

Sprememba:		Opis spremembe:		Datum:		Podpis:	
Investitor: Republika Slovenija Ministrstvo za okolje in prostor Dunajska cesta 48 1000 Ljubljana				Objekt: SANACIJA PREGRADE VOGRŠČEK S PRIPADAJOČIMI OBJEKTI			
Proizvajalec: 				Del objekta: NOVI ODVZEMNI OBJEKT			
Projektant: 				Vrsta načrta/prikaza: 4. NAČRT S PODROČJA STROJNIŠTVA			
		Ime in priimek: (Podpis)		Identifikacijska št.		Vsebina dokumenta/risbe: Kotalna zapornica B1 STATIČNI IZRAČUN	
Vodja projekta:		Martin Cmrekar u.d.i.g.		G-3884			
Pooblaščen inženir:		Martin Cmrekar u.d.i.g.		G-3884			
Sodelavec - Pooblaščen inženir:				Vrsta projekta:		Št. proj.: P-GO-35/22	
Obdelal:		Martin Cmrekar u.d.i.g.		G-3884		Klasifikacijska oznaka: - - - - - - - - - - Stran/Št.strani: 1/26	
Datum izdelave: Februar 2022		Merilo:		Identifikacijska oznaka: M P P V X - - 8 S 0 0 1 6		Rev.:	

KAZALO

1.0	UVOD	3
2.0	MATERIAL IN DOPUSTNE NAPETOSTI	4
2.0	DOPUSTNE NAPETOSTI ZA JEKLENE DELE	4
2.1	DOPUSTNE NAPETOSTI ZA BETON	6
3.0	OBREMENITEV	8
3.0	HIDROSTATIČNI PRITISKI	8
3.1	KOLESNI PRITISKI	9
4.0	TELO ZAPORNICE	10
4.1	GEOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE	10
4.1.1	<i>Glavni nosilec</i>	10
4.1.2	<i>Sekundarni nosilec</i>	11
4.1.2.1	V polju	11
4.1.2.2	Nad podporo	12
4.1.3	<i>Bočni nosilec</i>	13
4.2	NAPETOSTI	14
4.2.1	<i>Globalne napetosti v glavnem nosilcu</i>	14
4.2.2	<i>Lokalne napetosti v sekundarnim nosilcima</i>	14
4.2.2.1	V polju	14
4.2.2.2	Nad podporo	15
4.2.2.3	Lokalne napetosti v zajezni pločevini	15
4.2.2.4	Primerjalne napetosti v zajezni pločevini	16
4.2.2.5	Globalne napetosti v bočnem nosilcu	16
4.3	KONTROLA UPOGIBA	16
5.0	SILE DVIGANJA IN SPUŠČANJA ZAPORNICE	17
5.0	DVIGOVANJE	17
5.1	SPUŠČANJE	19
6.0	KOLESNI SKLOP	20
6.0	OS KOLESA	20
6.1	SAMOMAZALNE PUŠE	21
6.2	LEŽIŠČE OSI	21
6.3	HERTZ-OVE NAPETOSTI	22
7.0	TIRNICA	23
7.0	NAPETOSTI V TIRNICI	24
7.1	NAPETOST V BETONU POD TIRNICO	24
8.0	NAPETOST V BETONU POD PRAGOM	25
9.0	LITERATURA	26

1.0 UVOD

V novem odzemnem objektu se izvede kotalna zapornica (B1), ki zapira vtok v temeljni izpust svetlih dimenzij B/H=1,50x2,70m.

Zapornico je možno dvigniti pod polnim pritiskom, zapreti pa v polni pretok.

Osnovni tehnični podatki:

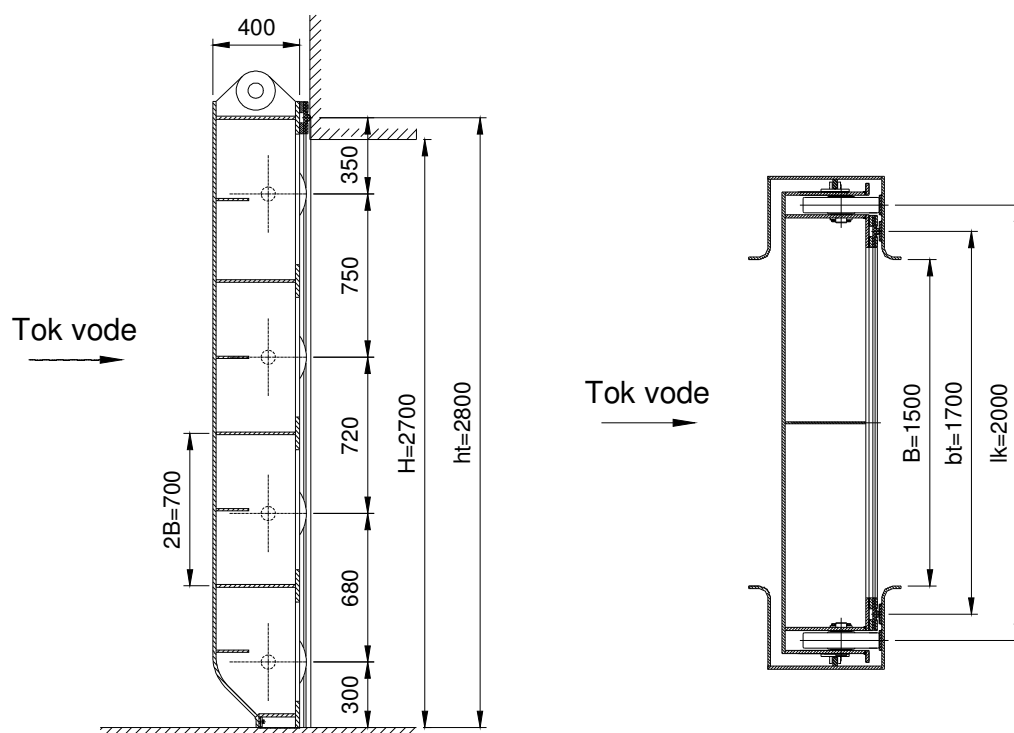
- svetla odprtina BxH=1500x2700 mm
- tesnilna širina Bt=1760 mm
- tesnilna višina Ht=2800 mm
- razdalja med kolesi Lk=2000 mm
- max. kota vode KV=100,50 m n.m
- kota praga KP=72,80 m n.m.
- obratovanje pod polnim pritiskom
- pogon elektromotorni vitel

Statični izračun je narejen v skladu z DIN19704.

Telo zapornice je varjena jeklena konstrukcija izdelana iz jekla S355J2 z gorvodno zaježno steno in dolvodnim tesnilnim okvirjem - zgoraj horizontalno in bočno "Ω" guma ter ploščata guma na nožu zapornice. Zaporna tabla ima na vsaki strani po štiri (4) kolesa in po dve bočni vodili s protivodenjem.

Obratovanje zapornice omogoča elektromotorni vitel, ki je nameščen na nosilnem okvirju narejenem iz valjanih profilov . Nosilni okvir je pritrjen na betonsko ploščo na koti 102,00 m n.m.

Osnovni geometrijski podatki so razvidni iz Slika 1.



Slika 1

2.0 MATERIAL IN DOPUSTNE NAPETOSTI

2.0 Dopustne napetosti za jeklene dele

Dopustne napetosti so vzete po DIN 19704.

Za materiale St 37, St44 in St 52 po DIN 17100 so dopustne napetosti prikazane v tabeli 1 v skladu z DIN 19704 Tb 3.

Dopustne napetosti so podane v N/mm² ter velja:

$$10 \text{ daN/cm}^2 = 1 \text{ N/mm}^2$$

Tabela 1 Dopustne napetosti v N/mm² za osnovni material

DIN 19704 TB-3

Vrsta napetosti	Konstrukcija iz 7) izdelana iz materiala								
	St 37 N/mm ²			St 42 N/mm ²			St 52 N/mm ²		
	Obtežbeni primer								
	NB	BB	AL	NB	BB	AL	NB	BB	AL
Tlak in upogibni tlak, če je potreben dokaz stabilnosti po odstavku 6.4.2	140	160	185	151	173	200	210	240	280
Nateg in upogibni nateg, če ni potreben dokaz stabilnosti po odstavku 6.4.2	160	180	210	173	195	228	240	270	315
Strig	92	104	121	100	113	131	139	156	182
Primerjalna napetost	180	192	216	195	209	235	270	288	324
Primerjalna napetost v zajezni pločevini	204	204	216	222	222	235	306	306	324
7) Za druga jekla in jekleno litino lahko dopustne napetosti menjamo v razmerju z mejo plastičnosti.									

Za vezne elemente, vijake, zakovice, zvarjene spoje so dopustne napetosti podane v tabeli 2 v skladu z DIN 19704 Tb 4.

Dopustne napetosti za strojne elemente bodo v skladu z DIN 19704 prikazane v točkah, kjer se le ti elementi računajo.

Oznake v načrtih in statičnih izračunih za materiale se bodo uporabljale po slovenskem standardu SIST in evropskih normah EN ter nemškem standardu DIN (SIST EN 10025, SIST EN 10083 in EN 10088-1) zato podajamo v tabeli 3 še primerjalne oznake za glavne materiale. Za ostale materiale bodo primerjalne oznake navedene v točkah, kjer se elementi računajo.

Tabela 2. Dopusne napetosti v N/mm² za spojna sredstva

DIN 19704 Tb 4

Spojno sredstvo		Vrsta napetosti		Konstrukcijski deli iz St 37 in St 42			Konstrukcijski deli iz St 52			Merodajni premer	
				Obtežbeni primer			Obtežbeni primer				
				NB	BB	AL	NB	BB	AL		
Kovice po DIN 124 iz jekla St 36– 2 oziroma St 44 in prilagodni vijaki po DIN 7969, trdnostni razred 4.6 odn. 5.6 ⁸⁾ za konstrukcijske dele iz jekla St 37/44 oziroma St 52		Strig			140	160	185	210	240	28	Luknja
		Naleganje - pritisk			280	320	350	420	480	500	Luknja
		Vzdolžni nateg - kovica ⁹⁾			48	54	63	72	81	94	Luknja
		Vzdolžni nateg - -vijak			100	114	133	150	171	200	Jedro
Sidra z navojem ¹⁰⁾ , sidrni vijaki, vijaki po DIN 7990, trdnostni razred 4.6 oziroma 5.6 za konstruk. dele iz St 37/42 oziroma St 52		Strig			112	128	148	168	192	226	Steblo
		Naleganje -pritisk			224	256	296	336	384	452	Steblo
		Vzdolžni vlek			100	114	133	150	171	200	Jedro
Varilni šivi		Vrsta napetosti									
Oblika vara ¹¹⁾		Kvaliteta vara									
Čelni var (1) Var z dvojnim kotnim varom (2) HV var s kotnim varo (3 in 4)	Vse kvalitete varov	Tlak in upogibni tlak	N n a a p e s t m o e s r t š p i r v e a č n o .	160	180	210	240	270	315		
	Dokazana kvaliteta vara ¹²⁾	Nateg in upogibni nateg		160	180	210	240	270	315		
	Nedokazana kvaliteta vara			135	150	175	170	190	220		
				160	180	210	240	270	315		
K in HV var stojine z dvojnim kotnim varom (5 in 6)	Vse kvalitete varov	Tlak in upogibni tlak		135	150	175	150	170	197		
		Nateg in upogibni nateg		135	150	175	150	170	197		
HV var stojine s kotnim varom (7) Kotni vari (8-11)	Vse kvalitete varov	Tlak in upogibni tlak		135	150	175	150	170	197		
		Nateg in upogibni nateg		135	150	175	150	170	197		
Vsi vari (1-11)	Vse kvalitete varov	Strig		135	150	175	150	170	197		
HV var stojine s kotnim varom (7) Kotni var (8-11)	Vse kvalitete varov	Primerjalna napetost		135	150	175	150	150	197		

Opozorilo: Pri uporabi visoko trdnostnih vijakov je potrebno upoštevati:
DAST-Richtlinie 010 (Direction), January 1974 edition
(application of high-strength screws and bolts for steel constructions)
issued by Deutscher Ausschuss für Stahlbau, Eberplatz 1, 5000 Köln.

8) Trdnostni razred vijakov v skladu z DIN 267, Part 3
9) Vz dolžno obremenjene zakovice samo v izjemnem slučaju

10) Za sidra brez navojev iz St 37, St 44 in St 52 veljajo napetosti iz tabele 3

11) Oznake vrst spojev z varilnim šivom odgovarjajo tabeli 1 v DIN 4101, July 1974 edition.

12) Z Rtg in ultrazvočno kontrolo je potrebno dokazati var brez razpok, veznih in korenskih napak
ter vključkov razen posameznih neznatnih vključkov žilindre in por.

Opozorilo: Pri uporabi visoko trdnostnih vijakov je potrebno upoštevati:
DAST-Richtlinie 010 (Direction), January 1974 edition
(application of high-strength screws and bolts for steel constructions)
issued by Deutscher Ausschuss für Stahlbau, Eberplatz 1, 5000 Köln.

8) Trdnostni razred vijakov v skladu z DIN 267, Part 3
9) Vz dolžno obremenjene zakovice samo v izjemnem slučaju

10) Za sidra brez navojev iz St 37, St 44 in St 52 veljajo napetosti iz tabele 3

11) Oznake vrst spojev z varilnim šivom odgovarjajo tabeli 1 v DIN 4101, July 1974 edition.

12) Z Rtg in ultrazvočno kontrolo je potrebno dokazati var brez razpok, veznih in korenskih napak ter vključkov razen posameznih neznatnih vključkov žlindre in por.

Tabela 3

PRIMERJALNE OZNAKE NAJPOGOSTEJE UPORABLJENIH SPLOŠNIH KONSTRUKCIJSKIH IN NERJAVNIH JEKEL SIST EN - DIN

Splošna konstrukcijska jekla (EN)

S	–	jeklo
...	–	št. oznaka meje tečenja
JR	–	žilavost 27 kJ pri 20° C
J0	–	žilavost 27 kJ pri 0° C
J2	–	žilavost 27 kJ pri -20° C
K2	–	žilavost 40 kJ pri -20° C
G1	–	nepomirjeno
G2	–	pomirjeno
G3,G4	–	različni nabavni pogoji

Primerjava EN - DIN	EN	DIN
SPLOŠNA KONSTRUKCIJSKA JEKLA SIST EN 10025	S235JR	St 37-2
	S235JRG1	USt 37-2
	S235JRG2	RSt 37-2
	S235J0	St 37-3 U
	S235J2G3	St 37-3 N
	S275JR	St 44-2
	S275J0	St 44-3 U
	S275J2G3	St 44-3 N
	S355JR	–
	S355J0	St 52-3 U
	S355J2G3	St 52-3 N
EN 10088		
MARTENZITNO NERJAVNO	X17CrNi16-2	X 20 CrNi 17 2
AVSTENITNO NERJAVNO	X5CrNi18-10	X 5 CrNi 18 10
	X6CrNiTi18-10	X6CrNiTi1810

2.1 Dopustne napetosti za beton

Vbetonirani deli se vgradijo v sekundarni beton C20/25 z računsko tlačno trdnostjo: $f_{ck} = 20 \text{ N/mm}^2$ po EN 1992-1.

Normalni obremenitveni primer (NB):

$$\sigma_{dop,NB} = \frac{f_{ck}}{\gamma_{F,NB} \cdot \gamma_{c,NB}} = \frac{20}{1,5 \cdot 1,5} = 9,0 \text{ N/mm}^2$$

$\gamma_{F,NB} = 1,5$varnostni faktor za NB primer

$\gamma_{c,NB} = 1,5$varnostni faktor za material za NB primer

Izredni obremenitveni primer (AL):

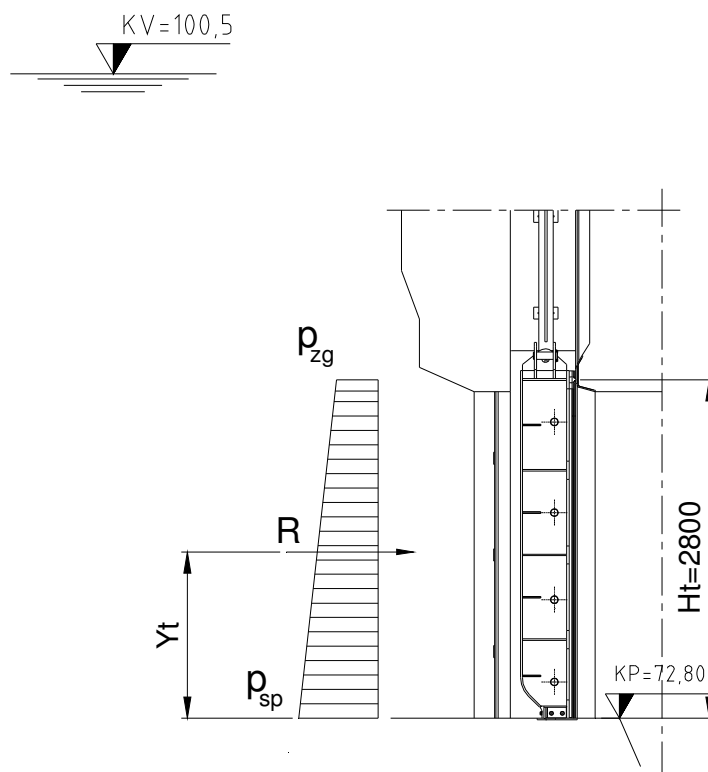
$$\sigma_{dop,AL} = \frac{f_{ck}}{\gamma_{F,AL} \cdot \gamma_{c,AL}} = \frac{20}{1,1 \cdot 1,2} = 15 \text{ N/mm}^2$$

$\gamma_{F,AL} = 1,1$varnostni faktor za AL primer

$\gamma_{c,AL} = 1,2$varnostni faktor za material za AL primer

3.0 OBREMENITEV

3.0 Hidrostatični pritiski



Slika 2

- hidrostatični pritiski

$$p_{sp} = K_v - K_p = 100,5 - 72,8 = 27,7 \text{ m v.s.} = 0,277 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{zg} = p_{sp} - H_t = 27,7 - 2,8 = 24,9 \text{ m v.s.} = 0,249 \text{ N/mm}^2$$

- rezultanta hidrostatičnih pritiskov

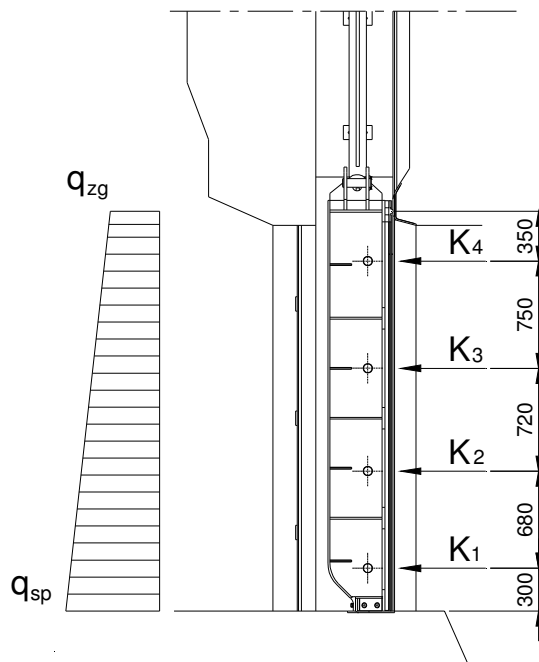
$$R = \frac{(p_{zg} + p_{sp})}{2} \cdot H_t \cdot B_t = \frac{(0,249 + 0,277)}{2} \cdot 2800 \cdot 1760 = 1,296 \cdot 10^6 \text{ N} = 1296 \text{ kN}$$

- položaj rezultante hidrostatičnega pritiska:

$$Y_t = \frac{H_t}{3} \cdot \frac{p_{sp} + 2 \cdot p_{zg}}{p_{sp} + p_{zg}} = \frac{2800}{3} \cdot \frac{0,277 + 2 \cdot 0,249}{0,277 + 0,249} = 1375 \text{ mm}$$

3.1 Kolesni pritiski

Kolesni pritiski so izračunani s programom Tower 7 po obremenitveni shemi na Slika 3.



Slika 3

$$q_{sp} = \frac{p_{sp} \cdot B_t}{2} = \frac{0,277 \cdot 1760}{2} = 243,76 \text{ N/mm}$$

$$q_{zg} = \frac{p_{zg} \cdot B_t}{2} = \frac{0,249 \cdot 1760}{2} = 219,12 \text{ N/mm}$$

Kolesni pritiski:

$$K_1 = 156 \text{ kN}$$

$$K_2 = 162 \text{ kN}$$

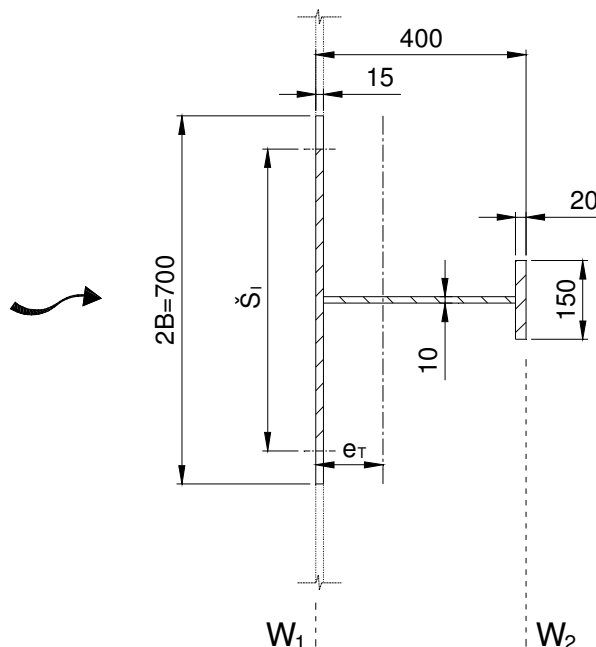
$$K_3 = 165 \text{ kN}$$

$$K_4 = 166 \text{ kN} = K_{max}$$

4.0 TELO ZAPORNICE

4.1 Geometrijske karakteristike

4.1.1 Glavni nosilec



Napaka! Vira sklicevanja ni bilo mogoče najti.

$$\frac{L_k}{B} \cong \frac{2000 \cdot 2}{700} = 5,7 \rightarrow v_I = 0,82$$

$$\check{S}_I = 2B \cdot v_I = 700 \cdot 0,82 = 574 \text{ mm}$$

- površina prereza

$$A = 574 \cdot 15 + 365 \cdot 10 + 150 \cdot 20 = 15260 \text{ mm}^2$$

- položaj težišča prereza

$$e_T = \frac{574 \cdot 15 \cdot 7,5 + 365 \cdot 10 \cdot 197,5 + 20 \cdot 150 \cdot 390}{15260} = 128 \text{ mm}$$

- vztrajnostni moment

$$I = 574 \cdot 15 \cdot 120,5^2 + \frac{10 \cdot 365^3}{12} + 10 \cdot 365 \cdot 69,5^2 + 20 \cdot 150 \cdot 262^2 = 3,891 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

- odpornostna momenta

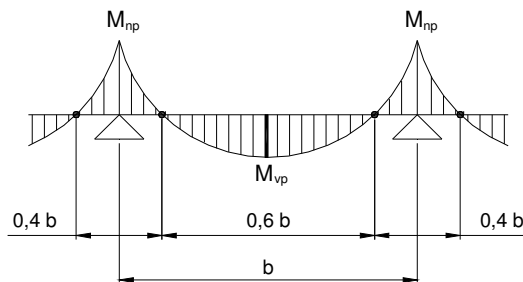
$$W_1 = \frac{3,891 \cdot 10^8}{128} = 3,04 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$W_2 = \frac{3,891 \cdot 10^8}{272} = 1,43 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

- strižna površina prereza

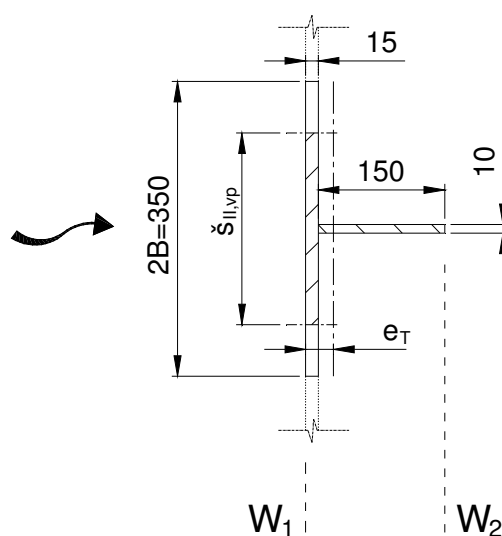
$$A_{str} = (400 - 15 - 20 - 2 \cdot 30) \cdot 10 = 3050 \text{ mm}^2$$

4.1.2 Sekundarni nosilec



Slika 4

4.1.2.1 V polju



Slika 5

$$\frac{L}{B} = \frac{600 \cdot 2}{350} = 3,4 \rightarrow v_{II,vp} = 0,65$$

$$L = 0,6 \cdot b = 0,6 \cdot 1000 = 600 \text{ mm}$$

$$\check{s}_{II,vp} = 2B \cdot v_{II,vp} = 350 \cdot 0,65 = 227,5 \text{ mm}$$

- površina prereza

$$A_{II,vp} = 227,5 \cdot 15 + 150 \cdot 10 = 4912,5 \text{ mm}^2$$

- položaj težišča prereza

$$e_{T,II,vp} = \frac{227,5 \cdot 15 \cdot 7,5 + 150 \cdot 10 \cdot 90}{4912,5} = 32,7 \text{ mm}$$

- vztrajnostni moment

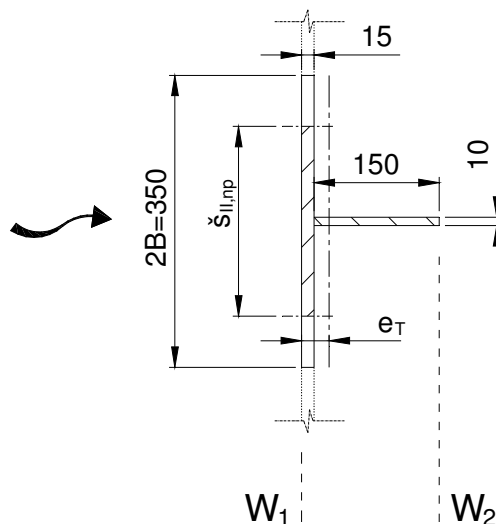
$$I_{II,vp} = 227,5 \cdot 15 \cdot 25,2^2 + \frac{10 \cdot 150^3}{12} + 10 \cdot 150 \cdot 57,3^2 = 9,9045 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

- odpornostna momenta

$$W_{1,II,vp} = \frac{9,9045 \cdot 10^6}{32,7} = 3,029 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

$$W_{2,II,vp} = \frac{9,9045 \cdot 10^6}{132,3} = 7,4864 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$$

4.1.2.2 Nad podporo



Slika 6

$$\frac{L}{B} = \frac{400 \cdot 2}{350} = 2,3 \rightarrow v_{II,vp} = 0,35$$

$$L = 0,4 \cdot b = 0,4 \cdot 1000 = 400 \text{ mm}$$

$$\check{s}_{II,np} = 2B \cdot v_{II,vp} = 350 \cdot 0,35 = 122,5 \text{ mm}$$

- površina prereza

$$A_{II,np} = 122,5 \cdot 15 + 150 \cdot 10 = 3337,5 \text{ mm}^2$$

- položaj težišča prereza

$$e_{T,II,np} = \frac{122,5 \cdot 15 \cdot 7,5 + 150 \cdot 10 \cdot 90}{3337,5} = 44,6 \text{ mm}$$

- vztrajnostni moment

$$I_{II,np} = 122,5 \cdot 15 \cdot 37,1^2 + \frac{10 \cdot 150^3}{12} + 10 \cdot 150 \cdot 45,4^2 = 8,4333 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

- odpornostna momenta

$$W_{1,II,np} = \frac{8,4333 \cdot 10^6}{44,6} = 1,8909 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

$$W_{2,II,np} = \frac{8,4333 \cdot 10^6}{120,4} = 7,0044 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$$

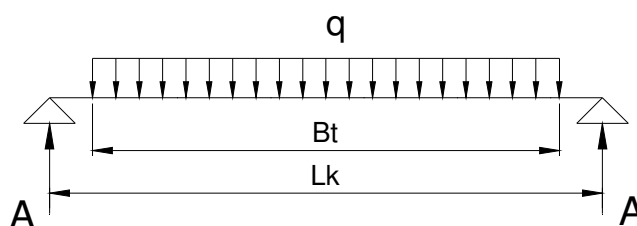
4.2 Napetosti

4.2.1 Globalne napetosti v glavnem nosilcu

$$\sigma_1 = -\frac{M_{max}}{W_1} = -\frac{9,5554 \cdot 10^7}{3,04 \cdot 10^6} = -31,4 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{dop}$$

$$\sigma_2 = \frac{M_{max}}{W_2} = \frac{9,5554 \cdot 10^7}{1,43 \cdot 10^6} = 66,8 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{dop}$$

$$\tau = \frac{Q}{A_{str}} = \frac{1,7063 \cdot 10^5}{3050} = 55,9 \text{ N/mm}^2 < \tau_{dop}$$



Slika 8

$$M_{max} = \frac{q \cdot B_t^2}{8} + A \cdot \frac{L_k - B_t}{2} = \frac{193,9 \cdot 1760^2}{8} + 1,7063 \cdot 10^5 \cdot \frac{2000 - 1760}{2} = 9,5554 \cdot 10^7 \text{ Nmm}$$

$$q = p_{sp} \cdot 2B = 0,277 \cdot 700 = 193,9 \text{ N/mm}$$

$$A = \frac{q \cdot B_t}{2} = \frac{193,9 \cdot 1760}{2} = 1,7063 \cdot 10^5 \text{ N} = Q_{max}$$

4.2.2 Lokalne napetosti v sekundarnim nosilcima

4.2.2.1 V polju

$$\sigma_{1,vp} = -\frac{M_{vp}}{W_{1,II,vp}} = -\frac{4,0417 \cdot 10^6}{3,029 \cdot 10^5} = -13,3 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{dop}$$

$$\sigma_{2,vp} = \frac{M_{vp}}{W_{2,II,vp}} = \frac{4,0417 \cdot 10^6}{7,4864 \cdot 10^4} = 54,0 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{dop}$$

$$M_{vp} = \frac{q_{sn} \cdot b^2}{24} = \frac{97 \cdot 1000^2}{24} = 4,0417 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$q_{sn} = p_{sp} \cdot 2B = 0,277 \cdot 350 = 97,0 \text{ N/mm}$$

4.2.2.2 Nad podporo

$$\sigma_{1,np} = \frac{M_{np}}{W_{1,II,np}} = \frac{8,0833 \cdot 10^6}{1,8909 \cdot 10^5} = 42,7 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{dop}$$

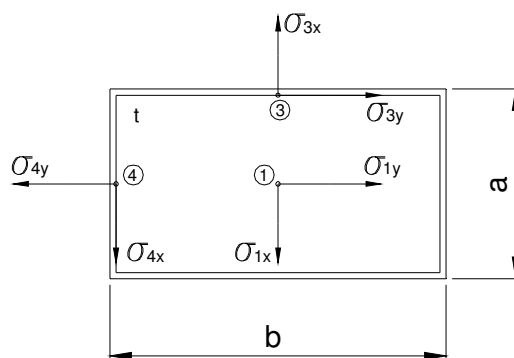
$$\sigma_{2,np} = -\frac{M_{vp}}{W_{2,II,vp}} = -\frac{8,0833 \cdot 10^6}{7,0044 \cdot 10^5} = -11,5 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{dop}$$

$$\tau_{np} = -\frac{Q_0}{A_{str,II,np}} = -\frac{4,85 \cdot 10^4}{1500} = 32,3 \text{ N/mm}^2 < \tau_{dop}$$

$$M_{np} = \frac{q_{sn} \cdot b^2}{12} = \frac{97 \cdot 1000^2}{12} = 8,0833 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$Q_0 = \frac{q_{sn} \cdot b}{2} = \frac{97 \cdot 1000}{2} = 4,85 \cdot 10^4 \text{ N}$$

4.2.2.3 Lokalne napetosti v zajezi pločevini



Slika 9

$$\sigma = \frac{k \cdot p_{sp} \cdot a^2}{100 \cdot t^2}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$\frac{b}{a} = \frac{1000}{350} = 2,85$$

$$\sigma_{1x} = \frac{\mp 25 \cdot 0,277 \cdot 350^2}{100 \cdot 15^2} = \mp 37,7 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{1y} = \frac{\mp 7,5 \cdot 0,277 \cdot 350^2}{100 \cdot 15^2} = \mp 11,3 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{3x} = \frac{\mp 50 \cdot 0,277 \cdot 350^2}{100 \cdot 15^2} = \pm 75,4 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{3y} = 0,3 \cdot \sigma_{3x} = \pm 22,6 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{4x} = 0,3 \cdot \sigma_{4y} = \pm 15,5 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{4y} = \frac{\mp 34,3 \cdot 0,277 \cdot 350^2}{100 \cdot 15^2} = \pm 51,7 \text{ N/mm}^2$$

4.2.2.4 Primerjalne napetosti v zajezni pločevini

$$\sigma_{pr} = \sqrt{\sigma_{x,tot}^2 + \sigma_{y,tot}^2 - \sigma_{x,tot} \cdot \sigma_{y,tot}} < \sigma_{pr,dop}$$

- točka 3

$$\sigma_{3,x,tot} = \sigma_{3x} = \pm 75,4 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{3,y,tot} = \sigma_1 + \sigma_{1,vp} + \sigma_{3y} = -31,4 - 13,3 \pm 22,6 = -22,1(-67,3) \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{pr,3} = \sqrt{75,4^2 + 22,1^2 + 75,4 \cdot 22,1} = 88,5 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{pr,dop}$$

- točka 4

$$\sigma_{4,x,tot} = \sigma_{3x} = \pm 15,5 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{4,y,tot} = \sigma_1 + \sigma_{1,np} + \sigma_{4y} = -31,4 + 42,7 \pm 51,7 = 63,0(-40,4) \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{pr,4} = \sqrt{15,5^2 + 63,0^2 - 15,5 \cdot 63,0} = 56,8 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{pr,dop}$$

4.2.2.5 Globalne napetosti v bočnem nosilcu

$$\sigma_{1,bn} = \frac{M_{bn,max}}{W_{1,bn}} = \frac{1,3484 \cdot 10^7}{2,8842 \cdot 10^6} = 4,7 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{dop}$$

$$\sigma_{2,bn} = -\frac{M_{bn,max}}{W_{2,bn}} = -\frac{1,3484 \cdot 10^7}{2,1981 \cdot 10^6} = -6,1 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{dop}$$

$$\tau_{bn} = \frac{Q}{A_{str}} = \frac{8,8353 \cdot 10^5}{8970} = 9,8 \text{ N/mm}^2 < \tau_{dop}$$

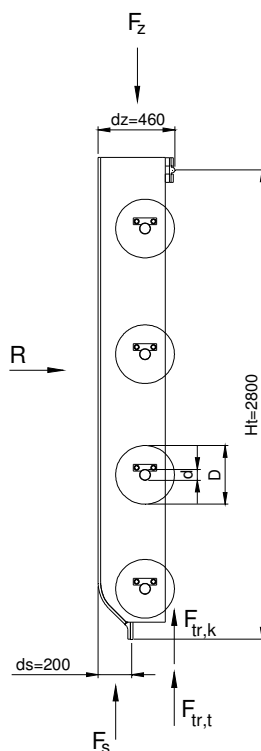
4.3 Kontrola upogiba

$$f = \frac{5 \cdot q \cdot L_k^2}{384 \cdot E \cdot I} = \frac{5 \cdot 193,9 \cdot 2000^4}{384 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 3,891 \cdot 10^8} = 0,5 \text{ mm} < f_{dop} = \frac{L_k}{600} = \frac{2000}{600} = 3,3 \text{ mm}$$

5.0 SILE DVIGANJA IN SPUŠČANJA ZAPORNICE

Zapornico je možno dvigniti pod polnim pritiskom, zapreti pa v polni pretok. Zapornica zapira s pomočjo lastne teže. Za dviganje se uporabi elektromotorni vitel.

5.0 Dvigovanje



Slika 10

$$F_{dv} = f \cdot (G_z + \Sigma F_{tr} + F_{h,din}) = 1,5 \cdot (29 + 61,5 + 153) = 365,2 \text{ kN} \rightarrow F_{dv} = 400 \text{ kN}$$

$f = 1,5$varnostni faktor

$G_z = 29 \text{ kN}$teža zapornice

ΣF_{tr}vsota trenjskih sil

$F_{h,din}$hidrodinamična sila

Vsota trenjskih sil (ΣF_{tr})

$$\Sigma F_{tr} = \Sigma F_{tr,k} + F_{tr,t} = 39,8 + 21,7 = 61,5 \text{ kN}$$

Sila trenja zaradi kotaljenja ($\Sigma F_{tr,k}$)

$$\Sigma F_{tr,k} = F_{tr,kol} + F_{tr,l} = 3,7 + 36,1 = 39,8 \text{ kN}$$

- sila trenja v kolesih ($F_{tr,kol}$)

$$F_{tr,kol} = R \cdot \frac{f \cdot 2}{D} = 1296 \cdot \frac{0,5 \cdot 2}{350} = 3,7 \text{ kN}$$

$R = 1296 \text{ kN}$rezultanta hidrostaticnega pritiska. Glej točko 3.1.

$f = 0,5 \text{ mm}$krak kotalnega momenta

$D = 350 \text{ mm}$premer kolesa

- sila trenja v ležajih koles ($F_{tr,l}$)

$$F_{tr,l} = \mu_k \cdot \frac{R \cdot d}{D} = 0,15 \cdot \frac{1296 \cdot 65}{350} = 36,1 \text{ kN}$$

$\mu_k = 0,15$koef. trenja v ležajih

$R = 1296 \text{ kN}$rezultanta hidrostaticnega pritiska. Glej točko 3.1.

$d = 65 \text{ mm}$premer osovine koles

$D = 350 \text{ mm}$premer kolesa

Trenje v tesnilih ($F_{tr,t}$):

$$F_{tr,t} = \mu_g \cdot [(\bar{p} \cdot b + f_{pr}) \cdot 2 \cdot H_t + (p_{zg} \cdot b + f_{pr}) \cdot B_t]$$

$$F_{tr,t} = 0,23 \cdot [(0,263 \cdot 30 + 5) \cdot 2 \cdot 2800 + (0,249 \cdot 30 + 5) \cdot 1760] = 21650 \text{ N} = 21,7 \text{ kN}$$

$\mu_t = 0,23$koeficient trenja v TCT tesnilih

$$\bar{p} = \frac{p_{sp} + p_{zg}}{2} = \frac{0,277 + 0,249}{2} = 0,263 \text{ N/mm}^2 \quad \text{.....povprečna vrednost hidrostat. pritiska}$$

$b = 30 \text{ mm}$aktivna širina tesnila

$f_{pr} = 5 \text{ N/mm}$sila prednapetja tesnil

Hidrodinamična sila ($F_{h,din}$):

$$F_{h,din} = F_{z,hd} - F_{s,hd} = 201,6 - 48,7 = 152,9 \approx 153 \text{ kN}$$

- sila na teme zapornice ($F_{z,hd}$)

$$F_{z,hd} = p_{zg} \cdot d_z \cdot b_t = 0,249 \cdot 460 \cdot 1760 = 201590 \text{ N} \approx 201,6 \text{ kN}$$

- sila na spodnji zaobljeni del zapornice ($F_{s,hd}$)

$$F_{s,hd} = \frac{p_{sp}}{2} \cdot d_s \cdot b_t = \frac{0,277}{2} \cdot 200 \cdot 1760 = 48752 \text{ N} \approx 48,7 \text{ kN}$$

5.1 Spuščanje

Za varno spuščanje zapornice mora biti izpolnjen pogoj:

$$G_z + F_{z,st} - 1,25 \cdot (\Sigma F_{tr} + F_{s,st}) > 0$$

$$29,0 + 201,6 - 1,25 \cdot (61,5 + 97,5) = 31,9 \text{ kN} > 0 \rightarrow \text{pogoj izpolnjen !}$$

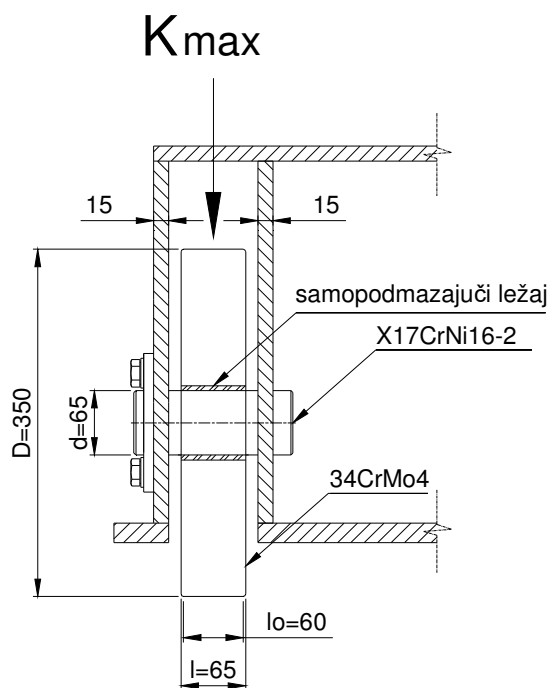
- hidrostatične sile

$$F_{z,st} = F_{z,hd} = 201,6 \text{ kN}$$

$$F_{s,st} = p_{sp} \cdot d_s \cdot B_t = 0,277 \cdot 200 \cdot 1760 = 97504 \text{ N} = 97,5 \text{ kN}$$

6.0 KOLESNI SKLOP

Kolesni sklop je prikazan na Slika 11



Slika 11

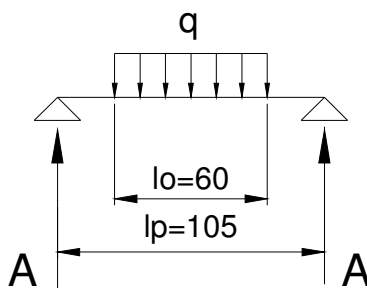
6.0 Os kolesa

Os $d=65$ mm je izdelana iz nerjavnega jekla X17CrNi16-2 po EN10088, z mejo plastičnosti $f_y = 550 \text{ N/mm}^2$

$$\sigma = \frac{M_{max}}{W} = \frac{3,1129 \cdot 10^6}{2,695 \cdot 10^4} = 115,5 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{dop} = 220 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = 1,33 \cdot \frac{Q_{max}}{A_{str}} = 1,33 \cdot \frac{8,301 \cdot 10^4}{3,317 \cdot 10^3} = 33,3 \text{ N/mm}^2 < \tau_{dop} = 127 \text{ N/mm}^2$$

Statična shema obtežbe



Slika 12

$$M = \frac{q \cdot l_0^2}{8} + A \cdot \frac{(l_p - l_0)}{2} = \frac{2767 \cdot 60^2}{8} + 8,301 \cdot 10^4 \cdot \frac{(105 - 60)}{2} = 3,1129 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$A = \frac{q \cdot l_0}{2} = \frac{2767 \cdot 60}{2} = 8,301 \cdot 10^4 \text{ N} = Q_{max}$$

$$q = \frac{K_{max}}{l_0} = \frac{16600}{60} = 2767 \text{ N/mm}$$

$$W = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = \frac{\pi \cdot 65^3}{32} = 2,695 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$$

$$A_{str} = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = \frac{65^2 \cdot \pi}{4} = 3317 \text{ mm}^2$$

$$K_{max} = 166 \text{ kN} = 166000 \text{ N} \dots \dots \dots \text{glej tč. 3.2}$$

Dopustne napetosti za X17CrNi16-2

$$\sigma_{dop} = 0,4 \cdot \sigma_{pl} = 0,4 \cdot 550 = 220 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{dop} = \frac{\sigma_{dop}}{\sqrt{3}} = 157 \text{ N/mm}^2$$

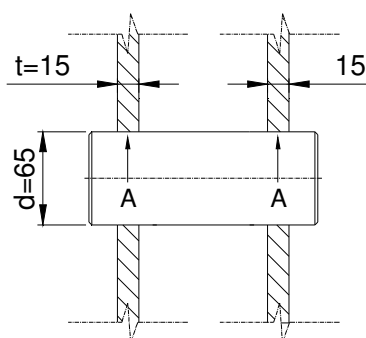
$$\sigma_{pl} = 550 \text{ N/mm}^2 \dots \dots \dots \text{meja plastičnosti za material X17CrNi16-2}$$

6.1 Samomazalne puše

Uporabljeni so samomazalni drsni ležaji DEVA d/D-l=65/80-65.

$$p = \frac{K_{max}}{d \cdot l} = \frac{166000}{65 \cdot 65} = 39,3 \text{ N/mm}^2 < p_{dop} = 40 \text{ N/mm}^2$$

6.2 Ležišče osi



Slika 13

$$p = \frac{A}{d \cdot t} = \frac{8,301 \cdot 10^4}{65 \cdot 15} = 85,1 \text{ N/mm}^2 < p_{dop} = 140 \text{ N/mm}^2$$

6.3 Hertz-ove napetosti

Hertz-ov pritisk:

$$\sigma_H = 0,418 \cdot \sqrt{\frac{K_{max} \cdot E}{l_o \cdot r}} = \sqrt{\frac{166000 \cdot 2,1 \cdot 10^5}{60 \cdot 175}} = 761,6 \frac{N}{mm^2} < \sigma_{H,dop} = 1017 N/mm^2$$

$K_{max} = 166 kN = 166000 N$ maksimalni kolesni pritisk -glej tč. 3.2

$E = 2,1 \cdot 10^5 N/mm^2$ Young-ov modul elastičnosti

$l_o = 60 mm$ kontaktna površina

$r = 175 mm$ polmer kolesa

Dopustne napetosti ($\sigma_{H,dop}$):

Kotalna površina X3CrNiMo13-4 ; $\sigma_{pl} = 650 N/mm^2$

Kolo 34CrMo4; $\sigma_{pl} = 550 N/mm^2$

$\sigma_{H,dop} = 1,85 \cdot 550 = 1017 N/mm^2$

- pasnica tirnice

$$A_p = 90 \cdot 12 + 120 \cdot 15 = 2880 \text{ mm}^2$$

$$e_{T,p} = \frac{90 \cdot 12 \cdot 6 + 120 \cdot 15 \cdot 19,5}{2880} = 14,5 \text{ mm}$$

$$I_p = \frac{90 \cdot 12^3}{12} + 90 \cdot 12 \cdot 8,5^2 + \frac{120 \cdot 15^3}{12} + 120 \cdot 15 \cdot 5^2 = 1,697 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$$

7.0 Napetosti v tirnici

Pritisk na zgornji rob stojine:

$$\sigma_y = \frac{0,3 \cdot K_{max}}{t_s} \cdot \sqrt[3]{\frac{t_s}{I_p}} = \frac{0,3 \cdot 166000}{15} \cdot \sqrt[3]{\frac{15}{1,697 \cdot 10^5}} = 148 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{dop}$$

Upogibne napetosti v profilu:

$$\sigma_2 = 0,5 \cdot \frac{K_{max}}{W_2} \cdot \sqrt[3]{\frac{E_j \cdot I}{E_b \cdot b_l}} = 0,5 \cdot \frac{166000}{1,131 \cdot 10^5} \cdot \sqrt[3]{\frac{2,1 \cdot 10^5 \cdot 1,403 \cdot 10^7}{3 \cdot 10^4 \cdot 114}} = 69,8 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{dop}$$

$$b_l = l_o + 2 \cdot (t_1 + t_2) = 60 + 2 \cdot (12 + 15) = 114 \text{ mm}$$

$$\sigma_1 = -\sigma_2 \cdot \frac{W_2}{W_1} = -69,8 \cdot \frac{1,131 \cdot 10^5}{2,647 \cdot 10^5} = -29,8 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_3 = -\sigma_2 \cdot \frac{W_2}{W_3} = -69,8 \cdot \frac{1,131 \cdot 10^5}{5,396 \cdot 10^5} = -14,6 \text{ N/mm}^2$$

$$E_j = 2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2 \dots\dots\dots \text{elastični modul jekla}$$

$$E_b = 3,0 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2 \dots\dots\dots \text{elastični modul betona}$$

Primerjalne napetosti v zgornjem robu stojine:

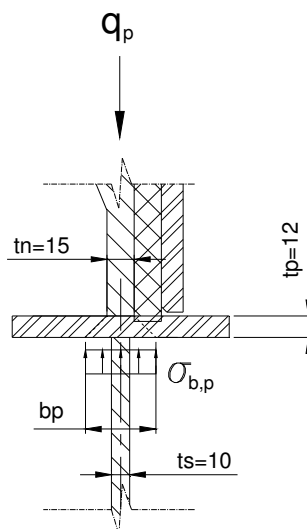
$$\sigma_{pr} = \sqrt{\sigma_y^2 + \sigma_3^2 - \sigma_y \cdot \sigma_3} = \sqrt{147,9^2 + 14,6^2 - 147,9 \cdot 14,6} = 141,2 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{dop}$$

7.1 Napetost v betonu pod tirnico

$$\sigma_b = 0,2813 \cdot K_{max} \cdot \sqrt[3]{\frac{E_b}{E_j \cdot I \cdot b_l^2}} < \sigma_{b,dop}$$

$$\sigma_b = 0,2813 \cdot 166000 \cdot \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 10^4}{2,1 \cdot 10^5 \cdot 1,403 \cdot 10^7 \cdot 114^2}} = 4,3 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{b,dop} = 9,0 \text{ N/mm}^2$$

8.0 NAPETOST V BETONU POD PRAGOM



Slika 15

$$q = \frac{G_z + F_{h,st}}{l} = \frac{29 + 97,5}{1,85} = 68,4 \text{ kN/m} = 68,4 \text{ N/mm}$$

$$F_{h,st} = F_{z,st} - F_{s,st} = 195 - 97,5 = 97,5 \text{ kN}$$

$$\sigma_b = \frac{q}{b} = \frac{68,4}{39} = 1,8 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{b,dop} = 9,0 \text{ N/mm}^2$$

$$b = t_n + 2 \cdot t_p = 15 + 2 \cdot 12 = 39 \text{ mm}$$

9.0 LITERATURA

- (1) Strojniški priročnik, B. Kraut, Ljubljana 1987
- (2) DIN 19704, 19705, September 1976
DIN 19704-1, DIN 19704-2, DIN 19704-3, Avgust 1996
- (3) SIST EN 10025, SIST EN 10088, SIST EN 10083



MONTAVAR PROJEKT LJ d.o.o.,

Družba za projektiranje, inženiring in svetovanje

SI-1000 LJUBLJANA, Valjahunova ulica 11

Tel.: 01-4345672, Tel. 01-4345673, Tel.: 01-4345674, Tel. 01-4345675, Fax.: 01-4345621

Izdelal: Cmrekar Martin univ.dipl.inž.grad.

Čistopis: Cmrekar Martin univ.dipl.inž.grad.

Ljubljana, februar 2022