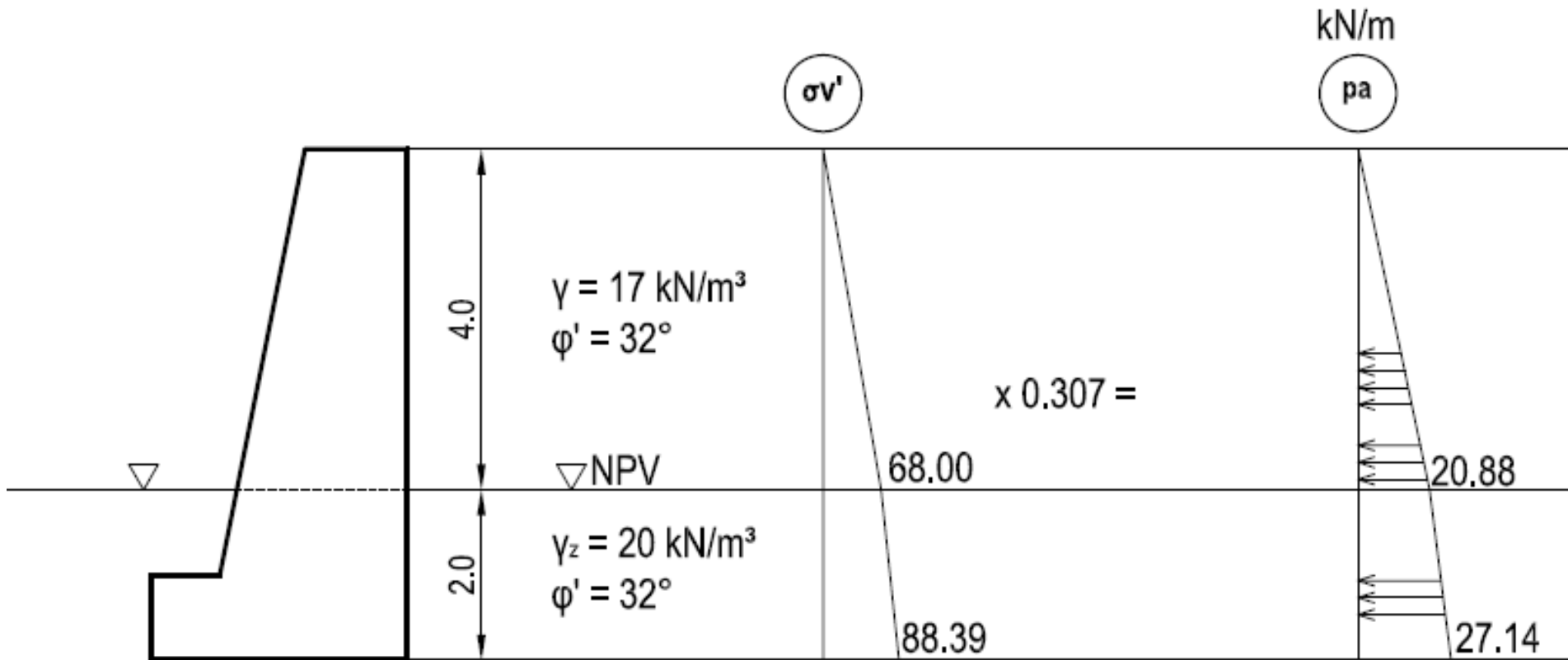
- Pritisak tla iznad nivoa vode izračunava se primenom težine tla u vlažnom stanju γ , a ispod nivoa primenom zapreminske težine tla u potopljenom stanju γ' .

DIJAGRAM AKTIVNOG PRITISKA TLA

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

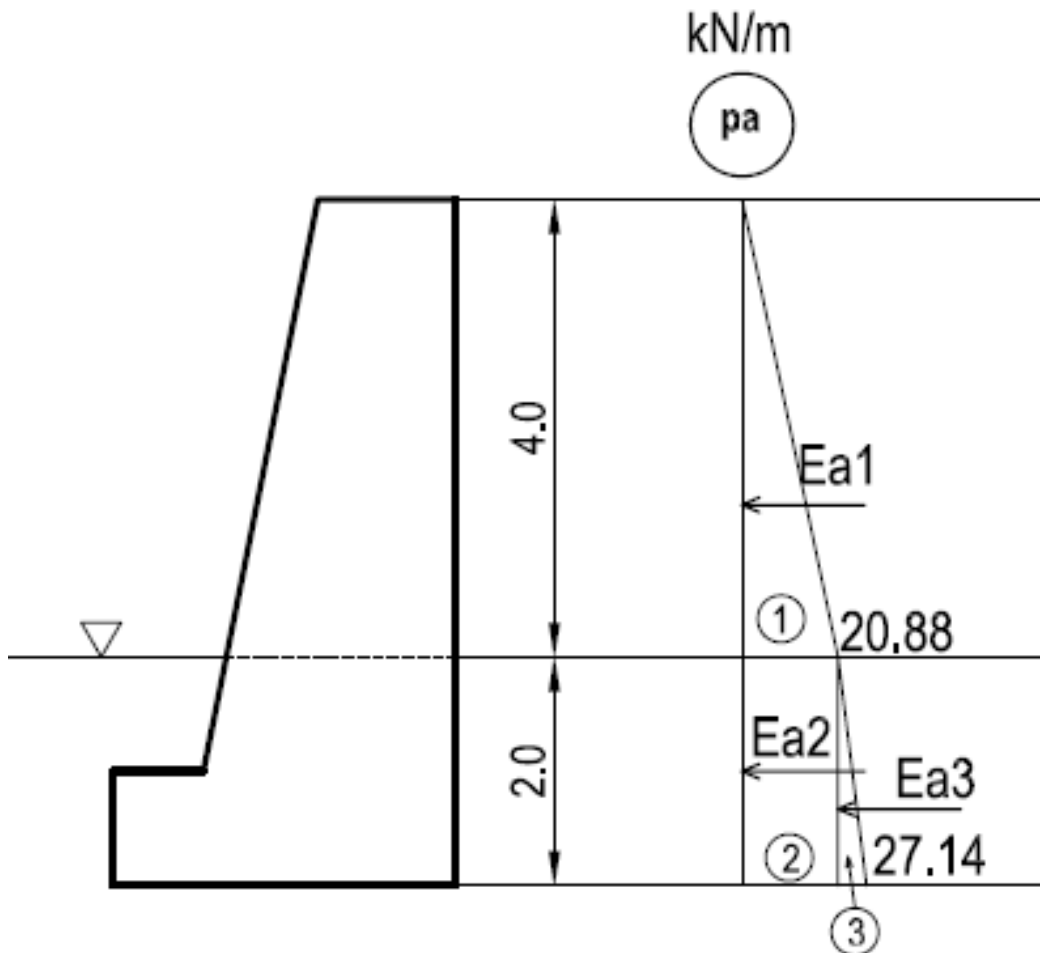
- Kako je kohezija u oba sloja jednaka nuli, gore navedeni izraz za raspodelu aktivnog pritiska svodi se na:

$$p_a = K_a \sigma_v'$$



REZULTANTA AKTIVNOG PRITISKA TLA

- Rezultanta aktivnog pritiska određuje se kao površina dijagrama aktivnog pritiska tla.
- Dijagram aktivnog pritiska možemo podeliti na elementarne figure: trouglove i pravougaonike



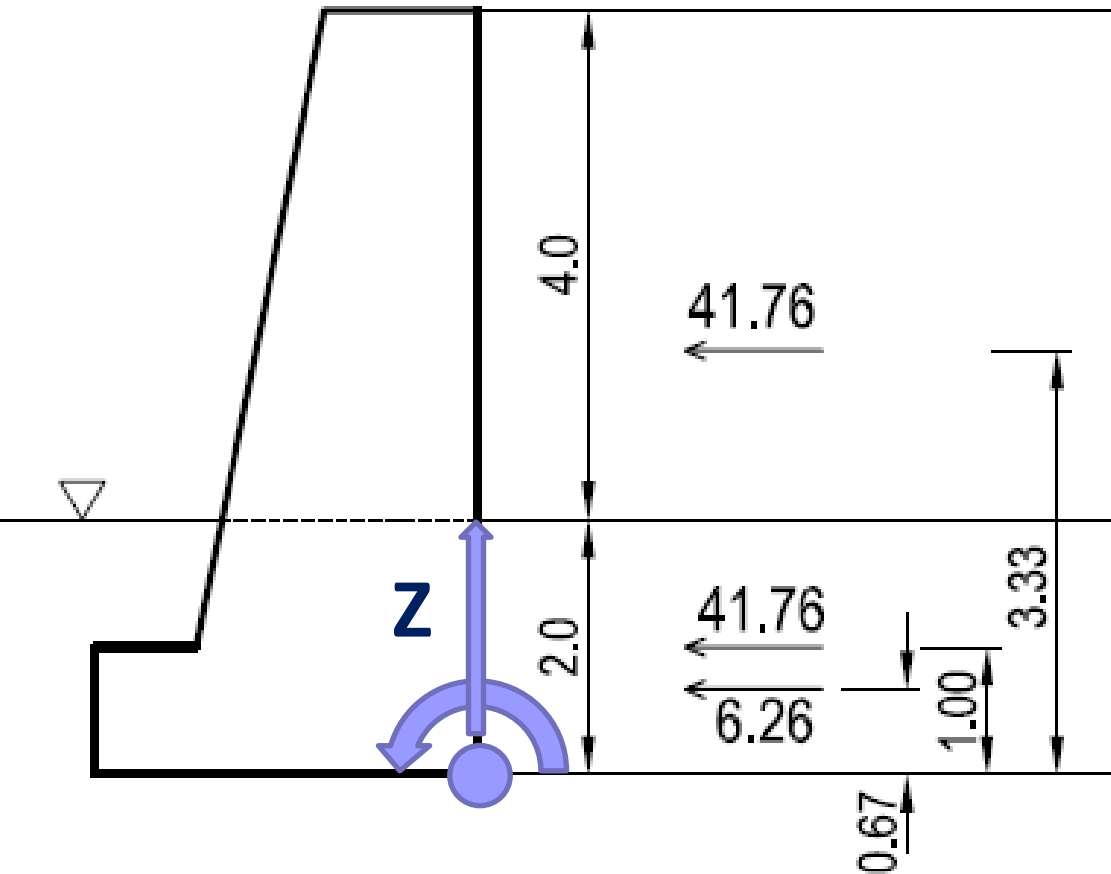
$$E_{a1} = \frac{1}{2} \cdot 4 \cdot 20.88 = 41.76 \text{ kN} / \text{m}$$

$$E_{a2} = 2 \cdot 20.88 = 41.76 \text{ kN} / \text{m}$$

$$E_{a3} = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot (27.14 - 20.88) = 6.26 \text{ kN} / \text{m}$$

$$E_a = \sum E_{a,i} = 41.76 + 41.76 + 6.26 = 89.78 \text{ kN} / \text{m}$$

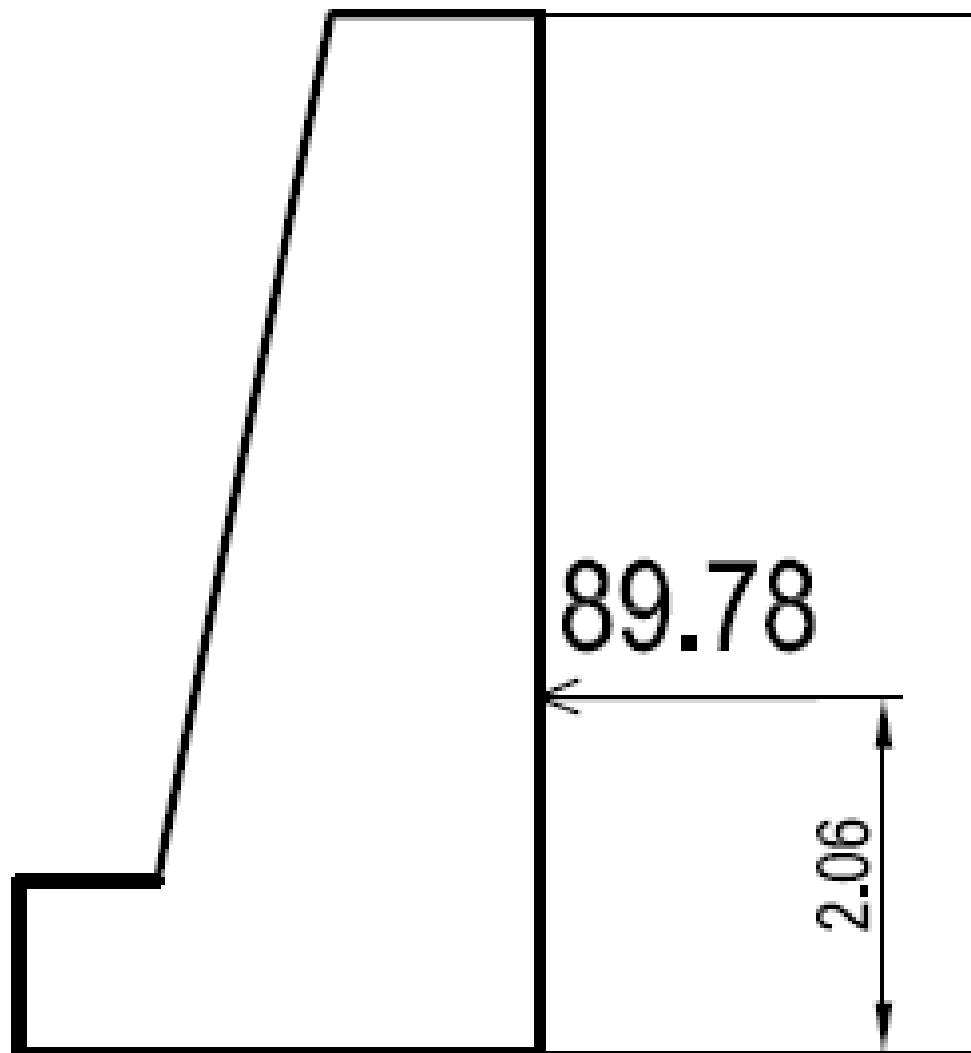
POLOŽAJ REZULTANTE AKTIVNOG PRITISKA TLA



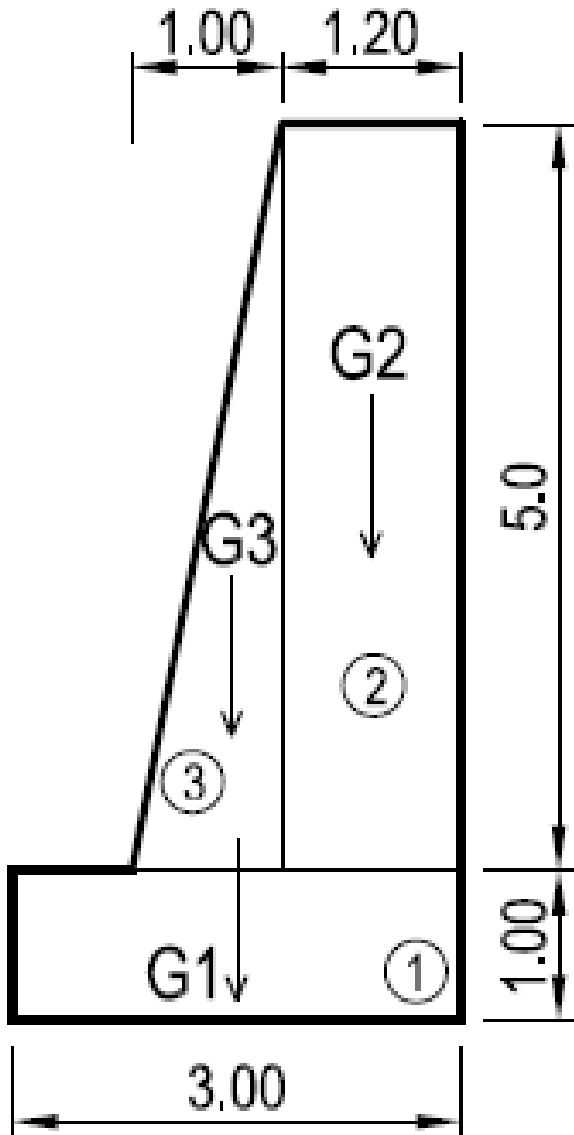
- $z_1 = 3.33$ m
- $z_2 = 1.00$ m
- $z_3 = 0.67$ m

$$z_{Ea} = \frac{\sum M}{E_a} = \frac{41.76 \cdot 3.33 + 41.76 \cdot 1.0 + 6.26 \cdot 0.67}{89.78} = 2.06m$$

AKTIVNI PRITISAK TLA - REKAPITULACIJA



REZULTANTA SOPSTVENE TEŽINE POTPORNOG ZIDA



$$G_1 = 3 \cdot 1 \cdot 24 = 72.00 \text{ kN} / \text{m}$$



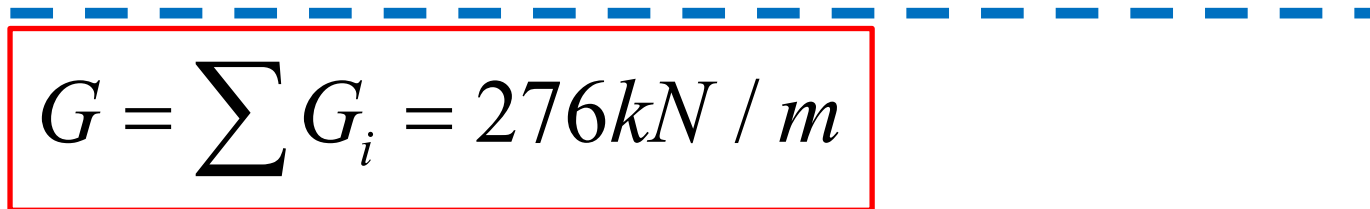
$$G_2 = 5 \cdot 1.2 \cdot 24 = 144.00 \text{ kN} / \text{m}$$



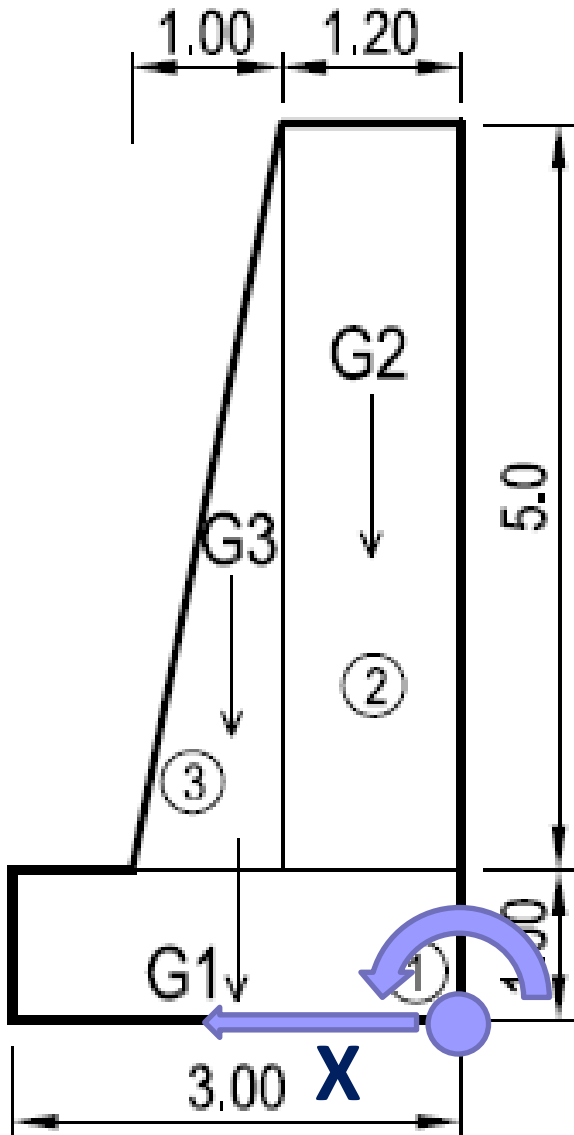
$$G_3 = \frac{1}{2} \cdot 5 \cdot 1 \cdot 24 = 60.00 \text{ kN} / \text{m}$$



$$G = \sum G_i = 276 \text{ kN} / \text{m}$$



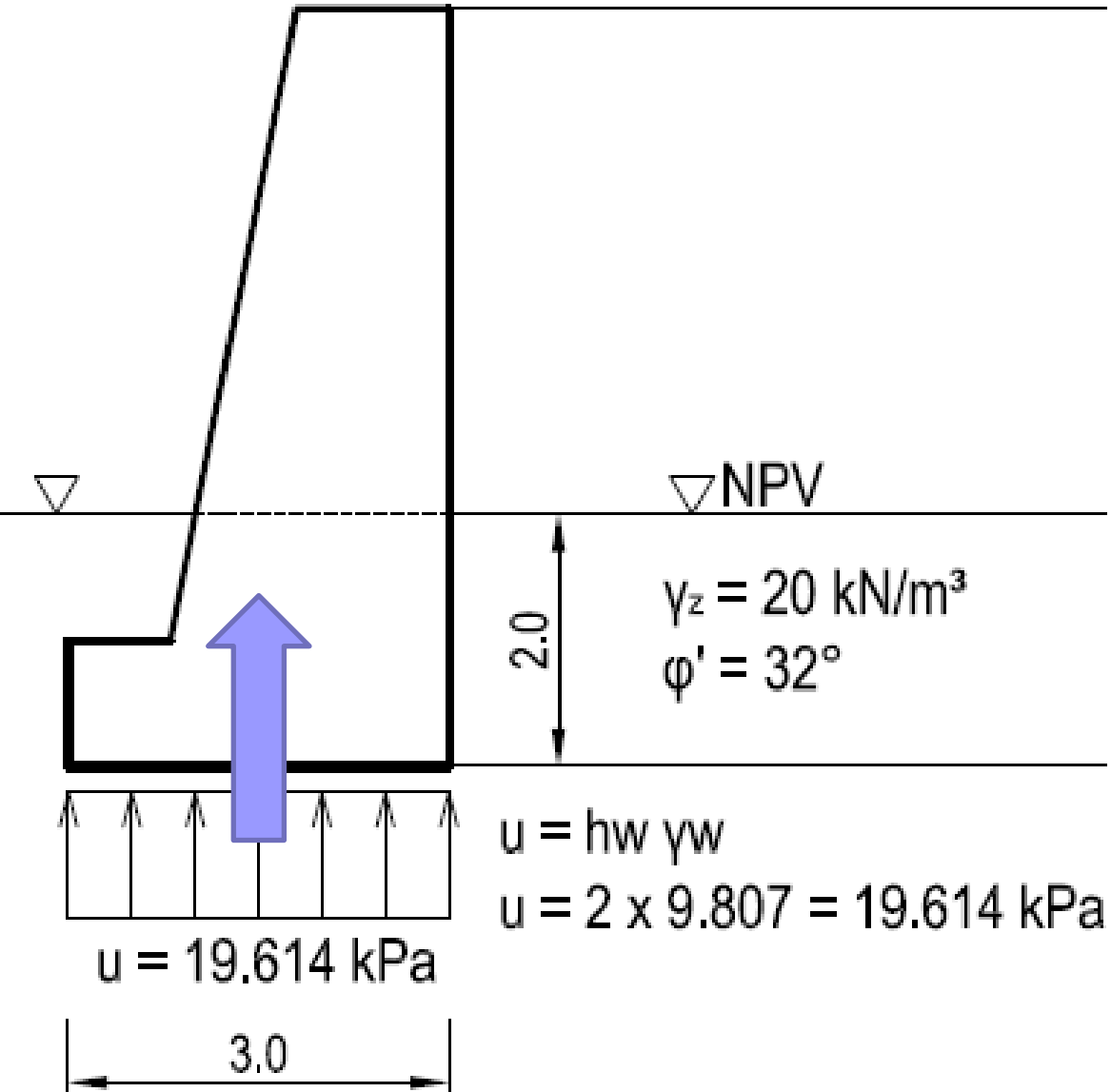
POLOŽAJ REZULTANTE SOPSTVENE TEŽINE POTPORNOG ZIDA



- $x_1 = 1.5 \text{ m}$
- $x_2 = 0.6 \text{ m}$
- $x_3 = 1.53 \text{ m}$

$$x_G = \frac{\sum M}{G} = \frac{72 \cdot 1.5 + 144 \cdot 0.60 + 60 \cdot 1.533}{276} = 1.038 \text{ m}$$

SILA UZGONA

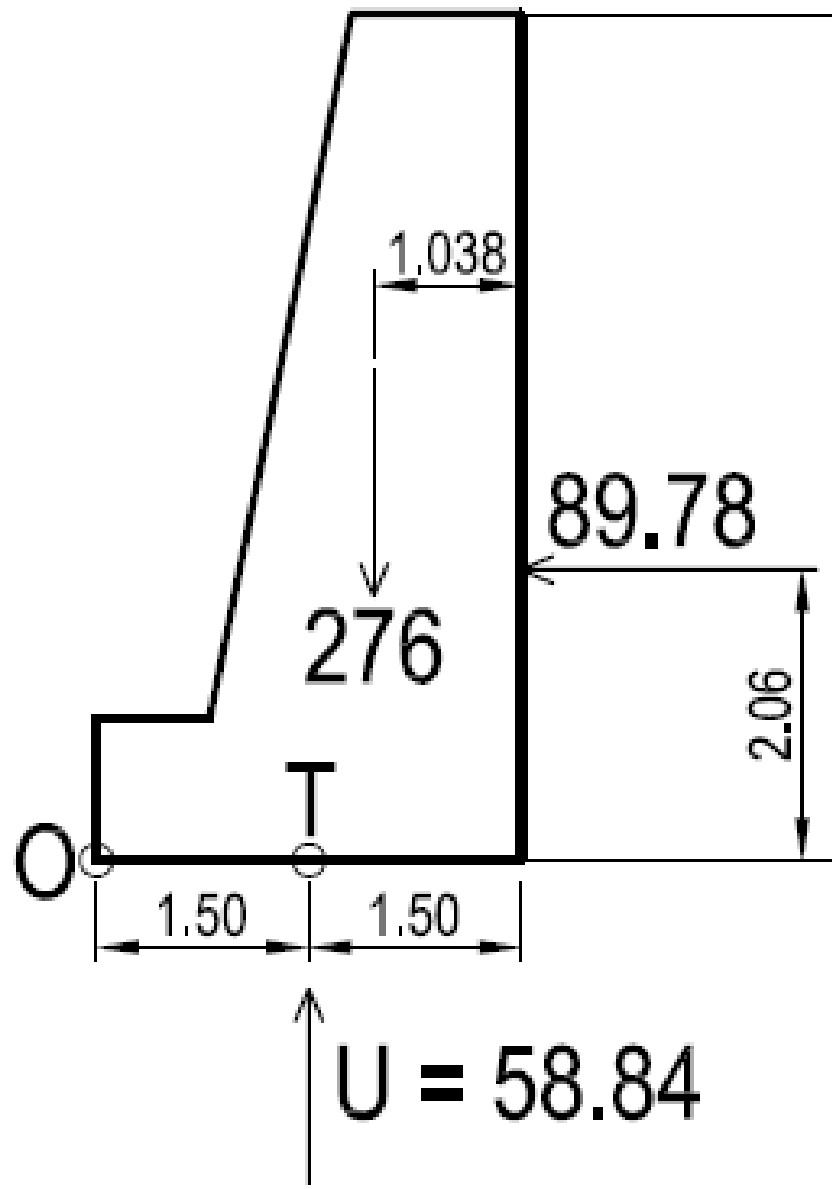


- U slučaju delimične potopljenosti zida, potrebno je prilikom analize stabilnosti u obzir uzeti silu uzgona (isplivavanja).
- Sila uzgona jednaka je rezultanti hidrostatičkog pritiska u nivou temeljne spojnice.

$$U = u \times B = 19.614 \times 3.0 = 58.84 \text{ kPa}$$

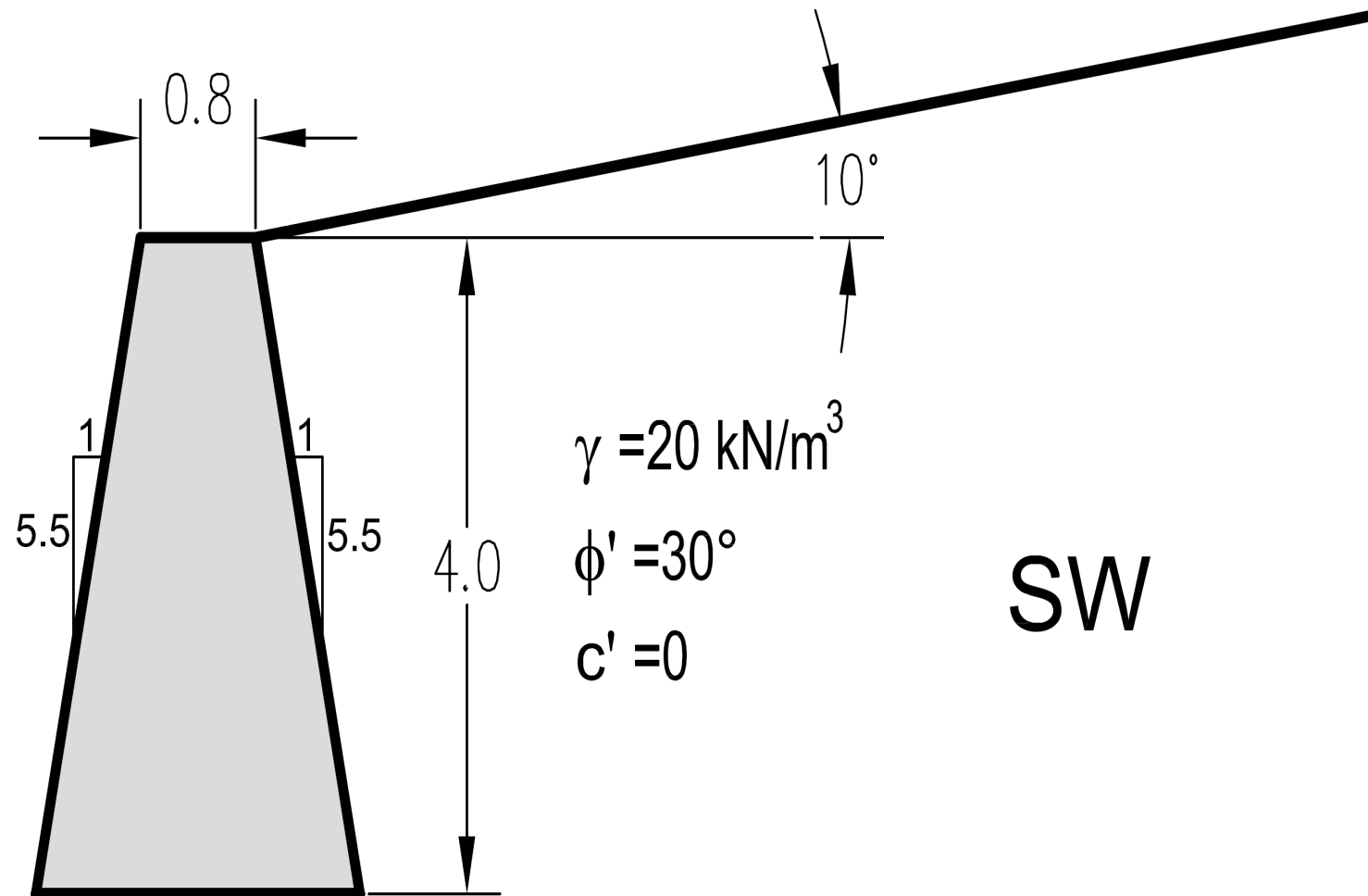
Sila uzgona se UVEK smatra NEPOVOLJNIM dejstvom!!

OPTEREĆENJE NA POTPorni ZID - REKAPITULACIJA



3. ZADATAK

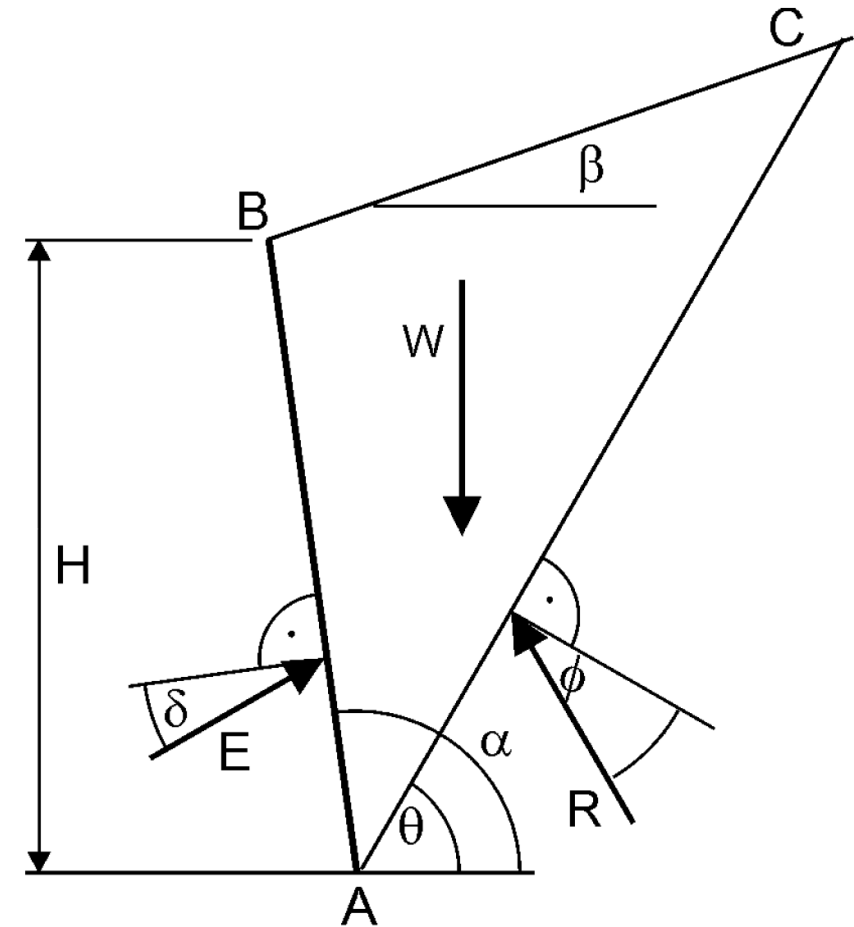
Za potpornu konstrukciju prikazanu na skici izvršiti analizu opterećenja. Aktivni pritisak tla odrediti metodom Kulona. Parametri tla su dati na skici.



KULONOVA TEORIJA PRITISAKA TLA - PODSEĆANJE

Pretpostavke:

- zid je krut i ravan pod uglom α u odnosu na horizontalu
- teren je ravan ali može biti i u nagibu pod uglom β
- tlo je bez kohezije i čvrstoća se opisuje trenjem
- smer delovanja sile pritiska zaklapa ugao δ sa normalom na zid
- napadne tačke sile su poznate veličine
- površina klizanja je ravan

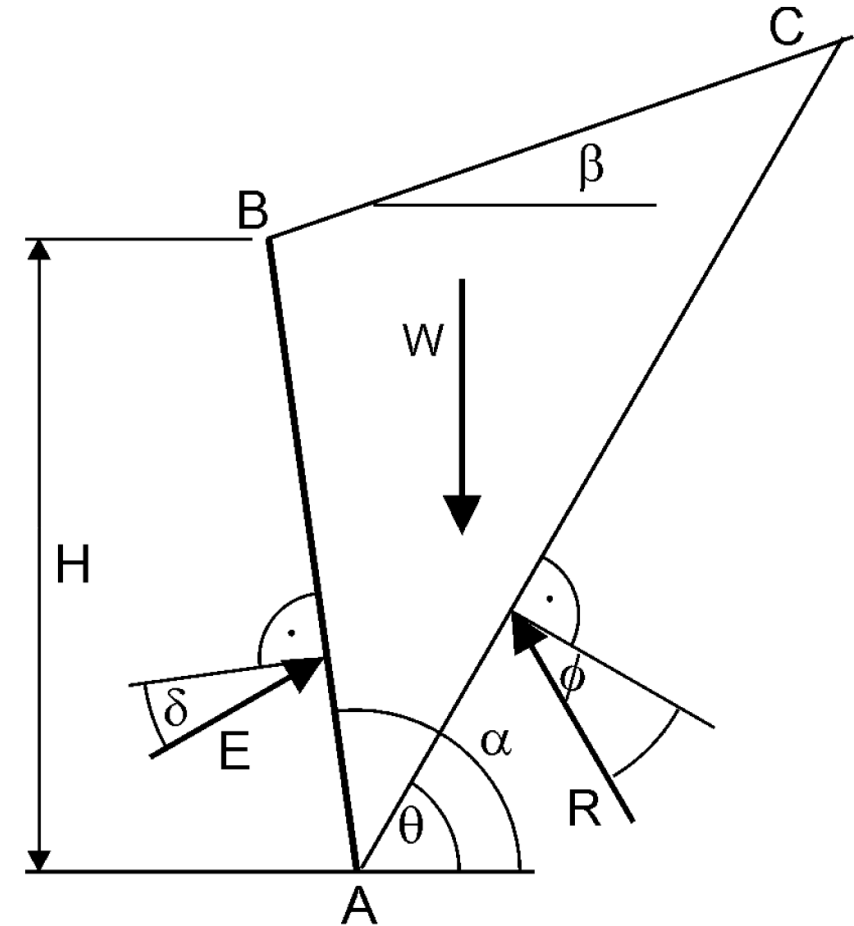


(a)

KULONOVA TEORIJA PRITISAKA TLA - PODSEĆANJE

Problem se svodi na određivanje sila E_a , odnosno E_p iz uslova granične ravnoteže kliznog bloka koji se pomera po kosoj ravni smicanja AC naniže, odnosno naviše. Ovde treba posebno uočiti razliku orijentacije uglova sila u odnosu na ravan na koju deluju sile E i R . Može se ispisati analitički izraz za uslov ravnoteže klina definisan različitim položajima tačke C , odnosno uglom θ i rešiti izražavanjem veličine sile E_i u obliku:

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



(a)

KULONOVA TEORIJA PRITISAKA TLA – AKTIVNI I PASIVNI PRITISAK - PODSEĆANJE

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

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

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

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

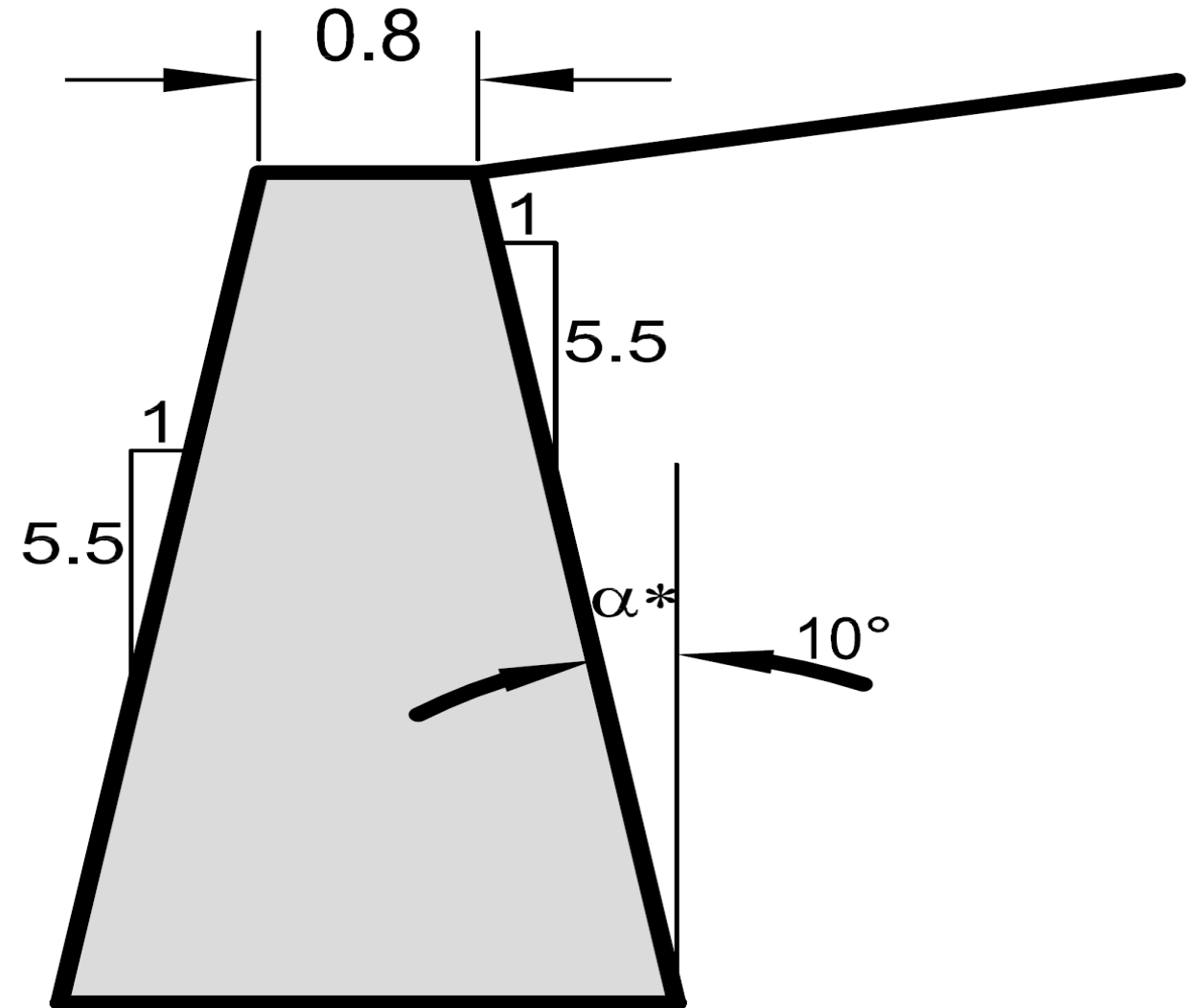
GEOMETRIJSKI PODACI

$$\tan \alpha^* = \frac{1}{5.5} \Rightarrow \alpha^* \approx 10^\circ$$

$$\alpha = 90^\circ + \alpha^* = 90^\circ + 10^\circ = 100^\circ$$

$$\beta = 10^\circ$$

$$H = 4 \text{ m}$$



SILA AKTIVNOG PRITISKA

$$\phi'_d = 30^\circ$$

$$\delta = \text{ugao trenja} = \frac{2}{3} \phi'_d = \frac{2}{3} 30 = 20^\circ$$

$$\alpha = 100^\circ$$

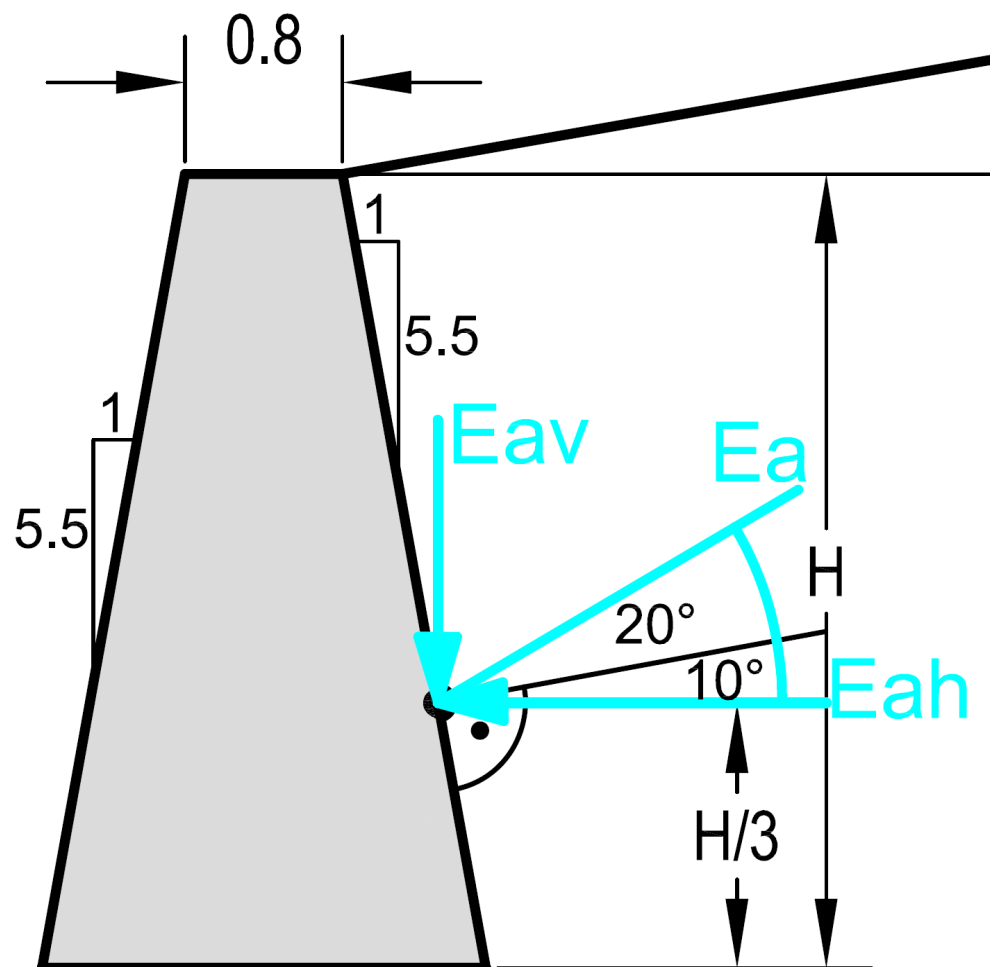
$$\beta = 10^\circ$$

$$H = 4 \text{ m}$$

β	ϕ'	δ	α					
			90	95	100	105	110	115
10	25	16,7	0,4210	0,4675	0,5200	0,5805	0,6513	0,7357
	26	17,3	0,4033	0,4497	0,5022	0,5625	0,6333	0,7176
	27	18,0	0,3864	0,4327	0,4850	0,5453	0,6159	0,7002
	28	18,7	0,3702	0,4164	0,4686	0,5287	0,5992	0,6834
	29	19,3	0,3548	0,4007	0,4528	0,5128	0,5831	0,6672
	30	20,0	0,3400	0,3857	0,4376	0,4974	0,5676	0,6516
	31	20,7	0,3259	0,3713	0,4230	0,4826	0,5526	0,6365
	32	21,3	0,3123	0,3575	0,4089	0,4683	0,5382	0,6219
	33	22,0	0,2993	0,3442	0,3953	0,4545	0,5242	0,6078
	34	22,7	0,2868	0,3314	0,3822	0,4412	0,5107	0,5942
	35	23,3	0,2748	0,3190	0,3696	0,4283	0,4976	0,5810
	36	24,0	0,2633	0,3072	0,3574	0,4158	0,4849	0,5682
	37	24,7	0,2522	0,2957	0,3456	0,4037	0,4726	0,5558
	38	25,3	0,2415	0,2846	0,3342	0,3920	0,4607	0,5437
	39	26,0	0,2313	0,2740	0,3231	0,3807	0,4491	0,5321
	40	26,7	0,2214	0,2636	0,3125	0,3697	0,4379	0,5207

$$K_a = 0.4376 \Rightarrow E_a = \frac{1}{2} K_a \gamma_d H^2 = \frac{1}{2} 0.4376 \cdot 20 \cdot 4^2 = 70.0 \text{ kN / m'}$$

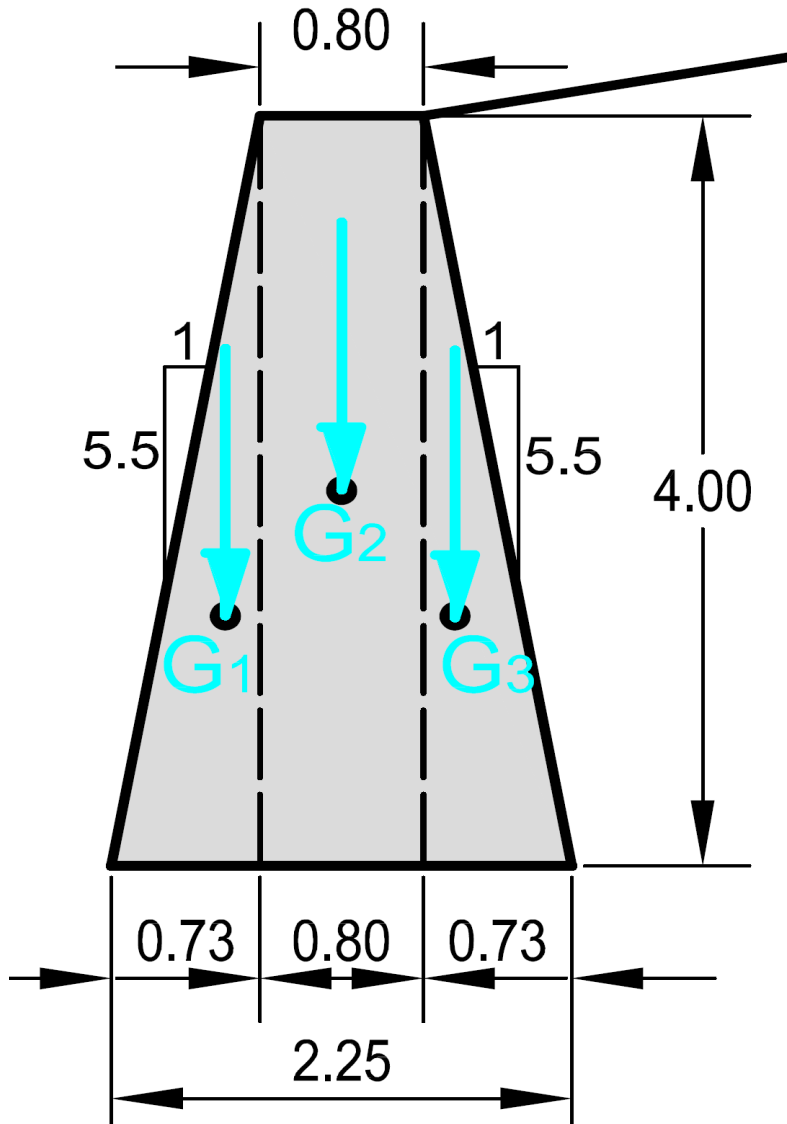
SILA AKTIVNOG PRITISKA - DEKOMPOZICIJA



$$E_{ah} = E_a \cos(10 + 20) = 60.6 \text{ kN} / m'$$

$$E_{av} = E_a \sin(10 + 20) = 35.0 \text{ kN} / m'$$

SOPSTVENA TEŽINA POTPORNOG ZIDA



$$G_1 = G_3 = \frac{1}{2} 4 \cdot 0.73 \cdot 24 = 35.0 \text{ kN} / m'$$

$$G_2 = 0.8 \cdot 4 \cdot 24 = 76.8 \text{ kN} / m'$$

$$G = \sum G_i = 35 + 76.8 + 35 = 146.8 \text{ kN} / m'$$



HVALA NA PAŽNJI