

Split, 2015.

Ivan Bartulović

ZAVRŠNI RAD

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

SVEUČILIŠTE U SPLITU

Split, 2015.

Završni rad

Analiza stajanja i nosivost temeljnog ta lukobrana ribarske luke u
Draču (Durrës) u Albaniji

Ivan Bartulović

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

SVEUČILIŠTE U SPLITU

STUDIJ: **PREDDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ**
GRAĐEVINARSTVA

KANDIDAT: **BARTULOVIĆ IVAN**

BROJ INDEKSA: **4345**

KATEDRA: **Katedra za geotehniku**

PREDMET: **Mehanika tla i temeljenje**

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Tema: Lukobran ribarske luke u Draču (Durrës) u Albaniji - analize slijeganja i nosivosti temeljnog tla

Opis zadatka: Kandidatu su stavljene na raspolaganje rezultati geotehničkih istražnih radova provedenih na predmetnoj lokaciji – situacija s ucrtanom položajima istražnih bušotina, geotehnički profili, sondazni profili i rezultati laboratorijskih ispitivanja. Zadan je poprečni presjek novog lukobrana predviđen projektom. Potrebno je odrediti slijeganje krune nasipa u sredini poprečnog presjeka i slijeganje u rubnoj točki (nožici) nasipa, u zadanim karakterističnim presjecima (sredina i vrh lukobrana). Proračun slijeganja izvršiti klasično (analizom dodatnih naprezanja metodom Steinbrenner-a) i pomoću računalnog programa SETTLE3D u sklopu programskog paketa ROCCSCIENCE. U istim karakterističnim presjecima (sredina i vrh lukobrana) osim slijeganja treba odrediti i nosivost temeljnog tla odnosno provjeriti granično stanje nosivosti prema Eurokodu 7 (HRN EN 1997-1:2012/NA:2012). Proračun za granično stanje nosivosti provesti za drenirane i nedrenirane uvjete.

U Splitu, 2. travnja 2015. godine
Voditelj Završnog rada:

doc.dr.sc. Nataša Stambuk Cvitanović

Analiza sljeganja i nosivost temeljnog tla ribarske luke u Draču

(Dures) u Albaniji

Sažetak:

Prikazana je analiza sljeganja i nosivosti planiranog lukobrana ribarske luke u Draču, Albanija. Analiza sljeganja lukobrana izvršena je u četiri karakteristične točke klasično i pomoću računalnog programa SETTLE3D. Uvjeti temeljnog tla na lokaciji planirane ribarske luke definirani su geotehničkim elaborem. Analizom je utvrđeno da je sljeganje približno jednoliko i očekivano za ovakvu građevinu i geotehničke uvjete. Proračunska nosivost temeljnog tla također zadovoljava za drenirane i nedrenirane uvjete.

Ključne riječi:

Sljeganje, lukobran, SETTLE3D, nasip

Analysis of fishing port breakwater settlement and bearing resistance in Dures, Albania

Abstract:

The thesis shows the analysis of settlement and bearing resistance for the planned breakwater of fishing port in Dures, Albania. Analysis of settlement was made for the four characteristic points in the classic way and with the computer program SETTLE3D. Foundation soil conditions at the location of the planned fishing port are defined with the geotechnical studies. The analyses has shown that the settlement is approximately uniform and expected for such a structure and geotechnical conditions. The design bearing resistance also satisfies, both for drained and undrained conditions.

Keywords:

Settlement, breakwater, SETTLE3D, embankment

1. UVOD.....	3
1.1. Opis zadatka.....	3
1.2. Osvrt na geotehničke istražne radove.....	3
2. PRORAČUN SLIJEGANJA NASUTOG LUKOBRAVA (klasično).....	4
2.1. Položaj karakterističnih presjeka.....	4
2.2. Analiza težine.....	5
2.3. Dodatna naprezanja po Steinhöbner-u.....	6
2.3.1. Uvod.....	7
2.3.2. Proračun dodatnih naprezanja.....	8
2.4. Analiza slijeganja.....	22
2.4.1. Proračun geostatičkih naprezanja.....	22
2.4.2. Proračun slijeganja od vlastite težine.....	26
2.4.3. Proračun slijeganja uslijed izgradnje novog lukobrana.....	27
3. PRORAČUN SLIJEGANJA POMOĆU PROGRAMA SETTLE3D (ROSCIENCE)	
3.1. Uvod u program SETTLE3D.....	30
3.2. Rezultati slijeganja dobiveni pomoću programa SETTLE3D.....	31

4. NOSIVOST PREMA EC7	
4.1. Analiza parametara tla.....	40
4.1.1. Prosječna svojstva tla do dubine bušenja.....	40
4.1.2. Svojstva tla kod dubine plohe sloma (GS 10).....	41
4.2. Analiza nosivosti temeljnog tla prema Eurokodu 7.....	42
4.2.1. 1. Način (slojevi geotehničkih sredina 7, 8, 9 i 10 uzeti u obzir).....	42
4.2.2. 2. Način (svojstva tla kod dubine plohe sloma (GS 10)).....	48
5. ZAKLJUČAK	53
5.1. Rezultati provedene analize slijeganja lukobrana (klasično izvedene).....	54
5.2. Rezultati provedene analize slijeganja lukobrana (settle3d).....	54
5.3. Rezultati analize nosivosti temeljnog tla prema Eurokodu 7.....	55
6. LITERATURA	56
7. PRILOZI	57
7.1. Prilog 1 - Situacija s položajem istražnih bušotina MJ 1:1250.....	58
7.2. Prilog 2 - Karakteristični poprečni presjek MJ 1:250.....	59
7.3. Prilog 3 - Geotehnički profil 1 MJ 1:100/MJ 1:200.....	60
7.4. Prilog 4 - Geotehnički profil 2 MJ 1:100/MJ 1:200.....	61
7.5. Prilog 5 - Sondazni profil.....	62

7.6. Prilog 6 - Rezultati geotehničkih laboratorijskih ispitivanja.....63

7.7. Prilog 7 - Geotehnički modeli M1 1:120.....64

7.8. Prilog 8 - Analiza parametara tla.....65

1. UVOD

1.1. Opis zadatka

Potrebno je izraditi analizu slijevanja planiranog nasutog lukobrana u luci Drač, jugozapadno od grada Drača u Albaniji. Prema priloženoj situaciji (prilog 1) izvršeni su istražni radovi na lokaciji budućeg objekta te u skladu s njima treba izračunati slijevanje i nosivost prema Eurokodu 7 za drenirane i nedrenirane uvjete u sredini i na rubu lukobrana. Analiza se vrši klasično (analizom dodatnih naprezanja metodom Steinbrenner-a) i pomoću programa SETTLE 3D u sklopu programskog paketa ROCCSCIENCE.

1.2. Osvrt na geotehničke istražne radove

Za potrebe rješenja projektna dokumentacije luke Drač provedeni su geotehnički istražni radovi. Radovi su izvedeni s ciljem utvrđivanja geološko-geotehničku značajki terena, utvrđivanja nosivosti i deformacijskih svojstava tla te određivanja podzemne vode.

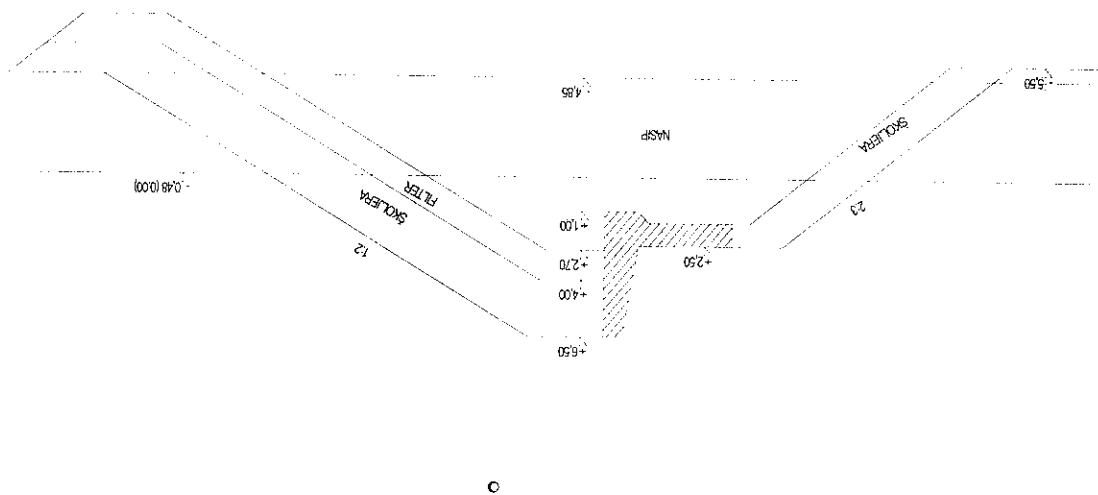
Podaci i rezultati istraživanja detaljno su prikazani u geotehničkom elaboratu izrađenom od strane laboratorija za geotehnička istraživanja Altea&Geostudio 2000-Albanija (Tirana, Ipanj 2013.) za tvrtku Strabag Hrvatska.

Terenski istražni radovi sastojali su se od geološke prospekcije terena, istražnog bušenja na ukupno 6 lokacija i in-situ ispitivanja tla dinamičkim penetrometrom (SPT) Podaci ispitivanja su prikazani u prilogu (prilozis i 6).

2. PRORAČUN SLIJEGANJA NASUTOG LUKOBRAVA (klasično)

2.1. Položaj karakterističnih presjeka

Provjerena slijeganja primarnog lukobrava dužine cca. 450 m provjerava se u dva presjeka tj. u četiri karakteristične točke. Prvi presjek se nalazi u sredini lukobrava na mjestu bušotina BH-1 i BH-7 (prilog 3). Drugi presjek se nalazi na kraju lukobrava na mjestu bušotina BH-2 i BH-5 (prilog 4).



Slika 1. Karakteristični poprečni presjek

2.2. Analiza težine

Nasuti lukobran dužine cca 450 m i visine $h=11,35$ m uronjen je u more, a visina iznad razine mora iznosi $h^*=6,98$ m (prilog 2). Nasip je prikazan aproksimativno (slika 2) radi lakšeg izračuna te je podijeljen u pet polja zbog oblika poprečnog presjeka i preciznijeg izračuna dodatnih naprezanja.

Jedinična težina nasipa tj. šljunka i kamena iznosi $\gamma_n=21 \text{ kN/m}^3$, a uronjena težina $\gamma_n^*=21-9,81=11,19 \text{ kN/m}^3$.

Težina nasipa za dva poprečna presjeka te za svako polje posebno:

$$P_1=1,28 \text{ m}^2, P_1^*=22,88 \text{ m}^2, W_1=(1,28*450*21)+(22,88*450*11,19)=127308,2 \text{ (kN)}$$

$$P_2=35,26 \text{ m}^2, P_2^*=37,2 \text{ m}^2, W_2=(35,26*450*21)+(37,2*450*11,19)=520527,6 \text{ (kN)}$$

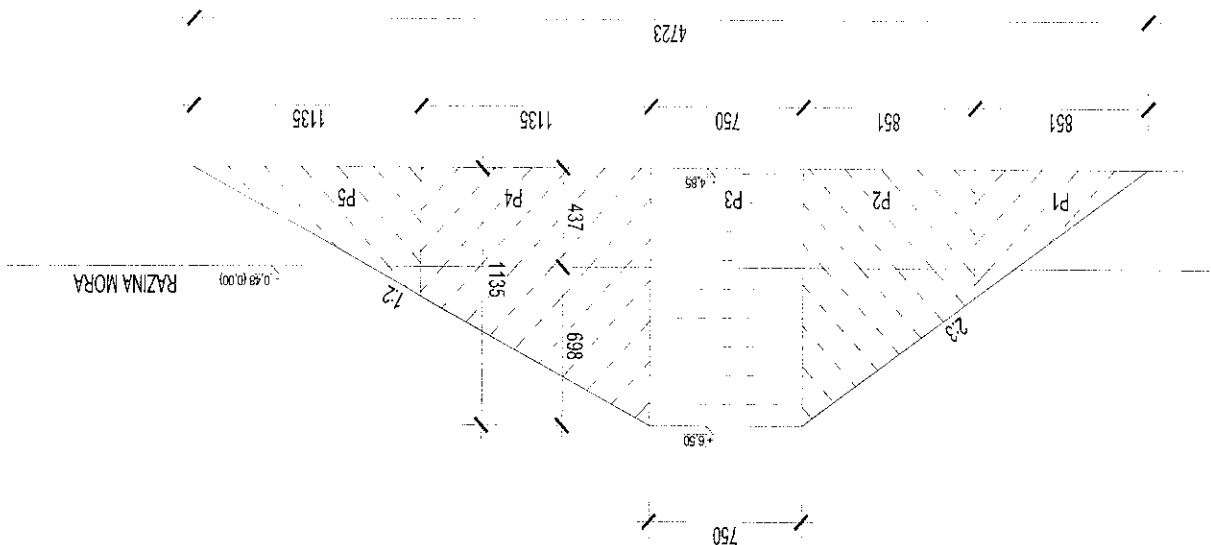
$$P_3=52,35 \text{ m}^2, P_3^*=32,78 \text{ m}^2, W_3=(52,35*450*21)+(32,78*450*11,19)=659771,2 \text{ (kN)}$$

$$P_4=47,02 \text{ m}^2, P_4^*=49,6 \text{ m}^2, W_4=(47,02*450*21)+(49,6*450*11,19)=694099,88 \text{ (kN)}$$

$$P_5=1,7 \text{ m}^2, P_5^*=30,5 \text{ m}^2, W_5=(1,7*450*21)+(30,5*450*11,19)=169647,8 \text{ (kN)}$$

Gdje je: P - površina suhog dijela presjeka

P^* - površina uronjenog dijela presjeka



Slika 2. Prikaz karakterističnog presjeka (aproksimacija)

2.3. Dodatna naprezanja po Steinbrenner-u

2.3.1. Uvod

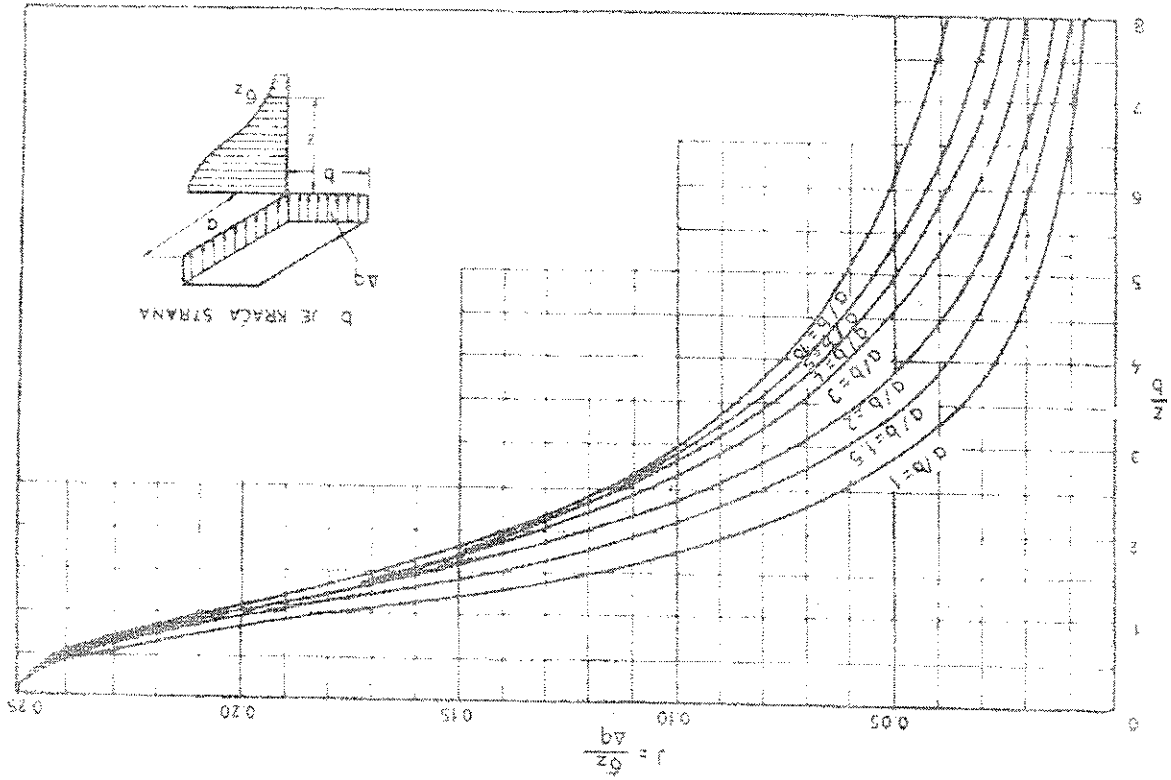
Dodatna naprezanja u tlu nastaju uglavnom zbog opterećenja ograničene površine tla nekom građevinom. Kako je tlo heterogeno, uslojeno i anizotropno nužno je uvesti pretpostavke da bi se pojave nastale uslijed dodatnih opterećenja mogle izračunati. Pretpostavke su sljedeće:

- tlo je neizmjeran poluprostor
- elastična sredina

- linearno deformabilno

- homogeno i izotropno.

Steinbrenner je dao dijagrame za dodatna naprezanja ispod jednog kuta pravokutne površine opterećene jednolikim opterećenjem p_0 (literatura web.).



Slika 3. Steinbrenner-ov dijagram za proračun uspravnih dodatnih naprezanja

P - težina nasipa

A - površina tlocrta nasipa

Gdje je: P_0 - dio dodirnog naprezanja uslijed kojeg se ostvaruje slijevanje

$$p_0 = P/A$$

Dodirno naprezanje uslijed kojeg se ostvaruje slijevanje:

tu točku.

Proračun po Steinbrenner-u dat je za kutne točke pravokutne tlocrtne površine temelja, a ukoliko računamo dodatna naprezanja za točke koje nisu u kutu temelja potrebno je površinu temelja podijeliti na manje fiktivne temeljne površine. Stoga je svaka promatrana točka u kutu određene površine te je izvršeno sumiranje utjecaja ostalih fiktivnih površina na

z' - promatrana dubina ispod stope temelja

b - kraća stranica elementa

Gdje je: a - duža stranica

$$N_s = f(a/b, z'/b)$$

Koeficijent N_s očitavamo iz dijagrama kao funkcija veličina:

p_0 - dodirno naprezanje

N_s - utjecajni faktor

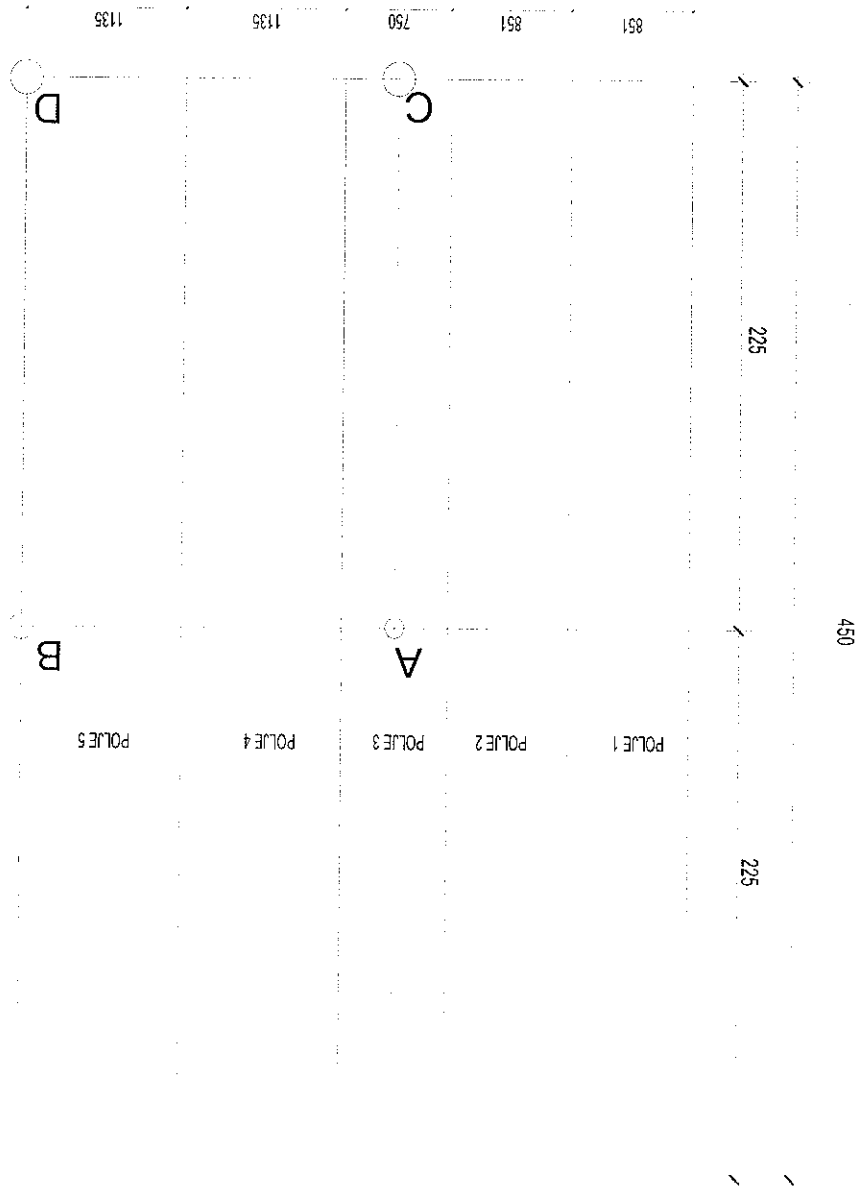
Gdje je: $\Delta\sigma$ - dodatno naprezanje na dubini z' ispod stope temelja

$$\Delta\sigma = N_s \cdot p_0$$

Dodatna naprezanja po Steinbrenner-u računaju se prema izrazu:

2.3.2. Proračun dodatnih naprezanja

Podijela temeljne plohe na polja:



Slika 4. Skica tlocrta lukobrana s točkama A, B, C i D u kojima treba izračunati sljeganje

Izračunata dodirna naprezanja za svako pojedino polje:

$$p_1 = P/A = 127308,2 / (8,51 * 450) = 33,24 \text{ (kPa)}$$

$$p_2 = P/A = 520527,6 / (8,51 * 450) = 135,93 \text{ (kPa)}$$

$$p_3 = P/A = 659771,2 / (7,5 * 450) = 195,49 \text{ (kPa)}$$

$$p_4 = P/A = 694099,8 / (11,35 * 450) = 135,9 \text{ (kPa)}$$

$$p_5 = P/A = 169647,8 / (11,35 * 450) = 33,22 \text{ (kPa)}$$

TOČKA A

POUE 3; $p_3 = 195,49 \text{ kPa}$ $N = b = 3,75 \text{ m}$ $a = 225 \text{ m}$ $a/b > 10$ (uzet je dijagram $a/b = 10$)

Tablica 1. Izračun dodatnih naprezanja u točki A uslijed opterećenja polja 3

z	z'	z'/b	N	NS=4*N	$\Delta\sigma$	$N_s \cdot p_3$
0	0	0	0	0,25	1	195,49
1,18	1,18	0,31	0,246	0,984	0,94	192,36
2,36	2,36	0,63	0,235	0,94	0,94	183,76
3,46	3,46	0,92	0,212	0,848	0,848	165,77
4,56	4,56	1,22	0,192	0,768	0,768	150,13
5,46	5,46	1,46	0,172	0,688	0,688	134,50
6,36	6,36	1,70	0,152	0,608	0,608	118,86
9,46	9,46	2,52	0,116	0,464	0,464	90,71
12,56	12,56	3,35	0,092	0,368	0,368	71,94
15,66	15,66	4,18	0,073	0,292	0,292	57,08
19,16	19,16	5,11	0,059	0,236	0,236	46,14
22,66	22,66	6,04	0,051	0,204	0,204	39,88
26,16	26,16	6,98	0,045	0,18	0,18	35,19
27,26	27,26	7,27	0,043	0,172	0,172	33,62
28,36	28,36	7,56	0,041	0,164	0,164	32,06

POLE 4; $p_s=135,9$ kPa $N1$ $b=15,1$ m $a=225$ m $a/b>10$ $N2$ $b=3,75$ m $a=225$ m $a/b>10$

Tablica 2. Izračun dodatnih naprezanja u točki A uslijed opterećenja polja 4

z	z'	z'/b	$N1$	z'/b	$N2$	$Ns=2(N1-N2)$	$\Delta\sigma$ $Ns \cdot p_s$
0	0	0	0,25	0	0,25	0	0
1,18	1,18	0,08	0,25	0,31	0,245	0,01	1,36
2,36	2,36	0,16	0,249	0,63	0,238	0,022	2,99
3,46	3,46	0,23	0,247	0,92	0,215	0,064	8,70
4,56	4,56	0,30	0,245	1,22	0,2	0,09	12,23
5,46	5,46	0,36	0,244	1,46	0,175	0,138	18,75
6,36	6,36	0,42	0,243	1,70	0,152	0,182	24,73
9,46	9,46	0,63	0,24	2,52	0,115	0,25	33,97
12,56	12,56	0,83	0,213	3,35	0,092	0,242	32,89
15,66	15,66	1,04	0,203	4,18	0,072	0,262	35,61
19,16	19,16	1,27	0,182	5,11	0,058	0,248	33,70
22,66	22,66	1,50	0,171	6,04	0,051	0,24	32,62
26,16	26,16	1,73	0,15	6,98	0,045	0,21	28,54
27,26	27,26	1,81	0,145	7,27	0,043	0,204	27,72
28,36	28,36	1,88	0,143	7,56	0,041	0,204	27,72

POLE 5; $p_s=33,22$ kPa $N1$ $b=26,45$ m $a=225$ m $a/b>8,5$ $N2$ $b=15,1$ m $a=225$ m $a/b>10$

Tablica 3. Izračun dodatnih naprezanja u točki A uslijed opterećenja polja 5

z	z'	z'/b	$N1$	z'/b	$N2$	$Ns=2(N1-N2)$	$\Delta\sigma$ $Ns \cdot p_s$
0	0	0	0,25	0	0,25	0,00	0,00
1,18	1,18	0,04	0,25	0,08	0,25	0,00	0,00
2,36	2,36	0,09	0,25	0,16	0,25	0,00	0,00
3,46	3,46	0,13	0,247	0,23	0,247	0,00	0,00
4,56	4,56	0,17	0,246	0,30	0,246	0,00	0,00
5,46	5,46	0,21	0,245	0,36	0,245	0,00	0,00
6,36	6,36	0,24	0,244	0,42	0,244	0,00	0,00
9,46	9,46	0,36	0,243	0,63	0,243	0,00	0,00
12,56	12,56	0,47	0,241	0,83	0,228	0,026	0,86
15,66	15,66	0,59	0,24	1,04	0,205	0,07	2,33
19,16	19,16	0,72	0,225	1,27	0,191	0,068	2,26
22,66	22,66	0,86	0,214	1,50	0,17	0,088	2,92
26,16	26,16	0,99	0,21	1,73	0,156	0,108	3,59
27,26	27,26	1,03	0,209	1,81	0,146	0,126	4,19
28,36	28,36	1,07	0,208	1,88	0,142	0,132	4,38

z	z'	z/b	N1	z/b	N2	$Ns=2(N1-N2)$	$\Delta\sigma = Ns \cdot p_1$
0,00	0	0	0,25	0	0,25	0,00	0,00
0,07	1,18	0,06	0,249	0,10	0,248	0,002	0,07
0,07	2,36	0,11	0,248	0,19	0,247	0,002	0,07
0,13	3,46	0,17	0,247	0,28	0,246	0,002	0,13
0,13	4,56	0,22	0,246	0,37	0,244	0,004	0,13
0,20	5,46	0,26	0,245	0,45	0,243	0,004	0,20
0,20	6,36	0,31	0,244	0,52	0,241	0,006	0,20
0,80	9,46	0,46	0,243	0,77	0,231	0,024	0,80
2,33	12,56	0,60	0,24	1,02	0,205	0,07	2,33
4,39	15,66	0,75	0,241	1,28	0,175	0,132	4,39
3,26	19,16	0,92	0,213	1,56	0,164	0,098	3,26
3,52	22,66	1,09	0,2	1,85	0,147	0,106	3,52
3,72	26,16	1,26	0,19	2,13	0,134	0,112	3,72
2,86	27,26	1,31	0,174	2,22	0,131	0,086	2,86
3,12	28,36	1,37	0,172	2,31	0,125	0,094	3,12

Tablica 5. Izračun dodatnih naprezanja u točki A uslijed opterećenja polja 1

POLJE 1; $p_1=33,24$ kPa N1 b=20,77 m a=225 m a/b>10 N2 b=12,26 m a=225 m a/b>10

z	z'	z/b	N1	z/b	N2	$Ns=2(N1-N2)$	$\Delta\sigma = Ns \cdot p_2$
0,00	0	0	0,25	0	0,25	0,00	0,00
0,27	1,18	0,10	0,249	0,31	0,248	0,002	0,27
2,72	2,36	0,19	0,248	0,63	0,238	0,02	2,72
8,70	3,46	0,28	0,247	0,92	0,215	0,064	8,70
12,78	4,56	0,37	0,245	1,22	0,198	0,094	12,78
19,03	5,46	0,45	0,244	1,46	0,174	0,14	19,03
22,56	6,36	0,52	0,242	1,70	0,159	0,166	22,56
32,35	9,46	0,77	0,232	2,52	0,113	0,238	32,35
30,72	12,56	1,02	0,205	3,35	0,092	0,226	30,72
31,81	15,66	1,28	0,191	4,18	0,074	0,234	31,81
26,10	19,16	1,56	0,155	5,11	0,059	0,192	26,10
26,91	22,66	1,85	0,151	6,04	0,052	0,198	26,91
25,55	26,16	2,13	0,138	6,98	0,044	0,188	25,55
23,92	27,26	2,22	0,131	7,27	0,043	0,176	23,92
22,56	28,36	2,31	0,124	7,56	0,041	0,166	22,56

Tablica 4. Izračun dodatnih naprezanja u točki A uslijed opterećenja polja 2

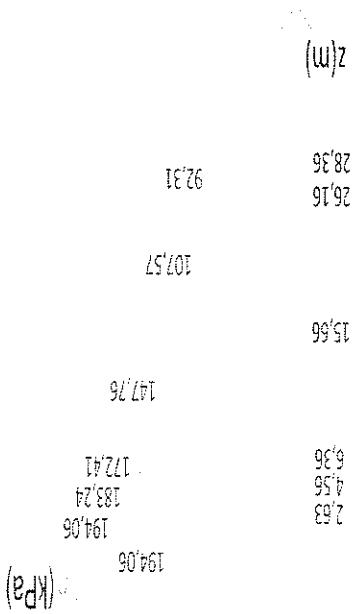
POLJE 2; $p_2=135,92$ kPa N1 b=12,26 m a=225 m a/b>10 N2 b=3,75 m a=225 m a/b>10

Tablica 6. Suma svih utjecajnih dodatnih naprezanja po poljima za točku A

dubina z(m)	$\Delta\sigma$ (kPa)
0	195,49
1,18	194,06
2,36	189,53
3,46	183,24
4,56	175,28
5,46	172,41
6,36	166,35
9,46	157,83
12,56	138,74
15,66	131,21
19,16	111,45
22,66	105,86
26,16	96,59
27,26	92,31
28,36	89,86

A

Slika 5. Dijagram raspodjele dodatnih naprezanja za točku



TOČKA B

POUE 5; $p_5=3,22$ kPa N1 $b=11,35$ m $a=225$ m $a/b>10$ (uzet je dijagram $a/b=10$)

Tablica 7. Izračun dodatnih naprezanja u točki B uslijed opterećenja polja 5

z	z'	z'/b	N	NS=2*N	$\Delta\sigma$ Ns*ps
0	0	0	0,25	0,5	16,61
0,93	0,93	0,08	0,249	0,498	16,54
3,23	3,23	0,28	0,247	0,494	16,41
5,53	5,53	0,49	0,244	0,488	16,21
6,43	6,43	0,57	0,243	0,486	16,14
7,33	7,33	0,65	0,24	0,48	15,94
9,28	9,28	0,82	0,221	0,442	14,68
11,23	11,23	0,99	0,211	0,422	14,02
13,3	13,3	1,17	0,199	0,398	13,22
15,6	15,6	1,37	0,174	0,348	11,56
17,9	17,9	1,58	0,163	0,326	10,83
21,3	21,3	1,88	0,146	0,292	9,70
24,7	24,7	2,18	0,136	0,272	9,03
28,2	28,2	2,48	0,119	0,238	7,91
29,35	29,35	2,59	0,114	0,228	7,57
30,5	30,5	2,69	0,11	0,22	7,31

POUE 4; $p_4=135,9$ kPa N1 $b=22,7$ m $a=225$ m $a/b>10$ N2 $b=11,35$ m $a=225$ m $a/b>10$

Tablica 8. Izračun dodatnih naprezanja u točki B uslijed opterećenja polja 4

z	z'	z'/b	N1	z'/b	N2	NS=2(N1-N2)	$\Delta\sigma$ Ns*ps
0	0	0	0,25	0	0,25	0,00	0,00
0,93	0,93	0,04	0,25	0,08	0,249	0,002	0,27
3,23	3,23	0,14	0,249	0,28	0,247	0,004	0,54
5,53	5,53	0,24	0,248	0,49	0,244	0,008	1,09
6,43	6,43	0,28	0,247	0,57	0,243	0,008	1,09
7,33	7,33	0,32	0,246	0,65	0,24	0,012	1,63
9,28	9,28	0,41	0,245	0,82	0,221	0,048	6,52
11,23	11,23	0,49	0,244	0,99	0,211	0,066	8,97
13,3	13,3	0,59	0,243	1,17	0,199	0,088	11,96
15,6	15,6	0,69	0,238	1,37	0,174	0,128	17,39
17,9	17,9	0,79	0,222	1,58	0,163	0,118	16,04
21,3	21,3	0,94	0,215	1,88	0,146	0,138	18,75
24,7	24,7	1,09	0,205	2,18	0,136	0,138	18,75
28,2	28,2	1,24	0,189	2,48	0,119	0,14	19,03
29,35	29,35	1,29	0,188	2,59	0,114	0,148	20,11
30,5	30,5	1,34	0,179	2,69	0,11	0,138	18,75

POLE 3; $p_3=195,49$ kPa N1 b=30,2 m a=225 m a/b=7,45 N2 b=22,7 m a=225 m a/b>10

Tablica 9. Izračun dodatnih naprezanja u točki B uslijed opterećenja polja 3

z	z'	z'/b	N1	z'/b	N2	$Ns=2(N1-N2)$	$\Delta\sigma \quad Ns \cdot p_3$
0	0	0,00	0,25	0,00	0,25	0,00	0,00
0,93	0,93	0,03	0,25	0,04	0,25	0,00	0,00
3,23	3,23	0,11	0,249	0,14	0,249	0,00	0,00
5,53	5,53	0,18	0,249	0,24	0,248	0,002	0,27
6,43	6,43	0,21	0,249	0,28	0,247	0,004	0,54
7,33	7,33	0,24	0,248	0,32	0,246	0,004	0,54
9,28	9,28	0,31	0,247	0,41	0,245	0,004	0,54
11,23	11,23	0,37	0,246	0,49	0,244	0,004	0,54
13,3	13,3	0,44	0,245	0,59	0,243	0,004	0,54
15,6	15,6	0,52	0,244	0,69	0,238	0,012	1,63
17,9	17,9	0,59	0,243	0,79	0,222	0,042	5,71
21,3	21,3	0,71	0,231	0,94	0,215	0,032	4,35
24,7	24,7	0,82	0,228	1,09	0,205	0,046	6,25
28,2	28,2	0,93	0,217	1,24	0,189	0,056	7,61
29,35	29,35	0,97	0,215	1,29	0,188	0,054	7,34
30,5	30,5	1,01	0,205	1,34	0,179	0,052	7,07

POLE 2; $p_2=135,93$ kPa N1 b=38,71 m a=225 m a/b=5,8 N2 b=30,2 m a=225 m a/b=7,45

Tablica 10. Izračun dodatnih naprezanja u točki B uslijed opterećenja polja 2

z	z'	z'/b	N1	z'/b	N2	$Ns=2(N1-N2)$	$\Delta\sigma \quad Ns \cdot p_2$
0	0	0,00	0,25	0,00	0,25	0,00	0,00
0,93	0,93	0,02	0,25	0,03	0,25	0,00	0,00
3,23	3,23	0,08	0,249	0,11	0,249	0,00	0,00
5,53	5,53	0,14	0,249	0,18	0,249	0,00	0,00
6,43	6,43	0,17	0,249	0,21	0,249	0,00	0,00
7,33	7,33	0,19	0,249	0,24	0,248	0,002	0,27
9,28	9,28	0,24	0,248	0,31	0,247	0,002	0,27
11,23	11,23	0,29	0,247	0,37	0,246	0,002	0,27
13,3	13,3	0,34	0,246	0,44	0,245	0,002	0,27
15,6	15,6	0,40	0,245	0,52	0,244	0,002	0,27
17,9	17,9	0,46	0,244	0,59	0,243	0,002	0,27
21,3	21,3	0,55	0,241	0,71	0,231	0,02	2,72
24,7	24,7	0,64	0,235	0,82	0,228	0,014	1,90
28,2	28,2	0,73	0,228	0,93	0,217	0,022	2,99
29,35	29,35	0,76	0,225	0,97	0,215	0,02	2,72
30,5	30,5	0,79	0,221	1,01	0,205	0,032	4,35

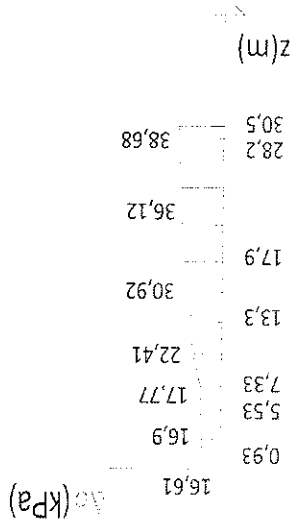
POUE 1; $p_1=33,22\text{kPa}$ $N1$ $b=47,22\text{ m}$ $a=225\text{ m}$ $a/b=4,76$ $N2$ $b=38,71\text{ m}$ $a=225\text{ m}$ $a/b=5,8$

Tablica 11. Izračun dodatnih naprezanja u točki B uslijed opterećenja polja 1

z	z'	z'/b	N1	z'/b	N2	$Ns=2(N1-N2)$	$\Delta\sigma$ $Ns \cdot p_1$
0	0	0,00	0,25	0,00	0,25	0,00	0,00
0,93	0,93	0,02	0,25	0,02	0,25	0,00	0,00
3,23	3,23	0,07	0,25	0,08	0,249	0,002	0,07
5,53	5,53	0,12	0,25	0,14	0,249	0,002	0,07
6,43	6,43	0,14	0,249	0,17	0,249	0,00	0,00
7,33	7,33	0,16	0,249	0,19	0,249	0,00	0,00
9,28	9,28	0,20	0,249	0,24	0,248	0,002	0,07
11,23	11,23	0,24	0,248	0,29	0,247	0,002	0,07
13,3	13,3	0,28	0,247	0,34	0,246	0,002	0,07
15,6	15,6	0,33	0,246	0,40	0,245	0,002	0,07
17,9	17,9	0,38	0,245	0,46	0,244	0,002	0,07
21,3	21,3	0,45	0,243	0,55	0,241	0,004	0,13
24,7	24,7	0,52	0,242	0,64	0,235	0,014	0,47
28,2	28,2	0,60	0,239	0,73	0,228	0,022	0,73
29,35	29,35	0,62	0,239	0,76	0,225	0,028	0,93
30,5	30,5	0,65	0,238	0,79	0,221	0,034	1,13

Tablica 12. Suma svih utjecajnih dodatnih naprezanja po poljima za točku B

dubina z(m)	$\Delta\sigma$ (kPa)
0	16,61
0,93	16,81
3,23	17,02
5,53	17,63
6,43	17,77
7,33	18,39
9,28	22,09
11,23	23,87
13,3	26,06
15,6	30,92
17,9	32,91
21,3	35,65
24,7	36,41
28,2	38,26
29,35	38,68
30,5	38,61



Slika 6. Dijagram raspodjele dodatnih naprezanja za točku B

TOČKA C

POUE 3; $p_3=195,49$ kPa $N1 b=3,75$ m $a=450$ m $a/b>10$ (uzet je dijagram $a/b=10$)

Tablica 13. Izračun dodatnih naprezanja u točki C uslijed opterećenja polja 3

z	z'	z'/b	N	$Ns=2*N$	$\Delta\sigma = Ns \cdot p_3$
0	0	0	0,25	0,5	97,75
1,74	1,74	0,46	0,242	0,484	94,62
3,48	3,48	0,93	0,215	0,43	84,06
3,98	3,98	1,06	0,205	0,41	80,15
4,48	4,48	1,19	0,194	0,388	75,85
6,73	6,73	1,79	0,151	0,302	59,04
8,98	8,98	2,39	0,122	0,244	47,70
9,48	9,48	2,53	0,116	0,232	45,35
13,03	13,03	3,47	0,078	0,156	30,50
16,58	16,58	4,42	0,069	0,138	26,98
17,28	17,28	4,61	0,066	0,132	25,80
19,98	19,98	5,33	0,058	0,116	22,68
22,68	22,68	6,05	0,051	0,102	19,94
25,38	25,38	6,77	0,047	0,094	18,38
28,33	28,33	7,55	0,041	0,082	16,03
31,28	31,28	8,34	0,039	0,078	15,25

POUE 4; $p_4=135,9$ kPa $N1 b=15,1$ m $a=450$ m $a/b>10$ $N2 b=3,75$ m $a=450$ m $a/b>10$

Tablica 14. Izračun dodatnih naprezanja u točki C uslijed opterećenja polja 4

z	z'	z'/b	N1	z'/b	N2	$Ns=(N1-N2)$	$\Delta\sigma = Ns \cdot p_4$
0	0	0	0,25	0	0,25	0,00	0,00
1,74	1,74	0,12	0,249	0,46	0,242	0,007	0,95
3,48	3,48	0,23	0,248	0,93	0,215	0,033	4,48
4,86	4,86	0,32	0,247	1,30	0,191	0,056	7,61
6,23	6,23	0,41	0,245	1,66	0,16	0,085	11,55
7,58	7,58	0,50	0,242	2,02	0,151	0,091	12,37
8,98	8,98	0,59	0,239	2,39	0,122	0,117	15,90
9,48	9,48	0,63	0,236	2,53	0,116	0,12	16,31
13,03	13,03	0,86	0,221	3,47	0,089	0,132	17,94
16,58	16,58	1,10	0,201	4,42	0,069	0,132	17,94
17,28	17,28	1,14	0,198	4,61	0,066	0,132	17,94
19,98	19,98	1,32	0,186	5,33	0,058	0,128	17,39
22,68	22,68	1,50	0,17	6,05	0,051	0,119	16,17
25,38	25,38	1,68	0,155	6,77	0,047	0,108	14,68
28,33	28,33	1,88	0,149	7,55	0,041	0,108	14,68
31,28	31,28	2,07	0,138	8,34	0,039	0,099	13,45

POLE 1; $p_1=33,24 \text{ kPa}$ N1 $b=26,45 \text{ m}$ $a/b > 10$ N2 $b=12,26 \text{ m}$ $a=450 \text{ m}$ $a/b > 10$

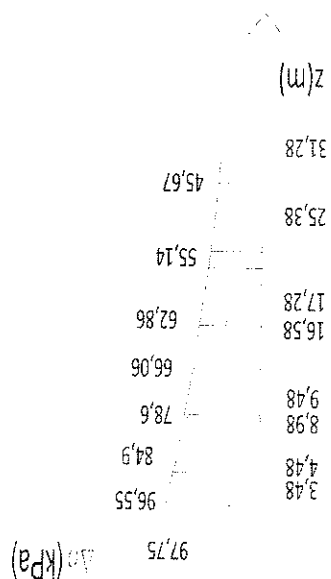
Tablica 17. Izračun dodatnih naprezanja u točki C uslijed opterećenja polja 1

z	z'	z'/b	N1	z'/b	N2	$Ns=2(N1-N2)$	$\Delta\sigma$ N s' p ₁
0	0	0	0,25	0	0,25	0,00	0,00
1,74	1,74	0,08	0,249	0,14	0,249	0,00	0,00
3,48	3,48	0,17	0,248	0,28	0,248	0,00	0,00
3,98	3,98	0,19	0,247	0,32	0,246	0,001	0,03
4,48	4,48	0,22	0,247	0,37	0,235	0,012	0,40
6,73	6,73	0,32	0,246	0,55	0,241	0,005	0,17
8,98	8,98	0,43	0,244	0,73	0,232	0,012	0,40
9,48	9,48	0,46	0,243	0,77	0,231	0,012	0,40
13,03	13,03	0,63	0,24	1,06	0,203	0,037	1,23
16,58	16,58	0,80	0,23	1,35	0,186	0,044	1,46
17,28	17,28	0,83	0,228	1,41	0,18	0,048	1,60
19,98	19,98	0,96	0,212	1,63	0,162	0,05	1,66
22,68	22,68	1,09	0,202	1,85	0,149	0,053	1,76
25,38	25,38	1,22	0,195	2,07	0,138	0,057	1,89
28,33	28,33	1,36	0,185	2,31	0,123	0,062	2,06
31,28	31,28	1,51	0,171	2,55	0,116	0,055	1,83

Tablica 18. Suma svih utjecajnih dodatnih naprezanja po poljima za točku C

dubina z(m)	$\Delta\sigma$ (kPa)
0	97,75
1,74	96,55
3,48	93,06
3,98	93,43
4,48	93,47
6,73	83,97
8,98	79,18
9,48	78,02
13,03	66,06
16,58	63,51
17,28	62,10
19,98	57,27
22,68	52,79
25,38	49,21
28,33	45,67
31,28	42,82

Slika 7. Dijagram raspodjele dodatnih naprezanja za točku C



TOČKA D

POLJE 5; $q_5=33,22$ kPa N1 $b=11,35$ m $a=450$ m $a/b>10$ (uzet je dijagram $a/b=10$)

Tablica 19. Izračun dodatnih naprezanja u točki D uslijed opterećenja polja 5

z	z'	z'/b	N	Ns=N	$\Delta\sigma$ Ns ^{q5}
0	0	0	0,25	0,25	8,30
1,82	1,82	0,16	0,249	0,249	8,27
3,63	3,63	0,32	0,247	0,247	8,20
4,98	4,98	0,44	0,244	0,244	8,10
6,33	6,33	0,56	0,238	0,238	7,91
7,63	7,63	0,67	0,235	0,235	7,81
8,93	8,93	0,79	0,228	0,228	7,57
12,03	12,03	1,06	0,205	0,205	6,81
15,13	15,13	1,33	0,174	0,174	5,78
18,23	18,23	1,61	0,164	0,164	5,45
19,13	19,13	1,69	0,162	0,162	5,38
21,83	21,83	1,92	0,147	0,147	4,88
24,53	24,53	2,16	0,136	0,136	4,52
27,23	27,23	2,40	0,12	0,12	3,99
30,18	30,18	2,66	0,113	0,113	3,75
33,13	33,13	2,92	0,101	0,101	3,35

POLJE 4; $p_4=135,9$ kPa N1 $b=22,7$ m $a=450$ m $a/b>10$ N2 $b=11,35$ m $a=450$ m $a/b>10$

Tablica 20. Izračun dodatnih naprezanja u točki D uslijed opterećenja polja 4

z	z'	z'/b	N1	z'/b	N2	Ns=(N1-N2)	$\Delta\sigma$ Ns ^{p4}
0	0	0	0,25	0	0,25	0,00	0,00
1,82	1,82	0,08	0,249	0,16	0,249	0,00	0,00
3,63	3,63	0,16	0,248	0,32	0,247	0,001	0,14
4,98	4,98	0,22	0,248	0,44	0,244	0,004	0,54
6,33	6,33	0,28	0,247	0,56	0,238	0,009	1,22
7,63	7,63	0,34	0,246	0,67	0,235	0,011	1,49
8,93	8,93	0,39	0,245	0,79	0,228	0,017	2,31
12,03	12,03	0,53	0,241	1,06	0,205	0,036	4,89
15,13	15,13	0,67	0,236	1,33	0,174	0,062	8,43
18,23	18,23	0,80	0,221	1,61	0,164	0,057	7,75
19,13	19,13	0,84	0,218	1,69	0,162	0,056	7,61
21,83	21,83	0,96	0,211	1,92	0,147	0,064	8,70
24,53	24,53	1,08	0,202	2,16	0,136	0,066	8,97
27,23	27,23	1,20	0,195	2,40	0,12	0,075	10,19
30,18	30,18	1,33	0,174	2,66	0,113	0,061	8,29
33,13	33,13	1,46	0,169	2,92	0,101	0,068	9,24

POLE 3; $p_3=195,49$ kPa $N1 b=22,7$ m $a=450$ m $a/b>10$ $N2 b=11,35$ m $a=450$ m $a/b>10$

Tablica 21. Izračun dodatnih naprezanja u točki D uslijed opterećenja polja 3

z	z'	z'/b	N1	z'/b	N2	$Ns=(N1-N2)$	$\Delta\sigma$ $Ns \cdot p_3$
0	0	0,00	0,25	0,00	0,25	0,00	0,00
1,82	1,82	0,06	0,25	0,08	0,249	0,001	0,14
3,63	3,63	0,12	0,249	0,16	0,248	0,001	0,14
4,98	4,98	0,16	0,249	0,22	0,248	0,001	0,14
6,33	6,33	0,21	0,248	0,28	0,247	0,001	0,14
7,63	7,63	0,25	0,246	0,34	0,245	0,001	0,14
8,93	8,93	0,30	0,245	0,39	0,244	0,001	0,14
12,03	12,03	0,40	0,244	0,53	0,241	0,003	0,41
15,13	15,13	0,50	0,242	0,67	0,236	0,006	0,82
18,23	18,23	0,60	0,238	0,80	0,221	0,017	2,31
19,13	19,13	0,63	0,235	0,84	0,218	0,017	2,31
21,83	21,83	0,72	0,231	0,96	0,211	0,02	2,72
24,53	24,53	0,81	0,22	1,08	0,202	0,018	2,45
27,23	27,23	0,90	0,216	1,20	0,195	0,021	2,85
30,18	30,18	1,00	0,206	1,33	0,174	0,032	4,35
33,13	33,13	1,10	0,206	1,46	0,169	0,037	5,03

POLE 2; $p_2=135,93$ kPa $N1 b=38,71$ m $a=450$ m $a/b>10$ $N2 b=30,2$ m $a=450$ m $a/b>10$

Tablica 22. Izračun dodatnih naprezanja u točki D uslijed opterećenja polja 2

z	z'	z'/b	N1	z'/b	N2	$Ns=(N1-N2)$	$\Delta\sigma$ $Ns \cdot p_2$
0	0	0,00	0,25	0,00	0,25	0,00	0,00
1,82	1,82	0,05	0,25	0,06	0,25	0,00	0,00
3,63	3,63	0,09	0,249	0,12	0,249	0,00	0,00
4,98	4,98	0,13	0,249	0,16	0,249	0,00	0,00
6,33	6,33	0,16	0,248	0,21	0,248	0,00	0,00
7,63	7,63	0,20	0,248	0,25	0,246	0,002	0,27
8,93	8,93	0,23	0,248	0,30	0,245	0,003	0,41
12,03	12,03	0,31	0,246	0,40	0,244	0,002	0,27
15,13	15,13	0,39	0,245	0,50	0,242	0,003	0,41
18,23	18,23	0,47	0,244	0,60	0,238	0,006	0,82
19,13	19,13	0,49	0,244	0,63	0,235	0,009	1,22
21,83	21,83	0,56	0,241	0,72	0,231	0,01	1,36
24,53	24,53	0,63	0,237	0,81	0,22	0,017	2,31
27,23	27,23	0,70	0,225	0,90	0,216	0,009	1,22
30,18	30,18	0,78	0,222	1,00	0,206	0,016	2,17
33,13	33,13	0,86	0,219	1,10	0,206	0,013	1,77

POLE 1; $p_1=33,24$ kPa $N1 b=47,22$ m $a=450$ m $a/b>10$ $N2 b=38,71$ m $a=450$ m $a/b>10$

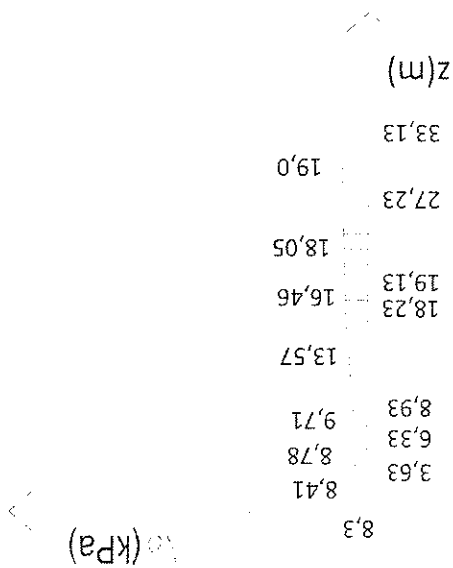
Tablica 23. Izračun dodatnih naprezanja u točki D uslijed opterećenja polja 1

z	z'	z'/b	N1	z'/b	N2	$Ns=(N1-N2)$	$\Delta\sigma$	$Ns \cdot p_1$
0	0	0,00	0,25	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00
1,82	1,82	0,04	0,25	0,05	0,25	0,00	0,00	0,00
3,63	3,63	0,08	0,249	0,09	0,249	0,00	0,00	0,00
4,98	4,98	0,11	0,249	0,13	0,249	0,00	0,00	0,00
6,33	6,33	0,13	0,249	0,16	0,249	0,00	0,00	0,00
7,63	7,63	0,16	0,249	0,20	0,249	0,00	0,00	0,00
8,93	8,93	0,19	0,248	0,23	0,248	0,00	0,00	0,00
12,03	12,03	0,25	0,247	0,31	0,246	0,001	0,03	0,03
15,13	15,13	0,32	0,246	0,39	0,245	0,001	0,03	0,03
18,23	18,23	0,39	0,245	0,47	0,244	0,001	0,03	0,03
19,13	19,13	0,41	0,245	0,49	0,244	0,001	0,03	0,03
21,83	21,83	0,46	0,243	0,56	0,241	0,002	0,07	0,07
24,53	24,53	0,52	0,241	0,63	0,237	0,004	0,13	0,13
27,23	27,23	0,58	0,239	0,70	0,225	0,014	0,47	0,43
30,18	30,18	0,64	0,235	0,78	0,222	0,013	0,43	0,40
33,13	33,13	0,70	0,231	0,86	0,219	0,012	0,40	0,40

Tablica 24. Suma svih utjecajnih dodatnih naprezanja po poljima za točku D.

dubina z(m)	$\Delta\sigma$ (kPa)
0	8,30
1,82	8,41
3,63	8,48
4,98	8,78
6,33	9,26
7,63	9,71
8,93	10,29
12,03	12,41
15,13	15,46
18,23	16,35
19,13	16,56
21,83	17,72
24,53	18,38
27,23	18,72
30,18	19,00
33,13	19,79

Slika 8. Dijagram raspodjele dodatnih naprezanja za točku D



2.4. Analiza sijeganja

2.4.1. Proračun geostatičkih naprezanja

Proračun efektivnih naprezanja provodi se na slijedeći način:

$$\sigma'_z = \gamma'_n * \Delta z_n$$

Gdje je: γ' - zapreminska težina tla (uronjena)

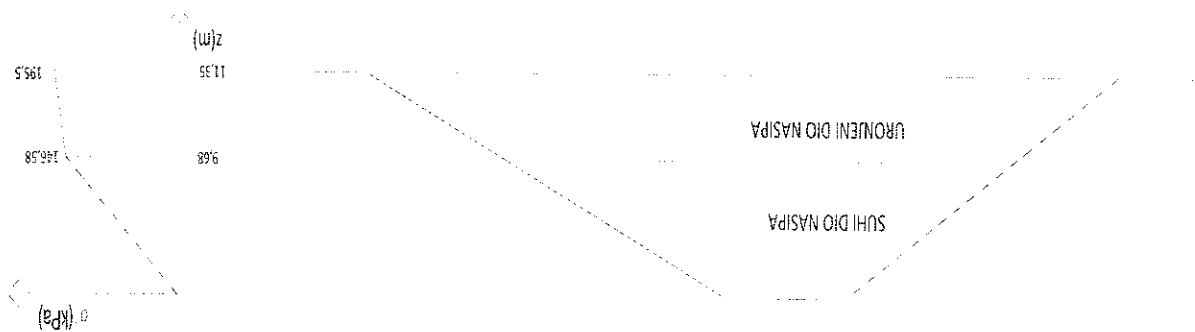
σ'_z - vertikalno naprezanje

z - dubina tla ispod površine

TOČKA A

Tablica 25. Vertikalna efektivna naprezanja u presjeku nasipa (σ'_z)

NAZIV SLOJA	DUBINA SLOJA (m)	DEBLJINA SLOJA Δz (m)	EFektivna JEDINIČNA TEŽINA γ' (kN/m ³)	σ'_z (kPa)	σ'_{sr} (kPa)
nasip- iznad mora	6,98	6,98	21	146,58	73,29
nasip- ispod mora	11,35	4,37	11,19	195,5	171,0



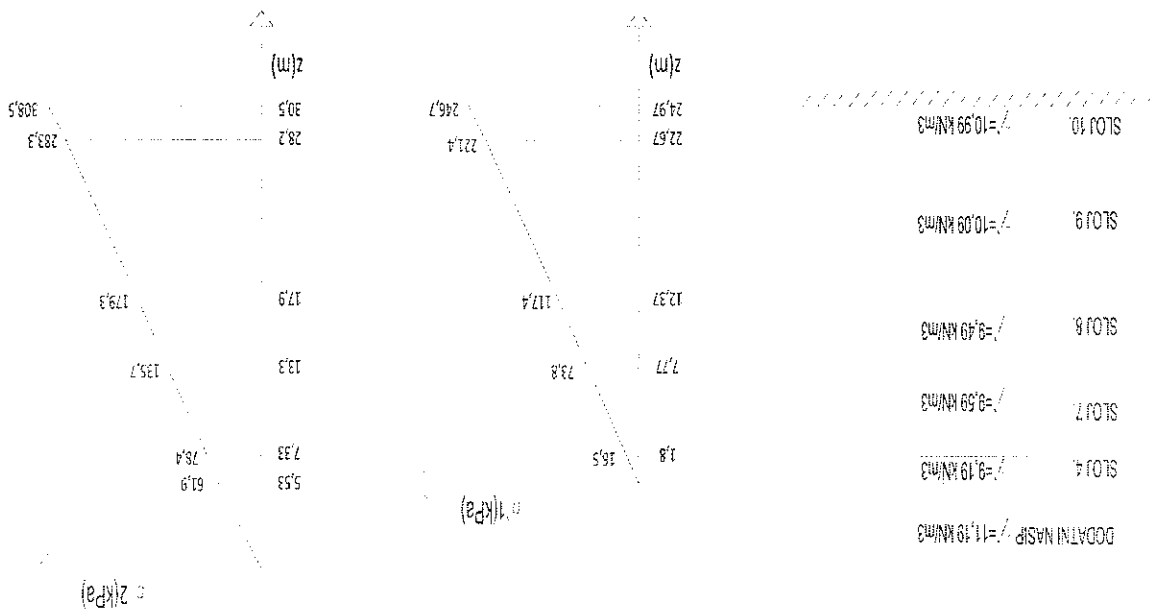
Slika 9. Dijagram raspodjele efektivnih naprezanja u točki A

TOČKA B

Stoj mlija debljine 4,6 m zamjenjuje mo dodatnim nasipom jer nije pogodan za podlogu iukobrana.

Tablica 26. Vertikalna efektivna naprezanja prije (σ_1) i nakon izgradnje dodatnog nasipa (σ_2)

NAZIV SLOJA	DUBINA z(m)	DEBLJINA Δz(m)	URONJENA JEDINIČNA TEŽINA γ (kN/m ³)	σ_1 (kPa)	σ_2 (kPa)	$\sigma_2 - \sigma_1$ (kPa)
dodatni nasip	5,53	5,53	11,19	-	61,9	61,9
sloj 4.	7,33	1,8	9,19	16,5	78,4	61,9
sloj 7.	13,3	5,97	9,59	73,8	135,7	61,9
sloj 8.	17,9	4,6	9,49	117,4	179,3	61,9
sloj 9.	28,2	10,3	10,09	221,4	283,3	61,9
sloj 10.	30,5	2,3	10,99	246,7	308,5	61,9

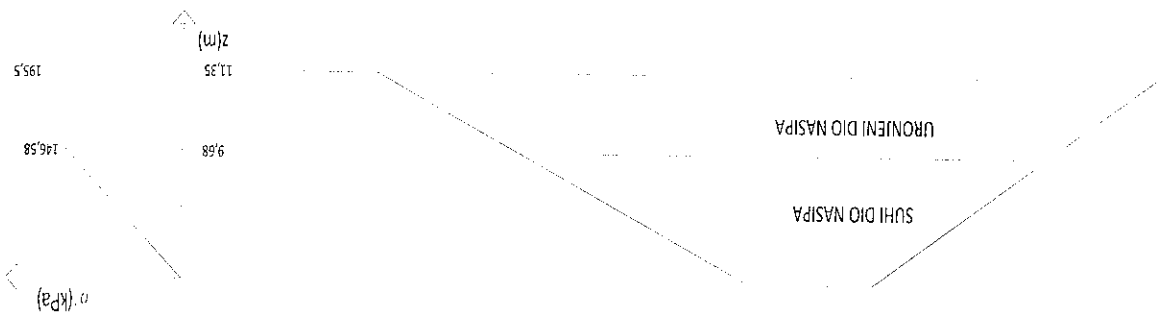


Slika 10. Dijagram raspodjele efektivnih naprezanja u točki B

TOČKA C

Tablica 27. Vertikalna efektivna naprezanja u presjeku nasipa (σ')

NAZIV SLOJA	DUBINA z(m)	DEBLJINA Δz (m)	EFEKTIVNA JEDINIČNA TEŽINA γ' / γ' (kN/m ³)	σ' (kPa)	σ'_{sr} (kPa)
nasip- iznad mora	6,98	6,98	21	146,58	73,29
nasip- ispod mora	11,35	4,37	11,19	195,5	171,0



Slika 11. Dijagram raspodjele efektivnih naprezanja u točki C

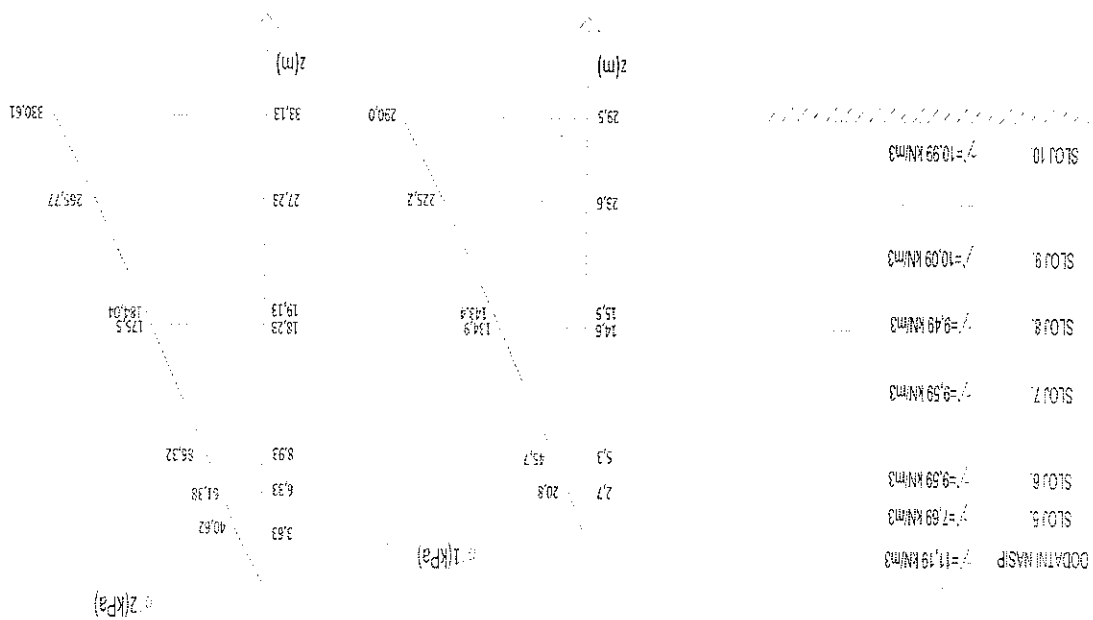
TOČKA D

Kameno-šljunčanu podlogu tj. dodatni nasip debljine 3,63 m postavljamo kao podlogu za

lukobran.

Tablica 28. Vertikalna efektivna naprezanja prije (σ'_1) i nakon izgradnje dodatnog nasipa (σ'_2).

NAZIV SLOJA	DUBINA SLOJA	Δz (m)	URONJENA JEDINIČNA TEŽINA γ (kN/m ³)	σ'_1 (kPa)	σ'_2 (kPa)	$\sigma'_2, sr - \sigma'_1, sr$ (kPa)
dodatni nasip	3,63	3,63	11,19	-	40,62	20,3
sloj 5.	6,33	2,7	7,69	20,8	61,38	40,6
sloj 6.	8,93	2,6	9,59	45,7	86,32	40,6
sloj 7.	18,23	9,3	9,59	134,9	175,50	40,6
sloj 8.	19,13	0,9	9,49	143,4	184,04	40,6
sloj 9.	27,23	8,1	10,09	225,2	265,77	40,6
sloj 10.	33,13	5,9	10,99	290,0	330,61	40,6



Slika 12. Dijagram raspodjele efektivnih naprezanja u točki D

2.4.2. Proračun slijevanja od vlastite težine

Proračun slijevanja pojedinih slojeva se provodi pomoću modula stišljivosti (prilog 7) :

$$\Delta s = (\Delta \sigma' / MK) * \Delta z$$

Gdje je: Δs - slijevanje pojedinog sloja

$\Delta \sigma'$ - srednja vrijednost efektivnih naprezanja

Mk - modul stišljivosti

Δz - debljina sloja

TOČKA A

Tablica 29. Slijevanje samog nasipa/lukobrana

NAZIV SLOJA	DEBLJINA SLOJA Δz (m)	Mk (MPa)	$\Delta \sigma'$ (kPa)	Δs (cm)
nasip- iznad razine mora	6,98	25	73,29	2,05
nasip- ispod razine mora	4,37	25	171,0	2,99

$\Delta s = 5,04$ cm

TOČKA B

Tablica 30. Slijevanje pojedinih slojeva uslijed vlastite težine dodatnog nasipa

NAZIV SLOJA	DEBLJINA SLOJA Δz (m)	Mk (MPa)	$\Delta \sigma'$ (kPa)	Δs (cm)
dodatni nasip	5,53	25	30,9	0,68
sloj 4.	1,8	8,92	61,9	1,25
sloj 7.	5,97	6,42	61,9	5,75
sloj 8.	4,6	15,84	61,9	1,80
sloj 9.	10,3	16,96	61,9	3,76
sloj 10.	2,3	45,67	61,9	0,31

$\Delta s = 13,55$ cm

TOČKA C

Tablica 31. Sljeganje samog nasipa/lukobrana

NAZIV SLOJA	DEBLJINA SLOJA	Mk (MPa)	$\Delta\sigma'$ (kPa)	Δs (cm)
nasip- iznad razine mora	6,98	25	73,29	2,05
nasip- ispod razine mora	4,37	25	171,0	2,99

$\sum s = 5,04$ cm

TOČKA D

Tablica 32. Sljeganje pojedinih slojeva uslijed vlastite težine dodatnog nasipa

NAZIV SLOJA	DEBLJINA SLOJA	Mk (MPa)	$\Delta\sigma'$ (kPa)	Δs (cm)
dotatni nasip	3,63	25	20,31	0,29
sloj 5.	2,7	4,24	40,62	2,59
sloj 6.	2,6	9,13	40,62	1,16
sloj 7.	9,3	6,42	40,62	5,88
sloj 8.	0,9	15,84	40,62	0,23
sloj 9.	8,1	16,96	40,62	1,94
sloj 10.	5,9	45,67	40,62	0,52

$\sum s = 12,09$ cm

2.4.3. Proračun sljeganja uslijed izgradnje novog lukobrana

Proračun sljeganja pojedinih slojeva se provodi pomoću modula stišljivosti:

$$\Delta s = (\Delta\sigma' / Mk) * \Delta z$$

Gdje je: Δs - sljeganje pojedinog sloja

$\Delta\sigma'$ - srednja vrijednost efektivnih naprezanja

Mk - modul stišljivosti

Δz - debljina sloja

TOČKA A

Tablica 33. Slijeganje pojedinih slojeva uslijed dodatnih naprezanja u točki A

$\sum s = 27,42 \text{ cm}$

NAZIV SLOJA	DEBLJINA SLOJA	Mk (MPa)	$\Delta \sigma$ (kPa)	Δs (cm)
sloj 2.	2,36	20	194,06	2,29
sloj 4.	2,2	8,92	183,24	4,52
sloj 7.	1,8	6,42	172,41	4,83
sloj 8.	9,3	15,84	147,76	8,68
sloj 9.	10,5	16,96	107,579	6,66
Sloj 10.	2,2	45,67	92,31	0,44

TOČKA B

Tablica 34. Slijeganje pojedinih slojeva uslijed dodatnih naprezanja u točki B

$\sum s = 6,1 \text{ cm}$

NAZIV SLOJA	DEBLJINA SLOJA	Mk (MPa)	$\Delta \sigma$ (kPa)	Δs (cm)
dodatni nasip	5,53	25	16,90	0,37
sloj 4.	1,8	8,92	17,77	0,36
sloj 7.	5,97	6,42	22,41	2,08
sloj 8.	4,6	15,84	30,92	0,90
sloj 9.	10,3	16,96	36,12	2,19
Sloj 10.	2,3	45,67	38,68	0,19

TOČKA C

Tablica 35. Slijeganje pojedinih slojeva uslijed dodatnih naprezanja u točki C

$\sum s = 23,92 \text{ cm}$

NAZIV SLOJA	DEBLJINA SLOJA	Mk (MPa)	$\Delta \sigma$ (kPa)	Δs (cm)
sloj 2.	3,48	20	96,55	1,68
sloj 5.	5,5	4,24	84,9	11,01
sloj 6.	0,5	9,13	78,6	0,43
sloj 7.	7,1	6,42	66,06	7,31
sloj 8.	0,7	15,84	62,86	0,28
sloj 9.	8,1	16,96	55,14	2,63
Sloj 10.	5,9	45,67	45,14	0,58

TOČKA D

Tablica 36. Slifeganje pojedinih slojeva u točki D

NAZIV SLOJA	DEBLJINA SLOJA Δz (m)	MK (MPa)	$\Delta \sigma'$ (kPa)	Δs (cm)
dotatni nasip	3,63	25	8,41	0,12
sloj 5.	2,7	4,24	8,78	0,56
sloj 6.	2,6	9,13	9,71	0,28
sloj 7.	9,3	6,42	13,57	1,97
sloj 8.	0,9	15,84	16,46	0,09
sloj 9.	8,1	16,96	18,05	0,86
Sloj 10.	5,9	45,67	19,00	0,25

$\Sigma s = 3,88 \text{ cm}$

3. PRORAČUN SLIJEGANJA POMOĆU PROGRAMA SETTLE3D (ROSCIENCE)

3.1. Uvod u program SETTLE3D

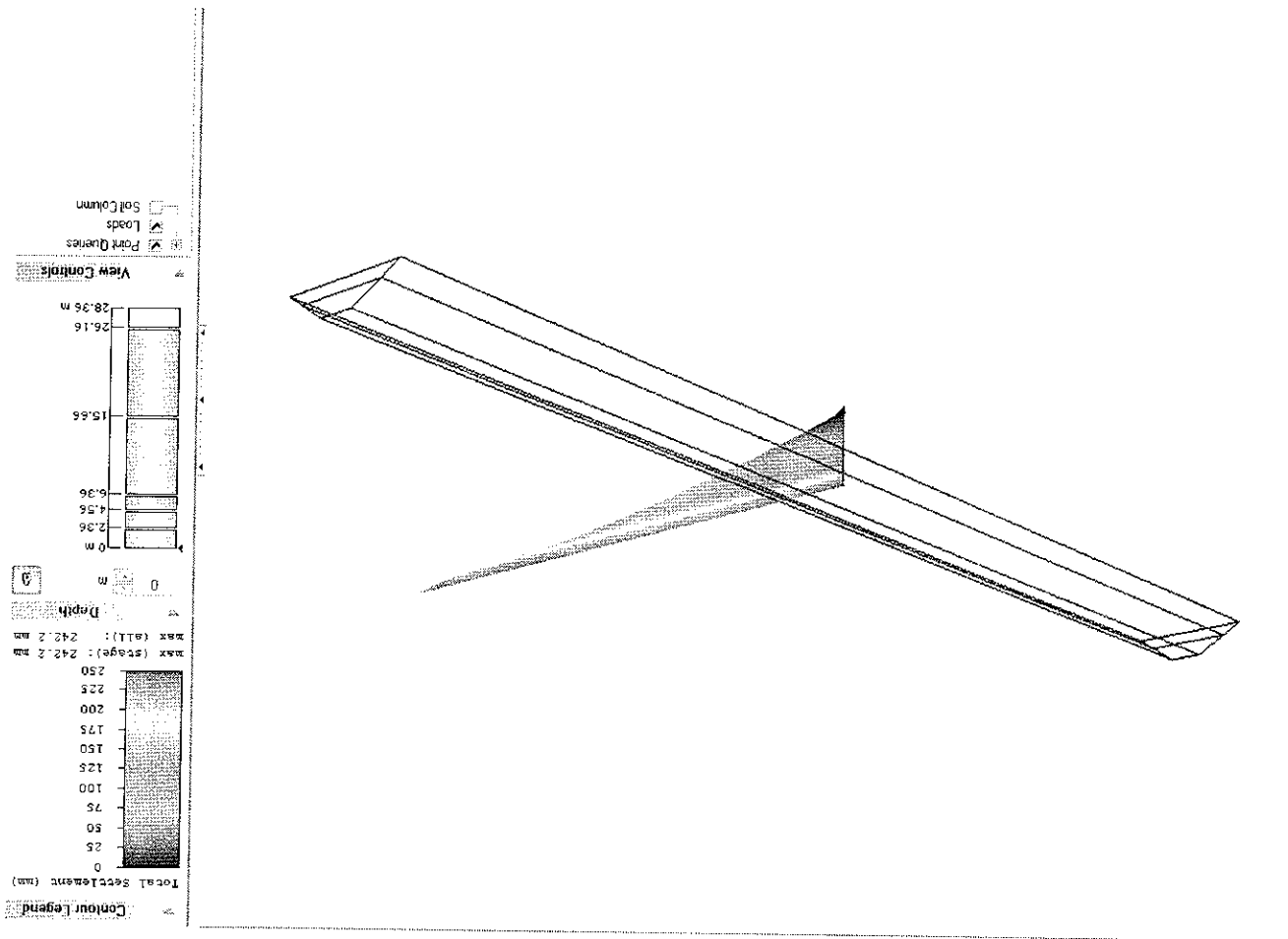
Računalni program Settle3d je trodimenzionalni program za analizu vertikalne konsolidacije i slijeganje ispod temelja, nasipa i površinskih opterećenja. Program kombinira jednostavnost i jednodimenzionalne analize i sofisticiranije trodimenzionalne programe. Dakle moguće je brzo i efikasno kreirati profile slojeva terena i različita opterećenja te na temelju zadanih čimbenika dobiti rezultate u 3 dimenzije. Modeliranje može biti izvedeno vremenski tj. ovisno o konsolidaciji uključujući primarnu i sekundarnu konsolidaciju u određenim vremenskim intervalima. Uz računanje slijeganja može se modelirati i razina vode u tlu.

3.2. Rezultati slijeganja dobiveni pomoću programa SETTLE3D

U programu SETTLE3D napravljen je model zadanog nasipa te su kreirani slojevi tla sa zadanim dimenzijama i modulima stišljivosti za svaku zadanu točku A, B, C i D kao i u klasičnoj metodi računanja. Iz tog modela je zatim automatski izračunato slijeganje i prikazano u 3d modelu te su uz to priloženi dijagrami ovisnosti dubine i slijeganja.

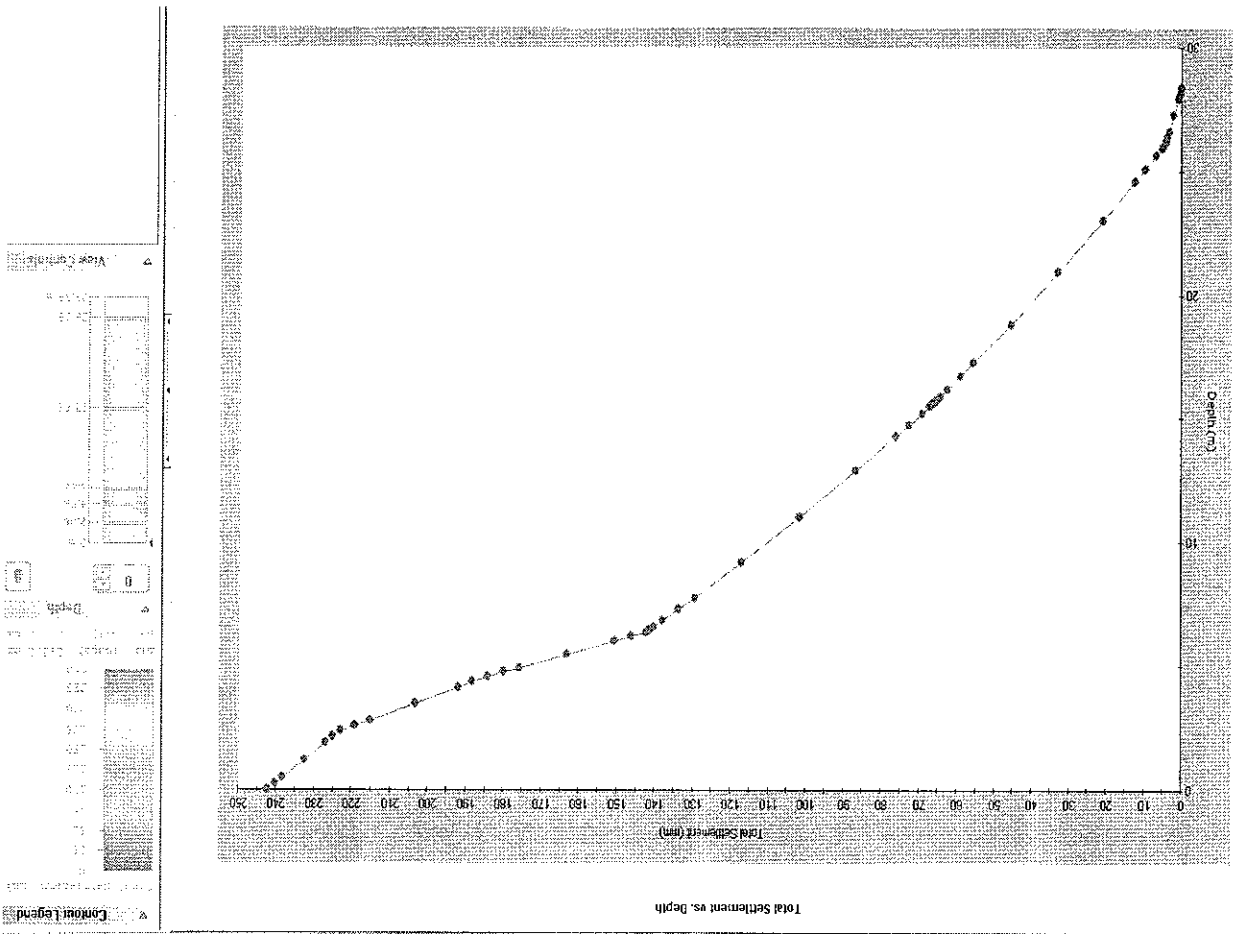
TOČKA A

Rezultat slijeganja u točki A iznosi 24, 2 cm.



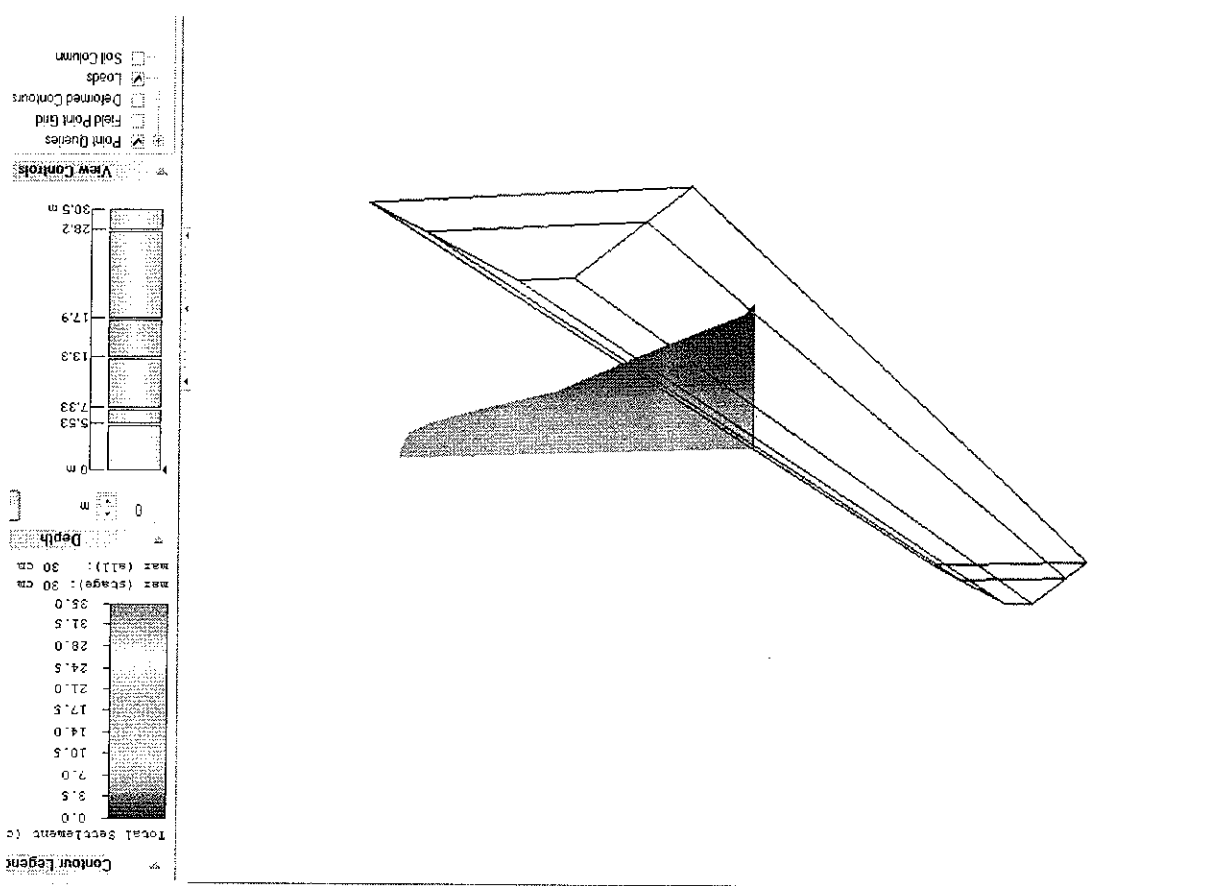
Slika 13. Rezultat slijeganja uslijed dodatnih naprezanja u točki A

Slika 14. Dijagram ovisnosti dubine i sljeganja u točki A



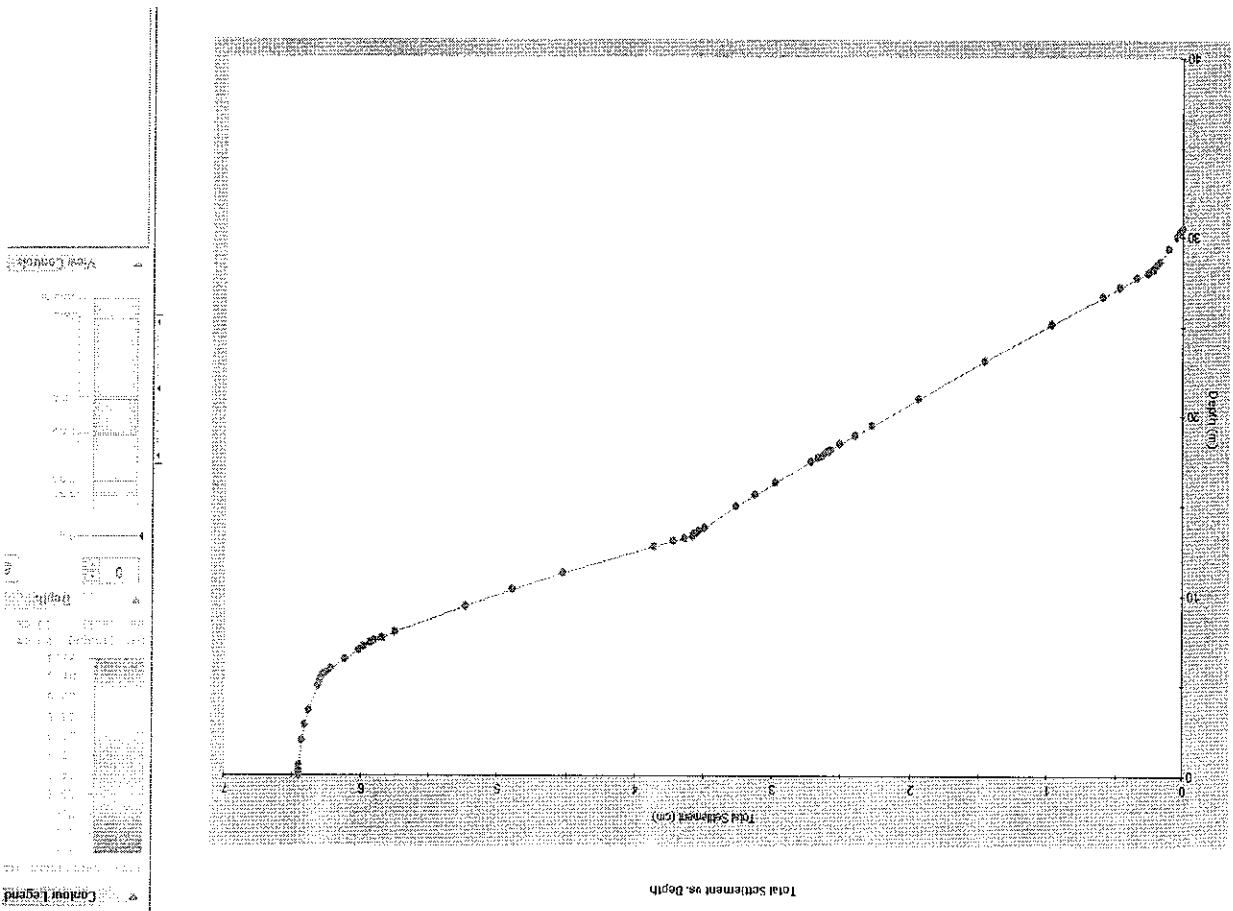
TOČKA B

Sljeganje u točki B iznosi 6,4 cm.



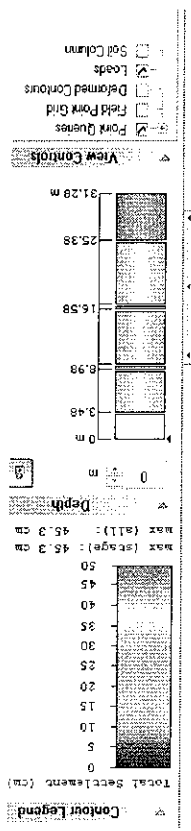
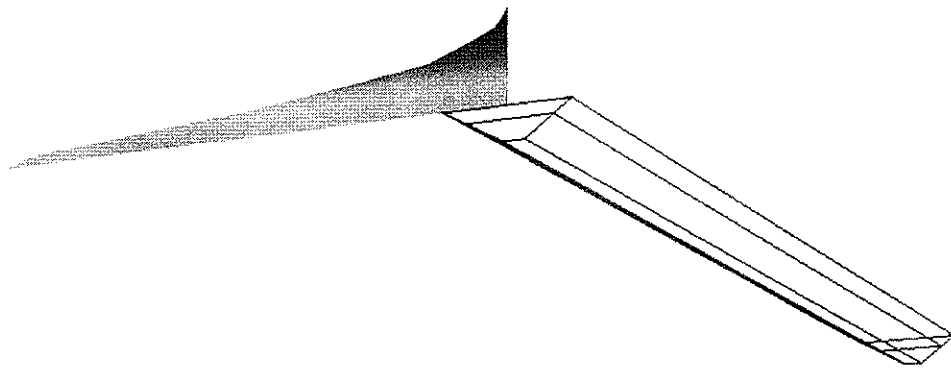
Slika 15. Rezultat sljeganja uslijed dodatnih naprezanja u točki B

Slika 16. Dijagram ovisnosti dubine i sljeganja u točki B



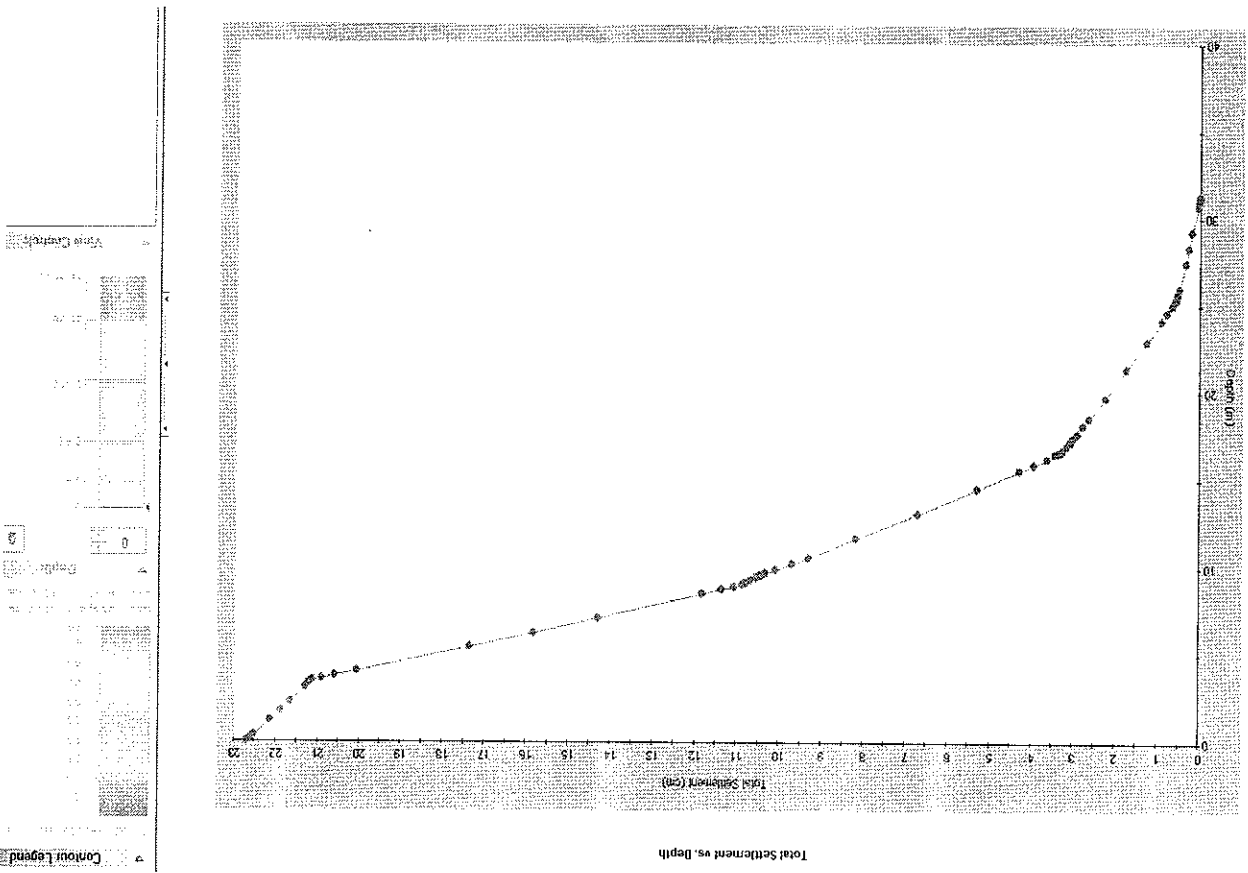
TOČKA C

Sljeganje u točki C iznosi 22,7 cm.



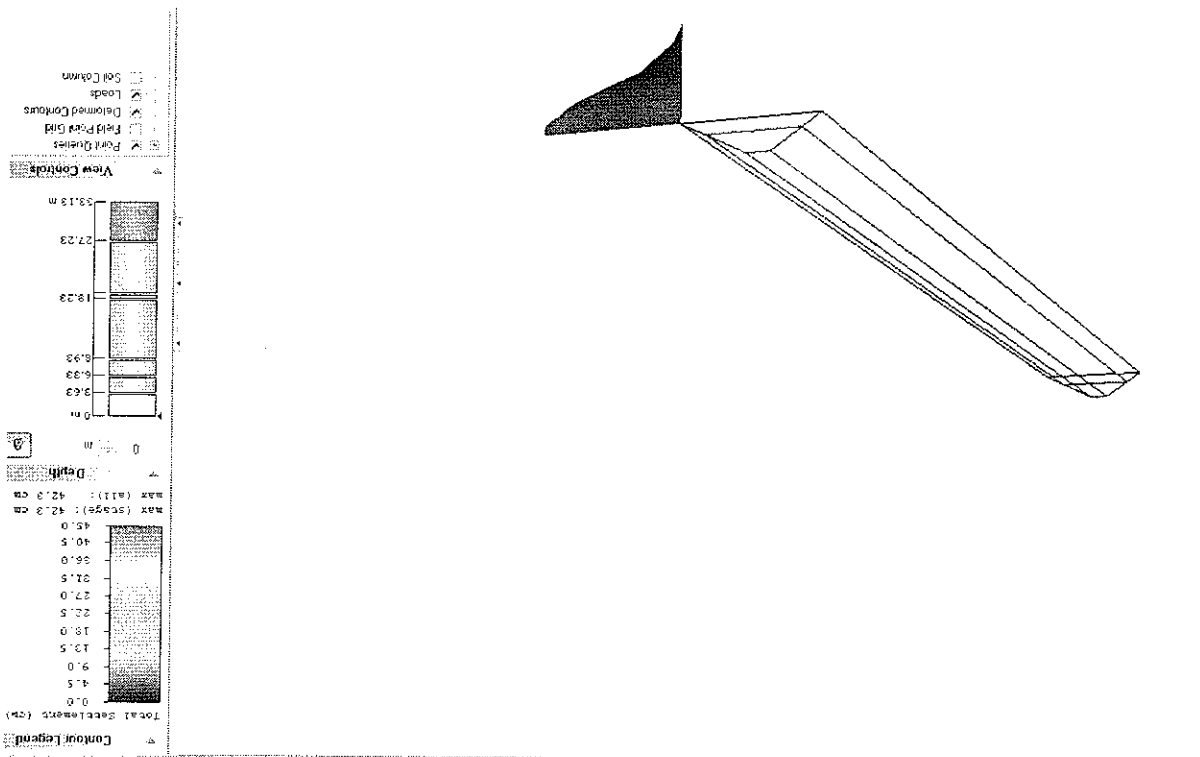
Slika 17. Rezultat sljeganja uslijed dodatnih naprezanja u točki C

Slika 18. Dijagram ovisnosti dubine i slijevanja u točki C



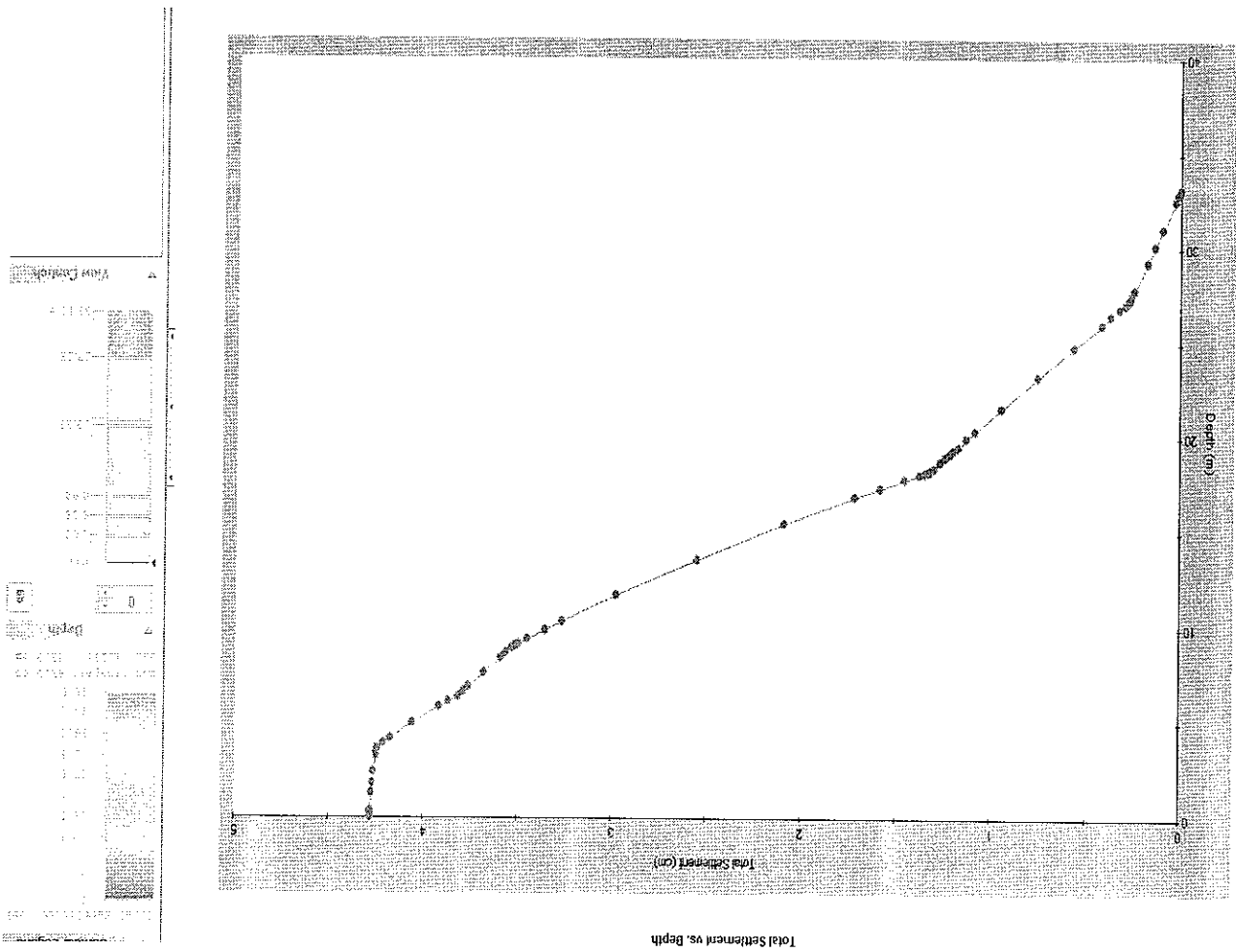
TOČKA D

Sljeganje u točki D iznosi 4,3cm.



Slika 19. Rezultat sljeganja uslijed dodatnih naprezanja u točki D

Slika 20. Dijagram ovisnosti dubine i sljeganja u točki D



4. NOSIVOST PREMA EC7

4.1. Analiza parametara

4.1.1. Prosječna svojstva tla do dubine bušenja

Analizom parametara uzete su određene vrijednosti kohezije i unutarnjeg trenja za sve slojeve tj. geotehničke sredine. U ovome slučaju uzeli smo prosječne vrijednosti iz oba presjeka u zoni od interesa GS 7, 8, 9 i 10. (Prilog 8). Pošto su parametri svih slojeva u oba presjeka približno slični računamo nosivost cijelog nasipa sa jedinstvenim veličinama, a ne posebno na kraju i u sredini nasipa kako je u zadatku navedeno.

Prosječna vrijednost parametara (sredina i kraj presjeka)

- Kohezija (drenirana i nedrenirana)

$$c_u = 99,84 \text{ kPa} \quad c' = 21,59 \text{ kPa}$$

- Kut unutarnjeg trenja materijala

$$\phi' = 18,93$$

- Jedinčna težina tla

$$\gamma_{\text{sat}} = 19,85 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_s = 10,04 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma^w = 9,81 \text{ kN/m}^3$$

4.1.2. Svojstva tla kod dubine plohe sloma

Slom nastaje nakon dovoljne velike deformacije tla, potom dolazi do stabilizacije zbog promjene geometrijskih uvjeta ili uvjeta u tlu. U ovome slučaju uzet je prosječni kut unutarnjeg trenja $\varphi = 18,93^\circ$ te smo uz Prandi-Risser-ovo rješenje (45+ φ /2) dobili točku sloma u sloju 10.

Parametri tla GS10 (sloj 10)

- Kohezija (drenirana i nedrenirana) $c_u = 144 \text{ kPa}$ $c' = 24,36 \text{ kPa}$
- Kut unutarnjeg trenja materijala $\varphi' = 20,72^\circ$
- Jedinичna težina tla $\gamma_{\text{sat}} = 20,8 \text{ kN/m}^3$
 $\gamma' = 10,99 \text{ kN/m}^3$
 $\gamma_w = 9,81 \text{ kN/m}^3$

4.2. Analiza nostivosti temeljnog tla prema Eurokodu 7

Proračun izvesti po EC7 (HRN EN 1997-1:2012) prema projektном pristupu PP3
 $(A_1^d + A_2^e) + M_2 + R_3$

Parcijalni faktori za granična stanja STR i GEO

- Parcijalni faktori djelovanja

$$Y_{G,dst} = 1,35 (A_1); 1,0 (A_2)$$

$$Y_{G,stab} = 1,0 (A_1); 1,0 (A_2)$$

$$Y_{Q,dst} = 1,5 (A_1); 1,3 (A_2)$$

$$Y_{Q,stab} = 0,0 (A_1); 0,0 (A_2)$$

- Parcijalni faktori svojstva materijala

$$Y_{\phi} = 1,25$$

$$Y_{c'} = 1,25$$

$$Y_{\psi} = 1,0$$

- Parcijalni faktori otpora

$$Y_{Rv} = 1,0$$

$$Y_{Rh} = 1,0$$

4.2.1. 1. Način (slojevi slojevi geotehničkih sredina 7, 8, 9 i 10 uzeti u obzir)

Drenirani uvjeti

Parametri tla (sredina i kraj presjeka)

$$\gamma^{sat} = 19,85 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma' = 10,04 \text{ kN/m}^3$$

$$c' = 21,59 \text{ kPa}$$

$$\phi' = 18,93^\circ$$

Reducirana karakteristična vrijednost (Orr&Farrell)

$$\gamma^{k, sr} = 19,85 \cdot 1 = 19,85 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma^{k, sr} = 10,04 \cdot 1 = 10,04 \text{ kN/m}^3$$

$$c^{k, sr} = 21,59 \cdot 0,8 = 17,27 \text{ kPa}$$

$$\phi^{k, sr} = \arctan(\tan(18,93) \cdot 0,95) = 18,05^\circ$$

Proračunske vrijednosti

$$\gamma_d = \frac{\gamma_k}{\gamma_c} \quad c = \frac{c_k}{c_c} \quad \phi_d = \tan^{-1} \left(\frac{\tan \phi_k}{\gamma_{tg \phi}} \right)$$

$$\gamma^{d, sr} = \frac{1}{19,85} = 19,85 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma^{d, sr} = \frac{1}{10,04} = 10,04 \text{ kN/m}^3$$

$$c_d = \frac{c_k}{17,27} c_{a, sr} = \frac{13,82 \text{ kPa}}{17,27} = 1,25$$

$$\phi_{d, sr} = \tan^{-1} \left(\frac{\tan \phi_{k, sr}}{1,25} \right), \quad \phi_{k, sr} = 18,05^\circ, \quad \phi_{d, sr} = \tan^{-1} \left(\frac{\tan 21,2^\circ}{1,25} \right) = 14,61^\circ$$

Nosivost tla ispod lukobrana

$$c_d = 13,82 \text{ kPa} \phi_d = 14,61^\circ \gamma^{uroufeno} = 10,04 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^3} \gamma^{saturirano} = 19,85 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^3} \text{ kN}$$

$$V_d = \gamma_{G, DST} \cdot M_d = 1,35 \cdot 2171354,68 = 2931328,82 \text{ kN}$$

$$V_d = \gamma_{Q, DST} \cdot \sum Q = 1,50 \cdot 13500 = 20250 \text{ kN}$$

($Q = 450 \cdot 7,5 \cdot 4 = 13500 \text{ kN}$, prema Eurokodu za promjenjivo opterećenje uzima se 4 kN/m^2)

$$M_d = \gamma_{G, DST} \cdot M_d = 1,35 \cdot 0,00 = 0,00 \text{ kNm}$$

$$M_d = \gamma_{Q, DST} \cdot M_d = 1,50 \cdot 0,00 = 0,00 \text{ kNm}$$

Ekscentricitet e_V

$$e_B = \frac{M_d}{V_d} = 0 \text{ (m)} \leq \frac{6}{B}, \quad 0 \leq \frac{6}{47,23} = 7,87 \text{ m}$$

$$B' = B - 2e_B = 47,23 - 2 \cdot 0 = 47,23 \text{ (m)}$$

$$e_L = \frac{M_d}{V_d} = 0 \text{ (m)} \leq \frac{6}{L}, \quad 0 \leq \frac{6}{450} = 75,00 \text{ m}$$

$$L' = L - 2e_L = 450 - 2 \cdot 0 = 450 \text{ (m)}$$

NOSIVOST TLA ispod pitkog temelja za drenažne uvjete

$$q_{R,d} = c_d \cdot N_c \cdot b_c \cdot S_c \cdot l_c + \sigma'_{v0} \cdot N_q \cdot b_q \cdot S_q \cdot l_q + 0,5 \cdot B' \cdot \gamma \cdot N_\gamma \cdot b_\gamma \cdot S_\gamma \cdot l_\gamma$$

 $\sigma'_{v0} = 0$ kPa (Temeljna ploha je na površini tla)

Faktori nosivosti

$$N_q = e^{\pi \cdot \text{tg}(\phi_d)} \cdot \text{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\phi_d}{2} \right) = e^{\pi \cdot \text{tg}(14,61^\circ)} \cdot \text{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{14,61^\circ}{2} \right) = 3,8$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \text{ctg}(\phi_d) = (3,8 - 1) \cdot \text{ctg}(14,61^\circ) = 10,74$$

$$N_\gamma = 2 \cdot (N_q - 1) \cdot \text{tg}(\phi_d) = 2 \cdot (3,8 - 1) \cdot \text{tg}(14,61^\circ) = 1,46$$

Nagib baze temelja

Horizontalna baza

$$b_c = b_q = b_\gamma = 1$$

Faktori oblika temelja

$$S_q = 1 + \frac{L'}{B'} \cdot \sin \phi_d = 1 + \frac{450}{47,23} \cdot \sin 14,61^\circ = 1,01$$

$$S_\gamma = 1 - 0,3 \cdot \frac{L'}{B'} = 1 - 0,3 \cdot \frac{47,23}{450} = 0,97$$

$$S^c = \frac{S^q \cdot N^q - 1}{1,01 \cdot 3,8 - 1} = \frac{N^q - 1}{3,8 - 1} = 1,01$$

Faktori nagiba rezultante djelovanja

Vertikalno djelovanje

$$l^c = l^q = l^y = 1$$

Nosivost tla

$$q_{R,d} = 13,82 \cdot 10,74 \cdot 1 \cdot 1,01 \cdot 1 + 0 + 0,5 \cdot 47,23 \cdot 10,04 \cdot 1,46 \cdot 1 \cdot 0,97 \cdot 1$$

$$q_{R,d} = 149,21 + 335,77 = 484,98 \text{ kPa}$$

$$R_d = \frac{q_{R,d}}{\gamma_{R,d}} = \frac{484,79 \text{ kPa}}{1,00} = 484,79 \text{ kPa}$$

$$E_d \leq R_d \rightarrow \frac{V_d}{A} \leq R_d$$

$$\frac{2951578,82}{47,23 \cdot 450} \leq 484,79$$

$$138,87 \leq 484,79 \rightarrow \text{zadovoljava}$$

Stupanj iskoristenosti

$$U = \frac{E_d}{R_d} \cdot 100[\%] = \frac{138,87}{474,79} \cdot 100[\%] = 29,04 \%$$

Nedrenirani uvjeti

NOSIVOST TLA ispod plitkog temelja za nedrenirane uvjete

$$q_{R,d} = (\pi + 2) \cdot c_{u,d} \cdot b^c \cdot s^c \cdot l^c + q$$

c_u – nedrenirana čvrstoća tla

q – ukupno naprezanje na razini temeljne plohe

$$b_c = 1 - \frac{\pi + 2}{2\alpha} \alpha - \text{magibbazetemelja}$$

$$s_c = 1 + 0,2 \cdot \frac{L}{B}$$

$$l_c = 0,5 \cdot \left(1 + \sqrt{1 - \frac{H_{E,d}}{B \cdot L \cdot c_{u,d}}} \right) \quad \text{uz } H_{E,d} \leq A' c_{u,d}$$

$$b_c = 1 - \frac{\pi + 2}{2\alpha} = 1 - \frac{\pi + 2}{2 \cdot 0} = 1$$

$$s_c = 1 + 0,2 \cdot \frac{L}{B} = 1 + 0,2 \cdot \frac{47,23}{450} = 1,02$$

$$l_c = 0,5 \cdot \left(1 + \sqrt{1 - \frac{H_{E,d}}{B \cdot L \cdot c_{u,d}}} \right) = 0,5 \cdot (1 + 1) = 1$$

$$q = 0 \text{ kPa}$$

Parametri tla (sredina i kraj presjeka)

$$c_u = 99,84 \text{ kPa}$$

Reducirana karakteristična vrijednost (Orr&Farrell)

$$c_{u,k} = 99,84 \cdot 0,85 = 84,86 \text{ kPa}$$

$$c_{u,d} = \frac{c_{u,k}}{\gamma_{cu}} = \frac{84,86}{1,40} = 60,61 \text{ kN}$$

Nosivost tla

$$q_{R,d} = (\pi + 2) \cdot 60,61 \cdot 1 \cdot 1,02 \cdot 1 + 0 = 317,86 \text{ kPa}$$

$$R_d = \frac{q_{R,d}}{\gamma_{RD}} = \frac{317,86}{1,00} = 317,86 \text{ kPa}$$