

Kazalo

1.	SPLOŠNO	2
2.	STABILNOSTNI IN GEOSTATIČNI IZRAČUNI	3
2.1	Uvod.....	3
2.2	Geomehanski model	6
2.3	Armiranobetonski elementi	6
2.4	Sidra.....	7
2.5	Kontaktni element.....	7
2.6	Obtežbe	7
2.6.1	Vrtalna garnitura	7
2.6.2	Promet	7
3.	REZULTATI STABILNOSTNE ANALIZE.....	8
3.1	Obstoječe stanje.....	8
3.2	Plato za pilotiranje	9
3.3	Končna ureditev	10
4.	REZULTATI GEOSTATIČNE ANALIZE	11
4.1	Faznost in vhodni parametri.....	11
4.2	Izpis rezultatov geostatične analize	14
5.	VEZNA GREDA.....	24

1. SPLOŠNO

Investitor: Občina Medvode, cesta komandanta Staneta 12, 1215 Medvode

Naziv projekta: Pilotna stena Topol 24a

2. STABILNOSTNI, GEOSTATIČNI IN STATIČNI IZRAČUNI

2.1 Uvod

V sklopu priprave projektne dokumentacije za sanacijo plazju na lokaciji Topol 24a (lokalna cesta na relaciji Osredkar – Dobje, občina Medvode) je predvidena izvedba pilotne stene PS1 iz armiranobetonskih (AB) pilotov. Pilotna stena bo služila stabilizaciji brežine in zagotavljanju prometne varnosti. Zaradi težav s transportom vrtalne garniture, s katero bi se po PZI rešitvi izvedli piloti Ø 60 cm po Benotto metodi, bodo izvedeni piloti Ø 50 cm brez cevitve. Za potrebe dokaza stabilnosti pobočja ter nosilnosti in trajnosti pilotov reduciranega premera je izvedena stabilnostna in geostatična analiza. Piloti, greda in sidra sta potem dimenzionirani, upoštevajoč novo geometrijo konstrukcijskih elementov pilotne stene PS1.

Glede na rezultate geomehanskih raziskav (*Cestal, poročilo P59/2015*) in izvedenih vrtin V1–V3, globine 3,6–9,0 m, je predvidena rešitev varovanja brežine s pilotno steno iz pilotov Ø 50 cm, dolžine 4,5–8,5 m, izvedenih brez cevitve. Dolžina pilotov se prilagaja globini kamninske podlage iz grodenskega peščenjaka, kjer je potrebno da vsak pilot sega vsaj 3,0 m v kompaktno podlago. Dolžina pilotne stene je 44,3 m, skupaj bo vgrajenih 44 pilotov, razdeljenih v 5 skupin, odvisno od dolžine pilota. Piloti se vgrajujejo na medosnem rastru $a = 1,0$ m. Piloti bodo med seboj povezani z armiranobetonsko vezno gredo dimenzij $b = 60 \times d = 70$ cm (v PZI prvotno 70×80 cm), ki zagotavlja enotno konstrukcijsko delovanje stene. Na koncu se vgrajujejo pasivna SN sidra dolžine $L = 12,0$ m, pod naklonom od horizontale $\alpha = 25^\circ$, kapacitete $F_{\max} = 250$ kN. Sidra so vgrajena med piloti, na medosnem rastru $a = 3,0$ m (med sidri so trije piloti). Potrebno je vgraditi 15 pasivnih, antikorozijsko zaščitanih SN sider.

Za izdelavo stabilnostnih analiz smo uporabili program Rocscience SLIDE, ki temelji na metodi mejnih ravnovesij (Limit Equilibrium Method – LEM). V izračunih po LEM metodi se potencialna drsna ploskev razdeli na navpične rezine, pri čemer se izračuna faktor varnosti kot razmerje med vsoto odpornosti (M_{sf}) in vsoto pogonskih sil (E_d) v obravnavani fazi gradnje. Uporabljena je bila korigirana Janbujeva metoda za izračun kritične drsne ploskve; ta poleg momentnega ravnovesja upošteva tudi tangencialne sile med rezinami. Z algoritmom samodejnega iskanja in optimizacije kritičnih drsin poligonalne oblike dosežemo realističen opis porazdelitve sil po prostornini drsne mase, hkrati pa konservativno oceno globine drsine in faktorja varnosti. Faktor varnosti mora v vseh fazah gradnje in eksploatacije objekta presegati normativom predpisane vrednosti.

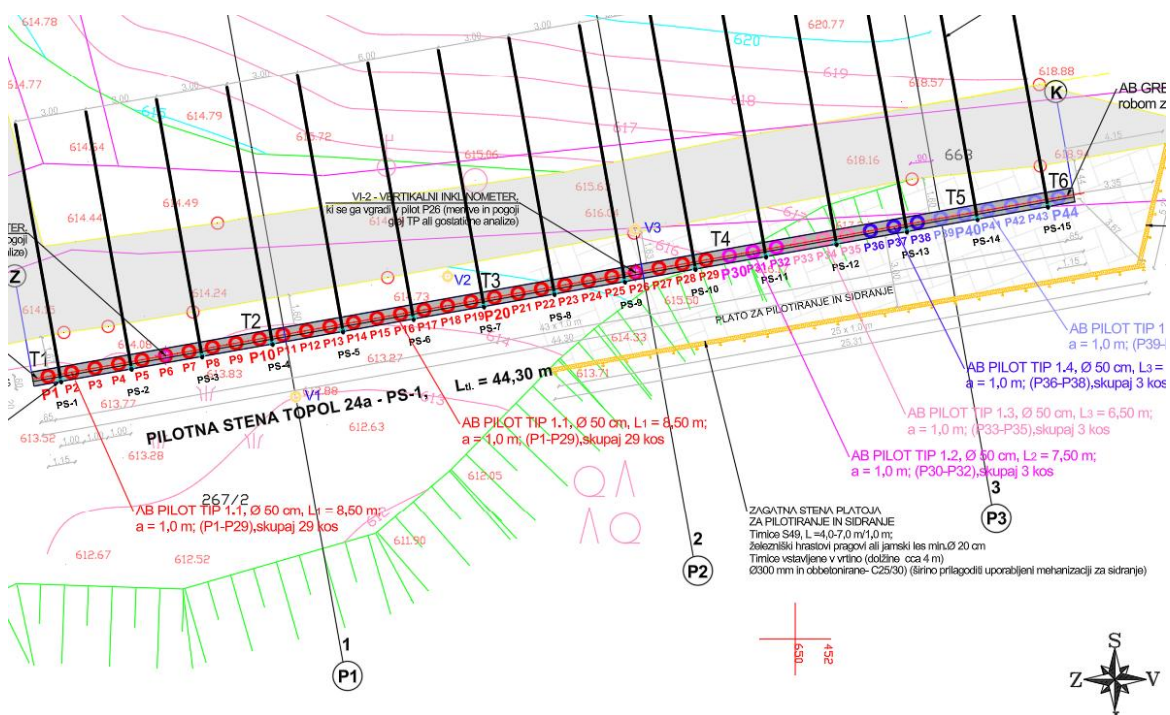
Za geostatične analize, ki so potrebne za določitev deformacij in notranjih sil v AB elementih ter v pasivnem SN sidru, smo uporabili Plaxis 2D 2024.2. Program je zasnovan na metodi končnih elementov (Finite Element Method – FEM), ki z ustreznimi konstitutivnimi modeli omogoča natančno simulacijo faznosti gradnje in interakcije konstrukcije z zemljinjo. V analizi so obdelane vse pomembne gradbene faze: od začetnega stanja, preko izdelave platoja in sidranja pilotov, do končne ureditve ter vpliva obtežb med gradnjo. Notranje statične količine in deformacije morajo ostati v obvladljivih mejah, zahtevane vrednosti faktorja varnosti pa morajo biti izpolnjene v vseh fazah.

Izračuni so izvedeni po projektnih pristopih SIST EN 1997-1:2005:

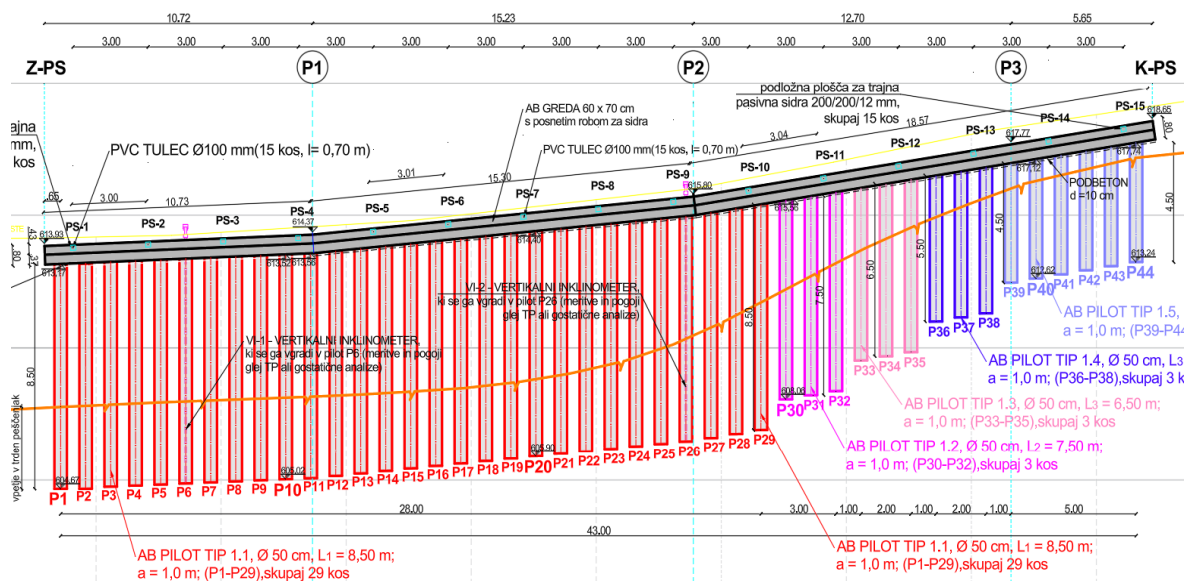
- Pristop 3 je uporabljen za stabilnostne analize (faktor varnosti $F_s = R_d/E_d > 1,00$) z materialnimi parametri pomnoženimi z $\gamma_M = 1,25$.
- Pristop 2 je uporabljen za geostatično analizo z metodo c- ϕ redukcije ($F_s = \Sigma M_{sf} > 1,25$), kjer se materialni parametri ne faktorirajo ($\gamma_M = 1,00$).

Stabilnostne analize potrjujejo ustreznost optimizirane pilotne stene in pasivnih SN sider; pobočje je stabilno v vseh fazah gradnje in eksploatacije.

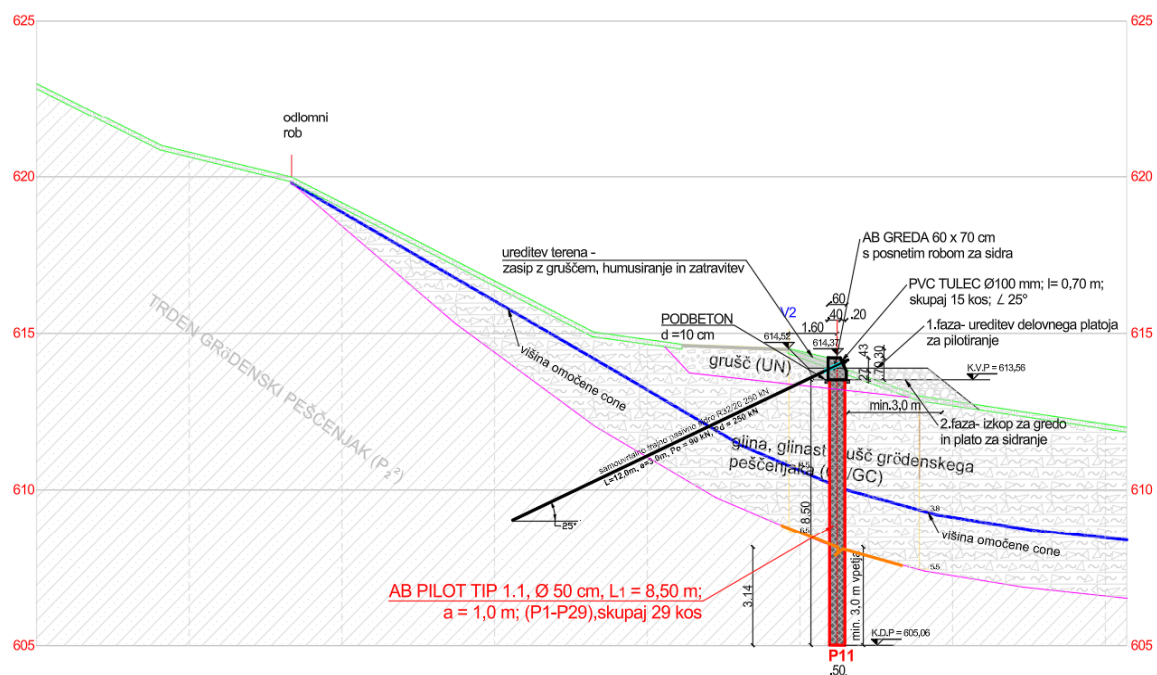
Statična analiza potrjuje ustreznost dimenzij AB vezne grede; deformacije so znotraj dovoljenih omejitev, notranje sile in potrebna armatura pa v mejah nosilnosti.



Slika 1: Situacija – pilotna stena PS1 in lokalna cesta



Slika 2: Vzdolžni prerez v osi pilotne stene PS1



Slika 3: Prečni prerez P1 – analizirani profil

2.3 Geomehanski model

Na območju Medvod, v bližini lokacije Topol 24a, je zaradi izjemnih padavin prišlo do zdrsa brežine, ki je povzročil poškodbe cestnega telesa. Lokacija se nahaja na hribovitem terenu, kjer cesta Osredkar–Dobje poteka čez pobočje. Zaradi zdrsa je prišlo do posedanja in razpok vozišča, zato je za dolgoročno stabilizacijo predvidena izvedba sidrane pilotne stene PS1 vzdolž cestnega roba. Odlomni rob je zabeležen na zgornji strani brežine, nad cesto.

Geomorfološko je območje značilno po pobočju, ki se spušča proti dolini, z razmeroma strmim naklonom. Na brežini so prisotne plasti preperine gruščnatega peščenjaka, v zgornjih slojih pa nasutje cestnega telesa. Laboratorijske in terenske raziskave so bile izvedene z geomehanskimi vrtinami V1–V3, globin 3,6–9,0 m, ki so pokazale prehajanje iz zgornjih nasutih plasti v stabilnejše kamnite sloje. V vseh treh vrtinah je bila ugotovljena vlažna cona, ki povzroča dodatno plazenje zemljine. Namočena cona je v vseh treh vrtinah zaznana med 3,6 in 4,5 m globine, oziroma nekaj metrov nad kontaktom trdne kamninske podlage in zemljine (*Cestal, poročilo P59/2015*).

V geomehanskem modelu se zato pojavljajo naslednje glavne enote: zgornji sloj nasipnega materiala – pretežno grušč, deloma zaglinjen; grušč; gruščnat peščenjak; kompakten grodenski peščenjak. Ker je podzemna voda zaznana in ima pomemben vpliv na obnašanje modela, se vse analize izvajajo z upoštevanjem dejanske višine podzemne vode. Materialni parametri nastopajočih zemljin, uporabljeni v analizah, so povzeti iz poročila (*Cestal, poročilo P59/2015*) in prikazani v spodnji preglednici. Zemljina je modelirana kot elastoplastični material s Hardening Soil konstitutivnim modelom. Predvidevamo, na osnovi geoloških vrtin in vzdolžnega profila, da bomo naleteli na trdo podlago približno med 4–7 m pod površjem.

Preglednica 1: materialne karakteristike zemljin uporabljenih v analizi

Material	γ [kN/m ³]	c [kN/m ²]	φ [°]	E_{oed} [kN/m ²]
Glina, zaglinjen grušč (CL, GC/CL)	20	1-5	28	10 000
Grodenski peščenjak	23	500	35	600 000
Grušč (UN)	20	0	28	10 000
Nasip – drobljenec (GrM, GrW)	21	1	33	30 000

2.4 Armiranobetonski elementi

Cestno telo je modelirano z enodimenzionalnimi linijskimi elementi (plate element), ki prenašajo osne in strižne sile ter upogibne momente. Teža slojev cestnega telesa je poenostavljeno modelirana prek parametra w , ki enakomerno porazdeli dodatno težo linijskega plate elementa po njegovi dolžini (uporabljeno je bilo $w = 10 \text{ kN/m'}$).

Armiranobetonski elementi (AB piloti, greda) so bile v geomehanskem modelu predstavljene z dvodimenzionalnimi ploskovnimi elementi (cluster element), ki prenašajo osne in strižne sile ter upogibne momente.

Materialne lastnosti betona obeh tipov elementov so bile določene skladno z normativi za beton razreda C25/30: teža betona $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$, Poissonov koeficient $\nu = 0,2$ in modul elastičnosti $E = 33 \text{ GPa}$. Uporabljen je bil linearno elastični materialni model.

Za dimenzioniranje pilotov so se togosti EA (osna) in EI (upogibna) izračunale glede na premer pilota $\varnothing 50 \text{ cm}$ in medosni razmik pilotov 100 cm . Greda dimenzij $60 \times 70 \text{ cm}$ je bila modelirana kot ploskovni element s prenosom mobiliziranih sil iz sider.

2.5 Sidra

Pasivna SN sidra so modelirana kot linijski element (embedded beam element), ki povezuje sidro z okoliškimi ploskovnimi elementi preko navideznih vzmeti v skupnih vozliščih. Modelirana je vrtina $D = 51 \text{ mm}$, razmik sider L_{spacing} je enak medosnemu rastru sider $a = 3,0 \text{ m}$. Modul elastičnosti E se določi kot kompozitna vrednost, ki upošteva jekleno palico sidra in betonski plašč ter njuna preseka (A_j , A_b) in elastične module (E_j , E_b). Uporabljen je linearno elastični materialni model.

2.6 Kontaktni element

Na stiku AB konstrukcij in zemljine je potrebno modelirati kontaktne elemente. Ti imajo vlogo v ločevanju cluster, oz. površinskih elementov zemljine in konstrukcije, ker bi v nasprotnem primeru elementi tvorili kontinuum in bili "zlepljeni". Materialni parametri med dvema ploskovnima elementoma so v tem primeru oslabljeni za faktor R_{inter} , ki se giblje med 0 in 1. Glede na izkušnje in priporočila iz literature smo za kontaktno redukcijo parametrov med armiranim betonom in gruščnatim slojem zemljine izbrali faktor $R_{\text{inter}} = 0,66$. Uporabljen je linearno elastični materialni model.

2.7 Obtežbe

2.7.1 Vrtalna garnitura

Za izvedbo pilotov smo predvideli vrtalno garnituro teže maksimalno $F = 40 \text{ ton}$. Obtežbo pri delovni širini $b = 3 \text{ m}$, dolžini $l = 5,5 \text{ m}$ ter faktorju varnosti $\gamma = 1,5$ ocenimo na $q = 33 \text{ kPa}$. Obtežba vrtalne garniture je modelirana kot enakomerno porazdeljena obtežba po dejanski širini stroja, ki znaša $b = 3 \text{ m}$.

2.7.2 Promet

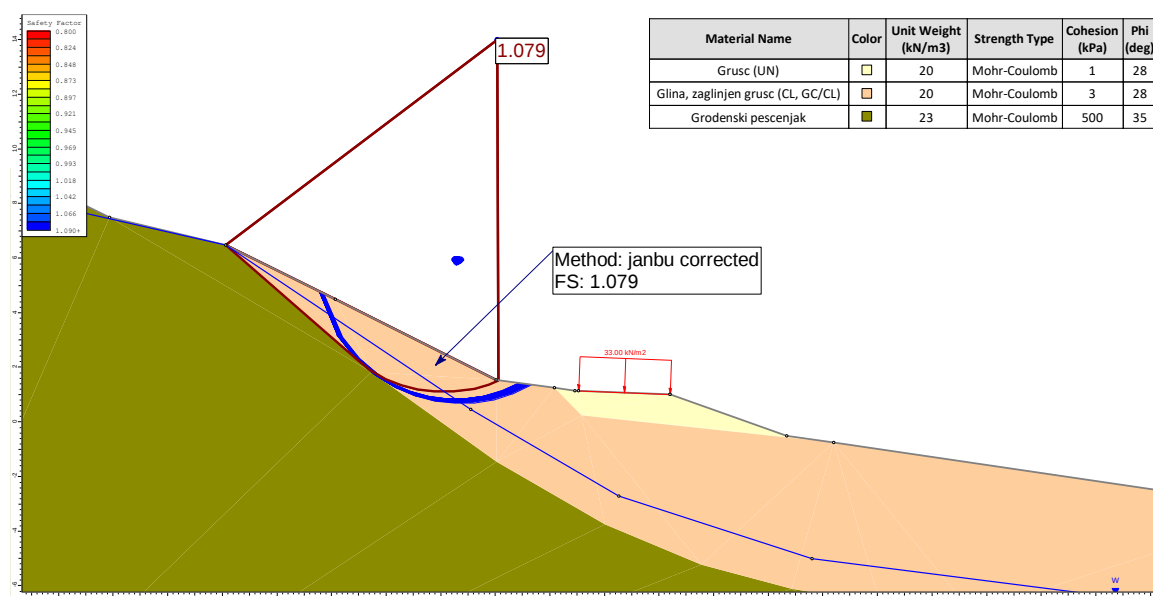
Obtežba prometa je dodatno povečana, glede na to da se cesta nad pilotno steno lahko koristi v času gradnje za dovoz in odvoz materiala ali druge gradbene posege. Po celi širini ceste je modelirana konzervativno ocenjena, enakomerno porazdeljena obtežba $q = 33 \text{ kPa}$.

3. REZULTATI STABILNOSTNE ANALIZE

3.1 Obstoječe stanje

Za preveritev geomehanskih parametrov in stabilnostih razmer na lokaciji, modelirali smo obstoječe stanje. Na cestnem telesu je upoštevana enakomerno porazdeljena prometna obtežba $q = 33 \text{ kPa}$.

V izračunih je uporabljen PP3, zahtevana varnost brežine je $F_s^{\min} = 1,0$. V naravnem stanju in za predlagane geomehanske parametre v modelu je dosežen varnostni faktor $F_s = 1,08$.

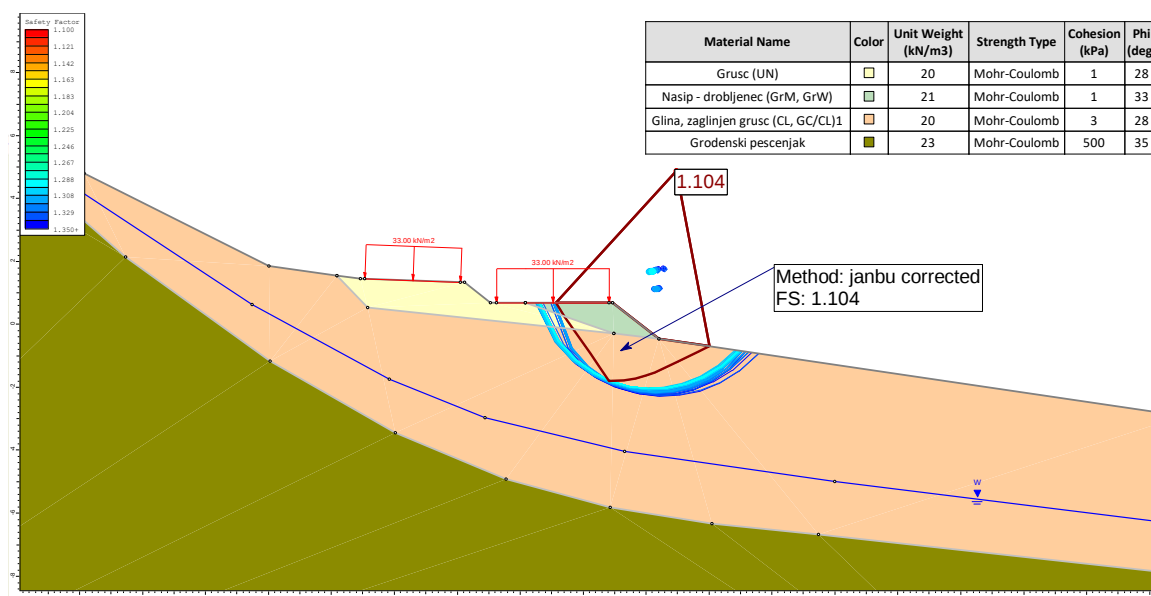


Slika 4: Stabilnost pobočja v naravnem stanju $F_s=1,08$ (Janbu corrected, PP3)

3.2 Plato za pilotiranje

Za izvedbo sidrane AB pilotne stene PS1 je najprej treba urediti začasni plato. Ta se oblikuje bodisi z nasutjem obstoječega izkopanega materiala bodisi z dovozom primerne nasipnega gradiva, ki bo ostalo vgrajeno šele po izvedbi pilotne stene. Plato mora biti vodoraven in imeti širino vsaj 5 m, naklon nasipov ali izkopov pa ne sme preseči naklona 2 : 3. Na cestnem telesu je upoštevana enakomerno porazdeljena prometna obtežba $q = 33 \text{ kPa}$. Na površini platoja je upoštevana enakomerno porazdeljena obtežba vrtalne garniture $q = 33 \text{ kPa}$.

V izračunih je uporabljen PP3, zahtevana varnost brežine je $F_s^{\min} = 1,0$. Po izvedbi platoja v modelu je dosežen varnostni faktor $F_s = 1,10$, kar je zadostna vrednost.

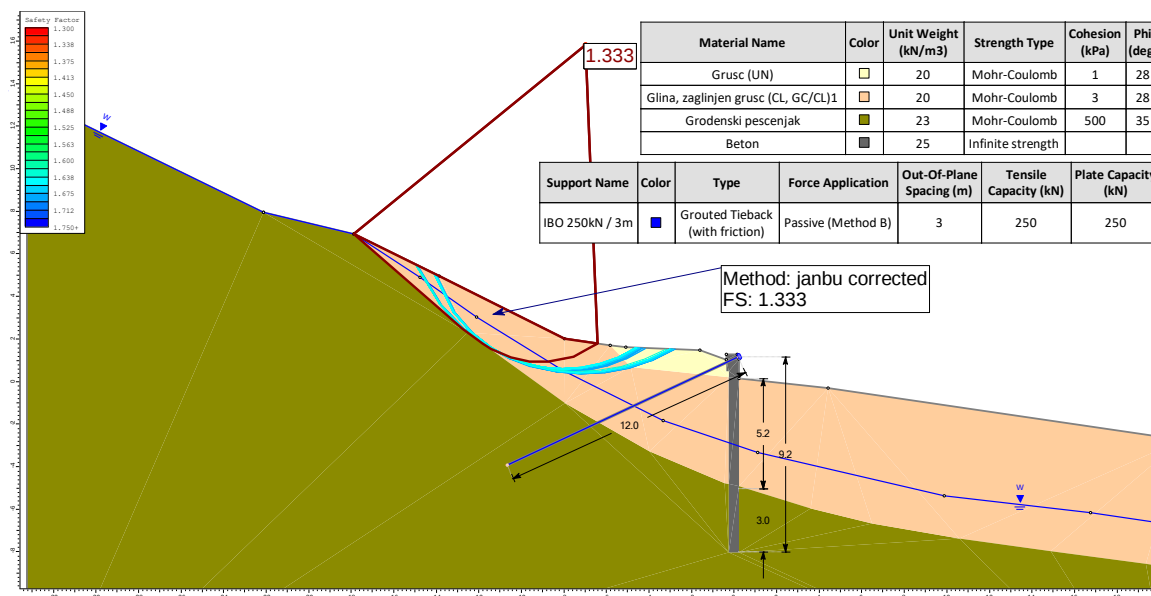


Slika 5: Stabilnost platoja za pilotiranje $F_s=1,10$ (Janbu corrected, PP3)

3.3 Končna ureditev

Za oceno stabilnosti v končni fazi smo modelirali vse elemente konstrukcij in nastopajoče obtežbe. Obtežbo prometa nismo modelirali, glede na to da pozitivno vpliva na stabilnostne razmere.

V izračunih je uporabljen PP3, zahtevana varnost brežine je $F_{smin} = 1,0$. Izračunani faktor varnosti $F_s = 1,33$ v končni fazi presega predpisani minimum. Sidro je izven kritične drsne ploskve, kar potrjuje ustrezno geometrijo konstruktivnih elementov pilotne stene.



Slika 6: Stabilnost končne ureditve $F_s=1,33$ (Janbu corrected, PP3)

4. REZULTATI GEOSTATIČNE ANALIZE

4.1 Faznost in vhodni parametri

Dolžina pilotne stene PS1 znaša 44,3 m. Izbran je najbolj neugoden prečni profil P1, kjer je pilot najdaljši, ter je v njem opravljena geostatična analiza. Geometrija in materialne karakteristike, uporabljene v stabilnostnih analizah so enakovredni parametrom, ki jih uporabljamo v geostatičnih analizah.

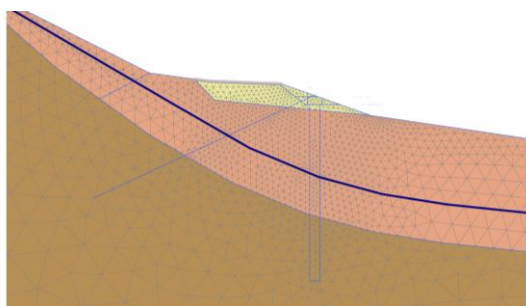
Geomehanska analiza s programom PLAXIS je bila opravljena za mejno stanje GEO (odpoved ali pretirana deformacija tal, pri čemer je za zagotavljanje odpornosti pomembna trdnost zemljine ali hribine) po projektnem pristopu 2 skladno s standardom SIST EN 1997-1:2005.

V analizi smo modelirali fazno gradnjo konstrukcije po naslednjem vrstnem redu:

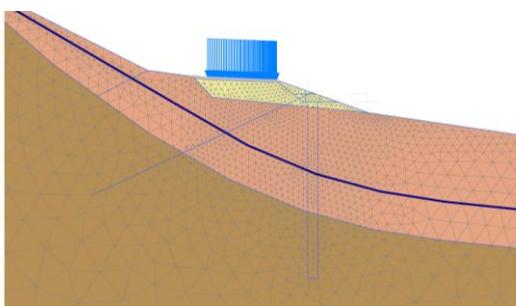
- določitev začetnega napetostnega stanja
- kontrola stabilnosti pobočja v začetnem stanju
- modeliranje prometne obtežbe $w = 10 \text{ kPa} + q = 33 \text{ kPa}$
- izvedba delovnega platoja za pilote
- modeliranje obtežbe vrtalne garniture za pilote $q = 33 \text{ kPa}$
- vgradnja pilota
- izkop platoja do nivoja spodnje konture grede
- vgradnja grede in sider
- upostavitev končne ureditve
- kontrola stabilnosti končne ureditve

	Calculation type	Loading type (D)	Pore pressure calculation type	Reset displacements to zero (D)	Max steps (D)	Solver type	$2M_{stage}$ - Reached phase proportion (R)	$2M_{sf}$ - Reached safety factor (R)
Initial phase [InitialPhase]	Gravity loading	Staged construction	Phreatic	☐	1000	Pardiso (multicore direct)	1,000	1,000
Promet [Phase_1]	Plastic	Staged construction	Phreatic	☒	1000	Pardiso (multicore direct)	1,000	1,000
Nasip - plato za pilotiranje [Phase_2]	Plastic	Staged construction	Phreatic	☒	1000	Pardiso (multicore direct)	1,000	1,000
Izkop - plato za pilotiranje [Phase_3]	Plastic	Staged construction	Phreatic	☒	1000	Pardiso (multicore direct)	1,000	1,000
Vrtna garnitura $q=33\text{kPa}$ [Phase_4]	Plastic	Staged construction	Phreatic	☒	1000	Pardiso (multicore direct)	1,000	1,000
Pilot [Phase_5]	Plastic	Staged construction	Phreatic	☒	1000	Pardiso (multicore direct)	1,000	1,000
Izkop - plato za grede [Phase_6]	Plastic	Staged construction	Phreatic	☒	1000	Pardiso (multicore direct)	1,000	1,000
Sidra glava in SN sidro [Phase_7]	Plastic	Staged construction	Phreatic	☒	1000	Pardiso (multicore direct)	1,000	1,000
Končna ureditev [Phase_9]	Plastic	Staged construction	Phreatic	☒	1000	Pardiso (multicore direct)	1,000	1,000
Končna varnost [Phase_11]	Safety	Incremental multipliers	Use pressures from previous phase	☐	100	Pardiso (multicore direct)	0,000	1,785
Začetna varnost [Phase_10]	Safety	Incremental multipliers	Use pressures from previous phase	☒	100	Pardiso (multicore direct)	0,000	1,135

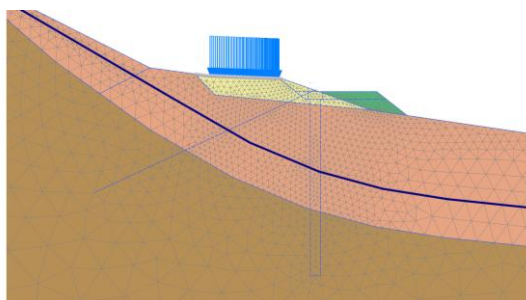
Slika 7: Faze gradnje upoštevane v modelu



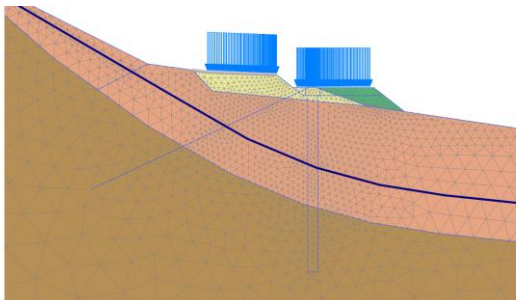
Faza 0 ZAČETNA GEOMETRIJA



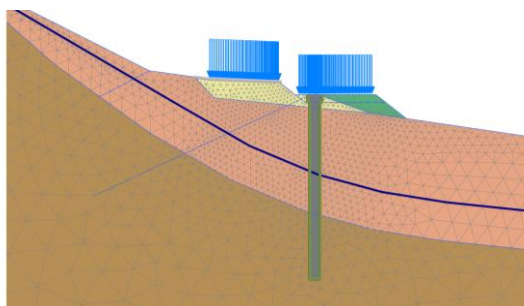
Faza 1 OBTEŽBA PROMETA $q = 33 \text{ kPa}$



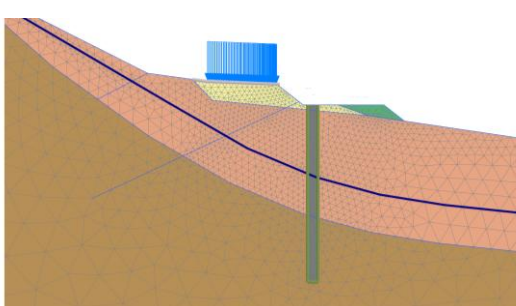
Faza 2 PLATO ZA PILOTIRANJE



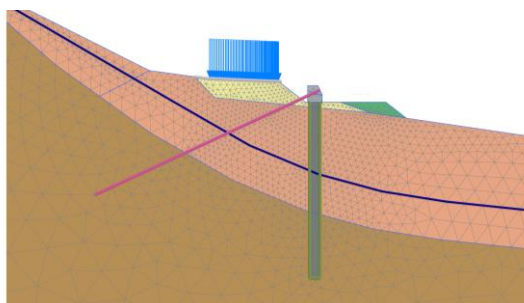
Faza 3 VRTALNA GARNITURA



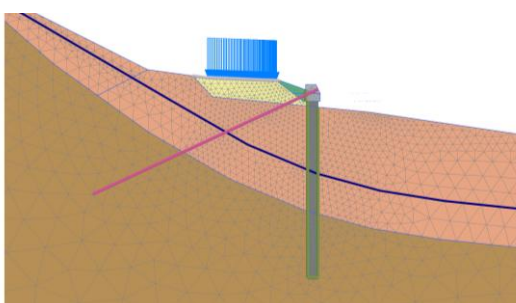
Faza 4 VGRADNJA PILOTA



Faza 5 IZKOP DO DNA SIDRNE GREDE



Faza 6 VGRADNJA SN SIDRA



Faza 7 KONČNA UREDITEV

Slika 8: Vizualni prikaz faznosti v modelu

Preglednica 2: materialne karakteristike elementov

CLUSTER ELEMENT – ZEMLJINE

#	material	model	drainage	γ [kN/m ³]	E _{oed} [kN/m ²]	E _{ur} [kN/m ²]	c [kN/m ²]	ϕ [°]
1	Glina, glinast grušč	Hardening Soil	Drained	20,00	10,00E3	30,00E3	3,000	28,00
2	Grušč	Hardening Soil	Drained	20,00	10,00E3	30,00E3	1,000	28,00
3	Grodenski peščenjak	Hardening Soil	Drained	23,00	600,00E3	1800,00E3	5,000	35,00
4	Nasip	Hardening Soil	Drained	21,00	30,00E3	90,00E3	1,000	33,00

CLUSTER ELEMENT – AB KONSTRUKCIJA

#	material	model	drainage	γ [kN/m ³]	E [kN/m ²]	ν
5	Pilot_Beton	Linear Elastic	Drained	25,00	33,00E6	0,20
6	Greda_Beton	Linear Elastic	Drained	25,00	33,00E6	0,20

PLATE ELEMENT – CESTNO TELO

#	material	model	EA [kN/m ³]	EI [kN/m ²]	d	w
7	Cesta	Linear Elastic	13,20E6	176,0E6	0,30	10,0

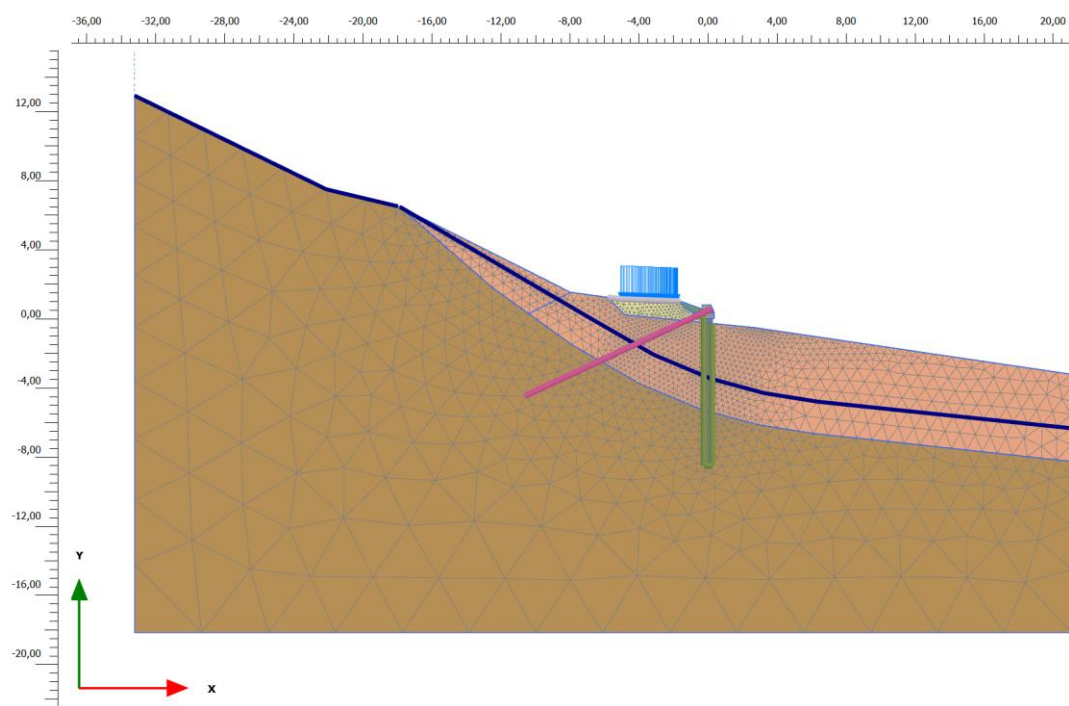
INTERFACE ELEMENT – KONTAKT KONSTRUKCIJE IN ZEMLJINE

#	material	model	drainage	γ [kN/m ³]	E _{oed} [kN/m ²]	E _{ur} [kN/m ²]	c [kN/m ²]	ϕ [°]
8	Interface	Hardening Soil	Drained	21,00	10,00E3	30,00E3	1,000	30,00

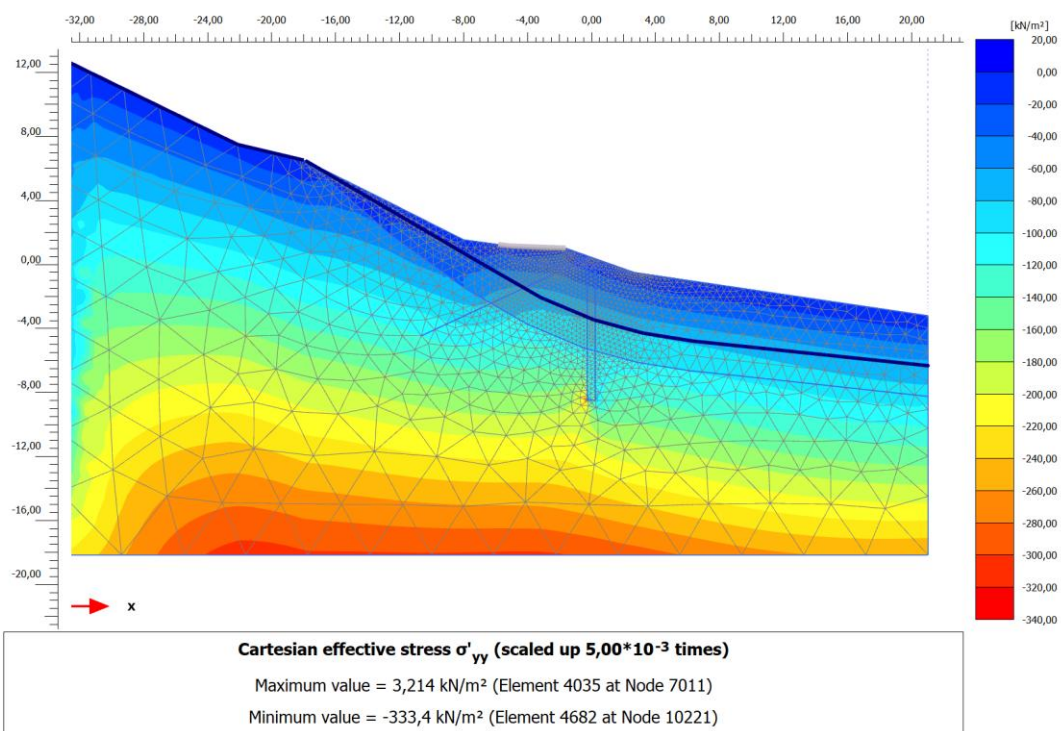
EMBEDDED BEAM ELEMENT – PASIVNO SN SIDRO

#	embedded beam	beam type	E [kN/m ²]	Diameter [m]	L spacing [m]	γ [kN/m ³]
9	SN sidro – e = 3,0m	Elastic	32,40E6	0,05100	3,000	24,45

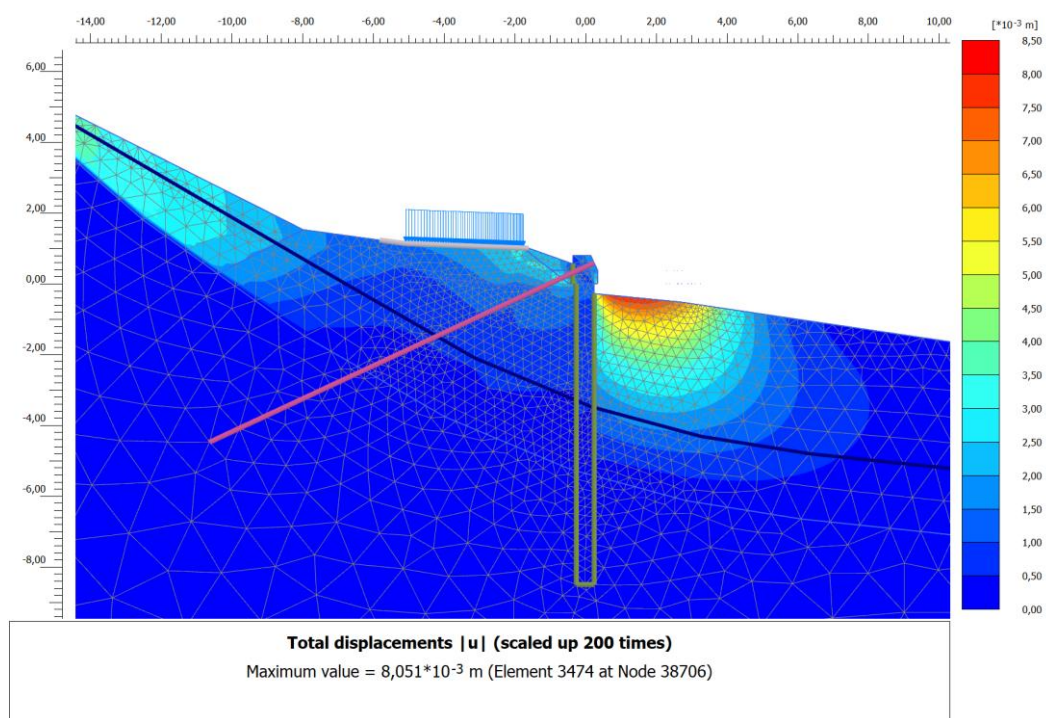
4.2 Izpis rezultatov geostatične analize



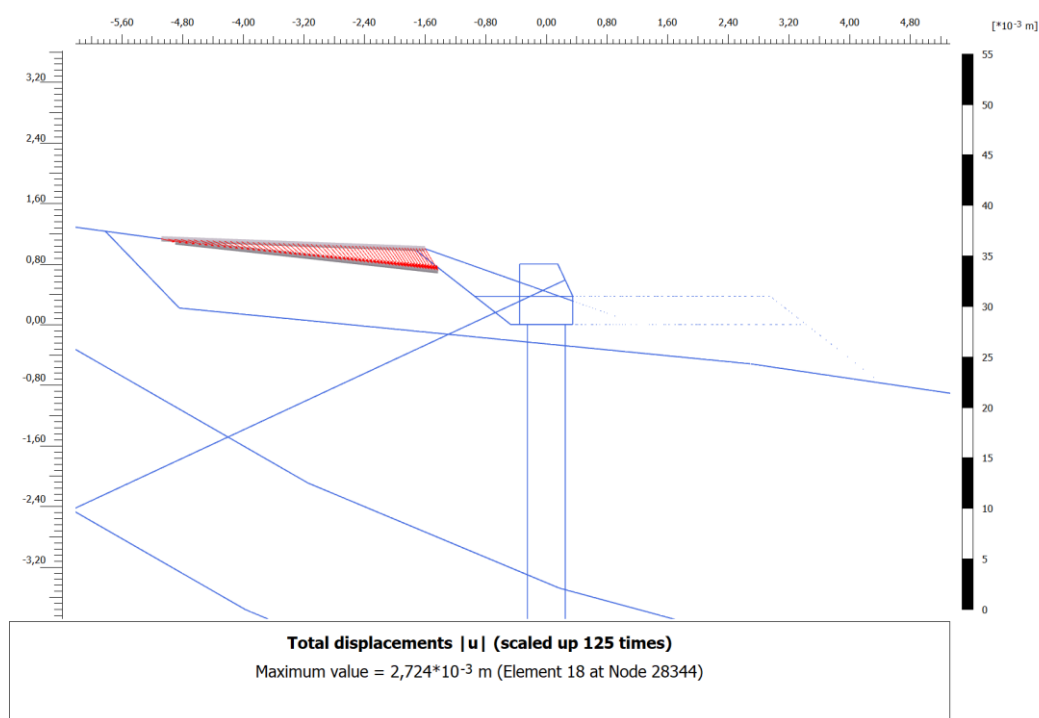
Slika 9: Končna geometrija modela



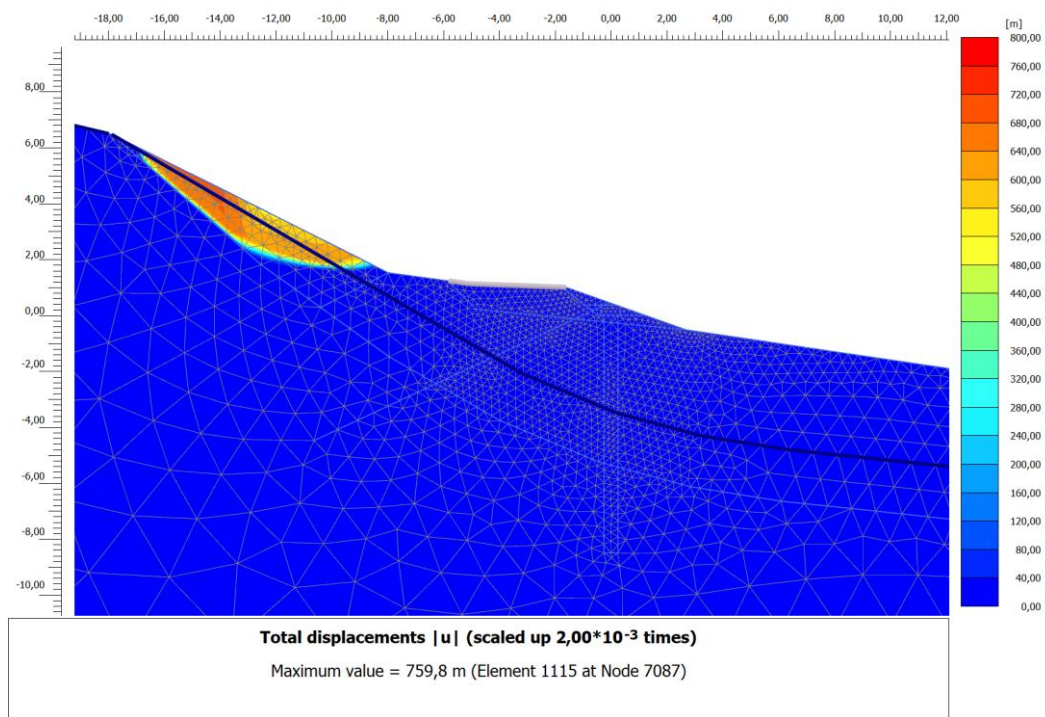
Slika 10: Začetno napetostno stanje v modelu



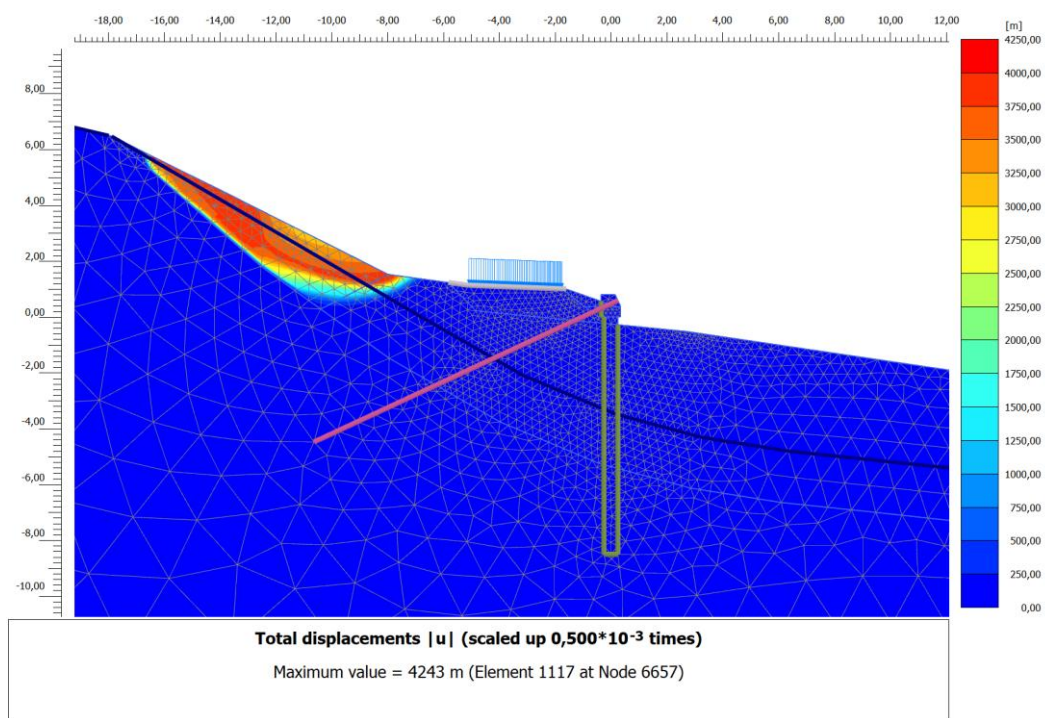
Slika 11: Kumulativne deformacije modela $u_{max} = 0,8$ cm (resetirani pomiki po vgradnji pilota)



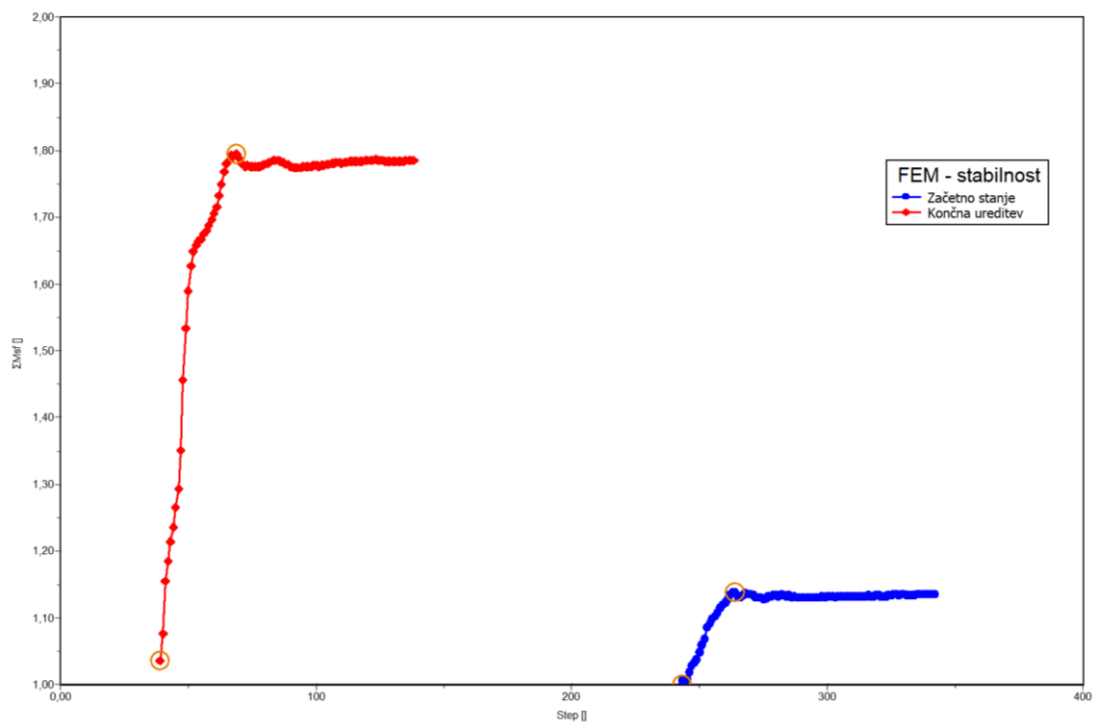
Slika 12: Deformacije ceste – $u_{max}^{vert} = 0,3$ cm



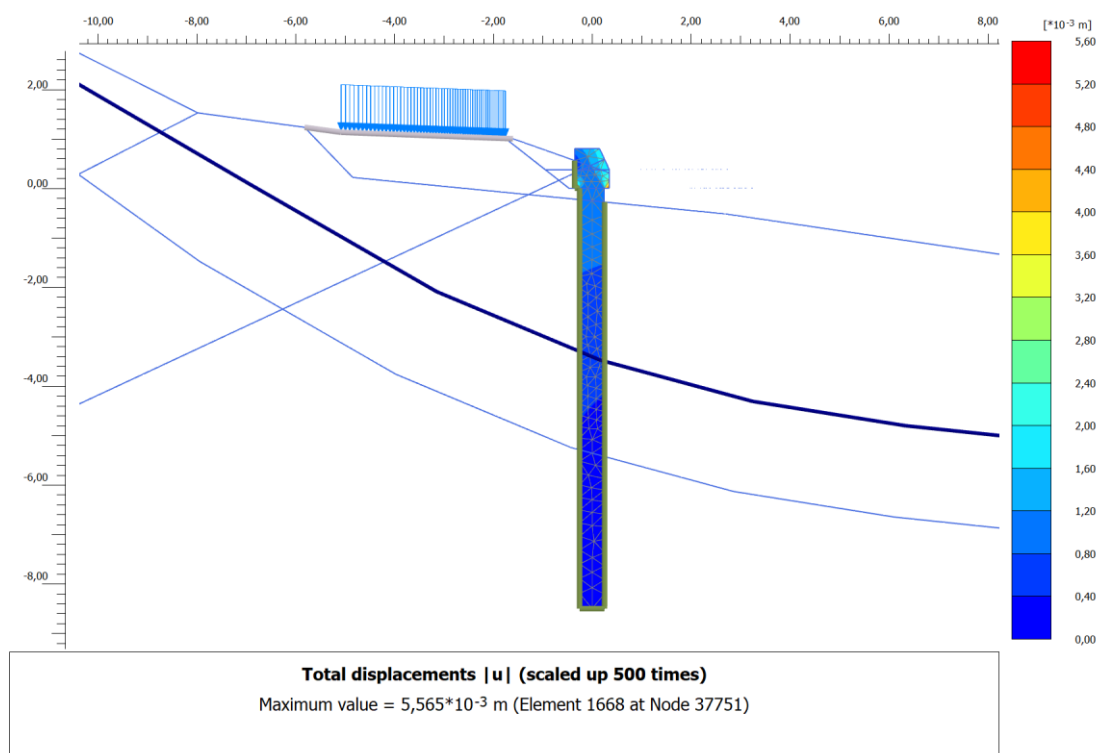
Slika 13: Varnost začetnega stanja: deformacije modela pri $\Sigma M_{sf} = 1,14$



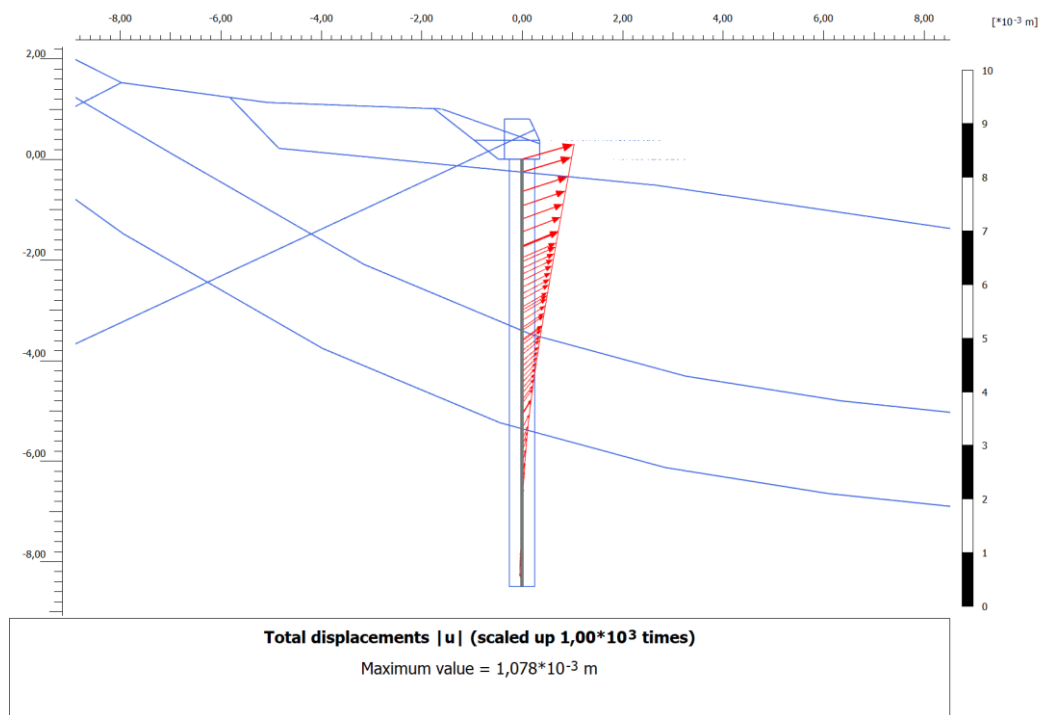
Slika 14: Varnost končne ureditve: deformacije modela pri $\Sigma M_{sf} = 1,79$



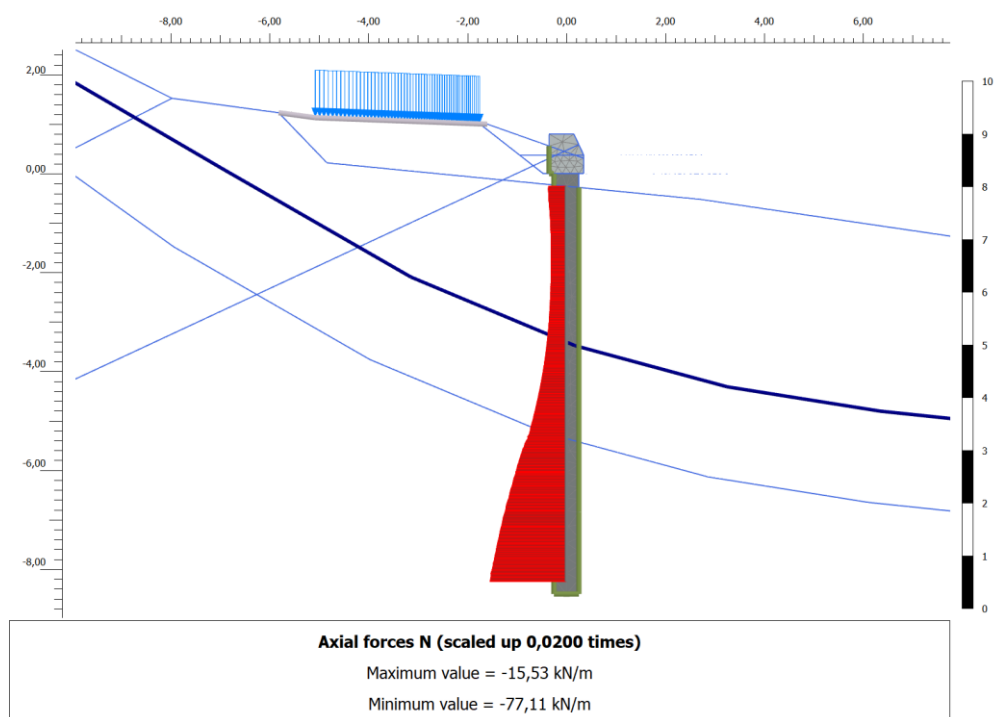
Slika 15: Koeficienti globalne stabilnosti F_s za končno ureditev (1,79) ter začetno stanje (1,14).



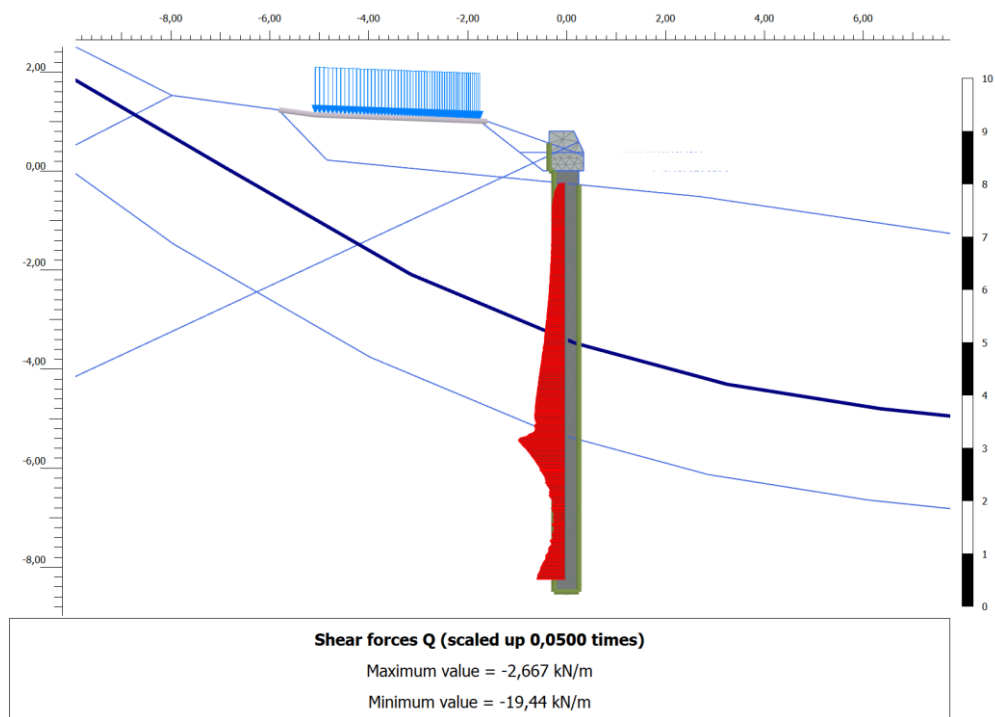
Slika 16: Deformacije v pilotni steni $u_{max}^x = 0,6$ cm



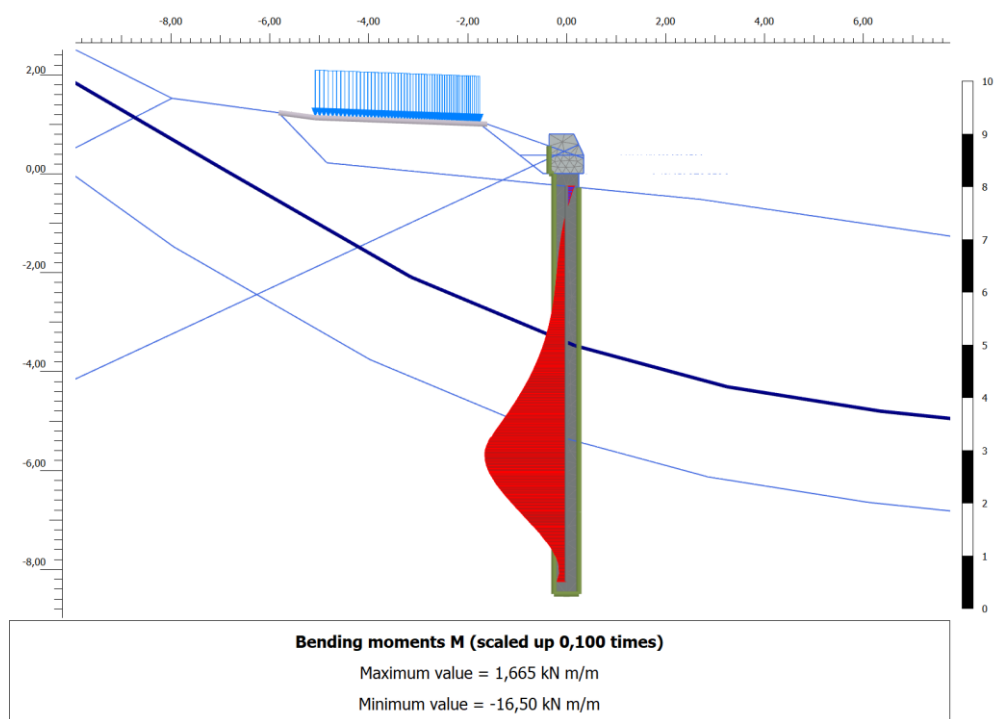
Slika 17: Deformacije v pilotu $u_{max}^x = 0,2$ cm



Slika 18: Osne sile v pilotu $N_{max} = 77$ kN/m' (na tekoči meter, razmik med piloti 1,0 m)



Slika 19: Prečne sile v pilotu $Q_{max} = 19,5 \text{ kN/m'}$ (na tekoči meter, razmik med piloti 1,0 m)



Slika 20: Upogibni momenti v pilotu $M_{max} = 17 \text{ kNm/m'}$ (na tekoči meter, razmik med piloti 1,0 m)

Maksimalne notranje sile v pilotu se faktorirajo z $\gamma_G = 1,35$ ter medosnim razmikom $e = 1,0$ m:

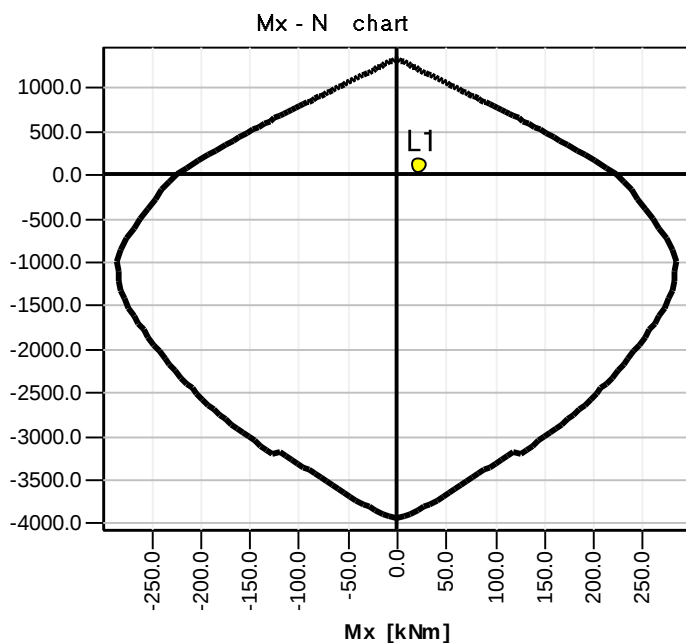
Preglednica 3: Maksimalne notranje sile v pilotu

Profil	Karakteristična obremenitev			Projektna obremenitev		
	N [kN/m']	M [kNm/m']	V [kN/m']	Nd [kN]	Md [kNm]	Vd [kN]
P1	77	17	20	104	23	27

Minimalno potrebna armatura v pilotu je $A_{smin} = 3,4 \text{ cm}^2$. Izbrali smo glavno vzdolžno armaturo na osnovi računsko potrebne – treba je vgraditi glavno vzdolžno armaturo 8Ø24, strižna armatura je Ø10/15 cm.

Preglednica 4: Izbrana armatura v pilotu

Profil	Izbrana armatura			
	Minimalna armatura	Računska armatura	Vzdolžna armatura	Strižna armatura
P1	6Ø12	8Ø20	8Ø24	Ø10/15 cm (spirala)



Slika 21: Interakcijski diagram pilota pilotne stene PS1 (Ø50 cm / 1,0 m + 8Ø24)

$$* A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d \geq 0,0013 \cdot b_t \cdot d - \text{izračun minimalne armature}$$



General

Design code: Eurocode 2
Analysis: Crack widths

Loads: N, Mx

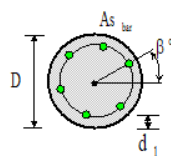
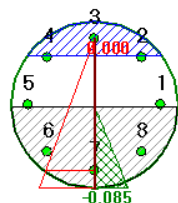
N<0 is compression !

Section

Data [cm]

D = 50

d1 = 5



Materials

Concrete: C25/30
SSR: Parabolic - linear

Reinforcing steel: S500
SSR: Standard

fck = 25.00 MPa
Ec = 30471.58 MPa
ec2u = -3.500 o/oo
ec2 = -2.000 o/oo
n = 2.00

fyk = 500.00 MPa
Es = 200000.00 MPa
esu = 10.000 o/oo

Reinforcement

Bars = 8
beta = 0.00 deg
As,bar = 3.8cm2

Loads

Load	N [kN]	Mx [kNm]
L1	-130	27

Solve data

Loading kind: Sustained, Repeated
Bars type: High bond
Section type: Uncracked
Cracks kind: Induced

Maximal bar diameter : 8 mm

Results: Legend

es - mean steel strain for Bar
ec - concrete strain
Srm - average final crack spacing
Wm - average crack width for bar axis
Wk - design crack width for bar axis
Ws - design crack width for section surface

Load	Bar	es [o/oo]	ec [o/oo]	Srm [mm]	Wm [mm]	Wk [mm]	Ws [mm]
L1							No cracks

Section properties

Reinforcement :

As,tot = 30.40 cm2

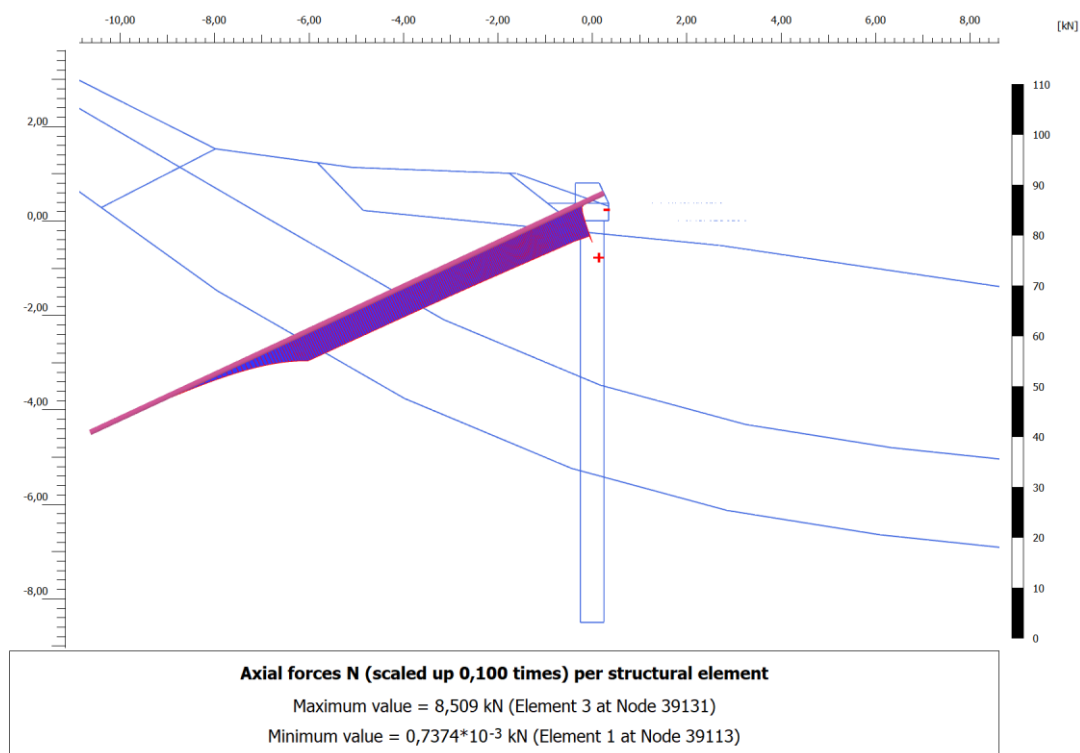
Concrete section:

Ac = 1959.91 cm2
Ic,x = 305676.54 cm4
Ic,y = 305676.54 cm4

R/C section:

Ared = 2129.04 cm2
Ired,x = 339502.58 cm4
Ired,y = 339502.58 cm4
rx = 12.63 cm
ry = 12.63 cm

Slika 22: Kontrola razpok pilota pilotne stene PS1 (Ø50 cm / 1,0 m + 8Ø22)



Slika 23: Mobilizirana sila v pasivnem SN sidru $N_{max} = 8,5 \text{ kN}$ (raster sider $e = 3,0 \text{ m}$)

KONTROLA NOSILNOSTI SIDER VGRAJENIH V NEKOHERENTNE ZEMLJINE

Vhodni parametri

PROFIL	SIDRO	GEOLOGIJA	c [kPa]	φ [°]	L [m]	D [m]	$\gamma_{a,\pi}$	γ [kN/m ³]	h [m]
1	GT sidro Po=175kN	Glinasti skrilavec	1	28	6,0	0,051	1,1	20	5

Enačbe

$$P_d = P_d \times e_s \times \gamma_g$$

$$\tau = c + h \times \gamma \times \tan \varphi$$

$$R_{ad} = L \times \pi \times \tau \times D \times \frac{1}{\gamma_{ap}}$$

Izračun

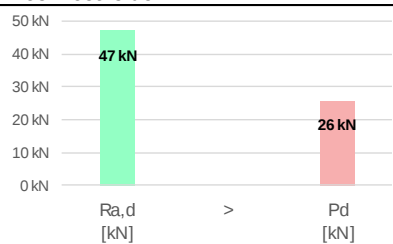
$R_{a,d}$ [kN]	>	P_d [kN]	P_k [kN]	STATUS
47 kN		26 kN	9 kN	OK

Parametri

Opis

$R_{a,d}$	projektna nosilnost veznega dela sidra
P_d	projektna mobilizirana sila v sidru
L	dolžina veznega dela sidra
τ	trenje med zemljino in plaščem sidra
D	premer veznega dela sidra
c_k	kohezija zemljine
h	povprečna višina nadkritja nad veznim delom sidra
γ	prostorninska teža zemljine nad veznim delom sidra
φ_k	strižni kot zemljine

Graf nosilnosti sider



Slika 24: Kontrola nosilnosti pasivnega SN sidra

Vsi AB elementi so dimenzionirani na notranje statične količine z upoštevanjem varnostnih faktorjev skladno z normativi in projektnim pristopom 2. Pilotna stena PS1 se translira za 0,6 cm v desno zaradi gradbenih posegov in vpliva obtežb prometa ter vrtalne garniture, kar ne predstavlja nevarnost. Sile v pilotih so v obvladljivih mejah.

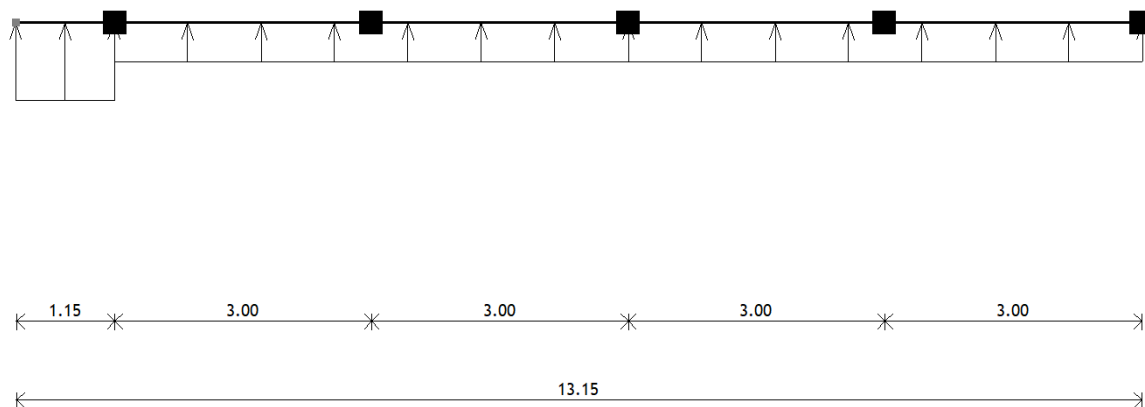
Sile v pasivnih SN sidrih so manjše od normativom predpisanih, nosilnost sider je zadostna tudi če kamninska podlaga sega globlje kot nakazano, in bodo sidra vgrajena v grušč.

Lokalna cesta po izvedbi pilotne stene in sanaciji vozišča se ne bo deformirala več kot 0,2 cm.

S pomočjo ϕ -c redukcije smo preverili stabilnost modela v obstoječem stanju, fazi vrtanja pilotov na delovnem platu ter v fazi končne ureditve. Globalna stabilnost vseh faz je zadostna, saj v vseh prerezih faktor varnosti znaša več kot normativom predpisanih $F_s^{\min} = 1,25$.

5. VEZNA GREDA

Za potrebo določevanja armature v vezni gredi, modelirali smo eno kampado kontinuirano podprtega nosilca. Greda je dimenzij 60 x 70 cm, dolžina modelirane kampade grede je 13,15 m. Greda je podprta na kontaktu z sidrom, torej na razdalji 3,0 m. Sila se vnaša med vsak tretji pilot, kjer je vgrajeno pasivno SN sidro. Vnaša se maksimalna predpostavljena mobilizirana sila $F_{\max} = 150 \text{ kN}$. Silo se razdeli na pripadajočo pasovno širino grede, kar pomeni, da ob straneh je obremenitev pilota enaka $\rightarrow 150 \text{ kN} / 1,15 \text{ m} = 125 \text{ kN/m'}$, na preostalih delih pa $\rightarrow 150 \text{ kN} / 3,0 \text{ m} = 50 \text{ kN/m'}$. Upoštevan je linearno elastični materialni model za modeliranje betona in armaturnega jekla, uporabljena klasa betona je C25/30, armaturno jeklo je klase B500B. Izračunali smo notranje statične količine in pomike s pomočjo programa Radimpex Tower, ki deluje na osnovi metode končnih elementov.



Slika 25: 2D model sidrne grede dolžine 13,15 m v programu Tower

Koordinate vozlišč											
No	X [m]	Y [m]	Z [m]								
1	0.0000	0.0000	0.0000	3	4.1500	0.0000	0.0000	5	10.150	0.0000	0.0000
2	1.1500	0.0000	0.0000	4	7.1500	0.0000	0.0000	6	13.150	0.0000	0.0000

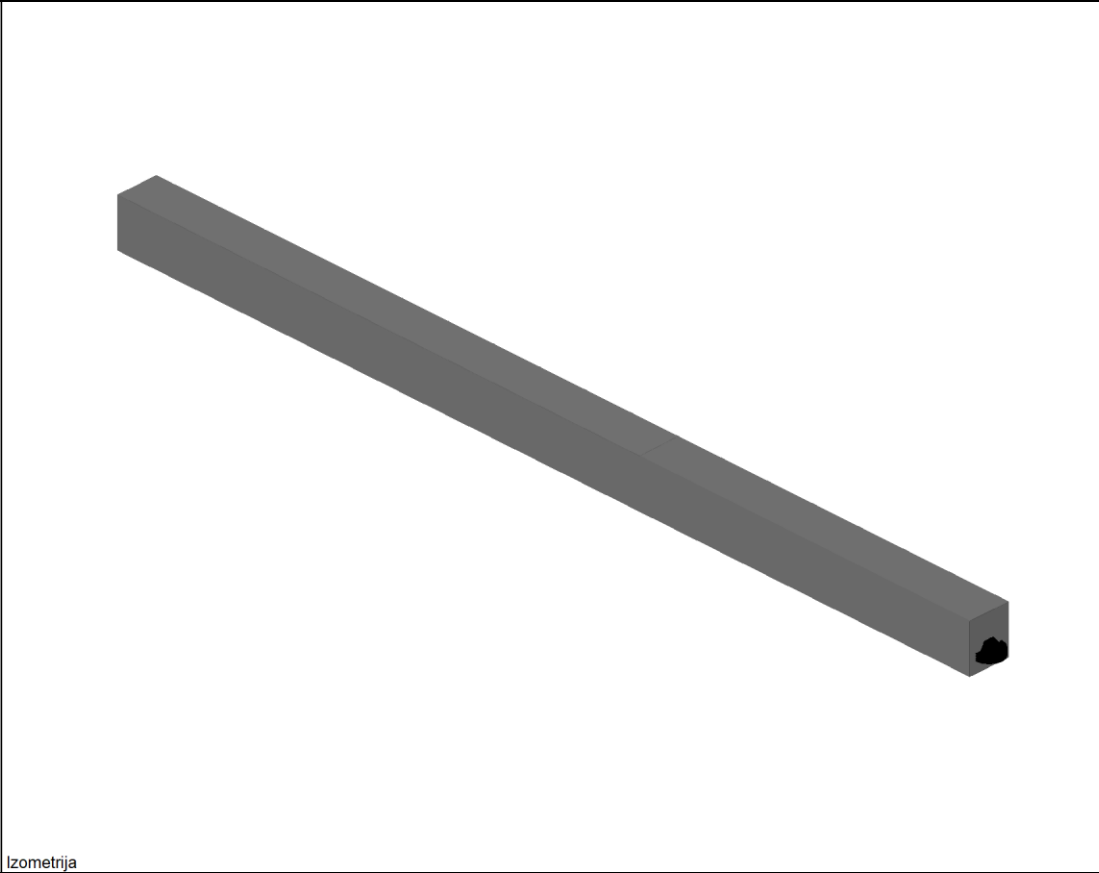
Tabele materialov								
No	Naziv materiala	E[kN/m2]	μ	γ[kN/m3]	αt[1/C]	Em[kN/m2]	μm	
1	C 25/30	3.100e+7	0.20	25.00	1.000e-5	3.100e+7	0.20	

Seti gred							
Set: 1 Prerez: b/d=60/70, Fiktivna ekscentričnost							
	Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3
	1 - C 25/30	4.200e-1	3.500e-1	3.500e-1	2.441e-2	1.260e-2	1.715e-2
[cm]							

Seti točkovnih podpor						
Set	K,R1	K,R2	K,R3	K,M1	K,M2	K,M3
1	1.500e+5	1.500e+5	5.000e+4			

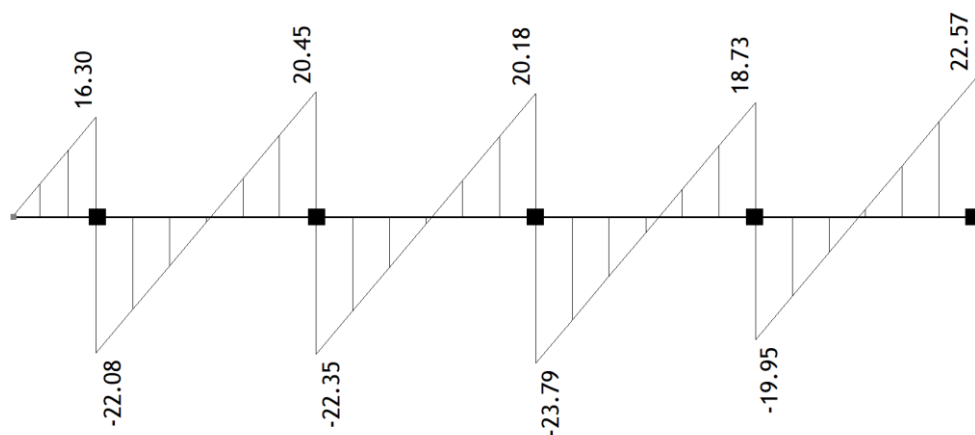
Konture gred Set 1. b/d=60/70																		
No	Vozlišče I	Vozlišče J	Sprostitev vplivov												N	Ozn. pozicije		
			Vozlišče I						Vozlišče J									
			M1	M2	M3	P1	P2	P3	M1	M2	M3	P1	P2	P3				
1	1	2																
2	2	3																
3	3	4																
4	4	5																
5	5	6																

Konture točkovnih podpor		
Vozlišča		Set
2, 3, 4, 5, 6		1



Slika 26: Vhodni parametri v statičnem modelu

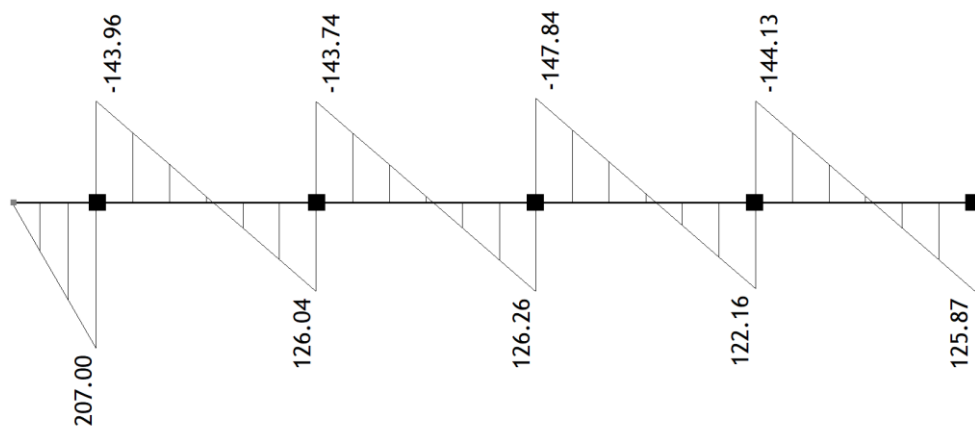
Obt. 5: 1.35xl+1.5xll



Nivo: [0.00 m]

Vplivi v gredi: max T2= 22.57 / min T2= -23.79 kN

Obt. 5: 1.35xl+1.5xll

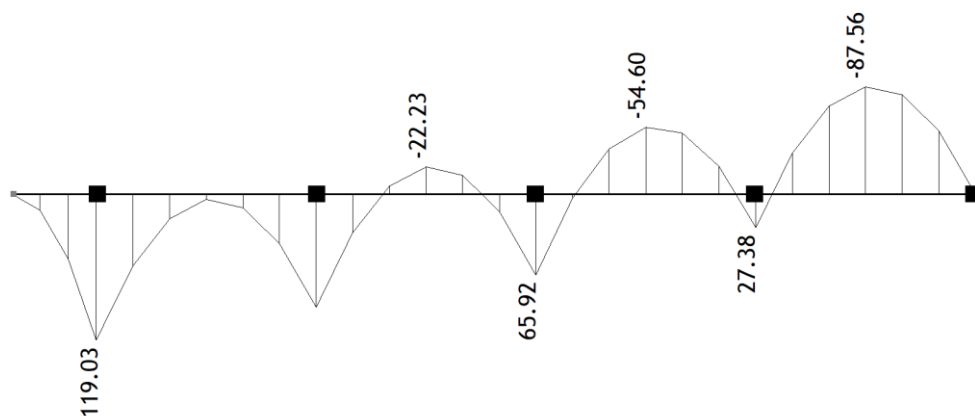


Nivo: [0.00 m]

Vplivi v gredi: max T3= 207.00 / min T3= -147.84 kN

Slika 27: Notranje statične količine v gredi – Prečne sile Q (T2 zgoraj, T3 spodaj)

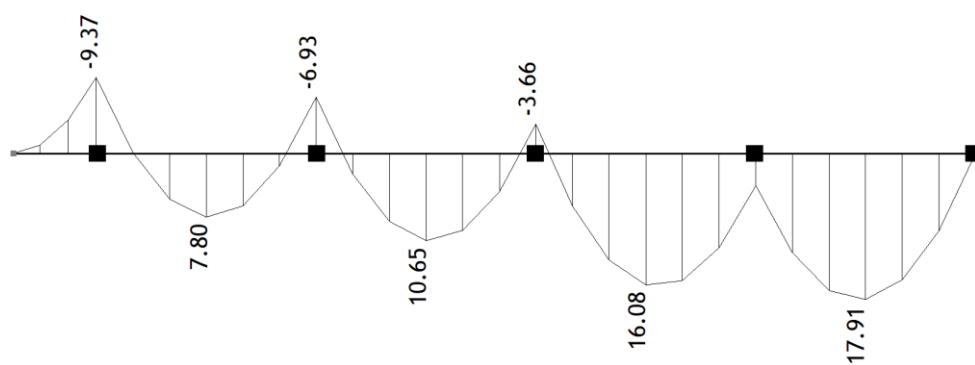
Obt. 5: 1.35xl+1.5xl



Nivo: [0.00 m]

Vplivi v gredi: max M_2 = 119.03 / min M_2 = -87.56 kNm

Obt. 5: 1.35xl+1.5xl



Nivo: [0.00 m]

Vplivi v gredi: max M_3 = 17.91 / min M_3 = -9.37 kNm

Slika 28: Notranje statične količine v gredi – Upogibni momenti M (M_2 zgoraj, M_3 spodaj)

Maksimalne notranje sile v gredi so že faktorirane z $\gamma_G = 1,35$ in $\gamma_Q = 1,50$:

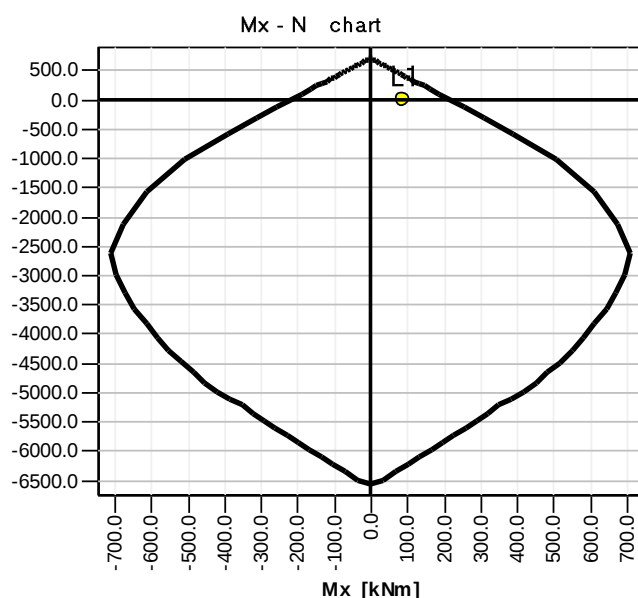
Preglednica 5: Maksimalne notranje sile v gredi

Projektne obremenitve			
Profil	Nd [kN]	Md [kNm]	Vd [kN]
P1	0	87,6	207

Minimalno potrebna armatura v gredi je $A_{s,min} = 5,88 \text{ cm}^2$. Izbrali smo glavno vzdolžno armaturo na osnovi računsko potrebne, glede na to, da jo dobimo več kot minimalno potrebno – treba je vgraditi glavno vzdolžno armaturo 4Ø16 na obe strani grede, strižna armatura je Ø10/15 cm.

Preglednica 6: Izbrana armatura v gredi

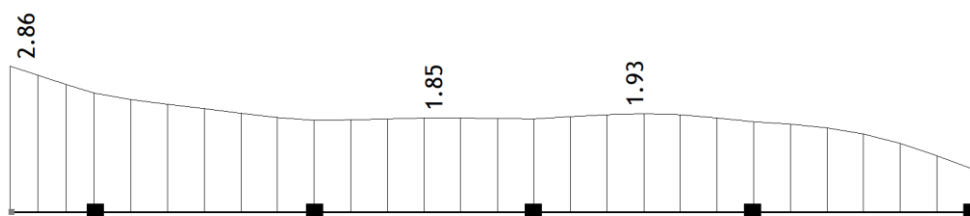
Izbrana armatura				
Profil	Minimalna armatura	Računska armatura	Vzdolžna armatura	Strižna armatura
P1	4Ø10	4Ø12	4Ø16	Ø10/15 cm



Slika 29: Interakcijski diagram grede pilotne stene PS1 ($b = 60 \text{ cm} \times d = 70 \text{ cm} + 4\text{Ø}16$)

$$* A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d \geq 0,0013 \cdot b_t \cdot d - \text{izračun minimalne armature}$$

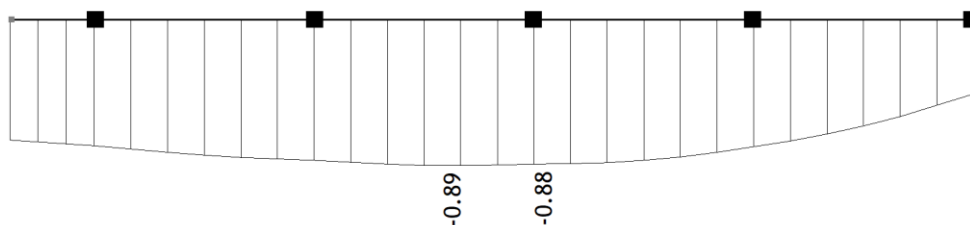
Obt. 5: 1.35xl+1.5xll



Nivo: [0.00 m]

Vplivi v gredi: max $Y_p = 2.86$ / min $Y_p = 0.84$ m / 1000

Obt. 5: 1.35xl+1.5xll



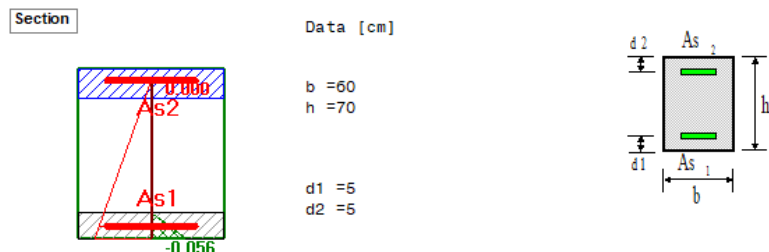
Nivo: [0.00 m]

Vplivi v gredi: max $Z_p = -0.45$ / min $Z_p = -0.89$ m / 1000

Slika 30: Deformacije grede pilotne stene PS1 (u_y zgoraj, u_z spodaj)

General
 Design code: Eurocode 2
 Analysis: Crack widths

Loads: N, Mx
N<0 is compression!



Materials
 Concrete: C25/30
 SSR: Parabolic - linear

 $f_{ck} = 25.00 \text{ MPa}$
 $E_c = 30471.58 \text{ MPa}$
 $ec2u = -3.500 \text{ o/oo}$
 $ec2 = -2.000 \text{ o/oo}$
 $n = 2.00$

Reinforcing steel: S500
 SSR: Standard

 $f_{yk} = 500.00 \text{ MPa}$
 $E_s = 200000.00 \text{ MPa}$
 $esu = 10.000 \text{ o/oo}$

Reinforcement

Symmetric: $As1 = As2$

$As1 = 8.04 \text{ cm}^2$ $As2 = 8.04 \text{ cm}^2$

Loads

Load	N [kN]	Mx [kNm]
L1	0	88

Solve data

Loading kind: Sustained, Repeated
 Bars type: High bond
 Section type: Uncracked
 Cracks kind: Induced

 Maximal bar diameter : 16 mm

Results: Legend

es - mean steel strain for Bar
 ec - concrete strain
 Srm - average final crack spacing
 Wm - average crack width for bar axis
 Wk - design crack width for bar axis
 Ws - design crack width for section surface

Load	Bar	es [o/oo]	ec [o/oo]	Srm [mm]	Wm [mm]	Wk [mm]	Ws [mm]
L1							No cracks

Section properties

Reinforcement :

$As_{tot} = 16.08 \text{ cm}^2$

Concrete section:

$A_c = 4200.00 \text{ cm}^2$
 $I_{c,x} = 1715000.00 \text{ cm}^4$

R/C section:

$A_{red} = 4289.46 \text{ cm}^2$
 $I_{red,x} = 1795514.88 \text{ cm}^4$
 $r_x = 20.46 \text{ cm}$

Slika 31: Kontrola razpok grede pilotne stene PS1 ($b = 60 \text{ cm} \times d = 70 \text{ cm} + 4\varnothing 16$)