



UREDITEV VODNE INFRASTRUKTURE ZA ZAGOTAVLJANJE POPLAVNE VARNOSTI ŽELEZNIKOV - I.FAZA

STATIČNA ANALIZA JEZOV

Št. projekta: H52/15
Št. načrta: 3/1
Faza: PGD

Kazalo vsebine:

1	ALPLESOV JEZ	3
1.1	SPLOŠNO	3
1.1.1	Osnovni podatki o konstrukciji jezua	4
1.1.2	Geološko – geomehanske osnove	5
1.1.3	Osnovne predpostavke stabilitetne analize	6
1.2	OBTEŽBE IN OBREMENITVE	7
1.2.1	Stalni vplivi na konstrukcijo – lastna teža	8
1.2.2	Vplivi zemljine	8
1.2.3	Vplivi vode	11
1.3	VARNOST NA ZDRS	17
1.4	VARNOST NA PREVRNITEV	21
1.4.1	Moment odpora M_d	21
1.4.2	Moment prevrnitve M_p	23
1.5	LEGA IN NAKLON REZULTANTE	25
1.6	REZULTATI ANALIZE	30
1.7	NOTRANJE STATIČNE KOLIČINE	31
1.7.1	Prerez s fiksnim prelivnim poljem	31
1.8	DIMENZIONIRANJE PO STANDARDU EC2	33
1.8.1	Prerez s fiksnim prelivnim poljem	33

1.8.2	Prerez z zapornico	42
2	DERMOTOV JEZ	45
2.1	SPLOŠNO	45
2.1.1	Osnovni podatki o konstrukciji jezua	46
2.1.2	Geološko – geomehanske osnove	48
2.1.3	Osnovne predpostavke stabilitetne analize	48
2.2	OBTEŽBE IN OBREMENITVE	49
2.2.1	Stalni vplivi na konstrukcijo – lastna teža	50
2.2.2	Vplivi zemljine	50
2.2.3	Vplivi vode	53
2.3	VARNOST NA ZDRS	60
2.4	VARNOST NA PREVRNITEV	65
2.4.1	Moment odpora M_d	65
2.4.2	Moment prevrnitve M_p	68
2.5	LEGA IN NAKLON REZULTANTE	70
2.6	REZULTATI ANALIZE	74
2.7	DIMENZIONIRANJE PO STANDARDU EC2	75
2.7.1	Prerez z zapornico	75
3	DOLENČEV JEZ	78
3.1	SPLOŠNO	78
3.1.1	Osnovni podatki o konstrukciji jezua	78
3.1.2	Geološko – geomehanske osnove	79
3.1.3	Osnovne predpostavke stabilitetne analize	79
3.2	OBTEŽBE IN OBREMENITVE	81
3.2.1	81	
3.2.2	Stalni vplivi na konstrukcijo – lastna teža	82
3.2.3	Vplivi zemljine	82
3.2.4	Vplivi vode	85
3.3	VARNOST NA ZDRS	88
3.4	VARNOST NA PREVRNITEV	91
3.4.1	Moment odpora M_d	91
3.4.2	Moment prevrnitve M_p	91
3.5	LEGA IN NAKLON REZULTANTE	92
3.6	REZULTATI ANALIZE	95

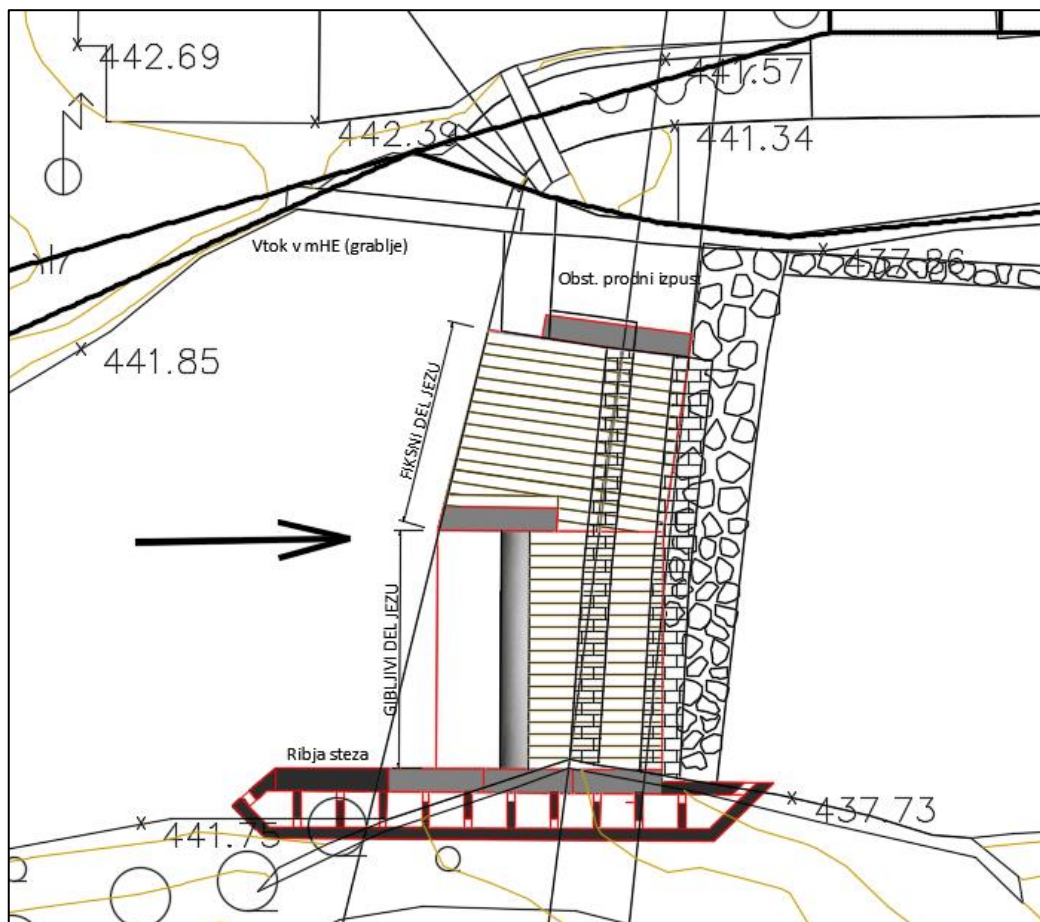


1 ALPLESOV JEZ

1.1 SPLOŠNO

Novi jez je zasnovan na isti lokaciji kot obstoječi dvodelni jez in sicer je ob desnem boku predvidena izvedba gibljivega preliva z zapornico višine 1,4 m in širine 10 m (kovinska loputa »na protiutež«) in fiksnega dela jezu s prelivom na koti 441,50 m n.m. (današnji preliv jezu je na koti 441,6 m n.m.). Ob desnem boku jezu se izvede AB ribja steza iz prekatov.

V fazi gradnje se odstrani celotna betonska konstrukcija sedanjega jezu. Jez se temelji z delno odstranitvijo skalne podlage. Zadnja stena je zaradi varovanja pred zdrsom in podaljšanja strujne linije predvidena 1,5 m pod talno ploščo. Tudi celotna talna plošča se vkoplje v skalno podlago. Enak temelj kot na gorvodni strani je predviden tudi na dolvodni strani jezu. Dno spodnjega temelja sega do kote ~436,0 m n.m., kar je 5,5 m pod končno krono jezu (preliva). Celotna širina talne plošče je na območju z gibljivim prelivom široka 9,5 m, na fiksnem delu jezu proti prodnem izpustu pa se zoži na 8,5 m. Na stiku med vogalom talne plošče in spodnjim temeljnim rebrom ter hribinsko podlagi se po potrebi izvede drenažno rebro, ki se skozi temeljno ploščo poveže z dolvodno zračno stranjo jezu.



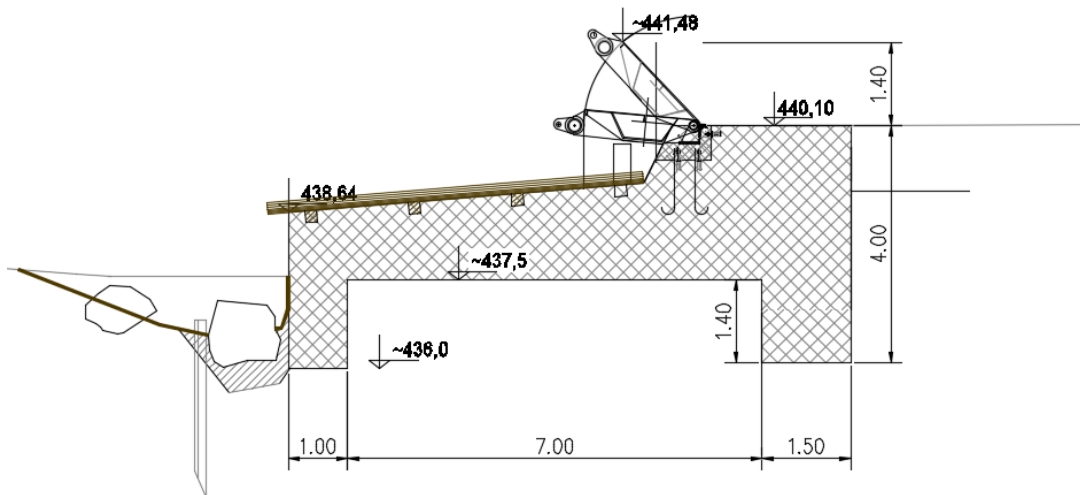
Debelina talne plošče na območju z gibljivo krono je na spodnji strani ~1,1 m , na zgornji strani pa 2,6 m (kota 440,10 m n.m.). Talna plošča se izvede z višinskim lomom. Na zobu loma je predviden temelj za prijemališče gibljive lopute, ki se izvede naknadno ob vgradnji strojne opreme.

Na območju fiksnega jezua je talna plošča oz. telo jezua debelo na spodnji strani ~1,7 m, na zgornji pa ~ 4 m.

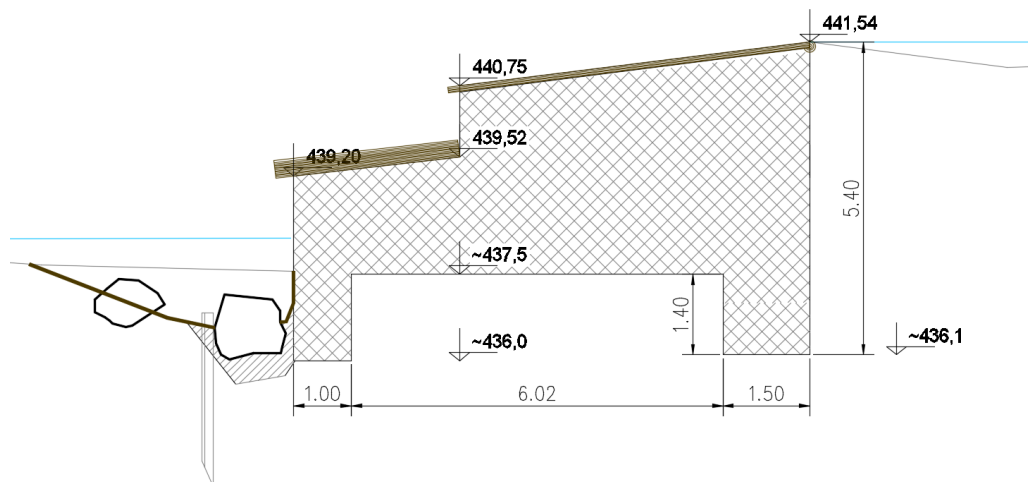
1.1.1 Osnovni podatki o konstrukciji jezua

Prelivni del jezua z zapornico ter fiksni prelivni del jezua so izdelani iz armiranega betona kvalitete C20/25 z dodatki XF3, XC3, XM1, PVII. Kvaliteta armature je B500 B, zaščitni sloj armature je 5,0 cm. Zaradi masivnosti prereza v delu jezua s fiksnim prelivnim poljem smatramo, da je v primernejše betoniranje v II. fazah. To je bilo upoštevano tudi v skici armature.

- Prerez z zapornico



- Prerez s fiksnim prelivnim poljem



1.1.2 Geološko – geomehanske osnove

Geološka sestava je bila preverjena z vrtinama V-1 in V-2, ki sta bili locirani tik ob levem in desnem bregu reke. Zgornji sloj peščenega do malo zameljenega proda (GW) sega do globine 2,0 (levi breg) in 2,7m (desni breg). Pod njim v vrtini V-1 začenja hribinska podlaga iz skrilavca (skrilavi glinovec). Kamnina v smeri proti desnemu bregu postopoma prehaja v skrilavec s polami apnenca, ki je bil navrtan v vrtini V-2. Cca 7 m od desnega brega začenja vertikalna stena v kateri prav tako izdajajo plasti skrilavca s polami apnenca. Geološka sestava tal na območju jezua Alples je prikazana v profilu 244, ki skoraj sovpada s profilom jezua.

Podslapje se utrdi s skalometno oblogo ustreznih dimenzij.

1.1.3 Osnovne predpostavke stabilitetne analize

V statični analizi smo predvideli naslednje obtežne primere:

OBTEŽNI PRIMER 1

- hidrostatični pritisk vode na gorvodni strani pri maksimalno dvignjeni zapornici oz. do višine fiksnega prelivnega polja
- hidrostatični pritisk na dolvodni strani
- vzgon z zveznim potekom med zgornjim in spodnjim delom jezua
- obtežba gorvodne zemljine
- pasivni zemeljski pritisk zemljine na zob jezua v skalni podlagi

OBTEŽNI PRIMER 2

- hidrostatični pritisk vode na gorvodni strani pri gladini vode $Q_{500}+1,0\text{m}$, ter hidrostatični pritisk na dolvodni strani pri gladini vode Q_{100}
- vzgon, ki je enak teži izpodrinjene tekočine
- obtežba gorvodne zemljine
- pasivni zemeljski pritisk zemljine na zob jezua v skalni podlagi

Preverili smo dva karakteristična prereza in sicer prerez preko fiksnega prelivnega polja ter prerez z gibljivim delom - zapornico.



1.2 OBTEŽBE IN OBREMENITVE

Za statični izračun uporabimo projektni pristop 2 in varnostne faktorje iz EC7 za globalno stabilnost (EQU) :

- Projektni pristop 2 :

Kombinacija : A1 + M1 + R2		
A1	M1	R2
$\gamma_{G;dst} = 1,35$	$\gamma_{\varphi} = 1,00$	$\gamma_v = 1,40$
$\gamma_{G;stb} = 1,00$	$\gamma_{c'} = 1,00$	$\gamma_h = 1,10$
$\gamma_{Q;dst} = 1,50$	$\gamma_{cu} = 1,00$	
	$\gamma_{qu} = 1,00$	
	$\gamma_{\gamma} = 1,00$	

- Varnostni faktorji iz EC7 za globalno stabilnost EQU :

VRSTA OBTEŽBE		DELNI KOLICNIKI	EQU	STR
STALNA G	Neugodno delovanje	γ_G	1,10	1,35
	Ugodno delovanje	$\gamma_{G, fav}$	0,90	1,00
SPREMENLJIVA Q	Neugodno delovanje	γ_Q	1,50	1,50
	Ugodno delovanje	$\gamma_{Q, fav}$	0,00	0,00

1.2.1 Stalni vplivi na konstrukcijo – lastna teža

- Prerez z zapornico

$$G_{LT1} = \gamma_b \times A_1 = 25,00 \frac{kN}{m^3} \times 20,79 m^2 = 519,75 \frac{kN}{m}$$

- Prerez s fiksnim prelivnim poljem

$$G_{LT2} = \gamma_b \times A_2 = 25,00 \frac{kN}{m^3} \times 29,04 m^2 = 726,00 \frac{kN}{m}$$

1.2.2 Vplivi zemljine

Zasipna ploskev na gorvodni strani jezua je pusti beton s sledečimi karakteristikami:

- prostorninska teža $\gamma_z = 25 \text{ kN/m}^3$
- strižni kot $\varphi = 37^\circ$
- kohezija $c = 0 \text{ kPa}$

Temeljna ploskev z gorvodnim zobom sega v sloj preperelega apnenca s polami skrilavca s sledečimi karakteristikami:

- prostorninska teža $\gamma_z = 26 \text{ kN/m}^3$
- strižni kot $\varphi = 36^\circ$
- kohezija $c = 54 \text{ kPa}$

Projektne vrednosti strižnega kota in trenja med zaledno zemljino in zidom :

$$\varphi_d = \arctan \frac{\tan \varphi'}{\gamma_\varphi} = \arctan \frac{\tan 37^\circ}{1,00} = 37^\circ$$

$$\delta_{a,d} = \frac{2}{3} \varphi_d = 24,67^\circ$$

V primeru pasivnega pritiska upoštevamo :

$$\delta_{a,d} = 0$$

Mirni zemeljski pritisk ob upoštevanju nivoja podtalne vode:

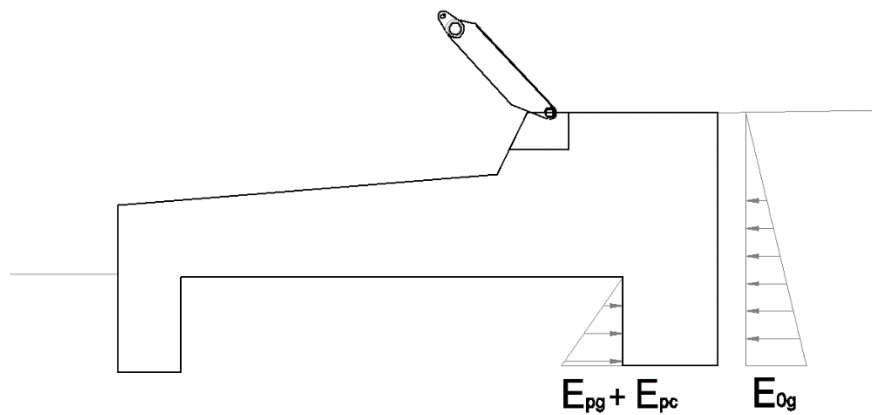
- Prerez z zapornico

$$E_{0g} = \frac{h^2}{2} (\gamma_z - \gamma_w) K_{0g} = \frac{(4,0 \text{ m})^2}{2} 15,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} 0,398 = 47,76 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$K_{0g} = 1 - \sin\varphi = 0,398 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$E_{0gh} = E_{0g} \cos(\delta_{a,d}) = 43,40 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$E_{0gv} = E_{0g} \sin(\delta_{a,d}) = 19,93 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$



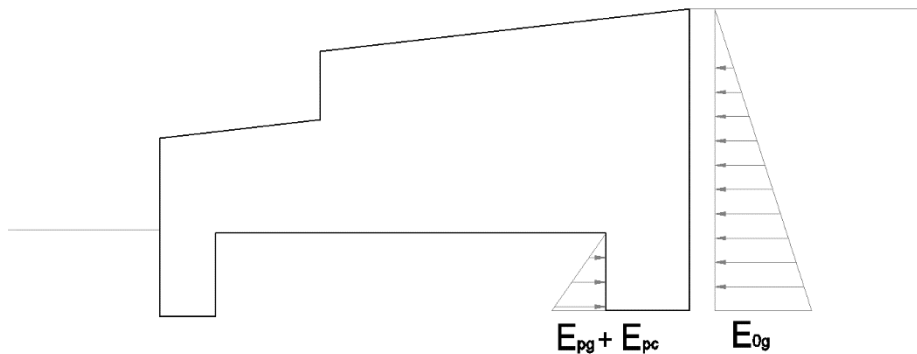
- Prerez s fiksnim prelivnim poljem

$$E_{0g} = \frac{h^2}{2} (\gamma_z - \gamma_w) K_{0g} = \frac{(5,4 \text{ m})^2}{2} 15,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} 0,398 = 87,04 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$K_{0g} = 1 - \sin\varphi = 0,398 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$E_{0gh} = E_{0g} \cos(\delta_{a,d}) = 79,098 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$E_{0gv} = E_{0g} \sin(\delta_{a,d}) = 36,33 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$



Pasivni pritisk temeljne zemljine (zob)

Koeficient pasivnega zemeljskega pritiska:

$$K_{phg} = \frac{\cos^2(\varphi - \alpha)}{\cos^2 \alpha \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\varphi - \delta_{a,p}) \sin(\varphi + \beta)}{\cos(\alpha - \delta_{a,p}) \cos(\alpha + \beta)}} \right]^2}$$

Pasivni zemeljski pritisk :

$$K_{phg} = 3,852$$

Horizontalna oz. vertikalna komponenta pasivnega zemeljskega pritiska :

$$E_{pgh} = \frac{h^2}{2} \gamma K_{phg} = \frac{(1,4m)^2}{2} \times 26,0 \frac{kN}{m^3} \times 3,852 = 98,15 \frac{kN}{m}$$

$$E_{pgv} = E_{pgh} \tan(\delta_{a,p} - \alpha) = 98,15 \frac{kN}{m} \times \tan(0^\circ) = 0,0 \frac{kN}{m}$$

Pasivni pritisk upoštevam samo pri enem zobu jezcu, čeprav deluje na oba zoba. S tem smo na varni strani, saj nam pasivni pritisk deluje ugodno.

Prispevek zaradi kohezije temeljne zemljine na zob

$$E_{pch} = \pm h c K_{pch} = 1,40m \times 54 kPa \times 3,925 = 296,73 \frac{kN}{m}$$

$$E_{pcv} = E_{pch} \tan(\delta_{a,p} - \alpha) = 296,73 \frac{kN}{m} \times 0 = 0,0 \frac{kN}{m}$$

Upoštevano trenje med zemljino in zidom :

$$\delta_{a,d} = 0$$

Koeficient pasivnega zemeljskega pritiska :

$$K_{pch} = \frac{2 \cos\varphi \cos\beta(1 - \tan\alpha \tan\beta)\cos(\alpha - \delta_{a,p})}{1 - \sin(\varphi - \delta_{a,p} + \alpha + \beta)}$$

$$K_{pch} = 3,925$$

1.2.3 Vplivi vode

1.2.3.1 Hidrostaticni pritisk

- Prerez z zapornico (dvignjena)

OBTEŽNI PRIMER 1

Na gorvodni strani : upoštevana gladina zgornje vode do višine dvignjene zapornice

$$p_{w1} = \rho_w \times g \times z_1 = 1000 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times 1,40 m = 13734 \frac{N}{m} = 13,73 \frac{kN}{m^2}$$

$$P_{w1} = 13,73 \frac{kN}{m^2} \times \frac{1,40m}{2} = 9,61 \frac{kN}{m}$$

$$P_{w1v} = p_{w1} \times l_1 = 13,73 \frac{kN}{m^2} \times 3,00 m = 41,19 \frac{kN}{m}$$

$$p_{w2zg} = \rho_w \times g \times z_1 = 1000 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times 1,40 m = 13734 \frac{N}{m} = 13,73 \frac{kN}{m^2}$$

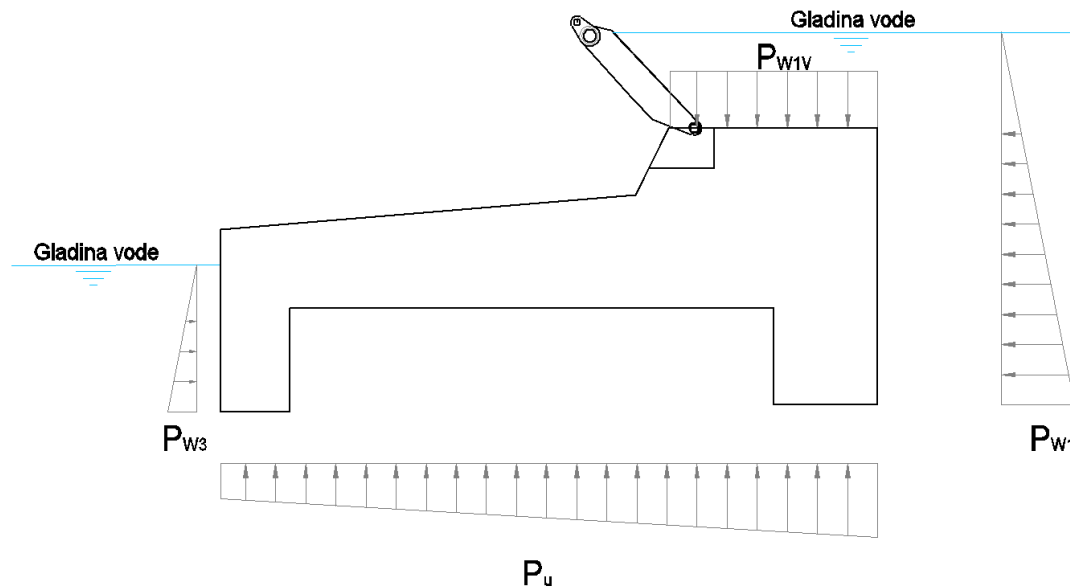
$$p_{w2sp} = \rho_w \times g \times z_2 = 1000 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times 5,40 m = 52974 \frac{N}{m} = 52,97 \frac{kN}{m^2}$$

$$P_{w2} = \left(\frac{p_{w2zg} + p_{w2sp}}{2} \right) \times (z_2 - z_1) = 64,75 \frac{kN}{m} \times 4,00 m = 133,41 \frac{kN}{m}$$

Na dolvodni strani : upoštevana gladina spodnje vode

$$p_{w3} = \rho_w \times g \times z_1 = 1000 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times 2,10 m = 20601 \frac{N}{m} = 20,60 \frac{kN}{m^2}$$

$$P_{w3} = 20,60 \frac{kN}{m} \times \frac{2,10 m}{2} = 21,63 \frac{kN}{m}$$



OBTEŽNI PRIMER 2

Na gorvodni strani : upoštevana gladina vode $Q_{500} + 1,0m$

$$p_{w1zg} = \rho_w \times g \times z_1 = 1000 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times 4,60 m = 45126 \frac{N}{m} = 45,13 \frac{kN}{m^2}$$

$$p_{w1sp} = \rho_w \times g \times z_2 = 1000 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times 8,60 m = 84366 \frac{N}{m} = 84,37 \frac{kN}{m^2}$$

$$P_{w1} = \left(\frac{p_{w1zg} + p_{w1sp}}{2} \right) \times (z_2 - z_1) = 64,75 \frac{kN}{m} \times 4,00 m = 259,00 \frac{kN}{m}$$

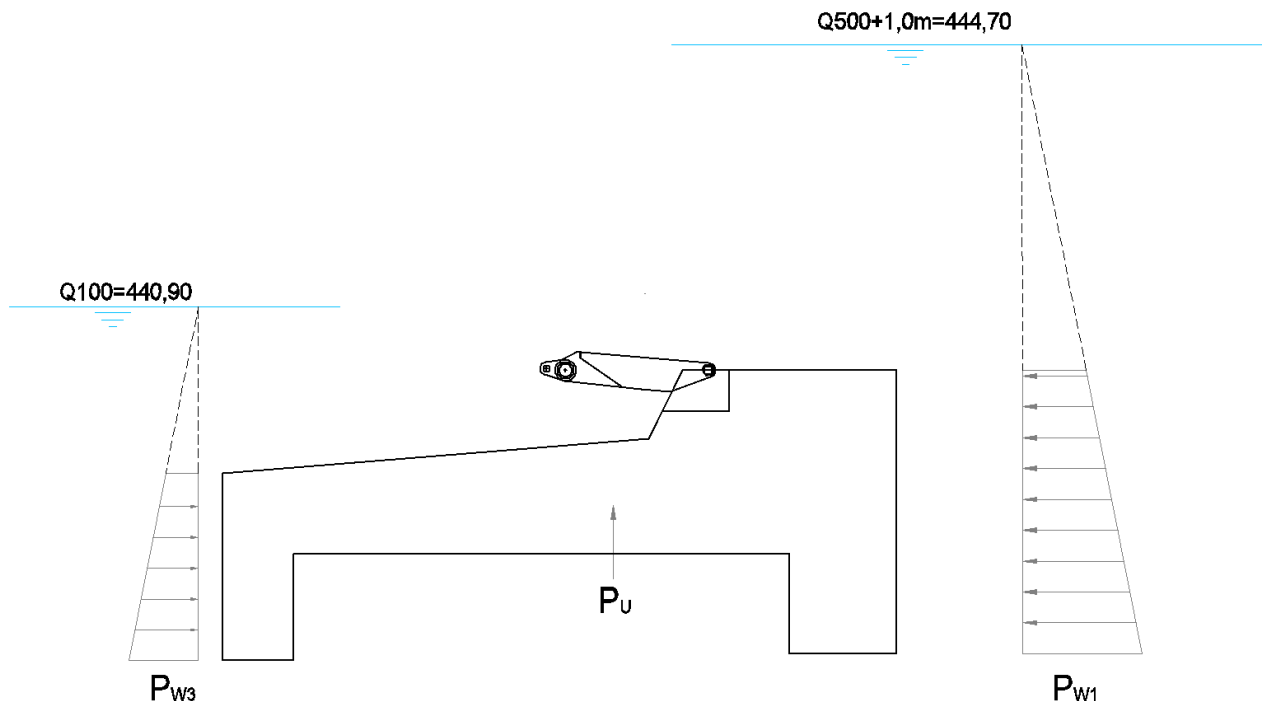
Na dolvodni strani : upoštevana gladina vode Q_{100}

$$p_{w3zg} = \rho_w \times g \times z_1 = 1000 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times 2,35 m = 23053,5 \frac{N}{m} = 23,05 \frac{kN}{m^2}$$

$$p_{w3sp} = \rho_w \times g \times z_2 = 1000 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times 5,00 m = 49050 \frac{N}{m} = 49,05 \frac{kN}{m^2}$$

$$P_{w3} = \left(\frac{p_{w3zg} + p_{w3sp}}{2} \right) \times (z_2 - z_1) = 36,05 \frac{kN}{m} \times 2,65 m = 95,53 \frac{kN}{m}$$

Na dolvodni strani upoštevamo gladino vode Q_{100} . Ob upoštevanju gladine Q_{500} bi hidrostatski pritisk deloval še ugodneje, s tem smo na varni strani.



- Prerez s fiksnim prelivnim poljem

OBTEŽNI PRIMER 1

Na gorvodni strani : upoštevana gladina vode zgornje vode do višine jezua

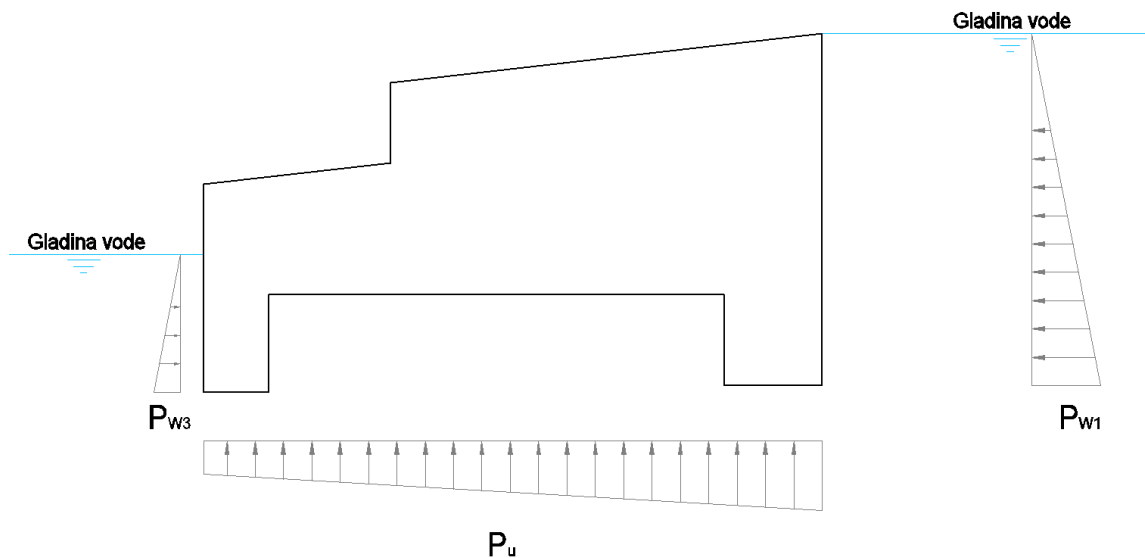
$$p_{w1} = \rho_w \times g \times z_1 = 1000 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times 5,40 m = 52974 \frac{N}{m} = 52,97 \frac{kN}{m^2}$$

$$P_{w1} = 52,97 \frac{kN}{m} \times \frac{5,40m}{2} = 143,03 \frac{kN}{m}$$

Na dolvodni strani : upoštevana gladina spodnje vode

$$p_{w3} = \rho_w \times g \times z_1 = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 2,10 \text{ m} = 20601 \frac{\text{N}}{\text{m}} = 20,60 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$P_{w3} = 20,60 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \times \frac{2,10\text{m}}{2} = 21,63 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$



OBTEŽNI PRIMER 2

Na gorvodni strani : upoštevana gladina vode $Q_{500} + 1,0\text{m}$

$$p_{w1zg} = \rho_w \times g \times z_1 = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 3,18 \text{ m} = 31195,80 \frac{\text{N}}{\text{m}} = 31,19 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$p_{w1sp} = \rho_w \times g \times z_2 = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 8,60\text{m} = 84366 \frac{\text{N}}{\text{m}} = 84,37 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

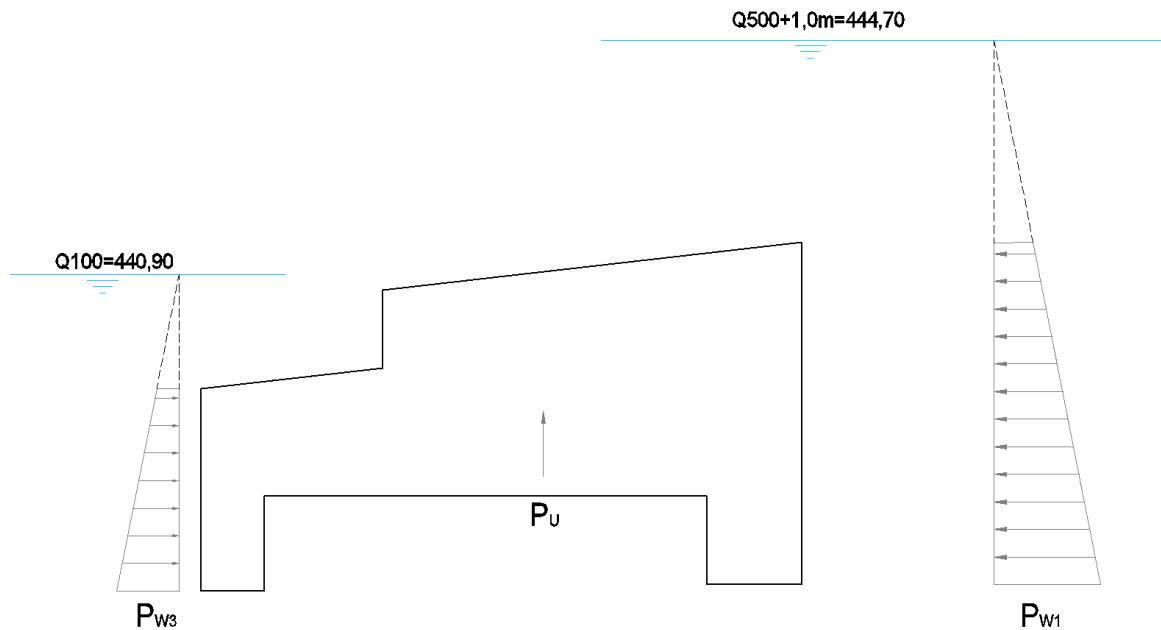
$$P_{w1} = \left(\frac{p_{w1} + p_{w2}}{2} \right) \times (z_2 - z_1) = 57,78 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \times 5,40\text{m} = 312,01 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Na dolvodni strani : upoštevana gladina vode Q_{100}

$$p_{w3zg} = \rho_w \times g \times z_1 = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 1,80 \text{ m} = 17658 \frac{\text{N}}{\text{m}} = 17,66 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

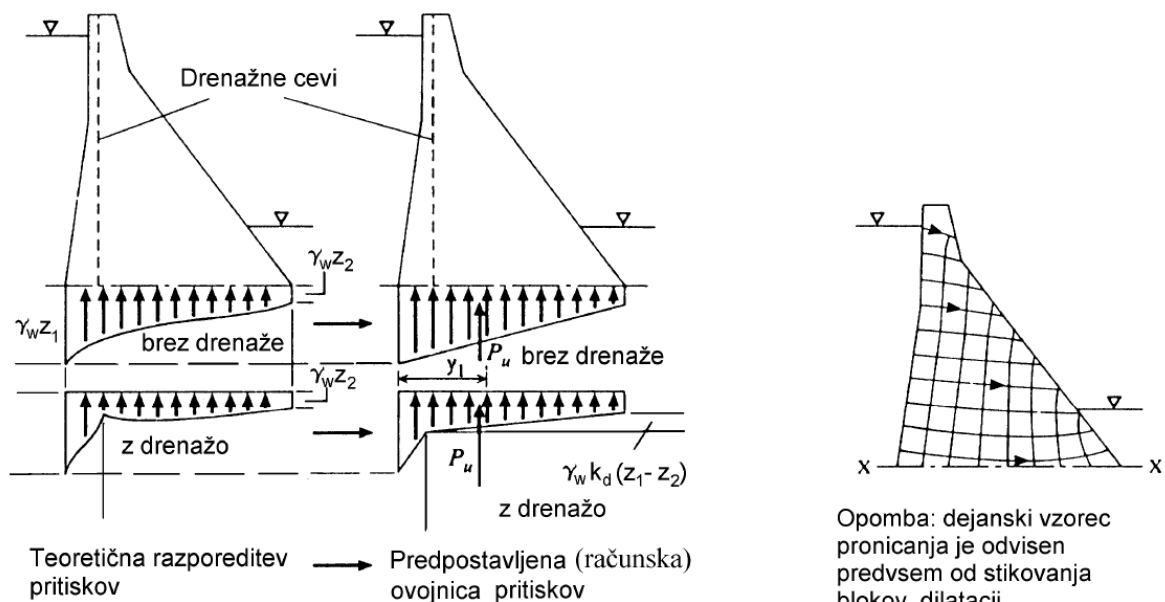
$$p_{w3sp} = \rho_w \times g \times z_2 = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 5,00\text{m} = 49050 \frac{\text{N}}{\text{m}} = 49,05 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$P_{w3} = \left(\frac{p_{w3zg} + p_{w3sp}}{2} \right) \times (z_2 - z_1) = 33,36 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \times 3,20\text{m} = 106,74 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$



1.2.3.2 Sile zaradi pronicanja in vzgona

Intersticijski vodni pritisk u_w se razvije v betonski pregradi ter njenih temeljih zaradi penetracije vode vzdolž diskontinuet (npr. stikov, razpok ipd.), ter tudi zaradi pronicanja v pore kamnin in betona. Ti pritiski so analogni pornim pritiskom pri zemeljskih pregradah. Na slikah vidimo idealizirano mrežo tokovnic pri pronicanju skozi pregrado, teoretično razporeditev vzgonskih pritiskov ter računsko (bilinearno) razporeditev.



Vzgonska sila P_u predstavlja vzgonsko silo intersticijske vode v temelju pregrade ali interno vzgonsko silo v telesu pregrade. Vzgonska sila je premosorazmerna srednjemu intersticijskemu vodnemu pritisku $u_{w sr.}$, ki se nanaša na interno ali zunanjo efektivno horizontalno površino A_h' , ki jo definiramo kot:

$$A_h' = \mu \times A_h$$

Kjer je μ koeficient redukcije površine. Torej velja:

$$P_u = \mu \times A_h \times u_{w sr.}$$

In v primeru, da v pregradi ni vgrajene razbremenilne drenaže znaša vzgonska sila:

- Prerez z zapornico

OBTEŽNI PRIMER 1

$$\begin{aligned} P_u &= \mu \times A_h \times \rho \times g \times \left(\frac{z_2 + z_3}{2} \right) = 1,00 \times 9,50m \times 1000 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times \left(\frac{5,40m + 2,60m}{2} \right) \\ &= 372780 \frac{N}{m} = 372,78 \frac{kN}{m} \end{aligned}$$

Za analitične potrebe običajno privzamemo vrednost $\mu = 1,00$.

OBTEŽNI PRIMER 2

V primeru potopljenega jezua je sila vzgona enaka teži izpodrinjene tekočine.

$$P_{u,max} = A_1 \times \rho \times g = 20,79m^2 \times 1000 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} = 203950 \frac{kN}{m} = 203,95 \frac{kN}{m}$$

- Prerez s fiksnim prelivnim poljem

OBTEŽNI PRIMER 1

$$\begin{aligned} P_u &= \mu \times A_h \times \rho \times g \times \left(\frac{z_2 + z_3}{2} \right) = 1,00 \times 8,52m \times 1000 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times \left(\frac{5,40m + 3,20m}{2} \right) \\ &= 359399 \frac{N}{m} = 359,40 \frac{kN}{m} \end{aligned}$$

Za analitične potrebe običajno privzamemo vrednost $\mu = 1,00$.

OBTEŽNI PRIMER 2

V primeru potopljenega jezua je sila vzgona enaka teži izpodrinjene tekočine.

$$P_{u,max} = A_2 \times \rho \times g = 29,04m^2 \times 1000 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} = 284882 \frac{kN}{m} = 284,88 \frac{kN}{m}$$

1.3 VARNOST NA ZDRS

Izpolnjena mora biti naslednja neenakost :

$$H_d \leq R_d + R_{p,d}$$

Trenje med zemljino in temeljem :

$$\delta_{a,d} = \varphi_d = 36,0^\circ$$

Vsota horizontalnih in vertikalnih projektnih vrednosti sil :

- Prerez z zapornico

OBTEŽNI PRIMER 1

$$\begin{aligned} H_d &= 1,1 E_{ogh} + 1,0 (P_{w1} + P_{w2} - P_{w3}) - 0,9 (E_{pgh} + E_{pch}) \\ &= 1,1 \times 43,40 \frac{kN}{m} + 1,0 \times (9,61 \frac{kN}{m} + 133,41 \frac{kN}{m} - 21,63 \frac{kN}{m}) - 0,9 (98,15 \frac{kN}{m} \\ &\quad + 296,73 \frac{kN}{m}) \times \frac{1}{3} = 50,67 \frac{kN}{m} \end{aligned}$$

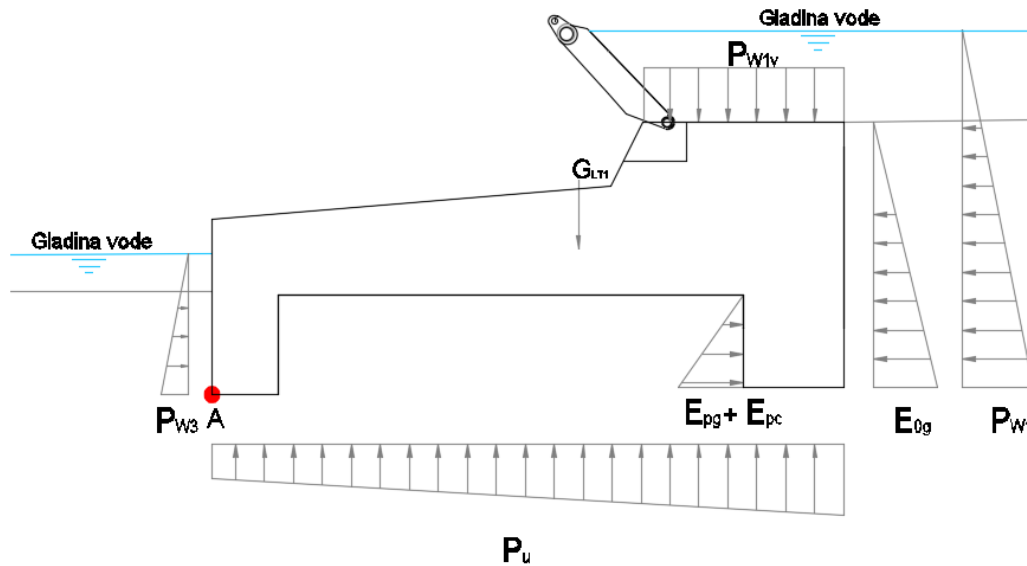
$$\begin{aligned} V_d &= 0,90 G_{LT1} + 1,1 E_{ogv} + 1,0 P_{w1v} - 1,0 P_u + 0,9 (E_{pgv} + E_{pcv}) \\ &= 0,90 \times 519,75 \frac{kN}{m} + 1,1 \times 19,93 \frac{kN}{m} + 1,0 \times 41,19 \frac{kN}{m} - 1,0 \times 372,78 \frac{kN}{m} \\ &\quad + 0,9 (0 \frac{kN}{m} + 0 \frac{kN}{m}) = 158,11 \frac{kN}{m} \end{aligned}$$

Drenirano stanje :

$$R_d = \frac{V_d \times \tan(\delta_{a,p})}{\gamma_h} = \frac{158,11 \frac{kN}{m} \times \tan(36^\circ)}{1,1} = 104,50 \frac{kN}{m}$$

$$50,67 \frac{kN}{m} \leq 104,50 \frac{kN}{m}$$

Pogoj je izpolnjen !



OBTEŽNI PRIMER 2

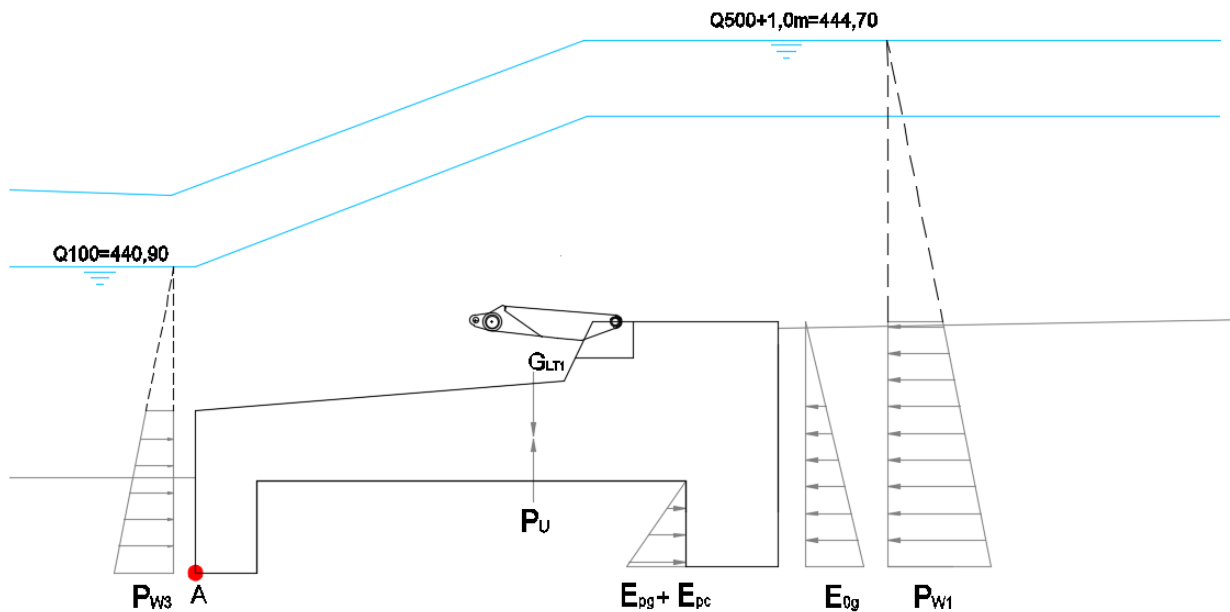
$$\begin{aligned}
 H_d &= 1,1 E_{0gh} + 1,0 (P_{W1} - P_{W3}) - 0,9 (E_{pg} + E_{pc}) \\
 &= 1,1 \times 43,40 \frac{kN}{m} + 1,0 \times (259,00 \frac{kN}{m} - 95,53 \frac{kN}{m}) - 0,9 (98,15 \frac{kN}{m} + 296,73 \frac{kN}{m}) \frac{1}{3} \\
 &= 92,75 \frac{kN}{m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_d &= 0,90 G_{LT1} + 1,1 E_{0gv} - 1,0 P_u + 0,9 (E_{pgv} + E_{pcv}) \\
 &= 0,90 \times 519,75 \frac{kN}{m} + 1,1 \times 19,93 \frac{kN}{m} - 1,0 \times 203,95 \frac{kN}{m} + 0,9 (0 \frac{kN}{m} + 0 \frac{kN}{m}) \\
 &= 285,75 \frac{kN}{m}
 \end{aligned}$$

Drenirano stanje :

$$\begin{aligned}
 R_d &= \frac{V_d \times \tan(\delta_{a,p})}{\gamma_h} = \frac{158,11 \frac{kN}{m} \times \tan(36^\circ)}{1,1} = 188,86 \frac{kN}{m} \\
 92,75 \frac{kN}{m} &\leq 188,86 \frac{kN}{m}
 \end{aligned}$$

Pogoj je izpolnjen !



- Prerez s fiksnim prelivnim poljem

OBTEŽNI PRIMER 1

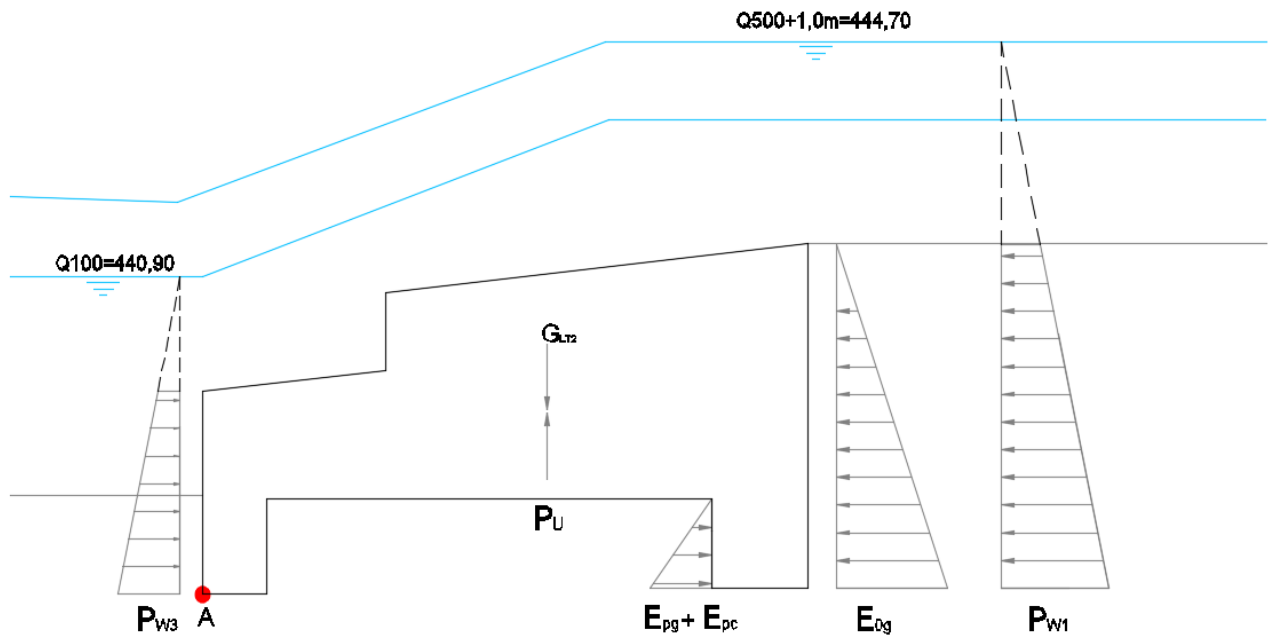
$$\begin{aligned}
 H_d &= 1,1 E_{ogh} + 1,0 (P_{w1} - P_{w3}) - 0,9 (E_{pgh} + E_{pch}) \\
 &= 1,1 \times 79,098 \frac{kN}{m} + 1,0 \times (143,03 \frac{kN}{m} - 21,63 \frac{kN}{m}) - 0,9 (98,15 \frac{kN}{m} + 296,73 \frac{kN}{m}) \\
 &\times \frac{1}{3} = 89,94 \frac{kN}{m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_d &= 0,90 G_{LT2} + 1,1 E_{ogv} - 1,0 P_u + 0,9 (E_{pgv} + E_{pcv}) \\
 &= 0,90 \times 726,00 \frac{kN}{m} + 1,1 \times 36,33 \frac{kN}{m} - 1,0 \times 359,40 \frac{kN}{m} + 0,9 (0 \frac{kN}{m} + 0 \frac{kN}{m}) \\
 &= 333,96 \frac{kN}{m}
 \end{aligned}$$

Drenirano stanje :

$$\begin{aligned}
 R_d &= \frac{V_d \times \tan(\delta_{a,p})}{\gamma_h} = \frac{333,96 \frac{kN}{m} \times \tan(36^\circ)}{1,1} = 220,72 \frac{kN}{m} \\
 89,94 \frac{kN}{m} &\leq 220,72 \frac{kN}{m}
 \end{aligned}$$

Pogoj je izpolnjen !



OBTEŽNI PRIMER 2

$$\begin{aligned}
 H_d &= 1,1 E_{ogh} + 1,0(P_{w1} - P_{w3}) - 0,9(E_{pgh} + E_{pch}) \\
 &= 1,1 \times 79,098 \frac{kN}{m} + 1,0(312,01 \frac{kN}{m} - 106,74 \frac{kN}{m}) - 0,9(98,15 \frac{kN}{m} + 296,73 \frac{kN}{m}) \frac{1}{3} \\
 &= 173,81 \frac{kN}{m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_d &= 0,90 P_{LT2} + 1,1 E_{ogv} - 1,0 P_u + 0,9(E_{pgv} + E_{pcv}) \\
 &= 0,90 \times 726,00 \frac{kN}{m} + 1,1 \times 36,33 \frac{kN}{m} - 1,0 \times 284,88 \frac{kN}{m} + 0,9(0 \frac{kN}{m} + 0 \frac{kN}{m}) \\
 &= 408,48 \frac{kN}{m}
 \end{aligned}$$

Drenirano stanje :

$$\begin{aligned}
 R_d &= \frac{V_d \times \tan(\delta_{a,p})}{\gamma_h} = \frac{408,48 \frac{kN}{m} \times \tan(36^\circ)}{1,1} = 269,97 \frac{kN}{m} \\
 173,81 \frac{kN}{m} &\leq 269,97 \frac{kN}{m}
 \end{aligned}$$

Pogoj je izpolnjen !

1.4 VARNOST NA PREVRNITEV

Izpolnjena mora biti naslednja neenakost :

$$M_P \leq M_d$$

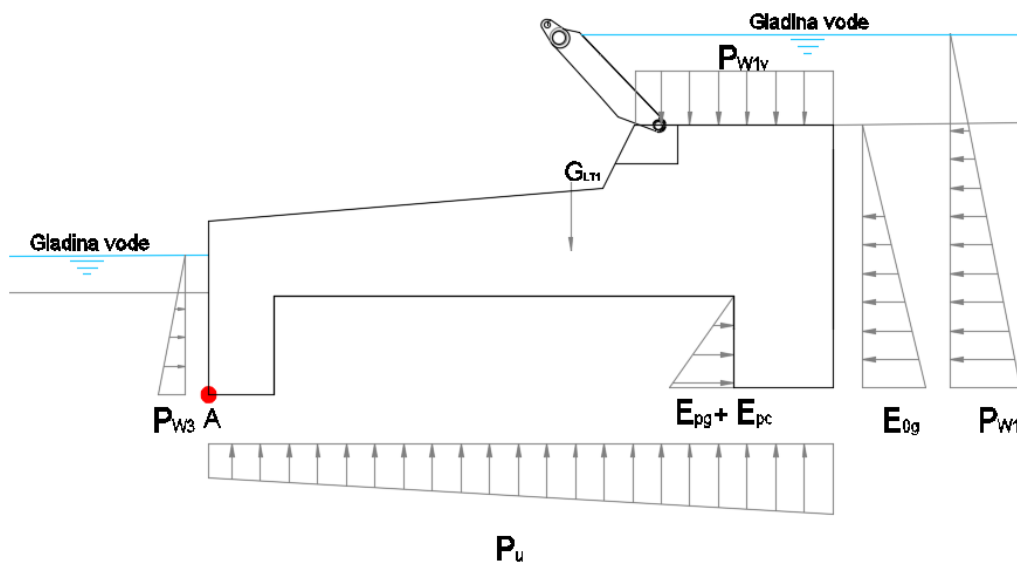
1.4.1 Moment odpora M_d

- Prerez z zapornico

KOMBINACIJA 1

$$M_d = 0,90 \times G_{LT1} \times r_{LT1} + 0,90 \times E_{0gv} \times r_{0gv} + 1,0 \times P_{w1v} \times r_{w1v} - 1,0 \times P_u \times r_u$$

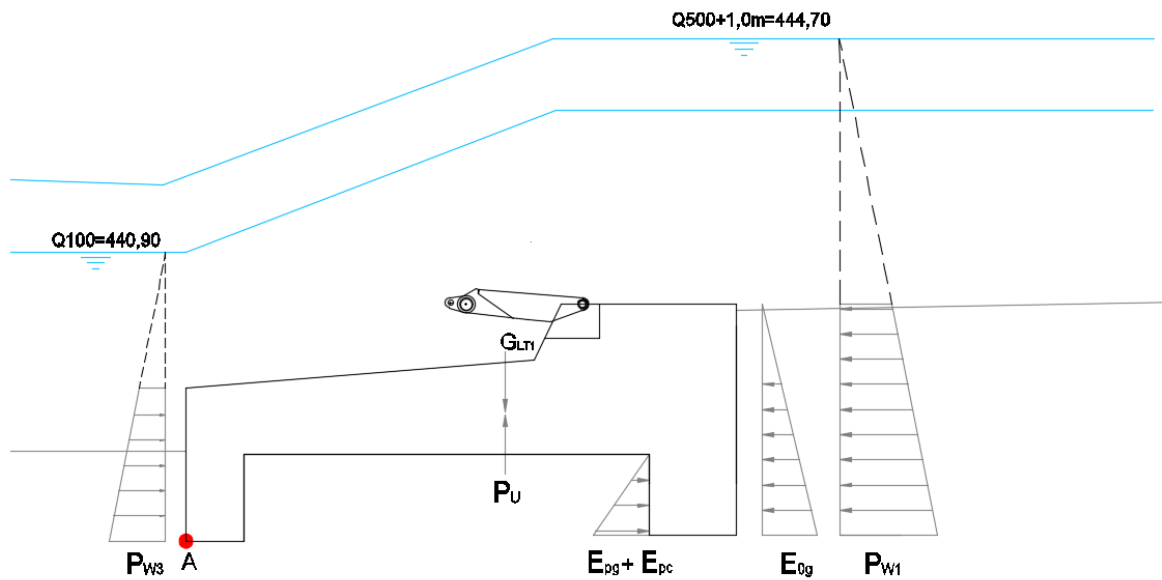
$$M_d = 0,90 \times 519,75 \frac{kN}{m} \times 5,52 m + 0,90 \times 19,93 \frac{kN}{m} \times 9,50 m + 1,0 \times 41,19 \frac{kN}{m} \times 8,00 m - 1,0 \times 372,78 \frac{kN}{m} \times 5,30 m = 1106,31 \frac{kNm}{m}$$



KOMBINACIJA 2

$$M_d = 0,90 \times G_{LT1} \times r_{LT1} + 0,90 \times E_{0gv} \times r_{0gv} - 1,0 \times P_u \times r_u$$

$$M_d = 0,90 \times 519,75 \frac{kN}{m} \times 5,52 m + 0,90 \times 19,93 \frac{kN}{m} \times 9,50 m - 1,0 \times 203,95 \frac{kN}{m} \times 5,52 m = 1626,72 \frac{kNm}{m}$$



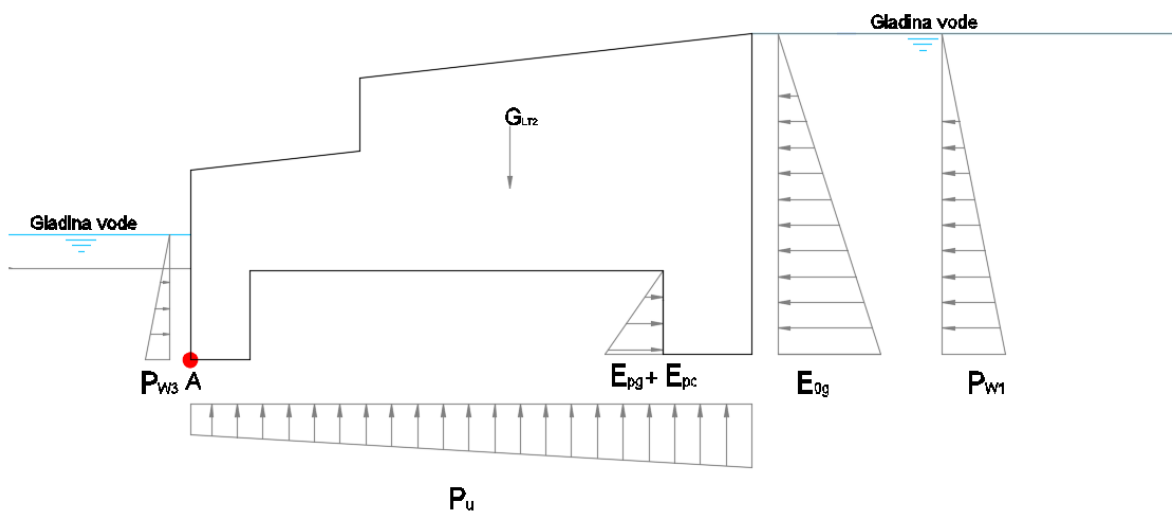
- Prerez s fiksnim prelivnim poljem

KOMBINACIJA 1

$$M_d = 0,90 \times G_{LT2} \times r_{LT2} + 0,90 \times E_{0gv} \times r_{0gv} - 1,0 \times P_u \times r_u$$

$$M_d = 0,90 \times 726,00 \frac{kN}{m} \times 4,87 m + 0,90 \times 36,33 \frac{kN}{m} \times 8,52 m - 1,0 \times 359,40 \frac{kN}{m} \times 4,62 m$$

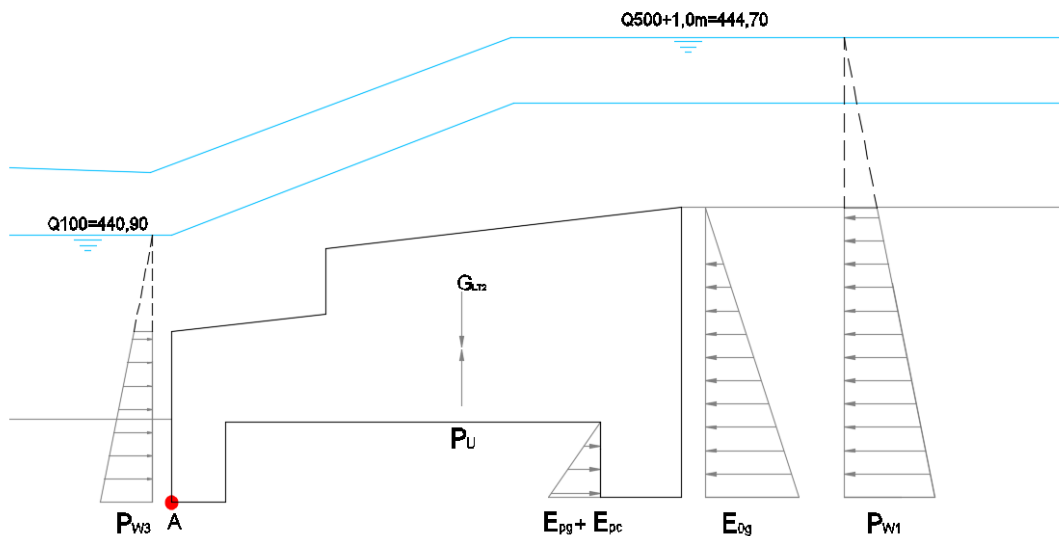
$$= 1800,21 \frac{kNm}{m}$$



KOMBINACIJA 2

$$M_d = 0,90 \times G_{LT2} \times r_{LT2} + 0,90 \times E_{ogv} \times r_{ogv} - 1,0 \times P_u \times r_u$$

$$\begin{aligned} M_d &= 0,90 \times 726,00 \frac{kN}{m} \times 4,87 m + 0,90 \times 36,33 \frac{kN}{m} \times 8,52 m - 1,0 \times 284,88 \frac{kN}{m} \times 4,87 \\ &= 2073,27 \frac{kNm}{m} \end{aligned}$$



1.4.2 Moment prevrnitve M_p

- Prerez z zapornico

KOMBINACIJA 1

$$M_p = 1,10 \times E_{ogh} \times r_{ogh} - 0,90 \times E_{pgh} \times r_{pgh} - 0,90 \times E_{pch} \times r_{pch} + 1,0 \times P_{w1} \times r_{w1} + 1,0 \times P_{w2} \times r_{w2} - 0,90 \times P_{w3} \times r_{w3}$$

$$\begin{aligned} M_p &= 1,10 \times 43,40 \frac{kN}{m} \times 1,43 m - 0,90 \times 98,15 \frac{kN}{m} \times 0,57 m - 0,90 \times 296,73 \frac{kN}{m} \times 0,57 m + 1,0 \\ &\quad \times 9,61 \frac{kN}{m} \times 4,57 m + 1,00 \times 133,41 \frac{kN}{m} \times 1,71 m - 0,90 \times 21,63 \frac{kN}{m} \times 0,70 m \\ &= 124,12 \frac{kNm}{m} \end{aligned}$$

KOMBINACIJA 2

$$M_p = 1,10 \times E_{ogh} \times r_{ogh} - 0,90 \times E_{pgh} \times r_{pgh} - 0,90 \times E_{pch} \times r_{pch} + 1,0 \times P_{w1} \times r_{w1} - 0,90 \times P_{w3} \times r_{w3}$$

$$\begin{aligned} M_p &= 1,10 \times 43,40 \frac{kN}{m} \times 1,43 m - 0,90 \times 98,15 \frac{kN}{m} \times 0,57 m - 0,90 \times 296,73 \frac{kN}{m} \times 0,57 m + 1,0 \\ &\quad \times 53,56 \frac{kN}{m} \times 4,76 m + 1,00 \times 259,00 \frac{kN}{m} \times 1,90 m - 0,90 \times 95,53 \frac{kN}{m} \times 1,27 m \\ &= 248,60 \frac{kNm}{m} \end{aligned}$$

- Prerez s fiksnim prelivnim poljem

KOMBINACIJA 1

$$M_p = 1,10 \times E_{ogh} \times r_{ogh} - 0,90 \times E_{pgh} \times r_{pgh} - 0,90 \times E_{pch} \times r_{pch} + 1,0 \times P_{w1} \times r_{w1} - 0,90 \times P_{w3} \times r_{w3}$$

$$\begin{aligned} M_p &= 1,10 \times 79,098 \frac{kN}{m} \times 1,90 m - 0,90 \times 98,15 \frac{kN}{m} \times 0,57 m - 0,90 \times 296,73 \frac{kN}{m} \times 0,57 m + 1,0 \\ &\quad \times 143,03 \frac{kN}{m} \times 1,90 m - 0,90 \times 21,63 \frac{kN}{m} \times 0,70 m = 220,87 \frac{kNm}{m} \end{aligned}$$

KOMBINACIJA 2

$$M_p = 1,10 \times E_{ogh} \times r_{ogh} - 0,90 \times E_{pgh} \times r_{pgh} - 0,90 \times E_{pch} \times r_{pch} + 1,0 \times P_{w1} \times r_{w1} - 0,90 \times P_{w3} \times r_{w3}$$

$$\begin{aligned} M_p &= 1,10 \times 79,098 \frac{kN}{m} \times 1,90 m - 0,90 \times 98,15 \frac{kN}{m} \times 0,57 m - 0,90 \times 296,73 \frac{kN}{m} \times 0,57 m + 1,0 \\ &\quad \times 312,01 \frac{kN}{m} \times 2,39 m - 0,90 \times 106,74 \frac{kN}{m} \times 1,45 m = 569,15 \frac{kNm}{m} \end{aligned}$$

Vsi pogoji so izpolnjeni !

1.5 LEGA IN NAKLON REZULTANTE

- Prerez z zapornico

OBTEŽNI PRIMER 1

$$\sum M^A = 0,90 \times P_{LT1} \times r_{LT1} + 0,90 \times E_{0gv} \times r_{0gv} + 1,0 \times P_{w1v} \times r_{w1v} - 1,0 \times P_u \times r_u - 1,10 \times E_{0gh} \times r_{0gh} + 0,90 \times E_{pgh} \times r_{pgh} + 0,90 \times E_{pch} \times r_{pch} - 1,0 \times P_{w1} \times r_{w1} - 1,0 \times P_{w2} \times r_{w2} + 0,90 \times P_{w3} \times r_{w3}$$

$$\begin{aligned} \sum M^A &= 0,90 \times 519,75 \frac{kN}{m} \times 5,52m + 0,90 \times 19,93 \frac{kN}{m} \times 9,50m + 1,0 \times 41,19 \frac{kN}{m} \times 8,00m - 1,0 \\ &\times 372,78 \frac{kN}{m} \times 5,30m - 1,10 \times 43,40 \frac{kN}{m} \times 1,43m + 0,90 \times 98,15 \frac{kN}{m} \times 0,57m \\ &+ 0,90 \times 296,73 \frac{kN}{m} \times 0,57m - 1,0 \times 9,61 \frac{kN}{m} \times 4,57m - 1,0 \times 133,41 \frac{kN}{m} \times 1,71m \\ &+ 0,90 \times 21,63 \frac{kN}{m} \times 0,70m = 982,19 \frac{kNm}{m} \end{aligned}$$

$$X_R = \frac{\sum M^A}{V_d} = \frac{982,19}{158,11} = 6,21m$$

$$e = \frac{b}{2} - X_R = \frac{9,50m}{2} - 6,21m = -1,46m \quad (\text{desno od prereza})$$

$$j = \frac{b}{6} = 1,58m \quad (\text{jedro prereza})$$

$$\tan \theta = \frac{H_d}{V_d} = \frac{50,67}{158,11} \rightarrow \theta = 17,77^\circ$$

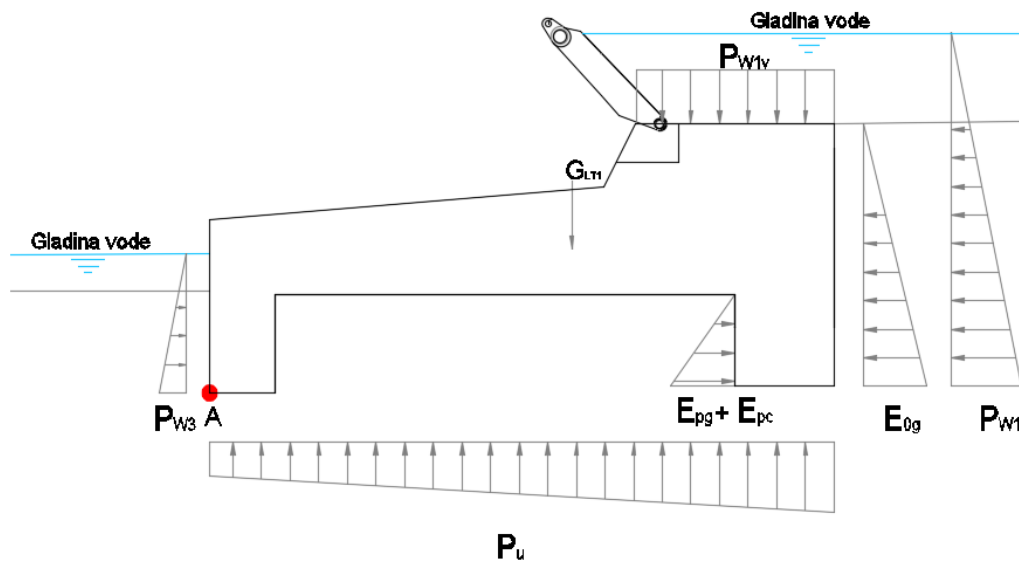
$$\text{Efektivna širina: } b' = b - 2|e| = 9,50m - 2 \times 1,46m = 6,58m$$

$$\text{Efektivna površina: } A' = 1,0 \times b' = 1,0 \times 6,58 = 6,58m^2$$

$$\sigma_{L,D} = \frac{\sum V_d}{b \times 1,0} \pm \frac{6 \times \sum V_d \times e}{b^2 \times 1,0} = \frac{158,11}{9,5} \pm \frac{6 \times 158,11 \times (-1,46)}{9,50^2} = 16,64 \pm (-15,35)$$

$$\sigma_L = 1,29 \text{ kPa}$$

$$\sigma_D = 31,99 \text{ kPa}$$



OBTEŽNI PRIMER 2

$$\sum M^A = 0,90 \times G_{LT1} \times r_{LT1} + 0,90 \times E_{0gv} \times r_{0gv} - 1,0 \times P_u \times r_u - 1,10 \times E_{0gh} \times r_{0gh} + 0,90 \times E_{pgh} \times r_{pgh} + 0,90 \times E_{pch} \times r_{pch} - 1,0 \times P_{w1} \times r_{w1} - 1,0 \times P_{w2} \times r_{w2} + 0,90 \times P_{w3} \times r_{w3}$$

$$\begin{aligned} \sum M^A &= 0,90 \times 519,75 \frac{kN}{m} \times 5,52m + 0,90 \times 19,93 \frac{kN}{m} \times 9,50m - 1,0 \times 203,95 \frac{kN}{m} \times 5,52m \\ &\quad - 1,10 \times 43,40 \frac{kN}{m} \times 1,43m + 0,90 \times 98,15 \frac{kN}{m} \times 0,57m + 0,90 \times 296,73 \frac{kN}{m} \\ &\quad \times 0,57m - 1,0 \times 53,56 \frac{kN}{m} \times 4,76m - 1,0 \times 259,00 \frac{kN}{m} \times 1,90m + 0,90 \times 95,53 \frac{kN}{m} \\ &\quad \times 1,27m = 1123,17 \frac{kNm}{m} \end{aligned}$$

$$X_R = \frac{\sum M^A}{V_d} = \frac{1123,17}{285,75} = 3,93m$$

$$e = \frac{b}{2} - X_R = \frac{9,50m}{2} - 3,93m = 0,82m \quad (\text{levo od prereza})$$

$$j = \frac{b}{6} = 1,58m \quad (\text{jedro prereza})$$

$$\tan \theta = \frac{H_d}{V_d} = \frac{146,31}{285,75} \rightarrow \theta = 27,11^\circ$$

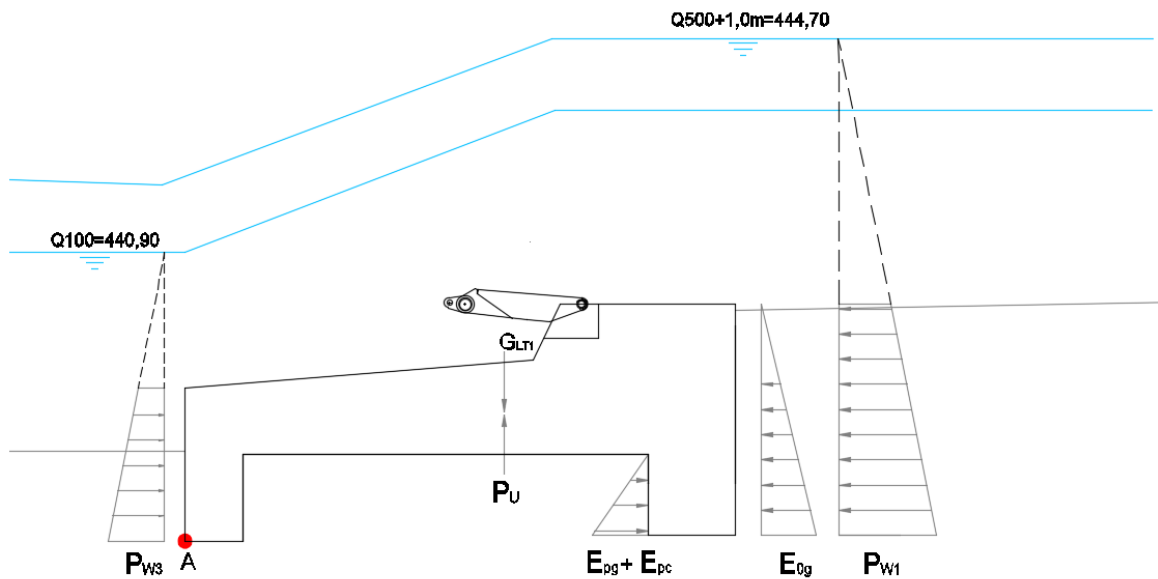
Efektivna širina: $b' = b - 2|e| = 9,50\text{m} - 2 \times 0,82\text{m} = 7,86\text{m}$

Efektivna površina: $A' = 1,0 \times b' = 1,0 \times 7,86 = 7,86\text{m}^2$

$$\sigma_{L,D} = \frac{\sum V_d}{b \times 1,0} \pm \frac{6 \times \sum V_d \times e}{b^2 \times 1,0} = \frac{285,75}{9,50} \pm \frac{6 \times 285,75 \times (0,82)}{9,50^2} = 30,08 \pm (15,58)$$

$$\sigma_L = 45,66 \text{ kPa}$$

$$\sigma_D = 14,50 \text{ kPa}$$



- Prerez s fiksnim prelivnim poljem

OBTEŽNI PRIMER 1

$$\sum M^A = 0,90 \times G_{LT2} \times r_{LT2} + 0,90 \times E_{0gv} \times r_{0gv} - 1,0 \times P_u \times r_u - 1,10 \times E_{0gh} \times r_{0gh} + 0,90 \times E_{pgh} \times r_{pgh} + 0,90 \times E_{pch} \times r_{pch} - 1,0 \times P_{w1} \times r_{w1} + 0,90 \times P_{w3} \times r_{w3}$$

$$\sum M^A = 0,90 \times 726,00 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \times 4,87 \text{ m} + 0,90 \times 36,33 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \times 8,52 \text{ m} - 1,0 \times 359,40 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \times 4,62 \text{ m} - 1,10 \times 79,098 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \times 1,90 \text{ m} + 0,90 \times 98,15 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \times 0,57 \text{ m} + 0,90 \times 296,73 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \times 0,57 \text{ m} - 1,0 \times 143,03 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \times 1,90 \text{ m} + 0,90 \times 21,63 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \times 0,70 \text{ m} = 1579,34 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$X_R = \frac{\sum M^A}{V_d} = \frac{1579,34}{333,96} = 4,73 \text{ m}$$

$$e = \frac{b}{2} - X_R = \frac{8,52\text{m}}{2} - 4,73\text{m} = -0,47\text{m} \quad (\text{desno od prereza})$$

$$j = \frac{b}{6} = 1,42\text{m} \quad (\text{jedro prereza})$$

$$\tan \theta = \frac{H_d}{V_d} = \frac{89,94}{333,96} \rightarrow \theta = 15,07^\circ$$

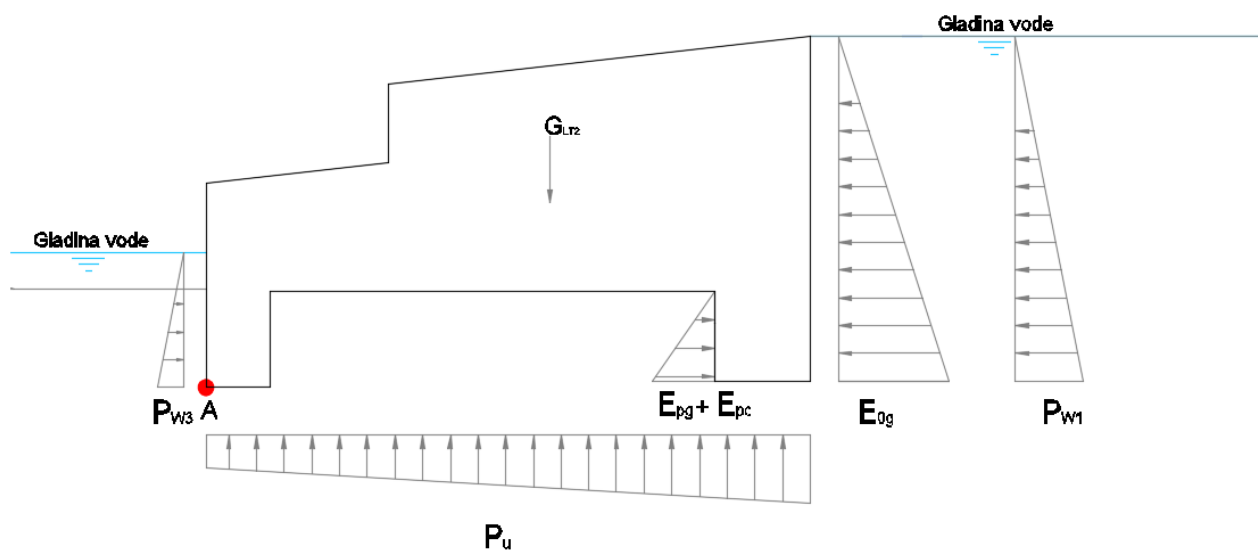
$$\text{Efektivna širina: } b' = b - 2|e| = 8,52\text{m} - 2 \times 0,47\text{m} = 7,58\text{m}$$

$$\text{Efektivna površina: } A' = 1,0 \times b' = 1,0 \times 7,58\text{m} = 7,58\text{m}^2$$

$$\sigma_{L,D} = \frac{\sum V_d}{b \times 1,0} \pm \frac{6 \times \sum V_d \times e}{b^2 \times 1,0} = \frac{333,96}{8,52} \pm \frac{6 \times 333,96 \times (-0,47)}{8,52^2} = 39,20 \pm (-12,97)$$

$$\sigma_L = 26,23 \text{ kPa}$$

$$\sigma_D = 52,17 \text{ kPa}$$



OBTEŽNI PRIMER 2

$$\sum M^A = 0,90 \times G_{LT2} \times r_{LT2} + 0,90 \times E_{0gv} \times r_{0gv} - 1,0 \times P_u \times r_u - 1,10 \times E_{0gh} \times r_{0gh} + 0,90 \times E_{pgh} \times r_{pgh} + 0,90 \times E_{pch} \times r_{pch} - 1,0 \times P_{w1} \times r_{w1} + 0,90 \times P_{w3} \times r_{w3}$$

$$\begin{aligned} \sum M^A &= 0,90 \times 726,00 \frac{kN}{m} \times 4,87 m + 0,90 \times 36,33 \frac{kN}{m} \times 8,52 m - 1,0 \times 284,88 \frac{kN}{m} \times 4,87 m \\ &- 1,10 \times 79,098 \frac{kN}{m} \times 1,90 + 0,90 \times 98,15 \frac{kN}{m} \times 0,57 m + 0,90 \times 296,73 \frac{kN}{m} \\ &\times 0,57 m - 1,0 \times 312,01 \frac{kN}{m} \times 2,39 m + 0,90 \times 106,74 \frac{kN}{m} \times 1,45 m = 1504,12 \frac{kNm}{m} \end{aligned}$$

$$X_R = \frac{\sum M^A}{V_d} = \frac{1504,12}{408,48} = 3,68 m$$

$$e = \frac{b}{2} - X_R = \frac{8,52 m}{2} - 3,68 m = 0,58 m \quad (\text{levo od prereza})$$

$$j = \frac{b}{6} = 1,42 m \quad (\text{jedro prereza})$$

$$\tan \theta = \frac{H_d}{V_d} = \frac{173,81}{408,48} \rightarrow \theta = 23,05^\circ$$

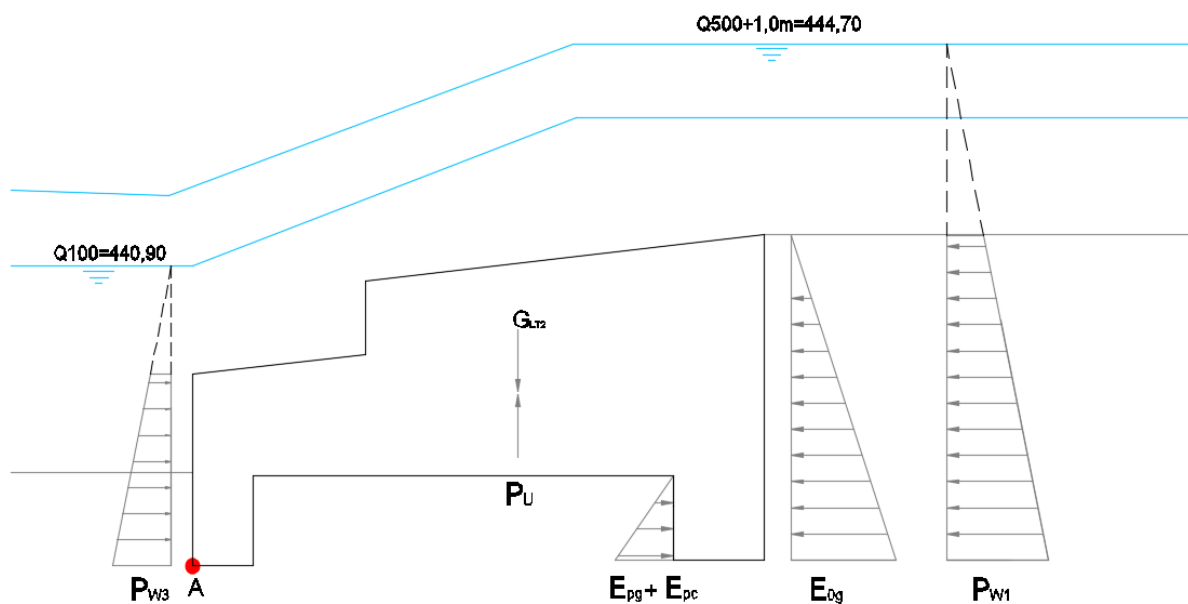
$$\text{Efektivna širina: } b' = b - 2|e| = 8,52 m - 2 \times 0,58 m = 7,36 m$$

$$\text{Efektivna površina: } A' = 1,0 \times b' = 1,0 \times 7,36 m = 7,36 m^2$$

$$\sigma_{L,D} = \frac{\sum V_d}{b \times 1,0} \pm \frac{6 \times \sum V_d \times e}{b^2 \times 1,0} = \frac{408,48}{8,52} \pm \frac{6 \times 408,48 \times (0,58)}{8,52^2} = 47,94 \pm (19,58)$$

$$\sigma_L = 67,52 \text{ kPa}$$

$$\sigma_D = 28,36 \text{ kPa}$$



1.6 REZULTATI ANALIZE

Rezultati statične analize kažejo, da globalna stabilnost jezua v delu jezua z zapornico in v fiksnem prelivnem polju zadostuje vsem pogojem.

Iz izračunov lahko zaključimo, da je jez v delu z zapornico in v fiksnem delu v predvidenih dimenzijah ustrezen in stabilen.

1.7 NOTRANJE STATIČNE KOLIČINE

1.7.1 Prerez s fiksnim prelivnim poljem

OBTEŽNI PRIMER 2

- PREREZ 1-1

Zaledni zemeljski pritisk

$$E_{0g} = \frac{h^2}{2} (\gamma_z - \gamma_w) K_{0g} = \frac{(4,0 \text{ m})^2}{2} 15,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} 0,398 = 47,76 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$K_{0g} = 1 - \sin\varphi = 0,398 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$E_{0gh} = E_{0g} \cos(\delta_{a,d}) = 43,40 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$E_{0gv} = E_{0g} \sin(\delta_{a,d}) = 19,93 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Hidrostatični pritisk

Na gorvodni strani : upoštevana gladina vode $Q_{500} + 1,0\text{m}$

$$p_{w1zg} = \rho_w \times g \times z_1 = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 3,18 \text{ m} = 31195,80 \frac{\text{N}}{\text{m}} = 31,19 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$p_{w1sp} = \rho_w \times g \times z_2 = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 7,20 \text{ m} = 70632 \frac{\text{N}}{\text{m}} = 70,63 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

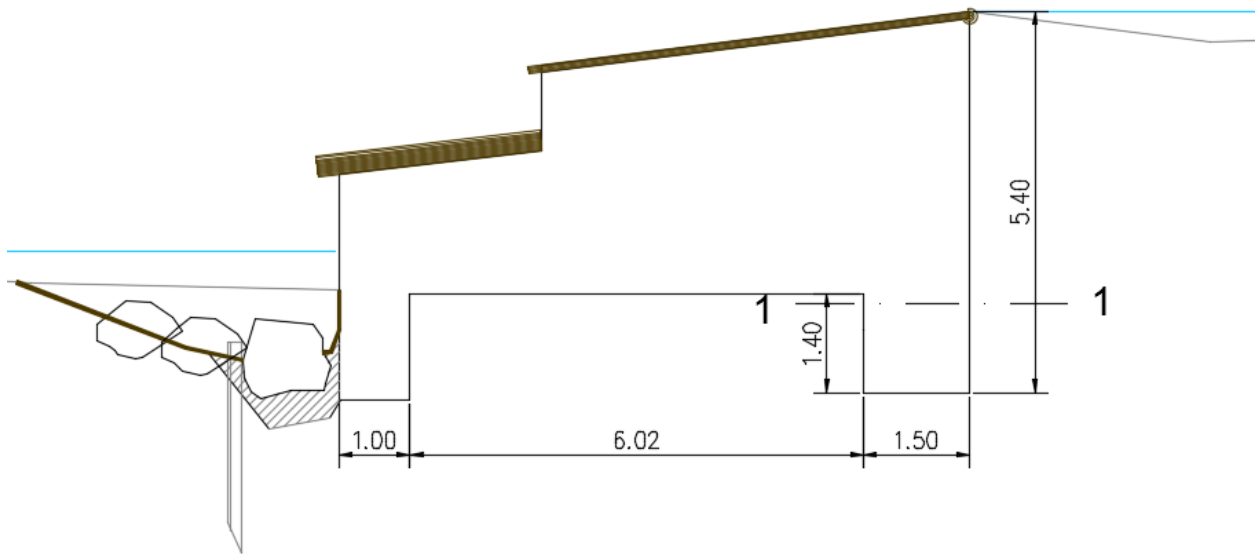
$$P_{w1} = \left(\frac{p_{w1} + p_{w2}}{2} \right) \times (z_2 - z_1) = 50,91 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \times 4,02 \text{ m} = 204,66 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Na dolvodni strani : upoštevana gladina vode Q_{100}

$$p_{w3zg} = \rho_w \times g \times z_1 = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 1,80 \text{ m} = 17658 \frac{\text{N}}{\text{m}} = 17,66 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$p_{w3sp} = \rho_w \times g \times z_2 = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 3,50 \text{ m} = 34335 \frac{\text{N}}{\text{m}} = 34,33 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$P_{w3} = \left(\frac{p_{w3zg} + p_{w3sp}}{2} \right) \times (z_2 - z_1) = 25,99 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \times 1,70 \text{ m} = 44,19 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$



$$M_d^{1-1} = 1,35 \times E_{ogh} \times r_{ogh} + 1,50 \times P_{w1} \times r_{w1}$$

$$M_d^{1-1} = 1,35 \times 43,40 \frac{kN}{m} \times 1,33m + 1,50 \times 204,66 \frac{kN}{m} \times 1,74m = 612,09 \frac{kNm}{m}$$

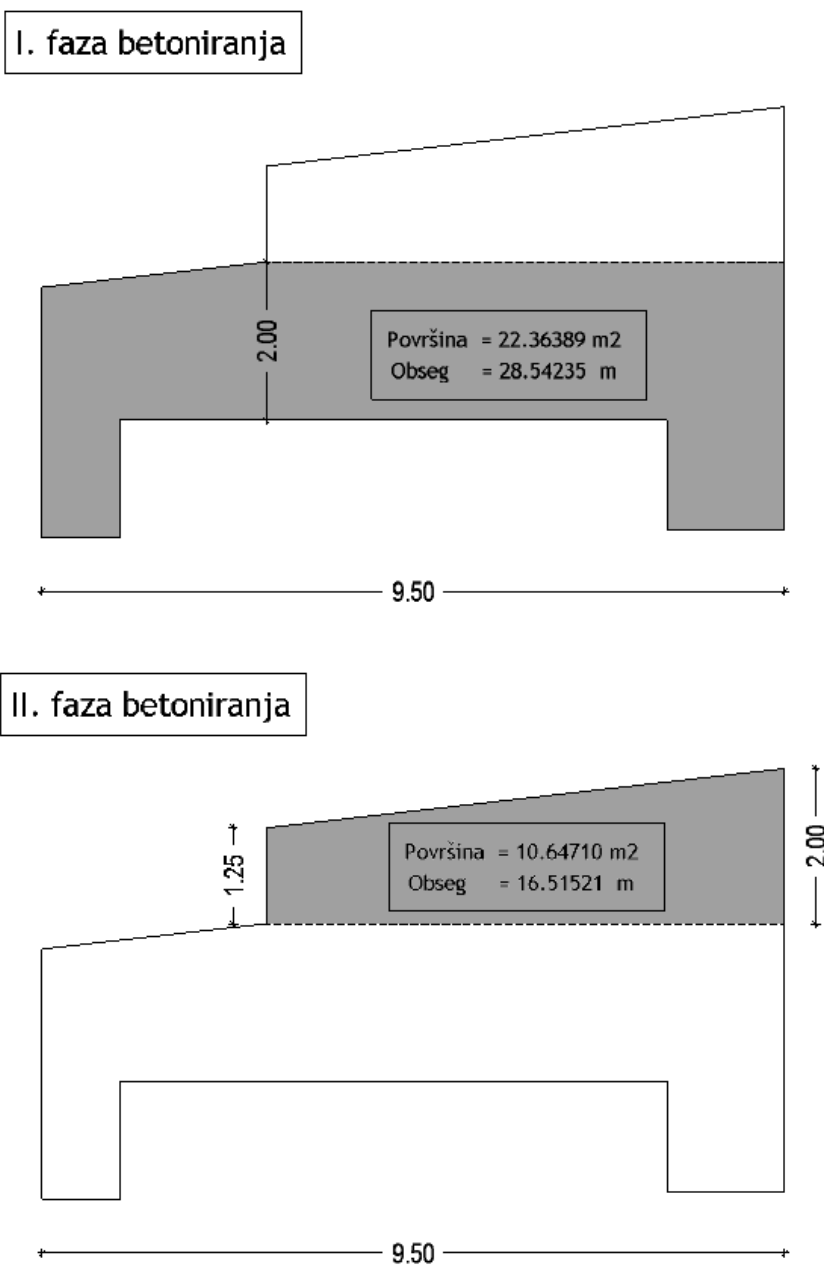
$$T_d^{1-1} = 1,35 \times E_{ogh} + 1,50 \times P_{w1} - 1,5 \times P_{w3} = 1,35 \times 43,40 \frac{kN}{m} + 1,5 \times 204,66 \frac{kN}{m} = 365,58 \frac{kN}{m}$$

$$\begin{aligned} N_d^{1-1} &= -1,35 \times G_{LT2} - 1,35 \times E_{ogv} = -1,35 \times \left(25,00 \frac{kN}{m^3} \times 5,07m^2 \right) - 1,35 \times 36,33 \frac{kN}{m} \\ &= -220,16 \frac{kN}{m} \end{aligned}$$

1.8 DIMENZIONIRANJE PO STANDARDU EC2

1.8.1 Prerez s fiksnim prelivnim poljem

1.8.1.1 Karakteristike prereza



1.8.1.2 Potrebna armatura z upoštevanjem notranjih statičnih količin

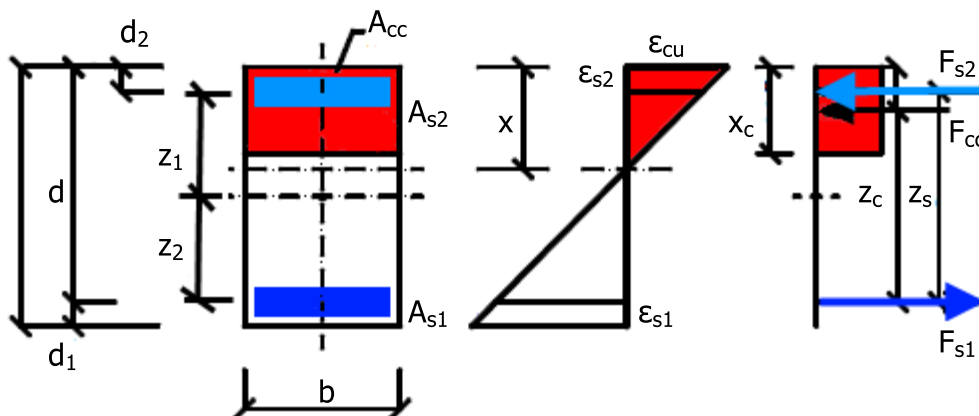
1.8.1.2.1 I. faza, prerez 1-1:

Maksimalen moment [kNm/m]	612,09
Maksimalna prečna sila [kNm/m]	365,58
Osna sila [kN/m]	-220,16

Design of longitudinal reinforcement on rectangular cross section according to Eurocode 2 EC EN 1992-1-1

Geometry

Cross section width	$b = 1000 \text{ mm}$
Cross section height	$h = 1500 \text{ mm}$
Tensile reinforcement cover	$c_1 = 50 \text{ mm}$
Compression reinforcement cover	$c_2 = 50 \text{ mm}$
Eff. distance for tension reinforcement	$d_1 = c_1 + \frac{\Phi_1}{2} = 50 + \frac{14}{2} = 57 \text{ mm}$
Eff. distance for compression reinforcement	$d_2 = c_2 + \frac{\Phi_2}{2} = 50 + \frac{14}{2} = 57 \text{ mm}$
Effective cross section height	$d = h - d_1 = 1500 - 57 = 1443 \text{ mm}$



Concrete material parameters

Concrete	C 20/25
Char. compressive strength	$f_{ck} = 20 \text{ MPa}$
Concrete compressive strength	$f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{1 \cdot 20}{1.5} = 13.3 \text{ MPa}$
Tensile strength of concrete	$f_{ctd} = \frac{\alpha_{cc} \cdot f_{ctk,0,05}}{\gamma_c} = \frac{1 \cdot 1.5}{1.5} = 1 \text{ MPa}$
Concrete coefficient	$\alpha_{cc} = 1$
Concrete strength $f_{ck} < 50 \text{ MPa} \Rightarrow$	$\eta = 1 \quad \lambda = 0.8$
Compressive strain of concrete	$\epsilon_{cd} = \frac{f_{cd}}{E} = \frac{13.3}{30000} = 0.0444 \%$
Coefficient of shear strength	$v_1 = 0.6$
Coeff. of strain in tension strip	$\alpha_{cw} = 1$

Reinforcement parameters

Reinforcement	B 500 B
Characteristic tensile strength	$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$
Design tensile strength	$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1.15} = 435 \text{ MPa}$
Compressive strain	$\epsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{435}{200} = 2.174 \text{ ‰}$
Lever arm of internal forces: For tension reinforcement	$z_1 = \frac{h}{2} - d_1 = \frac{1500}{2} - 57 = 693 \text{ mm}$
For compression reinforcement	$z_2 = \frac{h}{2} - d_2 = \frac{1500}{2} - 57 = 693 \text{ mm}$

Maximum reinforcement compressive strain

$\epsilon_u = 1000000 \%$ \Rightarrow *unlimited value of reinforcement compressive strain is used in the calculation*

Loading

Bending moment	$M_{Edy} = 613 \text{ kNm}$ <i>Remark: Moment is considered always as positive value, tension on bottom edge</i>
Axial force	$N_{Ed} = -220 \text{ kN}$ <i>Remark: Positive value is tension, negative value is compression</i>
	$M_{E dy1} = M_{Edy} - N_{Ed} \cdot z_1 = 613000 - 220000 \cdot 0.693 = 765 \text{ kNm}$
	$M_{E dy2} = M_{Edy} + N_{Ed} \cdot z_2 = 613000 + 220000 \cdot 0.693 = 461 \text{ kNm}$

Check the kind of breach - tensile or compressive

$$\xi_{bal1} = \frac{\text{abs}(\epsilon_{cu3})}{\text{abs}(\epsilon_{cu3}) + \epsilon_{yd}} = \frac{\text{abs}(3.5)}{\text{abs}(3.5) + 2.174} = \underline{0.617}$$

$$N_{c,bal} = \lambda \cdot \xi_{bal1} \cdot b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} = 0.8 \cdot 0.617 \cdot 1000 \cdot 1443 \cdot 1 \cdot 13.3 = \underline{9495 \text{ kN}}$$

$|N_{Ed}| \leq N_{c,bal} \Rightarrow 220 \text{ kN} \leq 9495 \text{ kN} \Rightarrow$ *The case with prevailing tension*

Distance of the neutral axis

$$x = \frac{d}{\lambda} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot M_{Edy1}}{b \cdot d^2 \cdot \eta \cdot f_{cd}} \right)} \right)$$

$$= \frac{1.44}{0.8} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot 765460}{1 \cdot 1.44^2 \cdot 1 \cdot 13.3 \cdot 10^6} \right)} \right) = \underline{0.0504 \text{ m}}$$

$$x_c = 0.8 \cdot x = 0.8 \cdot 0.0504 = \underline{0.0403 \text{ m}}$$

Concrete area

$$A_{cc} = x_c \cdot b = 0.0403 \cdot 1 = \underline{0.0403 \text{ m}^2}$$

Limit distances and comparison

$$\xi_{bal1} = \frac{\text{abs}(\epsilon_{cu3})}{\text{abs}(\epsilon_{cu3}) + \epsilon_{yd}} = \frac{\text{abs}(3.5)}{\text{abs}(3.5) + 2.174} = \underline{0.617}$$

$$\xi_{bal2} = \frac{\text{abs}(\epsilon_{cu3})}{\text{abs}(\epsilon_{cu3}) - \epsilon_{yd}} = \frac{\text{abs}(3.5)}{\text{abs}(3.5) - 2.174} = \underline{2.64}$$

$$x_{bal1} = \frac{\text{abs}(\epsilon_{cu3})}{\text{abs}(\epsilon_{cu3}) + \epsilon_{yd}} \cdot d$$

$$= \frac{\text{abs}(3.5 \cdot 10^{-3})}{\text{abs}(3.5 \cdot 10^{-3}) + 2.174 \cdot 10^{-3}} \cdot 1.44 = \underline{0.89 \text{ m}}$$

$$x_{bal2} = \frac{\text{abs}(\epsilon_{cu3})}{\text{abs}(\epsilon_{cu3}) - \epsilon_{yd}} \cdot d_2$$

$$= \frac{\text{abs}(3.5 \cdot 10^{-3})}{\text{abs}(3.5 \cdot 10^{-3}) - 2.174 \cdot 10^{-3}} \cdot 0.057 = \underline{0.15 \text{ m}}$$

Reinforcement design:

$$\underline{0 < x < x_{bal1} \Rightarrow 0 < 0.0504 \text{ m} < 0.89 \text{ m}}$$

Area III, the design of compression reinforcement is not needed

Tension area:

Required tension reinf. area

$$A_{sy1req} = \frac{N_{Ed} + \lambda \cdot b \cdot x \cdot \eta \cdot f_{cd}}{f_{yd}}$$

$$= \frac{-220000 + 0.8 \cdot 1 \cdot 0.0504 \cdot 1 \cdot 13.3 \cdot 10^6}{435 \cdot 10^6} = \underline{731 \text{ mm}^2}$$

Provided reinforcement:

Lower and upper longitudinal reinf. diameter

$$\Phi_1 = 14 \text{ mm}$$

$$\Phi_2 = 14 \text{ mm}$$

The compression reinforcement will be designed to the minimum required reinforcement

$$A_{sy2req} = \text{Max} \left\{ \frac{0.05 \cdot N_{Ed}}{f_{yd}} \right\} = \text{Max} \left\{ \frac{0.05 \cdot 220000}{435 \cdot 10^6} \right\} = \mathbf{1500 \text{ mm}^2}$$

Tension reinforcement $\geq A_{sy1req}$

$$A_{sy1} \geq A_{sy1req} \Rightarrow A_{sy1} \geq \mathbf{731 \text{ mm}^2}$$

Designed 5 x $\phi 14$ mm $A_{sy1} = n_1 \cdot \frac{\pi \cdot \Phi_1^2}{4} = 5 \cdot \frac{3.14 \cdot 14^2}{4} = \mathbf{770 \text{ mm}^2}$

Minimum reinforcement area

$$A_{s,min} = \text{Max} \left\{ \frac{0.26 \cdot f_{ctm} \cdot b_t \cdot d}{f_{yk}} \right\} = \text{Max} \left\{ \frac{0.26 \cdot 2.2 \cdot 10^6 \cdot 1 \cdot 1.44}{500 \cdot 10^6} \right\} = 1876 \text{ mm}^2$$

Check of minimum reinforcement area

$$A_{sy1} < A_{s,min} \Rightarrow \mathbf{770 \text{ mm}^2} < \mathbf{1876 \text{ mm}^2} \Rightarrow \mathbf{Reinforcement is INSUFFICIENT!}$$

Maximum reinforcement area

$$A_{s,max} = 0.04 \cdot A_c = 0.04 \cdot 1.5 = 60000 \text{ mm}^2$$

Check of maximum reinforcement area

$$A_{sy1} < A_{s,max} \Rightarrow \mathbf{770 \text{ mm}^2} < \mathbf{60000 \text{ mm}^2} \Rightarrow \mathbf{Reinforcement is SUFFICIENT}$$

Compression reinforcement $\geq A_{sy2req}$

$$A_{sy2} \geq A_{sy2req} \Rightarrow A_{sy2} \geq \mathbf{1500 \text{ mm}^2}$$

Designed 10 x $\phi 14$ mm $A_{sy2} = n_2 \cdot \frac{\pi \cdot \Phi_2^2}{4} = 10 \cdot \frac{3.14 \cdot 0.014^2}{4} = \mathbf{1539 \text{ mm}^2}$

1.8.1.2.2 II. faza

V območju betonskega prereza izvedenega v II. fazi so obremenitve na konstrukcijo bistveno manjše kot na del, ki se betonira v I. fazi. Zato smatramo, da je smiselno uporabiti prereze armature, ki jih določimo v prerezu I. faze betoniranja.

1.8.1.3 **Minimalna potrebna armatura v AB prerezu (obe smeri)**

1.8.1.3.1 I. faza

<u>Minimalna potrebna armatura AB elementa</u>	
$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d \geq 0,013 \cdot b_t \cdot d$	
višina elementa d [cm]:	195,00
širina elementa b_t [cm]:	100,00
srednja vrednost natezne trdnosti betona f_{ctm} [MPa]:	2,20
karakteristična meja plastičnosti f_{yk} [MPa]:	500,00
$A_{s,min} = 22,31 \text{ cm}^2$	

1.8.1.3.2 II. faza

<u>Minimalna potrebna armatura AB elementa</u>	
$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d \geq 0,013 \cdot b_t \cdot d$	
višina elementa d [cm]:	195,00
širina elementa b_t [cm]:	100,00
srednja vrednost natezne trdnosti betona f_{ctm} [MPa]:	2,20
karakteristična meja plastičnosti f_{yk} [MPa]:	500,00
$A_{s,min} = 22,31 \text{ cm}^2$	

1.8.1.4 Minimalna potrebna armatura zaradi omejitve razpok ob vgradnji betona (hidratacija cementsa)

- upoštevamo premer armature, ki smo ga izbrali na podlagi preostalih dveh kriterijev za določitev potrebne (minimalne) armature;
- predpostavimo, da je celoten obravnavan betonski prerez v nategu;
- predpostavili smo, da se bodo betonerska dela na jezcu izvajala v dveh fazah.

$$A_{s,min} = k_c \cdot k \cdot \frac{f_{ctm}(t) \cdot A_{ct}}{\sigma_s}$$

k_c koeficient, ki upošteva porazdelitev napetosti tik pred pojavom razpoke; $k_c = 1$

k koeficient, ki upošteva porazdelitev napetosti tik pred pojavom razpoke;
 $h > 800 \text{ mm}$, $k = 0,65$;

$f_{ctm}(t)$ srednja natezna trdnost betona ob pojavu prve razpoke;

A_{ct} prerez betonskega prereza v nategu;

σ_s maksimalna napetost v armaturnih palicah v razpokanem prerezu

Maksimalno napetost v armaturi določimo z enačbami za modificiran maksimalen prerez palice in interpolirano vrednostjo iz tabel, ki opisuje maksimalne napetosti v palicah različnih prerezov:

$$\theta = \theta_{s,max} \cdot \frac{f_{ctm}(t)}{2.9}$$

$\theta_{s,max}$ maksimalen prerez palice armature

θ izbran prerez palice armature

$f_{ctm}(t)$ srednja natezna trdnost betona ob pojavu prve razpoke;

$$f_{ctm}(t) = 0.5 \cdot f_{ctm} = 0.5 \cdot 2.2 = 1.1 \text{ MPa}$$

$$\theta_{s,max} = \frac{\theta \cdot 2.9}{f_{ctm}(t)} = \frac{14 \cdot 2.9}{1.1} \sim 37 \text{ mm}$$

$$\sigma_s \sim 172 \text{ Mpa}$$

Steel Stress σ_s (MPa)	Maximum bar diameter (mm)
160	40
200	30
240	20
280	14
320	10
360	8
400	6
450	4

1.8.1.4.1 I. faza, vzdolžna armatura, A=22.4 m²

$$A_{s,min} = 1 \cdot 0,65 \cdot \frac{1,1 \cdot 22,4}{172} = 931,16 \text{ cm}^2$$

1.8.1.4.2 I. faza, prečna armatura, A=2.0 x 1.0=2.0 m²

$$A_{s,min} = 1 \cdot 0,65 \cdot \frac{1,1 \cdot 2,0}{172} = 83,14 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

1.8.1.4.3 II. faza, vzdolžna armatura, A=10.7 m²

$$A_{s,min} = 1 \cdot 0,65 \cdot \frac{1,1 \cdot 10,7}{172} = 444,80 \text{ cm}^2$$

1.8.1.4.4 II. faza, prečna armatura, A=2.0 x 1.0=2.0 m²

$$A_{s,min} = 1 \cdot 0,65 \cdot \frac{1,1 \cdot 2,0}{172} = 83,14 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

1.8.1.5 Skica armature

Kot merodajno smo privzeli količino potrebne armature, ki smo jo dobili zaradi kriterija pojava razpok oz. hidratacije prereza v dneh po betoniranju. V skici armature je tako označena potrebna količina in razporeditev glavne nosilne armature, preostali detajli armature se določijo v projektu PZI.

1.8.1.5.1 Prerez s fiksnim prelivnim poljem, I. faza

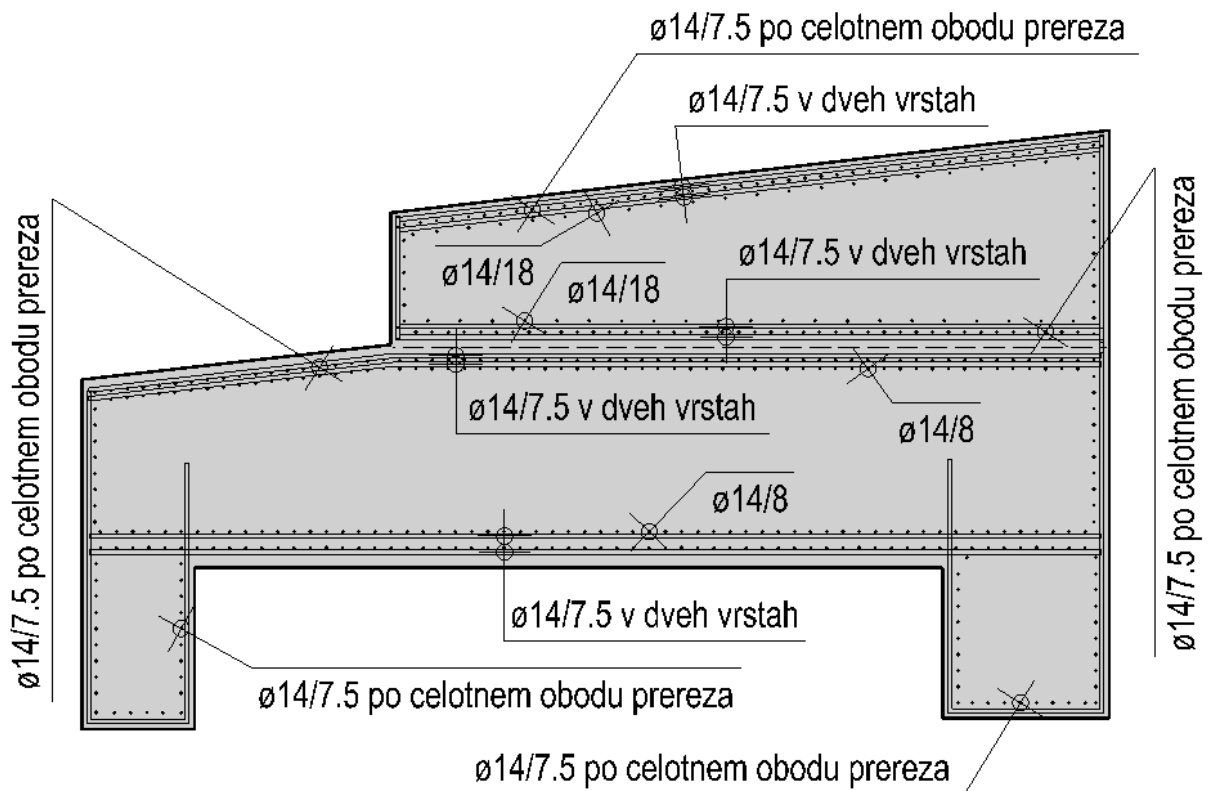
Vzdolžna armatura: izberemo armaturne palice premera $\theta = 14 \text{ mm}$, $\frac{931,16 \text{ cm}^2}{1,54 \text{ cm}^2} \sim 605 \text{ palic}$, ki so razporejene enakomerno po celotnem prerezu oboda na razdalji $e=7.5 \text{ cm}$ (cca 380 palic). Preostale palice so položene v dve dodatni vrsti v prerezu v enakem razmaku $e=8.0 \text{ cm}$ (cca 236 palic).

Prečna armatura: izberemo armaturne palice premera $\theta = 14 \text{ mm}$, $\frac{83,14 \text{ cm}^2}{1,54 \text{ cm}^2} \sim 54 \text{ palic/m'}$. Palice razporedimo enakomerno v spodnji in zgornji coni in sicer v vsaki coni v dve vrsti na enakomernem razmaku $e=7.5 \text{ cm}$ oz. cca $20.50 \text{ cm}^2/\text{m'}$.

1.8.1.5.2 Prerez s fiksnim prelivnim poljem, II. faza

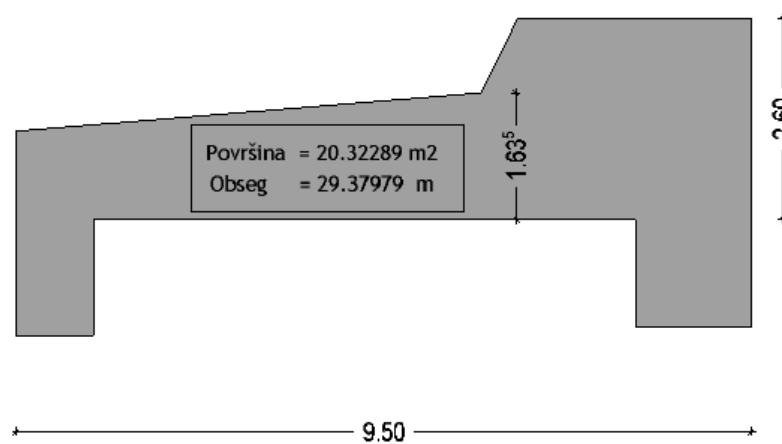
Vzdolžna armatura: izberemo armaturne palice premera $\theta = 14 \text{ mm}$, $\frac{444,80 \text{ cm}^2}{1,54 \text{ cm}^2} \sim 289 \text{ palic}$, ki so razporejene enakomerno po celotnem prerezu oboda na razdalji $e=7.5 \text{ cm}$ (cca 220 palic). Preostale palice so položene v dve dodatni vrsti v prerezu v enakomernem razmaku $e=18.0 \text{ cm}$ (cca 70 palic).

Prečna armatura: izberemo armaturne palice premera $\theta = 14 \text{ mm}$, $\frac{83,14 \text{ cm}^2}{1,54 \text{ cm}^2} \sim 54 \text{ palic/m'}$. Palice razporedimo enakomerno v spodnji in zgornji coni in sicer v vsaki coni v dve vrsti na enakomernem razmaku $e=7.5 \text{ cm}$ oz. cca $20.50 \text{ cm}^2/\text{m'}$.



1.8.2 Prerez z zapornico

1.8.2.1 Karakteristike prereza



1.8.2.2 Potrebna armatura z upoštevanjem notranjih statičnih količin

Zaradi manjše višine prereza z zapornico v primerjavi s prerezom s fiksnim prelivnim poljem so obremenitve na ta del jezua manjše. Zato je pričakovana potrebna armatura zaradi upoštevanja notranjih statičnih količin manjša.

Zaradi kontinuiranega konstruiranja armature za celoten jez smatramo, da je smiselno upoštevati količino predvidene armature, dobljene v delu jezua s fiksnim prelivnim poljem, ki je bolj neugodna oz. je predvidena večja površina armature v prerezu.

1.8.2.3 Minimalna potrebna armatura v AB prerezu (obe smeri)

<u>Minimalna potrebna armatura AB elementa</u>	
$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d \geq 0,013 \cdot b_t \cdot d$	
višina elementa d [cm]:	160,00
širina elementa b_t [cm]:	100,00
srednja vrednost natezne trdnosti betona f_{ctm} [MPa]:	2,20
karakteristična meja plastičnosti f_{yk} [MPa]:	500,00
$A_{s,min} = 18,30 \text{ cm}^2$	

1.8.2.4 Minimalna potrebna armatura zaradi omejitve razpok ob vgradnji betona (hidratacija cementa):

- upoštevamo premer armature, ki smo ga izbrali na podlagi preostalih dveh kriterijev za določitev potrebne (minimalne) armature;
- predpostavimo, da je celoten obravnavan betonski prerez v nategu;

1.8.2.4.1 Vzdolžna armatura, $A=20.3 \text{ m}^2$

$$A_{s,min} = 1 \cdot 0,65 \cdot \frac{1,1 \cdot 20,3}{172} = 843,87 \text{ cm}^2$$

1.8.2.4.2 Prečna armatura, $A=1.65 \times 1.0=1.65 \text{ m}^2$

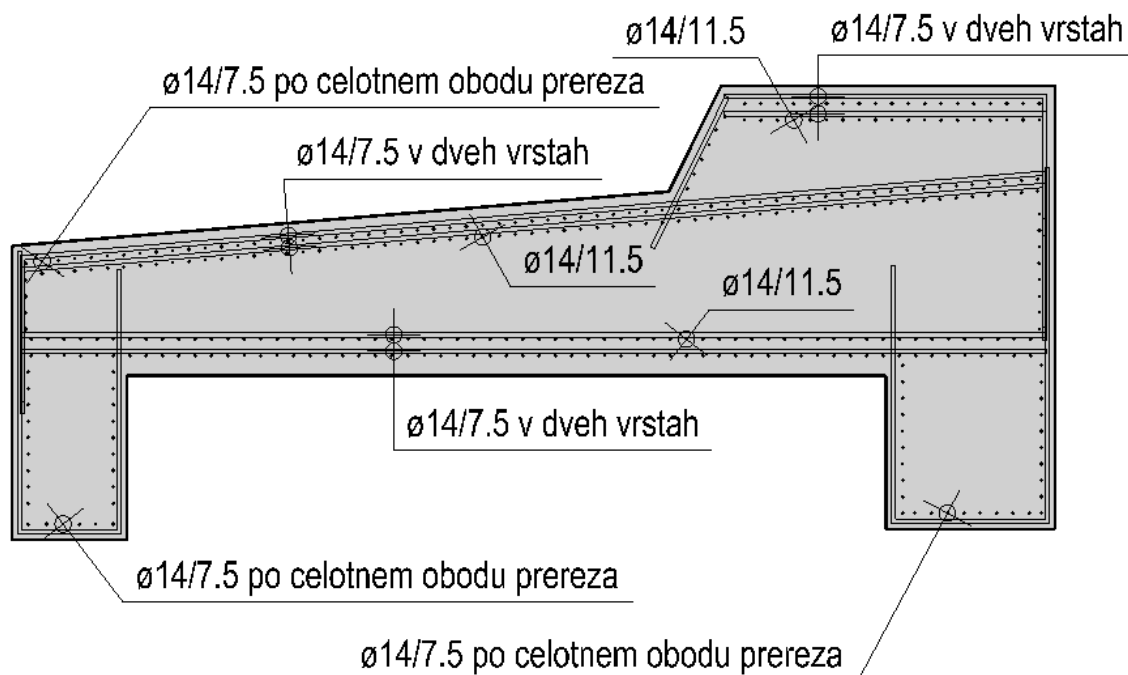
$$A_{s,min} = 1 \cdot 0,65 \cdot \frac{1,1 \cdot 1,65}{172} = 68,59 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

1.8.2.5 Skica armature

Kot merodajno smo privzeli količino potrebne armature, ki smo jo dobili zaradi kriterija pojava razpok oz. hidratacije prereza v dneh po betoniranju. V skici armature je tako označena potrebna količina in razporeditev glavne nosilne armature, preostali detajli armature se določijo v projektu PZI.

Vzdolžna armatura: izberemo armaturne palice premera $\theta = 14\text{ mm}$, $\frac{843.87\text{ cm}^2}{1.54\text{ cm}^2} \sim 550\text{ palic}$, ki so razporejene enakomerno po celotnem prerezu oboda na razdalji $e=7.5\text{ cm}$ (cca 390 palic). Preostale palice so položene v dve dodatni vrsti po sredini prereza v enakem razmaku $e=11.5\text{ cm}$ (cca 160 palic).

Prečna armatura: izberemo armaturne palice premera $\theta = 14\text{ mm}$, $\frac{68.59\text{ cm}^2}{1.54\text{ cm}^2} \sim 45\text{ palic/m'}$. Palice razporedimo enakomerno v spodnji in zgornji coni in sicer v vsaki coni v dve vrsti na enakomernem razmaku $e=7.5\text{ cm}$ oz. cca $20.50\text{ cm}^2/\text{m'}$.



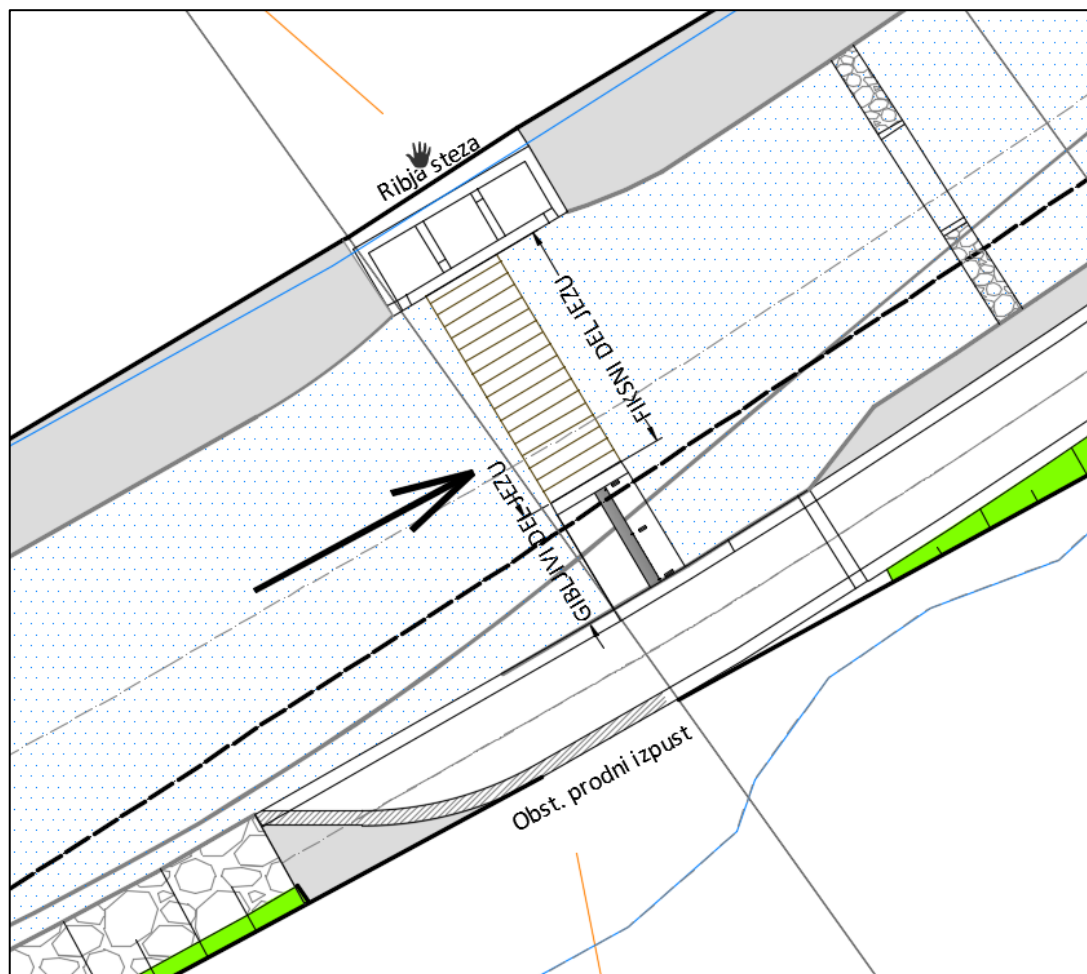


2 DERMOTOV JEZ

2.1 SPLOŠNO

Novi Dermotov jez je zasnovan kot prečni objekt (pravokotno na tok Sore) in je sestavljen iz 3 delov. Tik ob vtočnem objektu je predviden prodni izpust z manjšo zapornico » na utež«. Zapornična odprtina je široka 4,0 m in visoka 0,88 m. Zapornična odprtina je zaprta do kote gladine 461,75 m n.m. Gibljiva konstrukcija, ki je obdelana v posebnem načrtu Montavar d.o.o., je vpeta na armiranobetonski temelj višine 2,1 m. Kota temeljenja objekta je približno 488,4 m n.m. Po potrebi se po pregledu gradbene jame in določitvi poteka linije hribinske podlage globina temeljenja prilagodi dejanskim razmeram. Po GG poročilu je hribinska podlaga na koti 487 do 488 m n.m..

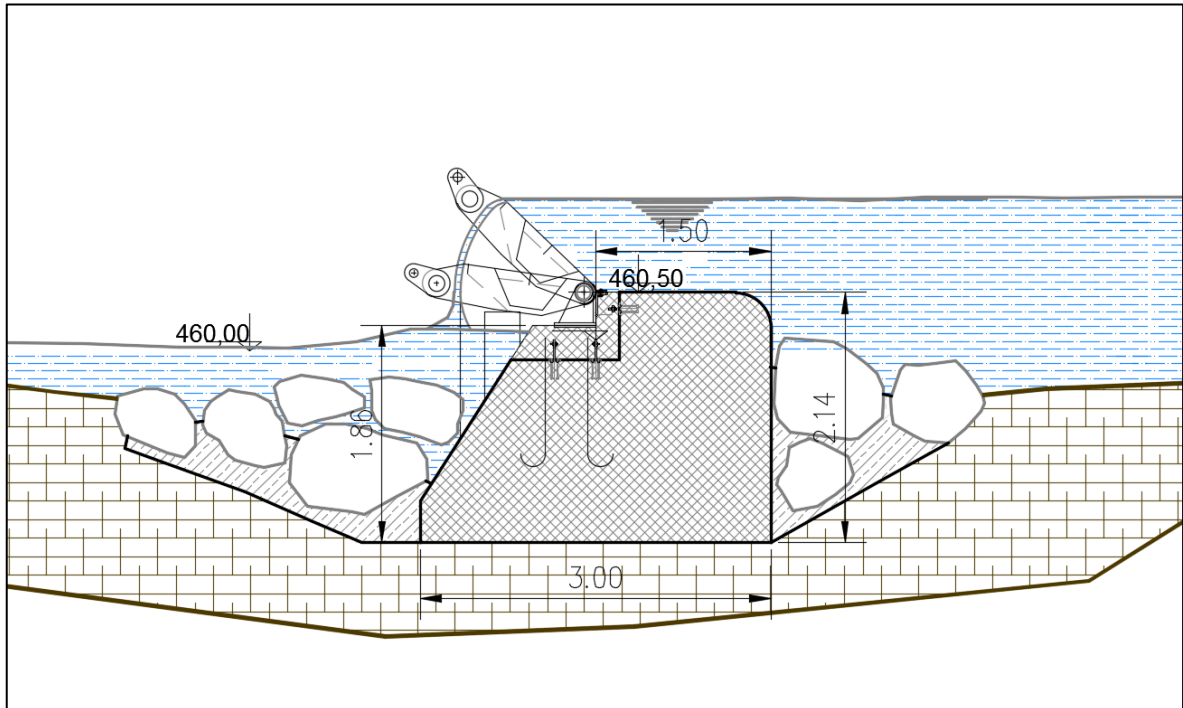
Druge del jezu je polje s fiksnim prelivom. Telo jezu se izvede iz betona C20/25, ki se dopolni s skalami (do 30%). Masivni betonski temelj je širok 3,0 m in se izvede v klinasti obliki. V temelj se vgradijo 3 cevi fi 100 cm kot ribja skrivališča. Jez se prekrije z lesenimi poloblicami, ki se na vrhu zaključijo s prečno oblico. Uporabi se macesnov les. Preliv jez na zgornji strani je na koti 461,32 m n.m, kolikor je tudi minimalna zaježba nad jezum. Tolmun jezu se po potrebi zaščiti s skalami v betonu, vendar mora biti globina vsaj 1,0 do 1,2 m . V kolikor bo objekt temeljen na skalni podlagi, ta zaščita ni potrebna.



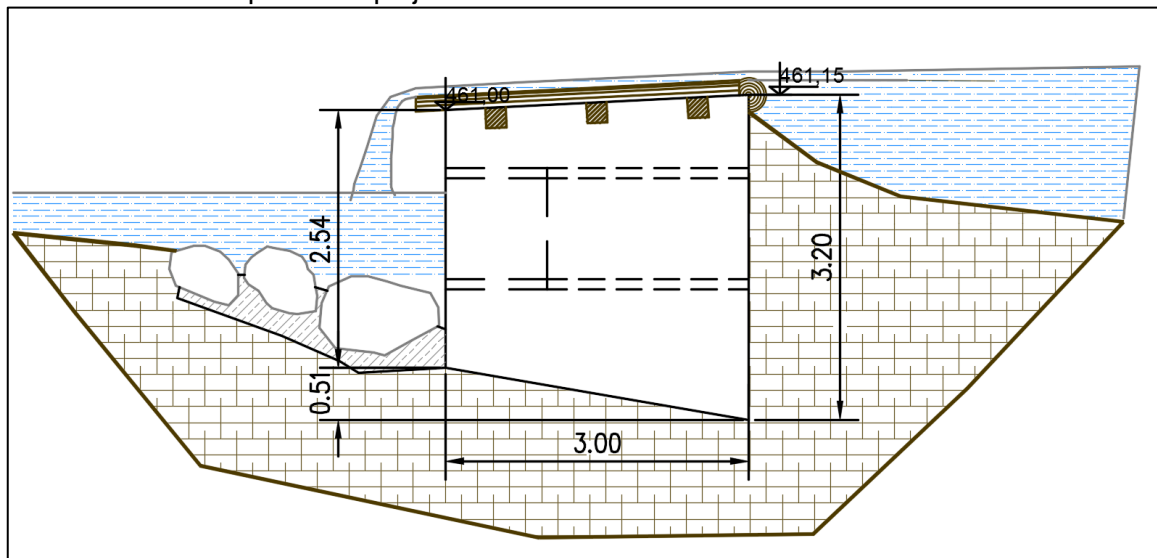
2.1.1 Osnovni podatki o konstrukciji jezua

Prelivni del jezua z zapornico je izdelan iz armiranega betona kvalitete C20/25 z dodatki XF3, XC3, XM1, PVII. Kvaliteta armature je B500 B, zaščitni sloj armature je 5,0 cm. Polje s fiksnim prelivom se izvede z iz betona C20/25, ki se zapolni s skalami (do 30%).

- Prerez z zapornico



- Prerez s fiksnim prelivnim poljem



2.1.2 Geološko – geomehanske osnove

Geološka sestava na območju Dermotovega jezua je bila preverjena z vrtino V-5a, ki je bila zavrtana tik ob levem bregu reke.

Temelj jezovne zgradbe je v večjem delu na globini, kjer meljnati gruščni prehajajo v močno prepereli sloj skrilavca in apnenca. Nosilni sloj se bliže desnemu bregu nekoliko dviguje. Obremenitve temeljnih tal so majhne, vendar je spodnji, nosilni sloj ustrežnejši in je mnogo manj izpostavljen izpiranju. Zato je predvideno temeljenje na nosilnem sloju. V delih, kjer temelj jezua ne sega do sloja skrilavca in apnenca, se izkopi kljub temu izvedejo do tega sloja, izkopani del do predvidenega nivoja pa se zapolni s pustim betonom. Podslapje se utrdi s skalometno oblogo ustreznih dimenzij.

2.1.3 Osnovne predpostavke stabilitetne analize

V statični analizi smo predvideli naslednje obtežne primere:

OBTEŽNI PRIMER 1

- hidrostatični pritisk vode na gorvodni strani pri maksimalno dvignjeni zapornici oz. do višine fiksnega prelivnega polja
- hidrostatični pritisk na dolvodni strani
- vzgon z zveznim potekom med zgornjim in spodnjim delom jezua
- obtežba gorvodne zemljine
- pasivni zemeljski pritisk zemljine na temelj jezua v skalni podlagi

OBTEŽNI PRIMER 2

- hidrostatični pritisk vode na gorvodni strani pri gladini vode $Q_{500}+1,0m$, ter hidrostatični pritisk na dolvodni strani pri gladini vode Q_{100}
- vzgon, ki je enak teži izpodrinjene tekočine
- obtežba gorvodne zemljine
- pasivni zemeljski pritisk zemljine na temelj jezua v skalni podlagi

Preverili smo dva karakteristična prereza in sicer prerez preko fiksnega prelivnega polja ter prerez z gibljivim delom - zapornico.



2.2 OBTEŽBE IN OBREMENITVE

Za statični izračun uporabimo projektni pristop 2 in varnostne faktorje iz EC7 za globalno stabilnost (EQU) :

- Projektni pristop 2 :

Kombinacija : A1 + M1 + R2		
A1	M1	R2
$\gamma_{G;dst} = 1,35$	$\gamma_{\varphi} = 1,00$	$\gamma_v = 1,40$
$\gamma_{G;stb} = 1,00$	$\gamma_c = 1,00$	$\gamma_h = 1,10$
$\gamma_{Q;dst} = 1,50$	$\gamma_{cu} = 1,00$	
	$\gamma_{qu} = 1,00$	
	$\gamma_{\gamma} = 1,00$	

- Varnostni faktorji iz EC7 za globalno stabilnost EQU :

VRSTA OBTEŽBE		DELNI KOLICNIKI	EQU	STR
STALNA G	Neugodno delovanje	γ_G	1,10	1,35
	Ugodno delovanje	$\gamma_{G, fav}$	0,90	1,00
SPREMENLJIVA Q	Neugodno delovanje	γ_Q	1,50	1,50
	Ugodno delovanje	$\gamma_{Q, fav}$	0,00	0,00

2.2.1 Stalni vplivi na konstrukcijo – lastna teža

- Prerez z zapornico

$$G_{LT1} = \gamma_b \times A_1 = 25,00 \frac{kN}{m^3} \times 5,26 m^2 = 131,50 \frac{kN}{m}$$

- Prerez s fiksnim prelivnim poljem

$$G_{LT2} = \gamma_b \times A_2 = 25,00 \frac{kN}{m^3} \times 7,68 m^2 = 192,00 \frac{kN}{m}$$

Lastna teža fiksnega prelivnega polja je zmanjšana zaradi izvedbe ribjih skrivališč oz. podaljška betonskih cevi za občasni izpust.

2.2.2 Vplivi zemljine

Zasipna ploskev na gorvodni strani jezusa sestavlja sloj peska do peščenega melja z redkimi prodniki s sledečimi karakteristikami:

- prostorninska teža $\gamma_z = 21 \text{ kN/m}^3$
- strižni kot $\varphi = 34^\circ$
- kohezija $c = 0 \text{ kPa}$

Temeljna ploskev sega v sloj preperelega apnenca s polami skrilavca s sledečimi karakteristikami:

- prostorninska teža $\gamma_z = 26 \text{ kN/m}^3$
- strižni kot $\varphi = 36^\circ$
- kohezija $c = 54 \text{ kPa}$
-

Zasipna ploskev na dolvodni strani jezusa je pusti beton s kamnom lomljencem s sledečimi karakteristikami:

- prostorninska teža $\gamma_z = 25 \text{ kN/m}^3$
- strižni kot $\varphi = 37^\circ$
- kohezija $c = 0 \text{ kPa}$

Projektne vrednosti strižnega kota in trenja med zaledno zemljino in zidom:

$$\varphi_d = \arctan \frac{\tan \varphi'}{\gamma_\varphi} = \arctan \frac{\tan 34^\circ}{1,00} = 34^\circ$$

$$\delta_{a,d} = \frac{2}{3} \varphi_d = 22,67^\circ$$

V primeru pasivnega pritiska upoštevamo :

$$\delta_{a,d} = 0$$

Mirni zemeljski pritisk ob upoštevanju nivoja podtalne vode:

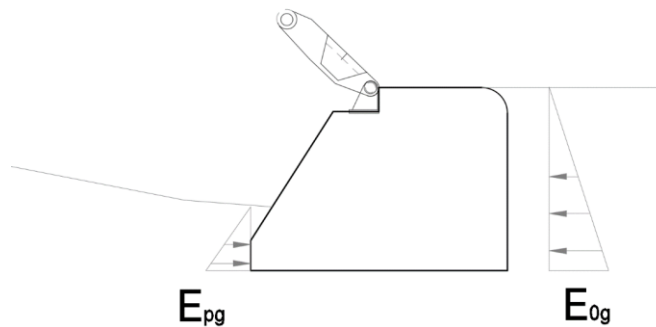
- Prerez z zapornico

$$E_{0g} = \frac{h^2}{2} (\gamma_z - \gamma_w) K_{0g} = \frac{(2,14 \text{ m})^2}{2} 11,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} 0,441 = 11,11 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$K_{0g} = 1 - \sin \varphi = 0,441 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$E_{0gh} = E_{0g} \cos(\delta_{a,d}) = 10,25 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$E_{0gv} = E_{0g} \sin(\delta_{a,d}) = 4,28 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$



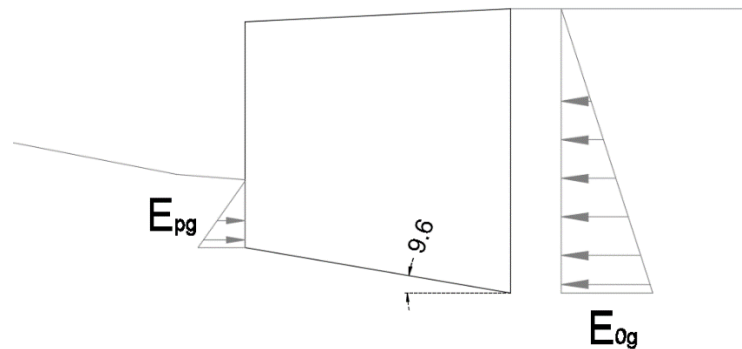
- Prerez s fiksnim prelivnim poljem

$$E_{0g} = \frac{h^2}{2} (\gamma_z - \gamma_w) K_{0g} = \frac{(3,2 \text{ m})^2}{2} 11,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} 0,441 = 24,84 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$K_{0g} = 1 - \sin\varphi = 0,441 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$E_{0gh} = E_{0g} \cos(\delta_{a,d}) = 22,92 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$E_{0gv} = E_{0g} \sin(\delta_{a,d}) = 9,57 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$



Pasivni pritisk temeljne zemljine

Koeficient pasivnega zemeljskega pritiska:

$$K_{phg} = \frac{\cos^2(\varphi - \alpha)}{\cos^2\alpha \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\varphi - \delta_{a,p})\sin(\varphi + \beta)}{\cos(\alpha - \delta_{a,p})\cos(\alpha + \beta)}} \right]^2}$$

Pasivni zemeljski pritisk :

$$K_{phg} = 4,022$$

Horizontalna oz. vertikalna komponenta pasivnega zemeljskega pritiska:

$$E_{pgh} = \frac{h^2}{2} \gamma K_{pgh} = \frac{(0,75m)^2}{2} \times 25,0 \frac{kN}{m^3} \times 4,022 = 28,28 \frac{kN}{m}$$

$$E_{pgv} = E_{pgh} \tan(\delta_{a,p} - \alpha) = 28,28 \frac{kN}{m} \times \tan(0^\circ) = 0,0 \frac{kN}{m}$$

2.2.3 Vplivi vode

2.2.3.1 Hidrostaticni pritisk

- Prerez z zapornico (dvignjena)

OBTEŽNI PRIMER 1

Na gorvodni strani : upoštevana gladina zgornje vode do višine dvignjene zapornice

$$p_{w1} = \rho_w \times g \times z_1 = 1000 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times 0,80 m = 7848 \frac{N}{m^2} = 7,85 \frac{kN}{m^2}$$

$$P_{w1} = 7,85 \frac{kN}{m^2} \times \frac{0,80m}{2} = 3,14 \frac{kN}{m}$$

$$P_{w1v} = p_{w1} \times l_1 = 7,85 \frac{kN}{m^2} \times 1,50 m = 11,78 \frac{kN}{m}$$

$$p_{w2zg} = \rho_w \times g \times z_1 = 1000 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times 0,80 m = 7848 \frac{N}{m^2} = 7,85 \frac{kN}{m^2}$$

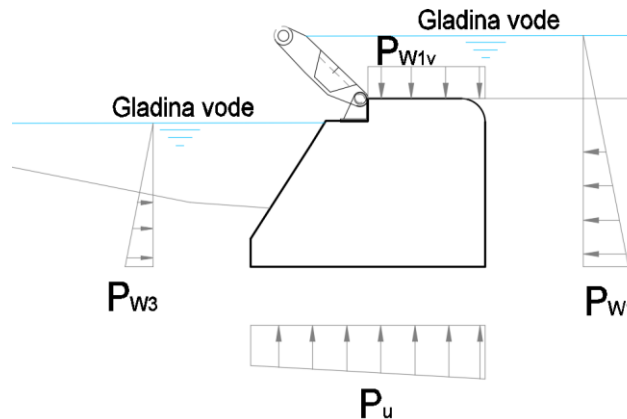
$$p_{w2sp} = \rho_w \times g \times z_2 = 1000 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times 2,94m = 28841,40 \frac{N}{m^2} = 28,84 \frac{kN}{m^2}$$

$$P_{w2} = \left(\frac{p_{w2zg} + p_{w2sp}}{2} \right) \times (z_2 - z_1) = 18,35 \frac{kN}{m^2} \times 2,14m = 39,26 \frac{kN}{m}$$

Na dolvodni strani: upoštevana gladina spodnje vode

$$p_{w3} = \rho_w \times g \times z_1 = 1000 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times 1,83 m = 17952,3 \frac{N}{m^2} = 17,95 \frac{kN}{m^2}$$

$$P_{w3} = 17,95 \frac{kN}{m^2} \times \frac{1,83m}{2} = 16,42 \frac{kN}{m}$$



OBTEŽNI PRIMER 2

Na gorvodni strani : upoštevana gladina vode $Q_{500} + 1,0m$

$$p_{w1zg} = \rho_w \times g \times z_1 = 1000 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times 4,06 m = 39828,60 \frac{N}{m^2} = 39,83 \frac{kN}{m^2}$$

$$p_{w1sp} = \rho_w \times g \times z_2 = 1000 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times 6,20m = 60822 \frac{N}{m^2} = 60,82 \frac{kN}{m^2}$$

$$P_{w1} = \left(\frac{p_{w1zg} + p_{w1sp}}{2} \right) \times (z_2 - z_1) = 50,33 \frac{kN}{m} \times 2,14m = 107,71 \frac{kN}{m}$$

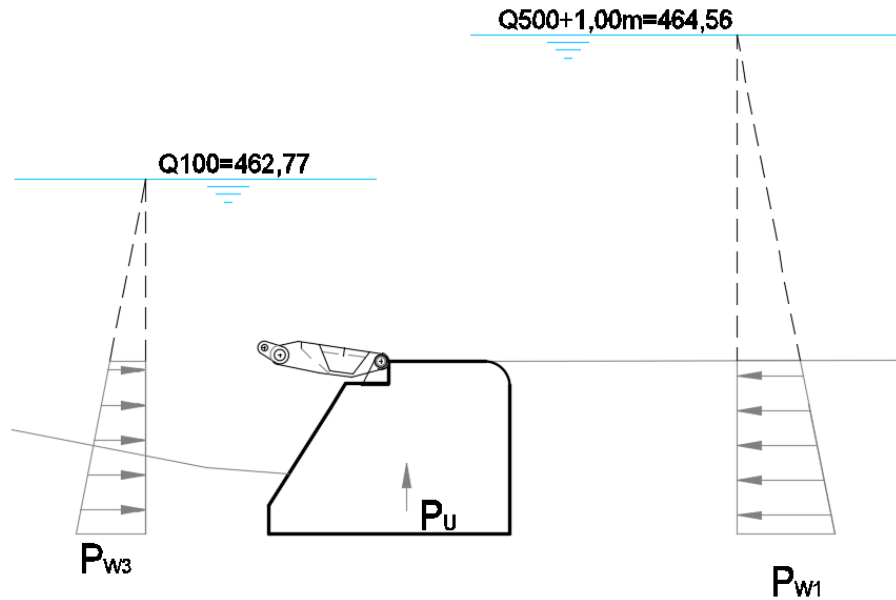
Na dolvodni strani: upoštevana gladina vode Q_{100}

$$p_{w3zg} = \rho_w \times g \times z_1 = 1000 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times 2,28 m = 22366,80 \frac{N}{m} = 22,37 \frac{kN}{m^2}$$

$$p_{w3sp} = \rho_w \times g \times z_2 = 1000 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times 4,42 m = 43360,20 \frac{N}{m} = 43,36 \frac{kN}{m^2}$$

$$P_{w3} = \left(\frac{p_{w3zg} + p_{w3sp}}{2} \right) \times (z_2 - z_1) = 32,87 \frac{kN}{m} \times 2,14 m = 70,34 \frac{kN}{m}$$

Na dolvodni strani upoštevamo gladino vode Q_{100} . Ob upoštevanju gladine Q_{500} bi hidrostatični pritisk deloval še ugodneje, s tem smo na varni strani.



- Prerez s fiksnim prelivnim poljem

OBTEŽNI PRIMER 1

Na gorvodni strani: upoštevana gladina vode zgornje vode do višine jezua

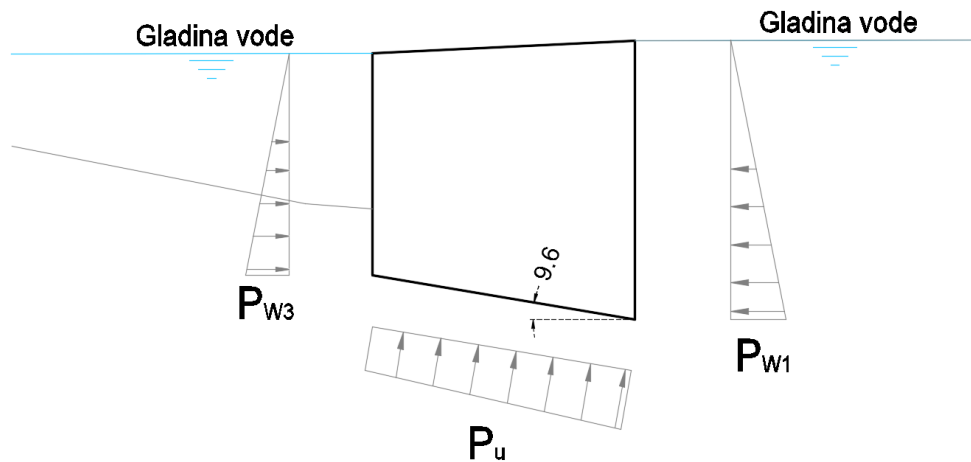
$$p_{w1} = \rho_w \times g \times z_1 = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 3,20 \text{ m} = 31392 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 31,39 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$P_{w1} = 31,39 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times \frac{3,20\text{m}}{2} = 50,22 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Na dolvodni strani: upoštevana gladina spodnje vode

$$p_{w3} = \rho_w \times g \times z_1 = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 1,73 \text{ m} = 16971,30 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 16,97 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$P_{w3} = 16,97 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times \frac{1,73\text{m}}{2} = 14,68 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$



OBTEŽNI PRIMER 2

Na gorvodni strani : upoštevana gladina vode $Q_{500} + 1,0m$

$$p_{w1zg} = \rho_w \times g \times z_1 = 1000 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times 3,41 m = 33452,10 \frac{N}{m^2} = 33,45 \frac{kN}{m^2}$$

$$p_{w1sp} = \rho_w \times g \times z_2 = 1000 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times 6,61m = 64844,10 \frac{N}{m^2} = 64,84 \frac{kN}{m^2}$$

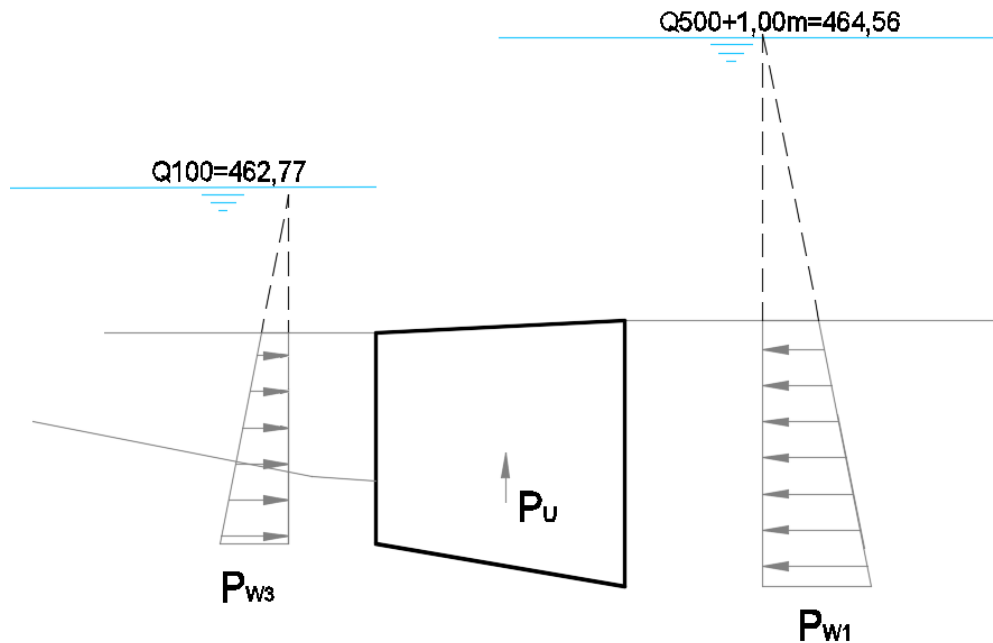
$$P_{w1} = \left(\frac{p_{w1} + p_{w2}}{2} \right) \times (z_2 - z_1) = 49,15 \frac{kN}{m^2} \times 3,20m = 157,26 \frac{kN}{m}$$

Na dolvodni strani: upoštevana gladina vode Q_{100}

$$p_{w3zg} = \rho_w \times g \times z_1 = 1000 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times 1,77 m = 17363,7 \frac{N}{m^2} = 17,36 \frac{kN}{m^2}$$

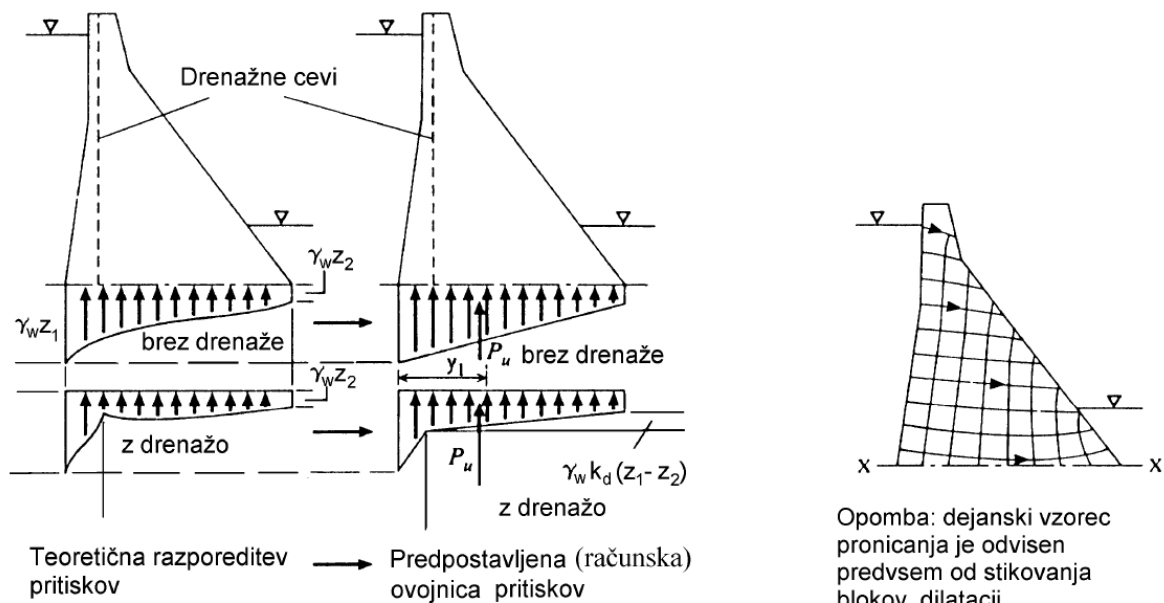
$$p_{w3sp} = \rho_w \times g \times z_2 = 1000 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times 4,31m = 42281,1 \frac{N}{m^2} = 42,28 \frac{kN}{m^2}$$

$$P_{w3} = \left(\frac{p_{w3zg} + p_{w3sp}}{2} \right) \times (z_2 - z_1) = 29,82 \frac{kN}{m^2} \times 2,54m = 75,74 \frac{kN}{m}$$



2.2.3.2 Sile zaradi pronicanja in vzgona

Intersticijski vodni pritisk u_w se razvije v betonski pregradi ter njenih temeljih zaradi penetracije vode vzdolž diskontinuet (npr. stikov, razpok ipd.), ter tudi zaradi pronicanja v pore kamnin in betona. Ti pritiski so analogni pornim pritiskom pri zemeljskih pregradah. Na slikah vidimo idealizirano mrežo tokovnic pri pronicanju skozi pregrado, teoretično razporeditev vzgonskih pritiskov ter računsko (bilinearno) razporeditev.



Vzgonska sila P_u predstavlja vzgonsko silo intersticijske vode v temelju pregrade ali interno vzgonsko silo v telesu pregrade. Vzgonska sila je premosorazmerna srednjemu intersticijskemu vodnemu pritisku $u_{w sr.}$, ki se nanaša na interno ali zunanjo efektivno horizontalno površino A_h' , ki jo definiramo kot:

$$A_h' = \mu \times A_h$$

Kjer je μ koeficient redukcije površine. Torej velja:

$$P_u = \mu \times A_h \times u_{w sr.}$$

In v primeru, da v pregradi ni vgrajene razbremenilne drenaže znaša vzgonska sila:

- Prerez z zapornico

OBTEŽNI PRIMER 1

$$\begin{aligned} P_u &= \mu \times A_h \times \rho \times g \times \left(\frac{z_2 + z_3}{2} \right) = 1,00 \times 3,00m \times 1000 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times \left(\frac{2,14m + 1,83m}{2} \right) \\ &= 58418,60 \frac{N}{m} = 58,42 \frac{kN}{m} \end{aligned}$$

Za analitične potrebe običajno privzamemo vrednost $\mu = 1,00$.

OBTEŽNI PRIMER 2

V primeru potopljenega jezua je sila vzgona enaka teži izpodrinjene tekočine.

$$P_{u,max} = A_1 \times \rho \times g = 5,26m^2 \times 1000 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} = 51600,6 \frac{kN}{m} = 51,60 \frac{kN}{m}$$

- Prerez s fiksnim prelivnim poljem

OBTEŽNI PRIMER 1

$$\begin{aligned} P_u &= \mu \times A_h \times \rho \times g \times \left(\frac{z_2 + z_3}{2} \right) = 1,00 \times 3,00m \times 1000 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times \left(\frac{3,20m + 1,73m}{2} \right) \\ &= 72545 \frac{N}{m} = 72,55 \frac{kN}{m} \end{aligned}$$

Za analitične potrebe običajno privzamemo vrednost $\mu = 1,00$.

OBTEŽNI PRIMER 2

V primeru potopljenega jezua je sila vzgona enaka teži izpodrinjene tekočine.

$$P_{u,max} = A_2 \times \rho \times g = 7,68m^2 \times 1000 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} = 75340,8 \frac{kN}{m} = 75,34 \frac{kN}{m}$$

2.3 VARNOST NA ZDRS

Izpolnjena mora biti naslednja neenakost:

$$H_d \leq R_d + R_{p;d}$$

Trenje med zemljino in temeljem:

$$\delta_{a,d} = \varphi_d = 36,0^\circ$$

Naklon temelja :

$$\alpha_{temelja} = 9,6^\circ$$

Vsota horizontalnih in vertikalnih projektnih vrednosti sil :

- Prerez z zapornico

OBTEŽNI PRIMER 1

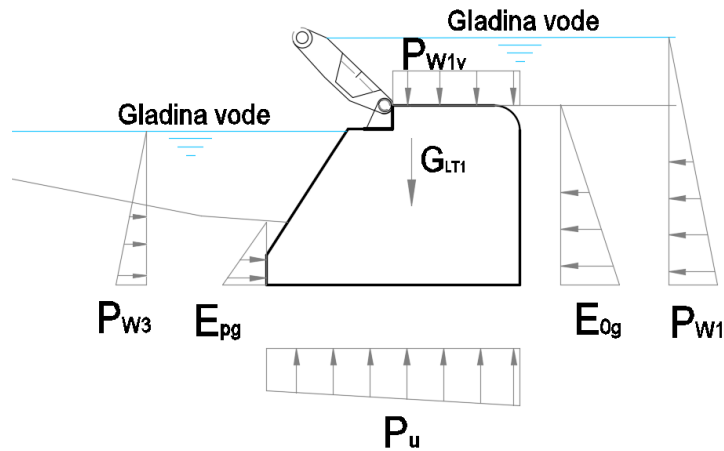
$$\begin{aligned} H_d &= 1,1 E_{0gh} + 1,0 (P_{w1} + P_{w2} - P_{w3}) - 0,9 E_{pgh} \\ &= 1,1 \times 10,25 \frac{kN}{m} + 1,0 \times \left(3,14 \frac{kN}{m} + 39,26 \frac{kN}{m} - 16,42 \frac{kN}{m} \right) - 0,9 \times 28,28 \frac{kN}{m} \\ &= 11,80 \frac{kN}{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_d &= 0,90 G_{LT1} + 1,1 E_{0gv} + 1,0 P_{w1v} - 1,0 P_u + 0,9 E_{pgv} \\ &= 0,90 \times 131,50 \frac{kN}{m} + 1,1 \times 4,28 \frac{kN}{m} + 1,0 \times 11,78 \frac{kN}{m} - 1,0 \times 58,42 \frac{kN}{m} + 0,9 \\ &\quad \times 0 \frac{kN}{m} = 76,42 \frac{kN}{m} \end{aligned}$$

Drenirano stanje :

$$\begin{aligned} R_d &= \frac{V_d \times \tan(\delta_{a,p})}{\gamma_h} = \frac{76,42 \frac{kN}{m} \times \tan(36^\circ)}{1,1} = 50,47 \frac{kN}{m} \\ 11,80 \frac{kN}{m} &\leq 50,47 \frac{kN}{m} \end{aligned}$$

Pogoj je izpolnjen !



OBTEŽNI PRIMER 2

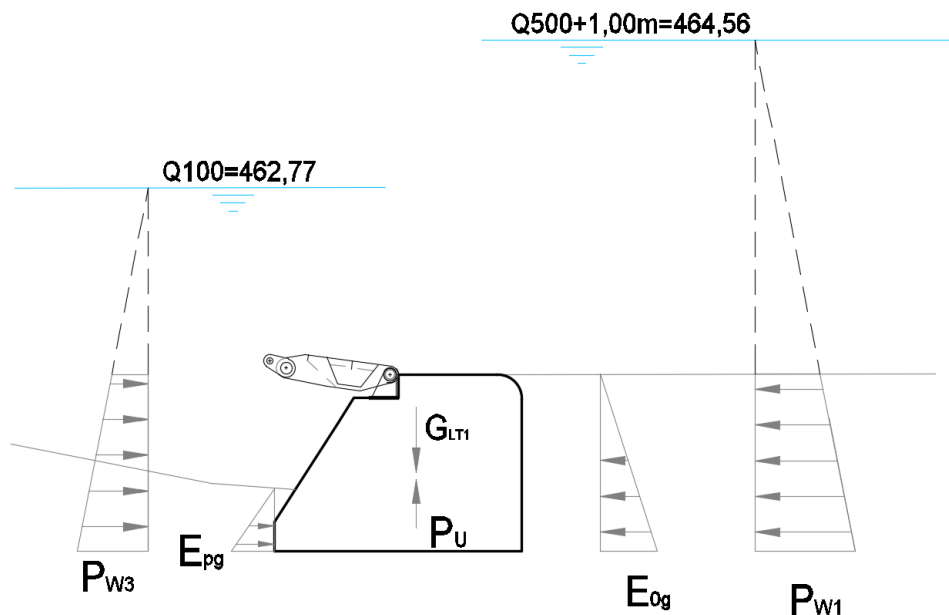
$$\begin{aligned}
 H_d &= 1,1 E_{0gh} + 1,0 (P_{w1} - P_{w3}) - 0,9 E_{pgh} \\
 &= 1,1 \times 10,25 \frac{kN}{m} + 1,0 \times \left(107,71 \frac{kN}{m} - 70,34 \frac{kN}{m} \right) - 0,9 \times 28,28 \frac{kN}{m} = 23,19 \frac{kN}{m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_d &= 0,90 G_{LT1} + 1,1 E_{0gv} - 1,0 P_u + 0,9 E_{pgv} \\
 &= 0,90 \times 131,50 \frac{kN}{m} + 1,1 \times 4,28 \frac{kN}{m} - 1,0 \times 51,60 \frac{kN}{m} + 0,9 \times 0 \frac{kN}{m} = 71,46 \frac{kN}{m}
 \end{aligned}$$

Drenirano stanje :

$$\begin{aligned}
 R_d &= \frac{V_d \times \tan(\delta_{a,p})}{\gamma_h} = \frac{71,46 \frac{kN}{m} \times \tan(36^\circ)}{1,1} = 47,20 \frac{kN}{m} \\
 23,19 \frac{kN}{m} &\leq 47,20 \frac{kN}{m}
 \end{aligned}$$

Pogoj je izpolnjen !



- Prerez s fiksnim prelivnim poljem

OBTEŽNI PRIMER 1

$$\begin{aligned}
 H_d &= 1,1 E_{0gh} \cos \alpha_{temelja} + 1,0 (P_{w1} - P_{w3}) \cos \alpha_{temelja} - 0,9 G_{LT1} \times \sin \alpha_{temelja} \\
 &\quad - 0,9 E_{pgh} \cos \alpha_{temelja} \\
 &= 1,1 \times 22,92 \frac{kN}{m} \times \cos(9,6^\circ) + 1,0 \times (50,22 \frac{kN}{m} - 14,68 \frac{kN}{m}) \times \cos(9,6^\circ) - 0,9 \\
 &\quad \times 192,0 \frac{kN}{m} \sin(9,6^\circ) - 0,9 \times 28,28 \frac{kN}{m} \cos(9,6^\circ) = 5,99 \frac{kN}{m}
 \end{aligned}$$

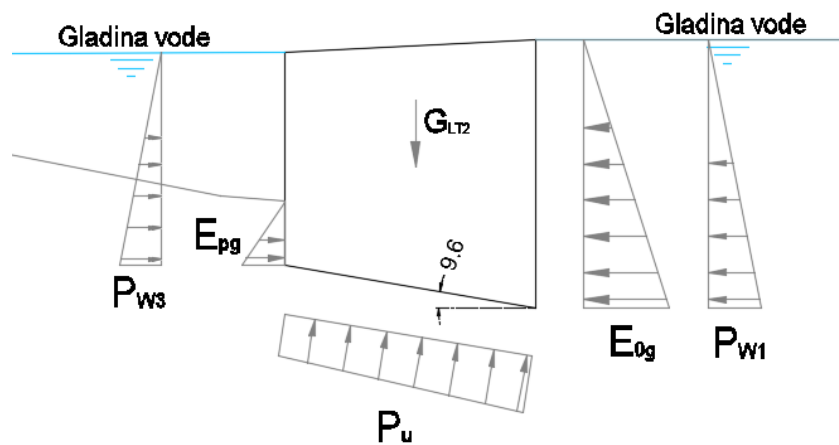
$$\begin{aligned}
 V_d &= 0,90 G_{LT2} \cos \alpha_{temelja} + 1,1 E_{0gv} \sin \alpha_{temelja} - 1,0 P_u + 0,9 E_{pgh} \sin \alpha_{temelja} \\
 &= 0,90 \times 192,00 \frac{kN}{m} \cos(9,6^\circ) + 1,1 \times 9,57 \frac{kN}{m} \sin(9,6^\circ) - 1,0 \times 72,55 \frac{kN}{m} + 0,9 \\
 &\quad \times 28,28 \frac{kN}{m} \sin(9,6^\circ) = 103,83 \frac{kN}{m}
 \end{aligned}$$

Drenirano stanje :

$$R_d = \frac{V_d \times \tan(\delta_{a,p})}{\gamma_h} = \frac{103,83 \frac{kN}{m} \times \tan(36^\circ)}{1,1} = 68,58 \frac{kN}{m}$$

$$5,99 \frac{kN}{m} \leq 68,58 \frac{kN}{m}$$

Pogoj je izpolnien !



OBTEŽNI PRIMER 2

$$\begin{aligned}
 H_d &= 1,1 E_{0gh} \cos \alpha_{temelja} + 1,0(P_{w1} - P_{w3}) \cos \alpha_{temelja} - 0,9G_{LT2} \times \sin \alpha_{temelja} \\
 &\quad + 1,0 P_u \sin \alpha_{temelja} - 0,9 E_{pgh} \cos \alpha_{temelja} \\
 &= 1,1 \times 22,92 \frac{kN}{m} \cos(9,6^\circ) + 1,0(157,26 \frac{kN}{m} - 75,74 \frac{kN}{m}) \cos(9,6^\circ) - 0,9 \\
 &\quad \times 192,0 \frac{kN}{m} \sin(9,6^\circ) + 1,0 \times 75,34 \frac{kN}{m} \sin(9,6^\circ) - 0,9 \times 28,28 \frac{kN}{m} \cos(9,6^\circ) \\
 &= 63,89 \frac{kN}{m}
 \end{aligned}$$

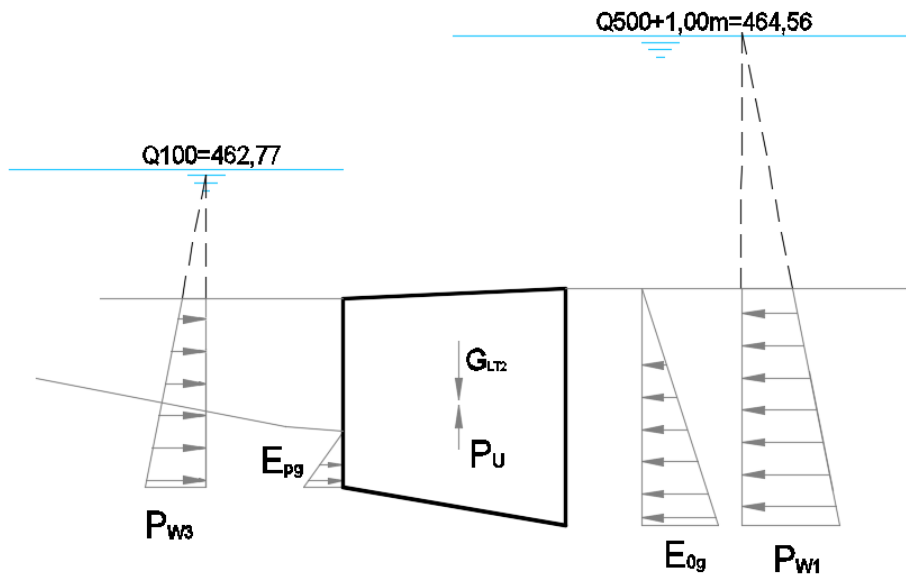
$$\begin{aligned}
 V_d &= 0,90G_{LT2} \times \cos \alpha_{temelja} + 1,1 E_{ogv} \sin \alpha_{temelja} - 1,0P_u \cos \alpha_{temelja} + 0,9E_{pgh} \sin \alpha_{temelja} \\
 &= 0,90 \times 192,00 \frac{kN}{m} \cos(9,6^\circ) + 1,1 \times 9,57 \frac{kN}{m} \sin(9,6^\circ) - 1,0 \times 75,34 \frac{kN}{m} \cos(9,6^\circ) \\
 &\quad + 0,90 \times 28,28 \frac{kN}{m} \sin(9,6^\circ) = 102,10 \frac{kN}{m}
 \end{aligned}$$

Drenirano stanje :

$$R_d = \frac{V_d \times \tan(\delta_{a,p})}{\gamma_h} = \frac{102,10 \frac{kN}{m} \times \tan(36^\circ)}{1,1} = 67,43 \frac{kN}{m}$$

$$63,89 \frac{kN}{m} \leq 67,43 \frac{kN}{m}$$

Pogoj je izpolnjen !



2.4 VARNOST NA PREVRNITEV

Izpolnjena mora biti naslednja neenakost:

$$M_P \leq M_d$$

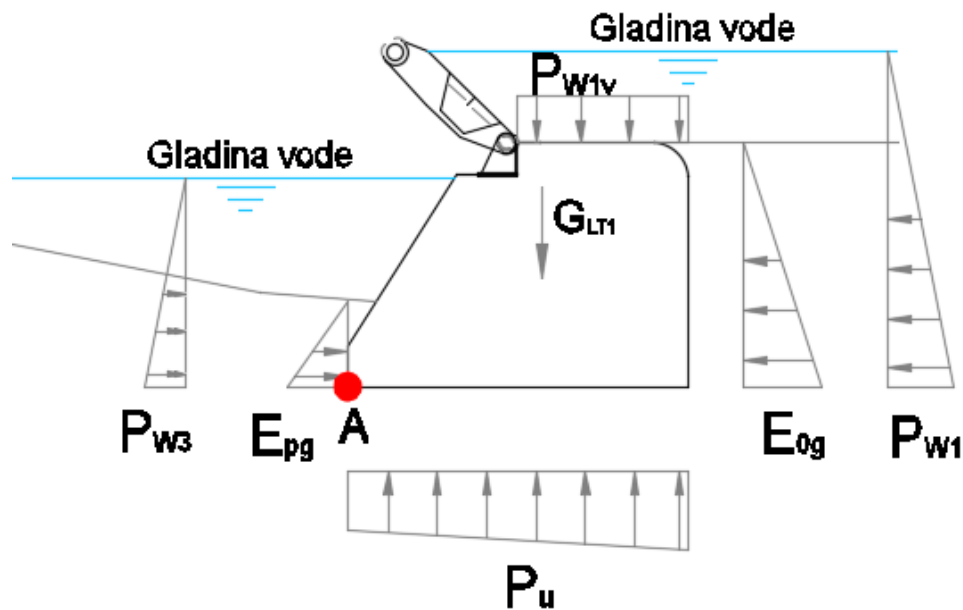
2.4.1 Moment odpora M_d

- Prerez z zapornico

OBTEŽNI PRIMER 1

$$M_d = 0,90 \times G_{LT1} \times r_{LT1} + 0,90 \times E_{0gv} \times r_{0gv} + 1,0 \times P_{w1v} \times r_{w1v} - 1,0 \times P_u \times r_u$$

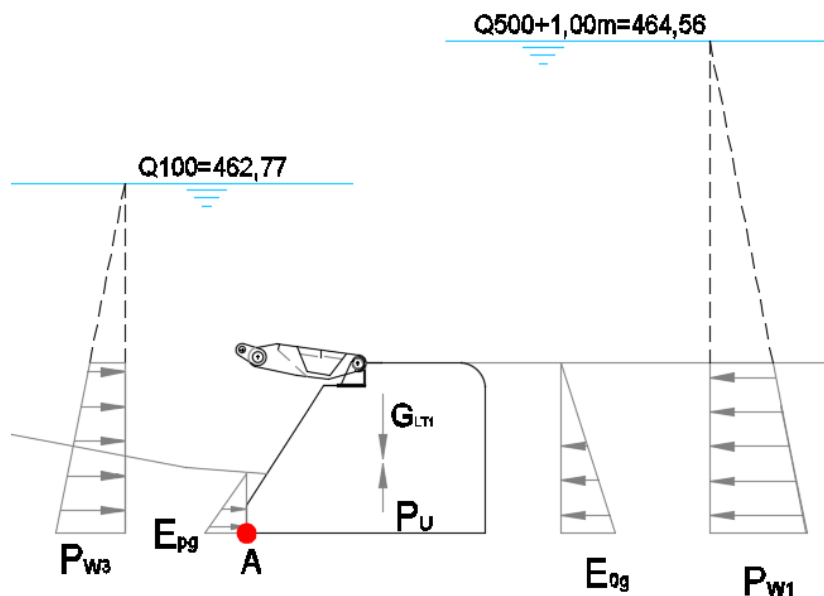
$$M_d = 0,90 \times 131,50 \frac{kN}{m} \times 1,72 m + 0,90 \times 4,28 \frac{kN}{m} \times 3,00 m + 1,0 \times 11,78 \frac{kN}{m} \times 2,20 m - 1,0 \times 58,42 \frac{kN}{m} \times 1,54 m = 151,07 \frac{kNm}{m}$$



OBTEŽNI PRIMER 2

$$M_d = 0,90 \times G_{LT1} \times r_{LT1} + 0,90 \times E_{0gv} \times r_{0gv} - 1,0 \times P_u \times r_u$$

$$M_d = 0,90 \times 131,50 \frac{kN}{m} \times 1,72 m + 0,90 \times 4,28 \frac{kN}{m} \times 3,00 m - 1,0 \times 51,60 \frac{kN}{m} \times 1,72 m = 126,37 \frac{kNm}{m}$$



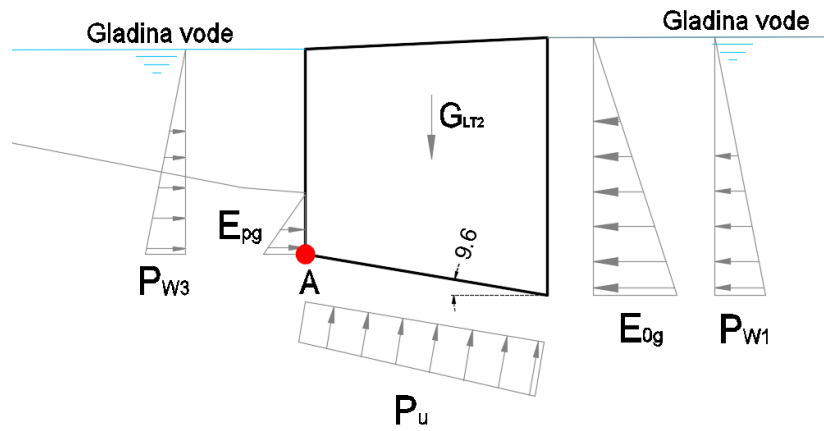
- Prerez s fiksnim prelivnim poljem

OBTEŽNI PRIMER 1

$$M_d = 0,90 \times G_{LT2} \times r_{LT2} + 0,90 \times E_{ogv} \times r_{ogv} - 1,0 \times P_u \times r_u$$

$$M_d = 0,90 \times 192,00 \frac{kN}{m} \times 1,56 m + 0,90 \times 9,57 \frac{kN}{m} \times 3,00 m - 1,0 \times 72,55 \frac{kN}{m} \times 1,66 m$$

$$= 174,97 \frac{kNm}{m}$$

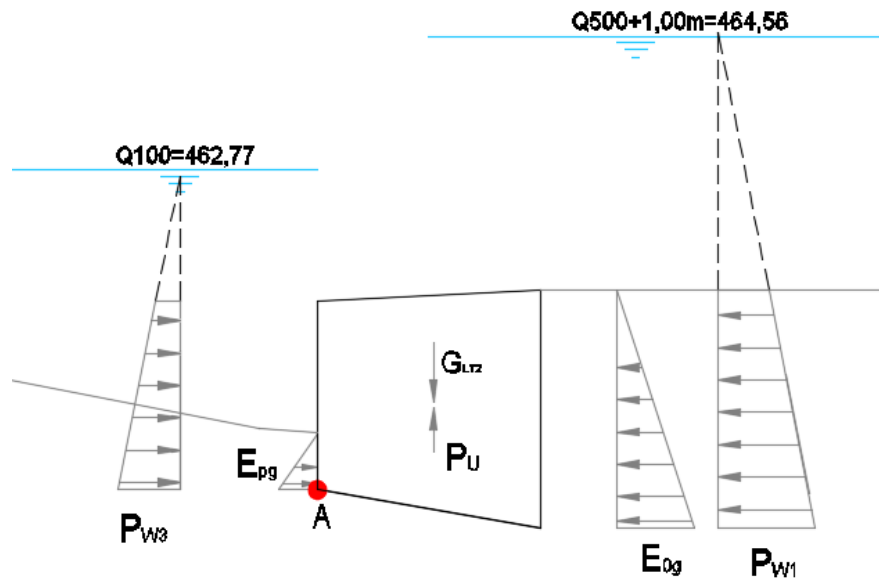


OBTEŽNI PRIMER 2

$$M_d = 0,90 \times G_{LT2} \times r_{LT2} + 0,90 \times E_{0gv} \times r_{0gv} - 1,0 \times P_u \times r_u$$

$$M_d = 0,90 \times 192,00 \frac{kN}{m} \times 1,56 m + 0,90 \times 9,57 \frac{kN}{m} \times 3,00 m - 1,0 \times 75,34 \frac{kN}{m} \times 1,56 m$$

$$= 177,88 \frac{kNm}{m}$$



2.4.2 Moment prevrnitve M_p

- Prerez z zapornico

OBTEŽNI PRIMER 1

$$M_p = 1,10 \times E_{ogh} \times r_{ogh} - 0,90 \times E_{pgh} \times r_{pgh} + 1,0 \times P_w \times r_w - 0,90 \times P_{w3} \times r_{w3}$$

$$M_p = 1,10 \times 10,25 \frac{kN}{m} \times 0,71 m - 0,90 \times 28,28 \frac{kN}{m} \times 0,25 m + 1,0 \times 28,84 \frac{kN}{m} \times 0,98 m - 0,90 \times 16,42 \frac{kN}{m} \times 0,61 m = 20,89 \frac{kNm}{m}$$

OBTEŽNI PRIMER 2

$$M_p = 1,10 \times E_{ogh} \times r_{ogh} - 0,90 \times E_{pgh} \times r_{pgh} + 1,0 \times P_{w1} \times r_{w1} - 0,90 \times P_{w3} \times r_{w3}$$

$$M_p = 1,10 \times 10,25 \frac{kN}{m} \times 0,71 m - 0,90 \times 28,28 \frac{kN}{m} \times 0,25 m + 1,0 \times 107,71 \frac{kN}{m} \times 0,995 m - 0,90 \times 70,34 \frac{kN}{m} \times 0,96 m = 48,04 \frac{kNm}{m}$$

- Prerez s fiksnim prelivnim poljem

OBTEŽNI PRIMER 1

$$M_p = 1,10 \times E_{ogh} \times r_{ogh} - 0,90 \times E_{pgh} \times r_{pgh} + 1,0 \times P_{w1} \times r_{w1} - 0,90 \times P_{w3} \times r_{w3}$$

$$M_p = 1,10 \times 22,92 \frac{kN}{m} \times 0,56 m - 0,90 \times 28,28 \frac{kN}{m} \times 0,25 m + 1,0 \times 50,22 \frac{kN}{m} \times 0,56 m - 0,90 \times 14,68 \frac{kN}{m} \times 0,58 m = 28,22 \frac{kNm}{m}$$

OBTEŽNI PRIMER 2

$$M_p = 1,10 \times E_{ogh} \times r_{ogh} - 0,90 \times E_{pgh} \times r_{pgh} + 1,0 \times P_{w1} \times r_{w1} - 0,90 \times P_{w3} \times r_{w3}$$

$$M_p = 1,10 \times 22,92 \frac{kN}{m} \times 0,56 m - 0,90 \times 28,28 \frac{kN}{m} \times 0,25 m + 1,0 \times 157,26 \frac{kN}{m} \times 0,91 m - 0,90 \times 75,74 \frac{kN}{m} \times 1,09 m = 76,56 \frac{kNm}{m}$$

Vsi pogoji so izpolnjeni !

2.5 LEGA IN NAKLON REZULTANTE

- Prerez z zapornico

OBTEŽNI PRIMER 1

$$\sum M^T = 0,90 \times G_{LT1} \times r_{LT1} + 0,90 \times E_{0gv} \times r_{0gv} + 1,0 \times P_{w1v} \times r_{w1v} - 1,0 \times P_u \times r_u - 1,10 \times E_{0gh} \times r_{0gh} + 0,90 \times E_{pgh} \times r_{pgh} - 1,0 \times P_{w1} \times r_{w1} + 0,90 \times P_{w3} \times r_{w3}$$

$$\begin{aligned} \sum M^T &= 0,90 \times 131,50 \frac{kN}{m} \times 0,22m + 0,90 \times 4,28 \frac{kN}{m} \times 1,50m + 1,0 \times 11,78 \frac{kN}{m} \times 0,75m - 1,0 \\ &\times 58,42 \frac{kN}{m} \times 0,04m - 1,10 \times 10,25 \frac{kN}{m} \times 0,71m + 0,90 \times 28,28 \frac{kN}{m} \times 0,25m - 1,0 \\ &\times 28,84 \frac{kN}{m} \times 0,98m + 0,90 \times 16,42 \frac{kN}{m} \times 0,61m = 17,42 \frac{kNm}{m} \end{aligned}$$

$$e = \frac{\sum M^T}{V_d} = \frac{17,42}{76,42} = 0,23m < j = \frac{b}{6} = 0,50m$$

Rezultanta je v jedru prereza, kar pomeni, da so vse napetosti na osnovni ploskvi temelja tlačne.

$$\text{Efektivna širina: } b' = b - 2|e| = 3,00m - 2 \times 0,23m = 2,54m$$

$$\text{Efektivna površina: } A' = 1,0 \times b' = 1,0 \times 2,54 = 2,54m^2$$

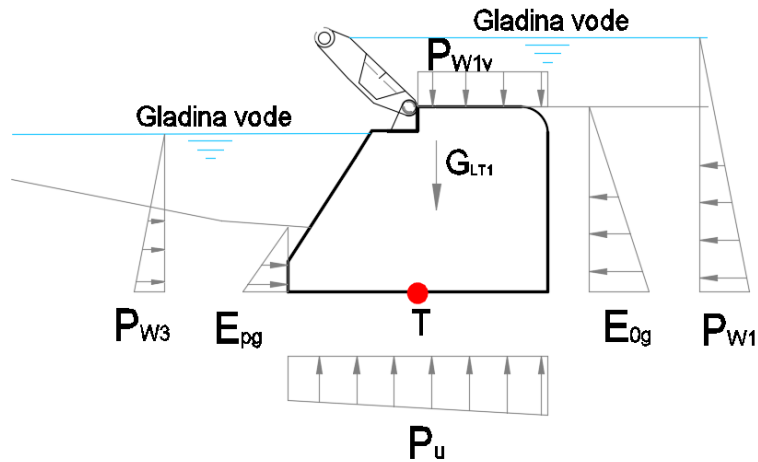
$$\sigma_{L,D} = \frac{\sum V_d}{b} \times \left(1 \mp \frac{6 \times e}{b} \right) = \frac{76,42}{3,0} \times \left(1 \mp \frac{6 \times (0,23)}{3,0} \right)$$

$$\sigma_L = 13,75 \text{ kPa}$$

$$\sigma_D = 37,19 \text{ kPa}$$

Naklon rezultante :

$$\tan \theta = \frac{H_d}{V_d} = \frac{11,80}{76,42} \rightarrow \theta = 8,78^\circ$$



OBTEŽNI PRIMER 2

$$\sum M^T = 0,90 \times G_{LT1} \times r_{LT1} + 0,90 \times E_{0gv} \times r_{0gv} - 1,0 \times P_u \times r_u - 1,10 \times E_{0gh} \times r_{0gh} + 0,90 \times E_{pgh} \times r_{pgh} - 1,0 \times P_{w1} \times r_{w1} + 0,90 \times P_{w3} \times r_{w3}$$

$$\begin{aligned} \sum M^T &= 0,90 \times 131,50 \frac{kN}{m} \times 0,22 m + 0,90 \times 4,28 \frac{kN}{m} \times 1,50m - 1,0 \times 51,60 \frac{kN}{m} \times 0,22m - 1,10 \\ &\times 10,25 \frac{kN}{m} \times 0,71m + 0,90 \times 28,28 \frac{kN}{m} \times 0,25m - 1,0 \times 107,71 \frac{kN}{m} \times 0,995m \\ &+ 0,90 \times 70,34 \frac{kN}{m} \times 0,956m = -27,83 \frac{kNm}{m} \end{aligned}$$

$$e = \frac{\sum M^T}{V_d} = \frac{-27,83}{71,46} = -0,39m < j = \frac{b}{6} = 0,50m$$

Rezultanta je v jedru prereza, kar pomeni, da so vse napetosti na osnovni ploskvi temelja tlačne.

$$\text{Efektivna širina: } b' = b - 2|e| = 3,00m - 2 \times 0,39m = 2,22m$$

$$\text{Efektivna površina: } A' = 1,0 \times b' = 1,0 \times 2,22 = 2,22m^2$$

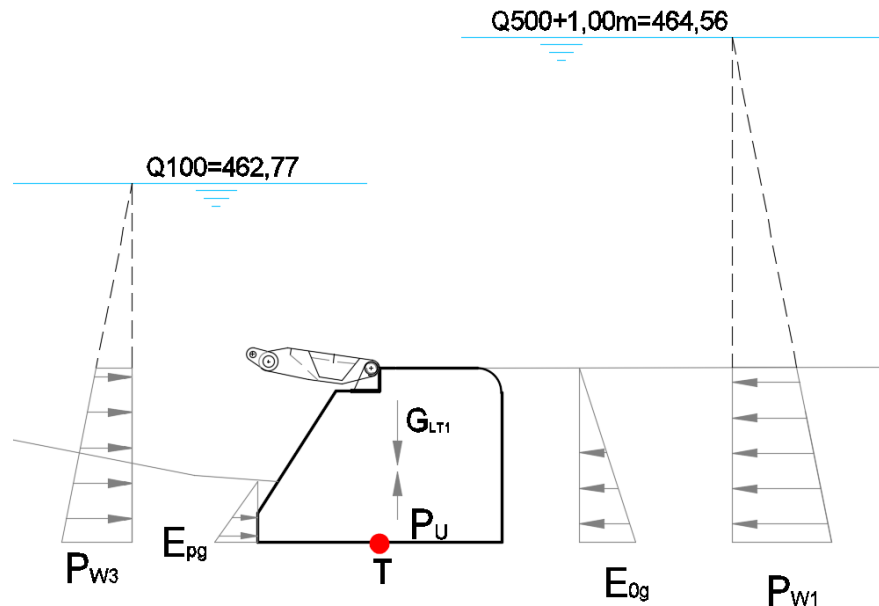
$$\sigma_{L,D} = \frac{\sum V_d}{b} \times \left(1 \mp \frac{6 \times e}{b}\right) = \frac{71,46}{3,0} \times \left(1 \mp \frac{6 \times (-0,39)}{3,0}\right)$$

$$\sigma_L = 42,40 \text{ kPa}$$

$$\sigma_D = 5,24 \text{ kPa}$$

Naklon rezultante :

$$\tan \theta = \frac{H_d}{V_d} = \frac{23,19}{71,46} \rightarrow \theta = 17,98^\circ$$



- Prerez s fiksnim prelivnim poljem

OBTEŽNI PRIMER 1

$$\sum M^T = 0,90 \times G_{LT2} \times r_{LT2} + 0,90 \times E_{ogv} \times r_{ogv} - 1,0 \times P_u \times r_u - 1,10 \times E_{ogh} \times r_{ogh} + 0,90 \times E_{pgh} \times r_{pgh} - 1,0 \times P_{w1} \times r_{w1} + 0,90 \times P_{w3} \times r_{w3}$$

$$\sum M^T = 0,90 \times 192,00 \frac{kN}{m} \times 0,06 m + 0,90 \times 9,57 \frac{kN}{m} \times 1,50 m - 1,0 \times 72,55 \frac{kN}{m} \times 0,16m - 1,10 \times 22,92 \frac{kN}{m} \times 0,81m + 0,90 \times 28,28 \frac{kN}{m} \times 0,50m - 1,0 \times 50,22 \frac{kN}{m} \times 0,81m + 0,90 \times 14,68 \frac{kN}{m} \times 0,84m = -25,60 \frac{kNm}{m}$$

$$e = \frac{\sum M^T}{V_d} = \frac{-25,60}{103,83} = -0,25m < j = \frac{b}{6} = 0,50m$$

Rezultanta je v jedru prereza, kar pomeni, da so vse napetosti na osnovni ploskvi temelja tlačne.

Efektivna širina: $b' = b - 2|e| = 3,00\text{m} - 2 \times 0,25\text{m} = 2,50\text{m}$

Efektivna površina: $A' = 1,0 \times b' = 1,0 \times 2,50 = 2,50\text{m}^2$

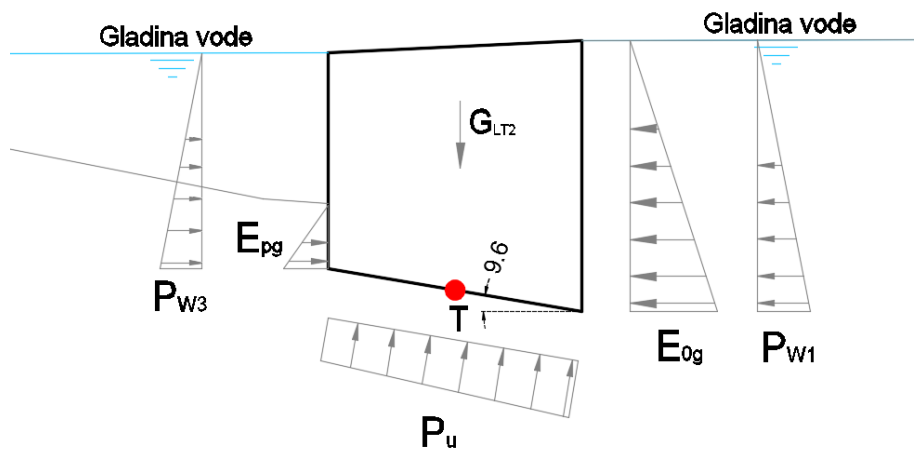
$$\sigma_{L,D} = \frac{\Sigma V_d}{b} \times \left(1 \mp \frac{6 \times e}{b}\right) = \frac{103,83}{3,0} \times \left(1 \mp \frac{6 \times (-0,25)}{3,0}\right)$$

$$\sigma_L = 51,92 \text{ kPa}$$

$$\sigma_D = 17,31 \text{ kPa}$$

Naklon rezultante :

$$\tan \theta = \frac{H_d}{V_d} = \frac{5,99}{103,83} \rightarrow \theta = 3,30^\circ$$



OBTEŽNI PRIMER 2

$$\begin{aligned} \sum M^T = & 0,90 \times G_{LT2} \times r_{LT2} + 0,90 \times E_{ogv} \times r_{ogv} - 1,0 \times P_u \times r_u - 1,10 \times E_{ogh} \times r_{ogh} + 0,90 \\ & \times E_{pgh} \times r_{pgh} - 1,0 \times P_{w1} \times r_{w1} + 0,90 \times P_{w3} \times r_{w3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum M^T = & 0,90 \times 192,00 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \times 0,06 \text{ m} + 0,90 \times 9,57 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \times 1,50 \text{ m} - 1,0 \times 75,34 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \times 0,06 \text{ m} - 1,10 \\ & \times 22,92 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \times 0,81 + 0,90 \times 28,28 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \times 0,50 \text{ m} - 1,0 \times 157,26 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \times 1,17 \text{ m} + 0,90 \\ & \times 75,74 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \times 1,35 \text{ m} = -80,90 \frac{\text{kNm}}{\text{m}} \end{aligned}$$

$$e = \frac{\sum M^T}{V_d} = \frac{-80,90}{102,10} = -0,79m < j = \frac{b}{6} = 0,50m$$

Kadar je $b/6 < e < 3b/10$, izračunamo kontaktne tlake z izključitvijo natezne cone in s predpostavko, da deluje V_d v težišču trikotne razporeditve kontaktnih tlakov ($\frac{3b}{10} = 0,90m$).

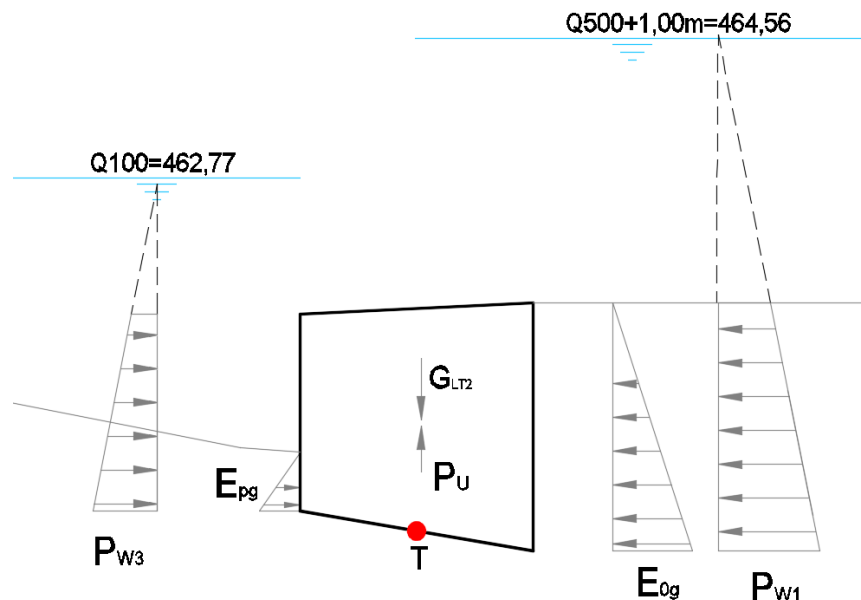
$$\text{Efektivna širina: } b' = b - 2|e| = 3,00m - 2 \times 0,79m = 1,42m$$

$$\text{Efektivna površina: } A' = 1,0 \times b' = 1,0 \times 1,42 = 1,42m^2$$

$$\sigma_R = \frac{2 \sum V_d}{3(\frac{b}{2} - e)} = \frac{2 \times 102,10}{3(\frac{3}{2} + 0,79)} = 29,72$$

Naklon rezultante :

$$\tan \theta = \frac{H_d}{V_d} = \frac{63,89}{102,10} \rightarrow \theta = 32,04^\circ$$



2.6 REZULTATI ANALIZE

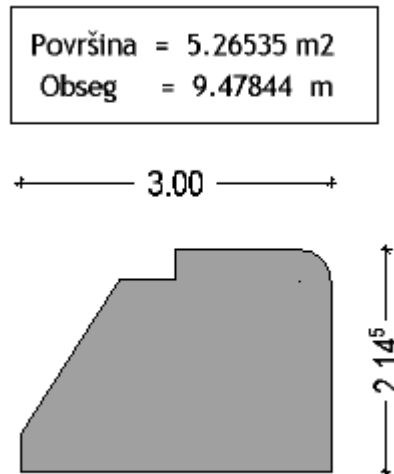
Rezultati statične analize kažejo, da globalna stabilnost jezua v delu jezua z zapornico in v fiksnem prelivnem polju zadostuje vsem pogojem.

Iz izračunov lahko zaključimo, da je jeza v delu z zapornico in v fiksnem delu v predvidenih dimenzijah ustrezen in stabilen.

2.7 DIMENZIONIRANJE PO STANDARDU EC2

2.7.1 Prerez z zapornico

2.7.1.1 Karakteristike prereza



2.7.1.2 Minimalna potrebna armatura v AB prerezu (obe smeri)

Minimalna potrebna armatura AB elementa

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d \geq 0,013 \cdot b_t \cdot d$$

višina elementa **d** [cm]: 210,00

širina elementa **b_t** [cm]: 100,00

srednja vrednost natezne trdnosti betona **f_{ctm}** [MPa]: 2,20

karakteristična meja plastičnosti **f_{yk}** [MPa]: 500,00

$$A_{s,min} = 24,02 \text{ cm}^2$$

2.7.1.3 Minimalna potrebna armatura zaradi omejitve razpok ob vgradnji betona (hidratacija cementsa)

- upoštevamo premer armature, ki smo ga izbrali na podlagi preostalih dveh kriterijev za določitev potrebne (minimalne) armature;
- predpostavimo, da je celoten obravnavan betonski prerez v nategu;

2.7.1.3.1 Vzdolžna armatura, $A=5.27 \text{ m}^2$

$$A_{s,min} = 1 \cdot 0,65 \cdot \frac{1,1 \cdot 5,27}{172} = 219,1 \text{ cm}^2$$

2.7.1.3.2 Prečna armatura, $A=2.15 \times 1.0=2.15 \text{ m}^2$

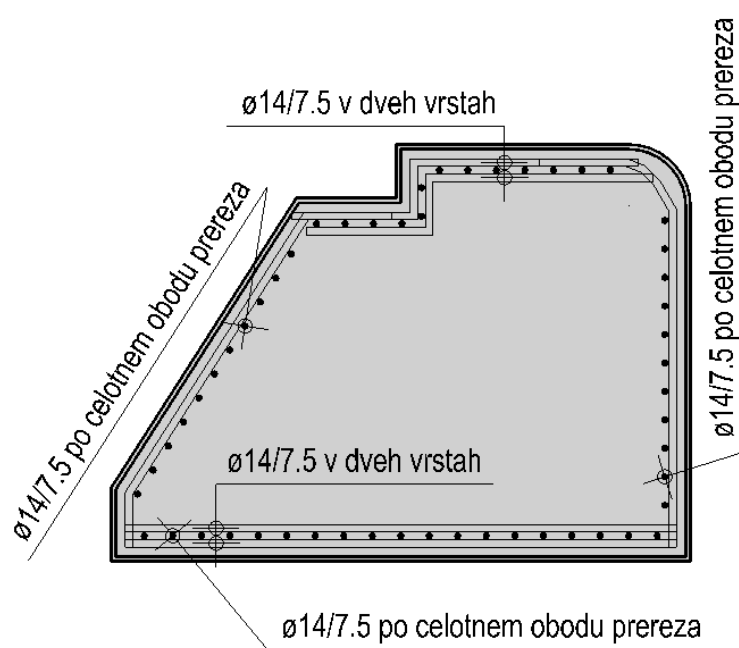
$$A_{s,min} = 1 \cdot 0,65 \cdot \frac{1,1 \cdot 2,15}{172} = 89,4 \text{ cm}^2$$

2.7.1.4 Skica armature

Kot merodajno smo privzeli količino potrebne armature, ki smo jo dobili zaradi kriterija pojava razpok oz. hidratacije prereza v dneh po betoniranju. V skici armature je tako označena potrebna količina in razporeditev glavne nosilne armature, preostali detajli armature se določijo v projektu PZI.

Vzdolžna armatura: izberemo armaturne palice premera $\theta = 14\text{ mm}$, $\frac{219,1\text{ cm}^2}{1,54\text{ cm}^2} \sim 145\text{ palic}$, ki so razporejene enakomerno po celotnem prerezu oboda na razdalji $e=6.5\text{ cm}$ (cca 146 palic).

Prečna armatura: izberemo armaturne palice premera $\theta = 14\text{ mm}$, $\frac{89,4\text{ cm}^2}{1,54\text{ cm}^2} \sim 58\text{ palic}/m'$. Palice razporedimo enakomerno v spodnji in zgornji coni in sicer v vsaki coni v dve vrsti na enakomernem razmaku $e=6.5\text{ cm}$ oz. cca $23.68\text{ cm}^2/m'$.



3 DOLENČEV JEZ

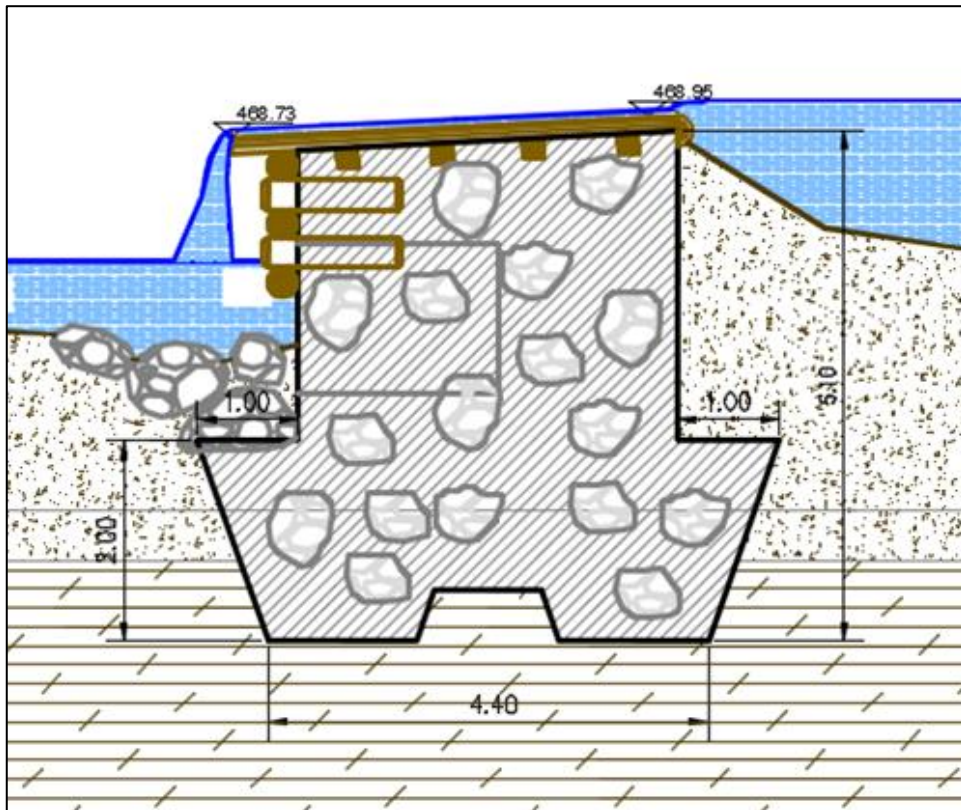
3.1 SPLOŠNO

Rekonstruirani jez je zasnovan s podaljškom desnega roba v obliki črke J (zrcalna slika). Prečni prerez jezcu je načrtovan v obliki kaštnih zidov. Telo jezcu je izvedeno iz betona C18/20 v katerega se vgradi do 30% skal. Jez je temeljen v hribinsko podlago. Temelj se vkoplje do kote 463,50 m n.m., kar je približno 1 m pod koto vrha podlage. Temelj je stopničaste oblike (preprečitev zdrsa). Obstoječi jez se vgradi v novo telo. Tlorisno je jez lomljene oblike. Širina betonskega dela jezcu je 4,0 m, maksimalna višina pa 5,1 m.



3.1.1 Osnovni podatki o konstrukciji jezcu

Telo jezcu se izvede z iz betona C18/20, ki se dopolni s skalami do 30%.



3.1.2 Geološko – geomehanske osnove

Geološka sestava na območju Dolenčevega jezua je bila preverjena z vrtino V-7, ki je bila zavrtana na območju, kjer se predvideva izgradnja nasipa. Pod nasipom debeline do 1,0 m leži plast peščenega do zameljenega proda (GW-GM) do globine 3,0m. Pod peščenim prodom leži še plast nekoliko bolj zameljenega do zaglinjenega proda (GM-GC), ki sega vse do hribinske podlage iz apnenca, ki začenja na globini 6,1m.

3.1.3 Osnovne predpostavke stabilitetne analize

V statični analizi smo predvideli naslednje obtežne primere.

OBTEŽNI PRIMER 1

- hidrostatični pritisk vode na gorvodni strani do višine fiksnega prelivnega polja
- hidrostatični pritisk na dolvodni strani
- vzgon z zveznim potekom med zgornjim in spodnjim delom jezua
- obtežba gorvodne zemljine
- pasivni zemeljski pritisk zemljine na temelj jezua v skalni podlagi



OBTEŽNI PRIMER 2

- hidrostatični pritisk vode na gorvodni strani pri gladini vode $Q_{500}+1,0\text{m}$, ter hidrostatični pritisk na dolvodni strani pri gladini vode Q_{100}
- vzgon, ki je enak teži izpodrinjene tekočine
- obtežba gorvodne zemljine
- pasivni zemeljski pritisk zemljine na temelj jezua v skalni podlagi

Preverili smo karakteristični prečni prerez preliva za nizke vode, ki je po naši oceni merodajen.

3.2 OBTEŽBE IN OBREMENTIVNE

Za statični izračun uporabimo projektni pristop 2 in varnostne faktorje iz EC7 za globalno stabilnost (EQU) :

- Projektni pristop 2 :

Kombinacija : A1 + M1 + R2		
A1	M1	R2
$\gamma_{G;dst} = 1,35$	$\gamma_{\varphi'} = 1,00$	$\gamma_v = 1,40$
$\gamma_{G;stb} = 1,00$	$\gamma_{c'} = 1,00$	$\gamma_h = 1,10$
$\gamma_{Q;dst} = 1,50$	$\gamma_{cu} = 1,00$	
	$\gamma_{qu} = 1,00$	
	$\gamma_Y = 1,00$	

- Varnostni faktorji iz EC7 za globalno stabilnost EQU :

VRSTA OBTEŽBE		DELNI KOLICNIKI	EQU	STR
STALNA G	Neugodno delovanje	γ_G	1,10	1,35
	Ugodno delovanje	$\gamma_{G,fav}$	0,90	1,00
SPREMENLJIVA Q	Neugodno delovanje	γ_Q	1,50	1,50
	Ugodno delovanje	$\gamma_{Q,fav}$	0,00	0,00

3.2.1

3.2.2 Stalni vplivi na konstrukcijo – lastna teža

$$G_{LT1} = \gamma_b \times A_1 = 25,00 \frac{kN}{m^3} \times 21,00m^2 = 525,00 \frac{kN}{m}$$

Kot merodajni prerez uporabimo prečni prerez preliva za nizke vode.

3.2.3 Vplivi zemljine

Zasipna ploskev na gorvodni strani sestavlja sloj peska do peščenega melja z redkimi prodniki s sledečimi karakteristikami:

- prostorninska teža $\gamma_z = 21 \text{ kN/m}^3$
- strižni kot $\varphi = 34^\circ$
- kohezija $c = 0 \text{ kPa}$

Temeljna ploskev sega v sloj preperelega apnenca s polami skrilavca s sledečimi karakteristikami:

- prostorninska teža $\gamma_z = 26 \text{ kN/m}^3$
- strižni kot $\varphi = 36^\circ$
- kohezija $c = 54 \text{ kPa}$

Zasipna ploskev na dolvodni strani jezua je pusti beton s kamnom lomljencem s sledečimi karakteristikami:

- prostorninska teža $\gamma_z = 25 \text{ kN/m}^3$
- strižni kot $\varphi = 37^\circ$
- kohezija $c = 0 \text{ kPa}$

Projektne vrednosti strižnega kota in trenja med zaledno zemljino in zidom :

$$\varphi_d = \arctan \frac{\tan \varphi'}{\gamma_\varphi} = \arctan \frac{\tan 34^\circ}{1,00} = 34^\circ$$

$$\delta_{a,d} = \frac{2}{3} \varphi_d = 22,67^\circ$$

V primeru pasivnega pritiska upoštevamo :

$$\delta_{a,d} = 0$$

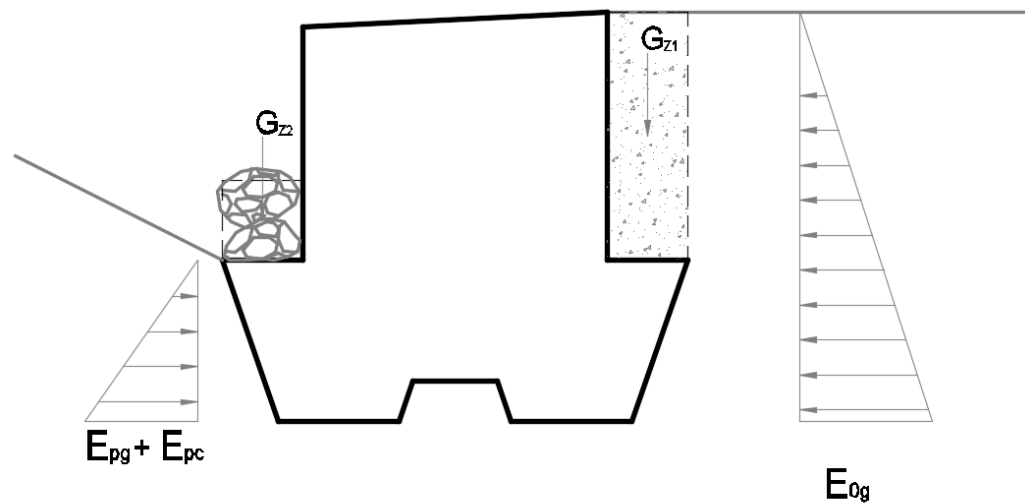
Mirni zemeljski pritisk ob upoštevanju nivoja podtalne vode:

$$E_{0g} = \frac{h^2}{2} (\gamma_z - \gamma_w) K_{0g} = \frac{(5,10 \text{ m})^2}{2} 11,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} 0,441 = 63,09 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$K_{0g} = 1 - \sin\varphi = 0,441 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$E_{0gh} = E_{0g} \cos(\delta_{a,d}) = 58,21 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$E_{0gv} = E_{0g} \sin(\delta_{a,d}) = 24,32 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$



Pasivni pritisk temeljne zemljine

Koeficient pasivnega zemeljskega pritiska:

$$K_{phg} = \frac{\cos^2(\varphi - \alpha)}{\cos^2\alpha \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\varphi - \delta_{a,p})\sin(\varphi + \beta)}{\cos(\alpha - \delta_{a,p})\cos(\alpha + \beta)}} \right]^2}$$

Pasivni zemeljski pritisk :

$$K_{phg} = 3,852$$

Horizontalna oz. vertikalna komponenta pasivnega zemeljskega pritiska :

$$E_{pgh} = \frac{h^2}{2} \gamma K_{pgh} = \frac{(2,00m)^2}{2} \times 26,0 \frac{kN}{m^3} \times 3,852 = 200,30 \frac{kN}{m}$$

$$E_{pgv} = E_{pgh} \tan(\delta_{a,p} - \alpha) = 200,30 \frac{kN}{m} \times \tan(0^\circ) = 0,0 \frac{kN}{m}$$

Prispevek zaradi kohezije temeljne zemljine na jez

$$E_{pch} = \pm h c K_{pch} = 2,00m \times 54 kPa \times 3,925 = 423,90 \frac{kN}{m}$$

$$E_{pcv} = E_{pch} \tan(\delta_{a,p} - \alpha) = 296,73 \frac{kN}{m} \times 0 = 0,0 \frac{kN}{m}$$

Upoštevano trenje med zemljino in zidom :

$$\delta_{a,d} = 0$$

Koeficient pasivnega zemeljskega pritiska :

$$K_{pch} = \frac{2 \cos\varphi \cos\beta(1 - \tan\alpha \tan\beta)\cos(\alpha - \delta_{a,p})}{1 - \sin(\varphi - \delta_{a,p} + \alpha + \beta)}$$

$$K_{pch} = 3,925$$

Teža zemljine nad temeljem

$$G_{z1} = \gamma_z \times A_1 = 21,00 \frac{kN}{m^3} \times 3,10m^2 = 65,10 \frac{kN}{m}$$

$$G_{z2} = \gamma_z \times A_1 = 25,00 \frac{kN}{m^3} \times 1,00m^2 = 25,00 \frac{kN}{m}$$

3.2.4 Vplivi vode

3.2.4.1 Hidrostatski pritisk

OBTEŽNI PRIMER 1

Na gorvodni strani : upoštevana gladina zgornje vode do jezu

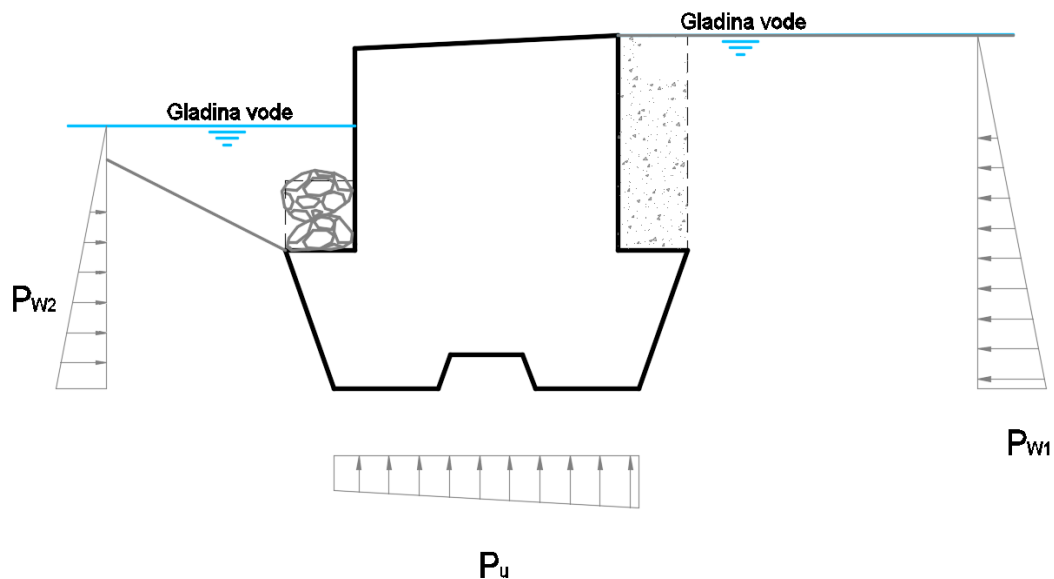
$$p_{w1} = \rho_w \times g \times z_1 = 1000 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times 5,10 m = 50031 \frac{N}{m^2} = 50,03 \frac{kN}{m^2}$$

$$P_{w1} = 50,03 \frac{kN}{m^2} \times \frac{5,10m}{2} = 127,58 \frac{kN}{m}$$

Na dolvodni strani : upoštevana gladina spodnje vode

$$p_{w2} = \rho_w \times g \times z_1 = 1000 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times 3,80 m = 37278 \frac{N}{m^2} = 37,28 \frac{kN}{m^2}$$

$$P_{w2} = 37,28 \frac{kN}{m^2} \times \frac{3,80m}{2} = 70,83 \frac{kN}{m}$$



OBTEŽNI PRIMER 2

Na gorvodni strani : upoštevana gladina vode $Q_{500} + 1,0m$

$$p_{w1zg} = \rho_w \times g \times z_1 = 1000 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times 3,52 m = 34531,2 \frac{N}{m^2} = 34,53 \frac{kN}{m^2}$$

$$p_{w1sp} = \rho_w \times g \times z_2 = 1000 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times 8,62 = 84562,2 \frac{N}{m^2} = 84,56 \frac{kN}{m^2}$$

$$P_{w1} = \left(\frac{p_{w1zg} + p_{w1sp}}{2} \right) \times (z_2 - z_1) = 59,55 \frac{kN}{m^2} \times 5,10 = 303,68 \frac{kN}{m}$$

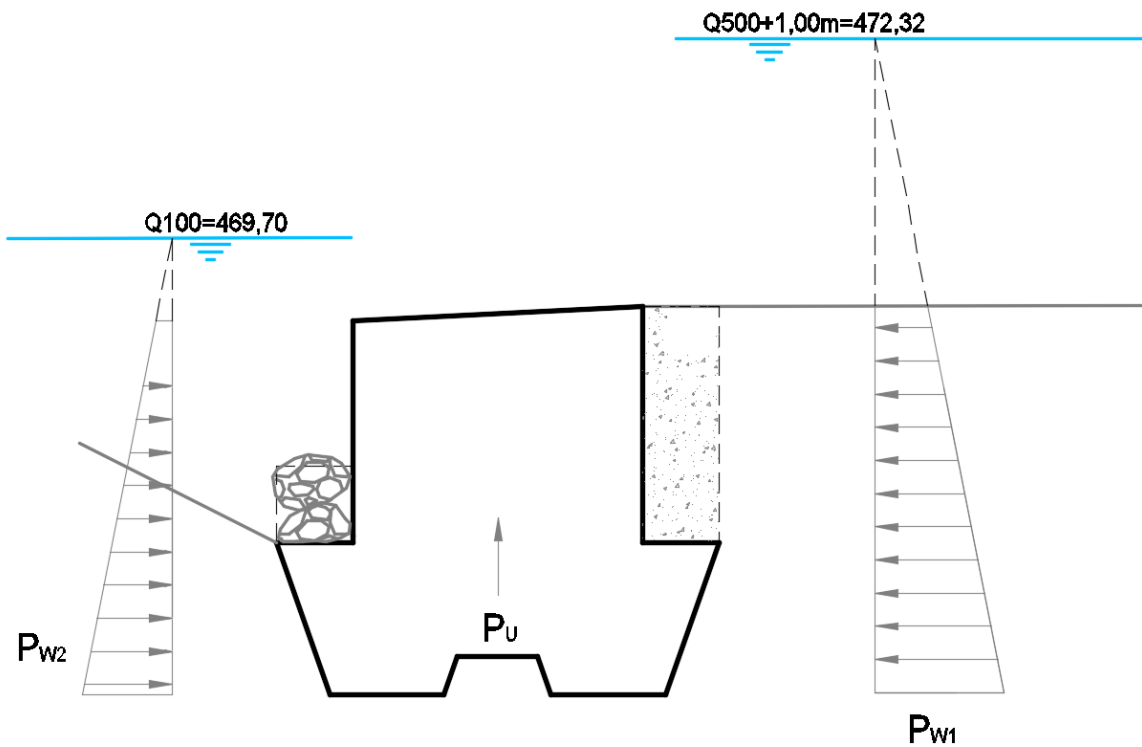
Na dolvodni strani : upoštevana gladina vode Q_{100}

$$p_{w2zg} = \rho_w \times g \times z_1 = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 1,09 \text{ m} = 10692,9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 10,69 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$p_{w2sp} = \rho_w \times g \times z_2 = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 6,00 \text{ m} = 58860 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 58,86 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

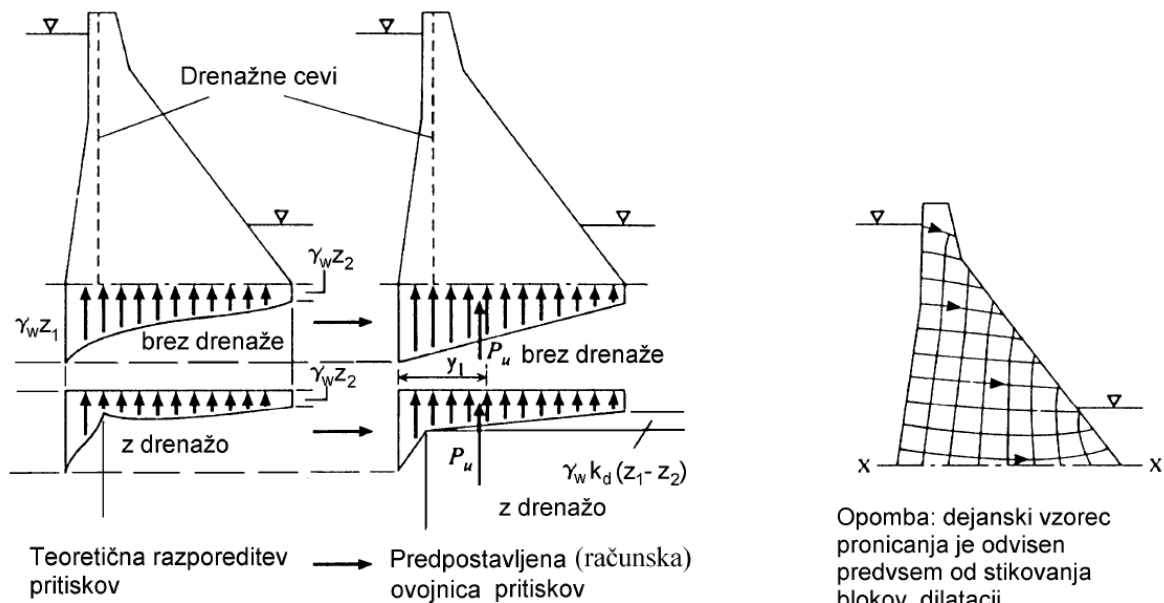
$$P_{w2} = \left(\frac{p_{w3zg} + p_{w3sp}}{2} \right) \times (z_2 - z_1) = 34,78 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times 4,91 \text{ m} = 170,75 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Na dolvodni strani upoštevamo gladino vode Q_{100} . Ob upoštevanju gladine Q_{500} bi hidrostatski pritisk deloval še ugodneje, s tem smo na varni strani.



3.2.4.2 Sile zaradi pronicanja in vzgona

Intersticijski vodni pritisk u_w se razvije v betonski pregradi ter njenih temeljih zaradi penetracije vode vzdolž diskontinuet (npr. stikov, razpok ipd.), ter tudi zaradi pronicanja v pore kamnin in betona. Ti pritiski so analogni pornim pritiskom pri zemeljskih pregradah. Na slikah vidimo idealizirano mrežo tokovnic pri pronicanju skozi pregrado, teoretično razporeditev vzgonskih pritiskov ter računsko (bilinearno) razporeditev.



Vzgonska sila P_u predstavlja vzgonsko silo intersticijske vode v temelju pregrade ali interno vzgonsko silo v telesu pregrade. Vzgonska sila je premosorazmerna srednjemu intersticijskemu vodnemu pritisku $u_{w sr.}$, ki se nanaša na interno ali zunanjo efektivno horizontalno površino A_h' , ki jo definiramo kot:

$$A_h' = \mu \times A_h$$

Kjer je μ koeficient redukcije površine. Torej velja:

$$P_u = \mu \times A_h \times u_{w sr.}$$

In v primeru, da v pregradi ni vgrajene razbremenilne drenaže znaša vzgonska sila:

OBTEŽNI PRIMER 1

$$\begin{aligned} P_u &= \mu \times A_h \times \rho \times g \times \left(\frac{z_2 + z_3}{2} \right) = 1,00 \times 4,40m \times 1000 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times \left(\frac{5,10m + 3,80m}{2} \right) \\ &= 192080 \frac{N}{m} = 192,08 \frac{kN}{m} \end{aligned}$$

Za analitične potrebe običajno privzamemo vrednost $\mu = 1,00$.

OBTEŽNI PRIMER 2

V primeru potopljenega jezua je sila vzgona enaka teži izpodrinjene tekočine.

$$P_{u,max} = A_1 \times \rho \times g = 21,00m^2 \times 1000 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} = 206010 \frac{kN}{m} = 206,01 \frac{kN}{m}$$

3.3 VARNOST NA ZDRS

Izpolnjena mora biti naslednja neenakost :

$$H_d \leq R_d + R_{p;d}$$

Trenje med zemljino in temeljem :

$$\delta_{a,d} = \varphi_d = 36,0^\circ$$

Vsota horizontalnih in vertikalnih projektnih vrednosti sil :

OBTEŽNI PRIMER 1

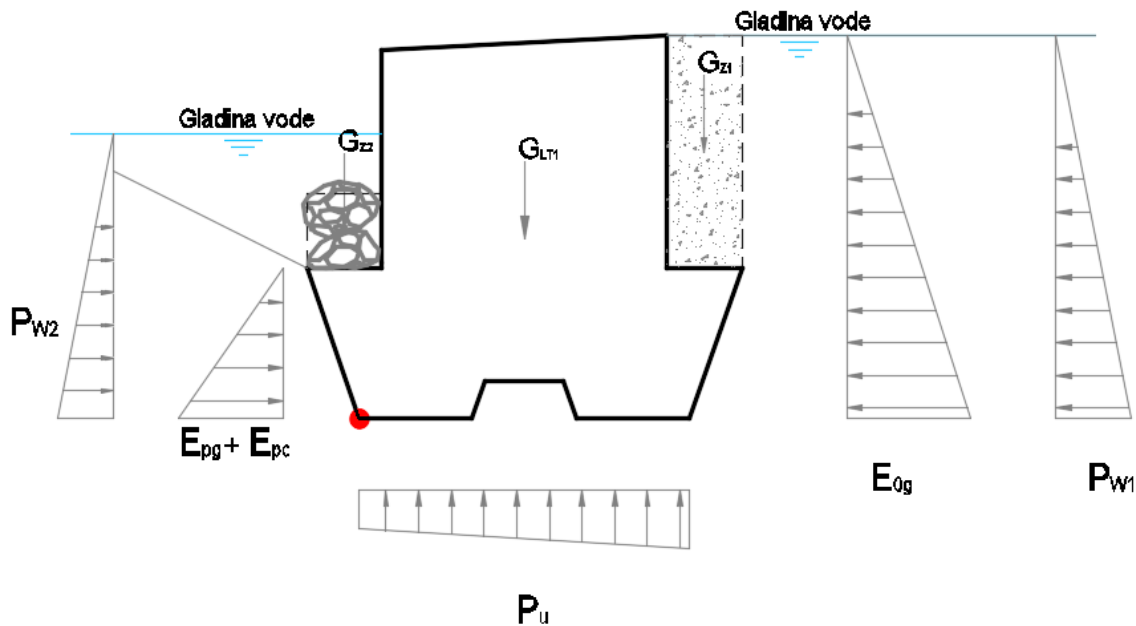
$$\begin{aligned} H_d &= 1,1 E_{0gh} + 1,0 (P_w - P_{w2}) - 0,9 (E_{pgh} + E_{pch}) \times \frac{1}{3} \\ &= 1,1 \times 58,21 \frac{kN}{m} + 1,0 \times \left(127,58 \frac{kN}{m} - 70,83 \frac{kN}{m} \right) - 0,9 \times \left(200,30 \frac{kN}{m} \right. \\ &\quad \left. + 423,90 \frac{kN}{m} \right) \times \frac{1}{3} = -66,48 \frac{kN}{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_d &= 0,90(G_{LT1} + G_{Z1} + G_{Z2}) + 1,1 E_{0gv} - 1,0 P_u + 0,9 (E_{pgv} + E_{pcv}) \times \frac{1}{3} \\ &= 0,90 \times \left(525,00 \frac{kN}{m} + 65,10 \frac{kN}{m} + 25,00 \frac{kN}{m} \right) + 1,1 \times 24,32 \frac{kN}{m} - 1,0 \times 192,08 \frac{kN}{m} \\ &\quad + 0,9 \times 0 \frac{kN}{m} = 388,26 \frac{kN}{m} \end{aligned}$$

Drenirano stanje :

$$\begin{aligned} R_d &= \frac{V_d \times \tan(\delta_{a,p})}{\gamma_h} = \frac{388,26 \frac{kN}{m} \times \tan(36^\circ)}{1,1} = 256,44 \frac{kN}{m} \\ -66,48 \frac{kN}{m} &\leq 256,44 \frac{kN}{m} \end{aligned}$$

Pogoj je izpolnjen !



OBTEŽNI PRIMER 2

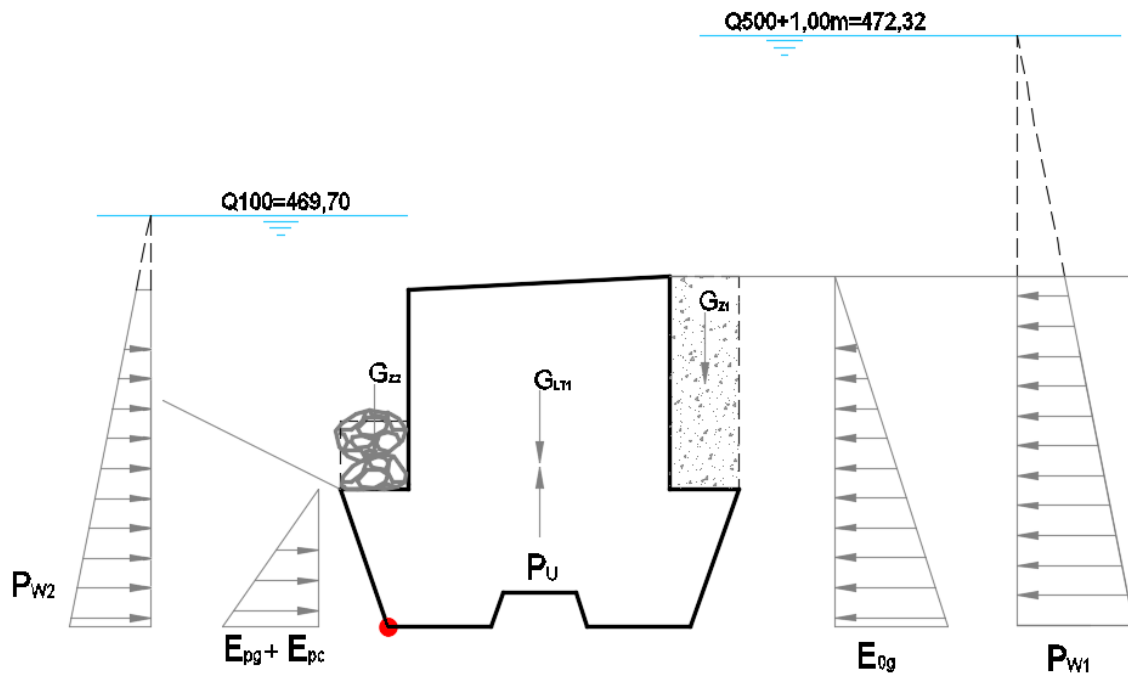
$$\begin{aligned}
 H_d &= 1,1 E_{0gh} + 1,0 (P_{w1} - P_{w2}) - 0,9 (E_{pgh} + E_{pch}) \times \frac{1}{3} \\
 &= 1,1 \times 58,21 \frac{kN}{m} + 1,0 \times (303,68 \frac{kN}{m} - 170,75) - 0,9 \times (200,30 \frac{kN}{m} + 423,90 \frac{kN}{m}) \\
 &\quad \times \frac{1}{3} = 9,70 \frac{kN}{m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_d &= 0,90(G_{LT1} + G_{Z1} + G_{Z2}) + 1,1 E_{0gv} - 1,0 P_u + 0,9 (E_{pgv} + E_{pcv}) \times \frac{1}{3} \\
 &= 0,90 \times (525,00 \frac{kN}{m} + 65,10 \frac{kN}{m} + 25,00 \frac{kN}{m}) + 1,1 \times 24,32 \frac{kN}{m} - 1,0 \times 206,01 \frac{kN}{m} \\
 &\quad + 0,9 \times 0 \frac{kN}{m} = 374,33 \frac{kN}{m}
 \end{aligned}$$

Drenirano stanje :

$$\begin{aligned}
 R_d &= \frac{V_d \times \tan(\delta_{a,p})}{\gamma_h} = \frac{374,33 \frac{kN}{m} \times \tan(36^\circ)}{1,1} = 271,97 \frac{kN}{m} \\
 9,70 \frac{kN}{m} &\leq 271,97 \frac{kN}{m}
 \end{aligned}$$

Pogoj je izpolnjen !



3.4 VARNOST NA PREVRNITEV

Izpolnjena mora biti naslednja neenakost :

$$M_p \leq M_d$$

3.4.1 Moment odpora M_d

OBTEŽNI PRIMER 1

$$M_d = 0,90 \times G_{LT1} \times r_{LT1} + 0,90 \times G_{Z1} \times r_{Z1} - 1,1 \times G_{Z2} \times r_{Z2} + 0,90 \times E_{0gv} \times r_{0gv} - 1,0 \times P_u \times r_u$$

$$M_d = 0,90 \times 525,00 \frac{kN}{m} \times 2,21 m + 0,90 \times 65,10 \frac{kN}{m} \times 4,60 m - 1,1 \times 25,00 \frac{kN}{m} \times 0,20 m + 0,90 \times 24,32 \frac{kN}{m} \times 4,10 m - 1,0 \times 192,08 \frac{kN}{m} \times 2,31 m = 954,28 \frac{kNm}{m}$$

OBTEŽNI PRIMER 2

$$M_d = 0,90 \times G_{LT1} \times r_{LT1} + 0,90 \times G_{Z1} \times r_{Z1} - 1,1 \times G_{Z2} \times r_{Z2} + 0,90 \times E_{0gv} \times r_{0gv} - 1,0 \times P_u \times r_u$$

$$M_d = 0,90 \times 525,00 \frac{kN}{m} \times 2,21 m + 0,90 \times 65,10 \frac{kN}{m} \times 4,60 m - 1,1 \times 25,00 \frac{kN}{m} \times 0,20 m + 0,90 \times 24,32 \frac{kN}{m} \times 4,10 m - 1,0 \times 206,01 \frac{kN}{m} \times 2,21 m = 942,70 \frac{kNm}{m}$$

3.4.2 Moment prevrnitve M_p

OBTEŽNI PRIMER 1

$$M_p = 1,10 \times E_{0gh} \times r_{0gh} - 0,90 \times (E_{pgh} \times r_{pgh} + E_{pch} \times r_{pch}) \times \frac{1}{3} + 1,0 \times P_{w1} \times r_{w1} - 0,90 \times P_{w2} \times r_{w2}$$

$$M_p = 1,10 \times 58,21 \frac{kN}{m} \times 1,70 m - 0,90 \times (200,30 \frac{kN}{m} \times 0,67 m + 423,90 \frac{kN}{m} \times 0,67 m) \times \frac{1}{3} + 1,0 \times 127,58 \frac{kN}{m} \times 1,70 m - 0,90 \times 70,83 \frac{kN}{m} \times 1,27 m = 119,32 \frac{kNm}{m}$$

OBTEŽNI PRIMER 2

$$M_p = 1,10 \times E_{0gh} \times r_{0gh} - 0,90 \times (E_{pgh} \times r_{pgh} + E_{pch} \times r_{pch}) \times \frac{1}{3} + 1,0 \times P_{w1} \times r_{w1} - 0,90 \times P_{w2} \times r_{w2}$$

$$M_p = 1,10 \times 58,21 \frac{kN}{m} \times 1,70 m - 0,90 \times (200,30 \frac{kN}{m} \times 0,67 m + 423,90 \frac{kN}{m} \times 0,67 m) \times \frac{1}{3} + 1,0 \times 303,68 \frac{kN}{m} \times 2,19 m - 0,90 \times 170,75 \frac{kN}{m} \times 1,89 m = 358,00 \frac{kNm}{m}$$

Vsi pogoji so izpolnjeni !

3.5 LEGA IN NAKLON REZULTANTE

KOMBINACIJA 1

$$\sum M^T = 0,90 \times G_{LT1} \times r_{LT1} + 0,90 \times G_{Z1} \times r_{Z1} - 1,1 \times G_{Z2} \times r_{Z2} + 0,90 \times E_{0gv} \times r_{0gv} - 1,0 \times P_u \times r_u - 1,10 \times E_{0gh} \times r_{0gh} + 0,90 \times (E_{pgh} \times r_{pgh} + E_{pch} \times r_{pch}) \times \frac{1}{3} - 1,0 \times P_{w1} \times r_{w1} + 0,90 \times P_{w2} \times r_{w2}$$

$$\sum M^T = 0,90 \times 525,00 \frac{kN}{m} \times 0,01 m + 0,90 \times 65,10 \frac{kN}{m} \times 2,40 m - 1,1 \times 25,00 \times 2,40 m + 0,90 \times 24,32 \times 1,90 m - 1,0 \times 192,08 \frac{kN}{m} \times 0,11 m - 1,10 \times 58,12 \frac{kN}{m} \times 1,70 m + 0,90 \times (200,30 \frac{kN}{m} \times 0,67 m + 423,90 \frac{kN}{m} \times 0,67 m) \times \frac{1}{3} - 1,0 \times 127,58 \frac{kN}{m} \times 1,70 m + 0,90 \times 70,83 \times 1,26 m = -83,37 \frac{kNm}{m}$$

$$e = \frac{\sum M^T}{V_d} = \frac{-83,37}{388,26} = -0,21 m < j = \frac{b}{6} = 0,73 m$$

Rezultanta je v jedru prereza, kar pomeni, da so vse napetosti na osnovni ploskvi temelja tlačne.

$$\text{Efektivna širina: } b' = b - 2|e| = 4,40 m - 2 \times 0,21 m = 3,98 m$$

$$\text{Efektivna površina: } A' = 1,0 \times b' = 1,0 \times 3,98 = 3,98 m^2$$

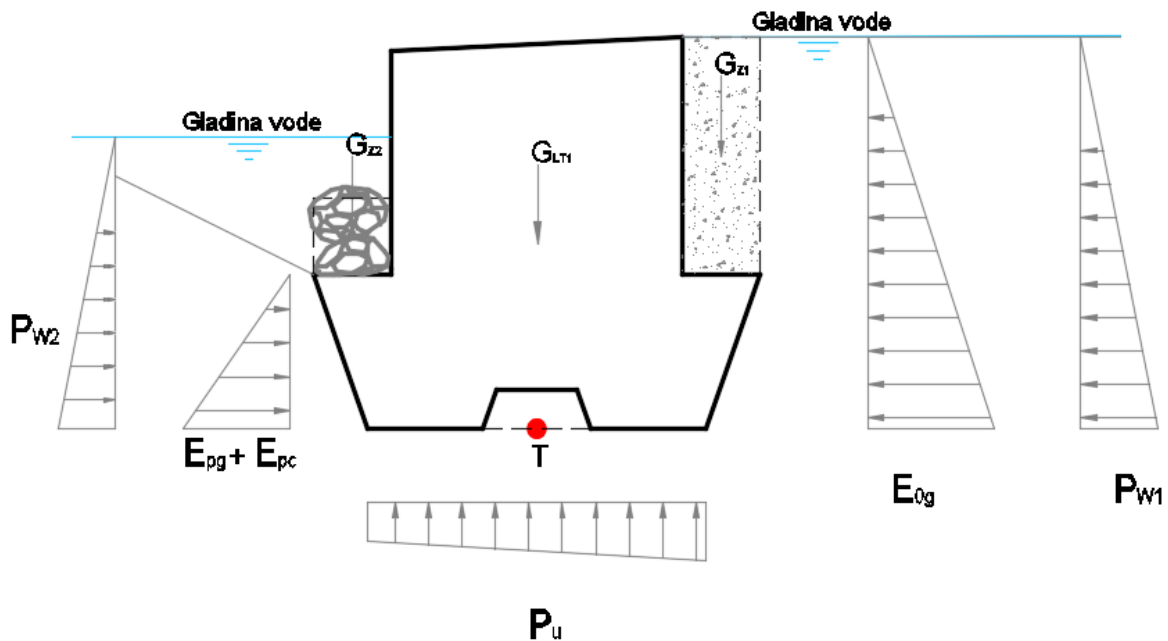
$$\sigma_{L,D} = \frac{\sum V_d}{b} \times \left(1 \mp \frac{6 \times e}{b} \right) = \frac{388,26}{4,40} \times \left(1 \mp \frac{6 \times (0,21)}{4,40} \right)$$

$$\sigma_L = 113,51 kPa$$

$$\sigma_D = 63,00 kPa$$

Naklon rezultante :

$$\tan \theta = \frac{H_d}{V_d} = \frac{-66,48}{388,26} \rightarrow \theta = -9,71^\circ$$



KOMBINACIJA 2

$$\sum M^T = 0,90 \times G_{LT1} \times r_{LT1} + 0,90 \times G_{Z1} \times r_{Z1} - 1,1 \times G_{Z2} \times r_{Z2} + 0,90 \times E_{0gv} \times r_{0gv} - 1,0 \times P_u \times r_u - 1,10 \times E_{0gh} \times r_{0gh} + 0,90 \times (E_{pgh} \times r_{pgh} + E_{pch} \times r_{pch}) \times \frac{1}{3} - 1,0 \times P_{w1} \times r_{w1} + 0,90 \times P_{w2} \times r_{w2}$$

$$\begin{aligned} \sum M^T &= 0,90 \times 525,00 \frac{kN}{m} \times 0,01m + 0,90 \times 65,10 \frac{kN}{m} \times 2,40m - 1,1 \times 25,00 \times 2,40m + 0,90 \\ &\times 24,32 \times 1,90m - 1,0 \times 206,01 \frac{kN}{m} \times 0,01m - 1,10 \times 58,12 \frac{kN}{m} \times 1,70m + 0,90 \\ &\times \left(200,30 \frac{kN}{m} \times 0,67m + 423,90 \frac{kN}{m} \times 0,67m \right) \times \frac{1}{3} - 1,0 \times 303,68 \frac{kN}{m} \times 2,19m \\ &+ 0,90 \times 170,75 \times 1,89m = -238,97 \frac{kNm}{m} \end{aligned}$$

$$e = \frac{\sum M^T}{V_d} = \frac{-233,97}{374,33} = -0,64m < j = \frac{b}{6} = 0,73m$$

Rezultanta je v jedru prereza, kar pomeni, da so vse napetosti na osnovni ploskvi temelja tlačne.

$$\text{Efektivna širina: } b' = b - 2|e| = 4,40m - 2 \times 0,64m = 3,12m$$

$$\text{Efektivna površina: } A' = 1,0 \times b' = 1,0 \times 3,12 = 3,12m^2$$

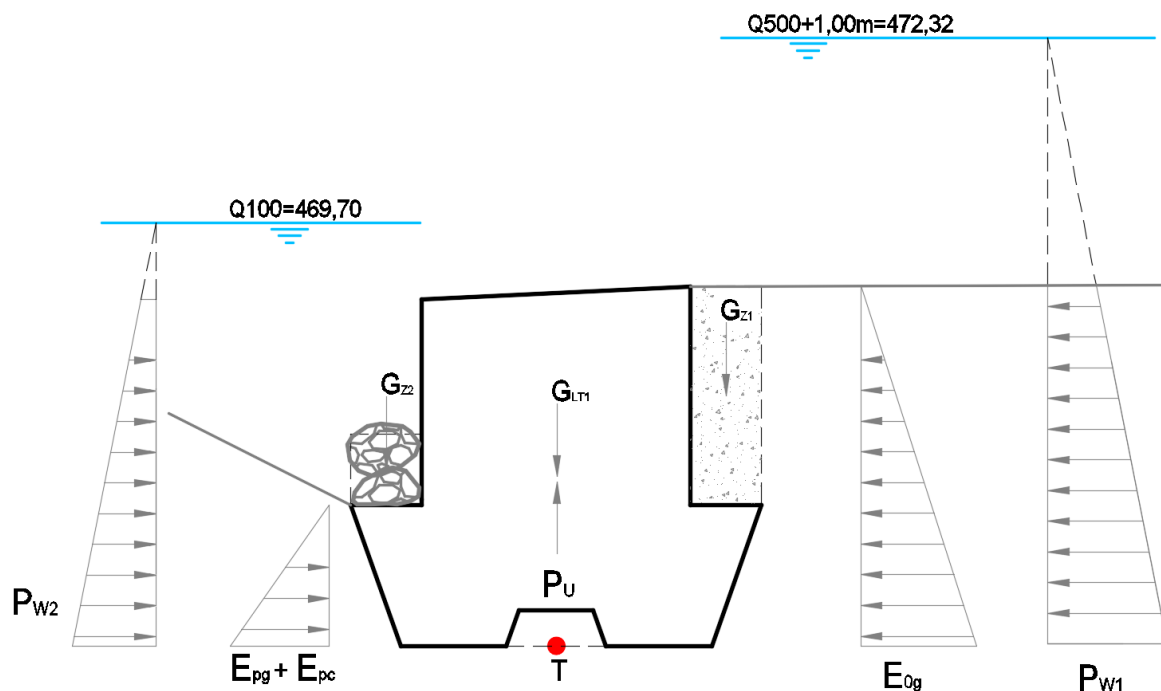
$$\sigma_{L,D} = \frac{\sum V_d}{b} \times \left(1 \mp \frac{6 \times e}{b} \right) = \frac{374,33}{4,40} \times \left(1 \mp \frac{6 \times (-0,64)}{4,40} \right)$$

$$\sigma_L = 159,32 \text{ kPa}$$

$$\sigma_D = 10,83 \text{ kPa}$$

Naklon rezultante :

$$\tan \theta = \frac{H_d}{V_d} = \frac{9,70}{374,33} \rightarrow \theta = 1,48^\circ$$



3.6 REZULTATI ANALIZE

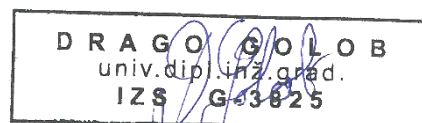
Rezultati statične analize kažejo, da globalna stabilnost jezusa zadostuje vsem pogojem.

Iz izračunov lahko zaključimo, da je jez v predvidenih dimenzijah ustrezen in stabilen.

Maribor, december 2015

sestavila:

Drago GOLOB, univ.dipl.inž.grad.



Gregor KOKOT, univ.dipl.inž.grad.

