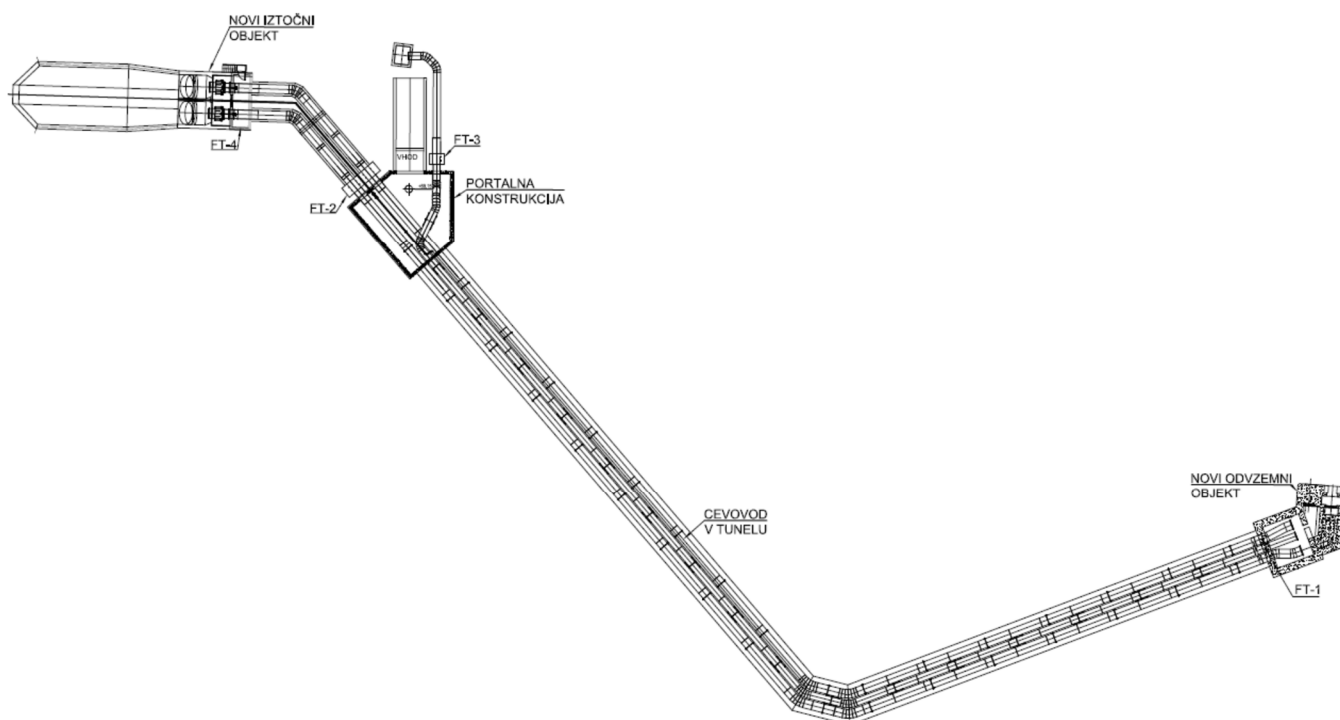


Št. projekta: P-GO-35/22
Št. mape: MPPV--8X/M01



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: CEVOVOD			
Projektant: 				Vrsta načrta/prikaza: 4. NAČRT S PODROČJA STROJNIŠTVA			
	Ime in priimek: (Podpis)	Identifikacijska št.	Vsebina dokumenta/risbe: Cevovod 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:							
Obdelal:	Majda Bonifer		Vrsta projekta:	PID	Št. proj.:	P-GO-35/22	
			Klasifikacijska oznaka:	- - - - -		Stran/Št.strani: 1/72	
Datum izdelave:	Februar 2022	Merilo:	Identifikacijska oznaka:	M P P V X - - 8 S 0 0 0 7			Rev.:

Id. oznaka: MPPVX--8S0007
Datoteka: MPPVX--8S0007_Cevovod - Statični izračun

Revizija:
Datum: Februar 2022

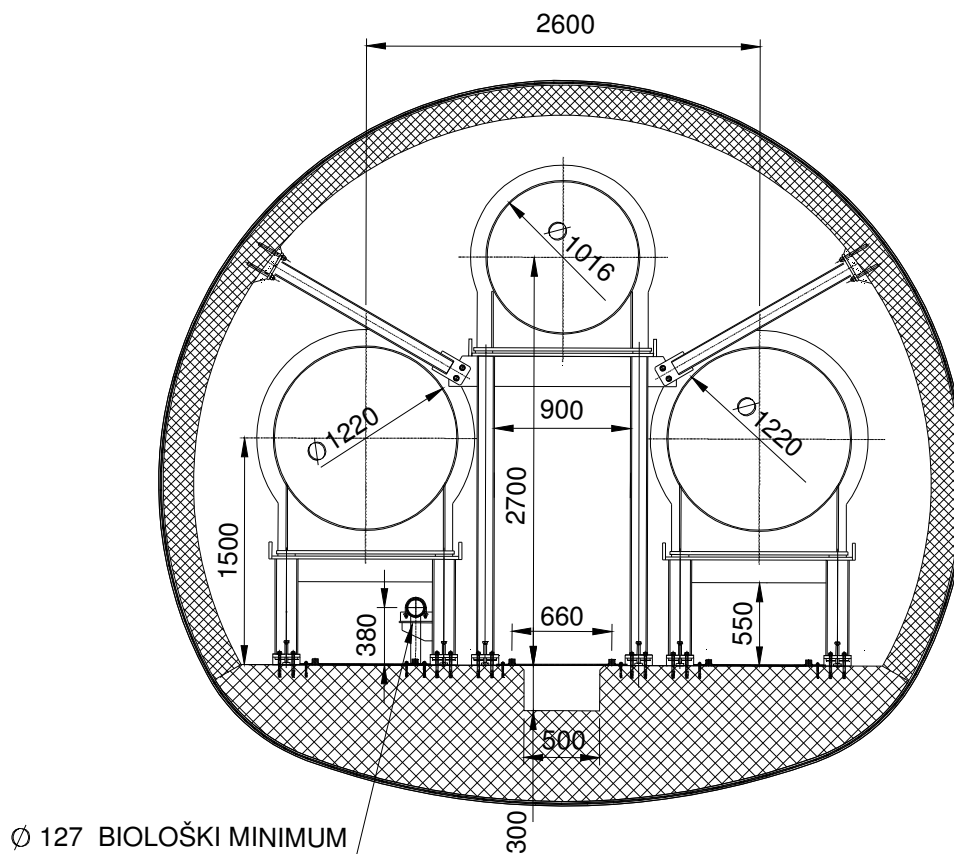
KAZALO

1.0	UVOD.....	4
2.0	OBREMENITVE	6
2.1	NORMALNI OBREMENITVENI PRIMER	6
2.1.1	Vodni tlak	6
2.1.2	Lastna teža cevi in vode	6
2.1.2.1	Cev $\phi 1220/8$	6
2.1.2.2	Cev $\phi 1016/8$	6
2.2	IZREDNI OBREMENITVENI PRIMER.....	6
2.2.1	Vodni tlak	6
2.2.2	Lastna teža cevi in vode	7
2.2.2.1	Cev $\phi 1220/8$	7
2.2.2.2	Cev $\phi 1016/8$	7
3.0	DOPUSTNE NAPETOSTI	8
4.0	STATIČNE VREDNOSTI	9
4.1	CEV $\phi 1220/8$	9
4.2	CEV $\phi 1016/8$	9
5.0	NAPETOSTI	10
5.1	NORMALNI OBREMENITVENI PRIMER	10
5.1.1	Cev $\phi 1220/8$	10
5.1.2	Cev $\phi 1016/8$	10
5.2	IZREDNI OBREMENITVENI PRIMER.....	11
5.2.1	Cev $\phi 1220/8$	11
5.2.2	Cev $\phi 1016/8$	11
6.0	DEFORMACIJE	12
6.1	CEV $\phi 1220/8$	12
6.1.1	Poves na sredini med dvema vmesnima podporama.....	12
6.1.2	Horizontalni pomiki.....	12
6.2	CEV $\phi 1016/8$	13
6.2.1	Poves na sredini med dvema vmesnima podporama.....	13
6.2.2	Horizontalni pomiki.....	13
7.0	SIDRANJE CEVOVODA	15
7.1	CEV $\phi 1220/8$	15
7.1.1	Normalni obremenitveni primer.....	15
7.1.2	Izredni obremenitveni primer.....	16
7.2	CEV $\phi 1016/8$	16
7.2.1	Normalni obremenitveni primer.....	16
7.2.2	Izredni obremenitveni primer.....	16
8.0	VMESNE PODPORE CEVOVODA	17
8.1	VMESNE PODPORE ZA CEV $\phi 1220/8$	17
8.1.1	Normalni obremenitveni primer.....	17
8.1.2	Izredni obremenitveni primer.....	19
8.2	VMESNE PODPORE ZA CEV $\phi 1016/8$	21
8.2.1	Normalni obremenitveni primer.....	21
8.2.2	Izredni obremenitveni primer.....	24
9.0	ZABETONIRANI DELI CEVOVODA.....	26

10.0	CEV ZA BIOLOŠKI MINIMUM	27
10.1	NAPETOSTI IN DEFORMACIJE	27
10.2	PRETOK SKOZI CEV ZA BIOLOŠKI MINIMUM	27
10.2.1	<i>Pretok skozi novo cev.....</i>	<i>28</i>
10.2.2	<i>Pretok skozi staro cev</i>	<i>28</i>
11.0	VARJENJE	NAPAKA! ZAZNAMEK NI DEFINIRAN.
12.0	TESTIRANJE	NAPAKA! ZAZNAMEK NI DEFINIRAN.
13.0	LITERATURA.....	29
14.0	PRILOGE OD 0 - VI	30
14.1	PRILOGA 0	30
14.2	PRILOGA I	33
14.3	PRILOGA II	36
14.4	PRILOGA III	39
14.5	PRILOGA IV	42
14.6	PRILOGA V	52
14.7	PRILOGA VI	63

1.0 UVOD

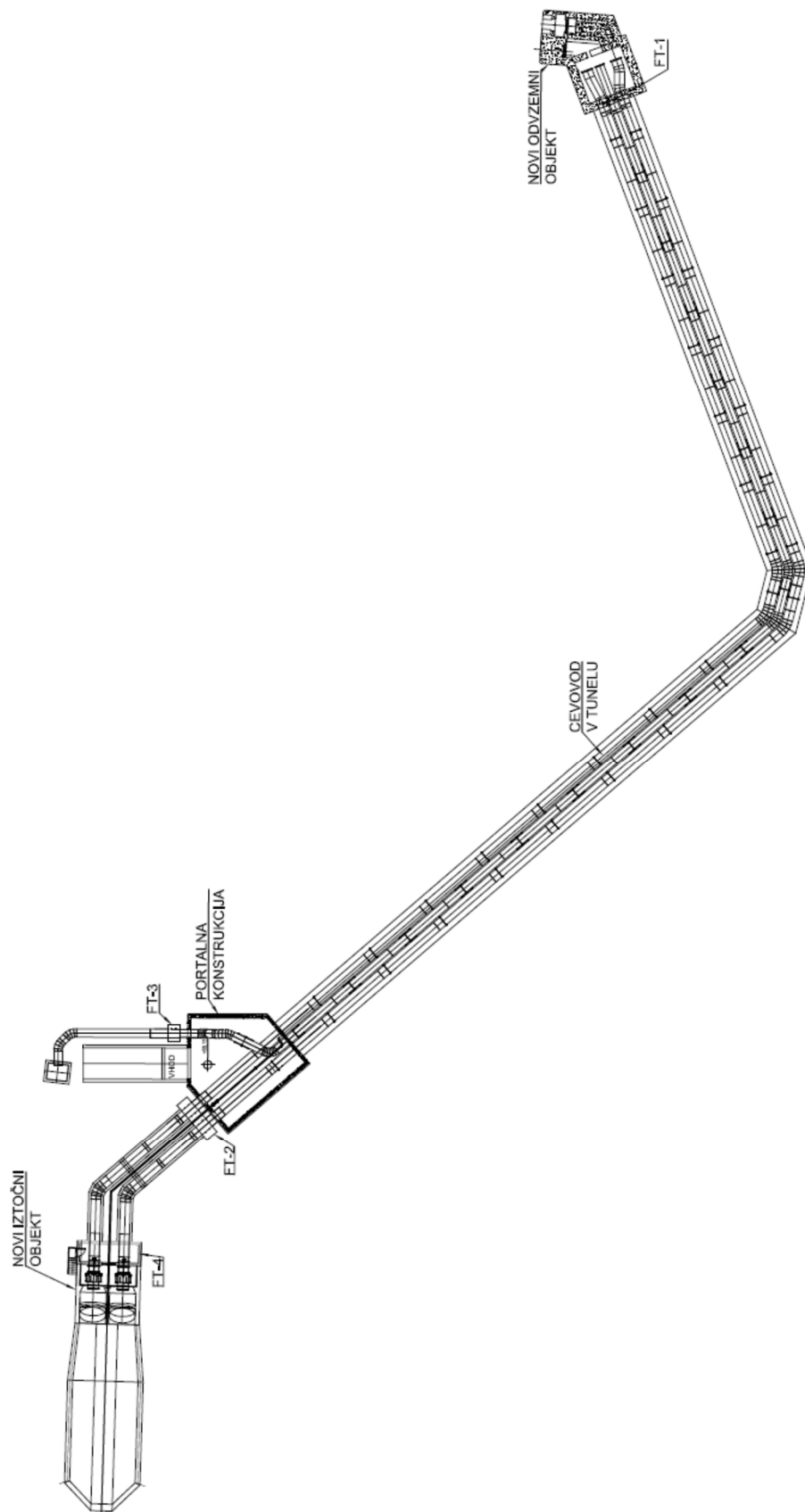
Cevovod sestoji iz dveh cevi $\phi 1220/8$ namenjenih temeljnemu izpustu in ene cevi $\phi 1016/8$ namenjene namakalnemu sistemu. Vse so izdelane iz jekla S235JR. Cevovod je podprt z vmesnimi podporami na razdalji po 9,0 m, ki omogočajo vzdolžne in prečne pomike. Projektiran je po "C.E.C.T. Recommendations" in prikazan na Slika 1a in 1b.



Slika 1a

Št. projekta: P-GO-35/22
 Št. mape: MPPV--8X/M01

MONTAVAR
 PROJEKT LJ d.o.o.



Slika 1a

Id. oznaka: MPPVX--8S0007
 Datoteka: MPPVX--8S0007_Cevovod - Statični izračun

Revizija:
 Datum: Februar 2022

2.0 OBREMENITVE

2.1 NORMALNI OBREMENITVENI PRIMER

2.1.1 Vodni tlak

$$p_N = K_V - K_i = 100,5 - 69,43 = 31,07 \text{ m v. s.} = 0,311 \text{ N/mm}^2$$

$$K_V = 100,5 \text{ m n. m.} \dots\dots\dots \text{kota vode v akumulacij}$$

$$K_p = 72,50 \text{ m n. m.} \dots\dots\dots \text{kota praga na vtoku v cevovod}$$

$$K_i = 69,43 \text{ m n. m.} \dots\dots\dots \text{kota cevi na iztoku iz cevovoda}$$

2.1.2 Lastna teža cevi in vode

2.1.2.1 Cev $\phi 1220/8$

$$q = q_c + q_v = 2,39 + 11,39 = 13,78 \text{ kN/m} = 13,78 \text{ N/mm}$$

$$q_c = \gamma_j \cdot A_c = 78,5 \cdot \frac{\pi \cdot (1,22^2 - 1,204^2)}{4} = 2,39 \text{ kN/m}$$

$$q_v = \gamma_v \cdot A_v = 10 \cdot \frac{\pi \cdot 1,204^2}{4} = 11,39 \text{ kN/m}$$

2.1.2.2 Cev $\phi 1016/8$

$$q = q_c + q_v = 1,99 + 7,85 = 9,84 \text{ kN/m} = 9,84 \text{ N/mm}$$

$$q_c = \gamma_j \cdot A_c = 78,5 \cdot \frac{\pi \cdot (1,016^2 - 1,0^2)}{4} = 1,99 \text{ kN/m}$$

$$q_v = \gamma_v \cdot A_v = 10 \cdot \frac{\pi \cdot 1,0^2}{4} = 7,85 \text{ kN/m}$$

2.2 IZREDNI OBREMENITVENI PRIMER

Izredni obremenitveni primer predstavlja potres s horizontalnim pospeškom $a_h = 0,175 \text{ g}$.
Vertikalni pospešek je

$$a_v = \frac{2}{3} a_h$$

2.2.1 Vodni tlak

$$p_i = p_N + \Delta_p = 0,311 + 0,209 = 0,52 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta_p = \frac{\alpha_h \cdot C \cdot \gamma_v \cdot T}{2 \cdot \pi} = \frac{0,175 \cdot 1500 \cdot 10 \cdot 0,5}{2 \cdot \pi} = 209 \text{ kN/m}^2 = 0,209 \text{ N/mm}^2$$

$$a_h = \frac{a_h}{g} = 0,175$$

$C = 1500 \text{ m/s}$ hitrost zvoka v vodi

$\gamma_v = 10 \text{ kN/m}^3$ specifična teža vode

$T \approx 0,5 \text{ sek}$ nihajni čas

2.2.2 Lastna teža cevi in vode

2.2.2.1 Cev $\phi 1220/8$

- v horizontalni smeri:

$$q_{hi} = q \cdot \alpha_h = 13,78 \cdot 0,175 = 2,41 \text{ N/mm}$$

- v vertikalni smeri:

$$q_{vi} = q \cdot (1 + \alpha_v) = 13,78 \cdot \left(1 + \frac{2}{3} \cdot 0,175\right) = 15,39 \text{ N/mm}$$

2.2.2.2 Cev $\phi 1016/8$

- v horizontalni smeri:

$$q_{hi} = q \cdot \alpha_h = 9,84 \cdot 0,175 = 1,72 \text{ N/mm}$$

- v vertikalni smeri:

$$q_{vi} = q \cdot (1 + \alpha_v) = 9,84 \cdot \left(1 + \frac{2}{3} \cdot 0,175\right) = 10,99 \text{ N/mm}$$

3.0 DOPUSTNE NAPETOSTI

Varnostni faktorji (C) so vzeti po "C.E.C.T. Recommendations", Appendix IID, Table 1. Prikazani so v tabeli 1 (glej prilogo 0).

Tabela 1

Cevovod	Varnostni faktor (C)		
	Stalna obremenitev	Občasna obremenitev	Izredna obremenitev
Prost	1,7	1,5	1,2
Vkopan	1,7	1,5	1,2
Vkopan in zabetoniran	1,5	1,3	1,2

Dopustne napetosti (σ_{dop}) so prikazane v tabeli 2.

$$\sigma_{dop} = \frac{\sigma_{pl}}{C}$$

$\sigma_{pl} = 235 \text{ N/mm}^2$ meja plastičnosti za material S235J2 po EN10025.

Tabela 2

Cevovod	Dopustne napetosti σ_{dop} (N/mm^2)		
	Stalna obremenitev	Občasna obremenitev	Izredna obremenitev
Prost	138	157	195
Vkopan	138	157	195
Vkopan in zabetoniran	157	180	195

4.0 STATIČNE VREDNOSTI

4.1 CEV $\phi 1220/8$

$$A = \pi \cdot \frac{(1220^2 - 1204^2)}{4} = 3,046 \cdot 10^4 mm^2$$

$$I = \pi \cdot \frac{(1220^4 - 1204^4)}{64} = 5,593 \cdot 10^9 mm^4$$

$$W = \frac{5,593 \cdot 10^9 \cdot 2}{1220} = 9,170 \cdot 10^6 mm^3$$

4.2 CEV $\phi 1016/8$

$$A = \pi \cdot \frac{(1016^2 - 1000^2)}{4} = 2,533 \cdot 10^4 mm^2$$

$$I = \pi \cdot \frac{(1016^4 - 1000^4)}{64} = 3,218 \cdot 10^9 mm^4$$

$$W = \frac{3,218 \cdot 10^9 \cdot 2}{1016} = 6,334 \cdot 10^6 mm^3$$

5.0 NAPETOSTI

5.1 NORMALNI OBREMENTVENI PRIMER

5.1.1 Cev $\phi 1220/8$

$$\sigma_x = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{W} = \frac{3,541 \cdot 10^5}{3,046 \cdot 10^4} \pm \frac{9,302 \cdot 10^7}{9,170 \cdot 10^6} = 21,8(1,5) N/mm^2$$

$$N = p_N \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 0,311 \cdot \frac{\pi \cdot 1204^2}{4} = 3,541 \cdot 10^5 N$$

$$M = \frac{q \cdot l^2}{12} = \frac{13,78 \cdot 9000^2}{12} = 9,302 \cdot 10^7 Nmm$$

$l = 9000 \text{ mm}$ razdalja med podporami

$$\sigma_y = \frac{p_N \cdot d}{2 \cdot t} = \frac{0,311 \cdot 1204}{2 \cdot 8} = 23,4 N/mm^2$$

$$\sigma_{pr} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y} = \sqrt{21,8^2 + 23,4^2 - 21,8 \cdot 23,4} = 22,6 N/mm^2 < \sigma_{dop} = 138 N/mm^2$$

$$\sigma_{pr} = \sqrt{1,5^2 + 23,4^2 - 1,5 \cdot 23,4} = 22,7 N/mm^2 < \sigma_{dop} = 138 N/mm^2$$

5.1.2 Cev $\phi 1016/8$

$$\sigma_x = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{W} = \frac{2,443 \cdot 10^5}{2,533 \cdot 10^4} \pm \frac{6,642 \cdot 10^7}{6,334 \cdot 10^6} = 20,1(-0,8) N/mm^2$$

$$N = p_N \cdot \frac{\pi \cdot 1000^2}{4} = 0,311 \cdot \frac{\pi \cdot 1000^2}{4} = 2,443 \cdot 10^5 N$$

$$M = \frac{q \cdot l^2}{12} = \frac{9,84 \cdot 9000^2}{12} = 6,642 \cdot 10^7 Nmm$$

$$\sigma_y = \frac{p_N \cdot d}{2 \cdot t} = \frac{0,311 \cdot 1000}{2 \cdot 8} = 19,4 N/mm^2$$

$$\sigma_{pr} = \sqrt{20,1^2 + 19,4^2 - 20,1 \cdot 19,4} = 19,8 N/mm^2 < \sigma_{dop} = 138 N/mm^2$$

$$\sigma_{pr} = \sqrt{0,8^2 + 19,4^2 + 0,8 \cdot 19,4} = 19,8 N/mm^2 < \sigma_{dop} = 138 N/mm^2$$

5.2 IZREDNI OBREMENITVENI PRIMER

5.2.1 Cev $\phi 1220/8$

$$\sigma_{xi} = \frac{N_i}{A} \pm \frac{M_i}{W} = \frac{5,92 \cdot 10^5}{3,046 \cdot 10^4} \pm \frac{1,052 \cdot 10^8}{9,170 \cdot 10^6} = 30,9(8,0) N/mm^2$$

$$N_i = p_i \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 0,52 \cdot \frac{\pi \cdot 1204^2}{4} = 5,92 \cdot 10^5 N$$

$$M_i = \sqrt{M_{hi}^2 + M_{vi}^2} = \sqrt{(1,627 \cdot 10^7)^2 + (1,039 \cdot 10^8)^2} = 1,052 \cdot 10^8 Nmm$$

$$M_{vi} = \frac{q_{vi} \cdot l^2}{12} = \frac{15,39 \cdot 9000^2}{12} = 1,039 \cdot 10^8 Nmm$$

$$M_{hi} = \frac{q_{hi} \cdot l^2}{12} = \frac{2,41 \cdot 9000^2}{12} = 1,627 \cdot 10^7 Nmm$$

$$\sigma_{yi} = \frac{p_i \cdot d}{2 \cdot t} = \frac{0,52 \cdot 1204}{2 \cdot 8} = 39,1 N/mm^2$$

$$\sigma_{pr,i} = \sqrt{30,9^2 + 39,1^2 - 30,9 \cdot 39,1} = 35,7 N/mm^2 < \sigma_{dop,i} = 195 N/mm^2$$

$$\sigma_{pr,i} = \sqrt{8,0^2 + 39,1^2 - 8,0 \cdot 39,1} = 35,8 N/mm^2 < \sigma_{dop,i} = 195 N/mm^2$$

5.2.2 Cev $\phi 1016/8$

$$\sigma_{xi} = \frac{N_i}{A} \pm \frac{M_i}{W} = \frac{4,084 \cdot 10^5}{2,533 \cdot 10^4} \pm \frac{7,508 \cdot 10^7}{6,334 \cdot 10^6} = 28,0(4,3) N/mm^2$$

$$N_i = p_i \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 0,52 \cdot \frac{\pi \cdot 1000^2}{4} = 4,084 \cdot 10^5 N$$

$$M_i = \sqrt{M_{hi}^2 + M_{vi}^2} = \sqrt{(1,161 \cdot 10^7)^2 + (7,418 \cdot 10^7)^2} = 7,508 \cdot 10^7 Nmm$$

$$M_{vi} = \frac{q_{vi} \cdot l^2}{12} = \frac{10,99 \cdot 9000^2}{12} = 7,418 \cdot 10^7 Nmm$$

$$M_{hi} = \frac{q_{hi} \cdot l^2}{12} = \frac{1,72 \cdot 9000^2}{12} = 1,161 \cdot 10^7 Nmm$$

$$\sigma_{yi} = \frac{p_i \cdot d}{2 \cdot t} = \frac{0,52 \cdot 1000}{2 \cdot 8} = 32,5 N/mm^2$$

$$\sigma_{pr,i} = \sqrt{28,0^2 + 32,5^2 - 28,0 \cdot 32,5} = 30,5 N/mm^2 < \sigma_{dop,i} = 195 N/mm^2$$

$$\sigma_{pr,i} = \sqrt{4,3^2 + 32,5^2 - 4,3 \cdot 32,5} = 30,6 N/mm^2 < \sigma_{dop,i} = 195 N/mm^2$$

6.0 DEFORMACIJE

6.1 CEV $\phi 1220/8$

6.1.1 Poves na sredini med dvema vmesnima podporama

$$\delta_v = \frac{q \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I} = \frac{13,78 \cdot 9000^4}{384 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 5,593 \cdot 10^9} = 0,2 \text{ mm}$$

6.1.2 Horizontalni pomiki

Horizontalni pomiki med dvema fiksnima točkama T_1 in T_2 zaradi notranjega vodnega tlaka in temperaturnih sprememb $\Delta T = \pm 15^\circ \text{C}$ so računani s programom TOWER 7, rezultati so prikazani v PRILOGI I, PRILOGI II in PRILOGI III. Glej tudi Slika 2 in tabela 3.

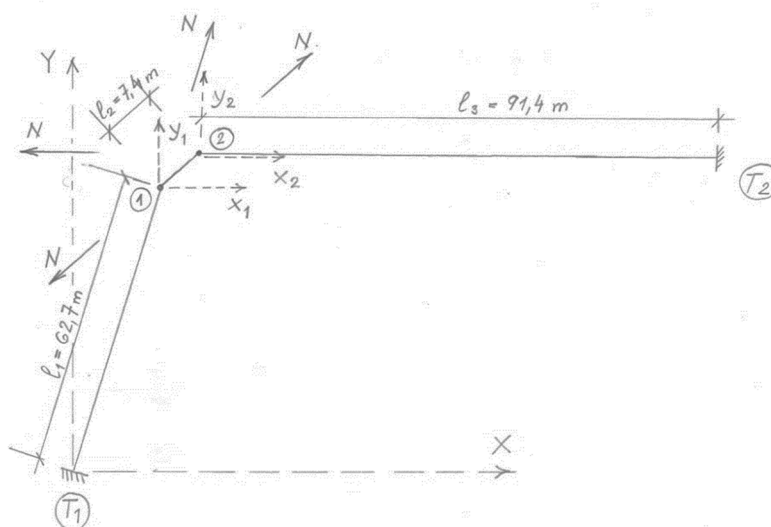
Tabela 3

Obtežbeni primer	Točka 1			Točka 2		
	x_1 [mm]	y_1 [mm]	δ_1 [mm]	x_2 [mm]	y_2 [mm]	δ_2 [mm]
I	-18,8	20,3	27,7	-18,4	-22,4	29,0
II	14,7	-15,9	21,7	14,5	-17,5	22,7
III	16,8	-18,1	24,7	16,4	-20,0	25,9

Obtežni primer I poln cevovod, $\Delta T = +15^\circ \text{C}$
Obtežni primer II poln cevovod, $\Delta T = -15^\circ \text{C}$
Obtežni primer II prazen cevovod, $\Delta T = -15^\circ \text{C}$

$$\delta_i = \sqrt{x_i^2 + y_i^2}$$

x_i, y_i glej PRILOGA I, II in III.



Slika 2

- Vzдолžna sila [N] zaradi notranjega vodnega tlaka:

$$N = \frac{p_N \cdot \pi \cdot d^2}{4} = 0,311 \cdot \frac{\pi \cdot 1204^2}{4} = 3,541 \cdot 10^5 \text{ N}$$

- Temperaturna sprememba [ΔT]:

$$\Delta T = \pm 15^0 - T_{ek} = \pm 15^0 - 2,8^0 = +12,2^0 (-17,8^0)$$

$$T_{ek} = \frac{\nu \cdot p_N \cdot d}{\alpha_T \cdot 2 \cdot t \cdot E} = \frac{0,3 \cdot 0,311 \cdot 1204}{1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 2 \cdot 8 \cdot 2,1 \cdot 10^5} = 2,8^0$$

T_{ek} temperaturni ekvivalent za krčenje cevi v vzdolžni smeri zaradi notranjega vodnega tlaka

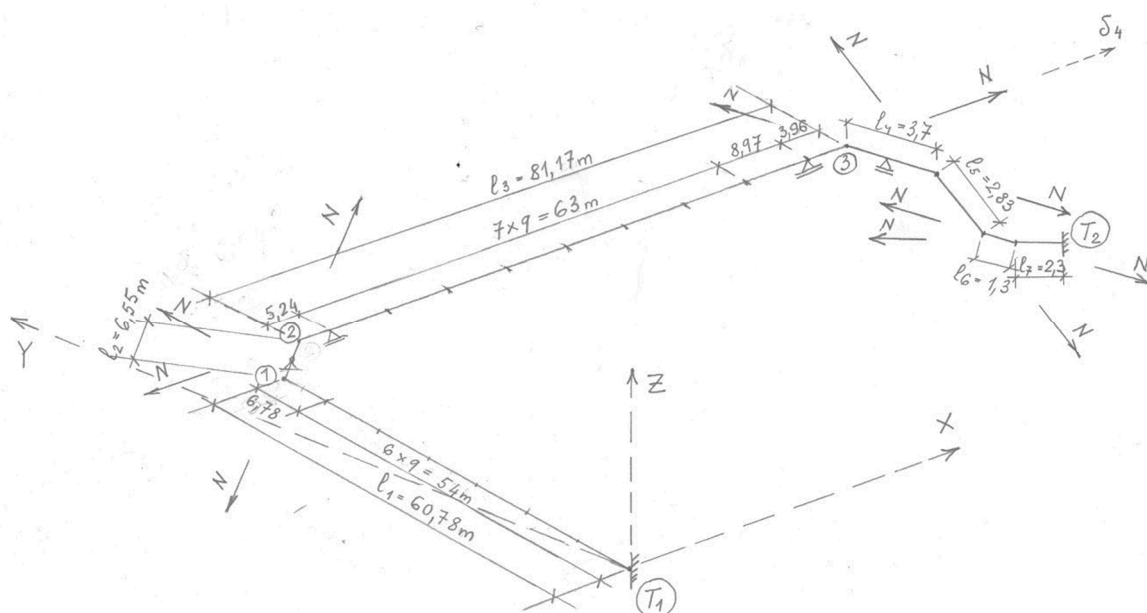
6.2 CEV $\phi 1016/8$

6.2.1 Poves na sredini med dvema vmesnima podporama

$$\sigma_v = \frac{q \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I} = \frac{9,84 \cdot 9000^4}{384 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 3,218 \cdot 10^9} = 0,25 \text{ mm}$$

6.2.2 Horizontalni pomiki

Horizontalni pomiki med dvema fiksnima točkama T_1 in T_2 zaradi notranjega vodnega tlaka in temperaturnih sprememb $\Delta T = \pm 15^0 \text{ C}$ so računani s programom TOWER 7, rezultati so prikazani v PRILOGI IV, PRILOGI V in PRILOGI VI. Glej tudi Slika 3 in tabelo 4.



Slika 3

Tabela 4

Obtežbeni primer	Točka 1			Točka 2			Točka 3		
	x_1 [mm]	y_1 [mm]	δ_1 [mm]	x_2 [mm]	y_2 [mm]	δ_2 [mm]	x_3 [mm]	y_3 [mm]	δ_3 [mm]
IV	-16,8	19,3	25,6	-16,5	21,1	26,8	-0,1	1,9	1,9
V	13,7	-15,7	20,8	13,7	-17,2	22,0	0,1	-1,6	1,6
VI	15,3	-17,5	23,2	15,0	-19,1	24,3	0,1	-1,7	1,7

Obtežni primer IV poln cevovod, $\Delta T = +15^{\circ}\text{C}$

Obtežni primer V poln cevovod, $\Delta T = -15^{\circ}\text{C}$

Obtežni primer VI prazen cevovod, $\Delta T = -15^{\circ}\text{C}$

$$\delta_i = \sqrt{x_i^2 + y_i^2}$$

x_i, y_i glej PRILOGA IV, V in VI.

- Vzdržljiva sila [N] zaradi notranjega vodnega tlaka:

$$N = \frac{p_N \cdot \pi \cdot d^2}{4} = 0,311 \cdot \frac{\pi \cdot 1000^2}{4} = 2,443 \cdot 10^5 \text{ N}$$

- Temperaturna sprememba [ΔT]:

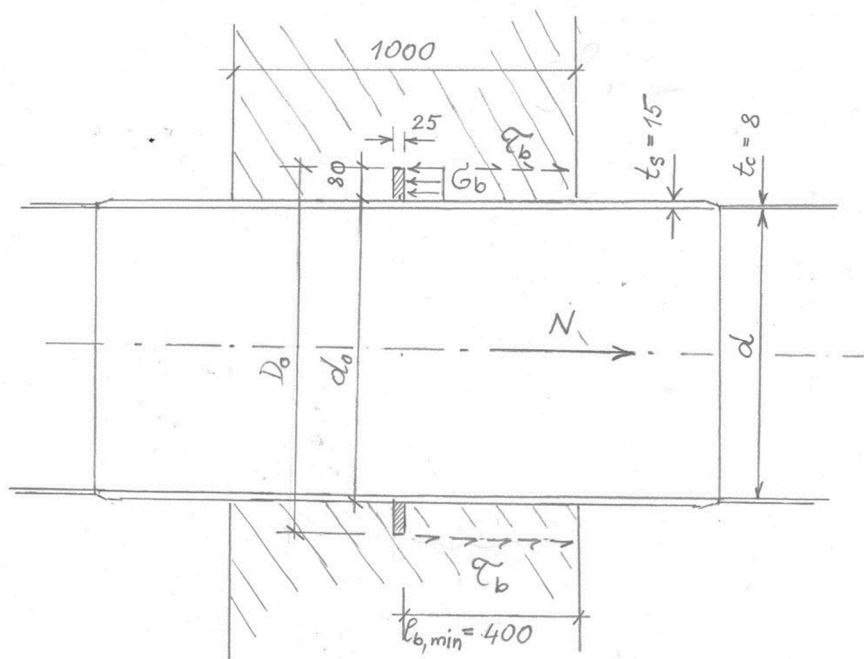
$$\Delta T = \pm 15^{\circ} - T_{ek} = \pm 15^{\circ} - 2,3^{\circ} = +12,7^{\circ} (-17,3^{\circ})$$

$$T_{ek} = \frac{\nu \cdot p_N \cdot d}{\alpha_T \cdot 2 \cdot t \cdot E} = \frac{0,3 \cdot 0,311 \cdot 1000}{1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 2 \cdot 8 \cdot 2,1 \cdot 10^5} = 2,3^{\circ}$$

7.0 SIDRANJE CEVOVODA

7.1 CEV $\phi 1220/8$

Cevovod je sidran v točkah T₁ in T₂ (glej sl. 2) s sidrnim obročem (glej Slika 4).



Slika 4

7.1.1 Normalni obremenitveni primer

Napetost v betonu

$$\sigma_b = \frac{N}{A_o} = \frac{3,541 \cdot 10^5}{3,302 \cdot 10^5} = 1,1 \text{ N/mm}^2$$

$$N = 3,541 \cdot 10^5 \text{ N} \dots\dots\dots \text{glej tč. 6.1.2}$$

$$A_o = \frac{\pi}{4} (D_o^2 - d_o^2) = \frac{\pi}{4} (1394^2 - 1234^2) = 3,302 \cdot 10^5 \text{ mm}^2$$

$$\tau_b = \frac{N}{A_{str}} = \frac{3,541 \cdot 10^5}{1,752 \cdot 10^6} = 0,2 \text{ N/mm}^2$$

$$A_{str} = \pi \cdot D_o \cdot l_{b,min} = \pi \cdot 1394 \cdot 400 = 1,752 \cdot 10^6 \text{ mm}^2$$

7.1.2 Izredni obremenitveni primer

Napetost v betonu

$$\sigma_{bi} = \frac{p_i}{p_N} \cdot \sigma_b = \frac{0,52}{0,311} \cdot 1,1 = 1,8 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{bi} = \frac{p_i}{p_N} \cdot \tau_b = \frac{0,52}{0,311} \cdot 0,2 = 0,3 \text{ N/mm}^2$$

7.2 CEV $\phi 1016/8$

Cevovod je sidran v točkah T₁ in T₂ (glej Slika 3) s sidrnim obročem (glej Slika 4).

7.2.1 Normalni obremenitveni primer

Napetost v betonu

$$\sigma_b = \frac{N}{A_o} = \frac{2,443 \cdot 10^5}{2,790 \cdot 10^5} = 0,9 \text{ N/mm}^2$$

$$N = 2,443 \cdot 10^5 \text{ N} \dots\dots\dots \text{glej tč. 6.2.2}$$

$$A_o = \frac{\pi}{4} (D_o^2 - d_o^2) = \frac{\pi}{4} (1190^2 - 1030^2) = 2,790 \cdot 10^5 \text{ mm}^2$$

$$\tau_b = \frac{N}{A_{str}} = \frac{2,443 \cdot 10^5}{1,495 \cdot 10^6} = 0,2 \text{ N/mm}^2$$

$$A_{str} = \pi \cdot D_o \cdot l_{b,min} = \pi \cdot 1190 \cdot 400 = 1,495 \cdot 10^6 \text{ mm}^2$$

7.2.2 Izredni obremenitveni primer

Napetost v betonu

$$\sigma_{bi} = \frac{p_i}{p_N} \cdot \sigma_b = \frac{0,52}{0,311} \cdot 0,9 = 1,5 \text{ N/mm}^2$$

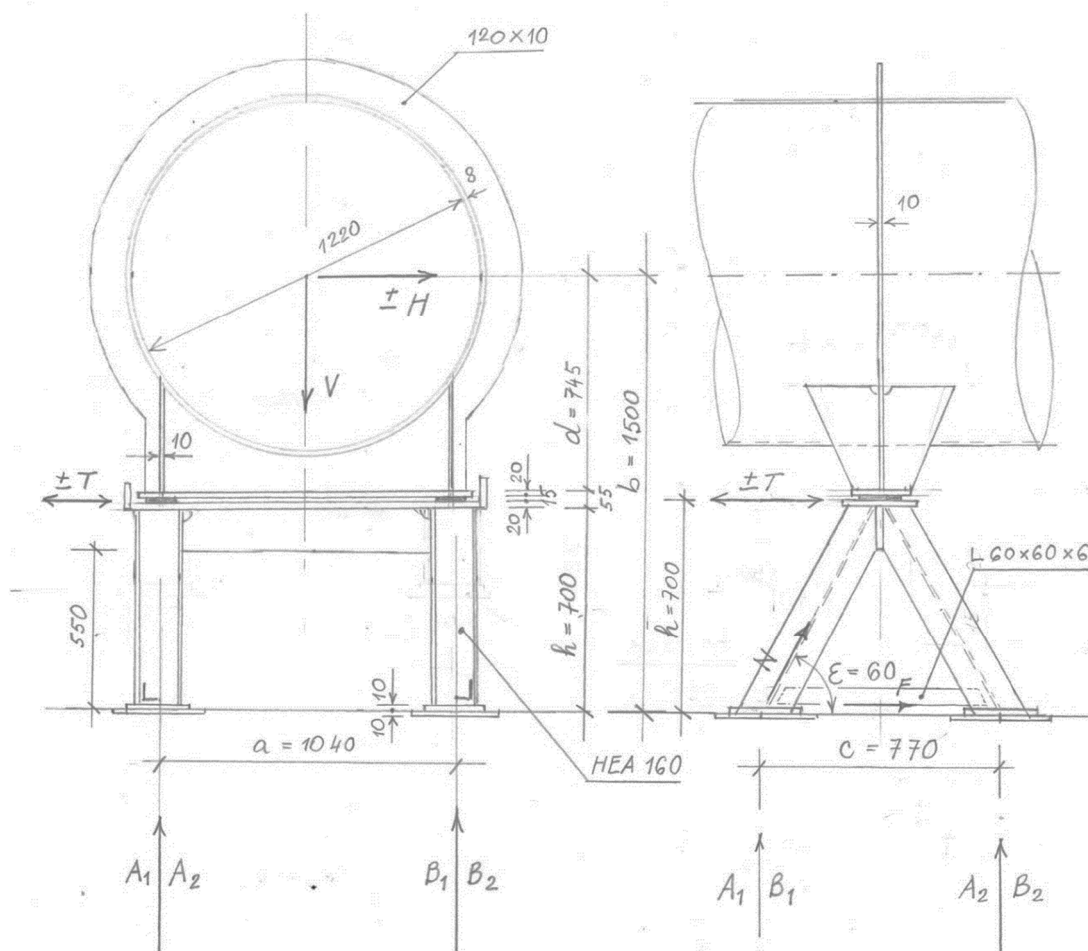
$$\tau_{bi} = \frac{p_i}{p_N} \cdot \tau_b = \frac{0,52}{0,311} \cdot 0,2 = 0,3 \text{ N/mm}^2$$

8.0 VMESNE PODPORE CEVOVODA

Podpore dopuščajo majhne vzdolžne in bočne premike, ki nastanejo pri temperaturnih spremembah in pri potresu. Postavljene so na vsakih 9 m. Drсне plošče med cevjo in podporami so izdelane iz NOVILON 6/12.

8.1 VMESNE PODPORE ZA CEV $\phi 1220/8$

Noge podpor so izdelane iz valjanih profilov HEA 160; S235J2 (glej Slika 5).



Slika 5

8.1.1 Normalni obremenitveni primer

$$V = q \cdot l = 13,78 \cdot 90 = 124,0 \text{ kN}$$

$$q = 13,78 \text{ N/mm} \dots\dots\dots \text{glej tč. 2.1.2.1}$$

$$T = H = \pm \mu \cdot V = \pm 0,20 \cdot 124,0 = \pm 24,8 \text{ kN}$$

$$\mu = 0,20 \dots\dots\dots \text{koef. trenja NOVILON - INOX}$$

$$M_{T1} = M_H = \pm T \cdot h = \pm 24,8 \cdot 0,7 = \pm 17,4 \text{ kNm}$$

- Sile na beton:

$$A_1 = \frac{V}{4} + \frac{M_{T1}}{2 \cdot c} + \frac{M_H}{2 \cdot a} = \frac{124,0}{4} + \frac{17,4}{2 \cdot 0,77} + \frac{17,4}{2 \cdot 1,04} = 50,7 \text{ kN}$$

$$A_2 = \frac{V}{4} - \frac{M_{T1}}{2 \cdot c} + \frac{M_H}{2 \cdot a} = \frac{124,0}{4} - \frac{17,4}{2 \cdot 0,77} + \frac{17,4}{2 \cdot 1,04} = 28,1 \text{ kN}$$

$$B_1 = \frac{V}{4} + \frac{M_{T1}}{2 \cdot c} - \frac{M_H}{2 \cdot a} = \frac{124,0}{4} + \frac{17,4}{2 \cdot 0,77} - \frac{17,4}{2 \cdot 1,04} = 33,9 \text{ kN}$$

$$B_2 = \frac{V}{4} - \frac{M_{T1}}{2 \cdot c} - \frac{M_H}{2 \cdot a} = \frac{124,0}{4} - \frac{17,4}{2 \cdot 0,77} - \frac{17,4}{2 \cdot 1,04} = 11,3 \text{ kN}$$

- Napetost v drsnih ploščah NOVILON 6/12

$$\sigma_t = \frac{V}{2 \cdot S_t} = \frac{1,24 \cdot 10^5}{2 \cdot 1,5 \cdot 10^4} = 4,1 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{tdop} = 98 \text{ N/mm}^2$$

$$S_t = 100 \cdot 150 = 1,5 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

- Napetost v betonu:

$$\sigma_b = \frac{A_1}{S_b} \approx \frac{6,2 \cdot 10^4}{1,76 \cdot 10^4} = 3,5 \text{ N/mm}^2$$

$$S_b \approx 2 \cdot 160 \cdot 40 + 120 \cdot 40 = 1,76 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

- Napetost v nogi HEA 160; S235J2:

$$\sigma_{max} = \frac{N_{max}}{S} + \frac{M_{T2}}{W} = \frac{5,85 \cdot 10^4}{3,88 \cdot 10^3} + \frac{4,34 \cdot 10^6}{2,2 \cdot 10^5} = 34,8 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{dop}$$

$$N_{max} = \frac{A_1}{\sin \varepsilon} = \frac{50,7}{\sin 60^\circ} = 58,5 \text{ kN}$$

$$S = 38,8 \text{ cm}^2$$

$$W = 220 \text{ cm}^2$$

$$M_{T2} = \frac{T \cdot h}{4} = \frac{2,48 \cdot 10^4 \cdot 700}{4} = 4,34 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

- Napetost v vezi L 60 x 60 x 6; S235J2

$$\sigma = \frac{F}{S} = \frac{1,79 \cdot 10^4}{691} = 25,9 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{dop}$$

$$F = \frac{V \cdot \cos \varepsilon}{4 \cdot \cos \frac{\varepsilon}{2}} = \frac{124,0 \cdot \cos 60^\circ}{4 \cdot \cos 30^\circ} = 17,9 \text{ kN}$$

$$S = 6,91 \text{ cm}^2$$

- Dopustna napetost za S235J2

$$\sigma_{dop} = \frac{f_y}{\gamma_F \cdot \gamma_M} = \frac{235}{1,35 \cdot 1,1} = 158 \text{ N/mm}^2$$

8.1.2 Izredni obremenitveni primer

Poleg povečane vertikalne obtežbe se pri potresu pojavi še dodatna horizontalna obremenitev v prečni smeri.

$$V_i = q_{vi} \cdot l = 15,39 \cdot 9,0 = 139 \text{ kN}$$

$$q_{vi} = 15,39 \text{ N/mm} \dots\dots\dots \text{glej tč. 2.2.2.1}$$

$$T_i = \pm \mu \cdot V_i = 0,20 \cdot 139 = 27,8 \text{ kN}$$

$$M_{T1i} = \pm T_i \cdot h = \pm 27,8 \cdot 0,7 = \pm 19,5 \text{ kNm}$$

$$H_i = \pm (\mu \cdot V_i + q_{hi} \cdot l) = \pm (0,20 \cdot 139 + 2,41 \cdot 9,0) = \pm 49,5 \text{ kN}$$

$$q_{hi} = 2,41 \text{ N/mm} \dots\dots\dots \text{glej tč. 2.2.2.1}$$

$$M_{Hi} = \pm H_i \cdot b = \pm 49,5 \cdot 1,5 = \pm 74,3 \text{ kNm}$$

- Sile na beton:

$$A_{1i} = \frac{V_i}{4} + \frac{M_{T1i}}{2 \cdot c} + \frac{M_{Hi}}{2 \cdot a} = \frac{139}{4} + \frac{19,5}{2 \cdot 0,77} + \frac{74,3}{2 \cdot 1,04} = 83,1 \text{ kN}$$

$$A_{2i} = \frac{V_i}{4} - \frac{M_{T1i}}{2 \cdot c} + \frac{M_{Hi}}{2 \cdot a} = \frac{139}{4} - \frac{19,5}{2 \cdot 0,77} + \frac{74,3}{2 \cdot 1,04} = 57,8 \text{ kN}$$

$$B_{1i} = \frac{V_i}{4} + \frac{M_{T1i}}{2 \cdot c} - \frac{M_{Hi}}{2 \cdot a} = \frac{139}{4} + \frac{19,5}{2 \cdot 0,77} - \frac{74,3}{2 \cdot 1,04} = 11,7 \text{ kN}$$

$$B_{2i} = \frac{V_i}{4} - \frac{M_{T1i}}{2 \cdot c} - \frac{M_{Hi}}{2 \cdot a} = \frac{139}{4} - \frac{19,5}{2 \cdot 0,77} - \frac{74,3}{2 \cdot 1,04} = -13,6 \text{ kN}$$

- Napetost v Novilon 6/12

$$\sigma_{ti} = \frac{\frac{V_i}{2} + \Delta V_i}{S_t} = \frac{\frac{1,39 \cdot 10^5}{2} + 3,55 \cdot 10^4}{1,5 \cdot 10^4} = 7,0 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{tidop} = 98 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta V_i = \frac{H_i \cdot d}{a} = \frac{49,5 \cdot 0,745}{1,04} = 35,5 \text{ kN}$$

- Napetost v betonu:

$$\sigma_{bi} = \frac{A_{1i}}{S_b} = \frac{8,31 \cdot 10^4}{1,76 \cdot 10^4} = 4,7 \text{ N/mm}^2$$

- Napetost v nogi HEA 160; S235J2

$$\sigma_{max,i} = \frac{N_{max,i}}{S} + \frac{M_{T2i}}{W} = \frac{9,60 \cdot 10^4}{3,88 \cdot 10^3} + \frac{8,66 \cdot 10^6}{2,2 \cdot 10^5} = 64,1 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{dop,i}$$

$$N_{max,i} = \frac{A_{1i}}{\sin \varepsilon} = \frac{83,1}{\sin 60^\circ} = 96,0 \text{ kN}$$

$$M_{T2i} = \frac{H_i}{4} \cdot h = \frac{49,5}{4} \cdot 0,7 = 8,66 \text{ kNm}$$

- Napetost v vezi L 60 x 60 x 6; S235J2

$$\sigma = \frac{F}{S} = \frac{3,03 \cdot 10^4}{691} = 43,9 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{dop,i}$$

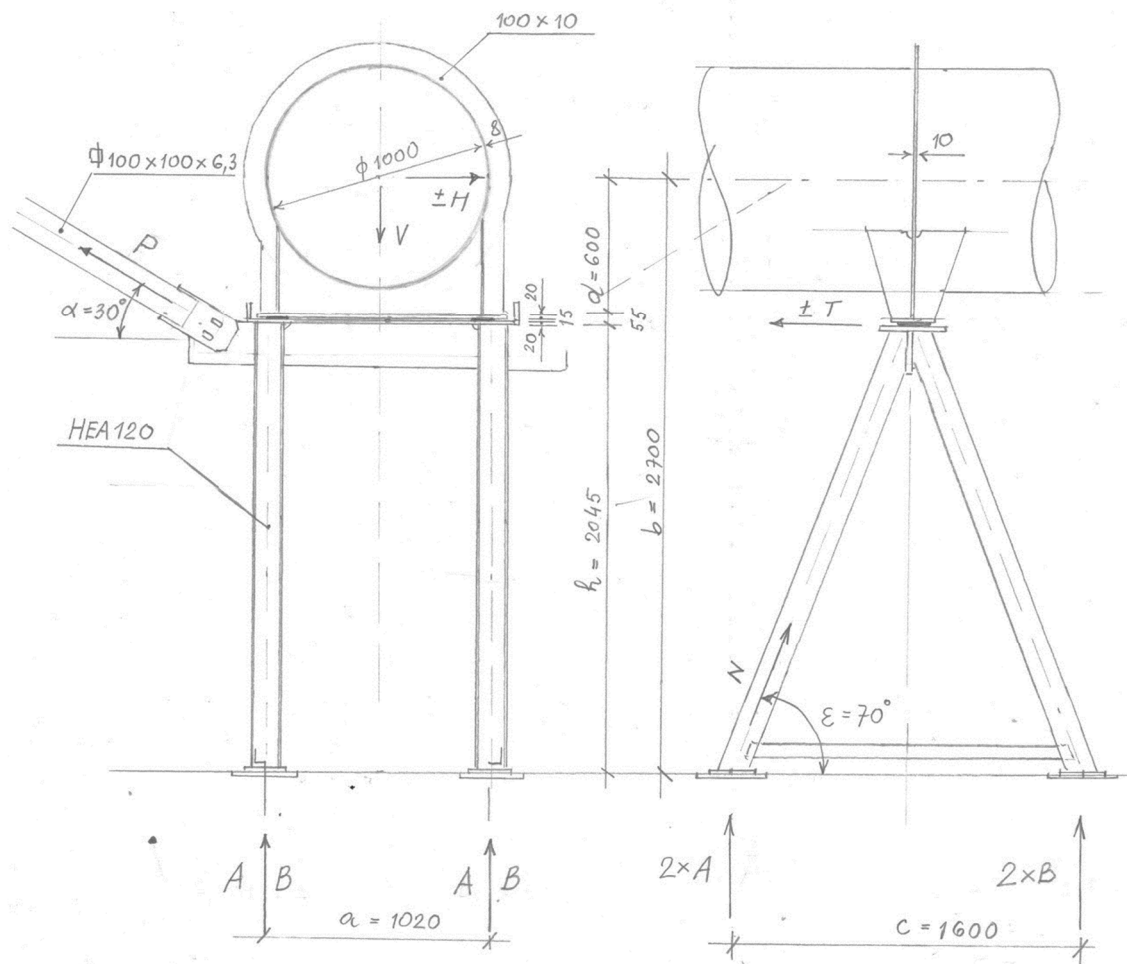
$$F_i = \frac{\left(\frac{V_i}{2} + \Delta V_i\right) \cdot \cos \varepsilon}{2 \cdot \cos \frac{\varepsilon}{2}} = \frac{\left(\frac{1,39 \cdot 10^5}{2} + 3,55 \cdot 10^4\right) \cdot \cos 60^\circ}{2 \cdot \cos 30^\circ} = 30,3 \text{ kN}$$

- Dopustna napetost za S235J2

$$\sigma_{dop} = \frac{f_y}{\gamma_F \cdot \gamma_M} = \frac{235}{1,35 \cdot 0,8 \cdot 1,1} = 198 \text{ N/mm}^2$$

8.2 VMESNE PODPORE ZA CEV $\phi 1016/8$

Noge podpor so izdelane iz valjanih profilov HEA 120, S235J2 (glej Slika 6).



Slika 6

8.2.1 Normalni obremenitveni primer

$$V = q \cdot l = 9,84 \cdot 9,0 = 88,6 \text{ kN}$$

$$q = 9,84 \text{ N/mm} \dots\dots\dots \text{glej tč. 2.1.2.2}$$

$$T = H = \pm \mu \cdot V = \pm 0,20 \cdot 88,6 = 17,7 \text{ kN}$$

$$M_T = \pm T \cdot h = \pm 17,7 \cdot 2,045 = 36,2 \text{ kNm}$$

- Sile na beton:

$$A = \frac{V}{4} + \frac{M_T}{2 \cdot c} = \frac{88,6}{4} + \frac{36,2}{2 \cdot 1,6} = 33,5 \text{ kN}$$

$$B = \frac{V}{4} - \frac{M_T}{2 \cdot c} = \frac{88,6}{4} - \frac{36,2}{2 \cdot 1,6} = 10,8 \text{ kN}$$

$$P = \frac{H}{\cos \alpha} = \frac{17,7}{\cos 30^\circ} = 20,4 \text{ kN}$$

- Napetost v teflonu:

$$\sigma_t = \frac{V}{2 \cdot S_t} = \frac{8,86 \cdot 10^4}{2 \cdot 1,5 \cdot 10^4} = 3,0 \text{ N/mm}^2$$

$$S_t = 100 \cdot 150 = 1,5 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

- Napetost v betonu:

$$\sigma_b = \frac{A_1}{S_b} = \frac{3,35 \cdot 10^4}{9600} = 3,5 \text{ N/mm}^2$$

$$S_b \approx 2 \cdot 120 \cdot 30 + 80 \cdot 30 = 9600 \text{ mm}^2$$

- Napetost v nogi HEA 120; S235J2:

$$\sigma = -\frac{N}{S} = -\frac{3,56 \cdot 10^4}{2,53 \cdot 10^3} = -14,1 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{dop}$$

$$N = \frac{A}{\sin \varepsilon} = \frac{33,5}{\sin 70^\circ} = 35,6 \text{ kN}$$

$$S = 25,3 \text{ cm}^2$$

- Stabilnost noge na uklon

$$N_d < \frac{\kappa \cdot S \cdot f_y}{\gamma_M}$$

48,1 < 411 kN pogoj izpolnjen

$$N_d = \gamma_F \cdot N = 1,35 \cdot 35,6 = 48,1 \text{ kN}$$

$$\frac{\kappa \cdot S \cdot f_y}{\gamma_M} = \frac{0,760 \cdot 2530 \cdot 235}{1,1} = 4,11 \cdot 10^5 \text{ N} = 411 \text{ kN}$$

$$\kappa = \frac{1}{\phi + [\phi^2 - \lambda_p^2]^{0,5}} = \frac{1}{0,866 + [0,866^2 - 0,740^2]^{0,5}} = 0,760$$

$$\phi = 0,5[1,0 + \alpha(\lambda_p - 0,2) + \lambda_p^2] = 0,5 \cdot [1,0 + 0,34(0,740 - 0,2) + 0,740^2] = 0,866$$

$$\lambda_p = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{69,5}{93,9} = 0,740$$

$$\lambda = \frac{l_u}{i_z} = \frac{2100}{30,2} = 69,5$$

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^5}{235}} = 93,9$$

- Napetost v vezi L 60 x 60 x 6; S235J2

$$\sigma = \frac{F}{S} = \frac{9,2 \cdot 10^3}{691} = 13,3 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{dop}$$

$$F = \frac{V \cdot \cos \varepsilon}{4 \cdot \cos \frac{\varepsilon}{2}} = \frac{88,6 \cdot \cos 70^\circ}{4 \cdot \cos 35^\circ} = 9,2 \text{ kN}$$

- Napetost v oporah 100 x 100 x 6,3

$$\sigma = \frac{-P}{S} = -\frac{2,04 \cdot 10^4}{2,33 \cdot 10^3} = -8,8 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{dop}$$

- Stabilnost opore na uklon

$$p_d < \frac{\kappa \cdot S \cdot f_y}{\gamma_M}$$

27,54 < 461 kN pogoj izpolnjen

$$P_d = \gamma_F \cdot P = 1,35 \cdot 20,4 = 27,54 \text{ kN}$$

$$\frac{\kappa \cdot S \cdot f_y}{\gamma_M} = \frac{0,927 \cdot 2330 \cdot 235}{1,1} = 4,61 \cdot 10^5 \text{ N} = 461 \text{ kN}$$

$$\kappa = \frac{1}{\phi + [\phi^2 - \lambda_p^2]^{0,5}} = \frac{1}{0,612 + [0,612^2 - 0,396^2]^{0,5}} = 0,927$$

$$\phi = 0,5[1,0 + \alpha(\lambda_p - 0,2) + \lambda_p^2] = 0,5 \cdot [1,0 + 0,34(0,396 - 0,2) + 0,396^2] = 0,612$$

$$\lambda_p = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{37,2}{93,9} = 0,396 > 0,2$$

$$\lambda = \frac{l_u}{i} = \frac{1400}{37,6} = 37,2$$

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^5}{235}} = 93,9$$

8.2.2 Izredni obremenitveni primer

$$V_i = q_{vi} \cdot l = 10,99 \cdot 9,0 = 98,9 \text{ kN}$$

$$q_{vi} = 10,99 \text{ N/mm} \dots\dots\dots \text{glej tč. 2.2.2.2}$$

$$T_i = \mu \cdot V_i = 0,20 \cdot 98,9 = 19,8 \text{ kN}$$

$$M_{Ti} = T_i \cdot h = 19,8 \cdot 2,045 = 40,5 \text{ kNm}$$

$$H_i = \pm(\mu \cdot V_i + q_{hi} \cdot l) = \pm(0,20 \cdot 98,9 + 1,72 \cdot 9,0) = 35,3 \text{ kN}$$

$$q_{hi} = 1,72 \text{ N/mm} \dots\dots\dots \text{glej tč. 2.2.2.2}$$

- Sile na beton:

$$A_i = \frac{V_i}{4} + \frac{M_{Ti}}{2 \cdot c} = \frac{98,9}{4} + \frac{40,5}{2 \cdot 1,6} = 37,4 \text{ kN}$$

$$B_i = \frac{V_i}{4} - \frac{M_{Ti}}{2 \cdot c} = \frac{98,9}{4} - \frac{40,5}{2 \cdot 1,6} = 12,1 \text{ kN}$$

$$P_i = \frac{H_i}{\cos \alpha} = \frac{35,3}{\cos 30^\circ} = 40,8 \text{ kN}$$

- Napetost v teflonu:

$$\sigma_{ti} = \frac{\frac{V_i}{2} + \Delta V_{Hi}}{S_t} = \frac{\frac{9,89 \cdot 10^4}{2} + 9,1 \cdot 10^3}{100 \cdot 150} = 3,9 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta V_{Hi} = \frac{H_i \cdot d}{a} = \frac{15,5 \cdot 0,6}{1,02} = 9,1 \text{ kN}$$

- Napetost v nogi HEA 120

$$\sigma_i = \frac{-N_i}{S} = -\frac{3,98 \cdot 10^4}{2,53 \cdot 10^3} = -15,7 \text{ N/mm}^2$$

$$N_i = \frac{A_i}{\sin \varepsilon} = \frac{37,4}{\sin 70^\circ} = 39,8 \text{ kN}$$

- Napetost v vezi L 60 x 60 x 6; S235J2

$$\sigma = \frac{F_i}{S} = \frac{1,03 \cdot 10^4}{691} = 14,9 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{dop}$$

$$F_i = \frac{V_i \cdot \cos \varepsilon}{4 \cdot \cos \frac{\varepsilon}{2}} = \frac{98,9 \cdot \cos 70^\circ}{4 \cdot \cos 35^\circ} = 10,3 \text{ kN}$$

- Napetost v oporah 100 x 100 x 6,3; S235J2

$$\sigma_i = -\frac{P_i}{S} = -\frac{1,79 \cdot 10^4}{2,33 \cdot 10^3} = -7,7 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{dop}$$

$$S = 23,3 \text{ cm}^2$$

- Stabilnost opore na uklon

$$p_d < \frac{\kappa \cdot S \cdot f_y}{\gamma_M}$$

44,1 < 461 kN pogoj izpolnjen

$$P_d = \gamma_F \cdot \Psi \cdot P_i = 1,35 \cdot 0,8 \cdot 40,8 = 44,1 \text{ kN}$$

$$\frac{\kappa \cdot S \cdot f_y}{\gamma_M} = \frac{0,927 \cdot 2330 \cdot 235}{1,1} = 4,61 \cdot 10^5 \text{ N} = 461 \text{ kN}$$

$$\kappa = \frac{1}{\phi + [\phi^2 - \lambda_p^2]^{0,5}} = \frac{1}{0,612 + [0,612^2 - 0,396^2]^{0,5}} = 0,927$$

$$\phi = 0,5[1,0 + \alpha(\lambda_p - 0,2) + \lambda_p^2] = 0,5 \cdot [1,0 + 0,34(0,396 - 0,2) + 0,396^2] = 0,612$$

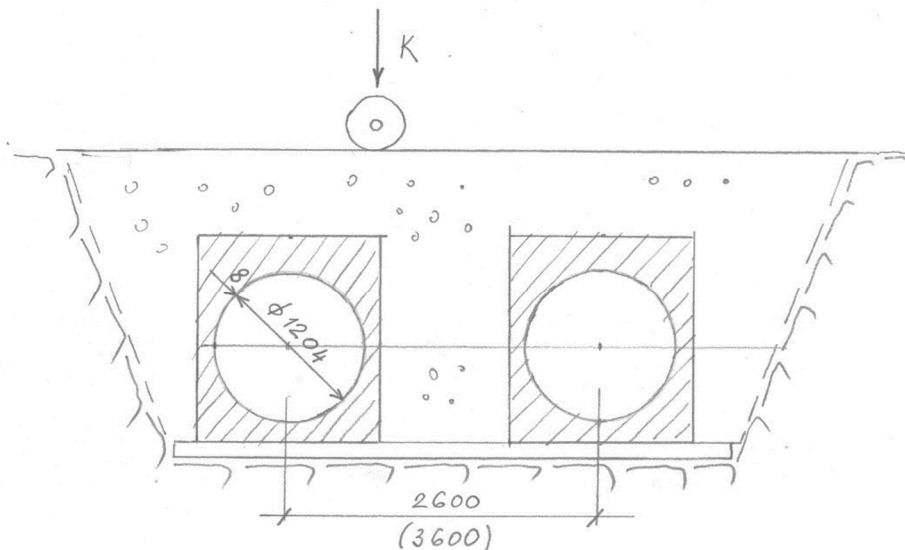
$$\lambda_p = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{37,2}{93,9} = 0,396 > 0,2$$

$$\lambda = \frac{l_u}{i} = \frac{1400}{37,6} = 37,2$$

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^5}{235}} = 93,9$$

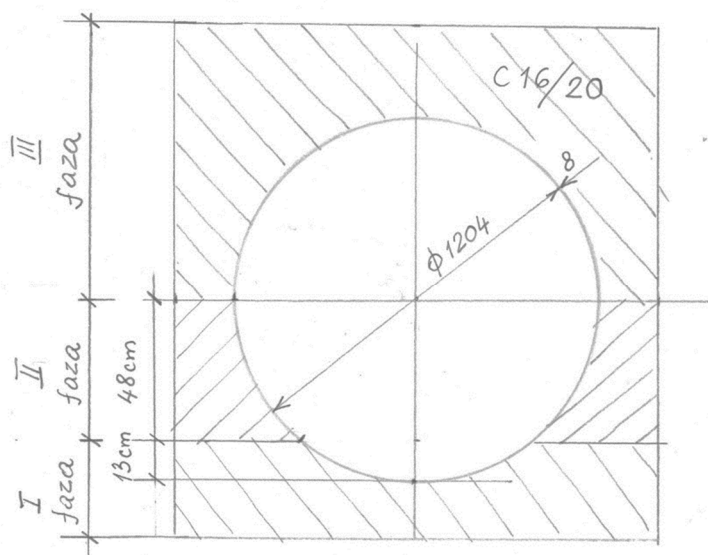
9.0 ZABETONIRANI DELI CEVOVODA

Obe cevi $\phi 1220/8$, ki izhajata iz "Portalne konstrukcije" sta zabetonirani vse do "Iztočnega objekta" v dolžini cca 22 m. Debelino betona z ustrezno armaturo določi gradbenik glede na pričakovano prometno obremenitev.



Slika 7

Pred betoniranjem bo cevovod položen na lesene montažne podpore, postavljene na podložni beton. Da se prepreči delovanje vzgona se betonira v treh fazah kot je prikazano na Slika 8.



Slika 8

10.0 CEV ZA BIOLOŠKI MINIMUM

Cev za biološki minimum mora omogočiti pretok vsaj 15 l/sek. V ta namen se izbere cev $\phi 127/6,3$ (5") iz jekla S235, pocinkana. Podpore se postavi na razmaku 6 m.

10.1 NAPETOSTI IN DEFORMACIJE

$$\sigma = \pm \frac{M}{W} = \pm \frac{8,709 \cdot 10^5}{6,87 \cdot 10^4} = \pm 12,7 \text{ N/mm}^2 \ll \sigma_{dop}$$

$$M = \frac{q \cdot l^2}{12} = \frac{0,2903 \cdot 6000^2}{12} = 8,709 \cdot 10^5 \text{ Nmm}$$

$$q = q_c + q_v = 0,1875 + 0,1028 = 0,2903 \text{ N/mm}$$

$$q_c = 18,75 \text{ kg/m} = 0,1875 \text{ N/mm}$$

$$q_v = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \gamma_v = \frac{\pi \cdot 114,4^2}{4} \cdot 0,00001 = 0,1028 \text{ N/mm}$$

$$d = 127 - 2 \cdot 6,3 = 114,4 \text{ mm} \dots\dots\dots \text{notranji premer cevi}$$

$$\gamma_v = 10 \text{ kN/m}^3 = 0,00001 \text{ N/mm}^3$$

Poves:

$$f = \frac{q \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I} = \frac{0,2903 \cdot 6000^4}{384 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 4,362 \cdot 10^6} = 1,0 \text{ mm}$$

10.2 PRETOK SKOZI CEV ZA BIOLOŠKI MINIMUM

V izračunu se upošteva pretok skozi novo cev in skozi staro zarjavelo cev. Pretok se namreč sčasoma zmanjša zaradi povečane hrapavosti, ki jo povzroči rja.

$$d = 114,4 \text{ mm} \dots\dots\dots \text{notranji premer cevi}$$

$$H = 31,1 \text{ m v. s.} \dots\dots\dots \text{hidrostatični tlak}$$

$$L \approx 190 \text{ m} \dots\dots\dots \text{dolžina cevi}$$

$$k \dots\dots\dots \text{hrapavost}$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot H}{(1 + \Sigma \xi)}} \dots\dots\dots \text{hitrost vode v cevi}$$

$$\Sigma \xi \dots\dots\dots \text{vsota izgub v sistemu}$$

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} \dots\dots\dots \text{Reynoldsovo število}$$

$$\nu = 1,01 \text{ mm}^2/\text{s} \dots\dots\dots \text{kenematična viskoznost}$$

10.2.1 Pretok skozi novo cev

$k \cong 0,06$ hrapavost nove cevi

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot 31,1}{(1 + 30,86)}} = 4,4 \text{ m/s}$$

$$Q = v \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 4,4 \cdot \frac{\pi \cdot 0,1144^2}{4} = 0,045 \text{ m}^3/\text{s} = 45 \text{ l/s} > 15 \text{ l/s}$$

$$\Sigma \xi = \xi_1 + \xi_2 + \xi_3 + \xi_4 = 0,5 + 0,06 + 1,0 + 29,3 = 30,86$$

$\xi_1 \approx 0,5$ izguba na vtoku

$\xi_2 \cong 3 \cdot 0,02 = 0,06$ izguba na 3 ventilih

$\xi_3 \cong 5 \times 0,20 = 1,0$ izguba na 5 kolenih

$$\xi_4 = \lambda \cdot \frac{L}{d} = 0,0176 \cdot \frac{190000}{114,4} = 29,3$$

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} = \frac{4400 \cdot 114,4}{1,01} = 4,98 \cdot 10^5$$

$$\lambda = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{15}{Re} + 0,269 \cdot \frac{k}{d} \right) \right]^2} = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{15}{4,98 \cdot 10^5} + 0,269 \cdot \frac{0,06}{114,4} \right) \right]^2} = 0,0176$$

10.2.2 Pretok skozi staro cev

$k \approx 1,0 \text{ mm}$ hrapavost zarjavele cevi

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot 31,1}{(1 + 61,96)}} = 3,1 \text{ m/s}$$

$$Q = v \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 3,1 \cdot \frac{\pi \cdot 0,111^2}{4} = 0,030 \text{ m}^3/\text{s} = 30 \text{ l/s} > 15 \text{ l/s}$$

$$\Sigma \xi = \xi_1 + \xi_2 + \xi_3 + \xi_4 = 0,5 + 0,06 + 1,0 + 60,4 = 61,96$$

ξ_1, ξ_2, ξ_3 enako kot v 10.2.1

$$\xi_4 = \lambda \cdot \frac{L}{d} = 0,0364 \cdot \frac{190000}{114,4} = 60,4$$

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} = \frac{3100 \cdot 114,4}{1,01} = 3,51 \cdot 10^5$$

$$\lambda = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{15}{Re} + 0,269 \cdot \frac{k}{d} \right) \right]^2} = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{15}{3,51 \cdot 10^5} + 0,269 \cdot \frac{1}{114,4} \right) \right]^2} = 0,0364$$

11.0 LITERATURA

- (1) Strojniški priročnik, B. Kraut, Ljubljana 1987
- (2) DIN 19704
- (3) Evrokod 3
- (4) C.E.C.T. RECOMMENDATIONS

Izdelal: Satler Borut, univ.dipl.inž.grad.
Ljubič Janez, univ.dipl.inž.str.

Čistopis: Bonifer Majda

Ljubljana, februar 2022

12.0 PRILOGE OD 0 - VI

12.1 Priloga 0

COMITÉ EUROPÉEN DE LA CHAUDRONNERIE ET DE LA TOLERIE

(EUROPEAN COMMITTEE FOR BOILERMAKING AND KINDRED
STEEL STRUCTURES)

C. E. C. T.

RECOMMENDATIONS
FOR
THE DESIGN, MANUFACTURE AND ERECTION
OF STEEL PENSTOCKS OF WELDED CONSTRUCTION
FOR HYDRO ELECTRIC INSTALLATIONS

(prepared by the " Penstock " Section)

Édition, Janvier 1979.

INCLUDING MODIFICATIONS, 1984

- 23 -

APPENDIX II B

1- THERMAL EFFECTS

If there is no sliding joint the maximum variations in temperature are determined in relation to the temperature prevailing at the time of connecting up the sections or clamping of the penstock.

Variations in temperature between the different points of the same section are not usually taken into consideration (upper or lower generatrix, for example).

Unless otherwise specified by the client, the variation in temperature justifying the safety factor shall be $\pm 10^\circ \text{C}$ for the filled and empty concreted or buried penstocks and $\pm 30^\circ \text{C}$ for the empty out of ground penstocks in relation to the temperature prevailing at the time of connecting up the sections.

2- FRICTION AND ROLLING FACTORS AT SUPPORTS – FRICTION FACTOR AT SLIDING JOINTS

In the absence of particular specification by the client or relevant documents from the manufacturer, the following values are assumed :

- lubricated sliding supports	$f = 0,3$
- non-lubricated sliding supports	$f = 0,4$
- rolling supports	$f = 0,15$
- rocker supports	$f = 0,1$
- sliding joints	$f = 0,3$

Joint tightening pressure

$P_s =$ twice the maximum pressure

APPENDIX II C

HEAD LOSSES

When the head loss is the subject of a special study, the manufacturer shall state the formulae applied in the relevant documents and for special parts, the results from model tests or previous experience.

It is advisable to mention the factors taken into account as regards the roughness of the walls or of the internal protection of the penstock.

APPENDIX II D

Dimensioning factors

1- DEFINITION

A dimensioning factor is defined either as the ratio of a reference stress - in general R_e - to the actual stress or as the ratio of a reference pressure to the actual pressure to which the structure is subjected :

$$C' = R_e / \sigma_{\text{eq}} \quad C'' = P_{\text{ref}} / P_{\text{design}}$$

Table 1 below gives the dimensioning factors C that are applicable under the following conditions :

- 24 -

2- FACTORS OF C' AND C'' TYPES

2.1. - The C' and C'' types are minimum factors that are applicable when all the working conditions of the section of the work under consideration have been carefully estimated (See Para. 1 of Annexure II) and the tolerances as per Annexures IV and V have been adhered to in compliance with Paragraphs 7 and 8.3.1 of Appendix E of Annexure II.

2.2. - Such factors apply to the three classes of work.

2.3. - The factors of columns 5, 6, 7 and 11 take any corrosion allowance into account. This allowance is not considered in the other columns.

3- FACTORS OF C' TYPE

3.1. - The C' type factors apply to the equivalent stresses calculated with the primary stresses using the formula as indicated in Paragraph 4 of Annexure II.

3.2. - The reference stress is the apparent elastic limit guaranteed for the material and not its effective value.

3.3. - If both the primary and secondary stresses due to exceptional forces are considered, the equivalent stress shall generally be lower than the guaranteed elastic limit of the steel.

4- FACTORS OF C'' TYPE

4.1. - The C'' type factors apply to the external overpressure on the penstock (atmospheric pressure for empty exposed penstock - overpressure in a power shaft).

4.2. - The reference pressure is the critical pressure that induces the failure of the structure due to instability or subsidence.

TABLE 1
Indicative table of minimum dimensioning factors C

Indicative table of minimum dimensioning factors C

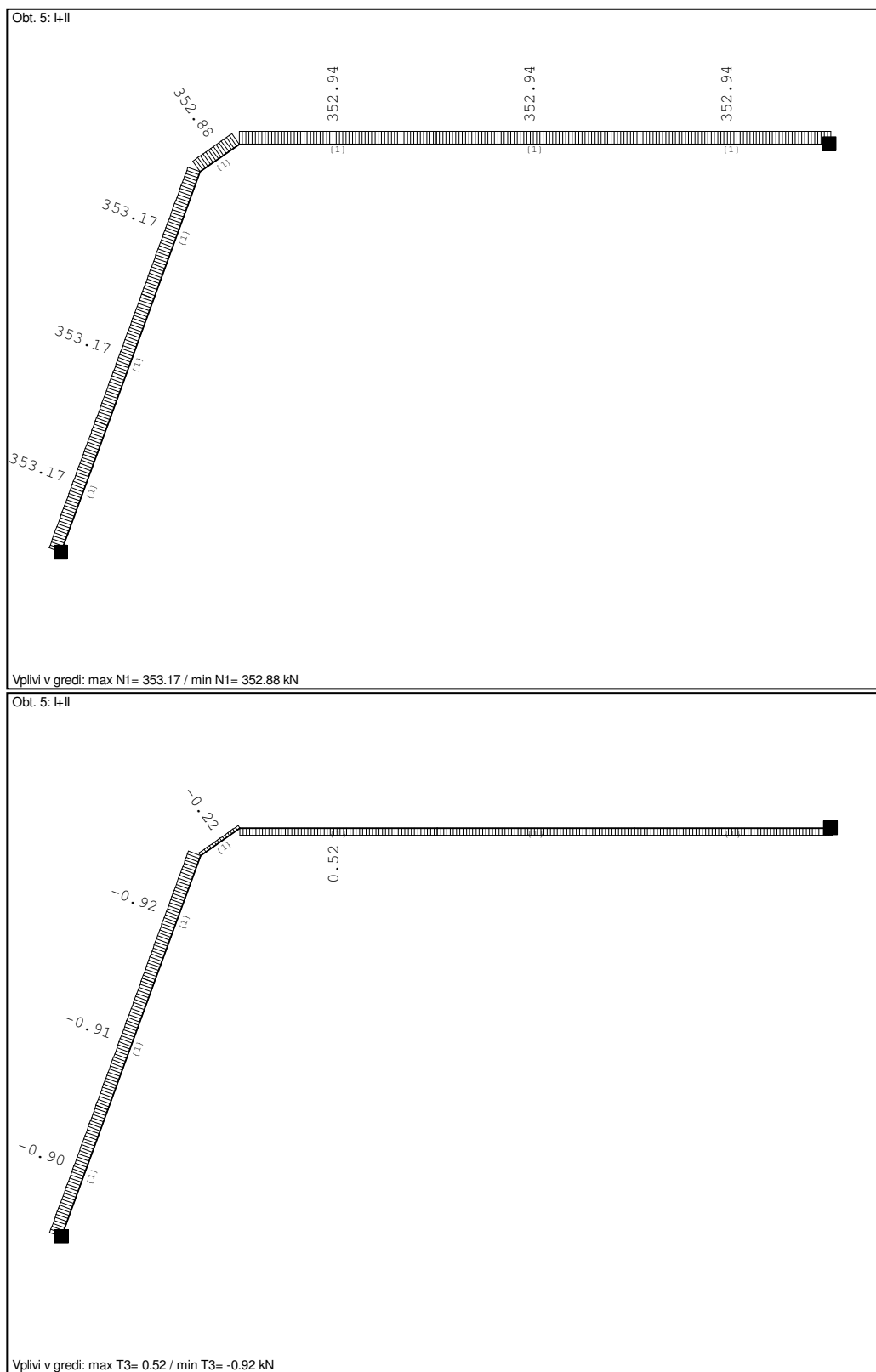
Loading case : (as per para. 2 of Annexure II)		Permanent forces		Intermittent forces		Exceptional or accidental forces						
Factors C' : $\sigma_{perm.} = \frac{R_a}{C'}$ Factors C'' : $p_{critical} = C'', p_{max.}$		1 Cylindrical pipes	2 Distributors or special parts	3 Filling or Emptying	4 External overpressure (a)	5 Pressure Test after erection	6 Concreting (b)	7 Grouting (b)	8 Warhammer effect due to a sudden cut-off of the flow	9 Penstock subjected to absolute vacuum (a)	10 Seisms	11 Shop tests Transport
Penstock condition		full	full	half-full section	$P_{int} < P_{ext}$	full	empty	empty	full	total vacuum	full	full
Types of factors		'	'	'	"	'	'	"	'	"	'	'
Types of work												
a : Exposed or free in tunnel		1.7	2	1.5	—	1.3	—	—	1.2	1.6	1.2	1.2
b : Buried		1.7	2	1.5	—	1.3	—	—	1.2	1.6	1.2	1.2
c : Buried and concreted		1.8	1.8	1.3	1.6	1.3	1.5	2	1.2	—	1.2	1.2
d : In concreted tunnel without collaboration of the rock		1.5	1.8	1.3	1.6	1.3	1.5	2	1	—	1	1.2
In concreted tunnel with collaboration of the rock	e : steel lining only considered	1.1	1.5	1	1.6	1	1.5	2	—	—	—	—
	f : plate + concrete + rock assembly	2	2.5	—	1.6	1.8	—	2	—	—	—	—

(a) - Such factors are to be used with the formulas indicated in Paragraphs 7 and 8 of Appendix II E
(b) - Temporary reinforcements may be necessary to adhere to such factors

Št. projekta: P-GO-35/22
Št. mape: MPPV--8X/M01



12.2 Priloga I



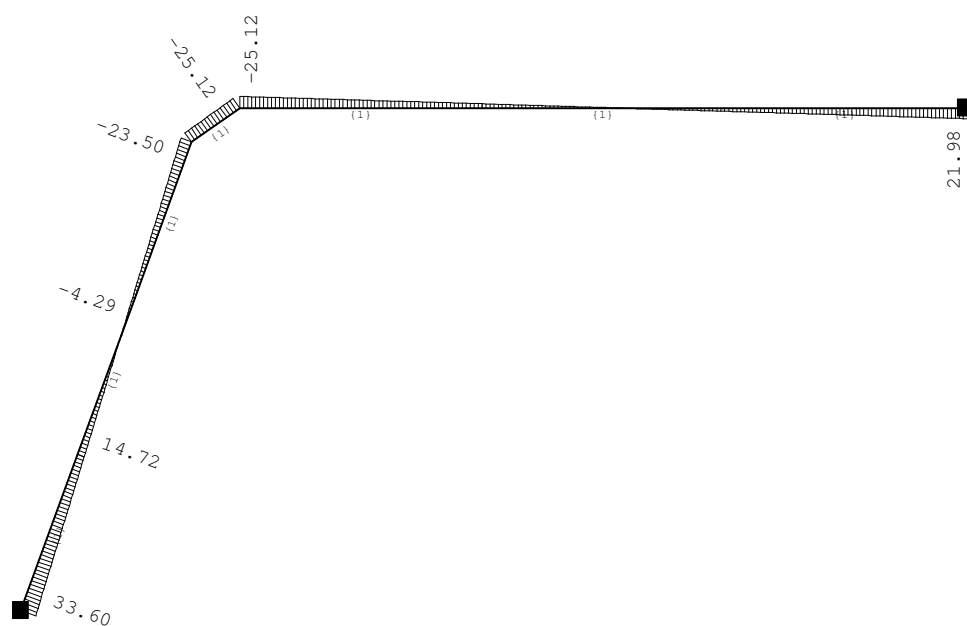
Id. oznaka: MPPVX--8S0007
Datoteka: MPPVX--8S0007_Cevovod - Statični izračun

Revizija:
Datum: Februar 2022

Št. projekta: P-GO-35/22
 Št. mape: MPPV--8X/M01

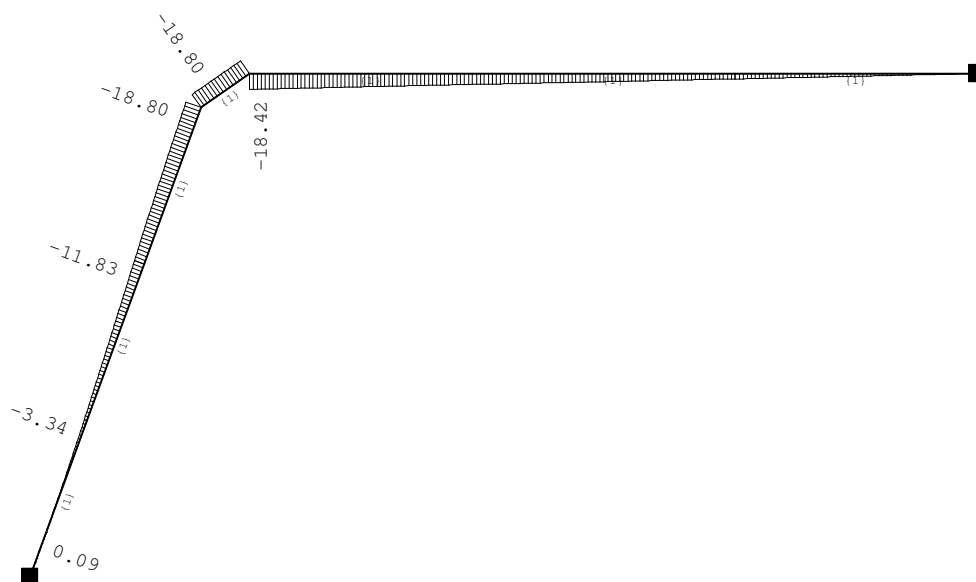


Obt. 5: I+II



Vplivi v gredi: max $M_2 = 33.60$ / min $M_2 = -25.12$ kNm

Obt. 5: I+II



Vplivi v gredi: max $X_p = 0.09$ / min $X_p = -18.80$ m / 1000

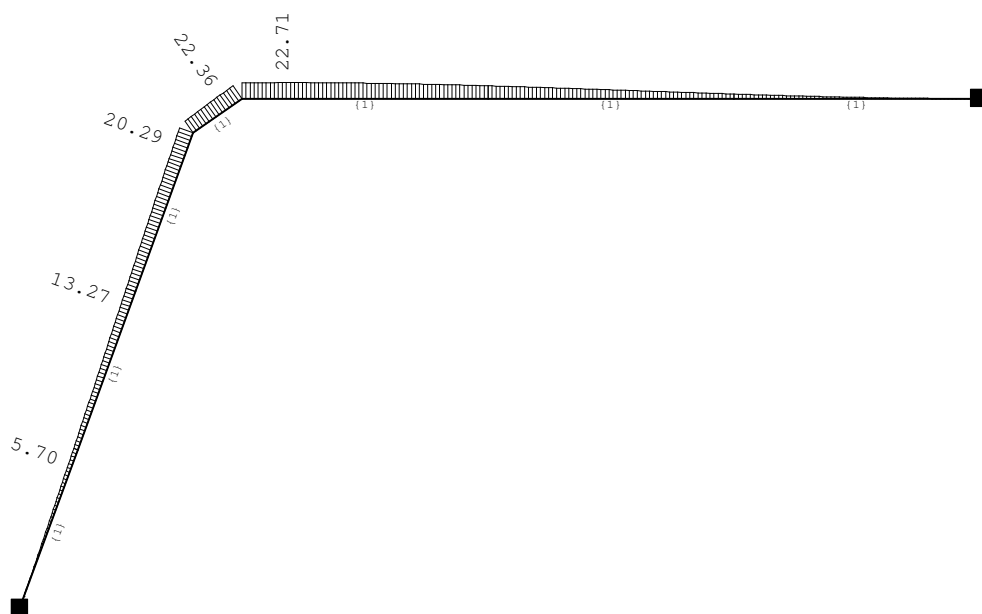
Id. oznaka: MPPVX--8S0007
 Datoteka: MPPVX--8S0007_Cevovod - Statični izračun

Revizija:
 Datum: Februar 2022

Št. projekta: P-GO-35/22
Št. mape: MPPV--8X/M01

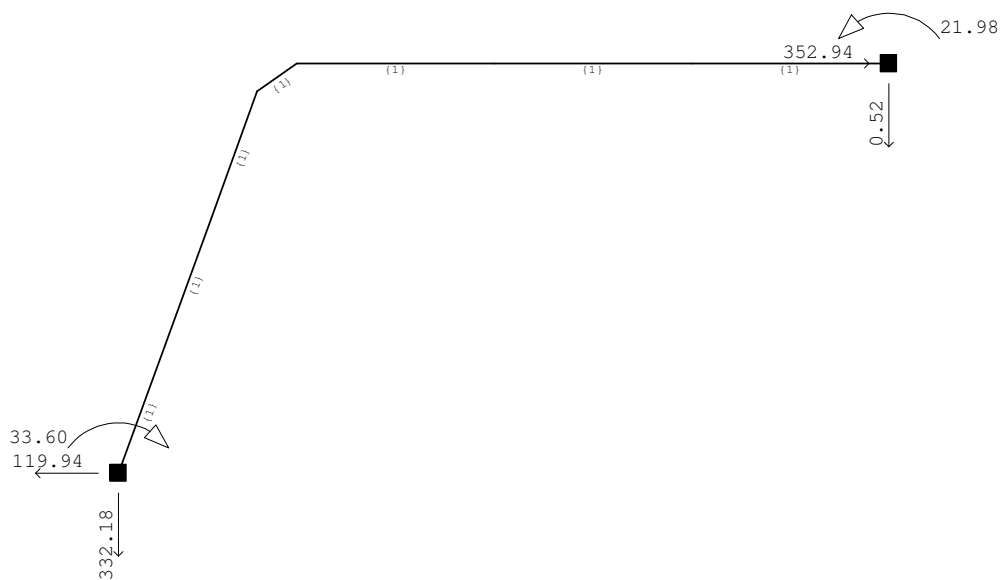


Obt. 5: I+II



Vplivi v gredi: max $Y_p = 22.71$ / min $Y_p = 0.00$ m / 1000

Obt. 5: I+II



Reakcije podpor

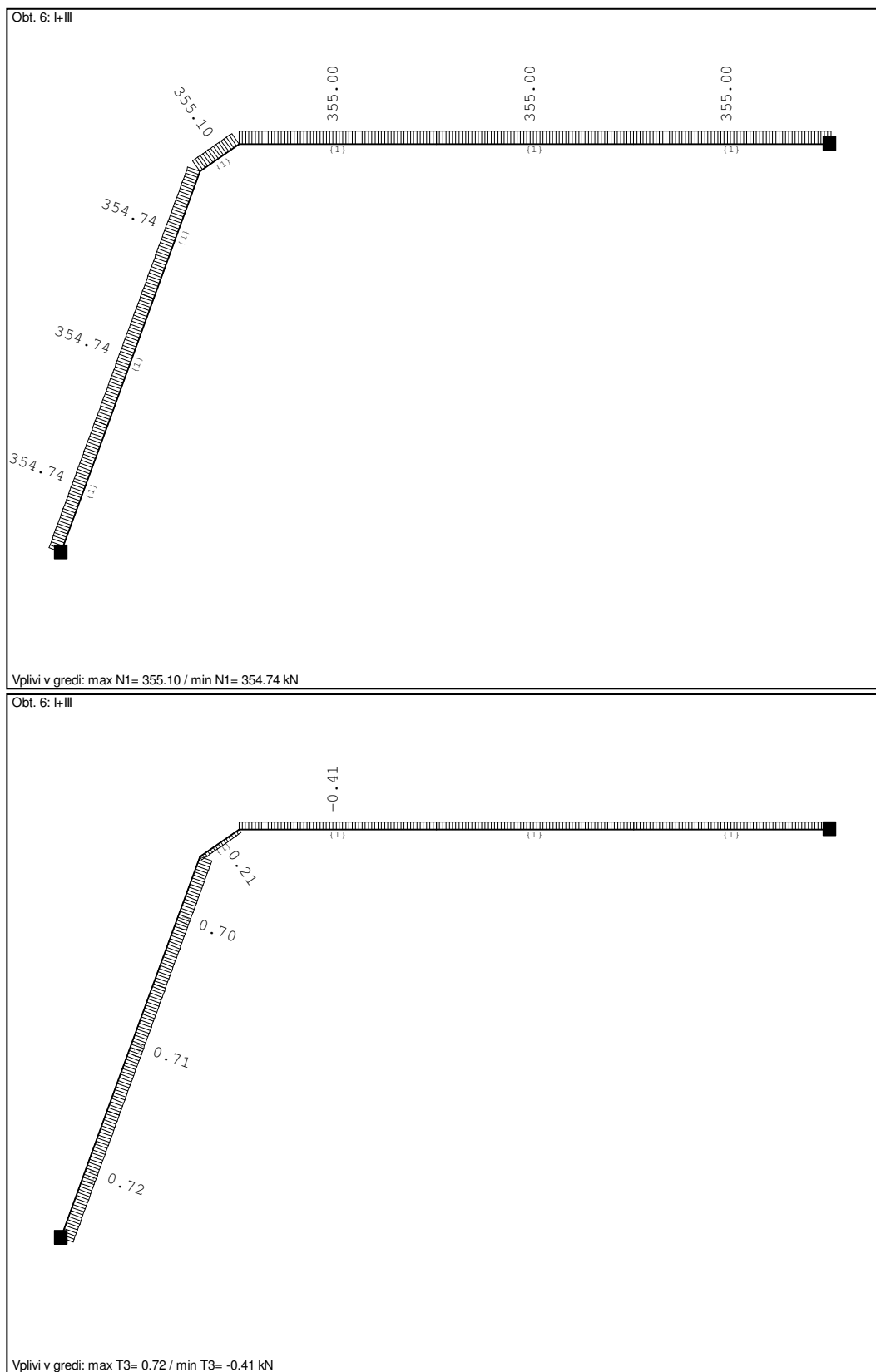
Id. oznaka: MPPVX--8S0007
Datoteka: MPPVX--8S0007_Cevovod - Statični izračun

Revizija:
Datum: Februar 2022

Št. projekta: P-GO-35/22
Št. mape: MPPV--8X/M01



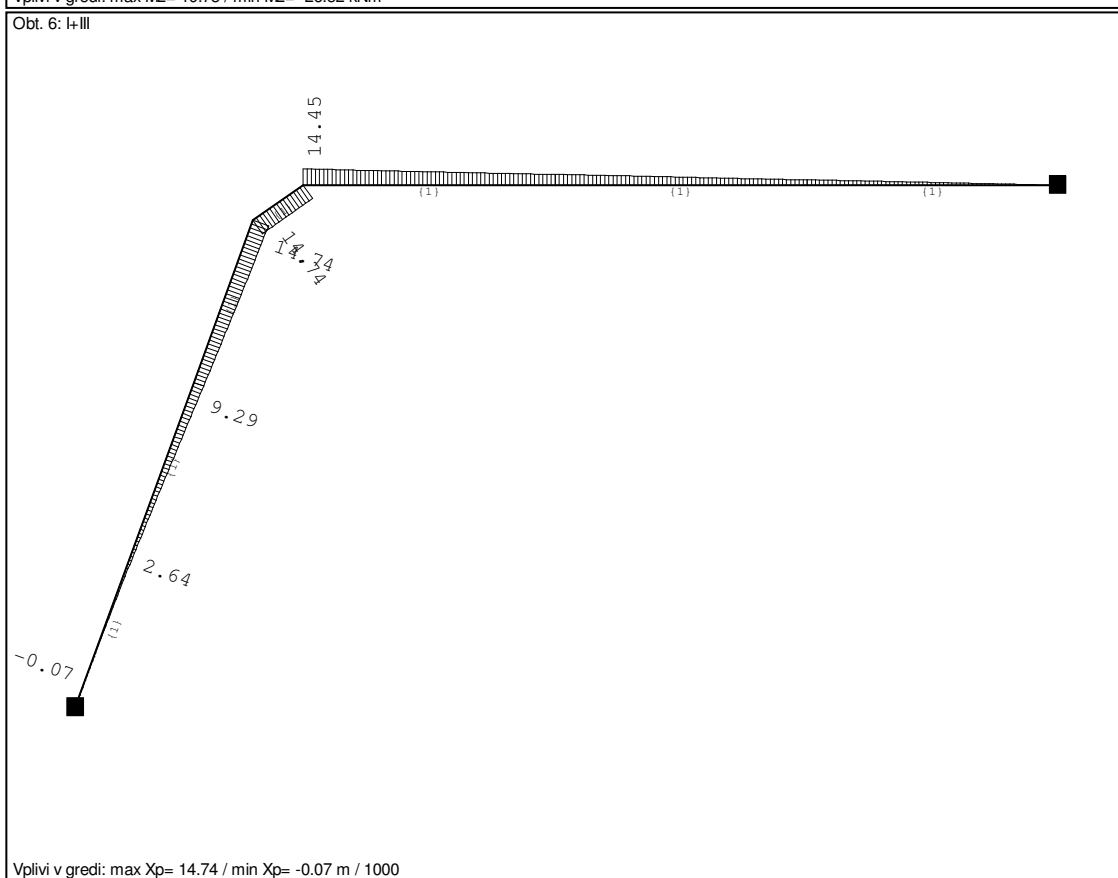
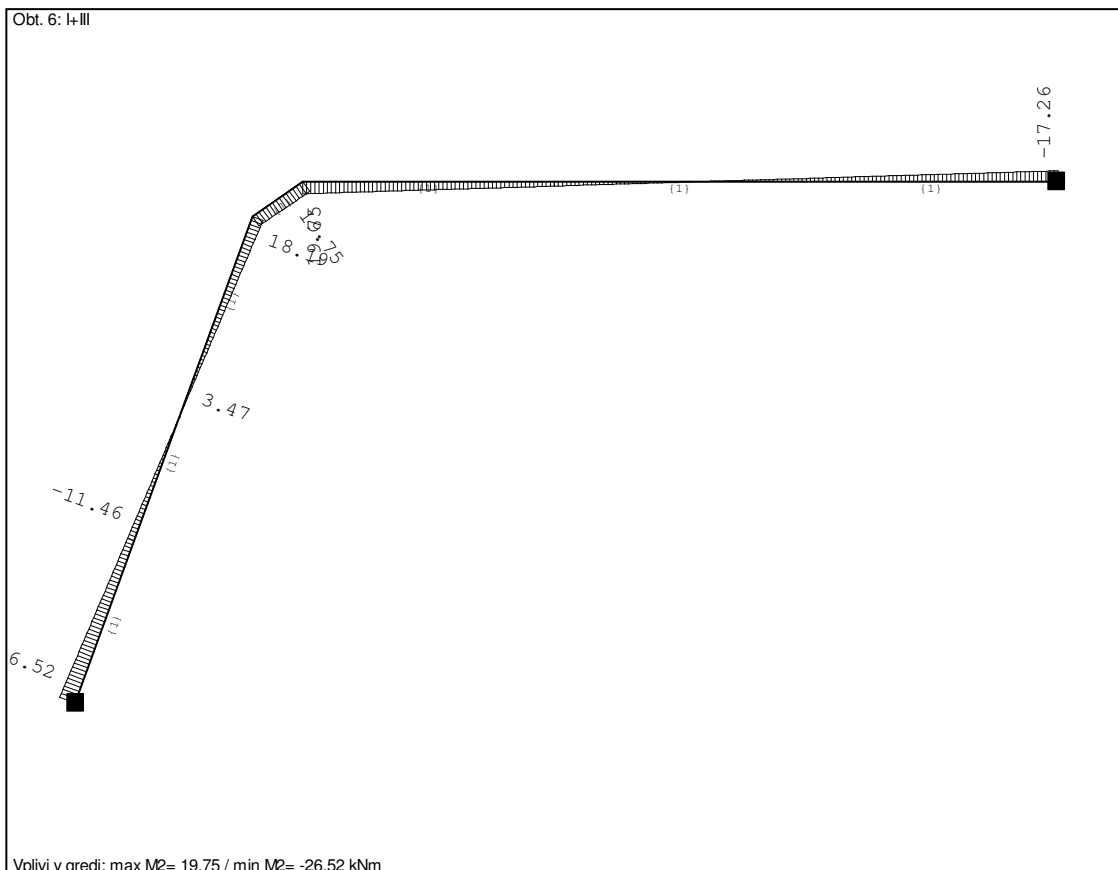
12.3 Priloga II



Id. oznaka: MPPVX--8S0007
Datoteka: MPPVX--8S0007_Cevovod - Statični izračun

Revizija:
Datum: Februar 2022

Št. projekta: P-GO-35/22
 Št. mape: MPPV--8X/M01



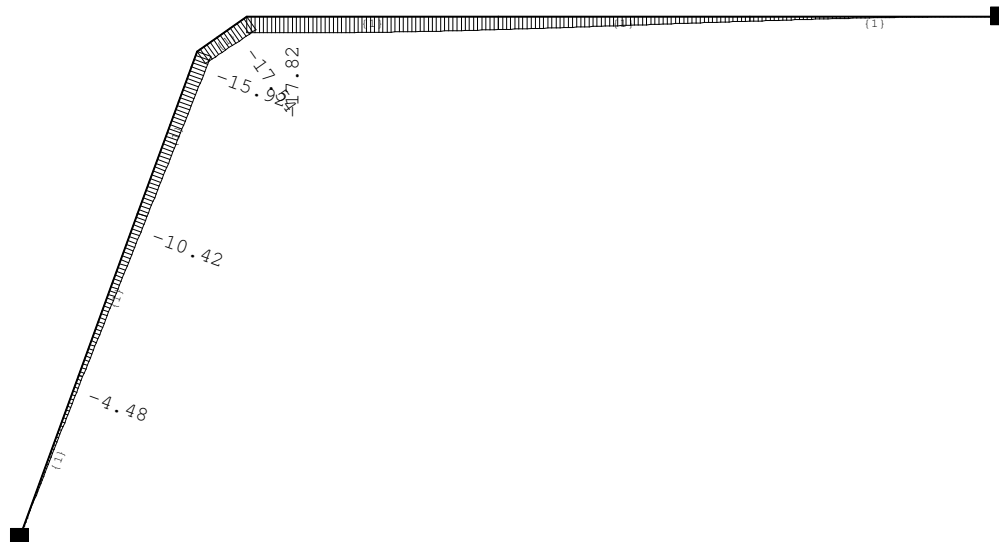
Id. oznaka: MPPVX--8S0007
 Datoteka: MPPVX--8S0007_Cevovod - Statični izračun

Revizija:
 Datum: Februar 2022

Št. projekta: P-GO-35/22
 Št. mape: MPPV--8X/M01

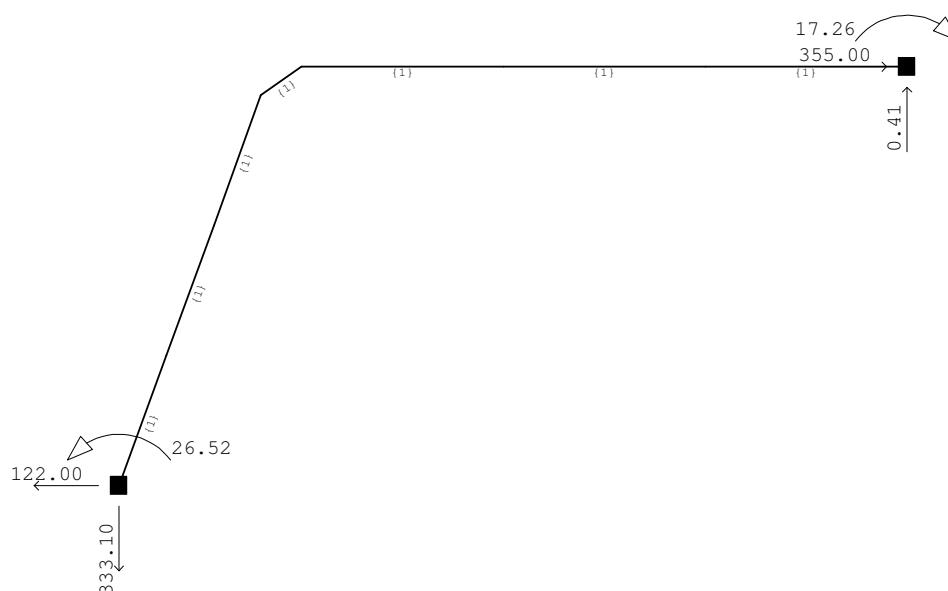


Obt. 6: I+III



Vplivi v gredi: max $Y_p = 0.00$ / min $Y_p = -17.82$ m / 1000

Obt. 6: I+III

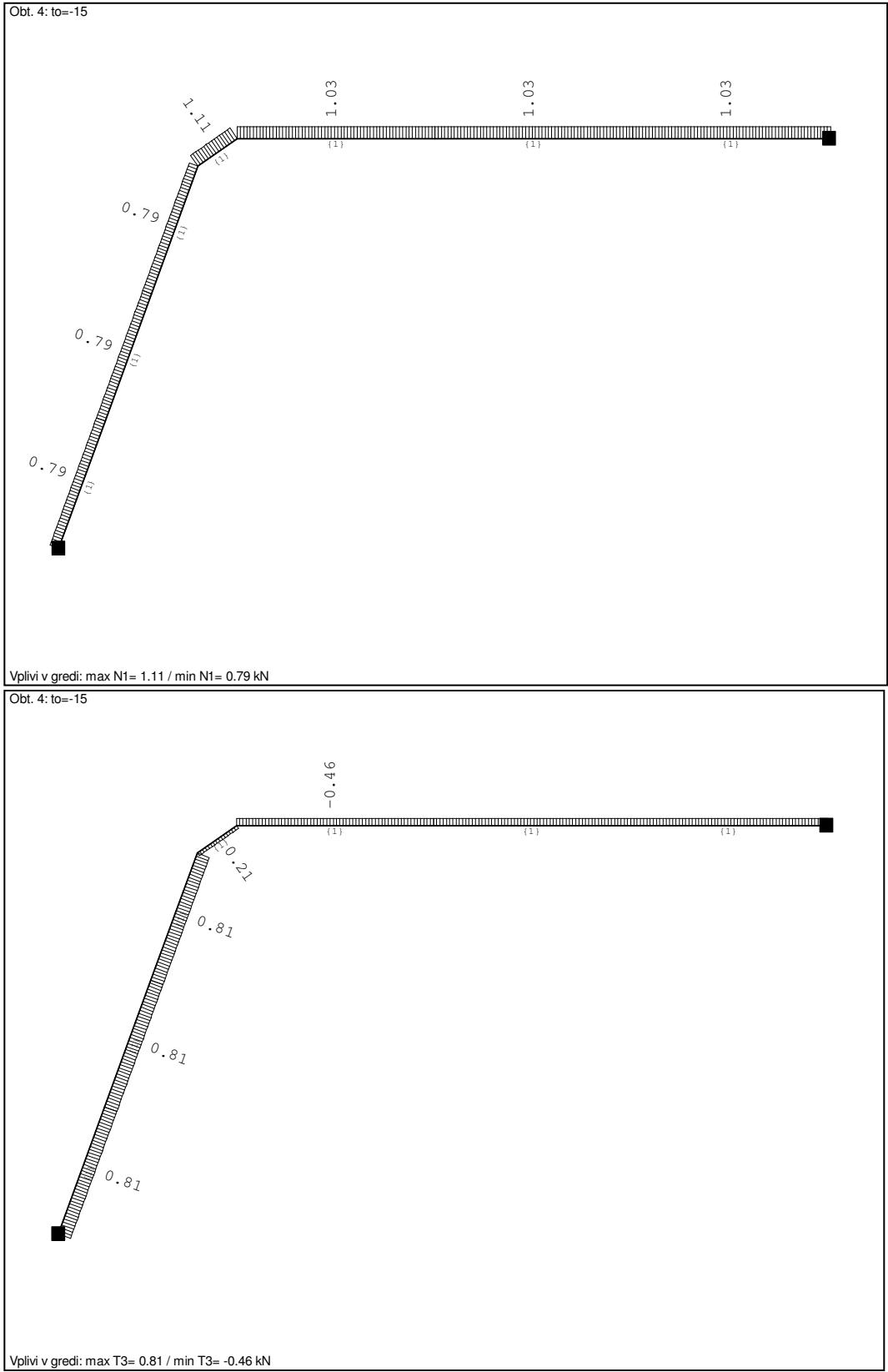


Reakcije podpor

Id. oznaka: MPPVX--8S0007
 Datoteka: MPPVX--8S0007_Cevovod - Statični izračun

Revizija:
 Datum: Februar 2022

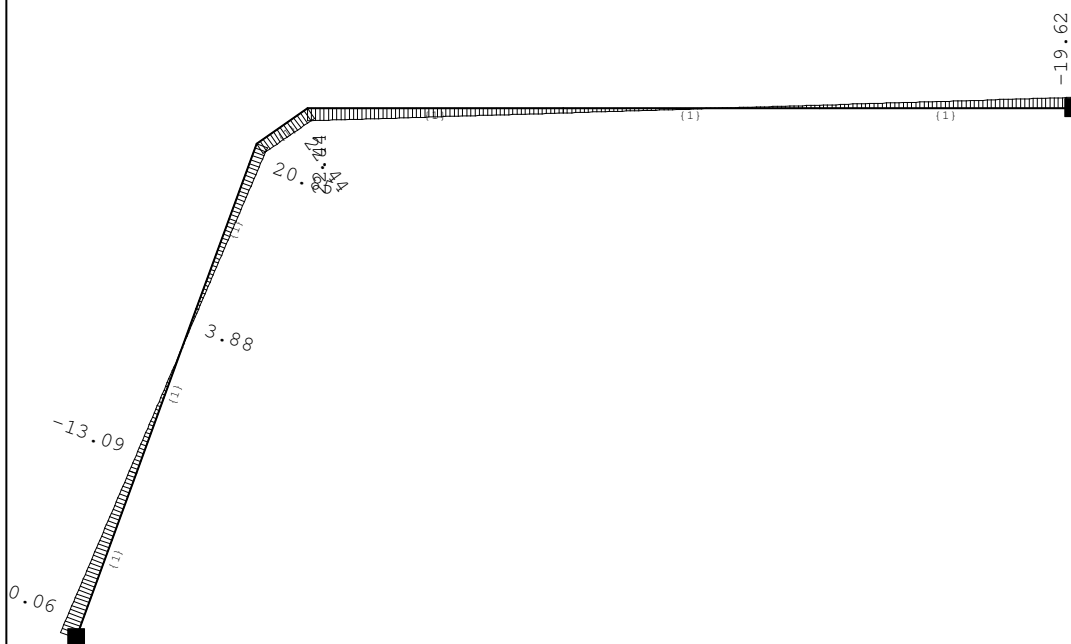
12.4 Priloga III



Št. projekta: P-GO-35/22
 Št. mape: MPPV--8X/M01

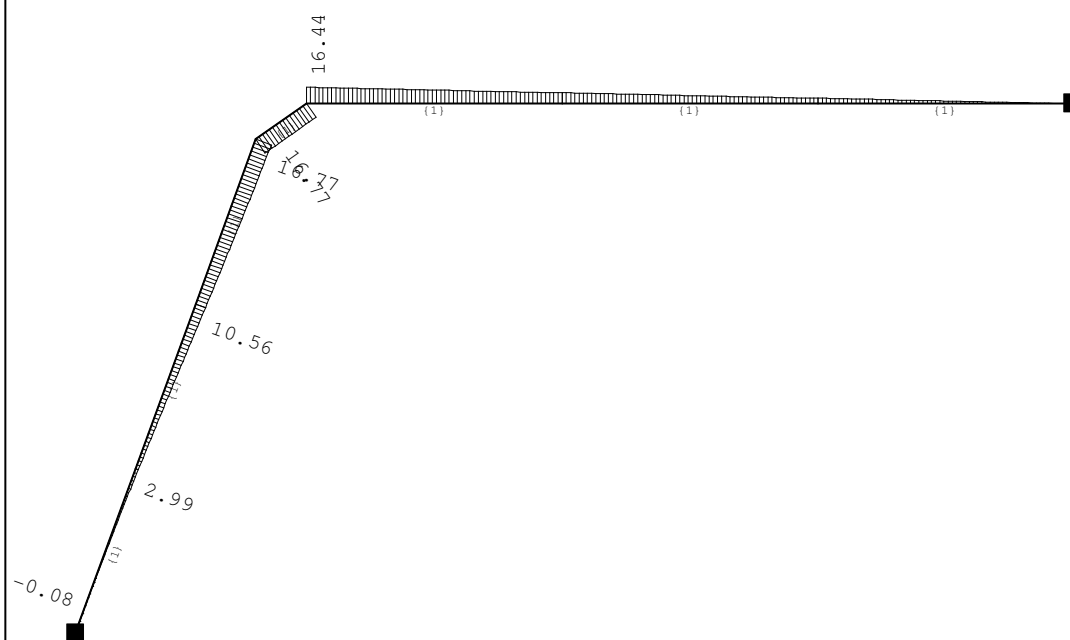


Obt. 4: to=-15



Vplivi v gredi: max M2= 22.44 / min M2= -30.06 kNm

Obt. 4: to=-15



Vplivi v gredi: max Xp= 16.77 / min Xp= -0.08 m / 1000

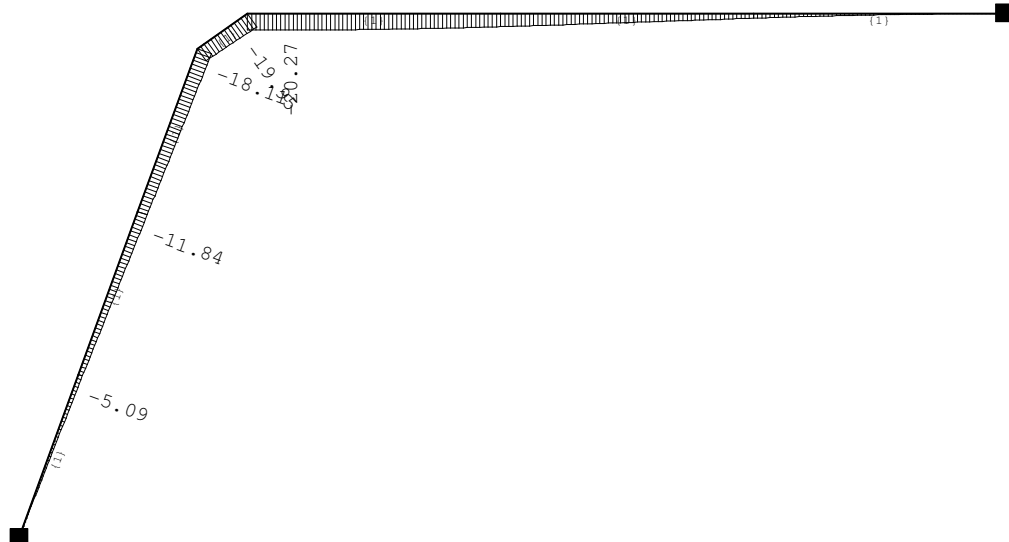
Id. oznaka: MPPVX--8S0007
 Datoteka: MPPVX--8S0007_Cevovod - Statični izračun

Revizija:
 Datum: Februar 2022

Št. projekta: P-GO-35/22
Št. mape: MPPV--8X/M01

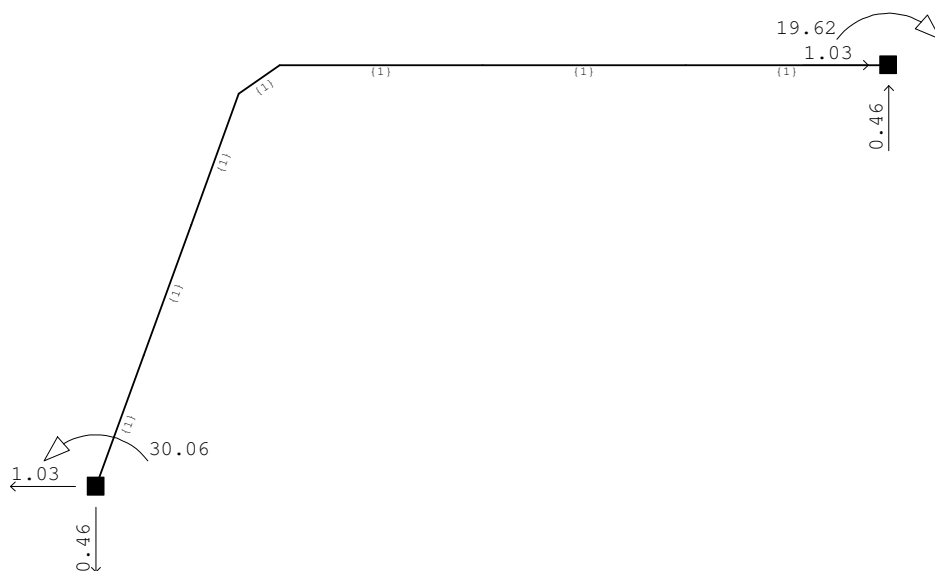


Obt. 4: to=-15



Vplivi v gredi: max $Y_p = 0.00$ / min $Y_p = -20.27$ m / 1000

Obt. 4: to=-15



Reakcije podpor

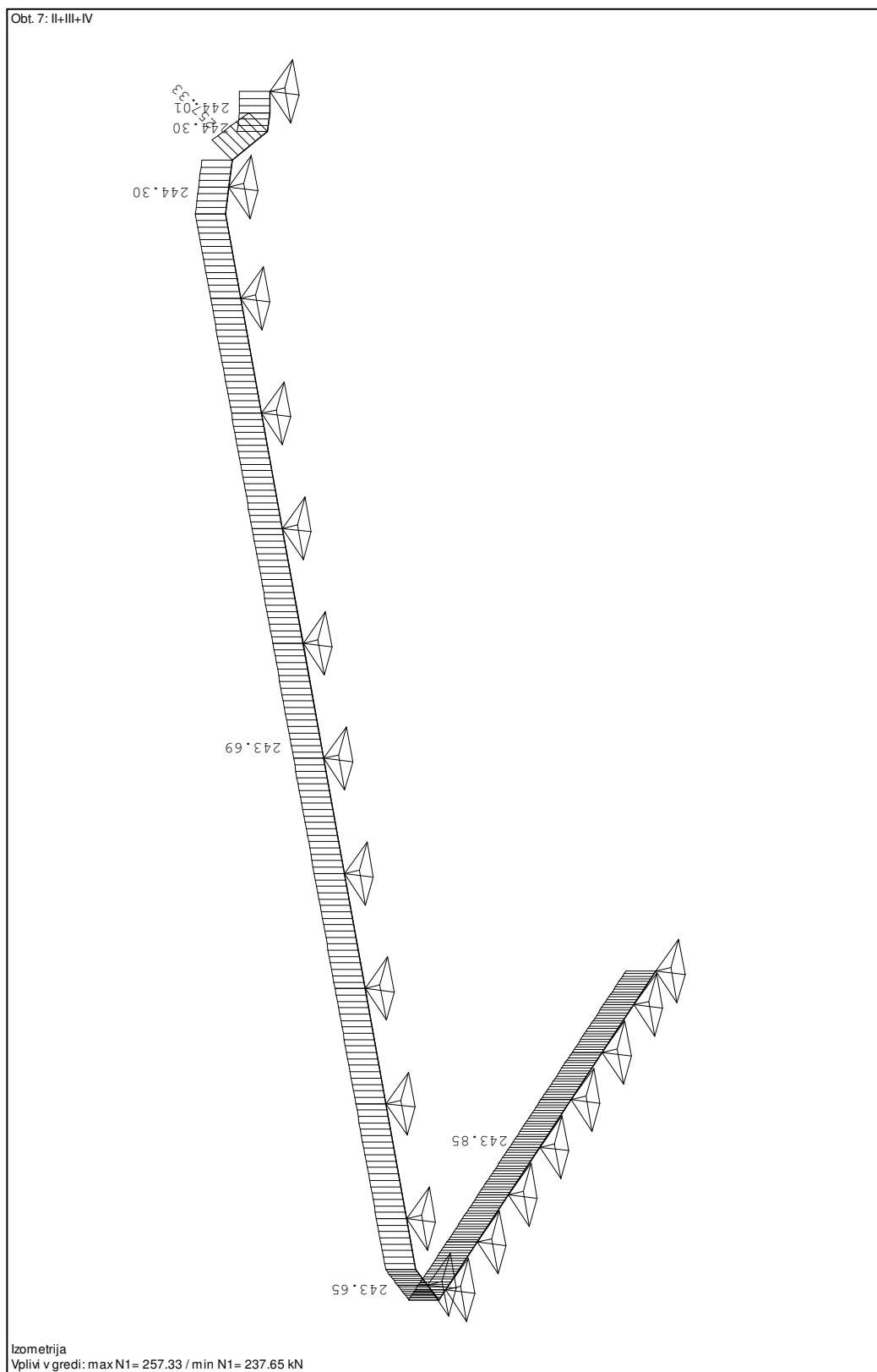
Id. oznaka: MPPVX--8S0007
Datoteka: MPPVX--8S0007_Cevovod - Statični izračun

Revizija:
Datum: Februar 2022

Št. projekta: P-GO-35/22
 Št. mape: MPPV--8X/M01



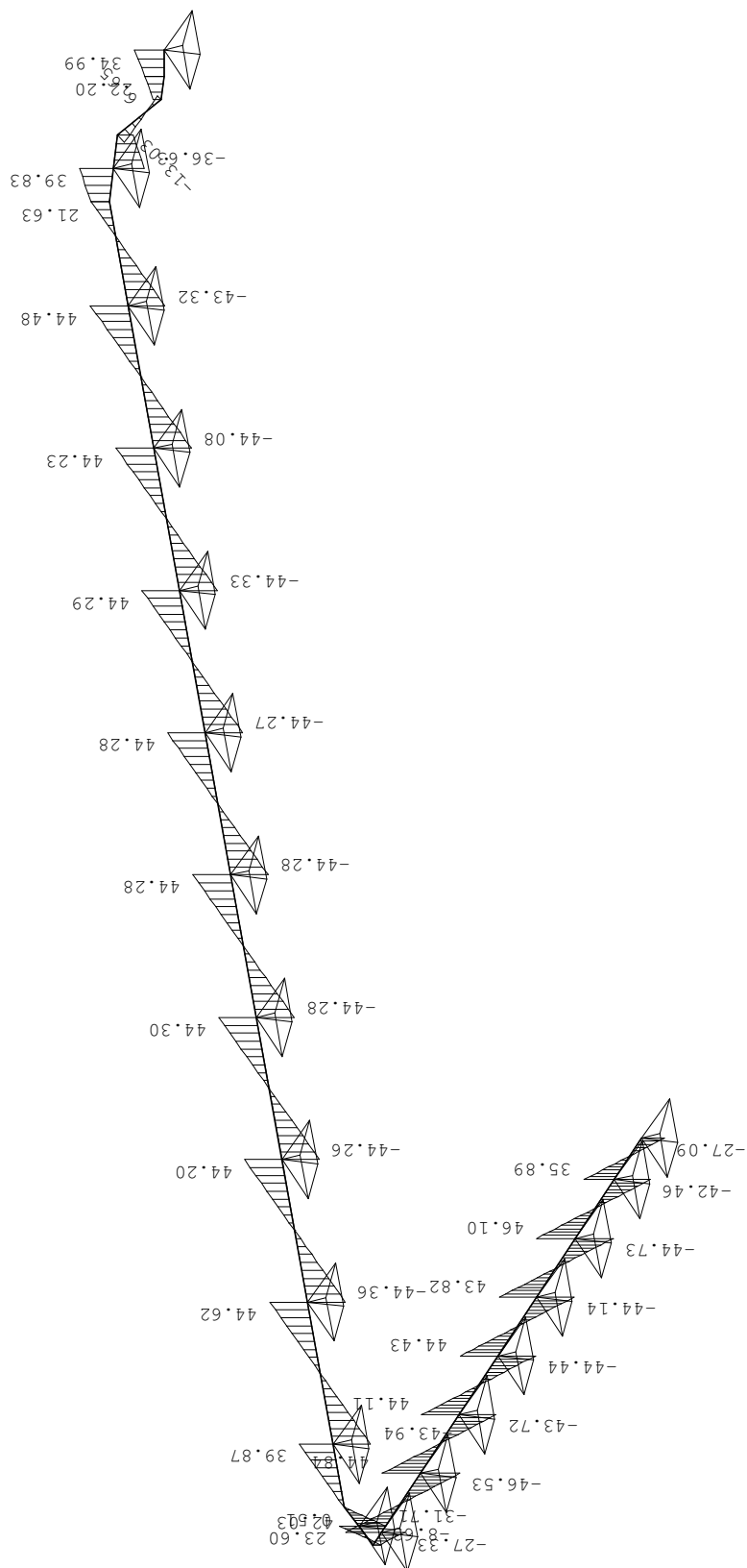
12.5 Priloga IV



Id. oznaka: MPPVX--8S0007
 Datoteka: MPPVX--8S0007_Cevovod - Statični izračun

Revizija:
 Datum: Februar 2022

Obt. 7: II+III+IV



Izometrija

Vplivi v gredi: $\max T_2 = 46.10$ / $\min T_2 = -46.53$ kN

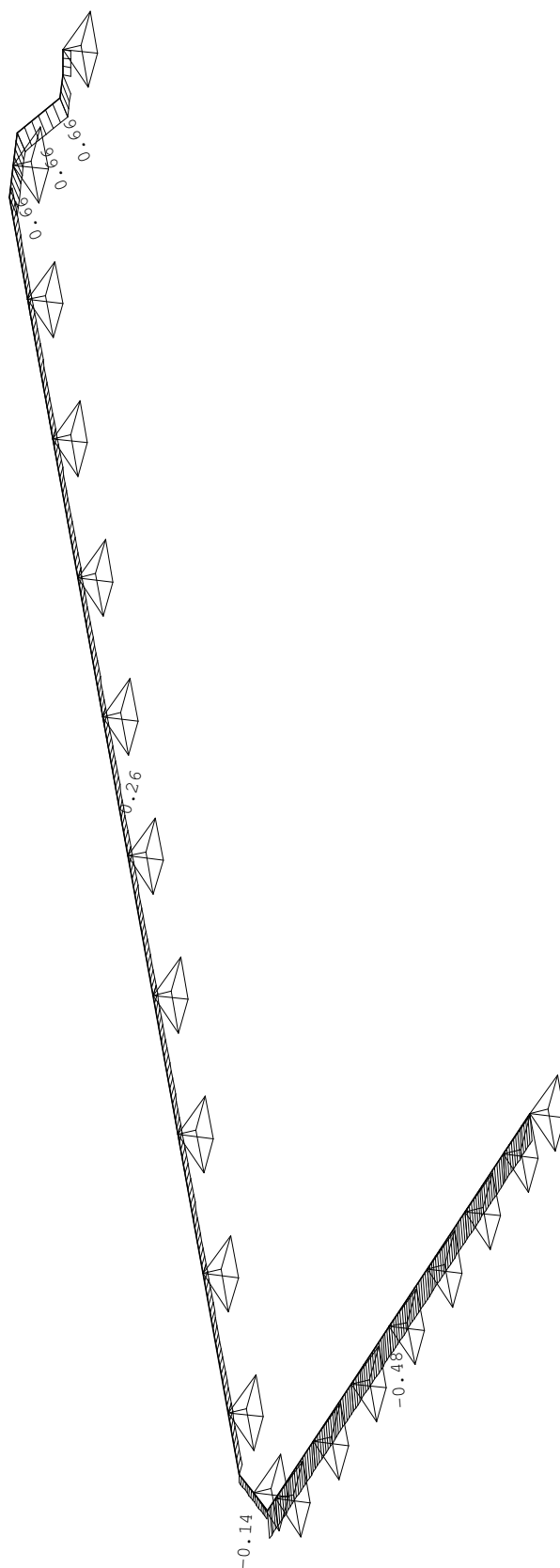
Id. oznaka: MPPVX--8S0007
Datoteka: MPPVX--8S0007_Cevovod - Statični izračun

Revizija:	
Datum:	Februar 2022

Št. projekta: P-GO-35/22
Št. mape: MPPV--8X/M01



Obt. 7: II+III+IV



Izometrija

Vplivi v gredi: max T3= 0.66 / min T3= -0.48 kN

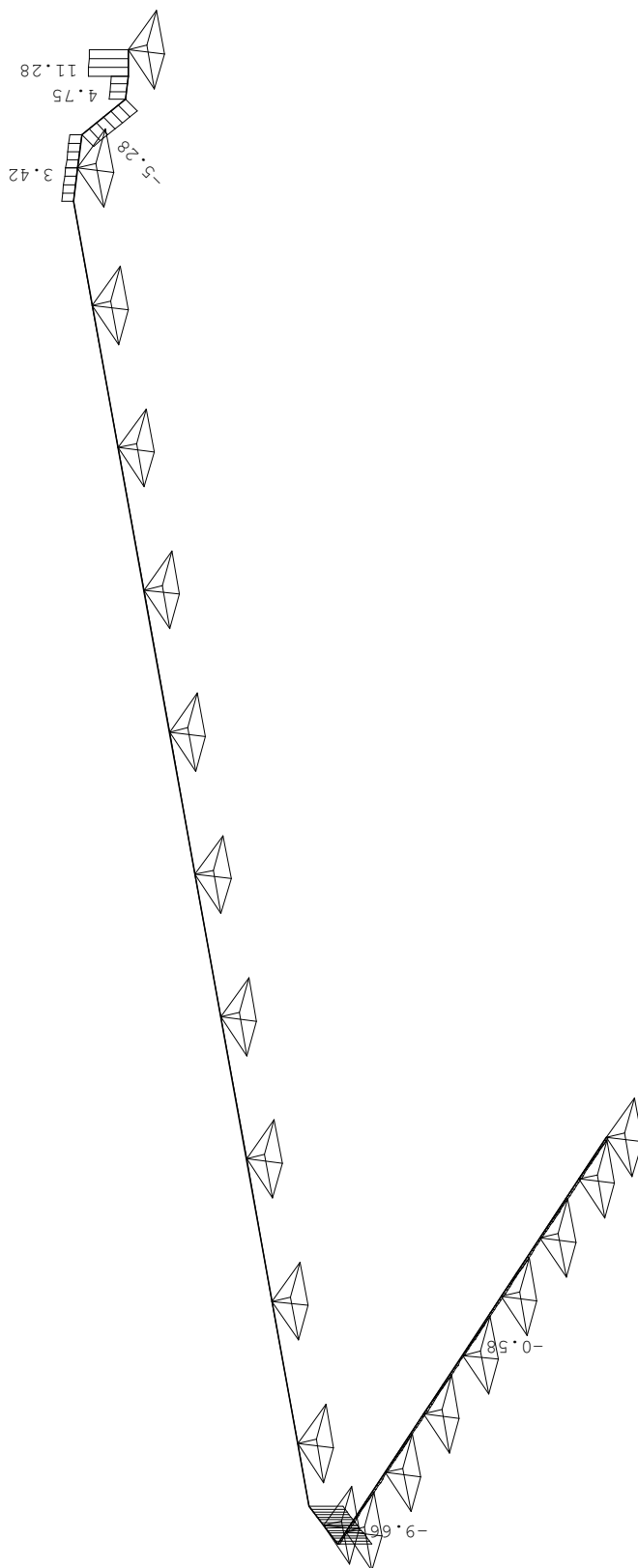
Id. oznaka: MPPVX--8S0007
Datoteka: MPPVX--8S0007_Cevovod - Statični izračun

Revizija:
Datum: Februar 2022

Št. projekta: P-GO-35/22
Št. mape: MPPV--8X/M01



Obt. 7: II+III+IV



Izometrija
Vplivi v gredi: max M1 = 11.28 / min M1 = -9.66 kNm

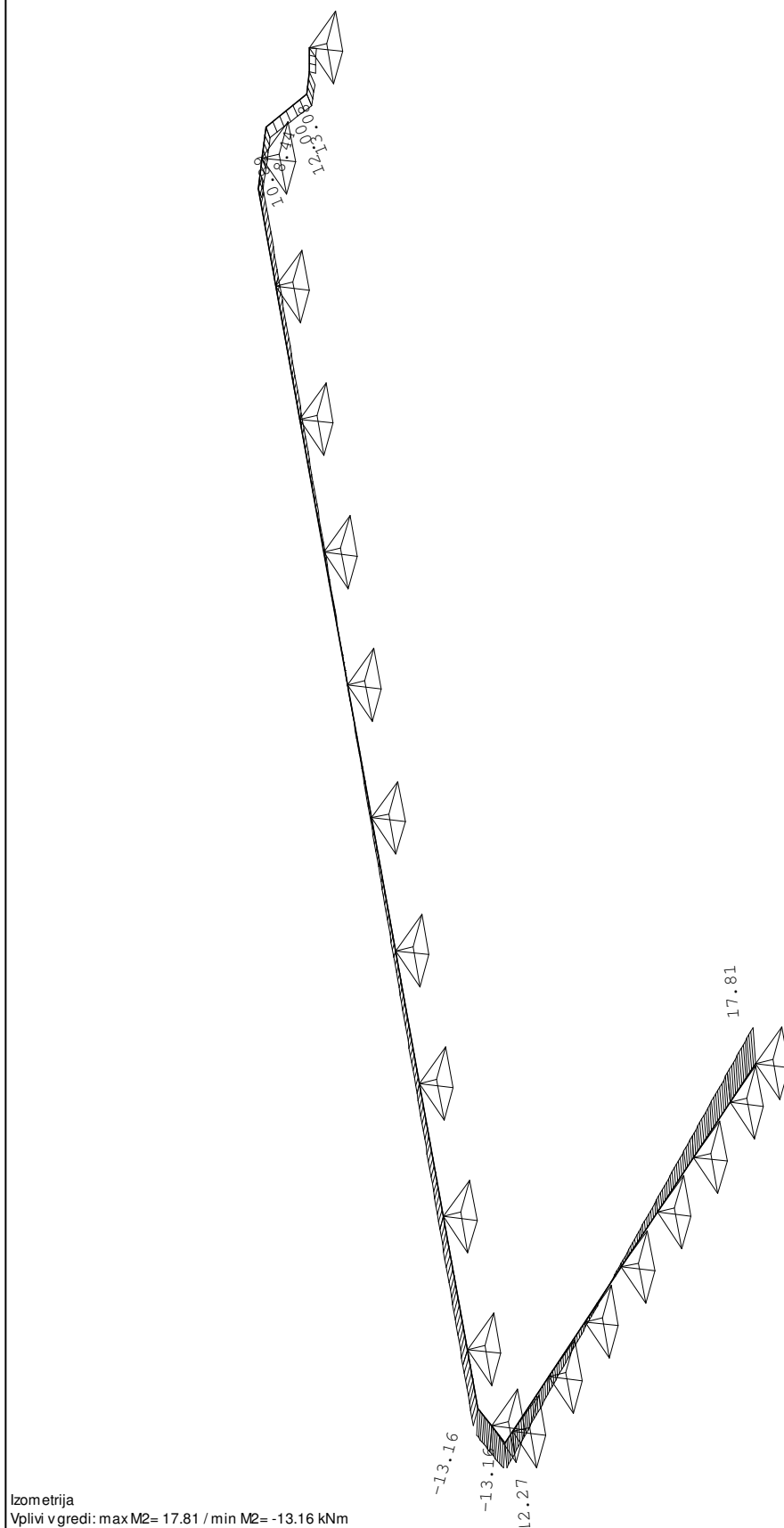
Id. oznaka: MPPVX--8S0007
Datoteka: MPPVX--8S0007_Cevovod - Statični izračun

Revizija:
Datum: Februar 2022

Št. projekta: P-GO-35/22
Št. mape: MPPV--8X/M01



Obt. 7: II+III+IV



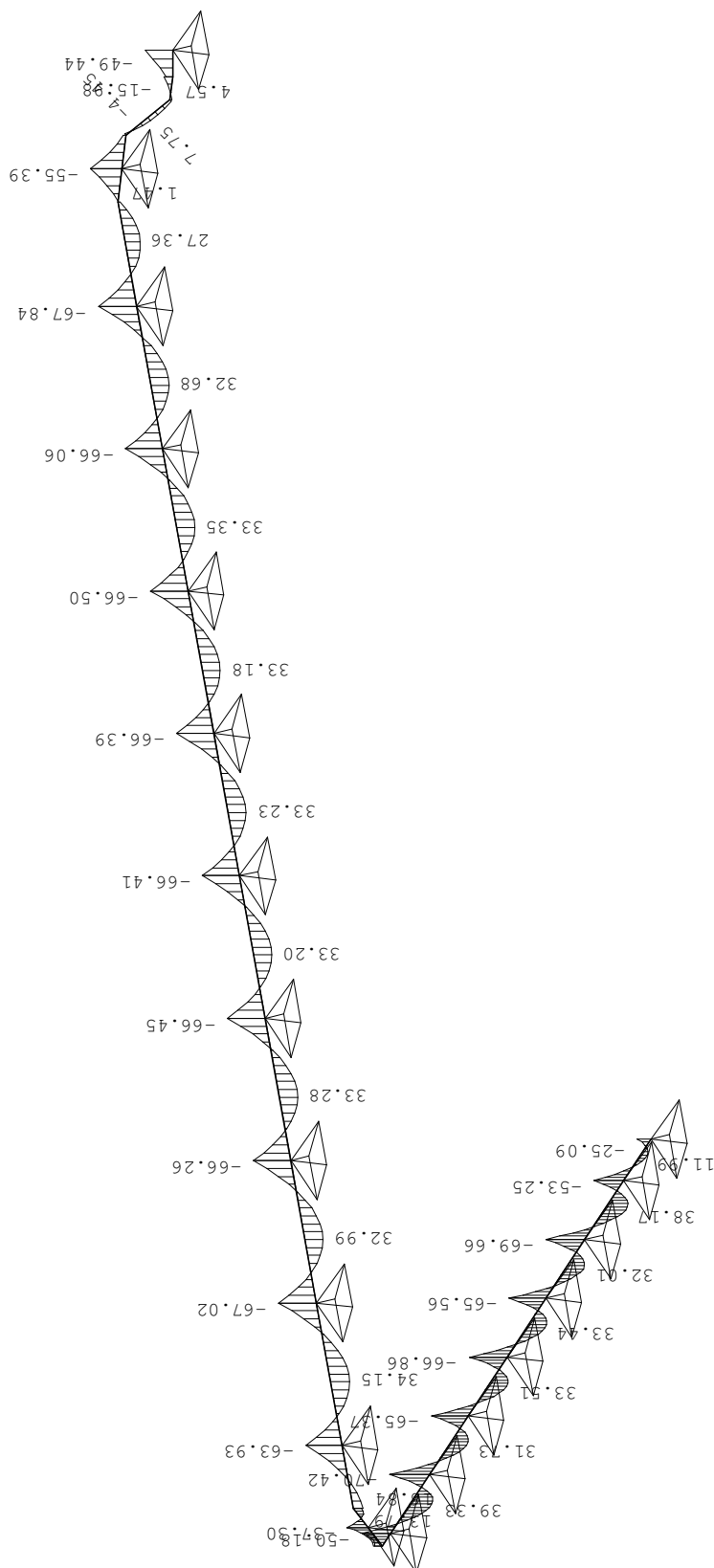
Id. oznaka: MPPVX--8S0007
Datoteka: MPPVX--8S0007_Cevovod - Statični izračun

Revizija:	
Datum:	Februar 2022

Št. projekta: P-GO-35/22
Št. mape: MPPV--8X/M01



Obt. 7: II+III+IV



Izometrija

Vplivi v gredi: max M3= 39.32 / min M3= -70.43 kNm

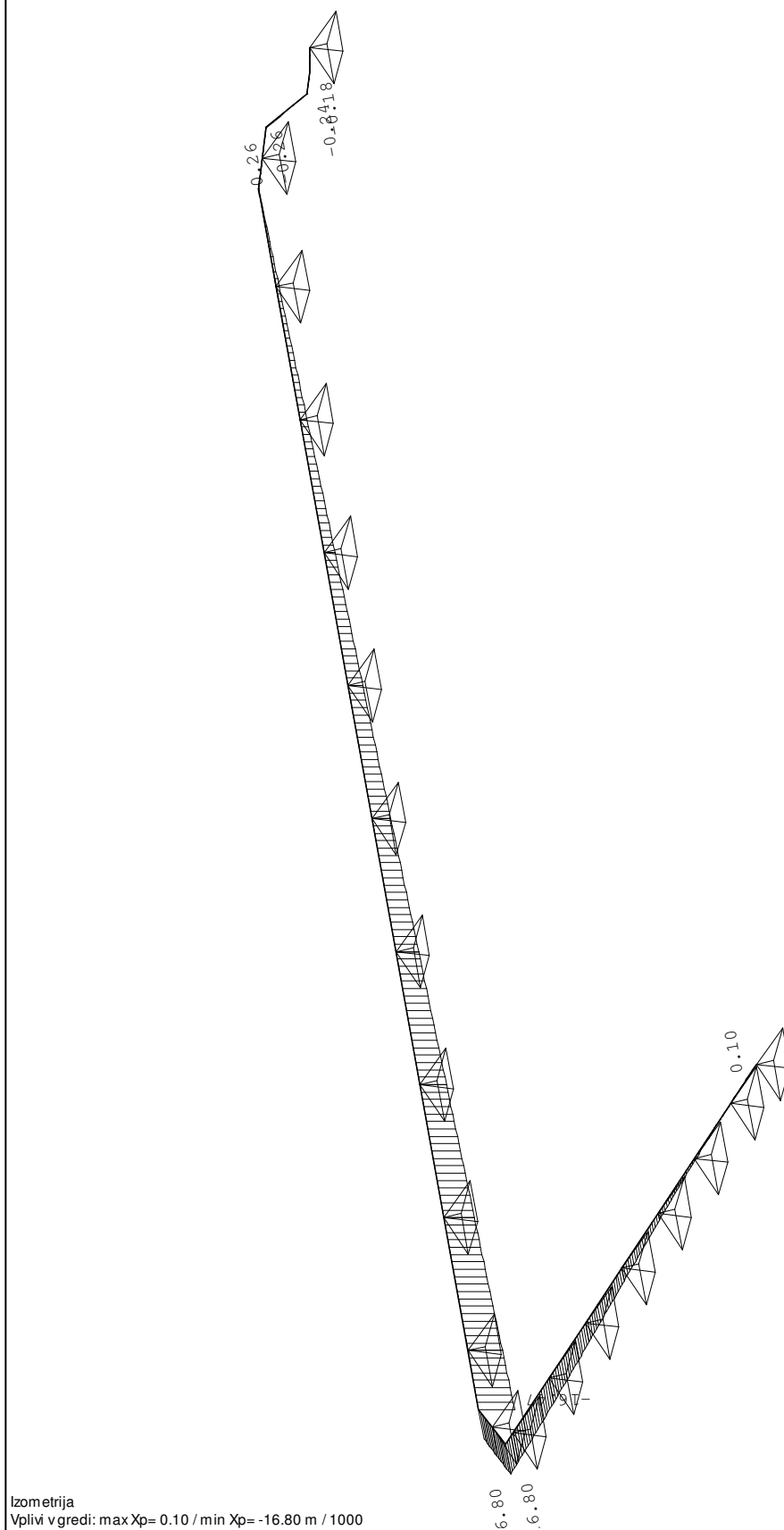
Id. oznaka: MPPVX--8S0007
Datoteka: MPPVX--8S0007_Cevovod - Statični izračun

Revizija:
Datum: Februar 2022

Št. projekta: P-GO-35/22
 Št. mape: MPPV--8X/M01



Obt. 7: II+III+IV



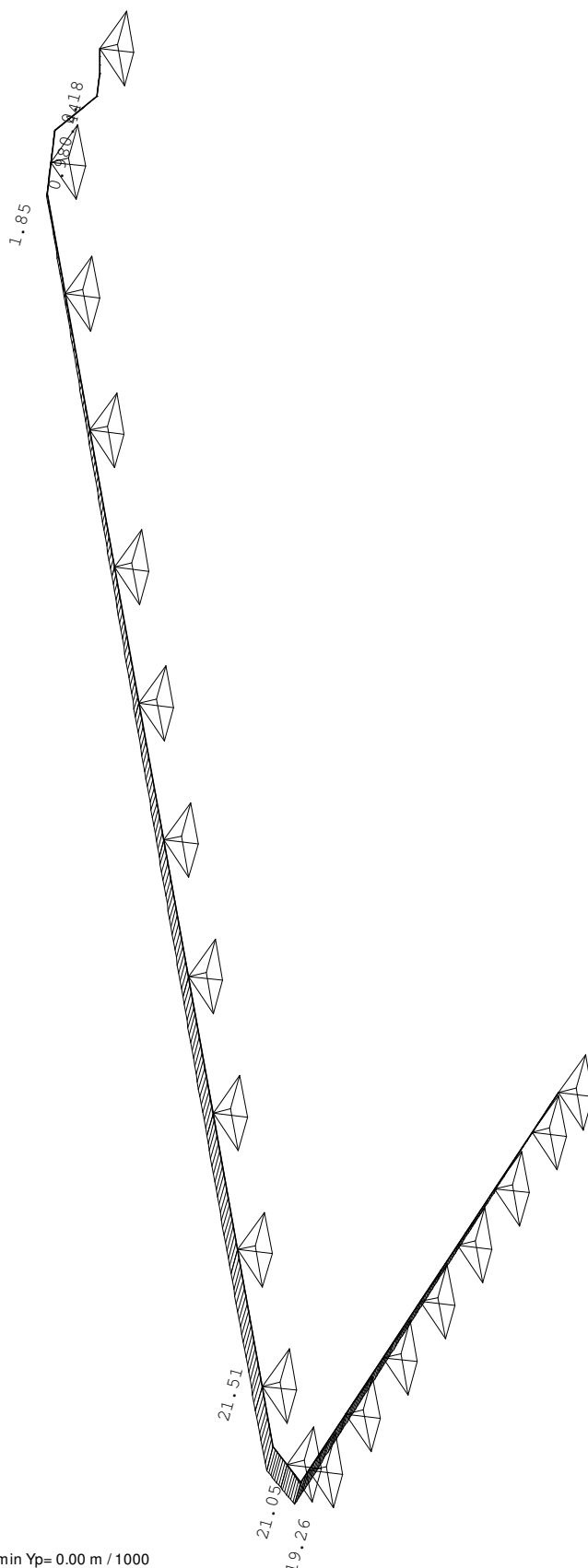
Id. oznaka: MPPVX--8S0007
 Datoteka: MPPVX--8S0007_Cevovod - Statični izračun

Revizija:
 Datum: Februar 2022

Št. projekta: P-GO-35/22
Št. mape: MPPV--8X/M01



Obt. 7: II+III+IV



Izometrija

Vplivi v gredi: max $Y_p = 21.51$ / min $Y_p = 0.00$ m / 1000

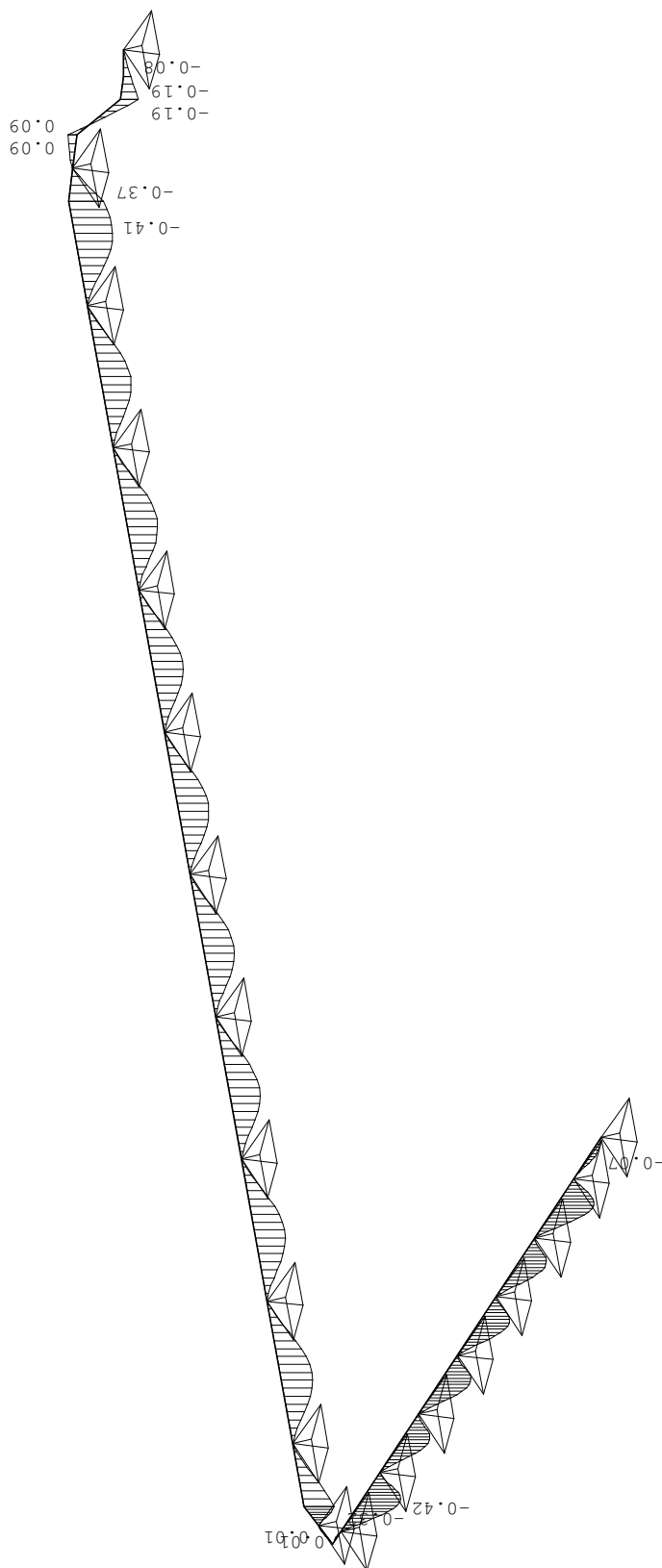
Id. oznaka: MPPVX--8S0007
Datoteka: MPPVX--8S0007_Cevovod - Statični izračun

Revizija:
Datum: Februar 2022

Št. projekta: P-GO-35/22
Št. mape: MPPV--8X/M01



Obt. 7: II+III+IV



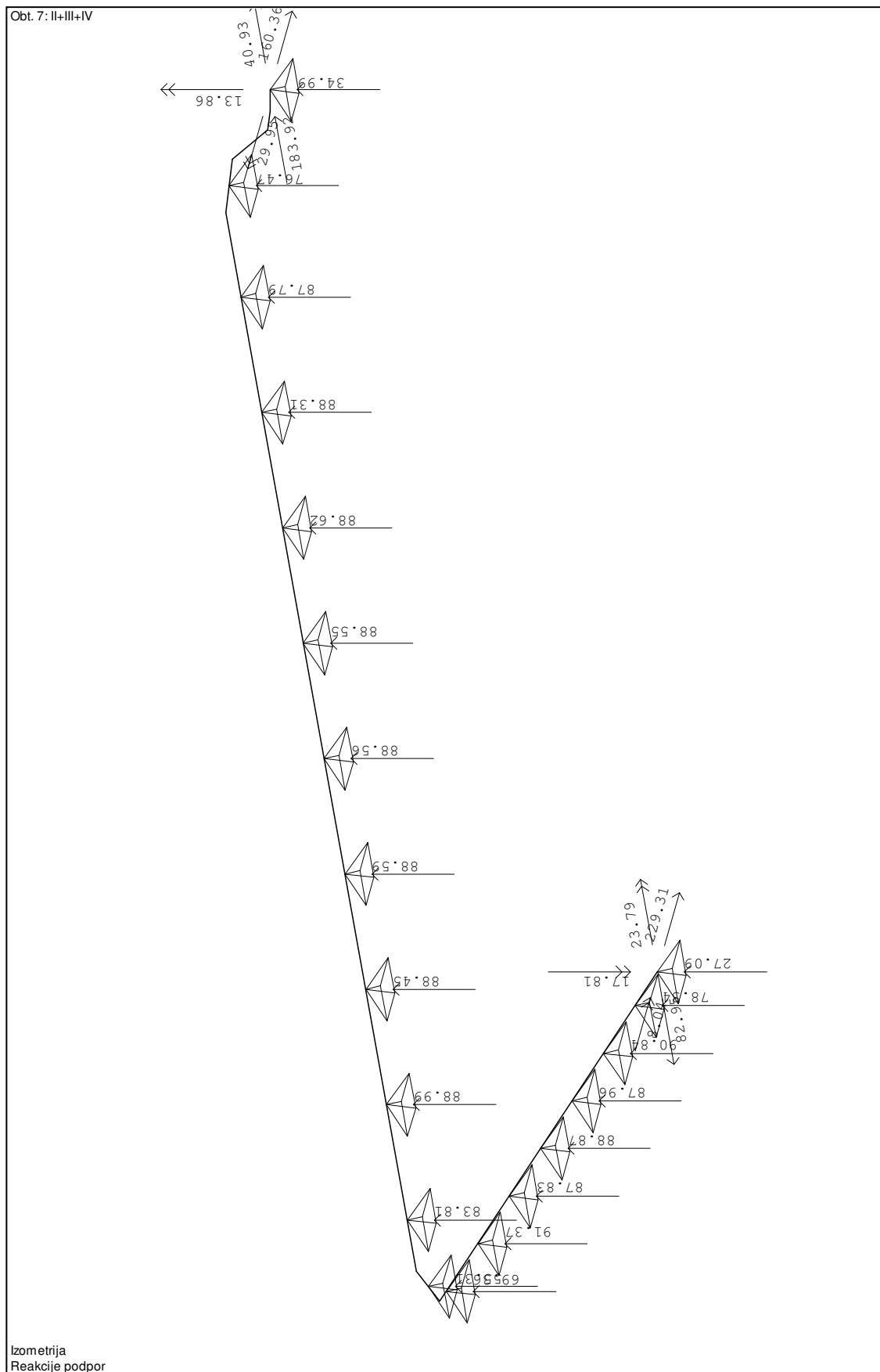
Izometrija

Vplivi v gredi: max $Z_p = 0.09$ / min $Z_p = -0.42$ m / 1000

Id. oznaka: MPPVX--8S0007
Datoteka: MPPVX--8S0007_Cevovod - Statični izračun

Revizija:
Datum: Februar 2022

Št. projekta: P-GO-35/22
 Št. mape: MPPV--8X/M01



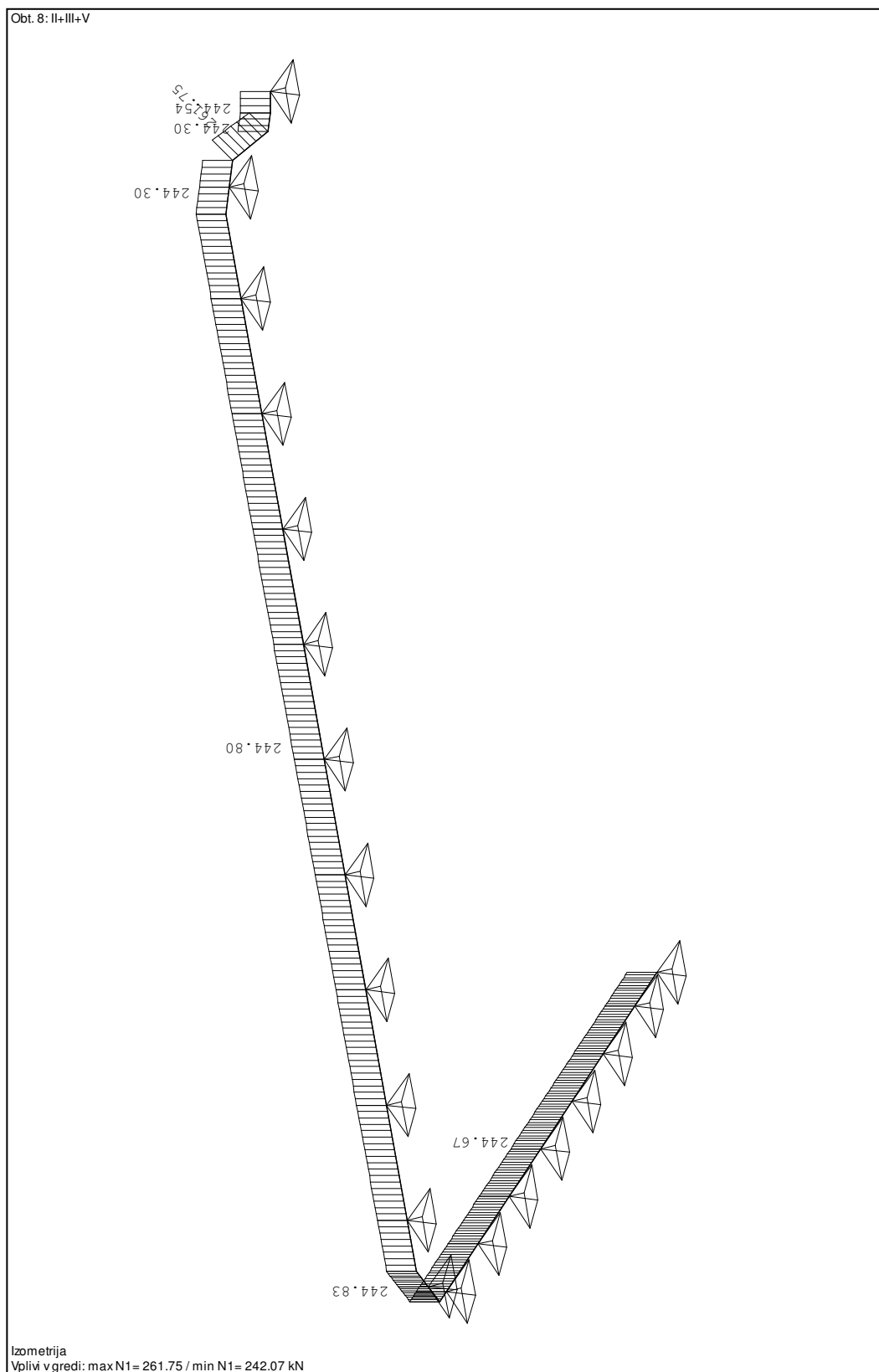
Id. oznaka: MPPVX--8S0007
 Datoteka: MPPVX--8S0007_Cevovod - Statični izračun

Revizija:
 Datum: Februar 2022

Št. projekta: P-GO-35/22
 Št. mape: MPPV--8X/M01



12.6 Priloga V



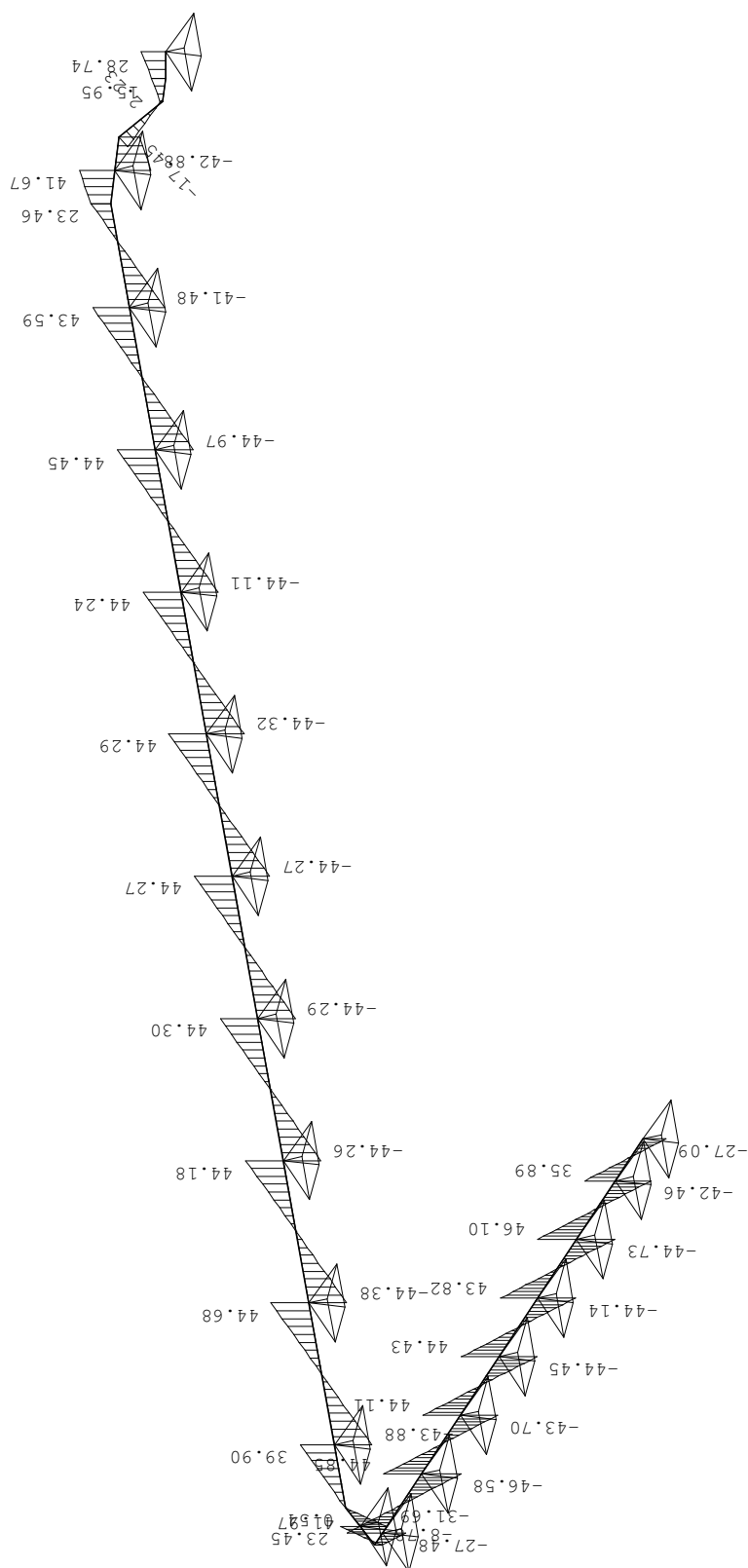
Id. oznaka: MPPVX--8S0007
 Datoteka: MPPVX--8S0007_Cevovod - Statični izračun

Revizija:
 Datum: Februar 2022

Št. projekta: P-GO-35/22
Št. mape: MPPV--8X/M01



Obt. 8: II+III+V



Izometrija

Vplivi v gredi: max T2= 46.10 / min T2= -46.58 kN

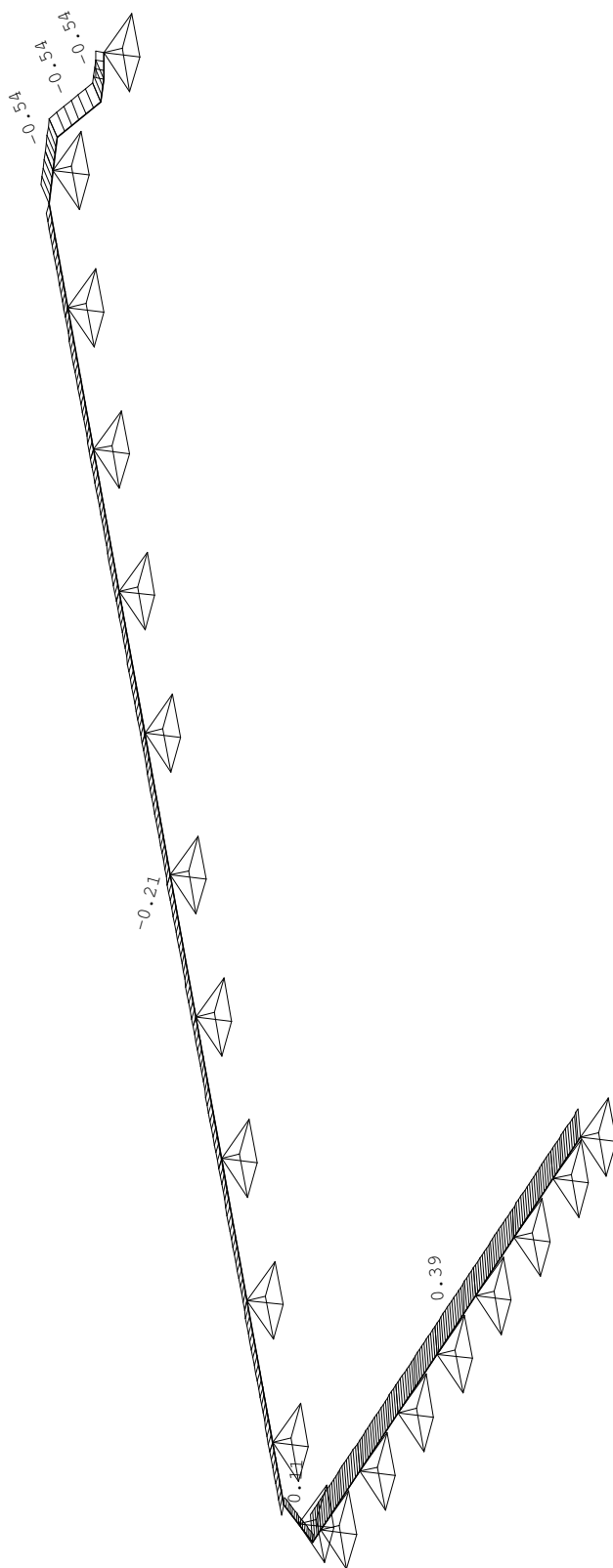
Id. oznaka: MPPVX--8S0007
Datoteka: MPPVX--8S0007_Cevovod - Statični izračun

Revizija:
Datum: Februar 2022

Št. projekta: P-GO-35/22
Št. mape: MPPV--8X/M01



Obt. 8: II+III+V



Izometrija

Vplivi v gredi: max T3= 0.39 / min T3= -0.54 kN

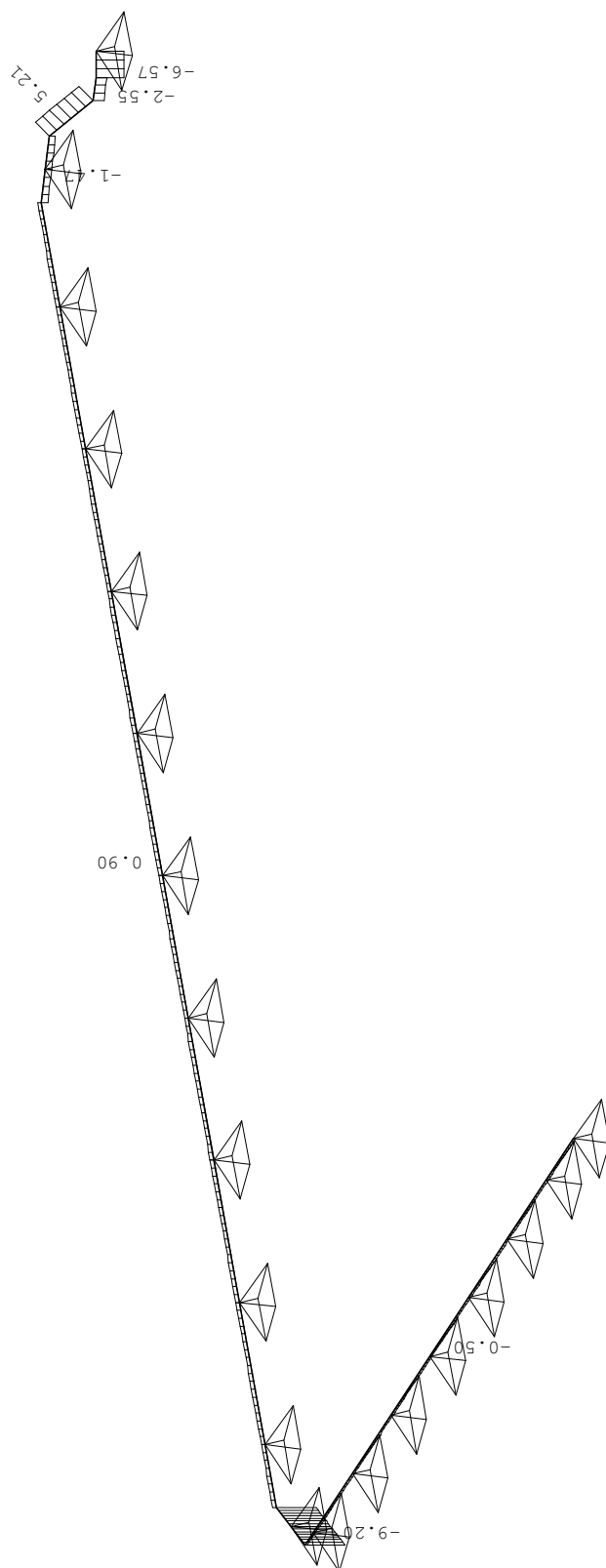
Id. oznaka: MPPVX--8S0007
Datoteka: MPPVX--8S0007_Cevovod - Statični izračun

Revizija:
Datum: Februar 2022

Št. projekta: P-GO-35/22
 Št. mape: MPPV--8X/M01



Obt. 8: II+III+V



Izometrija

Vplivi v gredi: max M1 = 5.21 / min M1 = -9.20 kNm

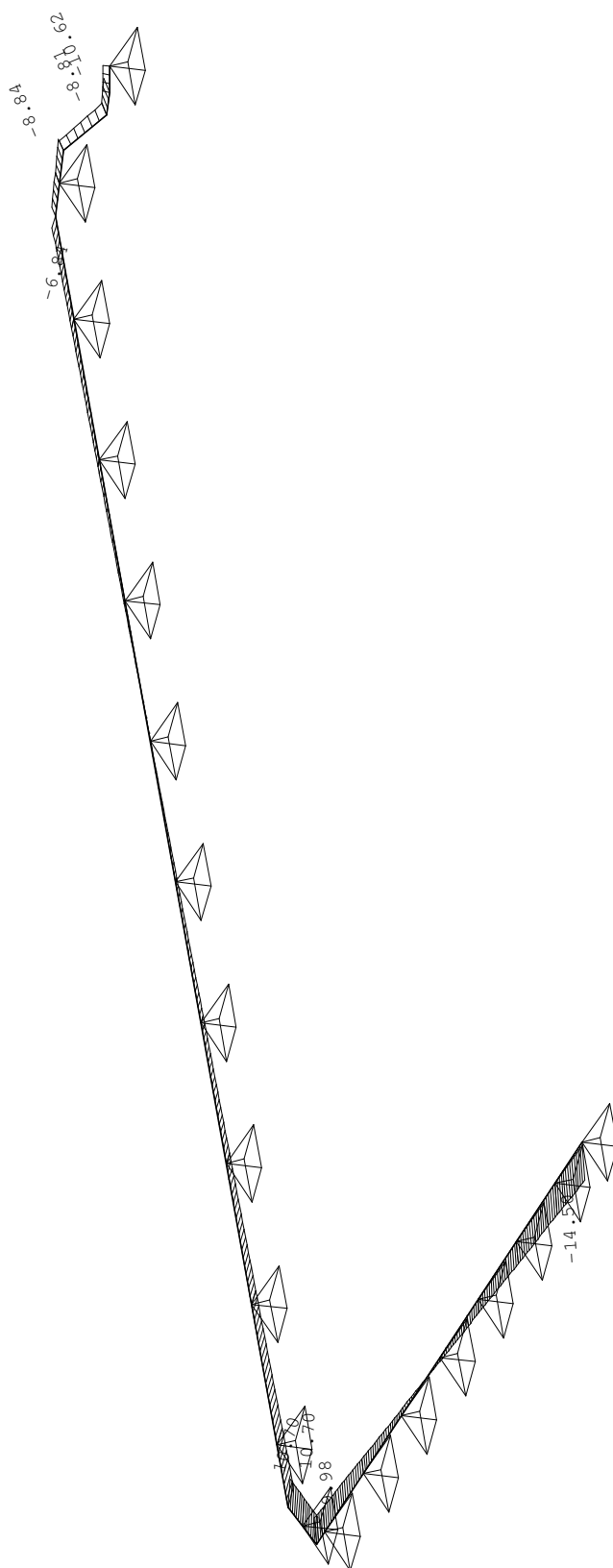
Id. oznaka: MPPVX--8S0007
 Datoteka: MPPVX--8S0007_Cevovod - Statični izračun

Revizija:
 Datum: Februar 2022

Št. projekta: P-GO-35/22
 Št. mape: MPPV--8X/M01



Obt. 8: II+III+V



Izometrija

Vplivi v gredi: max M2= 10.70 / min M2= -14.50 kNm

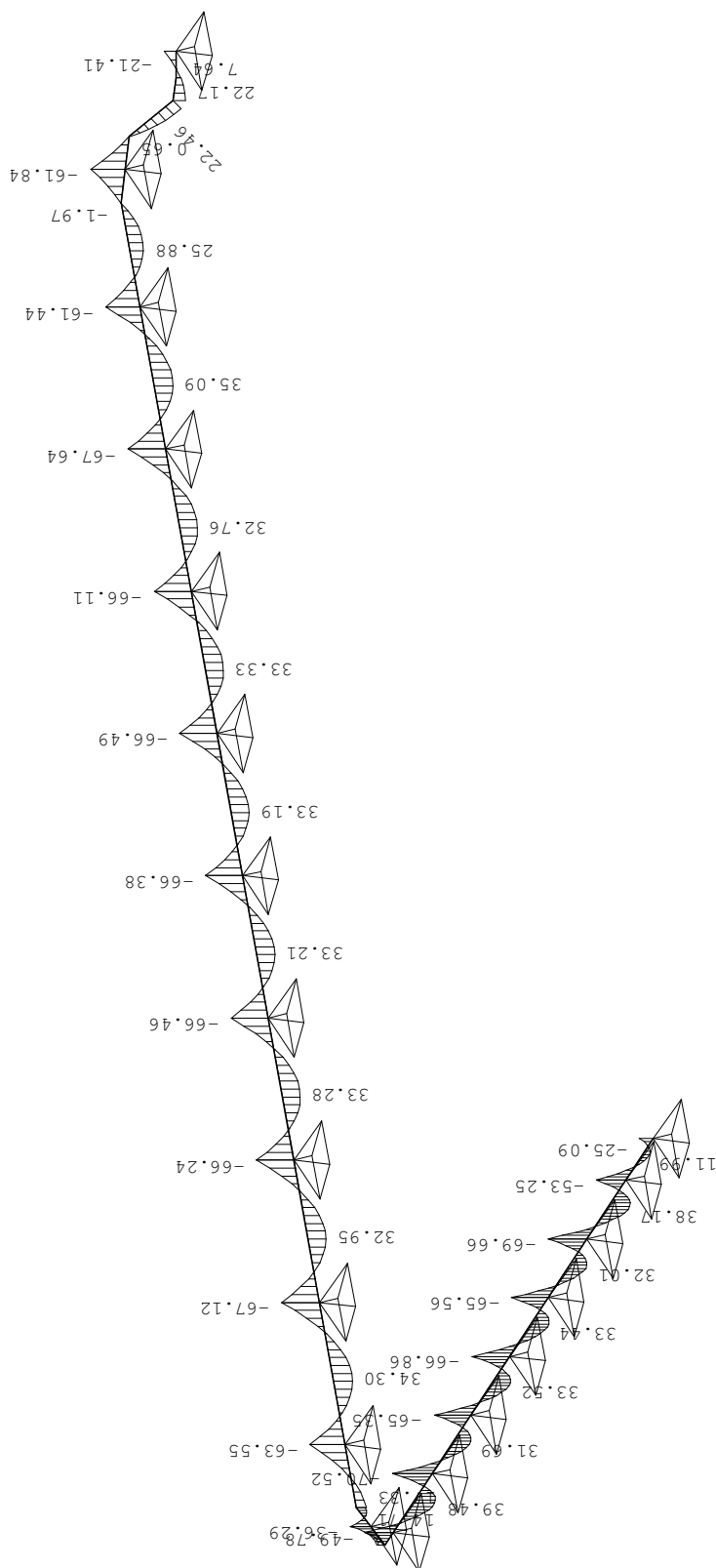
Id. oznaka: MPPVX--8S0007
 Datoteka: MPPVX--8S0007_Cevovod - Statični izračun

Revizija:
 Datum: Februar 2022

Št. projekta: P-GO-35/22
Št. mape: MPPV--8X/M01



Obt. 8: II+III+V



Izometrija

Vplivi v gredi: max M3= 39.47 / min M3= -70.52 kNm

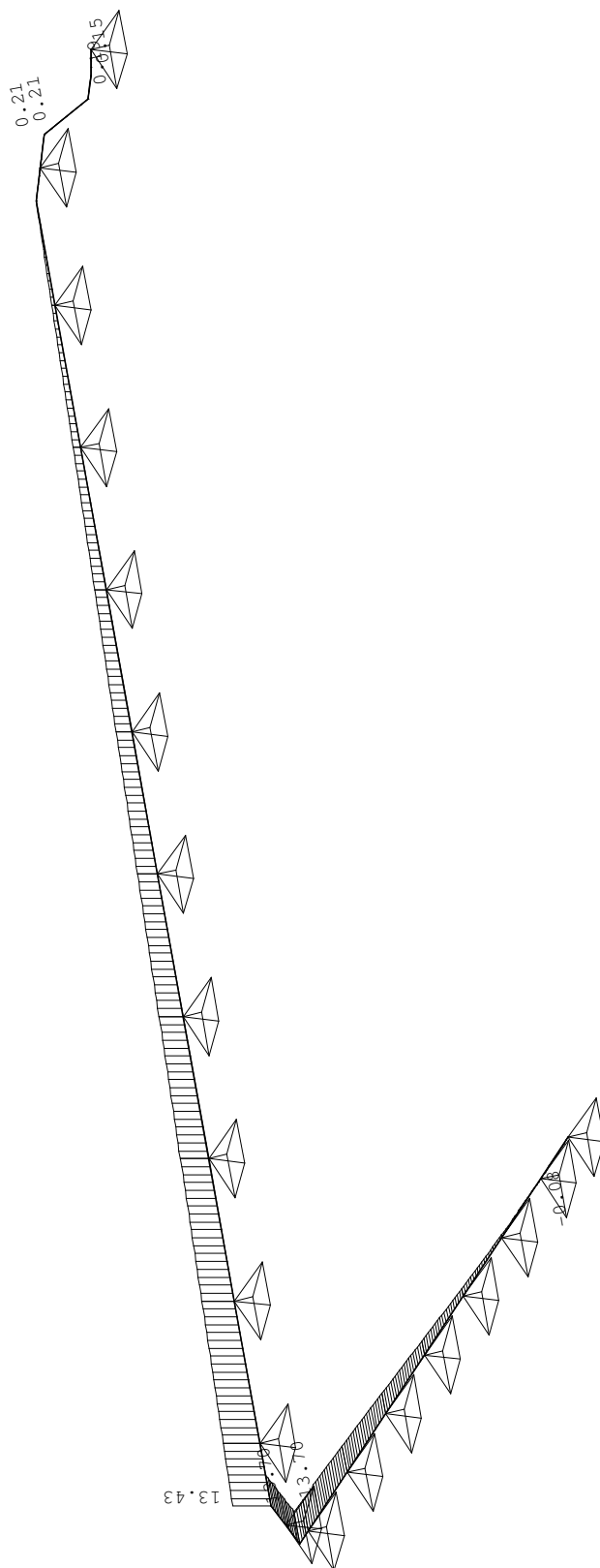
Id. oznaka: MPPVX--8S0007
Datoteka: MPPVX--8S0007_Cevovod - Statični izračun

Revizija:
Datum: Februar 2022

Št. projekta: P-GO-35/22
Št. mape: MPPV--8X/M01



Obt. 8: II+III+V



Izometrija

Vplivi v gredi: max $X_p = 13.70$ / min $X_p = -0.08$ m / 1000

Id. oznaka: MPPVX--8S0007
Datoteka: MPPVX--8S0007_Cevovod - Statični izračun

Revizija:
Datum: Februar 2022

Št. projekta: P-GO-35/22
Št. mape: MPPV--8X/M01



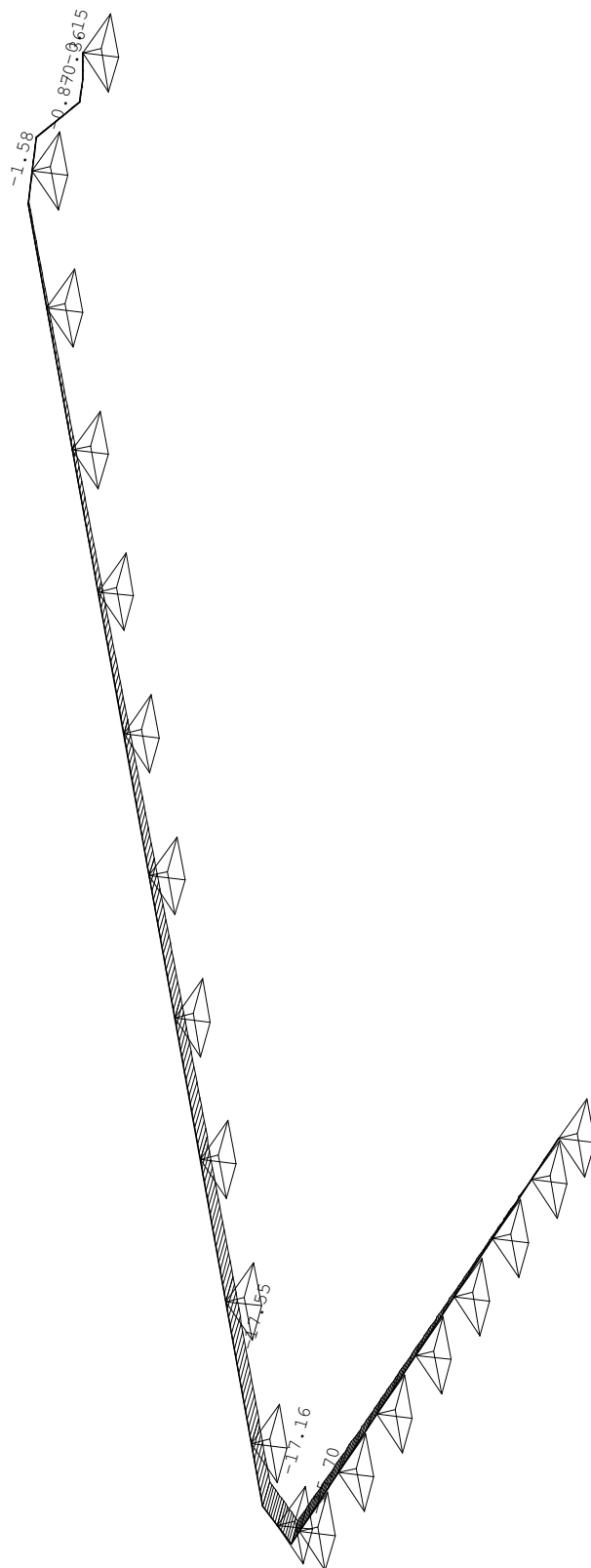
Id. oznaka: MPPVX--8S0007
Datoteka: MPPVX--8S0007_Cevovod - Statični izračun

Revizija:
Datum: Februar 2022

Št. projekta: P-GO-35/22
Št. mape: MPPV--8X/M01



Obt. 8: II+III+V



Izometrija

Vplivi v gredi: max $Y_p = 0.00$ / min $Y_p = -17.55$ m / 1000

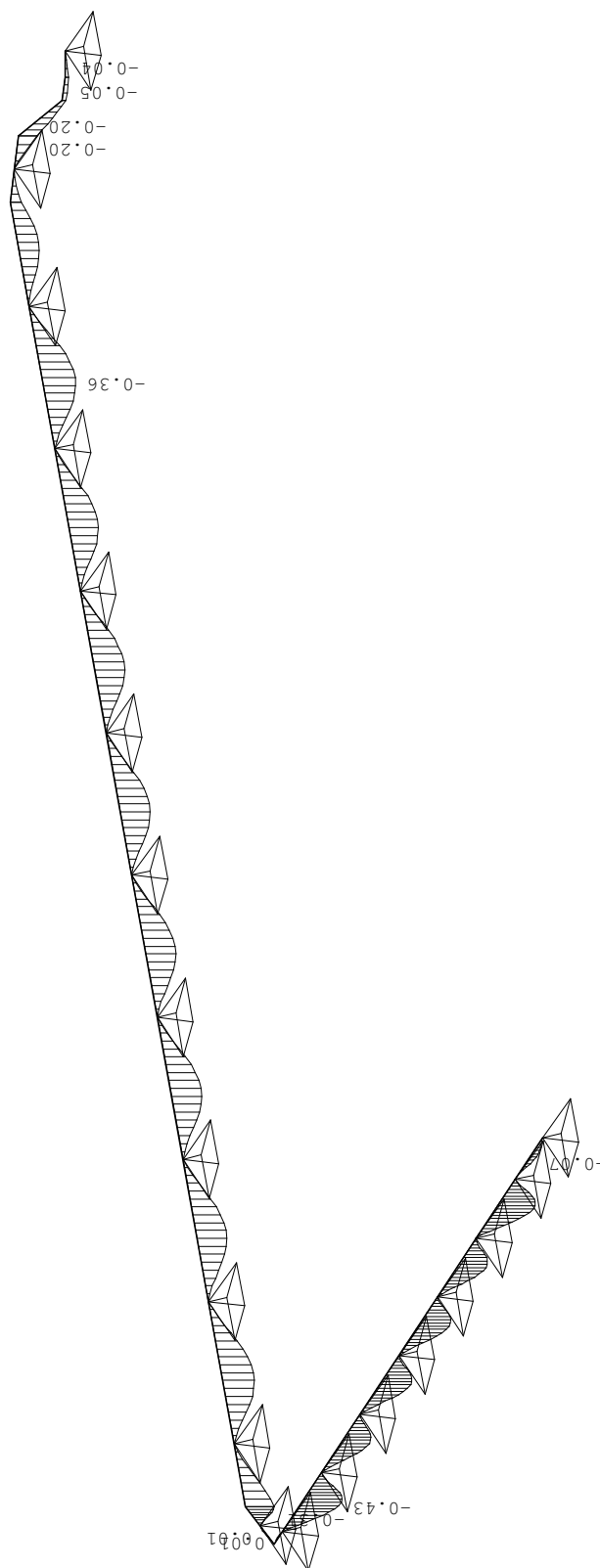
Id. oznaka: MPPVX--8S0007
Datoteka: MPPVX--8S0007_Cevovod - Statični izračun

Revizija:
Datum: Februar 2022

Št. projekta: P-GO-35/22
 Št. mape: MPPV--8X/M01



Obt. 8: II+III+V



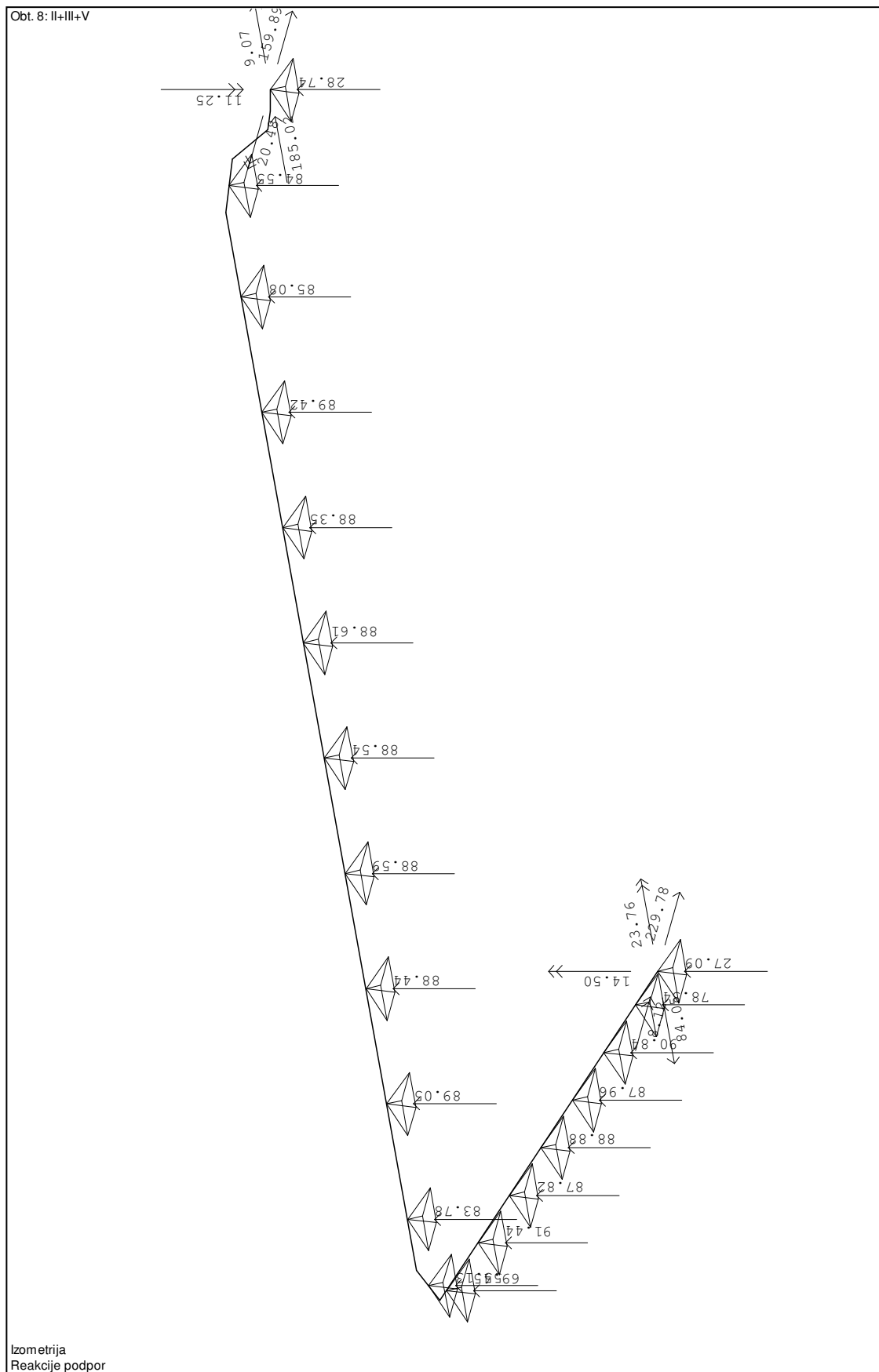
Izometrija

Vplivi v gredi: max $Z_p = 0.01$ / min $Z_p = -0.43$ m / 1000

Id. oznaka: MPPVX--8S0007
 Datoteka: MPPVX--8S0007_Cevovod - Statični izračun

Revizija:
 Datum: Februar 2022

Št. projekta: P-GO-35/22
 Št. mape: MPPV--8X/M01



Id. oznaka: MPPVX--8S0007
 Datoteka: MPPVX--8S0007_Cevovod - Statični izračun

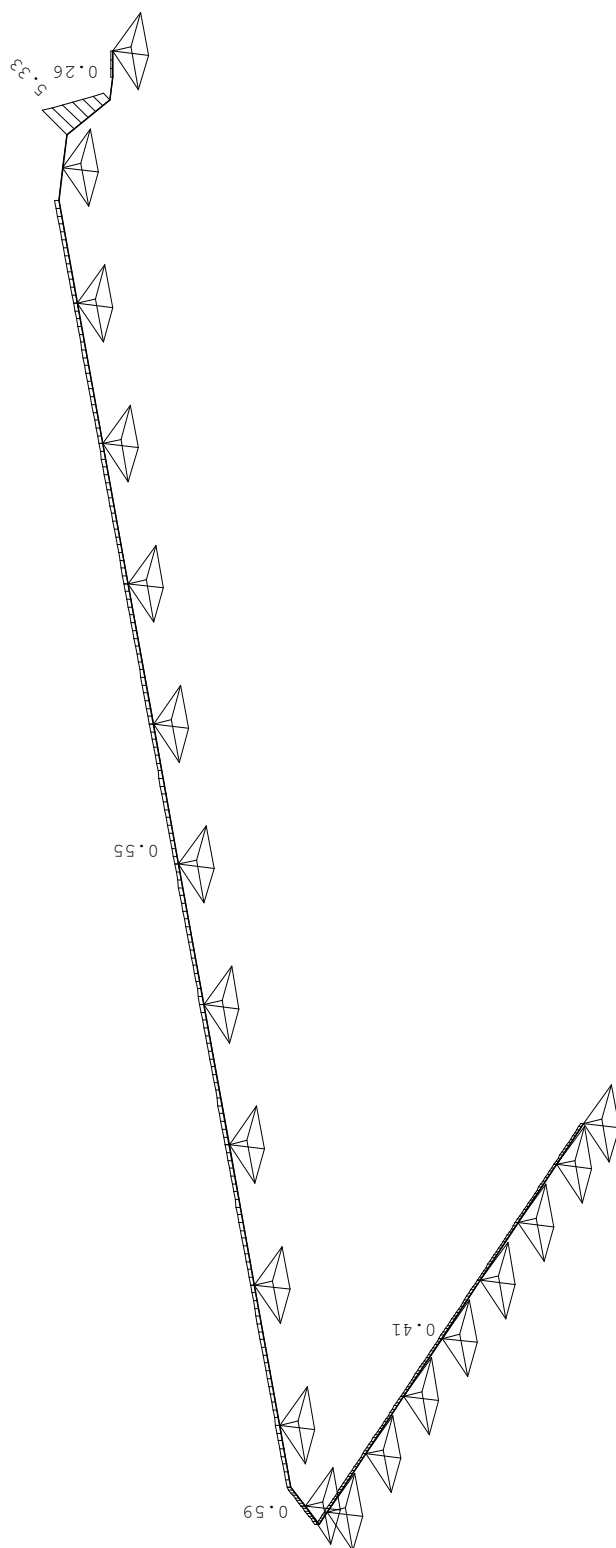
Revizija:
 Datum: Februar 2022

Št. projekta: P-GO-35/22
 Št. mape: MPPV--8X/M01



12.7 Priloga VI

Obt. 9: I+VI



Izometrija

Vplivi v gredi: max N1= 5.33 / min N1= -0.00 kN

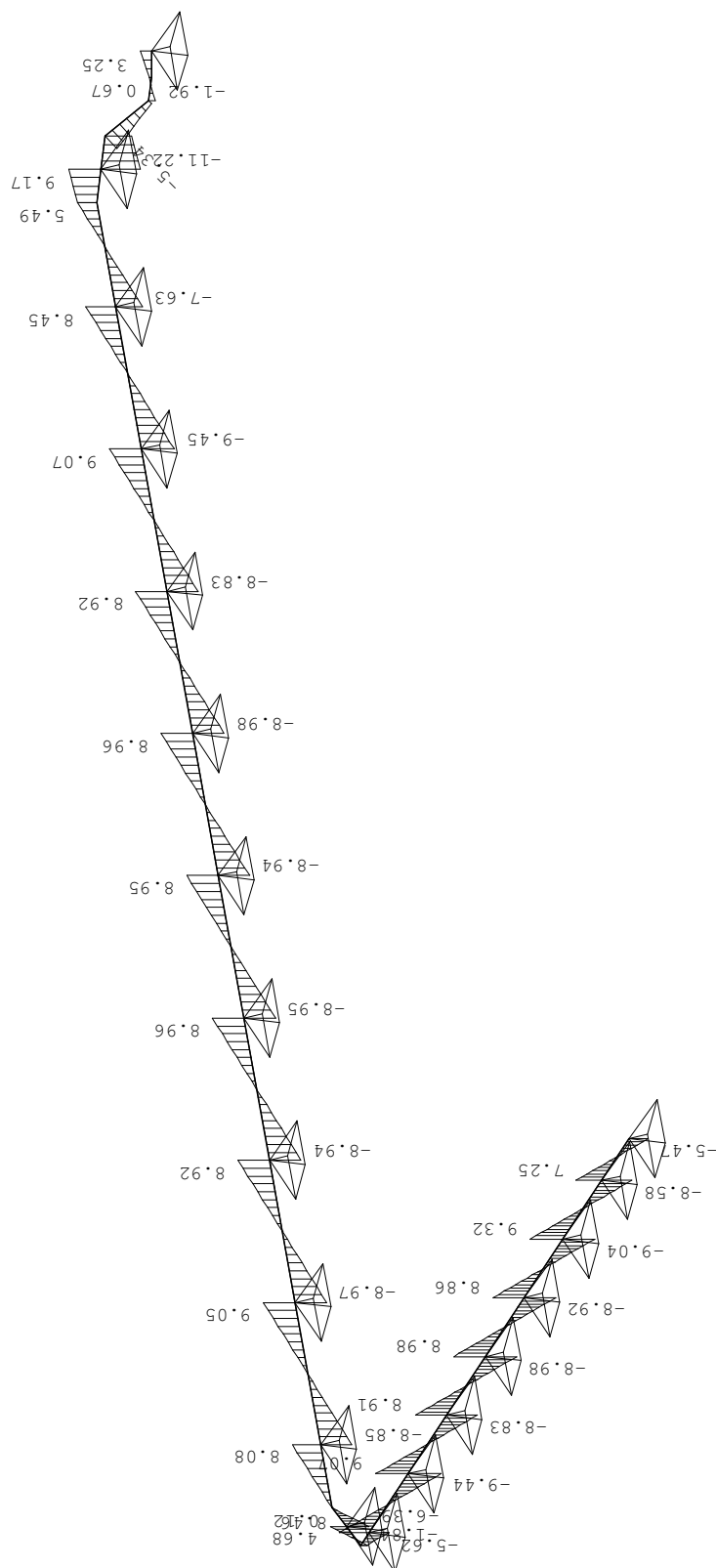
Id. oznaka: MPPVX--8S0007
 Datoteka: MPPVX--8S0007_Cevovod - Statični izračun

Revizija:
 Datum: Februar 2022

Št. projekta: P-GO-35/22
 Št. mape: MPPV--8X/M01



Obt. 9: I+VI



Izometrija

Vplivi v gredi: max T2= 9.32 / min T2= -11.22 kN

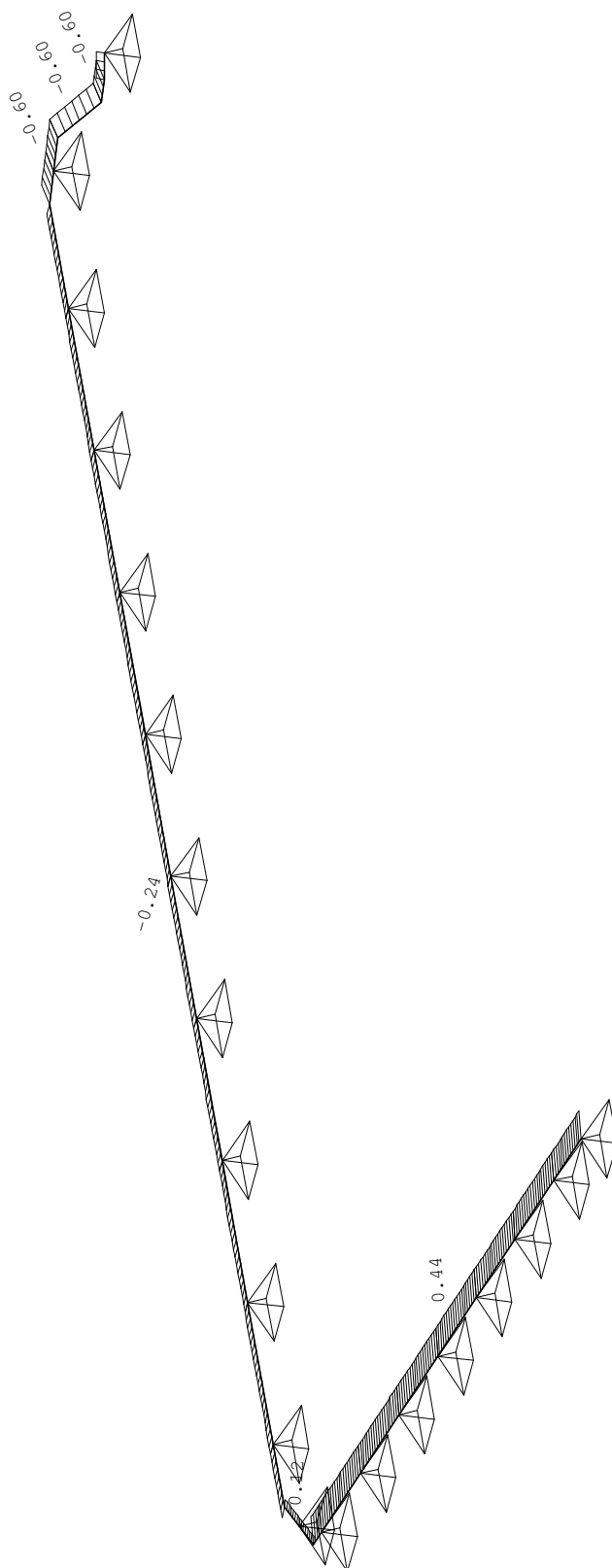
Id. oznaka: MPPVX--8S0007
 Datoteka: MPPVX--8S0007_Cevovod - Statični izračun

Revizija:
 Datum: Februar 2022

Št. projekta: P-GO-35/22
Št. mape: MPPV--8X/M01



Obt. 9: I+VI



Izometrija

Vplivi v gredi: max T3= 0.44 / min T3= -0.60 kN

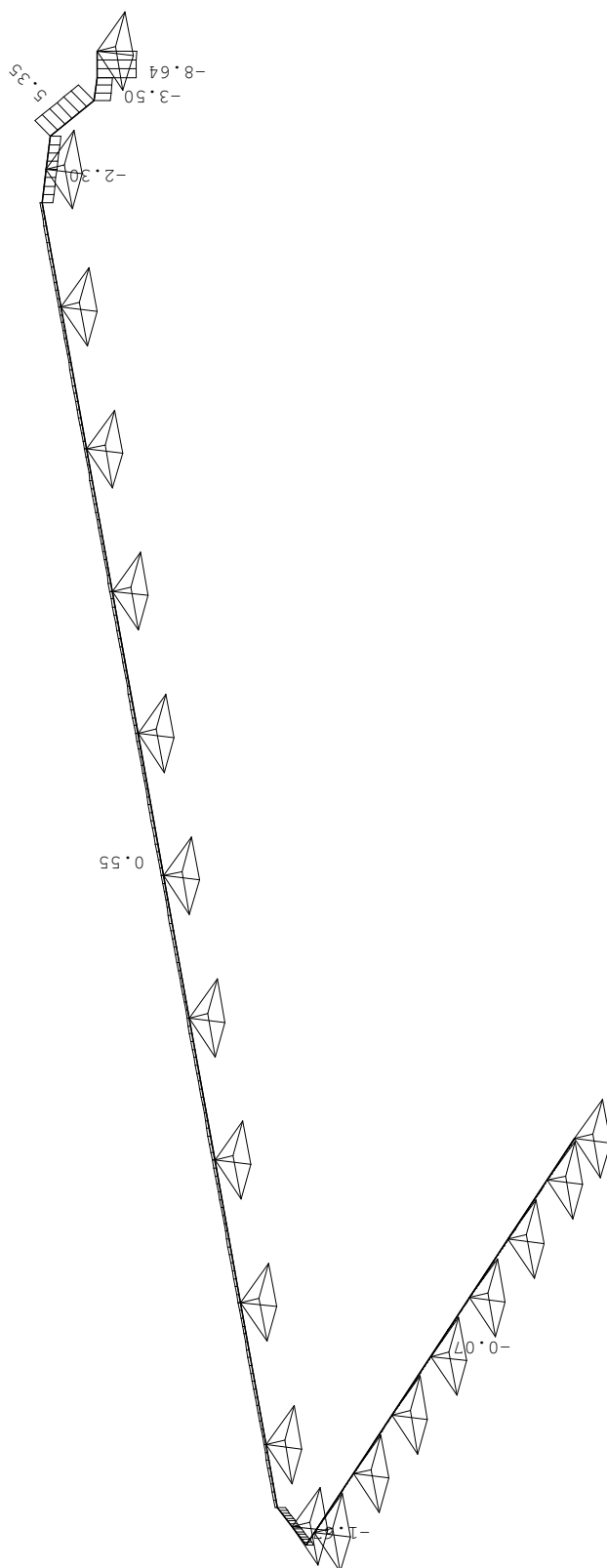
Id. oznaka: MPPVX--8S0007
Datoteka: MPPVX--8S0007_Cevovod - Statični izračun

Revizija:
Datum: Februar 2022

Št. projekta: P-GO-35/22
Št. mape: MPPV--8X/M01



Obt. 9: I+VI



Izometrija

Vplivi v gredi: max M1 = 5.35 / min M1 = -8.64 kNm

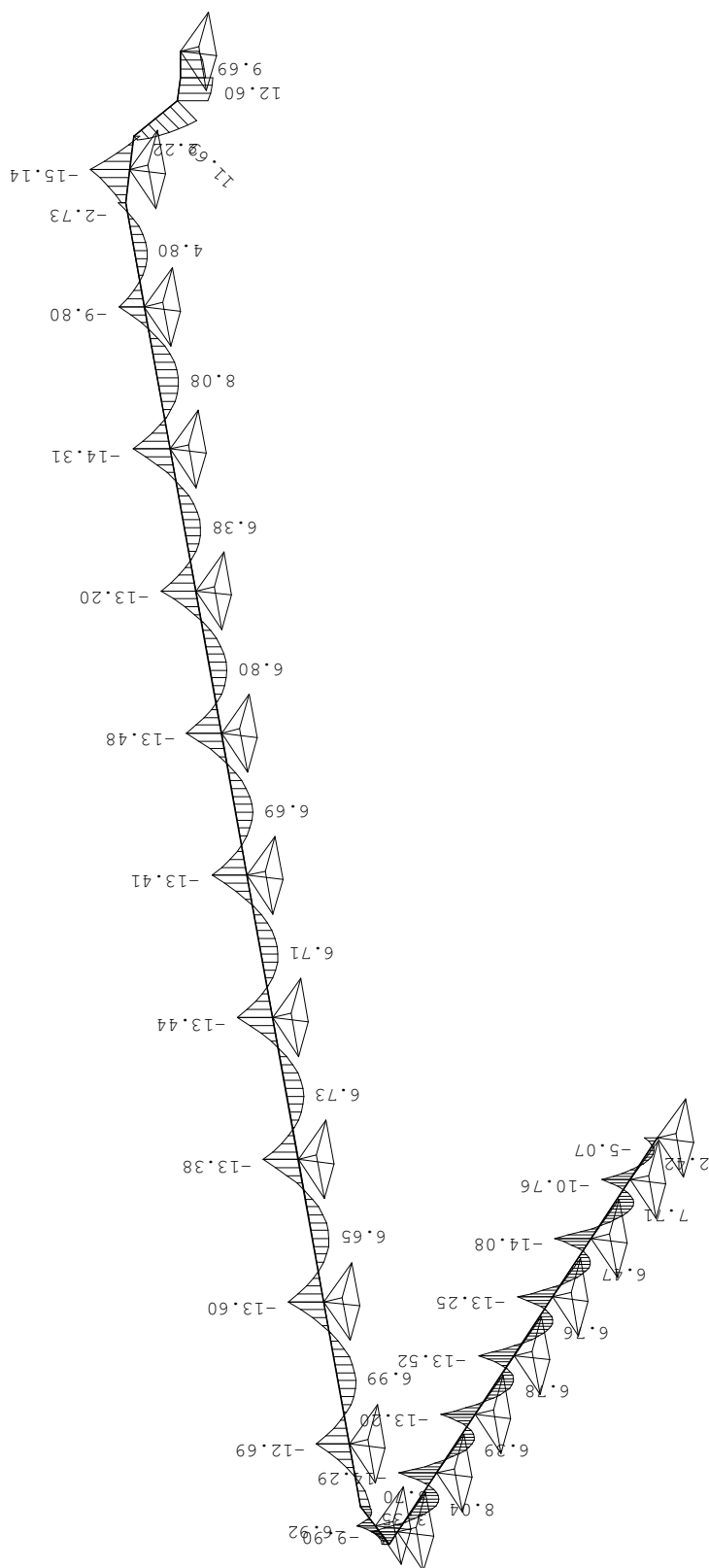
Id. oznaka: MPPVX--8S0007
Datoteka: MPPVX--8S0007_Cevovod - Statični izračun

Revizija:
Datum: Februar 2022

Št. projekta: P-GO-35/22
Št. mape: MPPV--8X/M01



Obt. 9: I+VI



Izometrija

Vplivi v gredi: $\max M_3 = 12.60$ / $\min M_3 = -15.14$ kNm

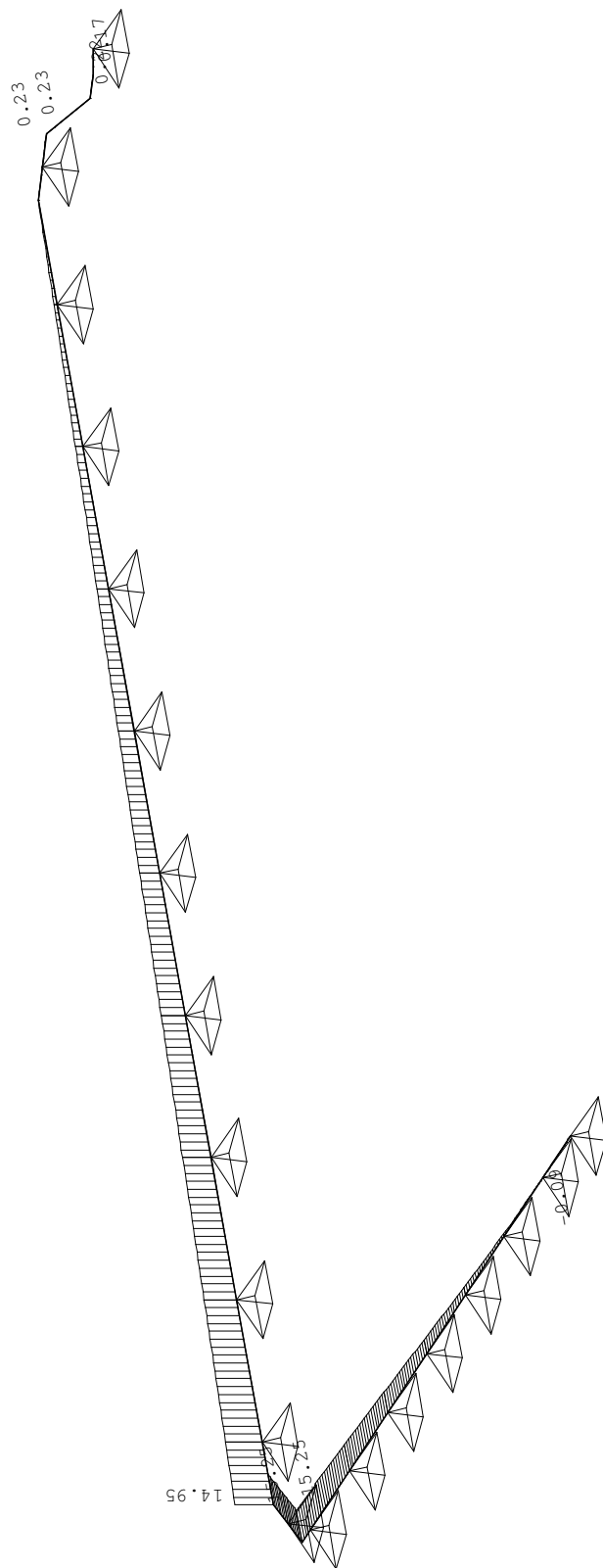
Id. oznaka: MPPVX--8S0007
Datoteka: MPPVX--8S0007_Cevovod - Statični izračun

Revizija:	
Datum:	Februar 2022

Št. projekta: P-GO-35/22
Št. mape: MPPV--8X/M01



Obt. 9: I+VI



Izometrija

Vplivi v gredi: max $X_p = 15.25$ / min $X_p = -0.09$ m / 1000

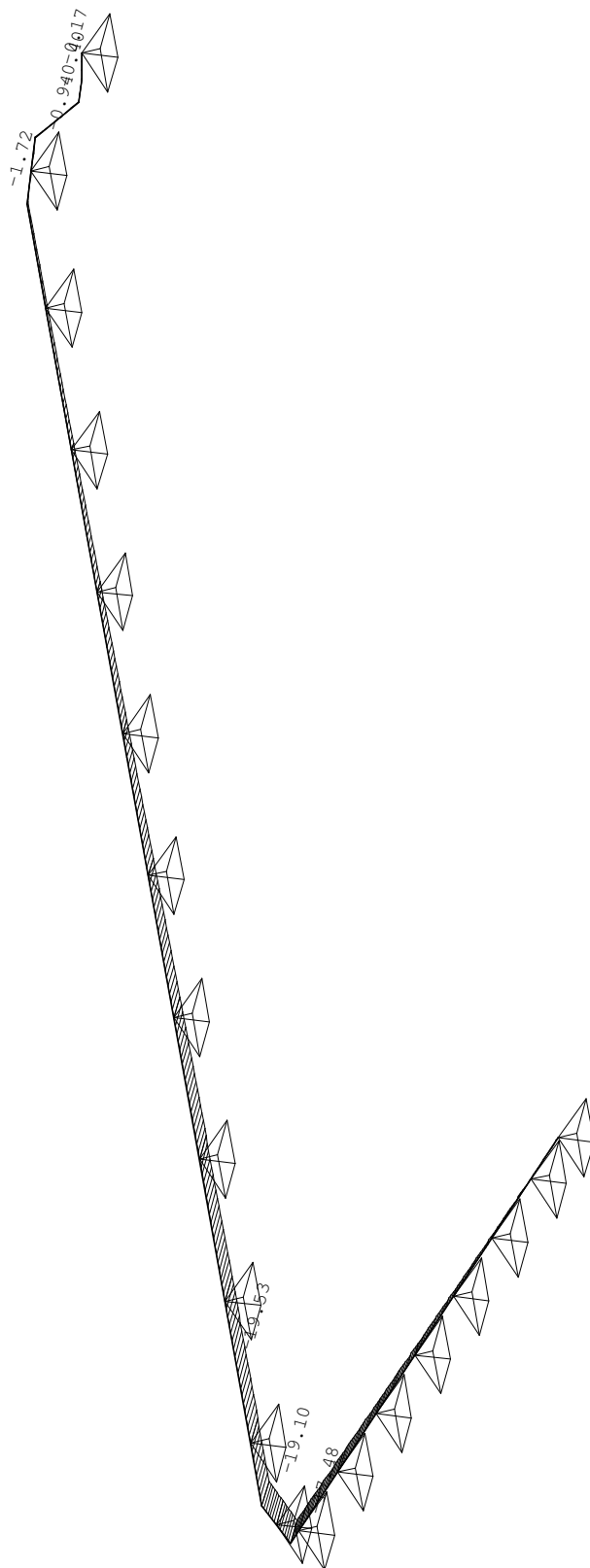
Id. oznaka: MPPVX--8S0007
Datoteka: MPPVX--8S0007_Cevovod - Statični izračun

Revizija:
Datum: Februar 2022

Št. projekta: P-GO-35/22
Št. mape: MPPV--8X/M01



Obt. 9: I+VI



Izometrija

Vplivi v gredi: max Yp= 0.00 / min Yp= -19.53 m / 1000

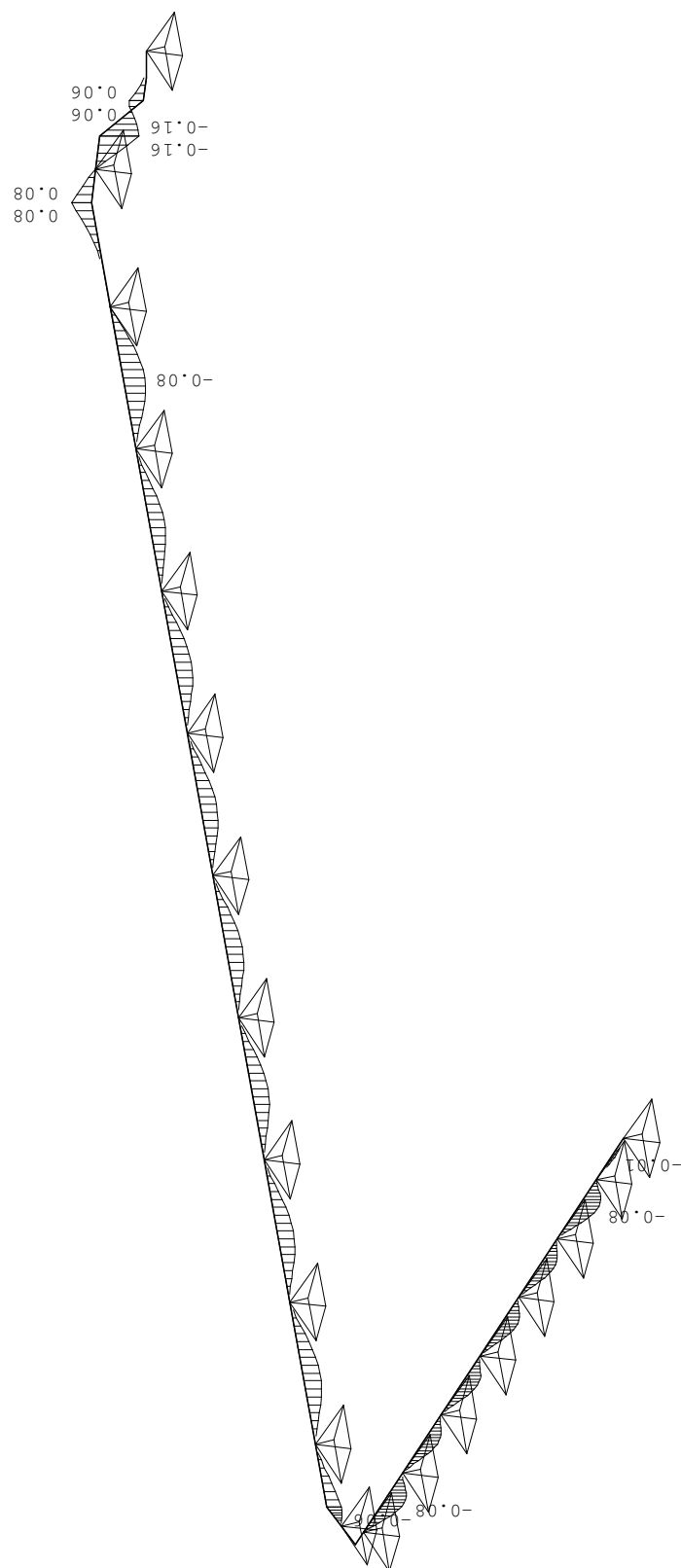
Id. oznaka: MPPVX--8S0007
Datoteka: MPPVX--8S0007_Cevovod - Statični izračun

Revizija:
Datum: Februar 2022

Št. projekta: P-GO-35/22
Št. mape: MPPV--8X/M01



Obt. 9: I+VI



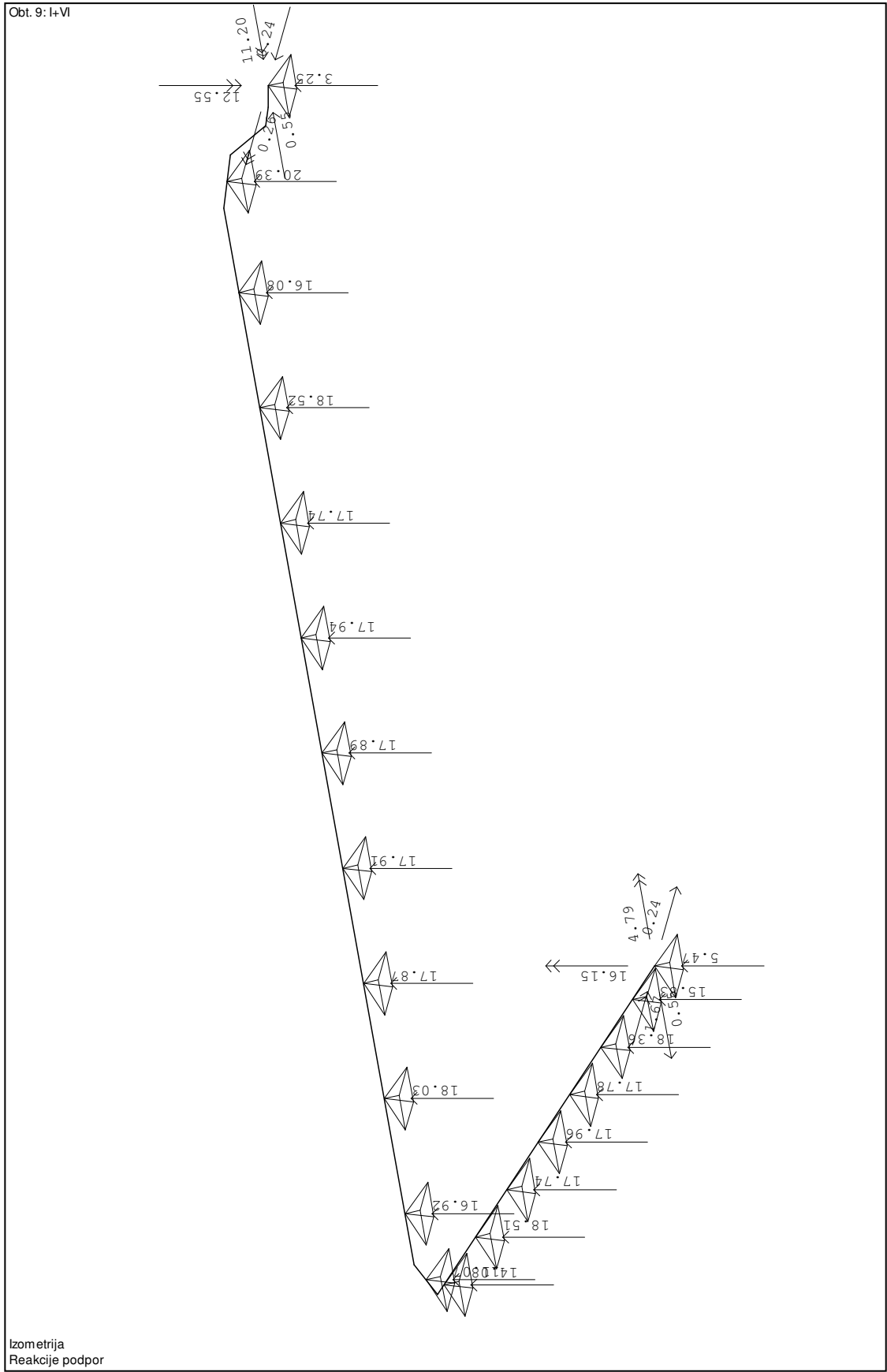
Izometrija

Vplivi v gredi: max Zp= 0.08 / min Zp= -0.16 m / 1000

Id. oznaka: MPPVX--8S0007
Datoteka: MPPVX--8S0007_Cevovod - Statični izračun

Revizija:
Datum: Februar 2022

Št. projekta: P-GO-35/22
Št. mape: MPPV--8X/M01



Id. oznaka: MPPVX--8S0007
Datoteka: MPPVX--8S0007_Cevovod - Statični izračun

Revizija:
Datum: Februar 2022