

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Selan, U., 2016. Zasnova obalne konstrukcije tretjega pomola v Luki Koper. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Logar, J., somentor Pulko, B.): 80 str.

Datum arhiviranja: 07-06-2016

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Selan, U., 2016. Zasnova obalne konstrukcije tretjega pomola v Luki Koper. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Logar, J., co-supervisor Pulko, B.): 80 pp.

Archiving Date: 07-06-2016

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si

**UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM GRADBENIŠTVO
KONSTRUKCIJSKA SMER**

Kandidat:

URBAN SELAN

**ZASNOVA OBALNE KONSTRUKCIJE TRETJEGA
POMOLA V LUKI KOPER**

Diplomska naloga št.: 3461/KS

**CONCEPTUAL DESIGN OF QUAY WALL FOR PIER III
OF PORT OF KOPER**

Graduation thesis No.: 3461/KS

Mentor:

izr. prof. dr. Janko Logar

Somentor:

doc. dr. Boštjan Pulko

Ljubljana, 26. 05. 2016

POPRAVKI

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **URBAN SELAN** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom
»ZASNOVA OBALNE KONSTRUKCIJE TRETJEGA POMOLA V LUKI KOPER«

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Urban Selan

Ljubljana, 3.5.2016

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	624.131:627.235.2(497.4)(043.2)
Avtor:	Urban Selan
Mentor:	izr. prof. dr. Janko Logar
Somentor:	doc. dr. Boštjan Pulko
Naslov:	Zasnova obalne konstrukcije tretjega pomola v Luki Koper
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	80 str., 32 pregl., 72 slik, 4 prilog
Ključne besede:	tretji pomol, razbremenilna ploščad, odprti pomol, ocena vrednosti gradbenih del

Izvleček

Glavna tema te diplomske naloge je načrtovani tretji pomol v Luki Koper. Natančneje sem se osredotočil na južni del pomola, kateri je edini namenjen luškim potrebam.

V prvem delu so predstavljene teoretične osnove, na podlagi katerih se bo v nadaljevanju gradila zasnova pomola. Izhodišče so členi državnega prostorskega načrta, v katerih so določene namembnosti posameznega dela pomola, njihove predvidene mere ter ostale zahteve, ki se nanašajo na umeščenost luke v širši okolici. Iz že izvedenih geomehanskih preiskav so bile vzete geomehanske karakteristike sestave morskega dna ter definiran prečni prerez skozi pomol, kateri bo služil za zasnovo računskega modela morskega dna v programu Plaxis. Glede na te pogoje je sledila izbira konstrukcijskih tipov pomola. Kot primerna tipa pomola sta bila izbrana dva tipa obalne konstrukcije. Prvi je tip konstrukcije z razbremenilno ploščadjo, katerega osnovna ideja je, da horizontalne pritiske zaledne zemljine prenese na globoko temeljenje - pilote. Naslednji tip, ki bi bil primeren na našem primeru, je tip odprtega pomola. Zasnovo sestavljajo betonska ploščad ter globoko temeljenje na pilotih. Oba tipa sta bila med seboj primerjana tudi z vidika stroškov izvedbe na tekoči meter. Ocenjena pa je tudi celotna vrednost gradbenih del tretjega pomola za vsak tip posebej.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC:	624.131:627.235.2(497.4)(043.2)
Author:	Urban Selan
Supervisor:	Assoc. Prof. Janko Logar, Ph. D.
Co-supervisor:	Assist. Prof. Boštjan Pulko, Ph.D.
Title:	Conceptual design of quay wall for pier III of Port of Koper
Document type:	Graduation Thesis – University studies
Notes:	80 p., 32 tab., 72 fig., 4 ann.
Keywords:	third pier, relieving platform, open quay, estimated cost of construction works

Abstract

The main topic of this graduation thesis is a design for construction of pier III at the Port of Koper. More precisely, my attention has been focused on the southern part of the pier which it only is to be designed for the purposes of the port.

The first part of the thesis presents a theoretical basis for designing the construction of the future pier. The specific purposes of a particular part of the pier, their geometrical assumptions and other requirements related to the installation into the surroundings, are determined by the National Spatial Plan. Geomechanical characteristics of the seabed composition and cross section of the port taken from existing geomechanical measurements are to be used to make a computer seabed model in Plaxis program. The selection of the pier type construction is based on these results. Two types of pier structure have been selected as suitable: one type is a relieving platform whose basic concept is transferring a horizontal back pressure through deep foundations, e.g. piles and the other is an open berth. The design consists of a concrete platform and deep foundations on piles. Both types have also been compared in terms of implementation costs per metre. The cost of Pier III construction works for both types has also been estimated.

ZAHVALA

Za pomoč se najprej zahvaljujem mentorjema izr.prof.dr. Janku Logarju in doc.dr. Boštjanu Pulku za vso strokovno pomoč.

Ob tej priložnosti se zahvaljujem tudi celotni družini, sošolcem, Ani in Tristanu za vso pomoč in podporo med pisanjem diplomske naloge ter študijem.

KAZALO

POPRAVKI.....	I
IZJAVA O AVTORSTVU	II
BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK.....	III
BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	IV
ZAHVALA	V
KAZALO.....	VI
KAZALO PREGLEDNIC	IX
KAZALO SLIK	X
SEZNAM PRILOG	XIII
1 UVOD	1
1.1 Zahteve glede na državni prostorski načrt	1
1.1.1 Načrti za tretji pomol.....	1
1.1.2 Zahodni del tretjega pomola	2
1.1.3 Severni del tretjega pomola	2
1.1.4 Ostalo.....	3
2 METODE	4
2.1 Raziskave tal.....	4
2.1.1 Terenske preiskave	4
2.1.2 Laboratorijske preiskave.....	4
2.2 Tipi pomolov	6
2.2.1 Težnostni zidovi	6
2.2.1.1 Zid iz blokov.....	6
2.2.1.2 L – zid.....	7
2.2.1.3 Keson.....	7
2.2.1.4 Armirana zemljina	8
2.2.1.5 Celična stena.....	8
2.2.2 Vpete stene	9
2.2.2.1 Prostostoječa konzolna zagatna stena.....	9
2.2.2.2 Sidrana zagatna stena.....	9

2.2.2.3	Enojna zagatna stena	10
2.2.2.4	Kombinirana zagatna stena	10
2.2.2.5	Diafragma.....	11
2.2.2.6	»Cofferdam« stena	11
2.2.3	Zagatne stene z razbremenilno ploščadjo.....	11
2.2.3.1	Nizko postavljena razbremenilna ploščad	12
2.2.4	Odprt pomol	13
2.3	Vplivi na obalne konstrukcije	14
2.4	Računalniški program Plaxis.....	14
2.4.1	Modeliranje zemljine.....	15
2.4.1.1	Linearnoelastično modeliranje obnašanja zemljine.....	15
2.4.1.2	Mohr Columb-ov model.....	15
2.4.1.3	»Hardening soil« model (Plaxis 2D, 2011).....	16
3	REZULTATI	17
3.1	Geotehnične lastnosti tal v Luki Koper.....	17
3.1.1	Rezultati preiskav.....	19
3.1.1.1	Laboratorijske preiskave	19
3.1.2	Karakteristične vrednosti.....	21
3.2	Izbira tipa konstrukcije.....	22
3.2.1	Severna stran	22
3.2.2	Južna stran.....	23
3.2.3	Zahodna stran	24
3.3	Računski model	24
3.3.1	Robni pogoji.....	24
3.3.2	Konstrukcijski elementi.....	24
3.3.2.1	Jekleni elementi.....	24
3.3.2.2	Armirano betonski del konstrukcije	24
3.3.3	Vplivi na konstrukcijo.....	25
3.3.3.1	Stalna obtežba	25
3.3.3.2	Koristne obremenitve	25
3.4	Pomol z razbremenilno ploščadjo	28
3.4.1	Kontrola MSU	30

3.4.2	Kontrola nosilnosti MSN.....	44
3.4.2.1	Kontrola nosilnosti kombinirane zagatne stene.....	45
3.4.2.2	Kontrola nosilnosti tlačnih pilotov.....	47
3.4.2.3	Kontrola nosilnosti nateznih pilotov.....	50
3.4.2.4	Kontrola nosilnosti betonskega dela pomola.....	51
3.5	Odprti pomol.....	55
3.5.1	Kontrola MSU.....	55
3.5.2	Kontrola nosilnosti MSN.....	60
3.5.2.1	Kontrola nosilnosti tlačnih pilotov.....	60
3.5.2.2	Kontrola nosilnosti nateznega pilota.....	62
3.5.2.3	Kontrola nosilnosti ploščadi.....	62
3.6	Ocena vrednosti gradbenih del.....	65
3.6.1	Ocena vrednosti gradbenih del – tip pomola z razbremenilno ploščadjo.....	66
3.6.2	Ocena vrednosti gradbenih del – odprti pomol.....	69
4	ZAKLJUČEK.....	73
4.1	Modeliranje v programu Plaxis.....	73
4.2	Pomembnejši zaključki - pomol z razbremenilno ploščadjo.....	73
4.3	Pomembnejši zaključki – odprti pomol.....	73
4.4	Primerjava obeh tipov pomola.....	74
4.5	Zaključek.....	75
VIRI.....		77
SEZNAM PRILOG.....		80

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Sile, ki delujejo na obalno konstrukcijo (Brunn, 1989).....	14
Preglednica 2: Karakteristične vrednosti φ' , dobljene z direktno strižno preiskavo in CU-testom.....	20
Preglednica 3: Karakteristične vrednosti materialnih lastnosti	21
Preglednica 4: Obtežba cestišča	25
Preglednica 5: Vrednost teže skladiščnih kontejnerjev glede na število v višino (CUR, 2005: str. 178)	25
Preglednica 6: Varnostna faktorja pri fazi 1 in fazi 1.1.....	31
Preglednica 7: Varnostna faktorja pri fazi 1.1 in 2.....	32
Preglednica 8: Varnostna faktorja pri fazi 2 in fazi 3.....	33
Preglednica 9: Varnostni faktorji pri poizkusni fazi poglobljanja.....	34
Preglednica 10: Karakteristike različnih tipov zagatnih sten	36
Preglednica 11: Pomik vrha zagatne stene pri fazi 4, 4.1, 4.2 in 4.3.....	37
Preglednica 12: Pomik vrha zagatne stene pri fazi 5.0 in 5.1.....	38
Preglednica 13: Redukcijski faktorji za spremenljive obremenitve pri obalnih konstrukcijah (CUR, 2005: str. 264)	42
Preglednica 14: Kombinacija MSU.....	42
Preglednica 15: Absolutni pomiki točke B pri fazi 10 in fazi 10.1	43
Preglednica 16: Delni faktorji za vplive ali učinke vplivov (SIST EN 1997-1:2005: str. 111)	44
Preglednica 17: Delni faktorji za parametre zemljine (SIST EN 1997-1:2005: str. 112)	45
Preglednica 18: Delni faktorji za zabite in uvtane pilote (SIST EN 1997-1:2005: str.113)	45
Preglednica 19: Notranje sile v kombinirani zagatni steni.....	46
Preglednica 20: Delni faktorji za podporne konstrukcije (SIST EN 1997-1: 2005: str.115)	46
Preglednica 21: MSN-1 in MSN-2 za tlačne pilote.....	47
Preglednica 22: Notranje sile v tlačnih pilotih	49
Preglednica 23: Kombinacija MSN-3 za natezne pilote	50
Preglednica 24: Osne sile in upogibni momenti v razbremenilni ploščadi	51
Preglednica 25: Osne sile v pilotu v osi 2.L.....	60
Preglednica 26: Osne sile v nateznem pilotu.....	62
Preglednica 27: Notranje sile v ploščadi	62
Preglednica 28: Popis del – tip pomola z razbremenilno ploščadjo	66
Preglednica 29: Popis del – odprt pomol	69
Preglednica 30: Ocena vrednosti gradbenih del za oba tipa pomola.....	74
Preglednica 31: Ocena vrednosti gradbenih del	74
Preglednica 32: Ocena vrednosti gradbenih del po konstrukcijskih elementih.....	74

KAZALO SLIK

Slika 1: Grafični načrt tretjega pomola (Luka koper, 2011).....	3
Slika 2: Primer zida iz blokov (a) (CUR, 2005: str. 59) in L-zidu (b) (CUR, 2005: str. 60).....	7
Slika 3: Primer kesona (a) (CUR, 2005: str. 61) in konstrukcije z armirano zemljino (b) (CUR, 2005: str. 62).....	8
Slika 4: Celična stena (CUR, 2005: str. 75)	8
Slika 5: Konzolna zagatna stena (a) ter sidrana zagatna stena (b) (c) (CUR, 2005: str. 64)	10
Slika 6: Tipi zagatnih sten sestavljeni iz enakih profilov in primer veznika, varjenega na dva profila (ThyssenKrupp GFT Bautechnik, 2015)	10
Slika 7: Kombinirane zagatne stene (ThyssenKrupp GFT Bautechnik, 2015).....	11
Slika 8: Postopek izvedbe diafragme (a) (CUR, 2005: str. 66) in Cofferdam stena (b) (CUR, 2005: str. 67).....	11
Slika 9: Primer pomola z razbremenilno ploščadjo (CUR, 2005: str.71).....	13
Slika 10: Primer odprtega pomola (CUR, 2005: str. 73)	13
Slika 11: Geotehnični profil skozi vse tri pomole (Logar, 2010)	17
Slika 12: Sestava tal na lokaciji tretjega pomola (Logar, 2010).....	18
Slika 13: Graf karakteristične vrednosti prostorninske teže dobljenih iz raziskav V-št. vrtine/05.....	19
Slika 14: Merjene vrednosti nedrenirane strižne trdnosti	20
Slika 15: Vrednosti obremenitvenega E_{oed}^{ref} ter razbremenitvenega modula E_{ur}^{ref} , dobljenih iz vrtin V-33/05, V-37/05 in V-39/05 (Selan et al., 2005)	21
Slika 16: Prečni prerez skozi severni del tretjega pomola in shematski prikaz aktivnosti	23
Slika 17: Shematski prikaz obtežbe portalnega žerjava ter mostnega prenosnika.....	26
Slika 18: Ureditvena situacija na tretjem pomolu (Logar, 2015a).....	27
Slika 19: Shematski prikaz obtežbe ter prečni prerez skozi ureditveno situacijo.....	28
Slika 20: Idejna zasnova pomola z razbremenilno ploščadjo	29
Slika 21: Začetna faza	30
Slika 22: Faza 1 – varovalni nasip.....	31
Slika 23: Faza 1.1 - varovalni nasip z ojačitvami	32
Slika 24: Refuliranje kasete (Battelino, 2009).....	32
Slika 25: Faza 2 – refuliranje kasete.....	32
Slika 26: Faktor varnosti pri fazi 3	33
Slika 27: Faza 3 – flišni nasip.....	33
Slika 28: Faza - poizkusna 1	34
Slika 29: Faza – poizkusna 2	34
Slika 30: Prečni prerez zagatnic Larssen 703 10/10 (ThyssenKrupp GFT Bautechnik, 2015)	35
Slika 31: Faza 4 – zagatna stena.....	35

Slika 32: Cevni piloti Φ 813 mm/14,2 mm, z vmesnimi zagatnicami tipa Larssen 703 10/10 (ThyssenKrupp GFT Bautechnik, 2015).....	36
Slika 33: Cevni piloti Φ 813 mm/14,2 mm z dvema zagatnicama Larssen 25	36
Slika 34: Faza 4.3 – poševno postavljena kombinirana zagatna stena	37
Slika 35: Faza 5 – nasip za kombinirano zagatno steno.....	37
Slika 36: Faza 5.1 – skrajšana dolžina kombinirane zagatne stene.....	38
Slika 37: Absolutni pomik točke A pri fazi 5.1.....	38
Slika 38: Faza 6 – sistem globokega temeljenja.....	38
Slika 39: Faza 7 – razbremenilna ploščad	40
Slika 40: Faza 8 – flišni nasip na razbremenilni ploščadi	41
Slika 41: Faza 9 – poglobitev plovnega kanala.....	42
Slika 42: Faza 10 – zunanja obtežba	42
Slika 43: Absolutni pomik točke B pri fazi 10.....	43
Slika 44: Absolutni pomiki faze 10.1.....	44
Slika 45: Osnova sila v kombinirani zagatni steni pri MSN-2.....	46
Slika 46: Upogibni moment v kombinirani zagatni steni pri MSN-2	47
Slika 47: Prikaz distribucije karakterističnega odpora tlačnega pilota v osi 1.B (a) in nateznega pilota v osi 1.E (b).....	49
Slika 48: Potek osnih sil v zabitem delu tlačnih pilotov pri MSN-2.....	50
Slika 49: Potek osnih sil v uvrtanem delu tlačnih pilotov pri MSN-2.....	50
Slika 50: Potek upogibnih momentov v razbremenilni ploščadi pri MSN-2	52
Slika 51: Potek osnih sil v razbremenilni ploščadi pri MSN-2	52
Slika 52: Potek osne sile v podporni steni pri kombinaciji MSN-1	54
Slika 53: Idejna zasnova odprtega tipa pomola.....	55
Slika 54: Začetna faza	56
Slika 55: Faza 1 – varovalni nasip z ojačitvami.....	56
Slika 56: Faza 2 - refuliranje kasete	56
Slika 57: Faza 3 – flišni nasip	56
Slika 58: Faza 4 – vertikalni piloti	57
Slika 59: Faza 5 - ploščad	57
Slika 60: Faza 6 – poglobitev plovnega kanala.....	58
Slika 61: Faza 7 – zunanja obtežba	58
Slika 62: Faza 7 - absolutni pomik plošče.....	58
Slika 63: Faza 7.1 - koza	58
Slika 64: Faza 7.1 – absolutni pomik plošče	59
Slika 65: Faza 7.1 – absolutni pomiki	59
Slika 66: Osne sile v pilotih pri MSN-2.....	60

Slika 67: Osne sile v uvrtanem delu pilotov pri MSN-2	61
Slika 68: Prikaz negativnega trenja ob plašču v pilotu v osi 2.L pri MSN-2	62
Slika 69: Potek osne sile pri MSN-1	64
Slika 70: Potek upogibnega momenta pri MSN-2.....	65
Slika 71: Razdelitev tretjega pomola na območja popisov.....	65
Slika 72: Upoštevano območje poglobljanja – območje 4.....	65

SEZNAM PRILOG

- Priloga A: Globine morskega dna in lokacije vrtin
- Priloga B: Geotehnični profil A-A in B-B (Venturini, 2005)
- Priloga C: Prečni prerez pomola z razbremenilno ploščado
- Priloga D: Prečni prerez odprtega tipa pomola

Ta stran je namenoma prazna.

1 UVOD

Luka Koper je s svojo lego locirana najgloblje v evropsko celino s čimer je bila in je še vedno vstopna točka za Evropsko unijo, katere poslovna središča so iz Kopra preko avtocestnih in železniških povezav dosegljiva v manj kot enem dnevu (Battelino, 2010). Trenutno se večina blaga pretovori preko pristanišč Severnega morja, a pomorska pot iz Azije do severa Evrope je praviloma daljša kot pot do severnojadranskih pristanišč. Zato se lahko pričakuje, da se bodo svetovne ladijske družbe ob primerni infrastrukturi raje odločale za krajšo pot (Kos, 2015).

Prilagajanje in sledenje času, ki ga narekujejo številne in hitre gospodarske spremembe, je za podjetje, ki hoče resno in odločno nastopiti na trgu, v vse večji ponudbi in konkurenčnosti, nujna in edina pot v njeni dolgoročni strategiji. Pristanišče je samo eden izmed mnogih členov v logistični verigi. Podaljšanje prvega in drugega pomola, tretji pomol in predvsem drugi tir so le nekatere glavne smernice in načrti za celostno ponudbo in razvoj koprške luke, ki bi s svojo geografsko lego ponudila zanesljive in hitre pristaniške storitve.

1.1 Zahteve glede na državni prostorski načrt

Zahteve, ki se nanašajo na izgradnjo tretjega pomola, so vzete iz Uradnega lista Republike Slovenije: Uredba o državnem prostorskem načrtu za celovito prostorsko ureditev pristanišča za mednarodni promet v Kopru (v nadaljevanju DPN). Določa načrtovane prostorske ureditve, območje državnega prostorskega načrta, pogoje glede namembnosti posegov v prostor ter ostale pogoje in zahteve za celostno ureditev pristanišča kot tudi kontaktnih območij med pristaniščem ter urbanim okoljem.

V nadaljevanju so navedeni posamezni členi s podtočkami, ki so pomembne za nadaljnje odločitve pri konstrukcijski zasnovi in izbiri tipa pomola.

1.1.1 Načrti za tretji pomol

40. člen (ureditev tretjega pomola)

(1) Tretji pomol se zgradi na severnem delu tretjega bazena. Pomol na severni strani meji na izlivno območje Ankaranskega obrobnega kanala in zaliv Sv. Katarina. Operativna širina novega pomola znaša 307 m, maksimalna širina na prerezu čez oblikovano obalo pa 366 m. Skupna dolžina južne obale pomola znaša približno 1 065 m. Celotna površina pomola znaša okvirno 30 ha.

(2) Pomol se delno izvede z zasipavanjem delno pa kot armiranobetonska konstrukcija, globoko temeljena na pilotih. Nasip se na severni strani zaključuje z oblikovanim skalometom, armiranobetonska konstrukcija pa s platojem za svetilnik. Zgornja kota tretjega pomola se izvede na +3,5 m n.v.

(4) Gradnja tretjega pomola lahko poteka fazno. Posamezni deli pomola, ki niso predvideni za potrebe pristanišča Koper, se izvedejo z ločeno konstrukcijo ter skladno s 66., 69. in 70. členi te uredbe.

1.1.2 Zahodni del tretjega pomola

66. člen (pomol za potrebe slovenske vojske)

(1) Za potrebe Slovenske vojske se na čelu tretjega pomola načrtujejo operativna obala približne dolžine 300 m in obala širine 50 m, kjer se postavijo objekti, parkirišča in ostali objekti in naprave za delovanje območja, vključno z valobranom.

(7) Pred operativno obalo se izvede valobran kot armiranobetonska konstrukcija z globokim temeljenjem.

(10) Površine za potrebe Slovenske vojske na tretjem pomolu morajo biti varnostno in konstrukcijsko ločene od tretjega pomola, ki je namenjen pristanišču Koper.

1.1.3 Severni del tretjega pomola

69. člen (severni rob tretjega pomola)

(1) Severni rob tretjega pomola med protihrupno bariero in morjem se nameni javni rabi z izvedbo povezave za pešce, kolesarske in prometne povezave.

(2) Konstrukcija tretjega pomola se zaradi varnosti zaščiti z armiranobetonskim zaščitnim zidom, višine 110 cm, s prirezanim vrhom pod kotom 45°. Del pomola, ki je bližje kopnemu, se izvede na nasutju. Globina morja je na tem delu med –2,5 m do –3 m. Konstrukcija pomola se zavaruje s kamnitim nasipom, ki je zaščiten s kamnometom z maksimalnim nagibom 1:2,5.

(3) Na sredinskem delu tretjega pomola se izvede razširitev nasutega dela s prodcem in uredi obala za namen javne uporabe. Ob stiku s peš potjo se izvede drevored. Drevesa se zasadijo v betonska korita brez dna, minimalne velikosti 2 m × 2 m.

70. člen (svetilnik na tretjem pomolu)

(1) Na koncu tretjega pomola se izvede svetilnik AN9, ki je javno dostopen pešcem in kolesarjem z izvedbo hodnika ob cesti 50, ki poteka po severnem delu tretjega pomola in povezuje območje Slovenske vojske na kopnem in vojaško pristanišče na čelu tretjega pomola. Območje svetilnika je tako vpeto v omrežje javnih pešpoti in kolesarskih povezav med Ankaranom in Koprom.

(6) Območje svetilnika se lahko izvede konstrukcijsko ločeno od dela tretjega pomola, ki je namenjen pristanišču Koper.

72. člen (kolesarske povezave in povezave za pešce)

(5) Pločnik širine 1,6 m in dvosmerna kolesarska steza širine 2,5 m se navezujeta na obstoječe omrežje peš in kolesarskih poti. Dolžina peš in kolesarske poti je približno 6,6 km.

77. člen (odsek nove javne ceste 50 po severnem robu tretjega pomola z navezavo na Jadransko cesto)

(2) Cesta 50 je širine 6 m oziroma 5,5 m, na delu mimo črpališča Ankaran, kjer ne sme posegati v objekt kulturne dediščine.



Slika 1: Grafični načrt tretjega pomola (Luka koper, 2011)

1.1.4 Ostalo

41. člen (ureditve bazenov)

(1) Obstoječi bazeni se uredi v naslednjih približnih merah

– tretji bazen v enotni širini 250 m in dolžini 1 365 m.

(2) Izvedejo se poglobitve morskega dna v vseh treh bazenih. Maksimalne globine poglobljenega dna znašajo:

– do -15 m hidrografske globine v prvem bazenu,

– do -16 m hidrografske globine v drugem bazenu,

– do -18 m hidrografske globine v tretjem bazenu in

– do -16 m hidrografske globine na območju privezov za tankerje.

(3) Maksimalna globina bazena ne sme biti večja od globine vhodnih kanalov v pristanišče.

(4) Dno v vseh treh bazenih se izvede gladko.

111. člen (varstvo morske vode)

(6) Pri izdelavi projektne dokumentacije za pridobitev gradbenega dovoljenja za tretji pomol se z vidika ohranjanja cirkulacije vodnih mas preveri izvedba pilotiranja z največjo možno razdaljo med piloti, pri čimer imajo piloti lahko večji premer in debelino.

2 METODE

2.1 Raziskave tal

2.1.1 Terenske preiskave

Krilna sonda (Logar, 2015c):

Z njo na terenu merimo nedrenirano strižno trdnost c_u . Merilna sonda je s krilci vtisnjena v tla, kjer se s torzijsko obremenitvijo zemljine izračuna strižno trdnost, ki je zaradi relativno hitre preiskave nedrenirana strižna trdnost. Meritve so bile izvedene v sloju mehkih meljno glinastih zemljin).

2.1.2 Laboratorijske preiskave

Triosna strižna preiskava (Pulko, 2015):

Izvajamo jih v triosnih aparatih v pogojih osnosimetričnega napetostnega in deformacijskega stanja. Vzorec je obremenjen z hidrostatskim napetostnim stanjem $\sigma_{celični} = \sigma_1 = \sigma_3$ in dodatno vertikalno osno silo P , kjer je A^* deformiran prerez vzorca. Tako dobimo totalno vertikalno napetost na vzorec:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \frac{P}{A^*}$$

Vrste triosnih testov:

- 1.) nekonsolidirana – nedrenirana («unconsolidated – undrained») ali hitri test (UU - test). Pri tej preiskavi so drenaže zaprte v vseh fazah testa.

Namen preiskave: trdnostni parametri

Rezultati: c_u ; G_u

- 2.) konsolidirana – nedrenirana («consolidated – undrained») ali CU – test. Na začetku pri konsolidaciji s konstantno vrednostjo celičnega tlaka $\sigma_1 = \sigma_3$, pri čemer so drenaže na vzorcu odprte, merimo spremembo volumna v vzorcu. Drenaže zapremo po končani konsolidaciji in obremenjujemo z naraščajočo osno silo P . Ker so drenaže zaprte, je volumen vzorca konstanten: $\varepsilon_v = 0$, zaradi povečanja pornih tlakov pa so efektivne napetosti zmanjšane za njihovo vrednost:

$$\sigma_i' = \sigma_i - u$$

Namen preiskave: trdnostni parametri

Rezultati: c' ; φ' ; K

- 3.) konsolidirana – drenirana (consolidated - drained) ali CD test. Drenaže so odprte tako med konsolidacijo kot tudi po obremenitvi, zato vrednosti volumenske deformacije: ε_v ni enak 0. Teste izvajamo počasi, da ne pride do naraščanja pornih pritiskov ($u = 0$).

Namen preiskave: trdnostni in deformacijski parametri

Rezultati: c' ; φ' ; K ; G

Kot razmikanja dobimo iz razmerja med volumsko ε_V ter vertikalno deformacijo ε_I (CUR, 2005: str. 145):

$$\sin\Psi = \frac{\varepsilon_V}{\varepsilon_V - 2 \cdot \varepsilon_I}$$

V primeru močno prekonsolidiranih in glinenih tal je kot razmikanja približno enak 0, medtem ko je v peščenih in prodnih tleh odvisen od napetostnega stanja in strižnega kota tal. Za strižne kote manjše od 30° , pogosto privzamemo $\Psi = 0^\circ$, drugače pa lahko uporabimo naslednjo enačbo (CUR, 2005: str. 141):

$$\Psi \approx \varphi - 30^\circ$$

Direktna strižna preiskava:

Preizkus poteka v strižni celici, sestavljeni iz dveh delov. Spodnja je fiksna, zgornja pa premična v horizontalni smeri. Najprej vzorec obremenimo z vertikalno silo P , nato pa po končani konsolidaciji vzorec strižno obremenjujemo do porušitve (Pulko, 2015).

Edometer:

Geomehanska preiskava s katero ugotavljamo deformabilnostne karakteristike zemljin, ter njihove konsolidacijske lastnosti – odvisnost med časom ter posedki. Zaradi togega oklepa, ki ne dopušča bočnih deformacij, lahko preizkušancu v enoosnih deformacijskih pogojih, pri posameznih stopnjah navpične obremenitve merimo (UL FGG, 2015):

- trajanje primarne konsolidacije (koeficient konsolidacije),
- velikost posedanja pri sekundarni konsolidaciji (parameter sekundarne konsolidacije),
- modul stisljivosti (E_{oed}) pri posamezni bremenski stopnji.

Preizkušane obremenjujemo ter razbremenjujemo v več korakih. Tako preiskava omogoča ugotovitev nelinearnega odnosa med obremenitvijo ter deformacijo.

Rezultat je krivulja stisljivosti $\rho = \rho(\sigma')$ oziroma količnik por $e = e(\sigma')$, iz katere izračunamo za spremembo efektivnih vertikalnih napetosti σ' v temeljnih tleh modul stisljivosti $M_V = E_{oed}$ (Majes, 2015):

$$E_{oed} = -\frac{\Delta\sigma}{\Delta e} \cdot (1 + e_\alpha)$$

2.2 Tipi pomolov

Obalne konstrukcije delimo na naslednje tipe (CUR, 2005: str. 58):

- težnostni zidovi,
- vpete stene,
- zagatne stene z razbremenilno ploščadjo,
- odprti pomoli.

2.2.1 Težnostni zidovi

Najbolj enostavna obalna konstrukcija je težnostni zid. Kot že samo ime pove, zadržuje zaledno obremenitev s svojo lastno težo. Težnostni zid se ne sme ne prevrniti ne zdrsniti. Z izjemno veliko lastno težo ustvarimo izjemne obremenitve v spodnji nosilni plasti.

Tipi:

- zid iz blokov
- L-zid
- keson
- celična stena
- armirane zemljine.

Primerne so:

- kjer temeljna tla niso primerna za pilotne stene, v primerih homogenih skal ali gostega proda ali peska;
- ko imajo temeljna tla zadostno nosilnost.

Težnostne zidove pogosto sestavljajo montažni elementi. Vsi imajo naravno temeljenje, torej kar plast, ki je pod njimi. Seveda pa ta plast ne sme ležati pregloboko pod morsko gladino ali pa je potrebno obsežno izboljševanje temeljnih tal. Porni tlak zaledne vode ter možen zdrs posteljice lahko resno ogrozita stabilnost konstrukcije.

Primerni so za dolge pomole, če transport in vgradnja ne predstavljata večjega stroška. Kjer so stroški gradbenega materiala visoki, sta L-zid ter keson najprimernejša.

2.2.1.1 Zid iz blokov

Najenostavnejši tip zidu je sestavljen iz betonskih blokov ali pravilno oblikovanih kamnitih blokov, zloženih drugega na drugem. Postavljeni so iz vodne strani na temeljno plast gramoza ali mletega kamna, zgoraj pa so zaključeni z armirano betonsko kapo. Zaradi velike teže je konstrukcija primerna

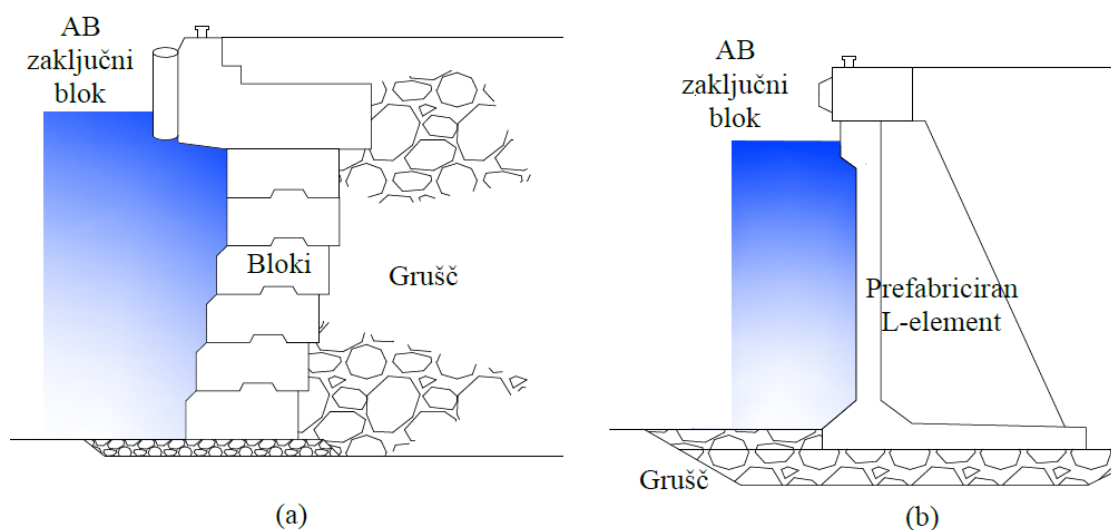
samo za dobro nosilna tla. Obvezno moramo uporabiti drenažo, ki odvaja padavinsko vodo, hkrati pa prepreči izpiranje zaledne zemljine izza zidu. Tak tip je v uporabi do 20 m globine.

Prednost pred drugimi težnostnimi tipi je v tem, da je potrebnega malo dela, po drugi strani pa zahteva veliko količino uporabljenega materiala.

2.2.1.2 L – zid

Stabilnost je zagotovljena z lastno težo zidu in težo zemljine, ki leži nad spodnjim delom konstrukcije. Teža ugodno deluje v nasprotni smeri rotacije, kot jo povzroča zaledna zemljina na konstrukcijo. Uporabimo ga, ko tla za prejšnji tip niso zadosti nosilna. L–elementi so lahko narejeni v suhi gradbeni jami ali pa so montažni in položeni na prej pripravljeno gramozno posteljico.

Ravno tako je primeren, ko želimo prihraniti pri ceni materiala. Visoki stroški te oblike so lahko posledica priprave suhe gradbene jame, transporta montažnih elementov in vgradnje, zato jih uporabljamo samo za dolge pomole.



Slika 2: Primer zida iz blokov (a) (CUR, 2005: str. 59) in L-zidu (b) (CUR, 2005: str. 60)

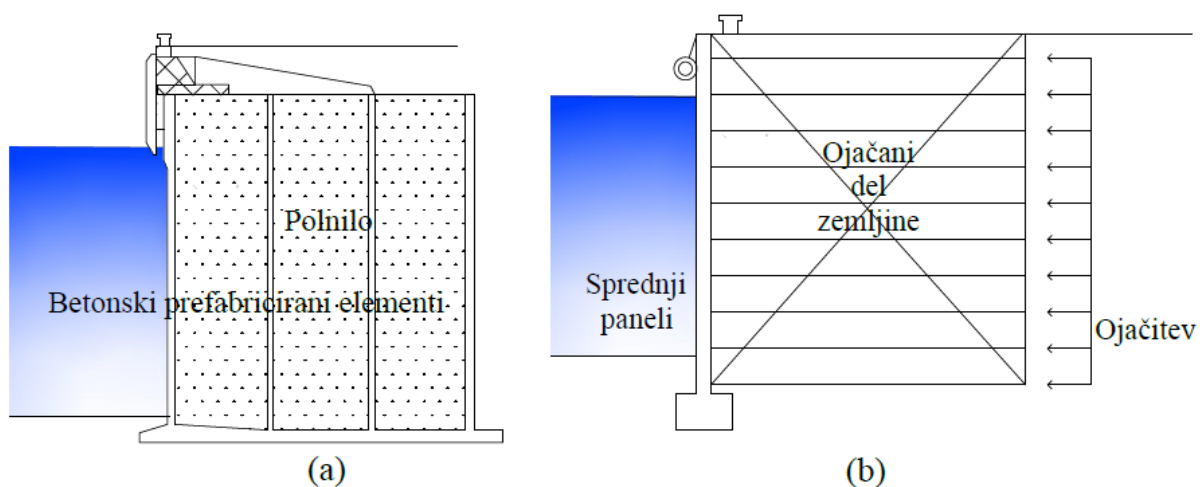
2.2.1.3 Keson

Kesoni so veliki votli montažni celični elementi. Vgrajeni so s pomočjo plavajočega platoja in potopljeni na njihovo predvideno mesto. Pred vgradnjo je potrebno odstraniti vse slabe plasti temeljnih tal. Nadalje so napolnjeni z materialom, ki zagotovi veliko lastno težo. Vrh kesona je po navadi nad vodno gladino in z zaključkom, izdelanim na samem mestu.

Keson je sicer ekonomičen zaradi vgrajenega materiala, ampak delovno zelo zahtevna konstrukcija. Visoke stroške povzroči gradnja elementov, plavajoči plato in transport. Pozabiti ne smemo na razpoložljivo mesto za manipulacijo in možnosti dostave kesona na mesto vgradnje.

2.2.1.4 Armirana zemljina

Zemlja je armirana z nateznimi elementi, kot so kovinski trakovi, obroči ali ploskovne ojačitve – geotekstil ali geomreže. Primarni mehanizem za prenos napetosti je trenje med površino ojačitev in okolno zemljino. Ojačitve se vstavljajo vmesno med vgrajevanjem zemljine. Kritični faktor so stiki med ojačitvami in panelom.



Slika 3: Primer kesona (a) (CUR, 2005: str. 61) in konstrukcije z armirano zemljino (b) (CUR, 2005: str. 62)

2.2.1.5 Celična stena

Celice so sestavljene iz ravnih jeklenih profilov, ki so med sabo povezani v celično steno. Sestavljene so na obali ali v vodi in kasneje napolnjene s peskom in drugim materialom. Ker so stene razmeroma tanke, so občutljive ob trkih. Če se poškoduje stena, se lahko pojavi nestabilnost. Upoštevati je treba tudi možnost korozije, posebej v agresivnih območjih.



Slika 4: Celična stena (CUR, 2005: str. 75)

Za ta tip konstrukcije je potrebno relativno malo materiala in konstrukcijskih elementov, kar je ekonomsko zelo ugodno.

2.2.2 Vpete stene

Stabilnost in nosilnost konzolno vpete stene izhaja iz vpetja v tla, pogosto tudi s kombinacijo sidranja.

Poznamo:

- zagatno steno,
- sidrano zagatno steno,
- kombinirano steno,
- diafragmo,
- »cofferdam« - dvojno zagatno steno,
- pilotno steno.

Uporabljene so tam, kjer so temeljna tla slabo nosilna in kjer je možna penetracija pilotne stene v temeljna tla. Vertikalni elementi so med seboj tudi spojeni in na vrhu zaključeni s konstrukcijo, s pripomočki za pristajanje in privez ladij. Ravno tako je potrebna zaščita posteljice pred erozijo in drenaža za konstrukcijo zaradi pritiskov zaledne vode.

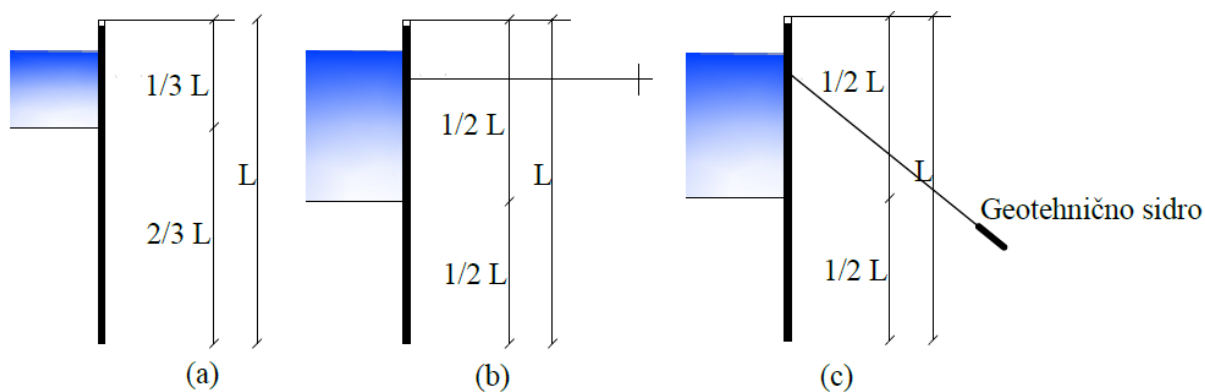
Zaradi ekonomskega vidika so pilotne stene uporabljene največkrat. Minimalni pogoj je, da se stena zlahka vgradi v temeljna tla.

2.2.2.1 Prostostoječa konzolna zagatna stena

Če zagatna stena ni sidrana, se ta obnaša kot nosilec, ki prenaša napetost v temeljna tla. Natančneje - kot previsni nosilec, ki je elastično sidran v tla. Na dnu aktivirani pasivni zemeljski pritisk plasti pod morskim dnom omogoča ravnotežje proti pritisku zaledne zemljine. Prostostoječe stene so po navadi uporabljene za manjše lesene, betonske in kovinske konstrukcije.

2.2.2.2 Sidrana zagatna stena

Za višje stene postane nujno, da se sidra zgornji del, ki prevzame horizontalne zaledne pritiske. V principu deluje kot nosilec na dveh podporah. Na dnu je zemljina, na vrhu pa sidro. Možne so različne vrste sidranja.



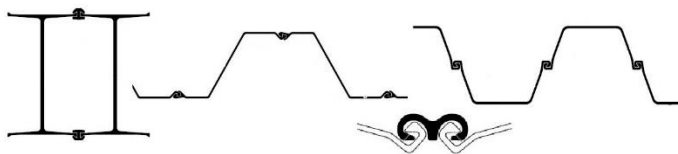
Slika 5: Konzolna zagatna stena (a) ter sidrana zagatna stena (b) (c) (CUR, 2005: str. 64)

Funkcija sider je podprtje zgornjega dela zagatne stene. Sestavljena so iz veznega in prostega dela.

Za zmanjšanje horizontalnih pomikov bi bolj kot navadno sidranje uporabili natezne pilote. Lahko imajo odprto ali zaprto krožno konico, lahko so H prečnega prereza ali pa z dodatno sprotno vgrajeno injekcijsko maso za boljši stik med plaščem in okolno zemljino. Natezni piloti so pa navadi izvedeni v sklopu kože, dveh pilotov, vgrajenih pod kotom, med katerima je eden tlačno, drugi pa natežno obremenjen. S takim sidranjem dosežemo učinkovitejše rezultate, saj so daljši, večjih premerov, lažje vgradljivi in imajo zato tudi večjo nosilnost.

2.2.2.3 Enojna zagatna stena

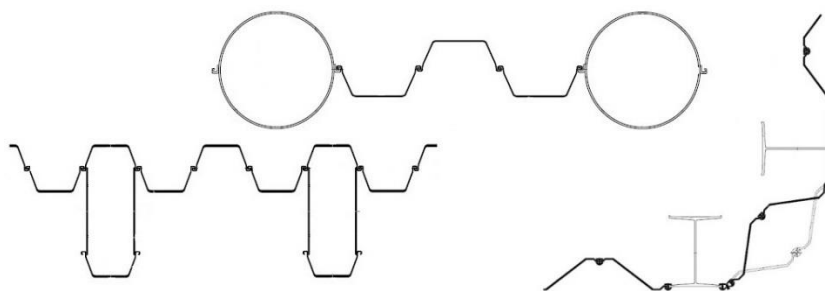
Lahko je lesena, betonska ali jeklena. Lesene zagatne stene so uporabljene samo v manjših konstrukcijah. Montažni betonski elementi so ravni ali kot U-profil. Ravni profili so primerni za nižje konstrukcije in so vgrajeni s pomočjo vibriranja v temeljna tla. U-profil imajo višji odpornostni moment in so tako uporabljeni za višje konstrukcije in večje obremenitve. Jekleni profili so dobavljeni posamezno v oblikah U-, H- ali Z-prečnega prereza. Če so zahtevane še višje konstrukcije, uporabimo kombinirane zagatne stene.



Slika 6: Tipi zagatnih sten sestavljeni iz enakih profilov in primer veznika, varjenega na dva profila
(ThyssenKrupp GFT Bautechnik, 2015)

2.2.2.4 Kombinirana zagatna stena

Kombinirane zagatne stene so sestavljene iz več različnih oblik zagatnic. Sestavljene so iz primarnih elementov, ki so globoko zasidrani v temeljna tla v določenem rastru. Prenesajo sile v temeljna tla in sidra. Vmes so sekundarni elementi - standardni profili, ki so krajši in zavarjeni med primarnimi elementi.



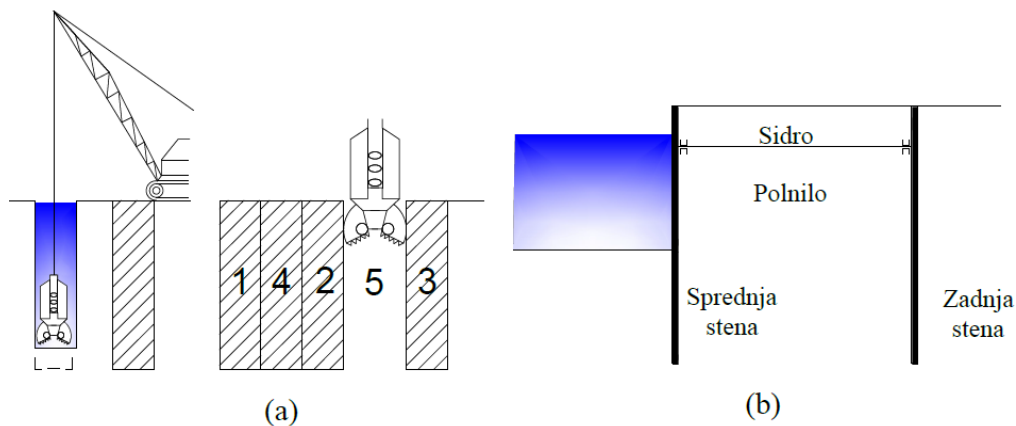
Slika 7: Kombinirane zagatne stene (ThyssenKrupp GFT Bautechnik, 2015)

2.2.2.5 Diafragma

Je tip armirane betonske stene, izdelane na samem mestu. Stene predhodno izdelanega jarka so varovane z betonitno izplako, da ne pride do njihove porušitve. To je naravna glina s plastičnimi in vodotesnimi lastnosti. Ko je dosežena zadostna globina, se vstavi armaturni koš in se zalije z betonom. Paneli so po navadi ravni, lahko pa T-oblike. Debelina stene varira med 0,5 do 2 m, v širino pa od 2,5 do 7,2 m.

2.2.2.6 »Cofferdam« stena

Sestavljena je iz dveh zaporednih zagatnih sten – dvojna zagatna stena. Območje med njima je zapolnjeno z zemljino, ki prenaša pritisk zaledne zemljine v temeljna tla. Obe steni sta pogosto povezani z enim ali več sidri. Svojo nosilnost dobijo iz strižne nosilnosti in lastne teže zemljine med stenama. Steni sta si tako blizu, da se aktivni pritiski prednje stene prekrivajo s pasivnimi pritiski zadnje stene, zato zadnja stena ne more biti obravnavana kot običajna stena s sidri.



Slika 8: Postopek izvedbe diafragme (a) (CUR, 2005: str. 66) in Cofferdam stena (b) (CUR, 2005: str. 67)

2.2.3 Zagatne stene z razbremenilno ploščadjo

Pri tem tipu obalne konstrukcije je ideja, ki temelji na zmanjšanju horizontalnih pritiskov s pomočjo razbremenilne ploščadi. Konstrukcija je sestavljena iz zagatne stene na morski strani ter sistema

temeljenja s tlačnimi in nateznimi piloti na kopni strani. Na njih nalega razbremenilna ploščad, ki je lahko postavljena na različnih globinah.

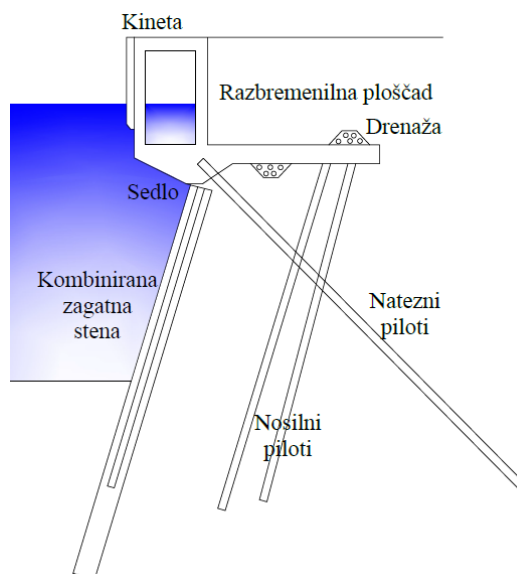
Uporabljene so večinoma v primerih:

- velike globine morja ob obalni konstrukciji,
- velike obtežbe,
- visoke zahteve glede togosti (žerjavne proge),
- brez razbremenilne ploščadi ne bi bilo možno zgraditi tako visoke konstrukcije ali pa ne bi bilo ekonomsko upravičeno.

Konstrukcijski sistem ima za cilj prevzeti horizontalne zaledne pritiske s pomočjo vertikalnih pilotov, natančneje s kombinacijo kože – nateznega in tlačnega pilota ter tudi deloma z zagatno steno. Naleganje leve noge žerjava direktno na notranjo stran kinete je dobra izbira, saj se tako obtežba direktno po njej prenese v temeljna tla. Razbremenilna ploščad prenaša težo vsega nasutja in obtežbe na tem nasutju na sistem globokega temeljenja in nato ravno tako naprej globoko v temeljna tla. V določenih mejah povzroči tudi ugodno delovanje na samo stabilnost konstrukcije. Po navadi so za ploščad in kineto uporabljeni montažni elementi. Zagatna stena je lahko kombinirana stena ali diafragma. Glede na razdaljo med osmi žerjava je temelj kopenske tirnice luškega žerjava vključen v samo konstrukcijo ali pa je temeljen posebej.

2.2.3.1 Nizko postavljena razbremenilna ploščad

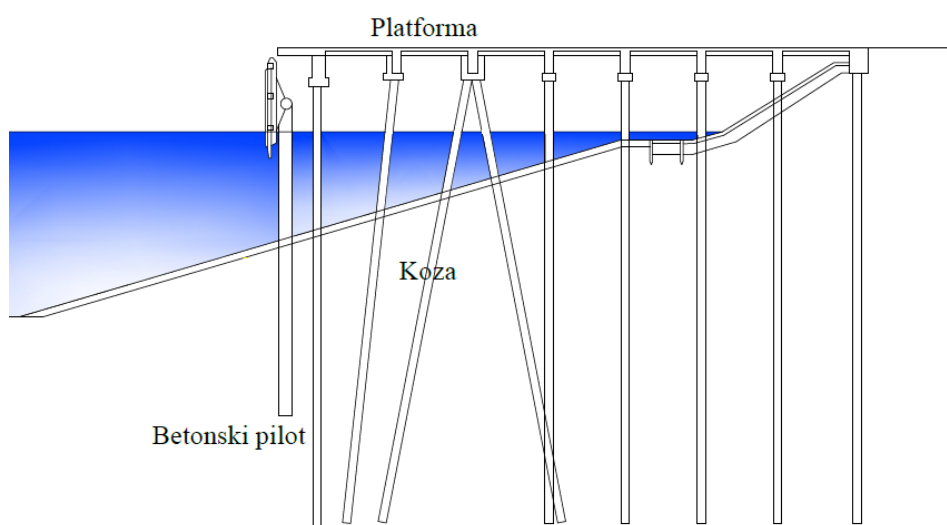
S konstrukcijami z nizko postavljenimi razbremenilnimi ploščadmi je možno premagovanje še veliko večjih višin, zato se zniža tudi višina zadrževalne stene, tako da so težave pri vgrajevanju in dimenzioniranju le te, reducirane na katerokoli željeno raven. To je pomembno predvsem pri kombiniranih stenah, kjer imamo tudi manjši stik med primarnimi nosilnimi elementi ter sekundarnimi. Tudi tukaj je razbremenilna ploščad temeljena s sistemom tlačnih pilotov ter nateznega pilota. Postavljena je lahko tudi poševno.



Slika 9: Primer pomola z razbremenilno ploščadjo (CUR, 2005: str.71)

2.2.4 Odprt pomol

Ta tip konstrukcije je drugačen od ostalih, saj višinska razlika v terenu ni premoščena z vertikalnim zidom, ampak z naklonom. Konstrukcija vsebuje horizontalno ploščad, ki stoji na vertikalnih in poševnih pilotih. Vertikalne sile prevzemajo vertikalni piloti, ki so vezani na horizontalno ploščad, medtem ko horizontalne sile prevzemajo koze. Spodaj mora biti brežina zaprta, da ščiti pobočje pred tokovi, propelerji ladij in valovi, ki se zaletavajo vanjo. Slaba stran teh tipov pomolov je težko vzdrževanje brežine pod pomolom. So tudi zelo občutljivi na trke. Da zmanjšamo velikost odprtega pomola, lahko strmino v zgornjem pobočju zapremo s težnostnim zidom ali sidrano zagatno steno.



Slika 10: Primer odprtega pomola (CUR, 2005: str. 73)

2.3 Vplivi na obalne konstrukcije

Preglednica 1: Sile, ki delujejo na obalno konstrukcijo (Brunn, 1989)

MORSKA STRAN			
Morje	Pristajanje plovil	Plovila na privezu	
valovi	motorji plovil	sile trka - pristajanja	temperaturno krčenje in raztezanje
pritisk ledu	sile ob sprednji strani pomola	morski tok	žerjavi
	sile trka - pristajanja	veter	veter
		valovi	razsuti tovor

LASTNA TEŽA		
Horizontalne sile	Lastna teža	Koristna teža in zunanji vplivi
temperaturno raztezanje in krčenje	pomol	tovor in oprema za pretovarjanje
žerjavi	objekti na pomolu	sneg
veter		vzgon zaradi ledu
razsuti tovor		

SILE ZALEDNE ZEMLJINE	
Horizontalne sile	Vertikalne sile
zemeljski pritisk zaradi lastne teže nasutja	lastna teža nasutja
zemeljski pritisk zaradi obtežbe na nasutju	obtežba na nasutju
porni tlak	

2.4 Računalniški program Plaxis

Plaxis je bil razvit posebej za analizo deformacij in stabilnosti geotehničnih inženirskih objektov. Računi temeljijo na metodi končnih elementov ob upoštevanju nelinearnih materialnih modelov. Zelo je uporaben tudi za spremljanje računskih vrednosti v odvisnosti od časa.

Razdeljen je na dva dela:

- PLAXIS 2D Input
- PLAXIS 2D Output

V »Input« definiramo računski model, »Output« pa nam služi za prikaz rezultatov. Podatke pripravimo v naslednjem vrstnem redu:

- definiramo sestavo in lastnosti temeljnih tal,
- definicija geometrije in lastnosti konstrukcije,
- definicija robnih pogojev in obtežb,
- generiranje mreže končnih elementov,
- definiranje nivojev vode,
- definiranje postopnosti gradnje.

2.4.1 Modeliranje zemljine

V programu najprej sestavimo prerez skozi temeljna tla. Za definiranje obnašanja nekega sloja zemljine izbiramo med tremi možnostmi, ki so opisane z različnimi parametri.

2.4.1.1 Linearnoelastično modeliranje obnašanja zemljine

Obnašanje zemljine je izrazito nelinearno, tudi deformacije so večinoma nepovratne, zato lahko sklepamo, da je linearno elastičen model nezadosten za opis njihovega delovanja. Primernejši je za opis obnašanja betonskih elementov ali nepoškodovanih kamnitih plasti. Model definiramo z dvema izmed togostih parametrov E' (Young-ov modul) in ν' (Poissonov količnik) ali G (strižni modul) in E_{oed} (modul stisljivosti) (Plaxis 2D, 2011).

Ta model je uporaben v določenih okvirjih, saj nam ne omogoča prikaza porušitve materiala. Pri n -kratni obtežbi dobimo tudi n -kratne velike deformacije. V našem primeru je neuporaben, zato ga izpustimo.

2.4.1.2 Mohr Columb-ov model

Pogosto uporabljen model za elastoplastično analizo obnašanja zemljin, ki predstavlja prvi približni način za opis obnašanja zemljin in kamnitih plasti. Poleg togostnih parametrov E' in ν' so potrebni še trije parametri trdnosti:

- c'_{ref} kohezija [kN/m^2],
- φ' kot trenja [$^\circ$],
- ψ kot razmikanja [$^\circ$].

MC-model dosti boljše opiše obnašanje tal, kar je dobra rešitev v primerih, ko posamezne plasti niso pod vplivom obremenjevanja in razbremenjevanja. Torej je za vsako plast podana samo merodajna konstantna togost ali pa togost narašča linearno z globino.

2.4.1.3 »Hardening soil« model (Plaxis 2D, 2011)

Zaradi ciklične obtežbe kot posledice pretovarjanja kontejnerjev v vseh plasteh temeljnih tal prihaja do ponavljajočega obremenjevanja in razbremenjevanja. Z uporabo tega modela še natančneje definiramo obnašanje tal, saj omogoča upoštevanje različne togosti pri obremenjevanju in razbremenjevanju ter upošteva utrjevanje v sferni in deviatorični smeri. Definiran je z naslednjimi karakteristikami, ki jih podajamo ob isti referenčni napetosti σ^{ref} :

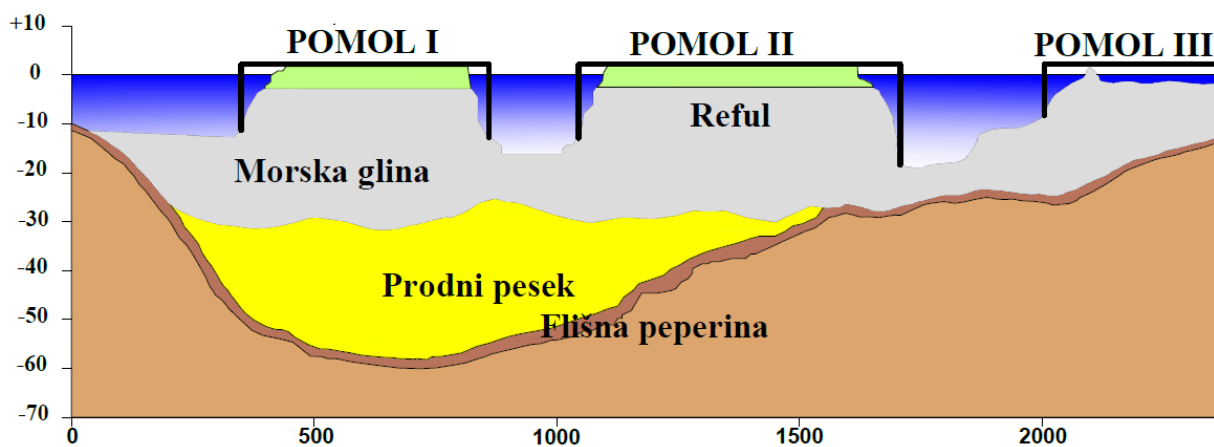
- deformacijski modul E_{50}^{ref} [kN/m²] - njegovo vrednost dobimo pri 50 % mobilizirani strižni trdnosti vzorca kot sekantni modul;
- edometrski obremenitveni modul E_{oed}^{ref} [kN/m²] - podan je v odvisnosti od vertikalne napetosti σ_1 kot tangentni modul;
- razbremenitveni modul E_{ur}^{ref} [kN/m²].

3 REZULTATI

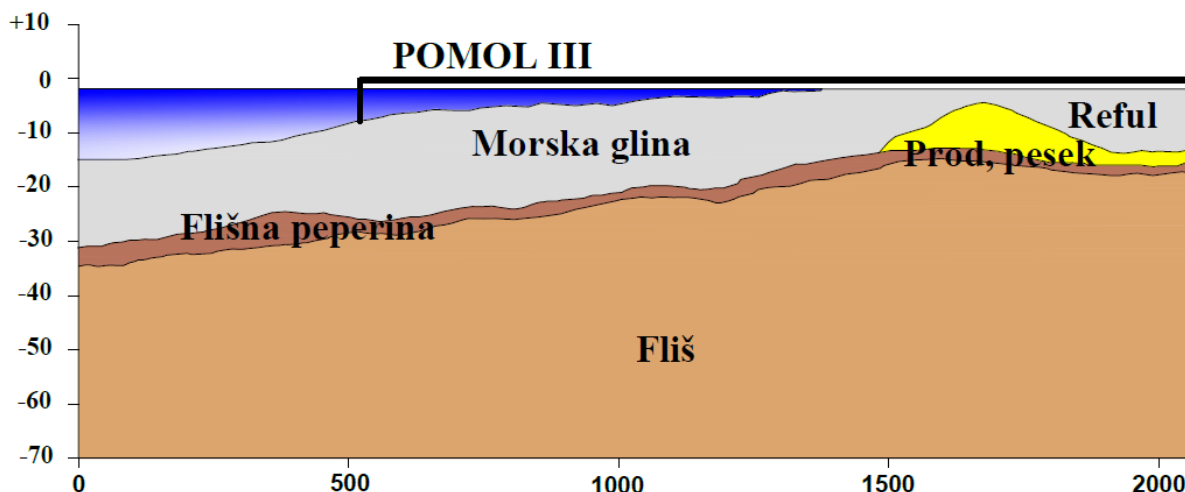
3.1 Geotehnične lastnosti tal v Luki Koper

Celotno področje Luke Koper sestavlja nekaj značilnih plasti morskega dna. Prvo oziroma temeljno plast predstavlja flišna podlaga, ki najbolj variira od juga proti severu. Na jugu, kjer je staro mestno jedro, je kota fliša najvišja, in sicer -10 m n.v. Proti prvemu pomolu kota podlage strmo pade na -60 m n.v. Nad flišno podlago se pojavi naslednja plast – flišna peperina, ki nima izrazitejšje debeline in predstavlja bolj prehod iz trdne podlage v sloj mehke morske gline. Tu, kjer se reka Rižana izliva v morje, se pojavi plast prodnih in peščenih nanosov, ki lepo sovpada z lego flišne kotanje. Proti tretjemu pomolu se kota fliša ponovno dvigne na koto -20 m n.v., plasti prodnih in peščenih nanosov pa ni več. Ta po celem območju, razen na severnem delu tretjega pomola zavzema okoli 20 m višinske razlike. Mestoma je prekinjena s plastmi meljastih peskov, vložki drobnega peska, organskih glin in šote.

Pomoli so bili izvedeni z odlaganjem in kasneje s konsolidacijo refula – prečrpana morska glina, pridobljena s črpalnim bagrom pri vzdrževanju bazenov. Njegove lastnosti so praviloma zelo podobne morski glini. Za zgornja utrjena nasutja se uporabljajo pretežno flišni in karbonatni grušči.



Slika 11: Geotehnični profil skozi vse tri pomole (Logar, 2010)



Slika 12: Sestava tal na lokaciji tretjega pomola (Logar, 2010)

Značilne plasti na lokaciji tretjega pomola so bile določene na podlagi klasifikacije materialov iz izvedenih vrtin, katerih lokacije so prikazane v prilogi A. Na podlagi teh vrtin sta bila izdelana tudi geotehnična profila A-A in B-B (priloga B). Mejnice posameznih slojev so bile iz dobljenih rezultatov preiskav prostorsko težko določljive, saj gre v grobem le za različne plasti morske glin različnih konsistenčnih stanj. Izrazita je le meja med mehkejšimi sloji in trdno podlago. Geotehnični profil B-B določa začetno stanje za materialni model v Plaxisu.

Značilne plasti:

1. MH – CH, lahko gnetna konsistenca

Pretežno mastne in visoko plastične glin z vložki polžkov in školjk, sive barve. Konsistenca z globino prehaja od židke preko lahko - do srednje gnetne konsistence.

2. CL – ML, pol trdna konsistenca

To je pusta glina do zaglinjen melj. Ta sloj je pretežno težko gnetne do poltrdne konsistence. Predstavlja nekakšen prehod med morsko glino in hribinsko podlago.

Slednji dve plasti sta v nadaljevanju zajeti tudi z izrazom morska glina.

3. FR – Razpokana in preperela hribina

Tretji sloj v morskem dnu predstavlja prepereli del hribine. Pretežno lapor in zaglinjeni melji, poltrdne in trdne konsistence. V materialnem modelu ga ne upoštevam saj sloj nima znatne debeline ali pa se mestoma v geološkem profilu sploh ne pojavi. Predstavlja nekakšen prehod med morsko glino in hribinsko podlago.

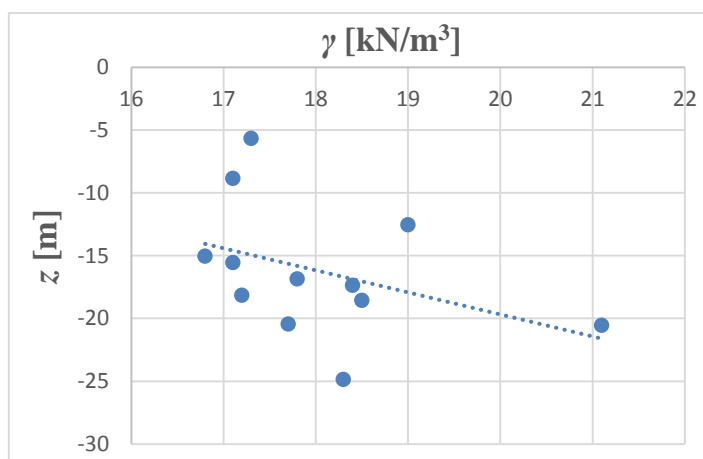
4. Fliš

Hribinsko podlago predstavlja fliš. Skladovnica zrnatih usedlin, sestavljena iz menjajočih se plasti laporja, peščenjaka in peska. Na območju tretjega pomola ta plast blago pada iz zalednega dela proti morju. Pod prvim pomolom tvori kotanjo globine -60 m, pod tretjim pomolom pa je ta globina le približno -20 m.

3.1.1 Rezultati preiskav

3.1.1.1 Laboratorijske preiskave

Prostorninska teža (Selan et al., 2005):

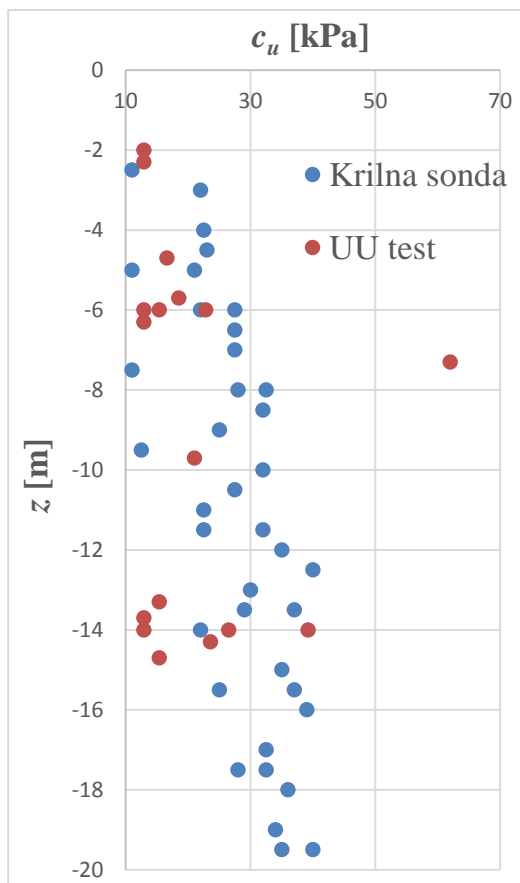


Slika 13: Graf karakteristične vrednosti prostorninske teže dobljenih iz raziskav V-št. vrtine/05

Preiskave so izvedene v slojih klasificiranih kot CH. Vrednost γ predstavlja prostorninsko težo naravno vlažne zemljine.

UU test (Selan et al., 2005) in krilna sonda (Ocepek, 2001):

Spodnja slika prikazuje vrednosti nedrenirane strižne trdnosti, dobljenih iz vrtin V-7/01, V-14/01, V-15/01 in V-19/01 s krilno sondo in vrtine V-št.vrtine/05 dobljene z UU-testom, kjer z predstavlja globino meritve od kote morskega dna.



Slika 14: Merjene vrednosti nedrenirane strižne trdnosti

Primerjava karakterističnih vrednosti dobljenih s krilno sondo in preiskavo UU izkazuje primerljive rezultate. Oba intervala vrednosti znašata od 10 kPa do 40 kPa.

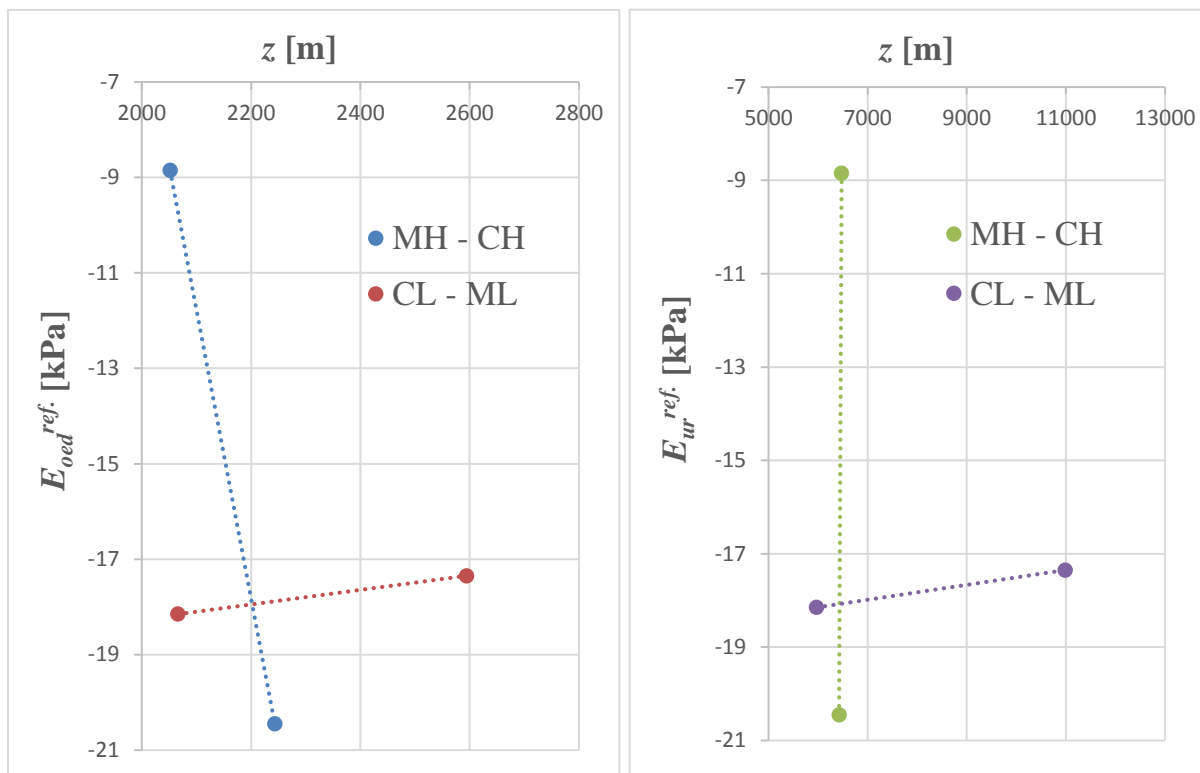
Direktna strižna preiskava (Selan et al., 2005) in CU – test (Selan et al., 2005):

Pri CU- testu kohezijsko trdnost zanemarimo, ker so vrednosti zanemarljive. Pri modeliranju, v izogib računskim nevšečnostim vzamemo vrednost 1 kPa.

Preglednica 2: Karakteristične vrednosti φ' , dobljene z direktno strižno preiskavo in CU-testom

	Vrtina	Klasifikacija	z [m]	φ' [°]
Direktna strižna preiskava	V-30/05	CH - MH	-5,8	20,6
	V-31/05	MH - CH	-10,4	25,4
	V-36/05	CL - ML	-14,1	20,5
CU - test	V-35/05	ML - CL	-14,8	31,7
	V-37/05	MH - CH	-4,8	30,6
	V-37/05	CL - ML	-14,1	30,5

Edometer:



Slika 15: Vrednosti obremenitvenega E_{oed}^{ref} ter razbremenitvenega modula E_{ur}^{ref} , dobljenih iz vrtin V-33/05, V-37/05 in V-39/05 (Selan et al., 2005)

Karakteristične vrednosti E_{oed}^{ref} in E_{ur}^{ref} za sloja MH-CH in CL-ML vzamem pri referenčnem tlaku od 100 kPa do 200 kPa.

3.1.2 Karakteristične vrednosti

Izbira geomehanskih karakteristik je v nasprotju s karakteristikami jeklenih in betonskih konstrukcij težja, saj je zanesljivost podatkov manjša in težje določljiva, zato je ob primerni razpoložljivosti podatkov analiza karakteristik, ki izhajajo iz več različnih načinov preiskav, dobrodošla. Nekatere karakteristične vrednosti preglednice 3 so tako bile dobljene in ocenjene iz razpoložljivih preiskav, opisanih pod točko 3.1.1.1., veliko pa jih je podanih na podlagi preteklih raziskav v prostoru Luke Koper.

Preglednica 3: Karakteristične vrednosti materialnih lastnosti

	Flišni nasip	Varovalni nasip iz flišne preperine	Konsolidiran refulni nasip	MH - CH	CL - ML	Fliš
Model	M.C.	M.C.	M.C.	H.S.	H.S.	M.C.

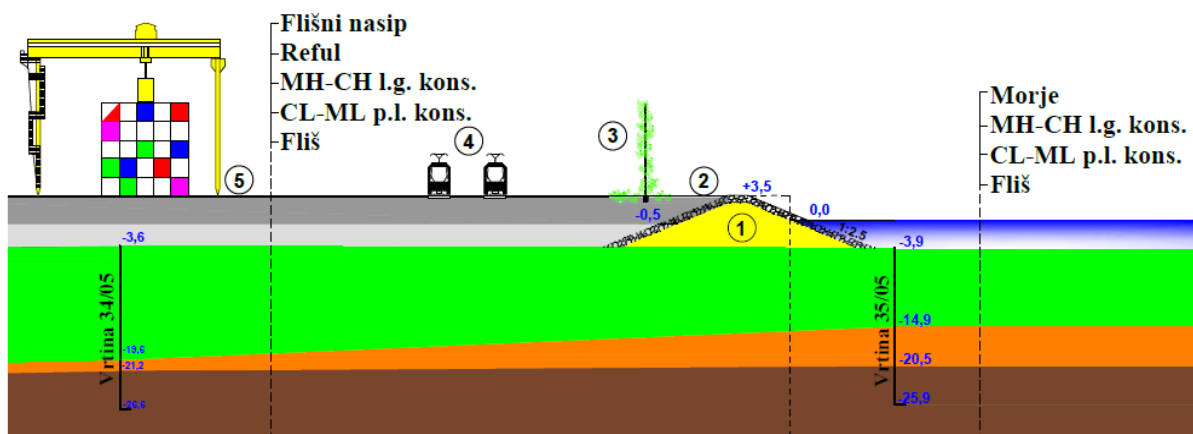
$\gamma_{sat}; \gamma_{unsat}$ [kN/m ³]	22	21	16	18	22	23.8
φ' [°]	36	34	0	22	24	40
c' [kPa]	0(1)	0(1)	10	0(1)	10	30
E_{oed} [kPa]	60000	30000	750	/	/	1500000
E_{oed}^{ref} [kPa]	/	/	/	2148	2500	/
E_{ur}^{ref} [kPa]	/	/	/	6500	8500	/
E_{50}^{ref} [kPa]	/	/	/	2148	2500	/
P^{ref}	/	/	/	100	100	/
ν [/]	0,3	0,3	0,3	(0,25)	(0,25)	0,2
ψ [°]	6	4	0	0	0	10
k [cm/s]	10^{-3}	10^{-3}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-7}	10^{-5}

3.2 Izbira tipa konstrukcije

Pri načrtovanju in izbiri tipa konstrukcije tretjega pomola bodo glavne smernice člani DPN-ja. Najpomembnejši pogoji možne izvedbe določenega tipa pomolov na neki lokaciji so geotehnični pogoji te lokacije, kot so globina morskega dna in sestava temeljnih tal. Naslednji pomemben pogoj je tudi predvidena namembnost obale in s tem povezane zunanje obremenitve. Poudarek je tudi na ohranjanju morja, zalednih habitatov in biološke raznovrstnosti v njem.

3.2.1 Severna stran

Obala na severnem delu bo namenjena javni uporabi. Začetno stanje predstavlja geotehnični profil B-B (priloga B). Po 40. členu se pomol na severni strani izvede z zasipavanjem in zaščiti s kamnometom. Nasip bo potekal po večjem delu severne strani pomola. Globina morja na tem delu je od -2 m do -6 m. Javna cesta s pločnikom in dvosmerna kolesarska steza se bosta zaključili s svetilnikom na koncu tretjega pomola. Protihrupna bariera bo ločevala ta del od luškega dela. Pomol bo konstrukcijsko razdeljen najprej na omenjeni del in enak del kot na južni ter zahodni strani.



LEGENDA:

- ① ROB POMOLA / SEVERNI VAROVALNI NASIP
- ② CESTA 50, PLOČNIK IN DVOSMERNNA KOLESARSKA STEZA
- ③ PROTIHROPNA BARIERA
- ④ ŽELEZNICA
- ⑤ SKLADIŠČE

Slika 16: Prečni prerez skozi severni del tretjega pomola in shematski prikaz aktivnosti

3.2.2 Južna stran

Ta del pomola bo obravnavan najbolj natančno, saj bo edini služil le luškim potrebam. DPN ne omenja točno tipa konstrukcije, določene so le smernice kot sta delno zasipavanje in armiranobetonska konstrukcija, globoko temeljena na pilotih.

Ob začetku gradnje prvih vezov 1.-5. na prvem pomolu so zmerno ugodne globine flišne podlage dovoljevale gradnjo težnostnih konstrukcij z zgornjo prekladno konstrukcijo. Ob nadaljevanju gradnje in nato še drugega pomola v smeri proti morju pa se je zaradi drugačnih geotehničnih pogojev izkazalo, da bo potrebno poiskati drugačne rešitve. Iz tehnične in finančne plati je obveljala rešitev v obalnih betonskih ploščadih, globoko temeljnih na pilotih. Le tako se je v bolj oddaljenih vezih dosegla prodno peščena naplavina. Prednosti pred težnostnimi konstrukcijami so predvsem v nižji ceni na enoto nosilnosti, majhna teža sestavnih delov in enostavno prilagajanje razgibanemu površju temeljnih tal. Ob izjemno podajni plasti morske glinje je tako temeljenje omogočalo zajamčen stik med piloti in nosilnimi tlemi. Prednost najdemo tudi v kontroli kvalitete izvedenih del in preverjanju kasnejše kakovosti ter nepoškodovanosti (Battelino, 2010).

Mikrolokacija tretjega pomola sicer na začetku pomola omogoča uporabo težnostnih obal, saj se flišna podlaga pojavi na globini 20 m, s tem pa omogoča uporabo nekaterih težnostnih obalnih tipov konstrukcij. Proti odprtemu morju ta podlaga pade preko 40-50 m globine, zato lokacija ni več primerna za take tipe konstrukcij. Tudi DPN ne omenja možnosti gradnje takega tipa, niti ni, kot je bilo že

omenjeno, finančno zadovoljiva (Battelino, 2010). Pogojno bi lahko ta tip uporabili samo na nekaj začetnih desetih metrih.

Tukaj je po DPN-ju predvidena armirano betonska konstrukcija, globoko temeljena na pilotih, tako da prideta v poštev za nadaljnjo analizo in primerjavo dva tipa obalne konstrukcije:

- Tip pomola z razbremenilno ploščadjo,
- odprti tip pomola.

3.2.3 Zahodna stran

Čelo tretjega pomola bo namenjeno slovenski vojski. Pred pomolom je predviden valobran kot armiranobetonska konstrukcija z globokim temeljenjem.

3.3 Računski model

3.3.1 Robni pogoji

Meje materialnega modela definirajo robni pogoji, ki ne smejo vplivati na prerazporeditev notranjih napetosti, zato morajo biti dovolj oddaljeni od same konstrukcije, ki jo obravnavamo. Za vplivno dolžino na x-osi si izberemo približek, in sicer 100 m v vsako smer od koordinate $x = 0$. V y-osi, glede na to, da del konstrukcije v flišni podlagi izkazuje skoraj zanemarljive vertikalne pomike, vzamem računski model le do kote -40 m.

3.3.2 Konstrukcijski elementi

3.3.2.1 Jekleni elementi

Za jeklene elemente so podane naslednje vrednosti materialnih konstant (SIST EN 1993-1-1:2005: str. 28):

$$E = 210 \text{ GPa} = 210 \cdot 10^6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\nu = 0,3$$

$$\gamma = 78,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

Za armiranje uporabim jeklo S500:

$$f_{yk} = 50 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

3.3.2.2 Armirano betonski del konstrukcije

Betonski del v razred izpostavljenosti XS2 ter XS3 (SIST 1992-1-1:2005: str. 50), ki zajema vpliv korozije zaradi kloridov iz morske vode. Po dodatku E tej skupini pripada trdnostni razred betona C35/45.

Mehanske karakteristike:

$$E = 3,5 \cdot 10^7 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\nu = 0,2$$

$$\gamma = 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

3.3.3 Vplivi na konstrukcijo

3.3.3.1 Stalna obtežba

Preglednica 4: Obtežba cestišča

	d [m]	γ [kN/m ³]	g [kN/m ²]
Fini asfalt	0,04	22	0,88
Grobi asfalt	0,07	22	1,54
Tamponski drobljenec	0,25	20	5
Hidroizolacija	0,01	/	/
		Σ	7,64

Zaledna voda:

Zaledna voda se nahaja približno 1 m pod vrhom pomola. V našem primeru je na koti +2,5 m.

3.3.3.2 Koristne obremenitve

Tovor:

Maksimalna obremenitev enega kontejnerja znaša 300 kN, povprečna 240 kN (CUR, 2005: str. 178). Kontejner, uporabljen za dimenzioniranje, je naslednjih dimenzij: dolžina /širina /višina = 6,1 m/2,44 m/2,59 m (CUR, 2005: str. 177). Če privzamemo stolpec s petimi kontejnerji, katerih teža je enakomerna porazdeljena in upoštevamo verjetnost, da je z višino manjša verjetnost, da so na enem stolpcu naloženi polni – maksimalno težki zabojniki - dobimo:

Preglednica 5: Vrednost teže skladiščnih kontejnerjev glede na število v višino (CUR, 2005: str. 178)

Vrsta	q_z [kN/m ²]
1x	15
2x	25
3x	30
4x	40
5x	50

Pri obtežbi upoštevam največjo obremenitev, torej 5 zabojnikov v stolpcu.

Luški žerjav:

Pri načrtovanju podaljšanja pomola I je predviden za luške žerjave tip kontejnerskega dvigala Super post panamax (Gravitas d.o.o., 2015). Enak tip predvidim tudi tukaj:

$$Q_1 = 2 \cdot 600 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 10 \text{ m} = 12000 \text{ kN}$$

$$q_1 = \frac{12000 \text{ kN}}{28,2 \text{ m}} = 425 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Linijsko obtežbo dobim tako, da silo, ki odpade na eno kolo, množim s številom koles v liniji in delim z osno razdaljo vseh koles, ki znaša 28,2 m.

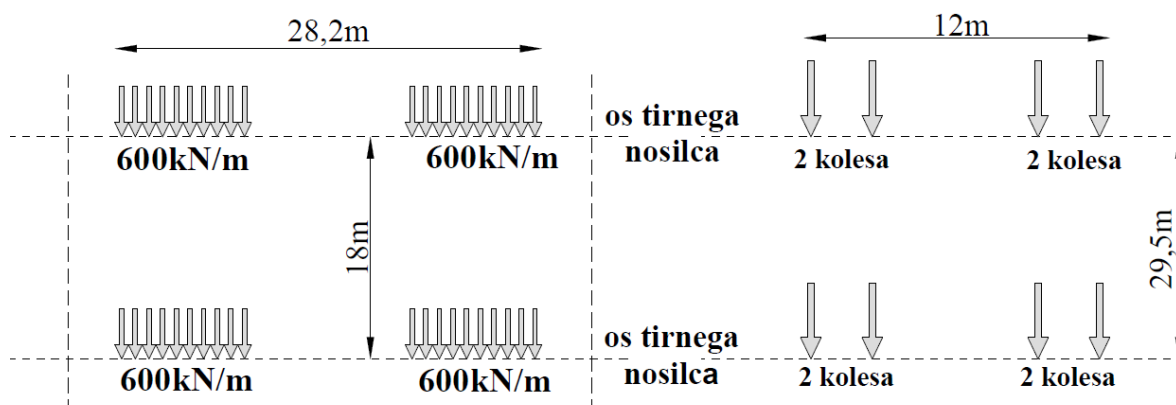
Mostni prenosnik:

Pri mostnem prenosniku, ki ga ravno tako predvidim za tretji pomol, upoštevamo težo 30,5 t, ki odpade na eno kolo tako na morski kot na kopenski strani. Obremenitev upoštevam, ko je najbolj naložen in je brezvetrje (Konecranes, 2015):

$$Q_2 = 2 \cdot 2 \text{ kolesa} \cdot 30,5 \frac{\text{t}}{\text{kolo}} \cdot 9,81 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 1196,8 \text{ kN}$$

$$q_2 = \frac{1196,8 \text{ kN}}{12 \text{ m}} = 99,7 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Pri mostnem prenosniku silo na konstrukcijo izračunam na enak način, s to razliko, da upoštevam 4 kolesa v eni liniji.



Slika 17: Shematski prikaz obtežbe portalnega žerjava ter mostnega prenosnika

Vlek ladje:

Ladjo vežemo na privezne polerje ustrezne nosilnosti. Nosilnost polerja je 1500 kN (Gravitas d.o.o., 2015), postavljenega na medsebojni razdalji 15 m. Za referenčno ladjo vzamem enako, kot je predvideno pri podaljšanju pomola I, z referenčno dolžino 364 m. Upoštevamo največjo silo vleka na premcu ladje 4800 kN (Gravitas d.o.o., 2015). Tako ga privežemo na 6 polerjev, katerih obtežba se porazdeli na celotno dilatacijo. To silo prevzame ena dilatacijska enota z dolžino 100 m. Tako upoštevamo zvezno obtežbo:

$$q_v = \frac{4800 \text{ kN}}{100 \text{ m}} = 48 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Pritisk ladje:

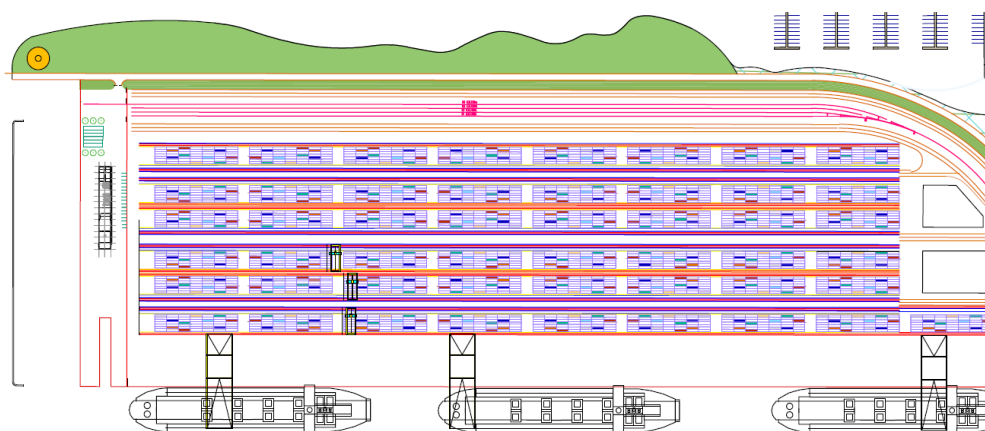
Zaščito konstrukcije pomola predstavljajo gumijasti odbojniki, enakomerno porazdeljeni po vsej dolžini. Upoštevam enako ladjo, kot pri vleku ladje na enako dilatacijsko enoto. Enakomerno porazdeljeno obtežbo dobimo po naslednjem upoštevanju razmerja med dilatacijsko enoto in dolžino ladje, ki odpade na isto dilatacijsko enoto:

$$Q_p = 9600 \text{ kN} \cdot \frac{100 \text{ m}}{364 \text{ m}} = 2637,3 \text{ kN}$$

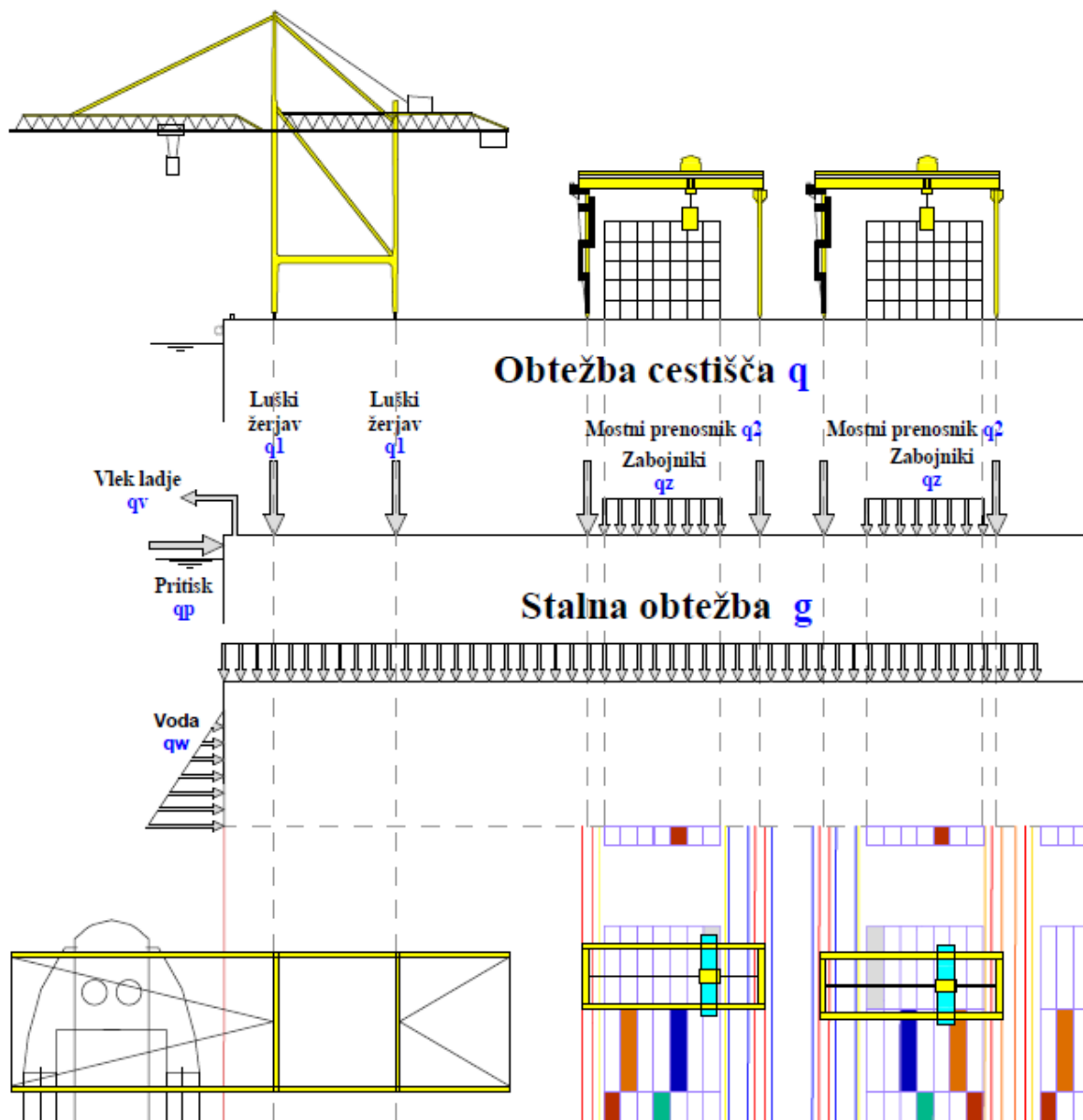
$$q_p = \frac{2637,3 \text{ kN}}{100 \text{ m}} = 26,4 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Zaradi premnogih možnih kombinacij obtežb, so nekatere izpuščene:

- vpliv temperature in reologije betona
- meteorološki vplivi, kot so valovi, veter, tokovi, led in sneg,
- nezgodna obtežba, kot je udar ladje ob pristajanje in potresna obtežba,
- vzgon pilotov.



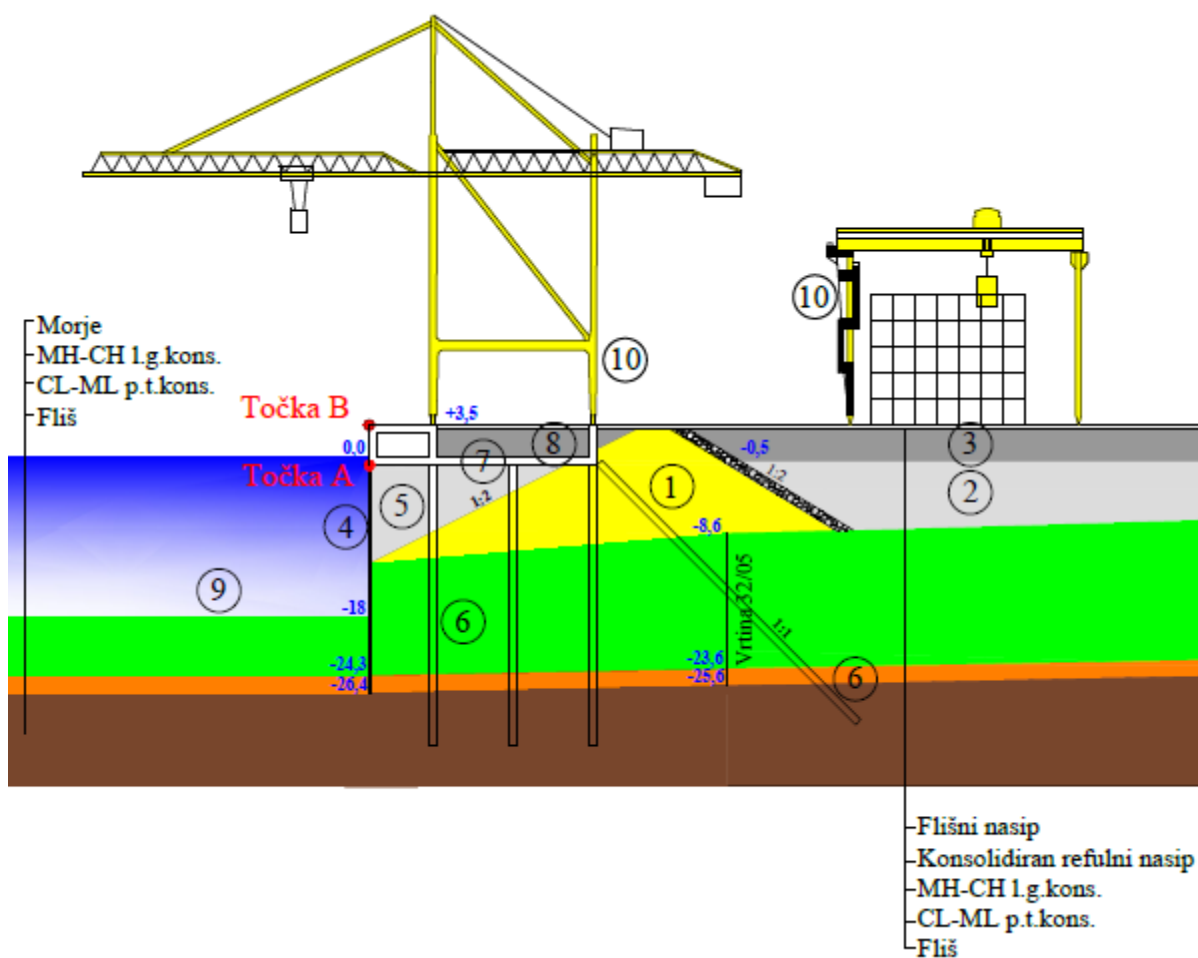
Slika 18: Ureditvena situacija na tretjem pomolu (Logar, 2015a)



Slika 19: Shematski prikaz obtežbe ter prečni prerez skozi ureditveno situacijo

3.4 Pomol z razbremenilno ploščadjo

Program Plaxis omogoča definiranje posameznih faz gradnje, od začetnega stanja brez kakršnegakoli posega v okolje, do končanja gradnje in uporabe.



Slika 20: Idejna zasnova pomola z razbremenilno ploščadjo

Na morskem dnu se najprej zgradi varovalni nasip - ①. Izvedba bi lahko potekala že veliko prej z namenom odlaganja odvečnega refula - ②, ki bi nastal kot višek poglobljanja prvega in/ali drugega bazena. Sledi nasipavanje kompaktnjšega flišnega nasipa - ③. Začasno je lahko po tej fazi površina uporabljena kot skladiščna površina, tako bi se ti dve plasti še dodatno stabilizirali.

Gradnja obalne konstrukcije se prične z zagatno steno - ④, ki poteka od kinete do flišne podlage. Sledi nasipavanje dela med zagatno steno in varovalnim nasipom - ⑤. Naslednja faza je sistem globokega temeljenja - ⑥ kombinacija tlačnih in nateznih pilotov. Tlačni piloti so v vzdolžni razdalji postavljeni na 8,6 m in prečni smeri na medsebojni razdalji 7 m. Vgrajeni so vertikalno. Natezni piloti so ravno tako v prečni smeri vgrajeni na medsebojni razdalji 7 m, pod kotom 45°. Vse skupaj povezuje razbremenilna ploščad - ⑦ debeline 1 m, katere funkcija je zmanjšanje zalednih pritiskov na zagatno steno in čim večji prenos vertikalne obtežbe na sistem globokega temeljenja. Del nje je tudi kineta. Obe njeni stranici in pokrov sta debeline 80 cm. Razdalja med sredino odbojnika in žerjavno tirnico na morski strani mora znašati od 2 m do 8,5 m. (CUR, 2005: str. 176). Da izpolnimo ta pogoj postavimo morsko stran žerjavne proge navpično nad notranjo stran kinete. Tako zagotovimo prenos zunanje obtežbe direktno v sistem

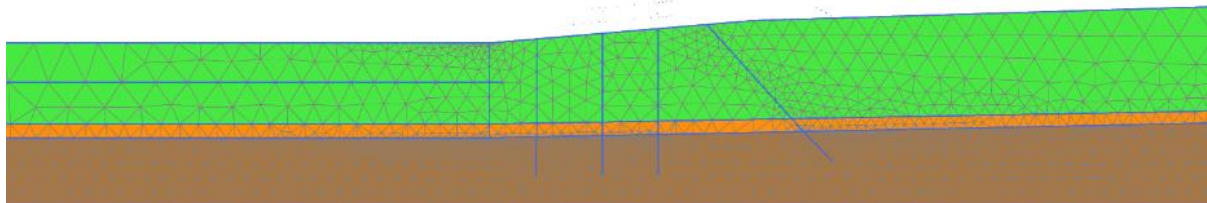
globokega temeljenja. Kopna noga žerjava nalega na betonsko steno debeline 80 cm, ki je ravno tako povezana z razbremenilno ploščadjo, na katero pa se v nadaljevanju nasuje flišni nasip in izdelata cestišče - ⑧. Po končanih gradbenih delih sledi poglobljanje plovnega kanala ob južni strani pomola - ⑨. Zadnja faza je postavitev luške opreme za pretovarjanje tovora, ki hkrati predstavlja zunanjo obtežbo - ⑩.

Točki A in B služita kot merodajni točki pri kontroli MSU. Točka A pri fazi 4 in fazi 5, točka B pa pri končni fazi 10. Končni cilj je omejitev absolutnega pomika točke B pod 10 cm.

3.4.1 Kontrola MSU

ZAČETNA FAZA

Začetna faza definira začetno stanje tal pred kakršnimikoli gradbenimi posegi v okolje. Začetne napetosti izračunamo tako, da model obremenimo z lastno težo tal. Začetno fazo predstavlja spodnja slika in je del geotehničnega profila B-B v prilogi B.



Slika 21: Začetna faza

FAZA 1: VAROVALNI NASIP

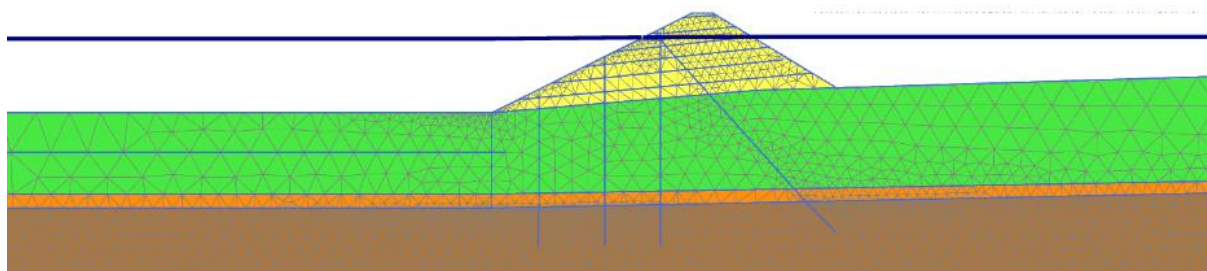
Prva faza gradnje je varovalni nasip na morskem dnu, katerega namen je zadrževanje odvečnega refula. Tvori t.i. kasete. Nasip se bo zaradi slabih temeljnih tal posedal, zato ga je potrebno dosipavati skladno s posedanjem. Brežine nasipov so od krone navzdol nagnjene v nagibu 1:2. Varovalni nasipi morajo biti neprepustni, izdelani iz flišne preperine s sprotnim komprimiranjem in oblikovanjem figure prečnega prereza. Vrh nasipa je na koti +3,1 m.

Možna varianta izgradnje varovalnega nasipa je tudi z uporabo geotub. Primarno so namenjene za odstranjevanje vode iz blata in usedlin. Napolnijo se z odvečnim refulom in po izceditvi vode bi lahko tvorile nasip ali pa samo pokrivalo pobočje morskega dna. Prednost je predvsem v ekonomskem vidiku, saj je odvečnega refula preveč, flišni nasip pa ima tudi svojo ceno, s tehničnega vidika pa je tak nasip dosti slabši.

Pri načrtovanju ni pomembna samo končna stabilnost, ampak tudi stabilnost med gradnjo. Do porušitve temeljnih tal pride, ko je izčrpana odpornost nekega zaključenega območja v temeljnih tleh. Tako nastane potencialna drsna ploskev ali drsina. Varnost glede zdrsa tal je definirana z enačbo:

$$F = \frac{\tau}{\tau_m} = \sum M_{sf} \text{ (oznaka v Plaxisu)}$$

kjer je τ strižna trdnost, τ_m pa trenutno mobilizirana strižna napetost. Najnižja varnost pred porušitvijo temeljnih tal je takoj po izgradnji ali v nedreniranih začetnih pogojih, največja pa v dreniranih, oziroma ko se bodo temeljna tla konsolidirala.



Slika 22: Faza 1 – varovalni nasip

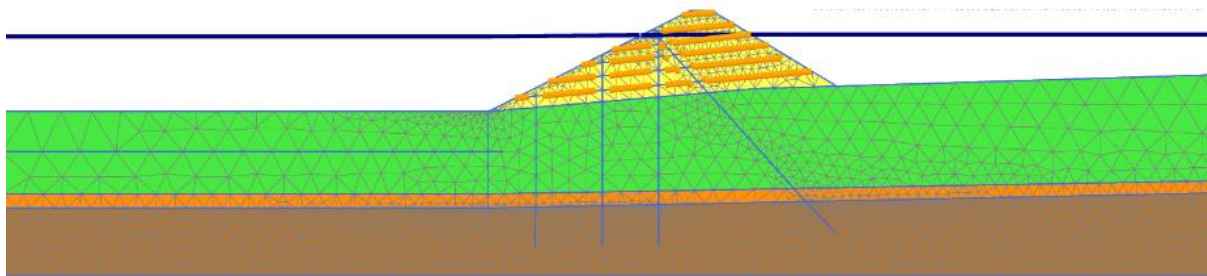
Preglednica 6: Varnostna faktorja pri fazi 1 in fazi 1.1

Faza	Opis	ΣM_{sf} [%]
1	Varovalni nasip	1,2
1.1	Varovalni nasip z ojačitvami	1,48

Potencialna drsna ploskev poteka po plasti MH-CH. Faktor varnosti za fazo 1 je premajhen, saj Evrokod podaja za računanje z dreniranimi strižnimi karakteristikami minimalni varnosti faktor 1,25. Z uporabo ojačitev pri fazi 1.1, faktor varnosti povečamo na 1,48. Absolutni pomiki sicer znašajo v fazi 1.1 1,8 m, ki pa bi jih med gradnjo sproti sanirali.

Nasipavanje poteka v naslednjem postopku:

- 1.) nasipavanje vodilnega nasipa iz kvalitetnega flišnega materiala 0-200 mm po plasteh v debelini po cca. 1 m – 1,5 m;
- 2.) kot ojačitev med dvema plastema kamnitega nasipa dodam geomreže, katere imajo togost $EA_x = 550 \text{ kN/m}$. (Lespatex, 2015);
- 3.) po končanih delih je potrebno vodilni nasip zaščititi s kamnometom. Po 40. členu (2) DPN-ja je na severni strani predviden kamnomet že kot zaključek obale. Na južni strani pomola ga izpustim, saj bi bilo drugače vgrajevanje kombinirane zagatne stene in pilotov nemogoče.



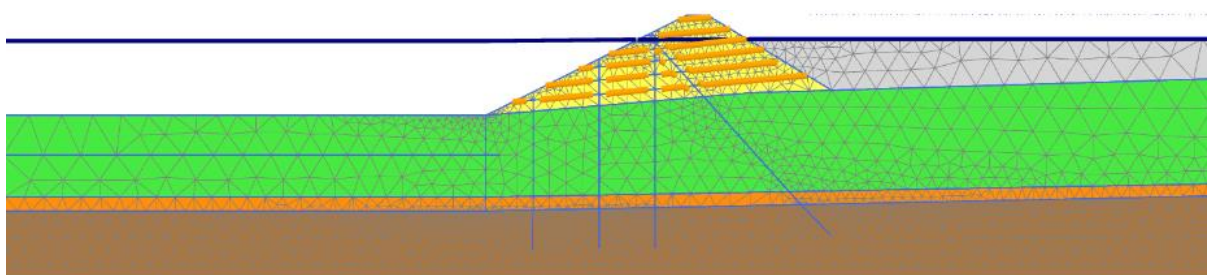
Slika 23: Faza 1.1 - varovalni nasip z ojačitvami

FAZA 2: REFULIRANJE KASETE

Zaradi dobrega gospodarjenja z odvečnim refulom, ki nastane pri poglobljanju plovnih poti, reful uporabimo za nasipavanje celotne površine tretjega pomola. Upoštevam, da se je ta reful že ocedil in delno konsolidiral ter se ustalil na koti -0,5 m.



Slika 24: Refuliranje kasete (Battelino, 2009)



Slika 25: Faza 2 – refuliranje kasete

Preglednica 7: Varnostna faktorja pri fazi 1.1 in 2

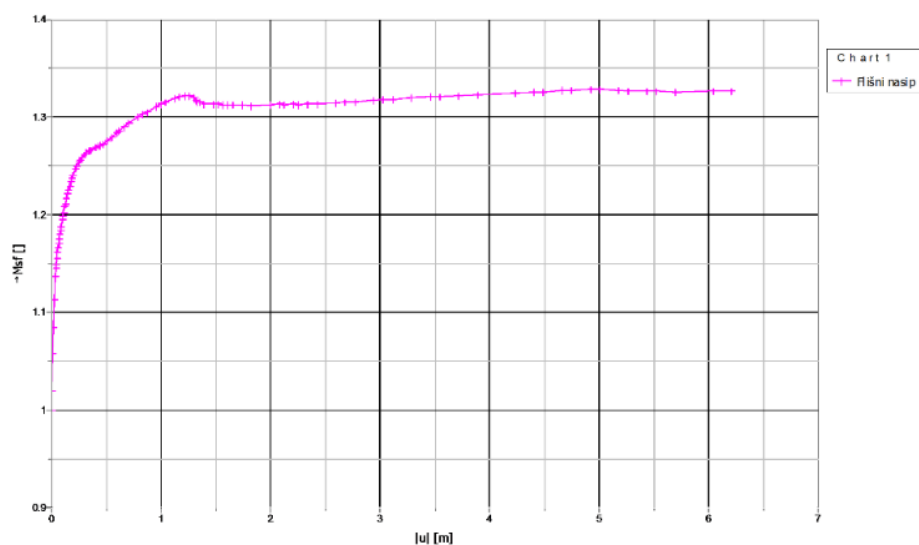
Faza	Opis	$\Sigma M_{sf} [\%]$
1.1	Varovalni nasip z ojačitvami	1,48
2	Konsolidiran reful v zaledju	1,45

FAZA 3: FLIŠNI NASIP

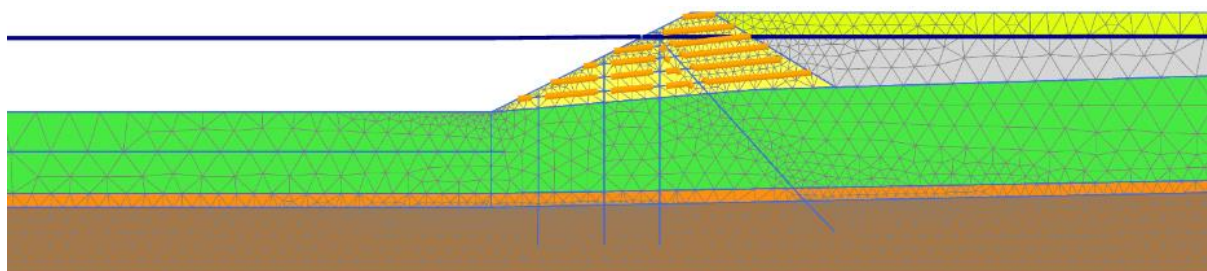
V naslednji fazi je nasut za varovalnim nasipom še kompaktnější flišni nasip. Ponovno moramo preveriti stabilnost, za kar pa se v nadaljevanju izkaže, da je še vedno zadostna.

Preglednica 8: Varnostna faktorja pri fazi 2 in fazi 3

Faza	Opis	ΣM_{sf} [%]
2	Konsolidiran reful v zaledju	1,45
3	Flišni nasip v zaledju	1,33



Slika 26: Faktor varnosti pri fazi 3



Slika 27: Faza 3 – flišni nasip

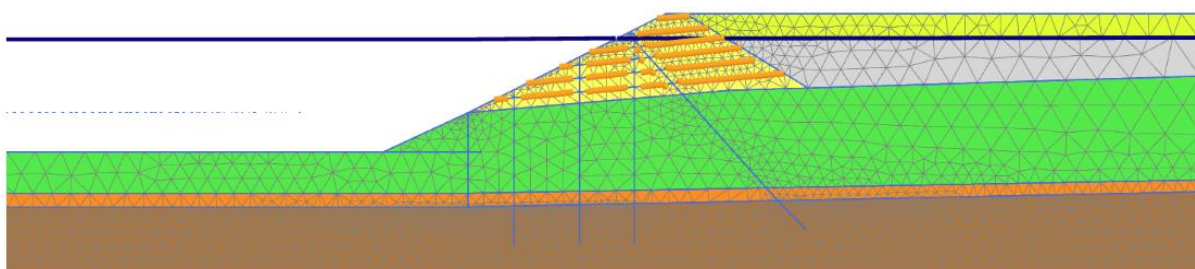
POIZKUSNA FAZA: POGLABLJANJE PLOVNEGA KANALA

Po končanem flišnem nasipu, poizkusimo z možnostjo poglobljanja plovnega kanala, ki je del tretjega bazena, da bi stabilizirali temeljna tla pred kakršnokoli vgradnjo konstrukcijskih elementov. Tako bi se izognili dodatnim pomikom konstrukcije v kasnejših fazah gradnje zaradi poglobljanja.

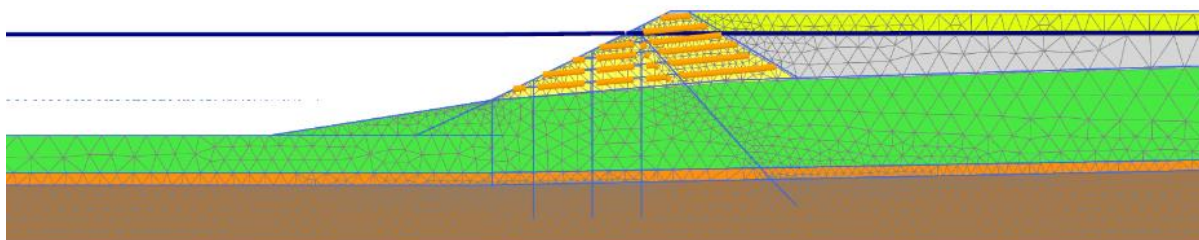
V naslednjem primeru tako poizkusim z delno poglobitvijo plovnega kanala na tak način, da varovalni nasip podaljšam v morsko dno pod naklonom 1:2 na koto -18 m in nato še pod naklonom 1:3. Oba zadnja poizkusa izkazujeta nezadostne varnostne faktorje blizu 1, zato ta korak poglobljanja zaenkrat opustim.

Preglednica 9: Varnostni faktorji pri poizkusni fazi poglobljanja

Faza	Opis	ΣM_{sf} [%]
3	Flišni nasip v zaledju	1,33
Poizkusna 1	Poglobitev na koto -18 m od nasipa pod naklonom 1:2	1,04
Poizkusna 2	Poglobitev na koto -18 m od nasipa pod naklonom 1:3	1,15



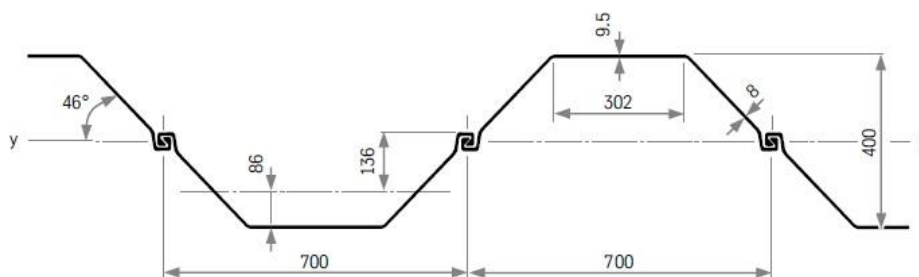
Slika 28: Faza - poizkusna 1



Slika 29: Faza – poizkusna 2

FAZA 4: ZAGATNA STENA

Imamo izjemno veliko možnosti pri oblikovanju konstrukcijske zasnove. Najenostavnejša oblika je brez razbremenilne ploščadi, sestavljena samo iz zagatne stene, zaključena zgoraj z betonsko kapo, ki prevzema horizontalne in vertikalne sile privezovanja in sidranja ladij in jih razporeja na priključne nosilne elemente konstrukcije. Tak tip uporabim za to fazo gradnje. Zagatno steno podajamo kot linijski element. Izberem si tip zagatnic Larssen 703 10/10. Upoštevam elastično obnašanje materiala.

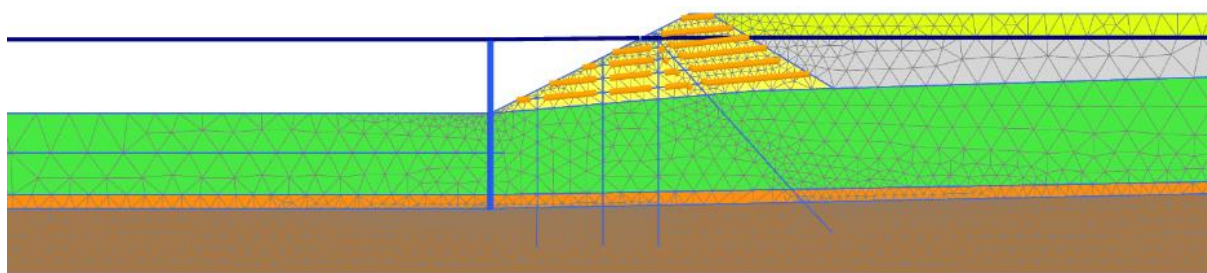


Slika 30: Prečni prerez zagatnic Larssen 703 10/10 (ThyssenKrupp GFT Bautechnik, 2015)

$$EA = 210 \cdot 10^6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 0,01376 \frac{\text{m}^2}{\text{m}} = 2,89 \cdot 10^6 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$EI = 210 \cdot 10^6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 26800 \frac{\text{cm}^4}{\text{m}} \cdot 10^{-8} = 56280 \frac{\text{kNm}^2}{\text{m}}$$

$$w = \gamma \cdot A = 78,7 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot 0,01376 \frac{\text{m}^2}{\text{m}} = 1,08 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

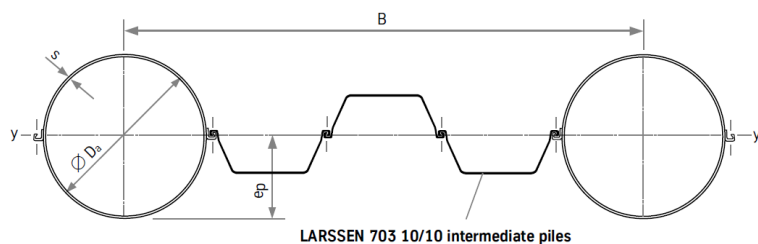


Slika 31: Faza 4 – zagatna stena

Zagatna stena poteka od kote -1 m do flišne podlage na koti -26,4 m. Pri modeliranju stika med linijskim elementom in okolno zemljino uporabimo kontaktni element podan z R_{inter} , ki opisuje redukcijski faktor stika. Če je vrednost 1 - tog stik, se zemljina ne odlepi od konstrukcijskega elementa in ne more drseti ob konstrukciji. Absolutni pomik merodajne točke A pri tej fazi znaša 8 cm. Zaradi boljših rezultatov v naslednjih fazah gradnje poizkusimo ta pomik zmanjšati.

FAZA 4.1

Uporabim kombinirano zagatno steno, kombinacijo pilotov in zagatnic. Zagatnice tipa Larssen 703 10/10 nadgradim s cevnimi piloti Φ 813 mm in debeline 14,2 mm in povprečnim prečnim prerezom $230,6 \text{ cm}^2/\text{m}$. Piloti kombinirane zagatne stene nimajo le naloge zadrževanja zalednih nasutij, ampak sodelujejo tudi pri globokem temeljenju pomola. Absolutni pomik točke A je znova znotraj sprejemljivih mej. Zmanjšan pa je samo za dodatni centimeter.



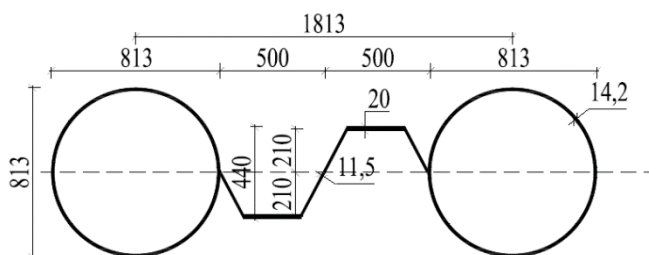
Slika 32: Cevni piloti Φ 813 mm/14,2 mm, z vmesnimi zagatnicami tipa Larssen 703 10/10
(ThyssenKrupp GFT Bautechnik, 2015)

FAZA 4.2

V nadaljevanju izberem bolj toge vmesne zagatnice in sicer Larssen 25, ki večjega vpliva na pomik ponovno nimajo. Samo z večanjem geometričnih karakteristik ne dosežemo vidnejših izboljšanj rezultatov, zato poizkusim v naslednjem primeru s poševno postavljeno kombinirano zagatno steno.

Preglednica 10: Karakteristike različnih tipov zagatnih sten
(ThyssenKrupp GFT Bautechnik, 2015)

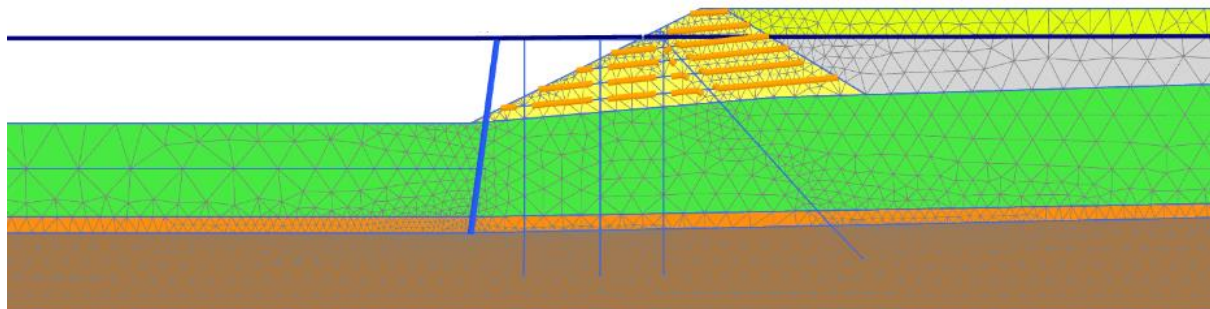
Faza	Opis	EA [kN/m]	EI [kNm ² /m]	w [kN/m/m]
4.0	Larssen 703 10/10	$2,89 \cdot 10^6$	56280	1,08
4.1	Cevni piloti Φ 813 mm/14,2 mm s tremi zagatnicami Larssen 703 10/10	$4,26 \cdot 10^6$	237720	1,59
4.2	Cevni piloti Φ 813 mm/14,2 mm z dvema zagatnicama Larssen 25	$7,45 \cdot 10^6$	402198	2,79



Slika 33: Cevni piloti Φ 813 mm/14,2 mm z dvema zagatnicama Larssen 25

FAZA 4.3 - POŠEVNO POSTAVLJENA KOMBINIRANA ZAGATNA STENA

Oblikovanju kontaktnega dela med ladjo in pomolom moramo posvetiti veliko pozornost, saj je možnost poškodb velika. Do možne nevarnosti prihaja zaradi vetrov in stanja morja med pristajanjem. S poševno zagatno steno dosežemo boljše razporejanje zalednih sil v temeljna tla, saj je vgrajene manj zaledne zemljine, hkrati pa je pri tej obliki manj možnosti za trk ladje ob zagatno steno. Pozabiti ne smemo na njeno sposobnost prevzemanja manjših poškodb.



Slika 34: Faza 4.3 – poševno postavljena kombinirana zagatna stena

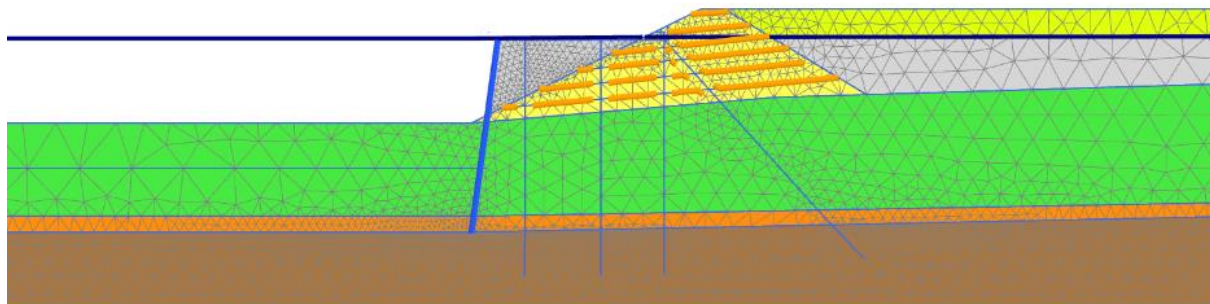
Preglednica 11: Pomik vrha zagatne stene pri fazi 4, 4.1, 4.2 in 4.3

Faza	Opis	l_{u^A} [m]
4	Larssen 703 10/10	0,08
4.1	Cevni piloti Φ 813 mm/14,2 mm z tremi zagatnicami Larssen 703 10/10	0,07
4.2	Cevni piloti Φ 813 mm/14,2 mm z dvema zagatnicama Larssen 25	0,07
4.3	Cevni piloti Φ 813 mm/14,2 mm z dvema zagatnicama Larssen 25 pod naklonom 1:7,5	0,05

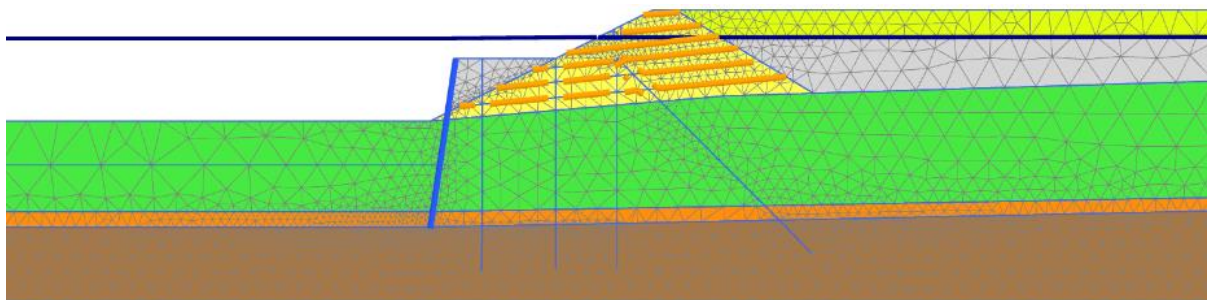
Z dodatnimi ukrepi, kot je zamenjava zagatne stene s kombinirano zagatno steno in njena poševna postavitev, se je absolutni pomik točke A glede na idejno zasnovo zmanjšal za 3 cm.

FAZA 5: NASIP ZA KOMBINIRANO ZAGATNO STENO

Pomembno je, da je v zaledju kombinirane zagatne stene čim lažji material. Izberem konsolidiran reful, ki je bil predhodno skladiščen na deponiji. Vendar pa je absolutni pomik točke A še vedno prevelik, zato moram poseči po konkretnjših ukrepih. Eden izmed ukrepov je zmanjšanje dolžine kombinirane zagatne stene, ki jo vgradimo po novem samo do kote -3,5 m. S tem na to koto postavimo tudi spodnji rob razbremenilne ploščadi. Z nižje postavljeno razbremenilno ploščadjo se prenese tudi več teže neposredno na sistem globokega temeljenja. Zmanjšan je tudi vpliv horizontalnih pritiskov za kombinirano zagatno steno.



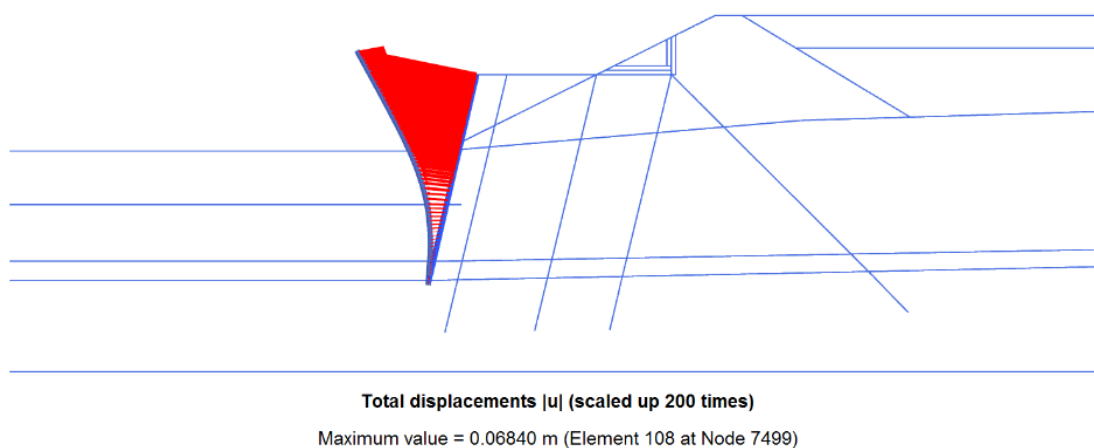
Slika 35: Faza 5 – nasip za kombinirano zagatno steno



Slika 36: Faza 5.1 – skrajšana dolžina kombinirane zagatne stene

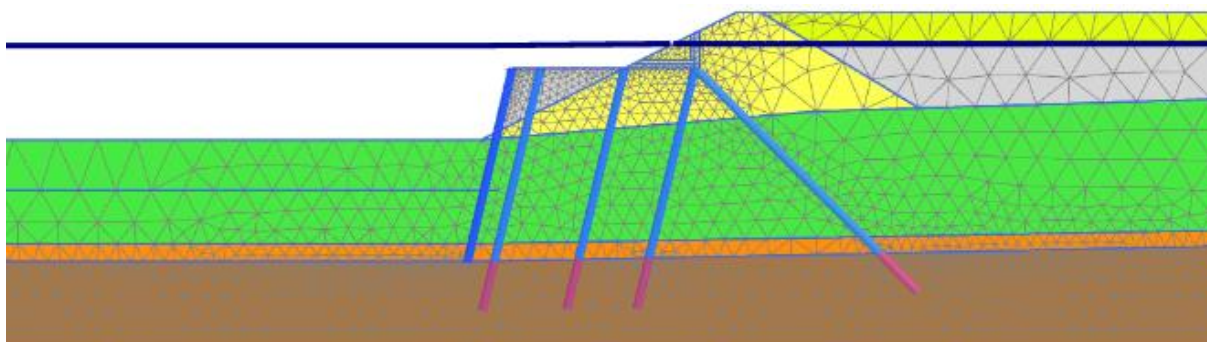
Preglednica 12: Pomik vrha zagatne stene pri fazi 5.0 in 5.1

Faza	Opis	l_{ul}^A [m]
5	Idejna dolžina kombinirane zagatne stene, zgornji rob na koti -1 m	0,92
5.1	Skrajšana dolžina kombinirane zagatne stene, zgornji rob na koti -3,5 m	0,068



Slika 37: Absolutni pomik točke A pri fazi 5.1

FAZA 6: SISTEM GLOBOKEGA TEMELJENJA



Slika 38: Faza 6 – sistem globokega temeljenja

TLAČNI PILOTI

Do nedavnega sta se v Luki Koper uporabljala predvsem dva tipa jeklenih pilotov (Strniša, 2010):

- jeklene spiralno varjene cevi Φ 812 mm/12,5 mm s konico, zapolnjeno z betonom;
- jeklene spiralno varjene cevi Φ 508 mm/8,5 mm s konico, zapolnjeno z betonom.

Tretji standardni tip, ki je uporabljen le redko in pretežno primeren na severnem delu Luke Koper je kombinacija zabitega jeklenega pilota in uvrtanega dela, zapoljenega z armiranim betonom. Zaradi zelo tanke plasti morske glinice, ki je nad flišno podlago, izhaja večina nosilnosti samo iz dela pilota, ki nalega v flišno podlago. Jeklena cev brez konice se zabije do flišne podlage, nato se z ustrezno opremo očisti notranjost cevi in izvrti še 4 do 6 m v flišno podlago (Strniša, 2010). Z zapolnitvijo z armiranim betonom dosežemo večjo tlačno in natezno nosilnost pilota.

Mehanske karakteristike pilota zabitega dela so sestavljene iz karakteristik betona, konstrukcijskega in armaturnega jekla. Če slednjega zanemarimo, dobimo sovprežni pilot mehanskih karakteristik:

$$\begin{aligned} EA &= EA_{(\text{betonsko jedro})} + EA_{(\text{jeklena cev})} = 35 \cdot 10^6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 0,486 \text{ m}^2 + 210 \cdot 10^6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 0,031 \text{ m}^2 \\ &= 23,5 \cdot 10^6 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} EI &= EI_{(\text{betonsko jedro})} + EI_{(\text{jeklena cev})} \\ &= 35 \cdot 10^6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 0,01883 \text{ m}^4 + 210 \cdot 10^6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 0,002509 \text{ m}^4 = \\ &= 1,18 \cdot 10^6 \text{ kNm}^2 \end{aligned}$$

Ker program Plaxis ne omogoča pilotu – »Embedded pile row« - podajanja nosilnosti, sestavljene iz dveh delov, moramo podati zabiti del pilota kot linijski element. Njegove mehanske karakteristike delim z l_{razmak} , ki znaša 7 m:

$$\begin{aligned} EA_{l=7\text{m}} &= \frac{23,5 \cdot 10^6 \text{ kN}}{7 \text{ m}} = 3,36 \cdot 10^6 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \\ EI_{l=7\text{m}} &= \frac{1,18 \cdot 10^6 \text{ kNm}^2}{7 \text{ m}} = 0,17 \cdot 10^6 \frac{\text{kNm}^2}{\text{m}} \end{aligned}$$

Nosilnost po konici q_b in plašču pilota q_s v kamnini ocenim po naslednjih dveh enačbah (Logar, 2015d), kjer q_u predstavlja enoosno tlačno trdnost:

$$q_b = 3 \cdot q_u = 3 \cdot 5000 = 15000 \text{ kPa}$$

$$q_s = 130 \cdot \sqrt{\frac{q_u}{100}} = 130 \cdot \sqrt{\frac{5000}{100}} \text{ kPa} = 919,2 \text{ kPa}$$

Vrednost enosne tlačne trdnosti q_u je ocenjena med 5000 kPa in 17000 kPa (Reseagroup, engineers & architects, 2015). Uporabim najmanjšo izmerjeno vrednost 5000 kPa.

V Plaxisu je nosilnost po plašču uvrzanega dela pilota podana s $T_{top,max}$ in $T_{bot,max}$, ki definirata vrednosti odpora po plašču na začetku in na koncu pilota:

$$T_{top,max} = T_{bot,max} = \pi \cdot D \cdot q_s = \pi \cdot 0,812 \text{ m} \cdot 919,2 \text{ kPa} = 2344,9 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Nosilnost po konici pa kot:

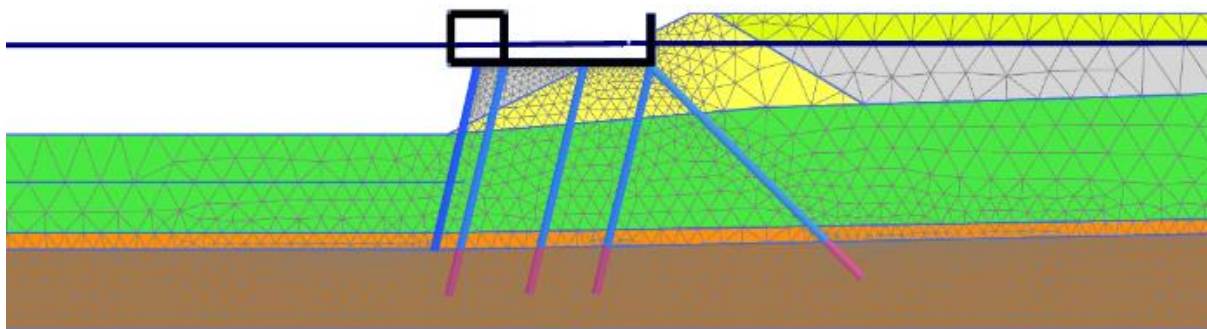
$$Q_{b,k} = q_b \cdot \pi \cdot \frac{D^2}{4} = 15000 \text{ kPa} \cdot \pi \cdot \frac{0,812^2 \text{ m}^2}{4} = 7767,7 \text{ kN}$$

Ker se je pri fazi 4.3 poševno postavljena kombinirana zagatna stena izkazala za dober ukrep, nadalje tudi tlačne pilote postavim vzporedno s kombinirano zagatno steno.

NATEZNI PILOTI

Za prevzem nateznih sil uporabim pilot enakih geometrijskih karakteristik. Vgrajen je pod kotom 45°. Ponovno moramo izkoristiti flišno podlago, saj predvidevam, da samo z nosilnostjo po plašču v morski glini ne bomo dosegli ustreznega zmanjšanja horizontalnih pomikov. Enako so postavljeni v rastru 7 m.

FAZA 7: RAZBREMENILNA PLOŠČAD



Slika 39: Faza 7 – razbremenilna ploščad

Izraz »razbremenilna ploščad« pove bistvo: Razbremenilna ploščad prenese vertikalno obtežbo na sistem globokega temeljenja in tako razbremeni kombinirano zagatno steno horizontalnih pritiskov. Torej deluje olajševalno za zagatno steno, hkrati pa povezuje člene globokega temeljenja, tlačne in natezne pilote ter zagatno steno. Dimenzioniranje se nanaša na dolžino in globino postavitve. Izbira globine razbremenilne ploščadi je vsota različnih dejavnikov, kot so:

- prihranek v ceni kombinirane zagatne stene zaradi manjših dimenzij, kar je posledica zmanjšanja zalednih pritiskov;
- omejevanje dolžine členov temeljenja, kot so tlačni in natezni pilot v razmerju z izvedljivostjo;
- zmanjšanje števila nateznih pilotov s povečanjem vertikalne obtežbe.

Pri podajanju širših linijskih elementov, kot je betonska plošča, program okoli srednje linije betonske plošče upošteva dvojno težo, torej težo betonske plošče in okolne zemljine, zato postopamo drugače. Najprej v Plaxisu s pomočjo orodja »Soil polygon« definiramo elastično zemljino z mehanskimi karakteristikami betona. Tukaj upoštevamo težo betona 25 kN/m^3 . Srednjo ravnino konstrukcije pa definiram kot linijski element z zmanjšanim prečnim prerezom A in zato zmanjšano togostjo. V računu namesto dejanskih vrednosti uporabim reducirane vrednosti, zmanjšane za faktor 1000.

$$EA = 3,4 \cdot 10^7 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot \frac{1 \text{ m} \cdot 1 \text{ m}}{1 \text{ m}} = 3,4 \cdot 10^7 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$EA (h = 0,8 \text{ m}) = 2,72 \cdot 10^7 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

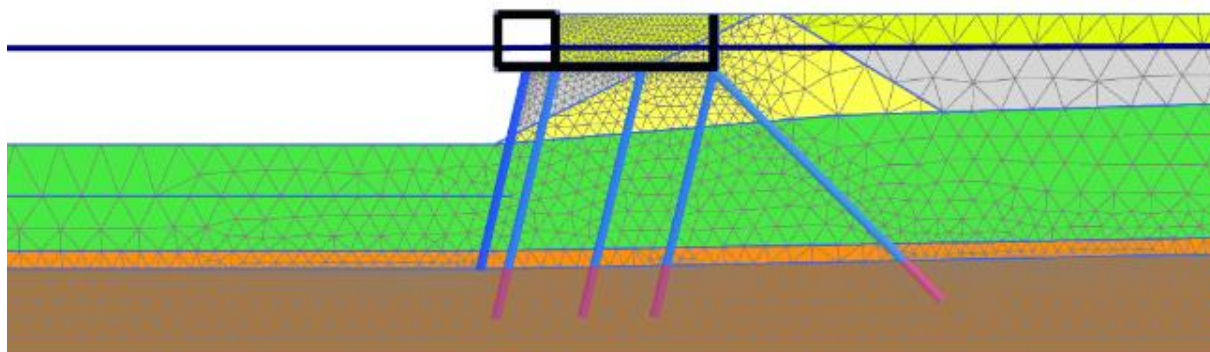
$$EI = 3,4 \cdot 10^7 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot \frac{1 \text{ m} \cdot 1^3 \text{ m}^3}{12 \cdot 1 \text{ m}} = 0,283 \cdot 10^7 \frac{\text{kN m}^2}{\text{m}}$$

$$EI (h = 0,8 \text{ m}) = 0,145 \cdot 10^7 \frac{\text{kN m}^2}{\text{m}}$$

$$w = 0 \frac{\frac{\text{kN}}{\text{m}}}{\text{m}}$$

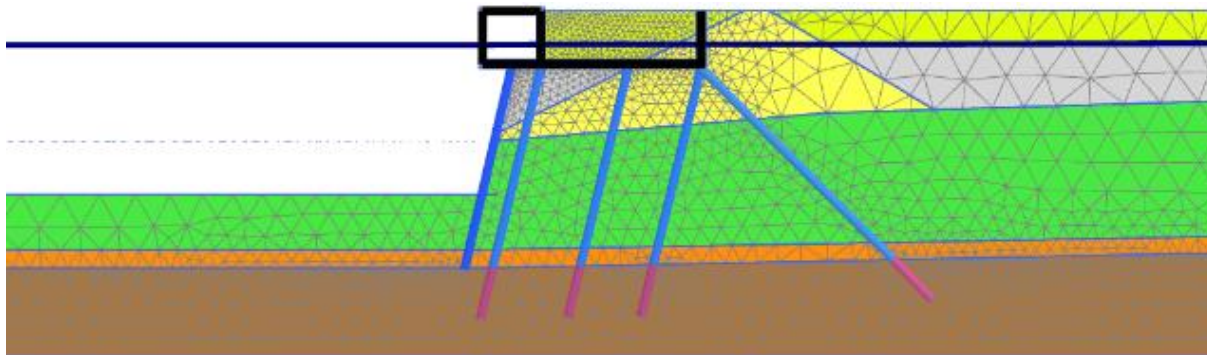
Vzamemo $EA_{\text{reducirano}} = 3,4 \cdot 10^4 \text{ kN/m}$ in $EI_{\text{reducirano}} = 0,283 \cdot 10^4 \text{ kNm}^2/\text{m}$, ter na koncu dobljene vrednosti statičnih količin linijskega elementa množimo z 10^3 . Enako velja tudi za prerez s $h = 0,8 \text{ m}$.

FAZA 8: FLIŠNI NASIP NA RAZBREMENILNI PLOŠČADI



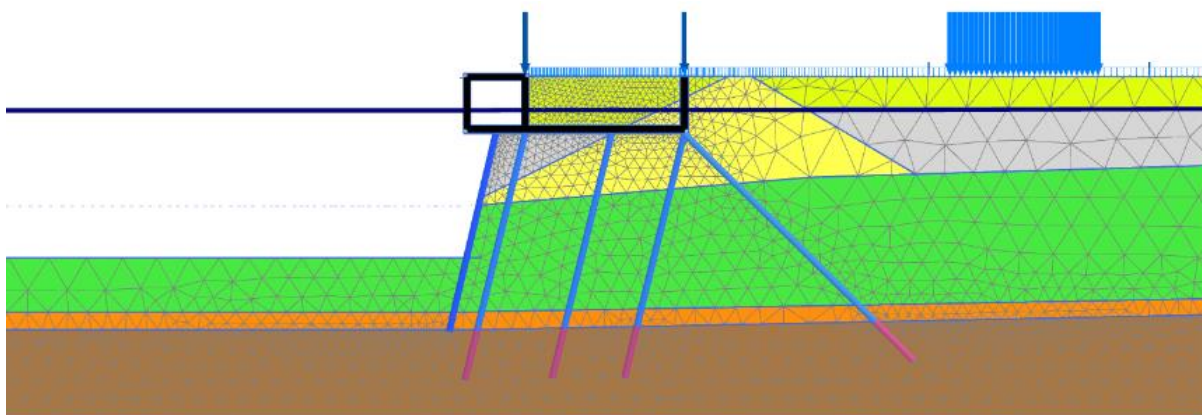
Slika 40: Faza 8 – flišni nasip na razbremenilni ploščadi

FAZA 9: POGLOBITEV PLOVNEGA KANALA



Slika 41: Faza 9 – poglobitev plovnega kanala

FAZA 10: ZUNANJA OBTEŽBA



Slika 42: Faza 10 – zunanja obtežba

Karakteristično kombinacijo MSU izračunam po naslednji enačbi (SIST EN 1990:2004: str. 36):

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Preglednica 13: Redukcijski faktorji za spremenljive obremenitve pri obalnih konstrukcijah (CUR, 2005: str. 264)

ψ_0	ψ_1	ψ_2
0,7	0,6	0,5

Preglednica 14: Kombinacija MSU

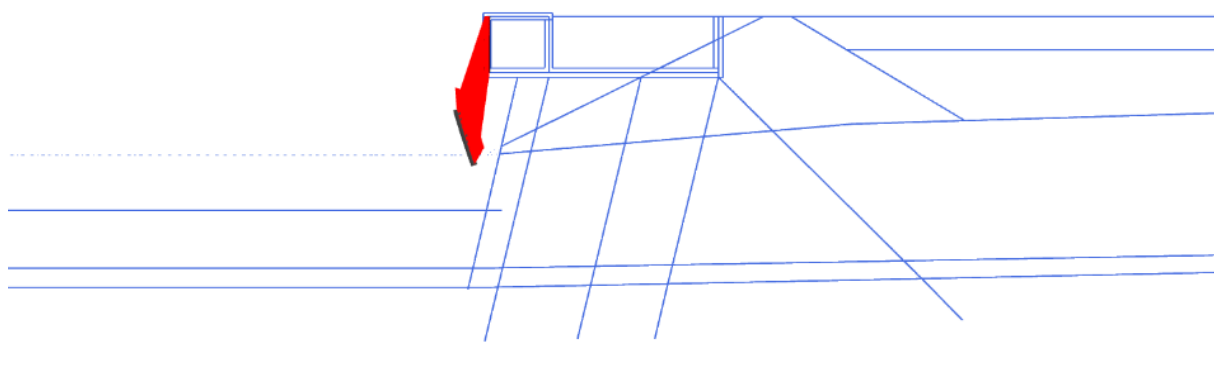
	Obtežba	MSU
$G_{k,j}$	Lastna teža konstrukcije	1,0
	Obtežba cestišča	1,0
$Q_{k,i}$	Luški žerjav	1,0
	Mostni prenosnik	1,0

Tovor	1,0
Vlek ladje	ni upoštevana
Pritisk ladje	0,7

Kot je bilo že omenjeno, so pri zadnji fazi ali fazi 10 opazovani pomiki merodajne točke B (slika 20). Ta znaša 5,3 cm s čimer je začetni pogoj o največjem dovoljenem absolutnem pomiku točke B izpolnjen. Z dodatnim ukrepom, kot je zgostitev nateznih pilotov na medsebojno razdaljo 3,5 m, pa je ta pogoj še izboljššan. Vendar tega koraka nadalje ne upoštevam, saj je pogoj že izpolnjen pri fazi 10.

Preglednica 15: Absolutni pomiki točke B pri fazi 10 in fazi 10.1

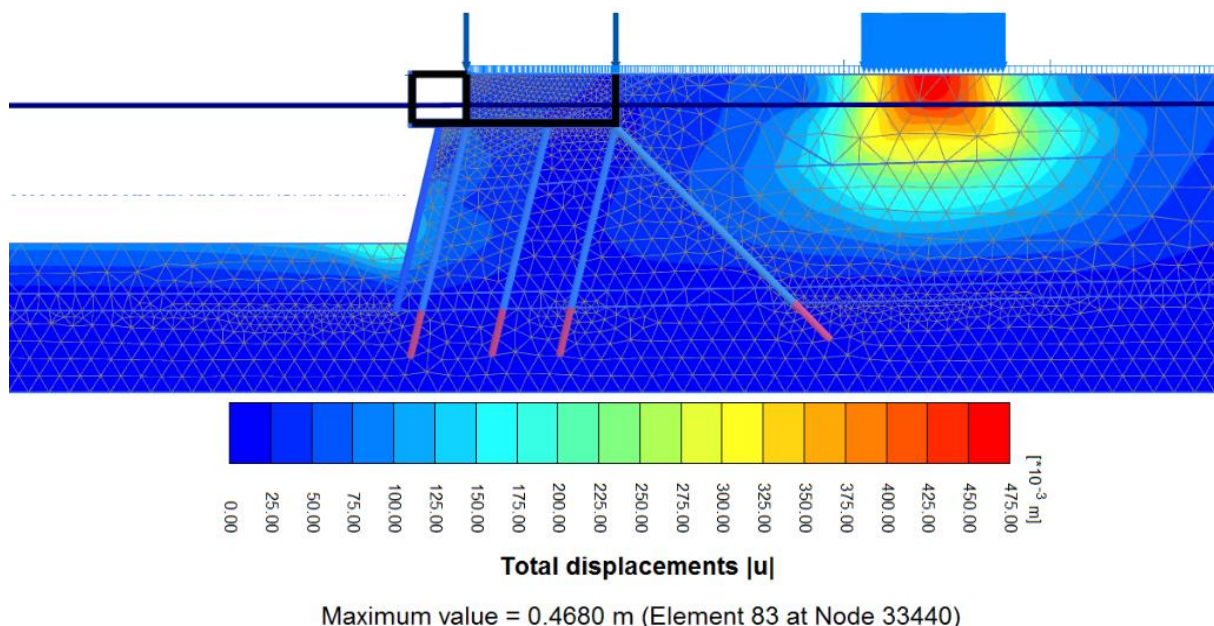
Faza	Opis + sprememba	$u ^{B}$ [m]
10	Zunanja obtežba	0,053
10.1	Faza 10 + natezni piloti v rastru 3,5 m	0,05



Total displacements $|u|$ (scaled up 200 times)

Maximum value = 0.05332 m (Element 26 at Node 7823)

Slika 43: Absolutni pomik točke B pri fazi 10



Slika 44: Absolutni pomiki faze 10.1

Ker je v materialnem modelu obtežba cestišča definirana kot obtežba, in ne kot nosilna plast, dobimo velike lokalne posedke pod skladiščem zabojnikov, saj zunanja obtežba nalega direktno na flišni nasip. Ti pomiki niso merodajni, saj spremljamo le merodajno točko B.

3.4.2 Kontrola nosilnosti MSN

Izberem Projektni pristop 1 po SIST 1997-1:2005, ki podaja nabor delnih faktorjev, naštet v spodnjih tabelah. Prvi par tega pristopa je izpuščen, saj ne vključuje projektiranja osno obremenjenih pilotov in sider. Drugi par:

- kombinacija 1: A1 + M1 + R1,
- kombinacija 2: A2 + (M1 ali M2) + R4, kjer je kombinacija z M1 uporabljena za računanje pilotov in sider, M2 pa za računanje neugodnih vplivov na pilote, npr. negativno trenje ali prečna obtežba.

Ker se večina zunanje obtežbe prenaša na pilote preko okolne zemljine, je pri kombinaciji 2 upoštevan nabor delnih faktorjev M2, ki upošteva vpliv negativnega trenja na pilote. Za mejno stanje nosilnosti dobimo kombinacijo za stalne in začasne vplive po enačbi (SIST EN 1990:2004: str. 34) :

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,i} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Preglednica 16: Delni faktorji za vplive ali učinke vplivov (SIST EN 1997-1:2005: str. 111)

		A1	A2
Stalni neugodni	γ_G	1,35	1,0

Stalni ugodni	γ_Q	1,0	1,0
Spremenljivi neugodni	γ_G	1,5	1,3
Spremenljivi ugodni	γ_Q	0	0

Preglednica 17: Delni faktorji za parametre zemljine (SIST EN 1997-1:2005: str. 112)

Odpornost in oznaka	M1	M2
Kot strižne odpornosti $\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Efektivna kohezija $\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Nedrenirana strižna trdnost γ_{cu}	1,0	1,4
Enoosna tlačna trdnost γ_{qu}	1,0	1,4
Prostorninska teža γ_t	1,0	1,0

Preglednica 18: Delni faktorji za zabite in uvrtnane pilote (SIST EN 1997-1:2005: str.113)

Odpornost in oznaka	Zabiti		Uvrtni	
	R1	R4	R1	R4
Odpornost pod konico pilota γ_b	1,0	1,3	1,25	1,6
Odpornost po plašču pri tlačno obremenjenih pilotih γ_s	1,0	1,3	1,0	1,3
Za celotno/kombinirano odpornost tlačno obremenjenih pilotov γ_t	1,0	1,3	1,15	1,5
Za odpornost po plašču pri natezno obremenjenih pilotih $\gamma_{s,t}$	1,25	1,6	1,25	1,6

Da bi se izognili preštevilnim kombinacijam zunanje obtežbe, obravnavam samo primer, kjer je vsa vertikalna obtežba upoštevana naenkrat in maksimalno faktorizirana, z dodatnim upoštevanjem pritiska ladje. To kombinacijo zunanje obtežbe upoštevam za obe kombinaciji drugega para projektnega pristopa 1:

- MSN-1: A1 + M1 + R1
- MSN-2: A2 + M2 + R4

3.4.2.1 Kontrola nosilnosti kombinirane zagatne stene

Kot je bilo že omenjeno, je kombinirana zagatna stena razdeljena na dva dela. V našem primeru so to nosilni cevni piloti Φ 812 mm/12,5 mm in zagatnice, katerih funkcija je zadrževanje zaledne zemljine in prenos pritiskov zaledne zemljine na cevne pilote. Cevni prerez uvrstimo v 3. razred kompaktnosti (SIST EN 1993-1-1:2005: str. 45):

$$\frac{d}{t} = \frac{81,3 \text{ cm}}{1,42 \text{ cm}} = 57 \leq 90 \cdot \varepsilon^2 = 90 \cdot 0,66 = 59,4$$

Preglednica 19: Notranje sile v kombinirani zagatni steni

Kombinacija	$N_{Ed,max}$	$M_{Ed,prp}$	$N_{Ed,prp}$	$M_{Ed,max}$
	[kN/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kNm/m]
MSN-1 (A1 + M1 + R1)	-738,6	-418	-675	-1120
MSN-2 (A1 + M2 + R4)	-688,5	-320,7	-629,8	-1245

Kontrola nosilnosti kombinirane zagatne stene pri maksimalnem upogibnem momentu in pripadajoči osni sili mora ustrezati poenostavljenemu pogoju (SIST EN 1993-1-1:2005: str. 47):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd} \cdot \gamma_{R,v}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{el,y,Rd} \cdot \gamma_{R,v}} = -\frac{629,8 \frac{\text{kN}}{\text{m}}}{12630 \text{kN} \cdot 1,0} + \frac{1245 \frac{\text{kNm}}{\text{m}} \cdot 100}{196474 \text{kNcm} \cdot 1,0} = 0,58 \leq 1$$

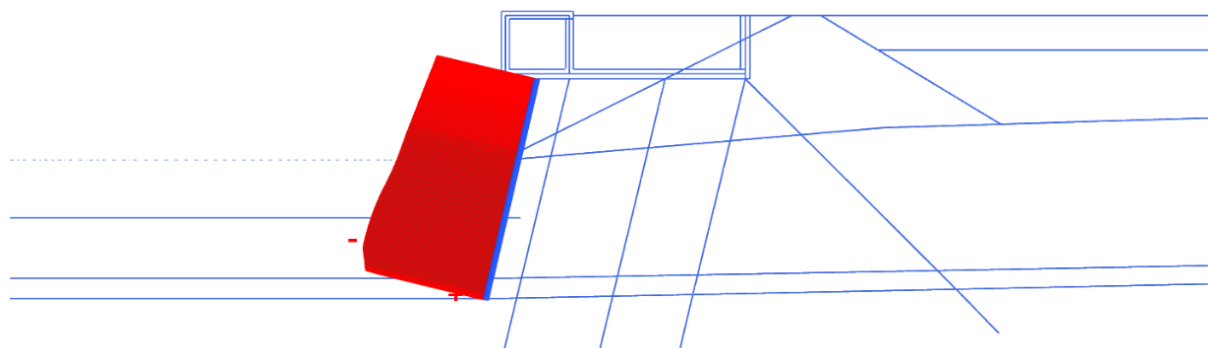
$$M_{el,y,Rd} = W_{el,y} \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 5534 \text{cm}^3 \frac{35,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,0} = 196474 \text{kNcm}$$

$$N_{pl,Rd} = A \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 355 \text{cm}^2 \frac{35,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,0} = 12630 \text{kN}$$

Preglednica 20: Delni faktorji za podporne konstrukcije (SIST EN 1997-1: 2005: str.115)

Odpornost in oznaka	R1
Nosilnost $\gamma_{R,v}$	1,0

Zaključim, da je kontrola nosilnosti za kombinirano zagatno steno izpolnjena.

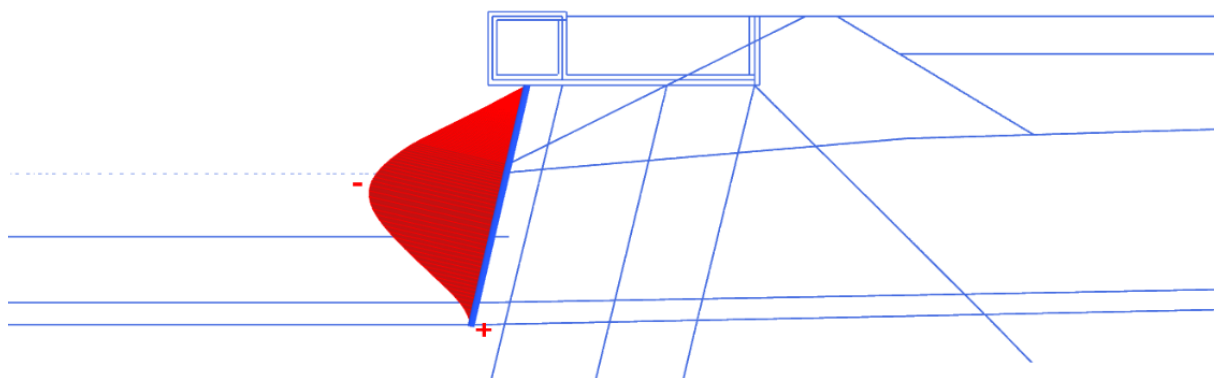


Axial forces N (scaled up 0.0200 times)

Maximum value = -97.30 kN/m (Element 188 at Node 13596)

Minimum value = -688.5 kN/m (Element 177 at Node 12438)

Slika 45: Osna sila v kombinirani zagatni steni pri MSN-2



Bending moments M (scaled up 0.0100 times)

Maximum value = 5.620 kNm/m (Element 188 at Node 13594)

Minimum value = -1245 kNm/m (Element 134 at Node 6851)

Slika 46: Upogibni moment v kombinirani zagatni steni pri MSN-2

3.4.2.2 Kontrola nosilnosti tlačnih pilotov

Preglednica 21: MSN-1 in MSN-2 za tlačne pilote

Obtežba		MSN-1	MSN-2
		(A1+M1+R1)	(A2+M2+R4)
$G_{k,j}$	Razbremenilna ploščad	1,35	1,0
	Obtežba cestišča	1,35	1,0
$Q_{k,i}$	Luški žerjav	1,5	1,3
	Portalni prenosnik	1,5	1,3
	Tovor	1,5	1,3
	Vlek ladje	ni upoštevana	ni upoštevana
	Pritisk ladje	0,7-1,5	0,7-1,3

Nosilnost pilota izračunam po alternativni metodi. Po tej metodi določimo odpornost pilota kot vsoto nosilnosti posameznih plasti po plašču in nosilnosti po konici. Karakteristične vrednosti se tako izračunajo iz (SIST EN 1997-1, 2005: str. 67):

$$R_{s;k} = \sum_i A_{s,i} \cdot q_{s;i;k}$$

$$R_{b;k} = A_b \cdot q_{b;k}$$

Tu je odpor po plašču v slojih morske glinice izračunan po naslednji enačbi $q_s = \alpha \cdot c_u$, z upoštevanjem $\alpha = 1$ za mehke glinice (Logar, 2009b).

Nedrenirano strižno trdnost po plašču v sloju morske glinice na vrhu in koncu pilota ocenimo glede na dobljene rezultate terenskih preiskav s krilno sondo in preiskave UU:

$$T_{top,max} = \pi \cdot D \cdot q_{s,top,k} = \pi \cdot 0,812 \text{ m} \cdot 15 \text{ kPa} = 38,3 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$T_{bot,max} = \pi \cdot D \cdot q_{s,bot,k} = \pi \cdot 0,812 \text{ m} \cdot 45 \text{ kPa} = 102 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Projektno vrednost odpornosti $R_{c,d}$ je potrebno izračunati iz ene izmed naslednjih dveh enačb (SIST EN 1997-1, 2005: str. 67):

$$R_{c;d} = \frac{R_{c;k}}{\gamma_t}$$

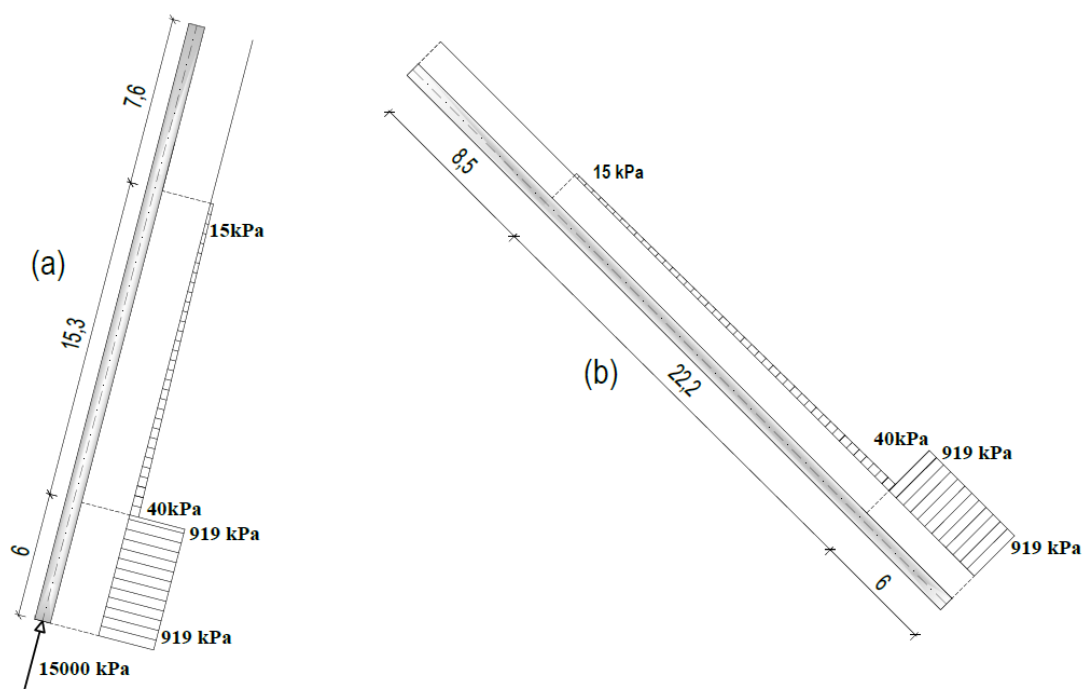
$$R_{c;d} = \frac{R_{b;k}}{\gamma_b} + \frac{R_{s;k}}{\gamma_s}$$

Pri tem zaradi pilota, ki je razdeljen na zabiti in uvrtni del, upoštevam drugo enačbo. Zaradi poenostavitve izračuna nosilnosti pilota upoštevam samo tisti del, na katerem nalega v morsko glinico in flišno podlago.

Projektna vrednost odpornosti pilota pri MSN-1 in MSN-2:

$$R_{c;d}^{MSN-1} = \frac{\frac{38,3 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 102 \frac{\text{kN}}{\text{m}}}{2} \cdot 15,3 \text{ m}}{1,0} + \frac{919,2 \text{ kPa} \cdot \pi \cdot 0,812 \text{ m} \cdot 6 \text{ m}}{1,0} + \frac{15000 \text{ kPa} \cdot \frac{\pi \cdot 0,812^2 \text{ m}^2}{4}}{1,25} = 21357,2 \text{ kN}$$

$$R_{c;d}^{MSN-2} = \frac{\frac{38,3 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 102 \frac{\text{kN}}{\text{m}}}{2} \cdot 15,3 \text{ m}}{1,3} + \frac{919,2 \text{ kPa} \cdot \pi \cdot 0,812 \text{ m} \cdot 6 \text{ m}}{1,3} + \frac{15000 \text{ kPa} \cdot \frac{\pi \cdot 0,812^2 \text{ m}^2}{4}}{1,6} = 16503,3 \text{ kN}$$



Slika 47: Prikaz distribucije karakterističnega odpora tlačnega pilota v osi 1.B (a) in nateznega pilota v osi 1.E (b)

Izpolnjena mora biti kontrola (SIST EN 1997-1:2005: str.65):

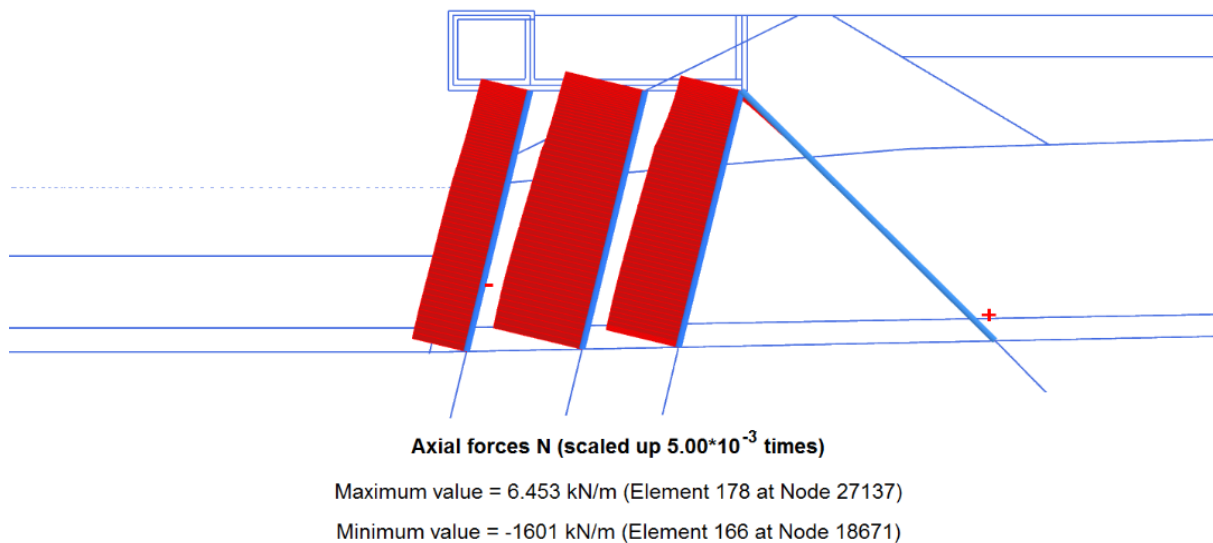
$$F_{c;d} \leq R_{c;d}$$

Notranje sile moramo na koncu pomnožiti z medsebojno razdaljo, ki znaša 7 m. Največje tlačne sile se pojavijo v pilotu v osi 1.C (priloga C) pri MSN-2.

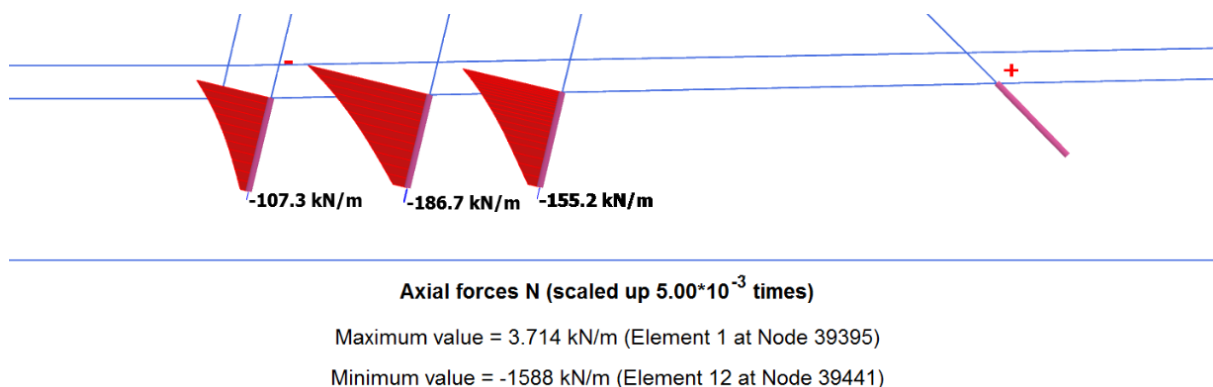
Preglednica 22: Notranje sile v tlačnih pilotih

Kombinacija	Pilot	N_i [kN/m]	$ N_i \cdot L_{spacing}$ [kN]	$R_{c;d}$ [kN]
MSN-1 (A1 + M1 + R1)	os 1.C	-1522	10654	21357,2
MSN-2 (A1 + M2 + R4)	os 1.C	-1601	11207	16503

Zaključim, da je kontrola nosilnosti za tlačne pilote izpolnjena.



Slika 48: Potek osnih sil v zabitem delu tlačnih pilotov pri MSN-2



Slika 49: Potek osnih sil v uvrtnem delu tlačnih pilotov pri MSN-2

3.4.2.3 Kontrola nosilnosti nateznih pilotov

Natezni pilot je lociran v osi 1.E (priloga C). Enako kot pri tlačnih pilotih upoštevam tudi pri nateznem pilotu enak MSN-1 in enak MSN-2, vendar pričakujem, da se bodo v nateznem pilotu pojavile največje natezne napetosti, če bodo vertikalne napetosti čim manjše ob upoštevanju vleka ladje. Tako za kontrolo nosilnosti nateznih pilotov definiram še MSN-3, ob upoštevanju tudi prejšnjih dveh MSN-1 in MSN-2.

Preglednica 23: Kombinacija MSN-3 za natezne pilote

Obtežba		MSN-3 (A2+M2+R4)
$G_{k,j}$	Razbremenilna ploščad	1.0
	Obtežba cestišča	1.0
$Q_{k,i}$	Luški žerjav	0
	Portalni prenosnik	0

Tovor	0
Vlek ladje	1,5
Pritisk ladje	0

Karakteristično vrednost natezne odpornosti določimo iz enačbe (SIST 1997-1:2005: str.72):

$$R_{t;k} = \sum_i A_{s,i} \cdot q_{s,i,k}$$

Projektno vrednost natezne odpornosti pa iz enačbe (SIST 1997-1:2005: str.72):

$$R_{t;d} = \frac{R_{t;k}}{\gamma_{s,t}}$$

V vseh treh primerih se v nateznem pilotu pojavijo tlačne sile, le pri MSN-2 v krajšem delu zabitega dela pilota in v uvrzanem delu dobimo natezno obremenitev (slika 48 in 49). Ta znaša ob upoštevanju medsebojne razdalje 7 m, le $6,45 \text{ kN/m} \cdot 7 \text{ m} = 45,1 \text{ kN}$. Torej kontrola nosilnosti za natezne pilote ni potrebna.

3.4.2.4 Kontrola nosilnosti betonskega dela pomola

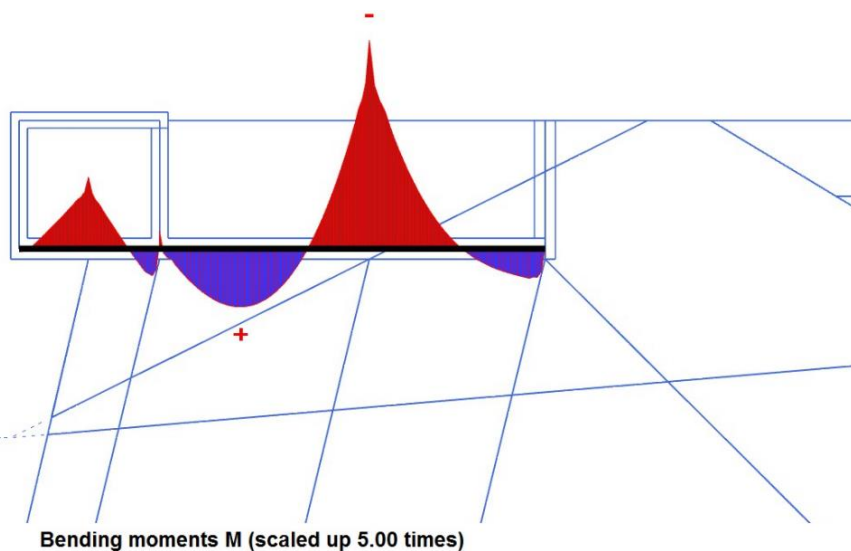
Najmanjša debelina krovnega sloja betona je določena s (SIST EN 1992-1-1, 2005: str. 51):

$$c_{min} = \max \{ c_{min,b} ; c_{dur} ; 10 \text{ mm} \} = \max \{ 28 \text{ mm} ; 55 \text{ mm} ; 10 \text{ mm} \} = 55 \text{ mm}$$

Preglednica 24: Osne sile in upogibni momenti v razbremenilni ploščadi

Element razbremenilne ploščadi	$N_{Ed,max.,min.}$	$M_{Ed,prp}$	$N_{Ed,prp}$	$M_{Ed,max.,min.}$
	[kN/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kNm/m]
Ploščad	539,6	-98,5	111,8	-1768
Zunanja stran kinete	-162,1	74,9	-89,1	83,1
MSN-1 Pokrov kinete	123	15,6	-92,5	-105,4
Notranja stran kinete	-4481	-105	-678	264,9
Podporna stena	-7233	0	-7086,7	145,7
Ploščad	555,2	120,8	115,2	-1983
MSN-2 Zunanja stran kinete	-158,7	82,9	-156,4	83
Pokrov kinete	134	24,7	-84,9	-98,4

Notranja stran kinete	-4480	-98,4	-747,7	249,3
Podporna stena	-7227	0	-867,7	-154,9

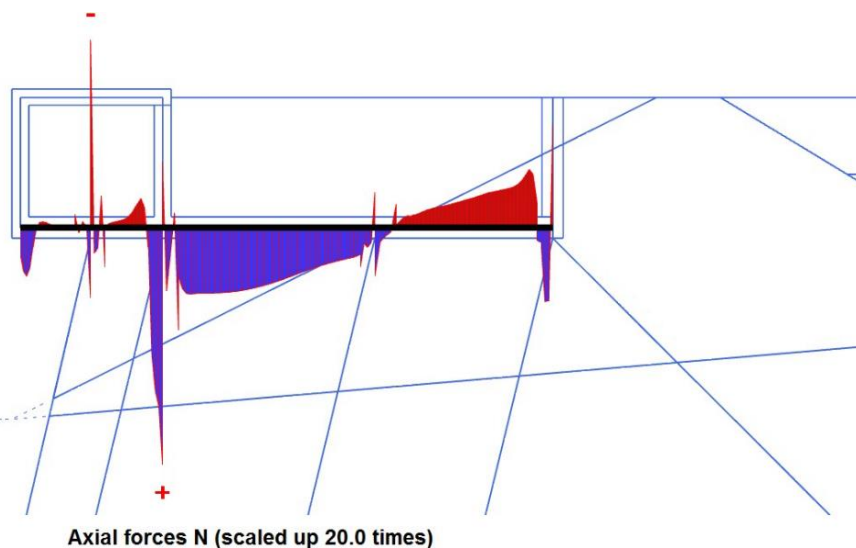


Bending moments M (scaled up 5.00 times)

Maximum value = 0.5543 kNm/m (Element 59 at Node 14414)

Minimum value = -1.983 kNm/m (Element 51 at Node 19218)

Slika 50: Potek upogibnih momentov v razbremenilni ploščadi pri MSN-2



Axial forces N (scaled up 20.0 times)

Maximum value = 0.5552 kN/m (Element 46 at Node 11813)

Minimum value = -0.4396 kN/m (Element 50 at Node 9871)

Slika 51: Potek osnih sil v razbremenilni ploščadi pri MSN-2

Upogibna armatura v ploščadi mora zadoščati pogoju (SIST EN 1992-1-1:2005: str.154):

$$\begin{aligned} A_{s,min} &= \max \left\{ 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d ; 0,0013 \cdot b_t \cdot d \right\} = \\ &= \max \left\{ 0,26 \cdot \frac{0,35}{50} \cdot 100\text{cm} \cdot 94,5\text{cm} ; 0,0013 \cdot 100\text{cm} \cdot 94,5\text{cm} \right\} = \\ &= \{17,2\text{cm}^2; 12,3\text{cm}^2\} = 17,2\text{cm}^2 \end{aligned}$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 100 \text{ cm} \cdot 100 \text{ cm} = 400\text{cm}^2$$

Interakcija med upogibnim momentom in pripadajočo osno silo:

$$n_d = \frac{N_d}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{115,2\text{kN}}{100^2\text{cm}^2 \cdot 2,33 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 0,005$$

$$m_d = \frac{M_d}{A_c \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{1983 \cdot 100 \text{ kNcm}}{100^2\text{cm}^2 \cdot 100\text{cm} \cdot 2,33 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 0,085$$

$$A_s = A_s' = \frac{\mu_0}{(1+k)} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot A_c = \frac{0,2}{1+1} \cdot \frac{2,33 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{34,8 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} \cdot 100\text{cm} \cdot 100\text{cm} = 66,9\text{cm}^2$$

Preverim še največjo osno silo in pripadajoči upogibni moment:

$$n_d = \frac{N_d}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{555,2\text{kN}}{100^2\text{cm}^2 \cdot 2,33 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 0,02$$

$$m_d = \frac{M_d}{A_c \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{120,8 \cdot 100 \text{ kNcm}}{100^2\text{cm}^2 \cdot 100\text{cm} \cdot 2,33 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 0,005$$

$$A_s = A_s' = \frac{\mu_0}{(1+k)} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot A_c = \frac{0,05}{1+1} \cdot \frac{2,33 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{34,8 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} \cdot 100\text{cm} \cdot 100\text{cm} = 16,7\text{cm}^2$$

Pri kombinaciji največjega momenta in pripadajoče osne sile dobimo največjo potrebo pa armaturi, tako da je ta kombinacija pričakovano merodajna.

Med osnimi silami v kineti in podporni steni je največja tista v podporni steni, ki jo dobimo pri MSN-1. Vsi ti elementi imajo enak prečen prerez. Pričakovano sta največji tlačni sili tam kjer se podpirata morska in kopna tirnica luškega žerjava, torej v desni strani kinete in v podporni steni.

Upogibna armatura mora zadoščati pogoju:

$$A_{s,min} = \max \left\{ 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d; 0,0013 \cdot b_t \cdot d \right\} =$$

$$= \max \left\{ 0,26 \cdot \frac{0,35 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{50 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} \cdot 100 \text{ cm} \cdot 74,5 \text{ cm}; 0,0013 \cdot 100 \text{ cm} \cdot 74,5 \text{ cm} \right\} =$$

$$= \{13,5 \text{ cm}^2; 9,68 \text{ cm}^2\} = 13,5 \text{ cm}^2$$

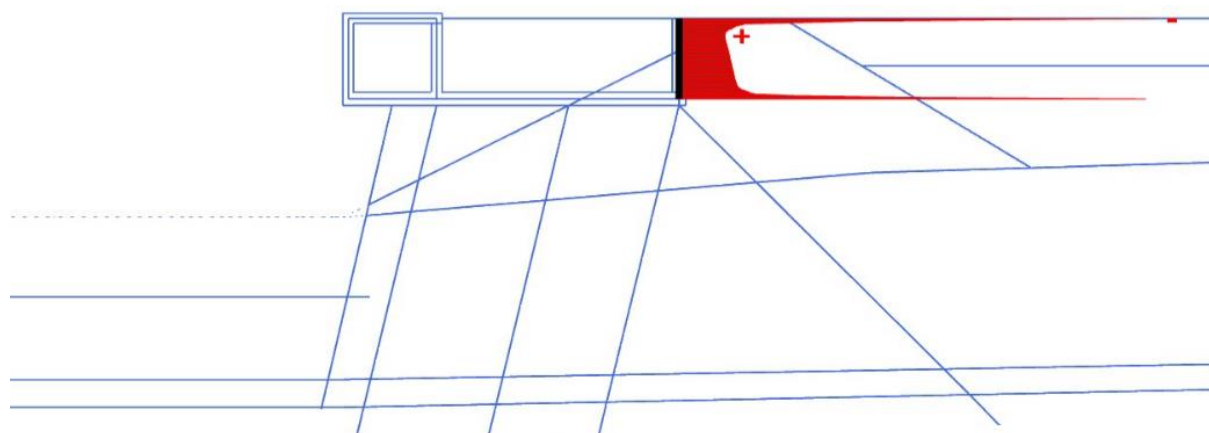
$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 100 \text{ cm} \cdot 80 \text{ cm} = 320 \text{ cm}^2$$

Interakcija med osno silo in pripadajočim upogibnim momentom v kineti:

$$n_d = \frac{N_d}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{-7233 \text{ kN}}{100 \text{ cm} \cdot 80 \text{ cm} \cdot 2,33 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = -0,39$$

$$m_d = \frac{M_d}{A_c \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{0 \cdot 100 \text{ kNcm}}{100 \text{ cm} \cdot 80 \text{ cm} \cdot 80 \text{ cm} \cdot 2,33 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 0$$

Zaključim, da minimalna armatura zadošča, tako za zunanjo kot notranjo stran kinete, pokrovu kinete in za podporno steno.



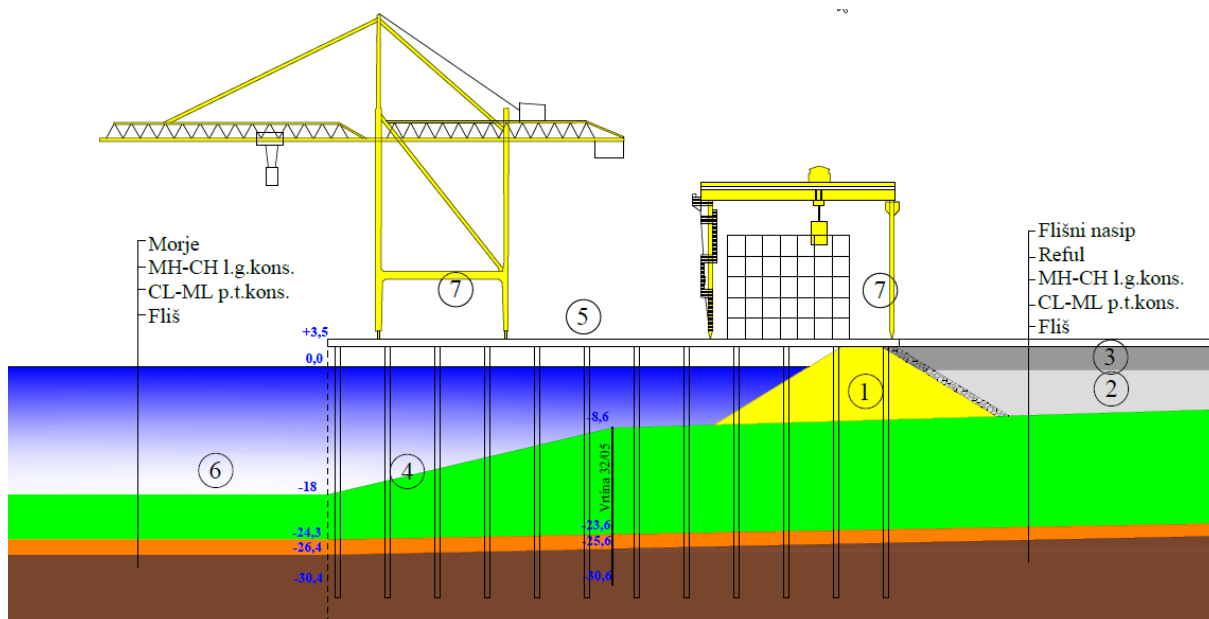
Axial forces N (scaled up 5.00 times)

Maximum value = -0.6945 kN/m (Element 15 at Node 25672)

Minimum value = -7.233 kN/m (Element 16 at Node 25307)

Slika 52: Potek osne sile v podporni steni pri kombinaciji MSN-1

3.5 Odprti pomol



Slika 53: Idejna zasnova odprtega tipa pomola

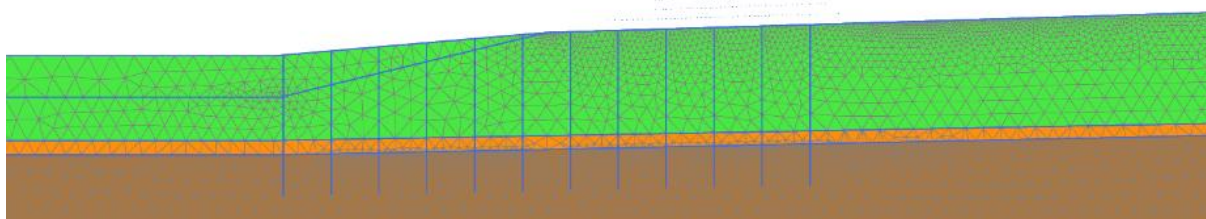
Začetna faza odprtega pomola je enaka kot v primeru tipa pomola z razbremenilno ploščadjo. Po varovalnem nasipu z ojačitvami - ①, refuliranju kasete - ② in flišnem nasipu - ③ sledi faza izgradnje vertikalnih pilotov - ④. Idejna zasnova vključuje v prečni smeri 12 vrst pilotov Φ 812 mm/12,5 mm v rastru 7 m. V vzdolžni smeri vzamem enak raster. V nivoju nihanja vodne gladine morajo biti zaščiteni proti koroziji. Betonska ploščad - ⑤ je zaradi drugače preobširnega izračuna poenostavljena v polno ploščad višine 75 cm. Za potrebo gradnje bi ploščo nadomestil nosilni sistem iz prednapetih armiranobetonskih montažnih T-nosilcev s tlačno ploščo, ki bi nalegali na prečne armirano betonske grede. Ponovno je predzadnja faza poglobljanje plovnega kanala - ⑥ in zadnja faza zunanje obežbe - ⑦.

3.5.1 Kontrola MSU

Postopek kontrole MSU je enak kot v prejšnjem primeru.

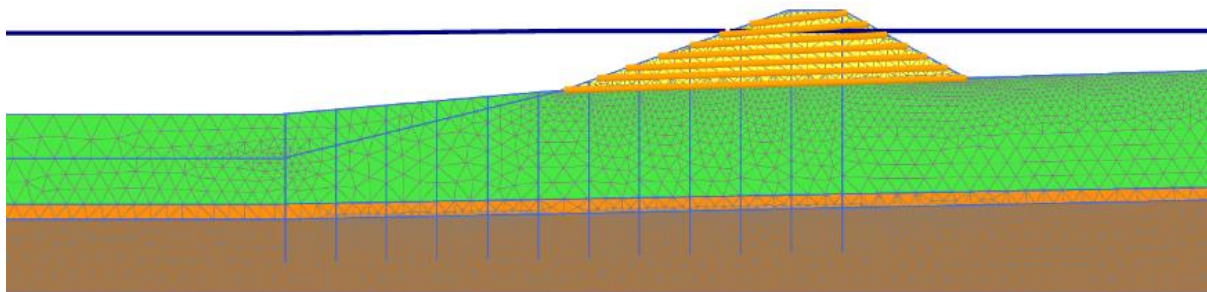
ZAČETNA FAZA

Morsko dno predstavlja začetna faza, ki ponovno temelji na geotehničnem profilu B-B v prilogi B.



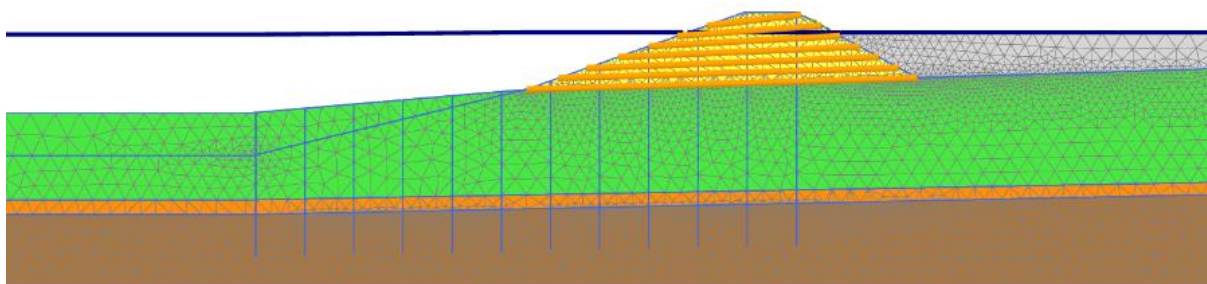
Slika 54: Začetna faza

FAZA 1: VAROVALNI NASIP



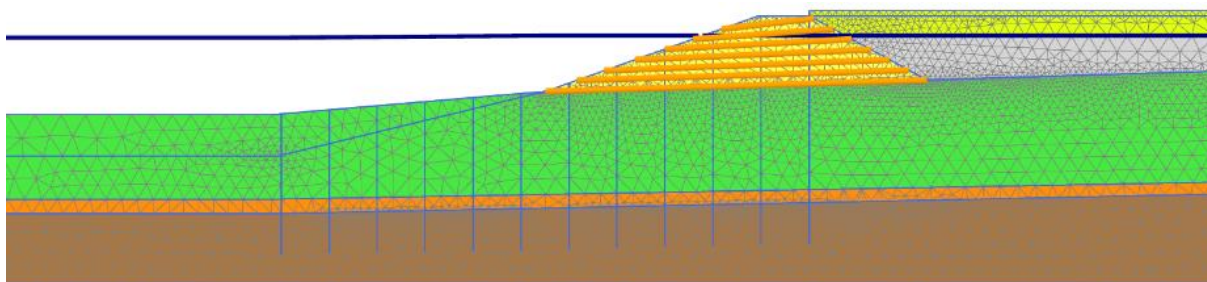
Slika 55: Faza 1 – varovalni nasip z ojačitvami

FAZA 2: REFULIRANJE KASETE



Slika 56: Faza 2 - refuliranje kasete

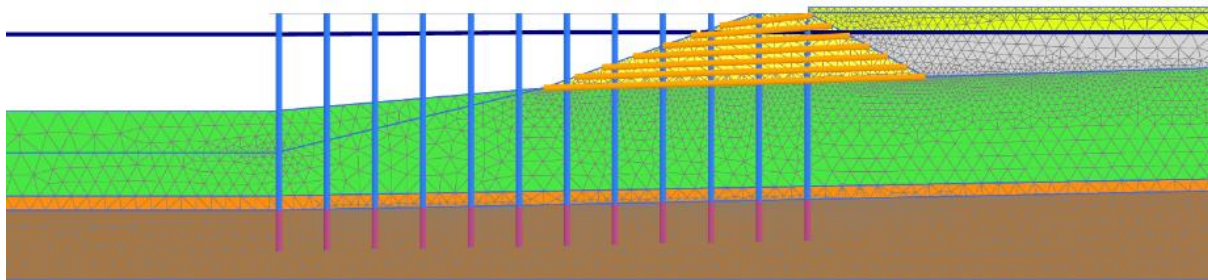
FAZA 3: FLIŠNI NASIP



Slika 57: Faza 3 – flišni nasip

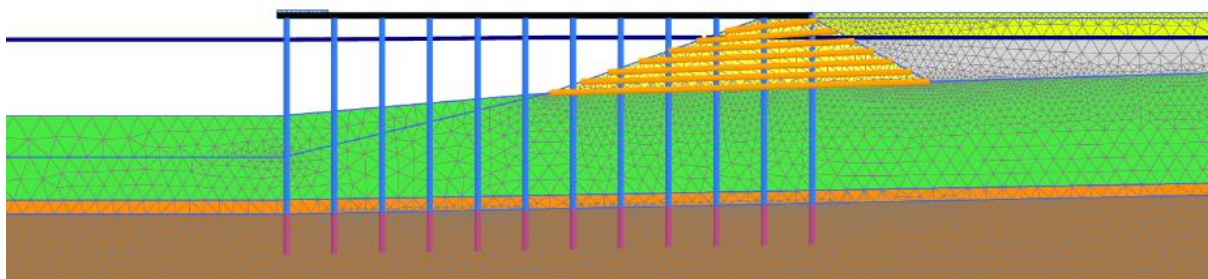
FAZA 4: TLAČNI PILOTI

Ponovno uporabim enake pilote, Φ 812 mm/12,5 mm.



Slika 58: Faza 4 – vertikalni piloti

FAZA 5: PLOŠČAD



Slika 59: Faza 5 - ploščad

Kot betonsko ploščad vzamem poln prerez višine 0,75 m. Skupna višina s cestiščem znaša 1,11 m:

$$EA = 3,4 \cdot 10^7 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot \frac{1\text{m} \cdot 0,75\text{m}}{1\text{m}} = 2,55 \cdot 10^7 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$EI = 3,4 \cdot 10^7 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot \frac{1\text{m} \cdot 0,75^3 \text{m}^3}{12 \cdot 1\text{m}} = 0,12 \cdot 10^7 \frac{\text{kN m}^2}{\text{m}}$$

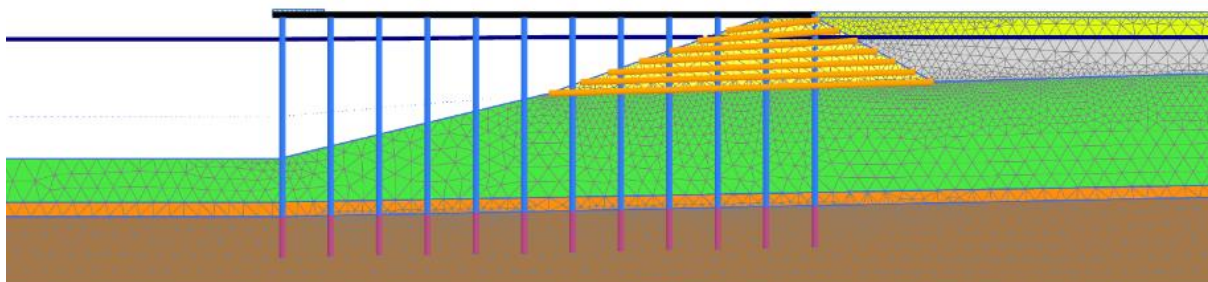
$$w = 0 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Reducirani vrednosti sta tako:

$$EA_{\text{reducirano}} = 2,55 \cdot 10^4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} ; EI_{\text{reducirano}} = 0,12 \cdot 10^4 \frac{\text{kN m}^2}{\text{m}}$$

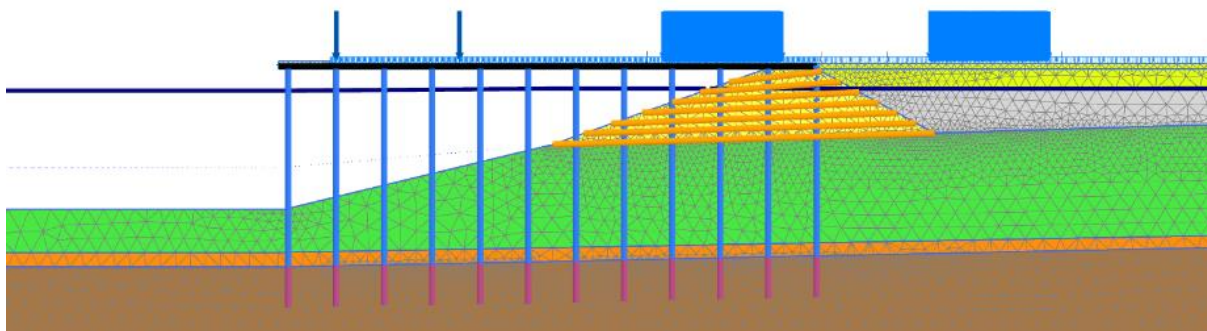
FAZA 6: POGLOBITEV PLOVNEGA KANALA

V fazi poglobljanja plovnega kanala je vključena tudi odstranitev morskega dna med piloti.

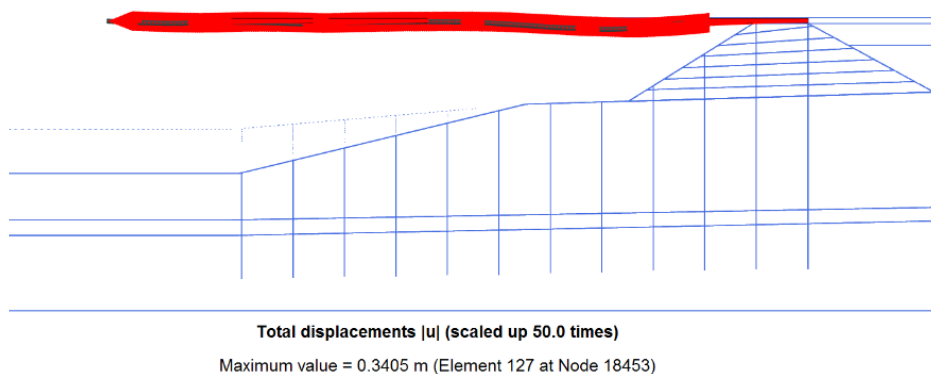


Slika 60: Faza 6 – poglobitev plovnega kanala

FAZA 7: ZUNANJA OBTEŽBA

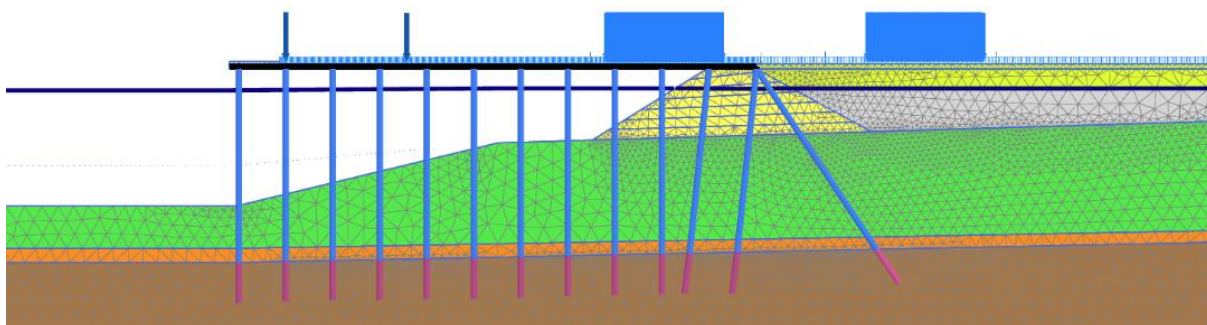


Slika 61: Faza 7 – zunanja obtežba



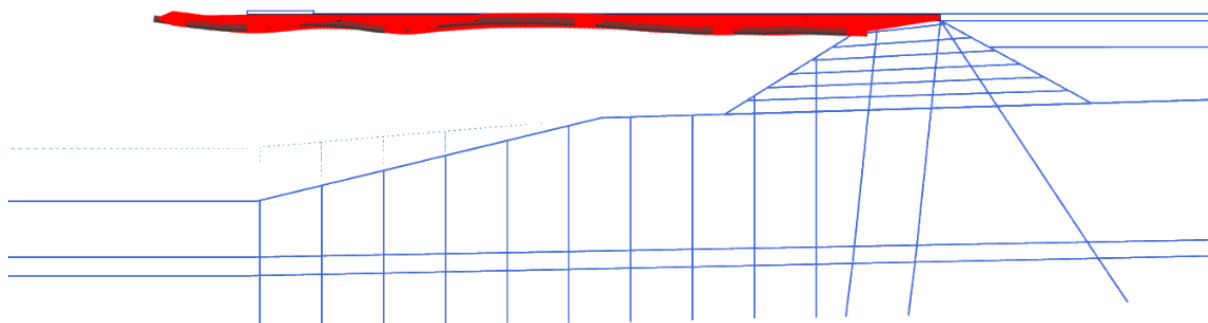
Slika 62: Faza 7 - absolutni pomik plošče

Maksimalni absolutni pomik znaša 34 cm, s čimer začetni predpostavljeni pogoj o največjem dovoljenem absolutnem pomiku 10 cm ni izpolnjen. Pretežni del tega pomika predstavlja pomik v horizontalni smeri, saj konstrukcija ne vsebuje elementa za preprečevanje horizontalnih pomikov, ki so posledica nasutja za varovalnim nasipom ter posedanja varovalnega nasipa. Zato v fazi 7.1 idejno zasnovam nadgradim s poševno postavitvijo zadnjih dveh pilotov ter dodatnim nateznim pilotom. Zadnja dva pilota tako tvorita t.i. koza.



Slika 63: Faza 7.1 - koza

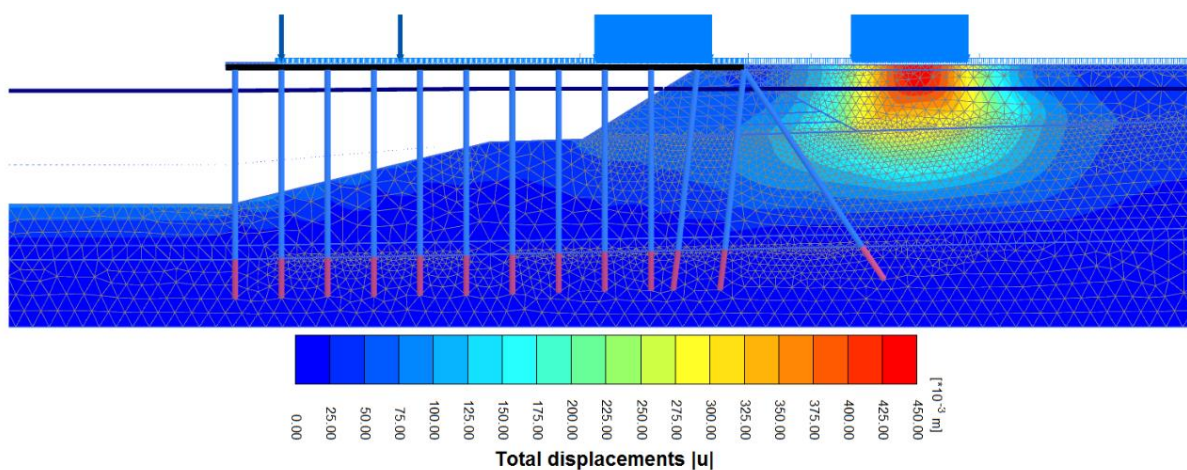
Absolutni pomik plošče je s tako postavitvijo pilotov zmanjšan na željeno raven 5,3 cm, s čimer je pogoj izpolnjen.



Total displacements |u| (scaled up 200 times)

Maximum value = 0.05369 m (Element 146 at Node 19195)

Slika 64: Faza 7.1 – absolutni pomik plošče



Maximum value = 0.4427 m (Element 408 at Node 1814)

Slika 65: Faza 7.1 – absolutni pomiki

Največji absolutni pomiki so pričakovano pod obtežbo zabojsnikov, saj je pod njo samo slabo nosilna plast refula in plast flišnega nasipa. Tak pomik je tudi posledica definiranja cestišča, ki je podan kot obtežba, ne kot nosilna plast kar je v resnici njegova funkcija. Ti posedki niso merodajni, saj bi jih lahko pred izvedbo asfalta že deloma sanirali.

Konstrukcija bi bila bolj enostavna, če bi bilo možno navidezno sekanje dveh pilotov, kar pa Plaxis 2D v našem primeru, ko imamo del pilota definiranega kot linijski element, ne omogoča. Navideznem sekanju se lahko izognemo samo z uporabo elementa »Embedded pile row«, zato pa ne moremo pilotov

razdeliti na zabiti in uvrtnan del. Tip takega odprtega pomola bi lahko enostavno in bolj natančno obravnavali samo z uporabo 3D- verzije.

3.5.2 Kontrola nosilnosti MSN

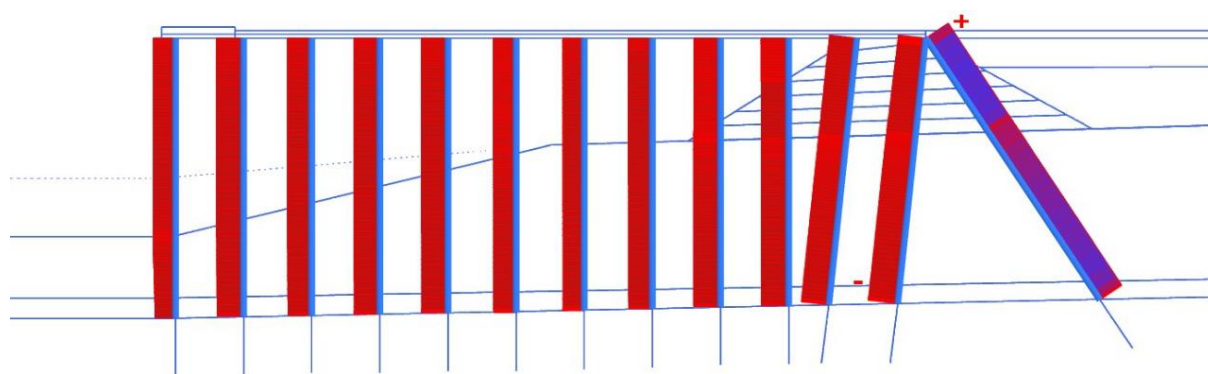
Potek kontrole je enak kot v točki 3.4.2 pri tipu pomola z razbremenilno ploščadjo.

3.5.2.1 Kontrola nosilnosti tlačnih pilotov

Pri odprtem pomolu zabiti del pilota različno nalega v morsko glino, uvrtnan del pa je vedno 6 m v flišni podlagi. S tem se spreminja tudi nosilnost po plašču in zato nosilnost celotnega pilota. Vendar nosilnost dela pilota, ki ne nalega v flišno podlago zanemarim, tako da spremljam samo maksimalno tlačno obremenjen pilot. Pri obtežnih kombinacijah ponovno upoštevam kombinaciji MSN-1 in MSN-2 (Preglednica 21), ter MSN-3 (Preglednica 23). V vseh treh kombinacijah se največje osne tlačne sile pojavijo v pilotu v osi 2.L (Priloga C).

Preglednica 25: Osne sile v pilotu v osi 2.L

Kombinacija	Pilot	N_i [kN/m]	$ N_i \cdot L_{spacing}$ [kN]	$R_{c,d}$ [kN]
MSN-1 (A1 + M1 + R1)	os 2.L	-1062	7434	20283,9
MSN-2 (A1 + M2 + R4)	os 2.L	-1104	7728	15677,6
MSN-3 (A1 + M2 + R4)	os 2.L	-615,7	4305	15677,6



Axial forces N (logarithmically scaled up 1.00 times)

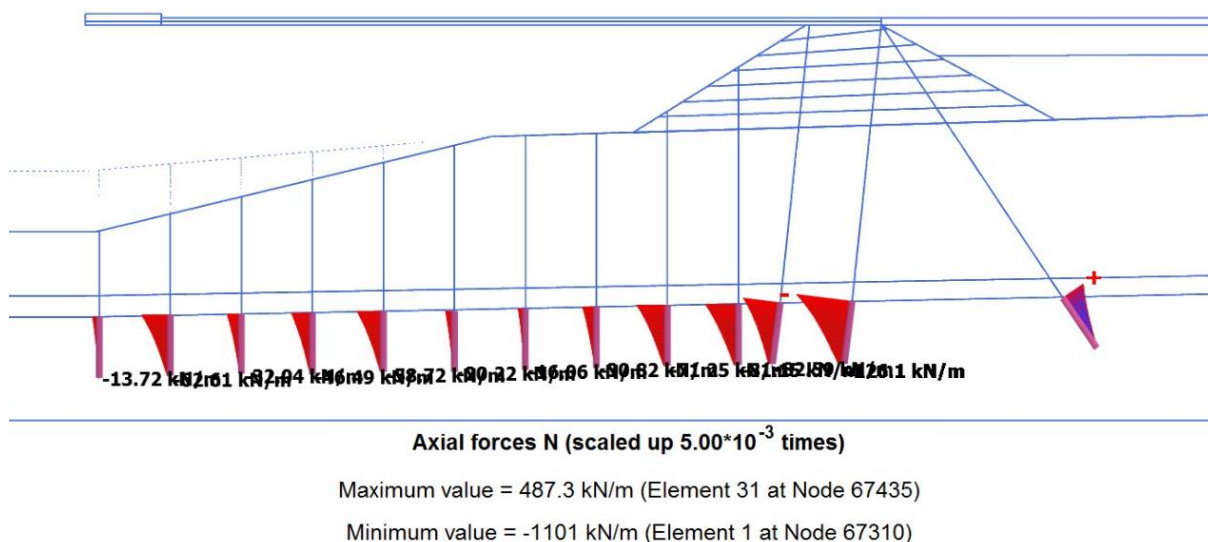
Maximum value = 614.5 kN/m (Element 147 at Node 19500)

Minimum value = -1104 kN/m (Element 340 at Node 40176)

Slika 66: Osne sile v pilotih pri MSN-2

Največje osne sile v tlačnih pilotih se pojavijo pri MSN-2, kar je pričakovano saj so tukaj, ob enako faktorizirani in kombinirani zunanji obtežbi glede na MSN-1, upoštevani še delni faktorji za parametre zemljine.

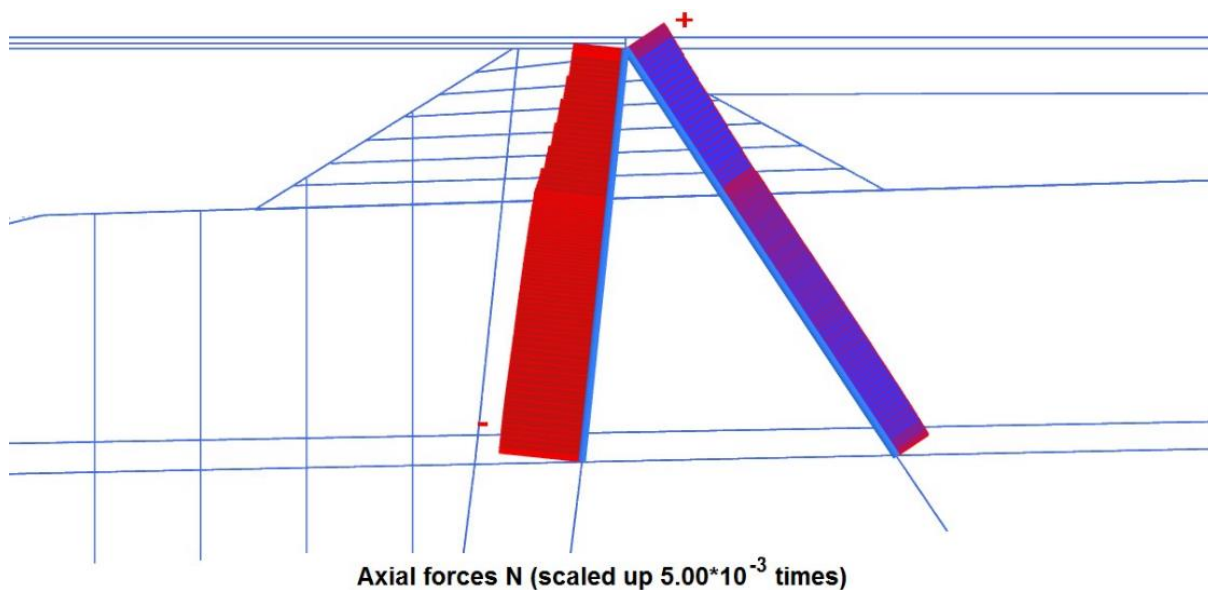
Največjo izkoriščenost tako dobim pri pilotu v osi 2.L pri MSN-2, ki je $7728 \text{ kN}/15177,6 \text{ kN} = 0,509$, kar znaša 50,9 %.



Slika 67: Osne sile v uvrtnem delu pilotov pri MSN-2

Padec osne sile je v delu kjer pilot nalega v morsko glino, večinoma komaj zaznaven, kar pomeni, da je tukaj nosilnost po plašču zanemarljiva. Do očitnejšega padca osne sile pride šele v flišni podlagi, kjer je nosilnost po plašču izrazitejša.

V pilotu v osi 2.L se pojavi negativno trenje ob plašču, kjer pilot nalega v varovalni nasip. Posledica je dodatna obremenitev na pilot. Pojavi se v primerih, ko se zemljina v okolici pilota poseda bolj kot pa pilot sam. Izračun pokaže, da ni prekomernega vpliva na samo nosilnost, problematični pa so lahko predvsem posedki. Zato je upoštevanje nabora delnih faktorjev za parametre zemljine M2 nujno.



Maximum value = 614.5 kN/m (Element 147 at Node 19500)

Minimum value = -1104 kN/m (Element 340 at Node 40176)

Slika 68: Prikaz negativnega trenja ob plašču v pilotu v osi 2.L pri MSN-2

3.5.2.2 Kontrola nosilnosti nateznega pilota

Preglednica 26: Osne sile v nateznem pilotu

Kombinacija	Pilot	N_i [kN/m]	$ N_i \cdot L_{spacing}$ [kN]	$R_{c,d}$ [kN]
MSN-1 (A1 + M1 + R1)	os 2.M	464,7	3252,9	14069,7
MSN-2 (A1 + M2 + R4)	os 2.M	614,5	4301,5	10822,8
MSN-3 (A1 + M2 + R4)	os 2.M	351,5	2460,5	10822,8

Natezni pilot je pozicioniran v osi 2.M (Priloga D). Glede na način kombiniranja obtežbe predvidevam, da bi moral dobiti največje natezne napetosti pri MSN-3, vendar pa jih dobim ponovno pri MSN-2. Največja izkoriščenost pilota je tako $4301,5 \text{ kN} / 10822,8 \text{ kN} = 0,39$, kar znaša 39 %.

3.5.2.3 Kontrola nosilnosti ploščadi

Zaradi prej reducirane togosti moramo notranje sile pomnožiti z faktorjem 1000.

Preglednica 27: Notranje sile v ploščadi

Kombinacija	$N_{Ed,max}$	$M_{Ed,prp}$	$N_{Ed,prp}$	$M_{Ed,max}$
-------------	--------------	--------------	--------------	--------------

	[kN/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kNm/m]
MSN-1 (A1 + M1 + R1)	759,2	-459,6	335,2	-911,4
MSN-2 (A1 + M2 + R4)	758	-461,2	335,3	-915
MSN-3 (A1 + M2 + R4)	181,7	82,9	36,9	347,4

Upogibna armatura v ploščadi mora zadoščati pogoju (SIST EN 1992-1-1, 2005: str.154):

$$\begin{aligned}
 A_{s,min} &= \max \left\{ 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d ; 0,0013 \cdot b_t \cdot d \right\} = \\
 &= \max \left\{ 0,26 \cdot \frac{0,32 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{50 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} \cdot 100 \text{ cm} \cdot 69,5 \text{ cm} ; 0,0013 \cdot 100 \text{ cm} \cdot 69,5 \text{ cm} \right\} = \\
 &= \{13,4 \text{ cm}^2 ; 9,62 \text{ cm}^2\} =
 \end{aligned}$$

$$A_{s,min} \leq A_s = 11,5 \text{ cm}^2 \leq A_{max} = 0,04 \cdot 100 \text{ cm} \cdot 75 \text{ cm} = 300 \text{ cm}^2$$

Kontrola nosilnosti pri največji osni sili in pripadajočemu upogibnemu momentu pri MSN-1:

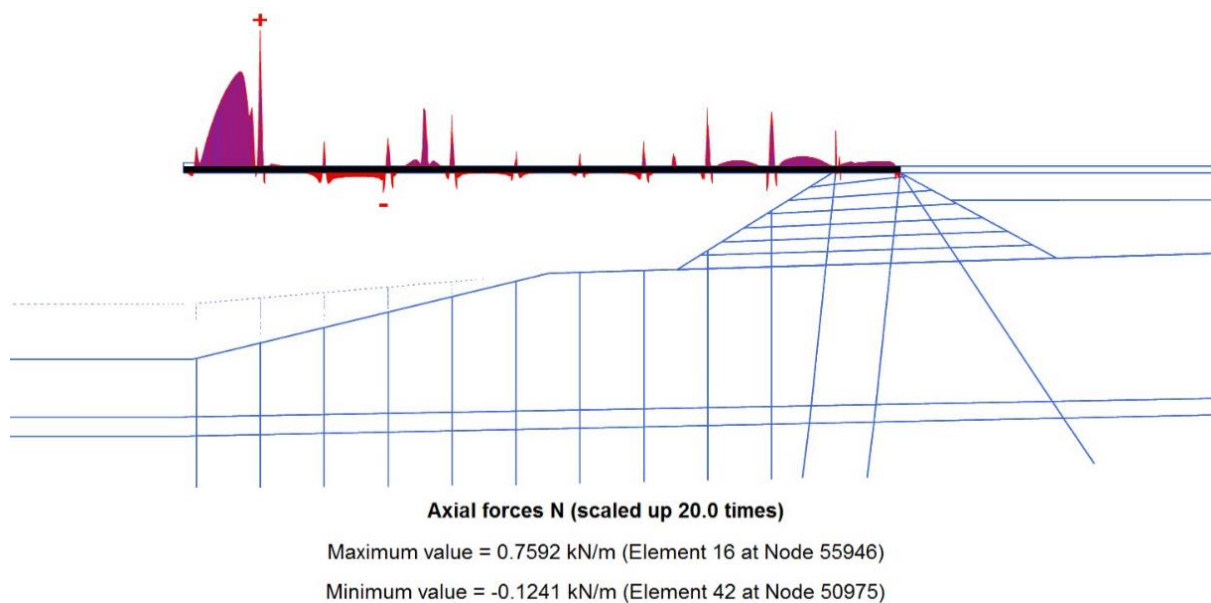
$$n_d = \frac{N_d}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{759,2 \text{ kN}}{75 \text{ cm} \cdot 100 \text{ cm} \cdot 2,33 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 0,04$$

$$m_d = \frac{M_d}{A_c \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{459,6 \cdot 100 \text{ kNcm}}{75 \text{ cm} \cdot 100 \text{ cm} \cdot 75 \text{ cm} \cdot 2,33 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 0,035$$

$$\delta = \frac{a}{h} = \frac{5,5 \text{ cm}}{75 \text{ cm}} = 0,07$$

$$\mu_0 = 0,1$$

$$A_s = A_s' = \frac{\mu_0}{(1+k)} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot A_c = \frac{0,1}{1+1} \cdot \frac{23,3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{34,8 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} \cdot 75 \text{ cm} \cdot 100 \text{ cm} = 251 \text{ cm}^2$$



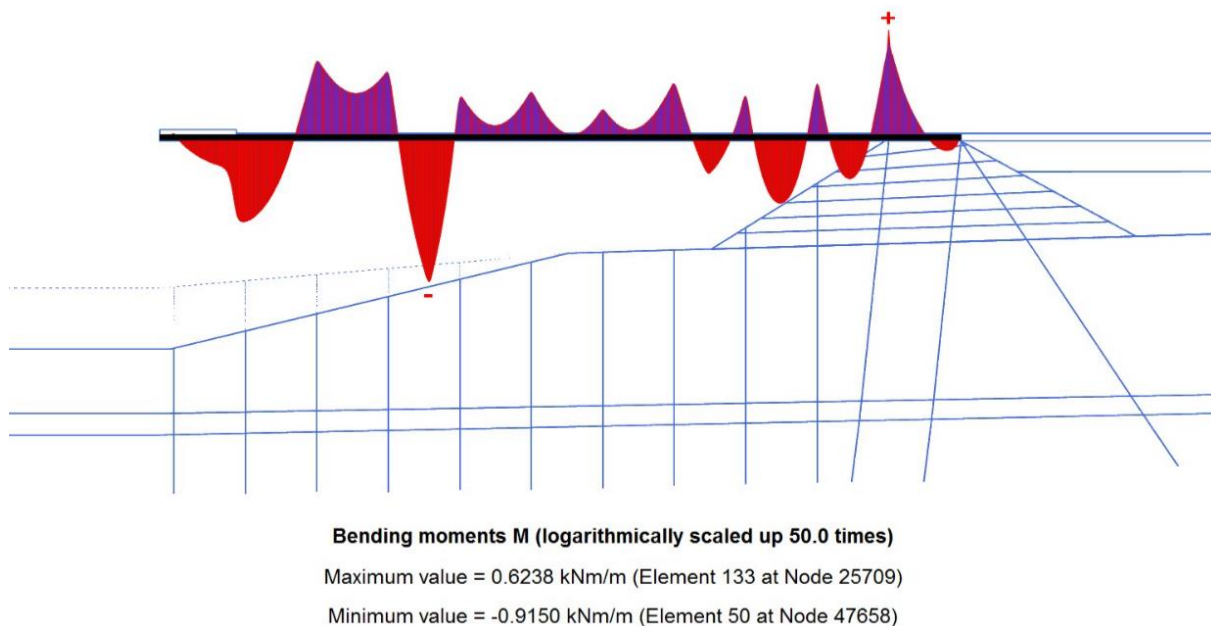
Slika 69: Potek osne sile pri MSN-1

Kontrola nosilnosti za največji upogibni moment in pripadajočo osno silo pri MSN-2:

$$n_d = \frac{N_d}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{335,3 \text{ kN}}{75 \text{ cm} \cdot 100 \text{ cm} \cdot 2,33 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 0,02$$

$$m_d = \frac{M_d}{A_c \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{915 \cdot 100 \text{ kNcm}}{75 \text{ cm} \cdot 100 \text{ cm} \cdot 75 \text{ cm} \cdot 2,33 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 0,07$$

$$A_s = A_s' = \frac{\mu_0}{(1+k)} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot A_c = \frac{0,1}{1+1} \cdot \frac{23,3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{34,8 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} \cdot 75 \text{ cm} \cdot 100 \text{ cm} = 251 \text{ cm}^2$$



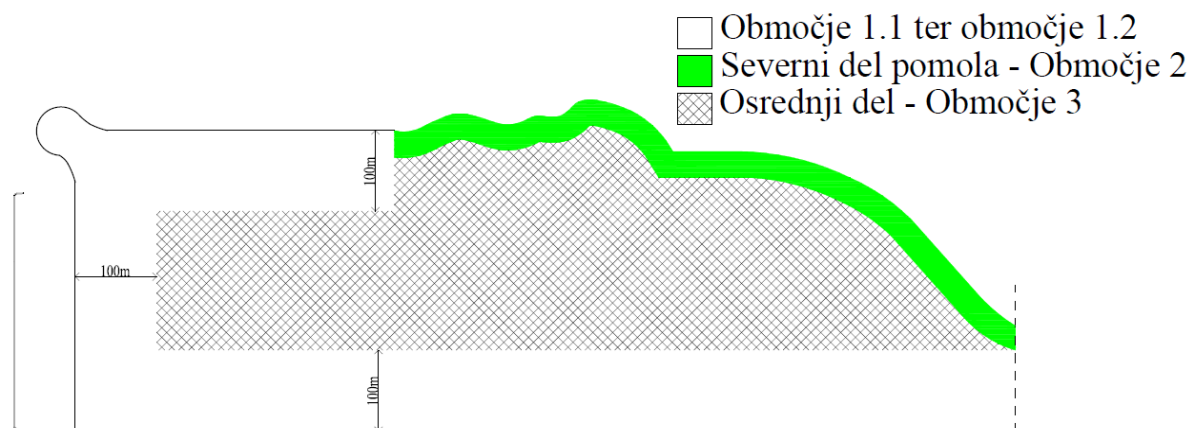
Slika 70: Potek upogibnega momenta pri MSN-2

Zaključim, da armirano betonska ploščad zadošča mejnemu stanju nosilnosti.

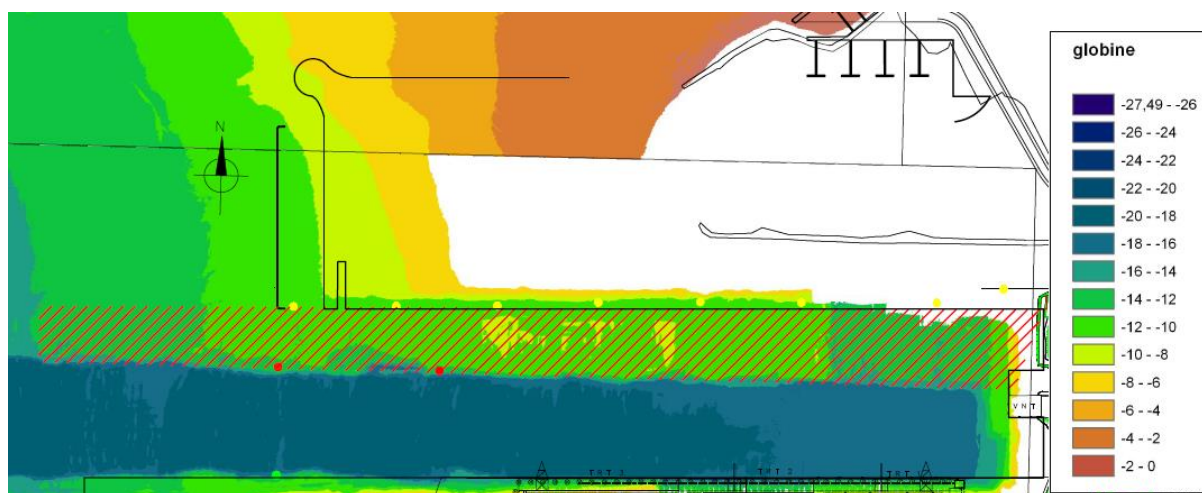
3.6 Ocena vrednosti gradbenih del

V naslednjem poglavju sledi ocena vrednosti gradbenih del celotnega tretjega pomola s poglobitvijo plovnega kanala na severni strani tretjega bazena na predvideno koto -18 m.

Območje, predvideno v oceni je razdeljeno na 4 dele. Prvi del zajema območje, ki je enako veliko za oba pomola - območje 1.1 in 1.2, ter sega od roba 100 m v notranjost. Območje 2 ali del severnega dela pomola zajema naslednje območje, ki je za oba tipa pomola enake sestave, enake površine in tudi enakega popisa. Osrednji del pretežno zajema celotno kaseto – območje 3. Četrto območje se navezuje na površino, ki je predvidena za poglobljanje tretjega bazena in je načrtovana v obliki plovnega kanala od začetka pomola do približne oddaljenosti od obale, kjer morje doseže približno globino -18 m.



Slika 71: Razdelitev tretjega pomola na območja popisov



Slika 72: Upoštevano območje poglobljanja – območje 4

Zaradi drugače preobširnega izračuna bo vzetih veliko poenostavitev pri upoštevanju in razdeljevanju območij ter pri popisu del:

- upoštevane bodo samo vrednosti gradbenih del;
- na lokaciji pomola bodo globine morja poenostavljene na srednjo računsko vrednost -6 m n.v.;
- sistem T-nosilcev in prečnih gred je pri tipu odprtega pomola poenostavljen v betonsko ploščad višine 75 cm;
- valobran na zahodni strani pomola ni vključen, ravno tako manjši polotok, na katerem je predviden svetilnik;
- upoštevati moramo, da gre pri oceni stroškov za projekt, ki bi bil zgrajen naenkrat. Če bi šlo za postopno gradnjo z več manjšimi kasetami in nato manjše ploščadi, bi bili stroški veliko višji.

3.6.1 Ocena vrednosti gradbenih del – tip pomola z razbremenilno ploščadjo

Preglednica 28: Popis del – tip pomola z razbremenilno ploščadjo

1.) ZEMELJSKA DELA

VAROVALNI NASIP - KASETA

Opis dela/enota	Območje/faza	Količina	Cena/enoto	Znesek [€]
Polaganje geosintetika na globini od -10 m do 0 m.				
m ²	1.1 / 1.1	398.763	6,0	2.392.578
	2 / 1.1	66.582		399.492
Izdelava kamnitega nasipa v slojih debeline 1,5 m iz kamnitega materiala 0-200 mm s sprotnim oblikovanjem brežin nasipa v nagibu 1:2 iz plovnega objekta. Posedanje nasipa je upoštevano v količini, posedek je ocenjen na 30 %.				
m ³	1.1 / 1.1	729.589	35,0	25.535.601
	2 / 1.1	121.820		4.263.714
Izdelava nasipa kamnometa v debelini 1 m iz kamna teže 50-500 kg/kom iz plovnega objekta. Posedanje kamnometa je upoštevano v količini, ocenjeno na 15 %.				
	2 / 1.1	35.921	38	1.365.013

NASIPI

Opis dela/enota	Območje/faza	Količina	Cena/enoto	Znesek [€]
Zasipavanje kasete z refulom, izkopanim z vzdrževanjem bazena 1 in 2. Po končani konsolidaciji je zgornja kota refula na -0,5 m. Posedanje refula je upoštevano v količini, ocenjeno je na 30 %.				
m ³	1.1 / 2	787.188	25,7	20.230.724
	2 / 2	25.646		659.112
	3 / 2	1.319.729		33.917.030
Zasipavanje flišnega nasipa od kote -0,5 m do kote +3,13 m z uvaljanjem do predpisane trdnosti. Posedanje nasipa je upoštevano v količini, ocenjeno je na 5 %.				
m ³	1.1 / 3	191.259	35	6.694.049

	2 / 3	25.646		897.624
	3 / 3	50.923		1.782.302

Zasipavanje dela med kombinirano zagatno steno in varovalnim nasipom z odležanim refulom z deponije. Končna kota zasipa je na koti -3,5 m. Posedanje refula je upoštevano v količini in je ocenjeno na 30%.

m ³	1.1 / 5	93.808	25,7	2.410.866
----------------	---------	--------	------	-----------

Zasipavanje flišnga nasipa na razbremenilni ploščadi, od kote -2,5 m do kote +3,13 m z uvaljanjem do predpisane trdnosti. Posedanje nasipa je upoštevano v količini, ocenjeno na 5%.

m ³	1.1 / 8	173.922	35	6.087.270
----------------	---------	---------	----	-----------

SKUPAJ ZEMELJSKA DELA				106.635.375
------------------------------	--	--	--	--------------------

2.) DELA Z JEKLKOM

ZAGATNA STENA

Opis dela/enota	Območje/faza	Količina	Cena/enoto	Znesek [€]
Dobava in vgraditev cevnih pilotov ϕ 813 mm /14,2 mm kombinirane zagatne stene iz plovnega objekta. Dolžina je 23 m. Teža kola je 280 kg/m.				
kg	1.1 / 4.3	7.071.120	1,4	9.899.568
Dobava in vgraditev zagatnic tipa Larssen 25, dolžine 23 m med nosilne cevi pilota. Teža dveh zagatnic je 206 kg/m.				
kg	1.1 / 4.3	10.404.648	1,4	14.566.507

TLAČNI IN NATEZNI PILOTI

Dobava in vgraditev navpično zabatih jeklenih pilotov ϕ 812 mm/ 12,5 mm ter dolžine 23,5 m. Kvaliteta jekla je S355. Teža kola znaša 245 kg/m.

kg	1.1 / 6	3.454.500	1,4	4.836.300
----	---------	-----------	-----	-----------

Dobava in vgraditev poševno zabatih jeklenih pilotov, premera ϕ 812 mm/ 12,5 mm ter dolžine 31,7 m. Kvaliteta jekla je S355. Teža kola znaša 245 kg/m.

kg	1.1 / 6	4.659.900	1,4	6.523.860
----	---------	-----------	-----	-----------

DELA Z JEKLKOM				35.826.235
-----------------------	--	--	--	-------------------

3.) BETONSKA IN DRUGA DELA

TESARSKA DELA

Opis dela/enota	Območje/faza	Količina	Cena/enoto	Znesek [€]
Izvedba opaža stene pod kopno nogo žerjava.				
m ²	1.1 / 7	21.036	60,0	1.262.160

BETONSKA DELA

Opis dela/enota	Območje/faza	Količina	Cena/enoto	Znesek [€]
Uvrtnje pilotov ϕ 812 mm dolžine 6 m v flišno podlago. Dobava in zapolnitev jeklene cevi dolžine 23,5 m ter uvrtnega dela pilota dolžine 6 m, z betonom C35/40 in vgraditev armaturnega koša.				
m ³	1.1 / 6	9.165	150,0	1.374.759

Uvrtnje pilotov ϕ 812 mm dolžine 6 m v flišno podlago. Dobava in zapolnitev jeklene cevi dolžine 31 m uvrtnega dela pilota dolžine 6 m z betonom C35/40 in vgraditev armaturnega koša.

m ³	1.1 / 6	3.787	150,0	568.063
Dobava in vgraditev armirano betonskega C35/40 XC4 montažnega elementa - razbremenilna ploščad dimenzij: dolžina/širina/višina = 26,2 m/1 m/1 m, vključno z izvedbo stika z jeklenimi piloti.				
m ³	1.1 / 6	45.929	600,0	27.557.160
Dobava in vgraditev betonskega montažnega elementa C35/40 XC4 - kineta, vključno z izvedbo stika z montažnim elementom - razbremenilna ploščad.				
m ³	1.1 / 6	24.542	600,0	14.725.200
Dobava in vgradnja betona C35/40 XC4 v steno pod kopno stranjo žerjava.				
m ³	1.1 / 6	9.817	150,0	1.472.520
JEKLO ZA OJAČITEV				
Opis dela/enota	Območje/faza	Količina	Cena/enoto	Znesek [€]
150 kg/m ³ betonskega dela pomola.				
kg	1.1 / 7	12.043.110	1,1	13.247.421
ZAŠČITNA DELA				
Opis dela/enota	Območje/faza	Količina	Cena/enoto	Znesek [€]
Dobava in izdelava hidroizolacije z bitumenskimi trakovi v debelini 0,5 cm.				
	1.1 / 8	123.567		988.536
m ²	2 / 8	17.344	8,0	138.754
	3 / 8	169.196		1.353.568
SKUPAJ BETONSKA IN DRUGA DELA				62.688.140

4.) VOZIŠČNE KONSTRUKCIJE

NOSILNE PLASTI

Opis dela/enota	Območje/faza	Količina	Cena/enoto	Znesek [€]
Dobava in izdelava nevezane nosilne plasti tamponskega drobljenca iz kamnine v debelini 25 cm, vključno z izravnavo in valjanjem do potrebne trdnosti 120 MPa.				
	1.1 / 8	123.567		2.100.639
m ²	2 / 8	14.796	17,0	251.532
	3 / 8	169.196		2.876.332
Dobava in izdelava zgornje nosilne plasti bituminiziranega drobljenca AC 32 base B50/70 A3 v debelini 7 cm.				
	1.1 / 8	123.567		1.482.804
m ²	2 / 8	14.796	12,0	177.552
	3 / 8	169.196		2.030.352
OBRABNE PLASTI				
Opis dela/enota	Območje/faza	Količina	Cena/enoto	Znesek [€]
Dobava in izdelava bitumskega betona AC 11 surf B50/70 As v debelini 4 cm.				
	1.1 / 8	123.567		1.482.804
m ²	2 / 8	14.796	12,0	177.552
	3 / 8	169.196		2.030.352
Pobrizg podlage z bitumensko emulzijo 0,4 kg/m ² .				

	1.1 / 8	123.567		123.567
m ²	2 / 8	14.796	1,0	14.796
	3 / 8	169.196		169.196
SKUPAJ VOZIŠČNE KONSTRUKCIJE				12.917.478

5.) POGLABLJANJE PLOVNEGA KANALA

Opis dela/enota	Območje/faza	Količina	Cena/enoto	Znesek [€]
Vsi stroški mehanizacije (refuler) ter dobava in montaža cevododa (plavajočega in fiksne) od mesta priključitve na cevovod do kasete. Po končanju odstranitev in vzpostavitev prvotnega stanja. Izvedba poglobljanja morskega dna do predpisane globine -18 m in odlaganjem izkopanega materiala v predvideno kaseto.				
m ³	4 / 9	881.110	25,7	22.644.532
SKUPAJ POGLABLJANJE PLOVNEGA KANALA				22.644.532

6.) NEPREDVIDENA DELA

Opis dela/enota	Količina	Cena/enoto	Znesek [€]
Nepredvidena dela - 10%.			
	1		24.071.176
SKUPAJ NEPREDVIDENA DELA			24.071.176

KONČNA OCENA VREDNOSTI INVESTICIJE **264.782.937 €**

3.6.2 Ocena vrednosti gradbenih del – odprti pomol

Preglednica 29: Popis del – odprt pomol

1.) ZEMELJSKA DELA

VAROVALNI NASIP - KASETA

Opis dela/enota	Območje/faza	Količina	Cena/enoto	Znesek [€]
Polaganje geosintetika na globini od -10 m do 0 m.				
m ²	1.2 / 1.1	284.160	6,0	1.704.960
	2 / 1.1	66.582		399.492
Izdelava kamnitega nasipa v slojih debeline 1,5 m iz kamnitega materiala 0-200 mm s sprotnim oblikovanjem brežin nasipa v nagibu 1:2 iz plovnega objekta. Posedanje nasipa je upoštevano v količini, posedek je ocenjen na 30 %.				
m ³	1.2 / 1.1	471.380	35,0	16.498.300
	2 / 1.1	121.820		4.263.714
Izdelava nasipa kamnometa v debelini 1 m iz kamna teže 50-500 kg/kom iz plovnega objekta. Posedanje kamnometa je upoštevano v količini, ocenjeno na 15 %.				
m ³	2 / 1.1	35.921	38	1.365.013
NASIPI				
Opis dela/enota	Območje/faza	Količina	Cena/enoto	Znesek [€]
Zasipavanje kasete z refulom, izkopanim z vzdrževanjem bazena 1 in 2. Po končani konsolidaciji je zgornja kota refula na -0,5 m. Posedanje refula je upoštevano v količini, ocenjeno je na 30 %.				
m ³	1.2 / 2	138.528	25,7	3.560.170

	2 / 2	25.646		659.112
	3 / 2	1.319.729		33.917.030
Zasipavanje flišnega nasipa od kote -0,5 m do kote +3,13 m z uvaljanjem do predpisane trdnosti. Posedanje nasipa je upoštevano v količini, ocenjeno je na 5 %.				
	1.2 / 3	116.550		4.079.250
m ³	2 / 3	90.634	35	3.172.178
	3 / 3	50.923		1.782.302
SKUPAJ ZEMELJSKA DELA				71.401.521

2.) DELA Z JEKLOM

TLAČNI PILOTI IN NATEZNI PILOTI

Opis dela/enota	Območje/faza	Količina	Cena/enoto	Znesek [€]
Dobava in vgraditev zabutih navpičnih jeklenih pilotov $\phi 812$ mm/ 12,5 mm, povprečnih dolžin 28,8 m. Kvaliteta jekla je S355. Teža kola znaša 245 kg/m.				
kg	1.2 / 4	20.928.096	1,4	29.299.334
SKUPAJ DELA Z JEKLOM				29.299.334

3.) BETONSKA IN DRUGA DELA

TESARSKA DELA

Opis dela/enota	Območje/faza	Količina	Cena/enoto	Znesek [€]
Izvedba glavnega opaža betonske plošče.				
m ²	1.2 / 4	129.591	60,0	7.775.460
Izdelava bočno podprtega opaža za stranice plošče, visoke 80 cm.				
m ²	1.2 / 4	2.703	60,0	162.192

BETONSKA DELA

Opis dela/enota	Območje/faza	Količina	Cena/enoto	Znesek [€]
Uvrtanje pilotov premera $\phi 812$ mm dolžine 6 m v flišno podlago. Dobava in zapolnitev jeklene cevi dolžine 28,8 m ter uvrtanega dela pilota dolžine 6 m, z betonom C35/40, ter vgraditev armaturnega koša.				
kos	1.2 / 4	53.446	150,0	8.016.849
Dobava in vgradnja betona C35/40 XC4 za izvedbo betonske plošče.				
m ³	1.2 / 5	97.193	150,0	14.578.988

JEKLO ZA OJAČITEV

Opis dela/enota	Območje/faza	Količina	Cena/enoto	Znesek [€]
150 kg/m ³ betonskega dela pomola.				
kg	1.2 / 5	14.578.988	1,1	16.036.886

ZAŠČITNA DELA

Opis dela/enota	Območje/faza	Količina	Cena/enoto	Znesek [€]
Dobava in izdelava hidroizolacije z bitumenskim trakovi v debelini 0,5 cm.				
	1.2 / 6	129.591		1.036.728
m ²	2 / 6	14.796	8,0	118.368
	3 / 6	169.196		1.353.568
SKUPAJ BETONSKA IN DRUGA OBRITNIŠKA DELA				49.079.039

4.) VOZIŠČNE KONSTRUKCIJE
NOSILNE PLASTI

Opis dela/enota	Območje/faza	Količina	Cena/enoto	Znesek [€]
Dobava in izdelava nevezane nosilne plasti tamponskega drobljenca iz kamnine v debelini 25 cm, vključno z izravnavo in valjanjem do potrebne trdnosti 120 MPa.				
m ²	1.2 / 8	132.539		2.253.163
	2 / 8	14.796	17,0	251.532
	3 / 8	169.196		2.876.332
Dobava in izdelava zgornje nosilne plasti bituminiziranega drobljenca AC 32 base B50/70 A3 v debelini 7 cm.				
m ²	1.2 / 8	132.539		1.590.468
	2 / 8	14.796	12,0	177.552
	3 / 8	169.196		2.030.352
OBRABNE PLASTI				
Opis dela/enota	Območje/faza	Količina	Cena/enoto	Znesek [€]
Dobava in izdelava bitumenskega betona AC 11 surf B50/70 As v debelini 4 cm.				
m ²	1.2 / 8	132.539		1.590.468
	2 / 8	14.796	12,0	177.552
	3 / 8	169.196		2.030.352
Pobrizg podlage z bitumensko emulzijo 0,4 kg/m ² .				
m ²	1.2 / 8	132.539		132.539
	2 / 8	14.796	1,0	14.796
	3 / 8	169.196		169.196
SKUPAJ VOZIŠČNE KONSTRUKCIJE				13.294.302

5.) POGLABLJANJE PLOVNEGA KANALA

Opis dela/enota	Območje/faza	Količina	Cena/enoto	Znesek [€]
Ostranitev morskega dna med piloti do predvidenega naklona brežine z tehnologijo sesalnega bagra ter odlaganje v predvideno kaseto.				
m ³	1.2 / 9	176.120	30	5.283.600
Vsi stroški mehanizacije (refuler) ter dobava in montaža cevovoda (plavajočega in fiksnega) od mesta priključitve na cevovod do kaset. Po končanju odstranitve in vzpostavitve prvotnega stanja. Izvedba poglobljanja morskega dna do predpisane globine -18 m in odlaganjem izkopanega materiala v predvideno kaseto.				
m ³	4 / 9	881.110	25,7	22.644.532
SKUPAJ POGLABLJANJE PLOVNEGA KANALA				27.928.132

6.) NEPREDVIDENA DELA

Opis dela/enota	Količina	Cena/enoto	Znesek [€]
Nepredvidena dela – 10 %.			
	1		19.100.233
SKUPAJ NEPREDVIDENA DELA			19.100.233

KONČNA OCENA VREDNOSTI GRADBENIH DEL **210.102.561 €**

4 ZAKLJUČEK

4.1 Modeliranje v programu Plaxis

- Že samo modeliranje v programu Plaxis potrjuje kompleksnejšo zasnovo tipa pomola z razbremenilno ploščadjo. Predvsem se ta trditev nanaša na mnogo stičnih površin med konstrukcijskimi elementi, varovalnim in ostalimi nasipi in posledično na mnogo težav pri generiranju mreže končnih elementov.
- Modeliranje pilota, ki nalega v dve plasti in ima zato dve različni nosilnosti po plašču, je možno modelirati le s kombinacijo elementa »plate« in »embedded pile row«, kjer mora biti slednji vedno na koncu, saj program dovoljuje njegovo vpetje le na eni strani. Zato ni možno križanje pilotov v delu, definiranem kot »plate«. Nujna bi bila uporaba 3D-modela.

4.2 Pomembnejši zaključki - pomol z razbremenilno ploščadjo

- Kot se izkaže pri fazi 5, je preverjanje pomikov in tudi nosilnosti konstrukcijskih elementov pomembno pri vsaki fazi gradnje.
- Ravno tako je potrebna kontrola varnostnih faktorjev proti zdrsu morskega dna.
- Razbremenilno ploščad bi lahko postavili še nižje, meja je samo tlačna sila v pilotih, vendar se pokaže, da v tem primeru to ni potrebno, saj bi le otežili izvedbo.
- Če je pri kombinirani zagatni steni visoko ležeča flišna podlaga neugodna, pri pilotih z dodatnim uvratanjem ugodno vpliva na razmerje dolžina – nosilnost pilotov.
- Zaradi podajne plasti morske glin se hitro pokaže bistveni problem - horizontalni pomiki, ki jih lahko omejimo le z zadostnim horizontalnim sidranjem konstrukcije.
- Kombinacija MSN-2, pri kateri so uporabljeni večji delni faktorji za parametre zemljine, je pri večini kontrol mejnega stanja nosilnosti merodajna.
- l_{razmak} na same pomike nima znatnejšega vpliva. Pri kontrolah MSN pa moramo ta vpliv upoštevati s končnim množenjem notranjih sil.

4.3 Pomembnejši zaključki – odprti pomol

- Ponovno se pokaže glavni problem – horizontalni pomiki, ki jih lahko omejimo samo z uporabo kože, kombinacije tlačnega in nateznega pilota.
- Problem predstavlja tudi negativno trenje na plašče pilotov v delu, ki nalega v varovalni nasip in tako povečuje tlačno silo v pilotih.
- Slaba stran je vzdrževanje brežine morskega dna v delu med piloti, po drugi strani pa imamo večji pregled na stanje pilotov in kakovost izvedbe.

4.4 Primerjava obeh tipov pomola

- Kapaciteta kasete je pri tipu z razbremenilno ploščadjo večja, saj je varovalni nasip bližje robu pomola.
- Težavnost gradnje bi bila mnogo večja pri pomolu z razbremenilno ploščadjo, saj vsebuje kombinirano zagatno steno, tlačne in natezne pilote ter prefabricirane betonske elemente, medtem ko je tip odprtega pomola sestavljen kot najbolj enostavna oblika vertikalno postavljenih tlačnih pilotov in ploščadi, sestavljene iz T-nosilcev in prečnih gred. Kompleksnost izvedbe bi imela za posledico daljšo gradnjo, večje režijske stroške in večja konstrukcijska tveganja.
- Ocena vrednosti gradbenih del tretjega pomola.

Preglednica 30: Ocena vrednosti gradbenih del za oba tipa pomola

Tip pomola	Ocena vrednosti gradbenih del [€]
Razbremenilna ploščad	264.782.937
Odprti	210.102.561

- Bolj kot celotna vrednost gradbenih del tretjega pomola, bi bila za primerjavo med obema tipoma pomola merodajna ocena vrednosti gradbenih del na tekoči meter.

Preglednica 31: Ocena vrednosti gradbenih del

Tip pomola	Na tekoči meter [€/m], območja 1.1 in 1.2	Na kvadratni meter [€/m ²]
Razbremenilna ploščad	116.147	781,72
Odprti	79.693	620,29

Ocena vrednosti grebenih del pomola z razbremenilno ploščadjo za več kot 20 % presega vrednosti odprtega pomola, kar pa bi bil pri izbiri tipa pomola lahko odločilen dejavnik. Izrazitejša primerjava pa se pokaže pri vrednosti na tekoči meter, kjer je ocena vrednosti odprtega pomola manjša za kar 31,3 %. Če bi bila celotna obala tretjega pomola namenjena luškim dejavnostim, pa bi bil % razlike v oceni stroškov še veliko višji.

Preglednica 32: Ocena vrednosti gradbenih del po konstrukcijskih elementih

	Tip z razbremenilno ploščadjo [€]	Tip odprtega pomola [€]	Razlika [€]
Varovalni nasip	33.956.398	24.231.479	9.724.919
Nasipi	72.678.977	47.170.042	25.508.935
Kombinirana zagatna stena	24.466.075	/	24.466.075

Piloti	13.302.982	37.316.183	-24.013.201
Razbremenilna ploščad in kineta / ploščad	60.745.319	41.062.190	19.683.129
Voziščna konstrukcija	12.917.478	13.294.302	-376.824
Poglabljanje	22.644.532	27.928.132	-5.283.600
Nepredvidena dela	24.071.176	19.100.233	4.970.943
Vsota	264.782.937	210.102.561	54.680.376

Iz izračuna sledi, da je tip odprtega pomola cenejša varianta, saj je končna razlika v oceni vrednosti gradbenih del približno 54 milijonov €. Ker je pri tipu pomola varovalni nasip bližje robu pomola in s tem nalega na globlje morsko dno, kar pomeni višji in daljši varovalni nasip je že tukaj razlika skoraj 10 milijonov €. Če pri obeh tipih pomola vrednosti globokega temeljenja (kombinirana zagatna stena in piloti) seštejemo, je vrednost skoraj identična. Največja razlika nastane pri primerjavi vrednosti med razbremenilno ploščadjo in kineto (tip pomola z razbremenilno ploščadjo) in ploščadjo (tip odprtega pomola), saj so pri tipu z razbremenilno ploščadjo uporabljeni večinoma prefabricirani elementi, katerih montaža bi bila v tem primeru zelo kompleksna, zato je postavljena tudi višja cena na m³ armiranega betona. Vrednost voziščne konstrukcije je skoraj ista, saj je zelo podobna tudi upoštevana površina. Pri poglabljanju plovnega kanala pa imamo seveda višjo vrednost poglabljanja pri odprtem tipu pomola, saj je potrebno poleg vplovnega kanala poglobiti tudi brežino med piloti.

4.5 Zaključek

Namen diplomske naloge je bil podrobneje spoznati predvideno gradnjo tretjega pomola v Luki Koper, natančneje južni del, ki je v DPN-ju edini namenjen uporabi Luke. Podrobnejša analiza lokacije pomola, konstrukcijske zasnove in predvsem popis del bi zelo prekoračili okvir diplomske naloge, zato je bilo na vseh treh področjih sprejetih veliko posplošitev.

V nalogi so najprej naštetih pomembnejši členi državnega prostorskega načrta, ki vplivajo na začetno zasnovo konstrukcije. Sledi mu kratek povzetek različnih tipov konstrukcij, ki se uporabljajo za obalne konstrukcije, kjer pa sta se kot primerna izkazala le pomol z razbremenilno ploščadjo in tip odprtega pomola. Naslednji korak so preiskave morskega dna. Geotehnični profil, ki služi kot izhodišče za materialni model v Plaxisu je vzet z območja, kjer je bilo izvedeno zadostno število vrtin. S tega območja so dobljene tudi ključne geomehanske karakteristike plasti morskega dna. Pozicija izbranega geotehničnega profila ne vpliva znatno na samo zasnovo konstrukcije, saj bi se prerez na drugih lokacijah razlikoval samo v višini varovalnega nasipa.

Potek izračuna temelji na zahtevah in priporočilih standarda Evrokod 7 ter v manjši meri na standardu Evrokoda 2 in 3. Iz vseh začetnih pogojev sledi analiza južnega dela pomola na dveh različnih tipih konstrukcijske zasnove. Izvedena je tako v konstrukcijskem smislu kot tudi na oceni vrednosti gradbenih del za vsak primer.

Kompleksnost pomola z razbremenilno ploščadjo v primerjavi z odprtim pomolom se hitro pokaže že v načrtovanju konstrukcijske zasnove, modeliranju v Plaxisu in na koncu tudi pri veliko višji oceni vrednosti gradbenih del. Zaključimo lahko, da je tip odprtega pomola primernejša izbira.

VIRI

Battelino, L. 2010. Vpliv geotehnike na razvoj obalnih konstrukcij.

<http://www.sloged.si/wp-content/uploads/zborniki%20sukljetovih%20dnevov/10/3.pdf> (Pridobljeno 10. 10. 2015.)

Brunn, P. 1989. Port engineering. Volume 1: Harbor planning, breakwaters and marine terminals: str. 717.

CUR. 2005. Handbook quay walls. Leiden, London, New York, Philadelphia, Singapore, Taylor & Francis: str. 58-75, 176-178, 141, 145, 264.

Gravitas d.o.o. 2015. Podaljšanje pomola I v pristanišču za mednarodni promet v Kopru. Ljubljana. Luka Koper.

<http://www.luka-kp.si/slo/javna-narocila-201/single/izdelava-projektne-dokumentacije-pgd-pzi-za-podalj-4021> (Pridobljeno 21. 12. 2015.)

Konecranes. 2015. Portalni prenosniki velikega razpona na pnevmatikah.

http://konecranes.smartpage.fi/en/2011/portbook/files/portbook_web.pdf (Pridobljeno 14. 12. 2015.)

Kos, D. 2015. Ali lahko reško pristanišče dohiti koprskega?

http://www.siol.net/novice/gospodarstvo/2015/07/luka_koper_luka_rijeka.aspx?format=json&mob=1&os=ios&ver=2.4&hide_hf=1 (Pridobljeno 20. 5. 2015.)

Lespatex. 2015. TenCate Polyfelt Geolon PP.

<http://www.lespatex.si/uploads/datoteke/GEOLON%20PP.pdf> (Pridobljeno 24. 7. 2015.)

Logar, J. 2010. Geotecnika v Luki Koper na začetku 21.stoletja – 1.del: Raziskave tal. Gradbeni vestnik april: str. 97 – 105.

Logar, J. 2015a. Strokovne podlage za DPN celovite prostorske ureditve pristanišča za mednarodni promet v Kopru. Osebna komunikacija. (10. 9. 2015.)

Logar, J. 2015b. Situacija globin v Luki Koper. Osebna komunikacija. (10. 9. 2015.)

Logar, J. 2015c. Geotehnični podatki.

<http://www.fgg.uni-lj.si/kmtal-gradiva/Gradiva%20za%20vec%20predmetov/Skripta%20Janko%20Logar/TERENSKE%20PREISKAVE.pdf> (Pridobljeno 15. 9. 2015.)

Logar, J. 2015d. Globoko temeljenje.

<http://www.fgg.uni-lj.si/kmtal-gradiva/Gradiva%20za%20vec%20predmetov/Skripta%20Janko%20Logar/globoko%20temeljenje.pdf> (Pridobljeno 15. 9. 2015.)

Luka Koper. 2011. Državni prostorski načrt (DPN).

<http://www.zivetispristaniscem.si/index.php?page=static&item=17> (Pridobljeno 20. 4. 2015.)

Majes, B. 2015. Preiskave deformabilnosti zemljin, Edometer.

<http://www.fgg.uni-lj.si/kmtal-gradiva/Gradiva%20za%20vec%20predmetov/MT%20-%20EDOMETER.pdf> (Pridobljeno 9. 9. 2015.)

Ocepek, D., Venturini, S. 2001. Geotehnično poročilo o izvršenih terenskih in laboratorijskih raziskavah. I-N-I d.o.o.: 6 f.

Plaxis 2D. 2011. Reference manual.

<http://wildeanalysis.co.uk/system/downloads/219/original/PLAXIS-2D2011-2-Reference.pdf?1327919365> (Pridobljeno 5. 4. 2015.)

Pulko, B. 2015. 5. vaja: Strižna trdnost zemljin.

<http://www.fgg.uni-lj.si/kmtal-gradiva/VKI-UNI/MT/Vaje%20in%20priloge/5%20laboratorijska%20%20vaja.pdf> (Pridobljeno 9. 6. 2015.)

Reseagroup, engineers & architects. 2015. Podaljšanje pomola I v pristanišču za mednarodni promet v Kopru. Ljubljana, Luka Koper, d.d.

<http://www.luka-kp.si/slo/javna-narocila-201/single/izdelava-projektne-dokumentacije-pgd-pzi-za-podalj-4021> (Pridobljeno 21. 12. 2015.)

Selan, V., Merc, M., Petkovšek, A., Majes, B. 2005. Poročilo o geomehanskih laboratorijskih preiskavah zemljin z lokacije Luka Koper, pomol 3. Izvedensko mnenje. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za mehaniko tal z laboratorijem, I-N-I d.o.o.: 2 f.

Strniša, G. 2010. Statični in dinamični testi na pilotih v Luki Koper.

<http://www.sloged.si/wp-content/uploads/zborniki%20sukljetovih%20dnevov/10/4.pdf>

(Pridobljeno 11. 10. 2015.)

ThyssenKrupp GFT Bautechnik. 2015. Sheet piling handbook. 3rd edition.

<http://bt.thyssenkrupp->

bautechnik.com/fileadmin/Leistungen/01_Spundwandprofile/_media/english/sheet_piling_handbook_3rd.pdf (Pridobljeno 24. 10. 2015.)

UL FGG. 2015.

<http://www3.fgg.uni-lj.si/oddelki-in-katedre/oddelek-za-gradbenistvo/kmtal-katedra-za-mehaniko-tal-z-laboratorijem/oprema/laboratorijska-oprema/edometer/> (Pridobljeno 9. 8. 2015.)

Uredba o državnem prostorskem načrtu za celovito prostorsko ureditev pristanišča za mednarodni promet v Kopru. Uradni list RS št. 48/2011.

Venturini, S., UL FGG. 2005. Geotehnično poročilo o izvršenih raziskavah na lokaciji pomol III v Luki Koper. Izvedensko mnenje. I-N-I d.o.o., Luka Koper d.d.: 12 f.

Standardi:

SIST EN 1990 2004. Evrokod – Osnove projektiranja konstrukcij.

SIST EN 1992-1-1:2005. Evrokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcij – 1-1. del: Splošna pravila in pravila za stavbe.

SIST EN 1992-1-1:2005/A101. Evrokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcij – 1-1. del: Splošna pravila in pravila za stavbe – Nacionalni dodatek.

SIST EN 1993-1-1:2005. Evrokod 3: Projektiranje jeklenih konstrukcij – 1-1. del: Splošna pravila in pravila za stavbe.

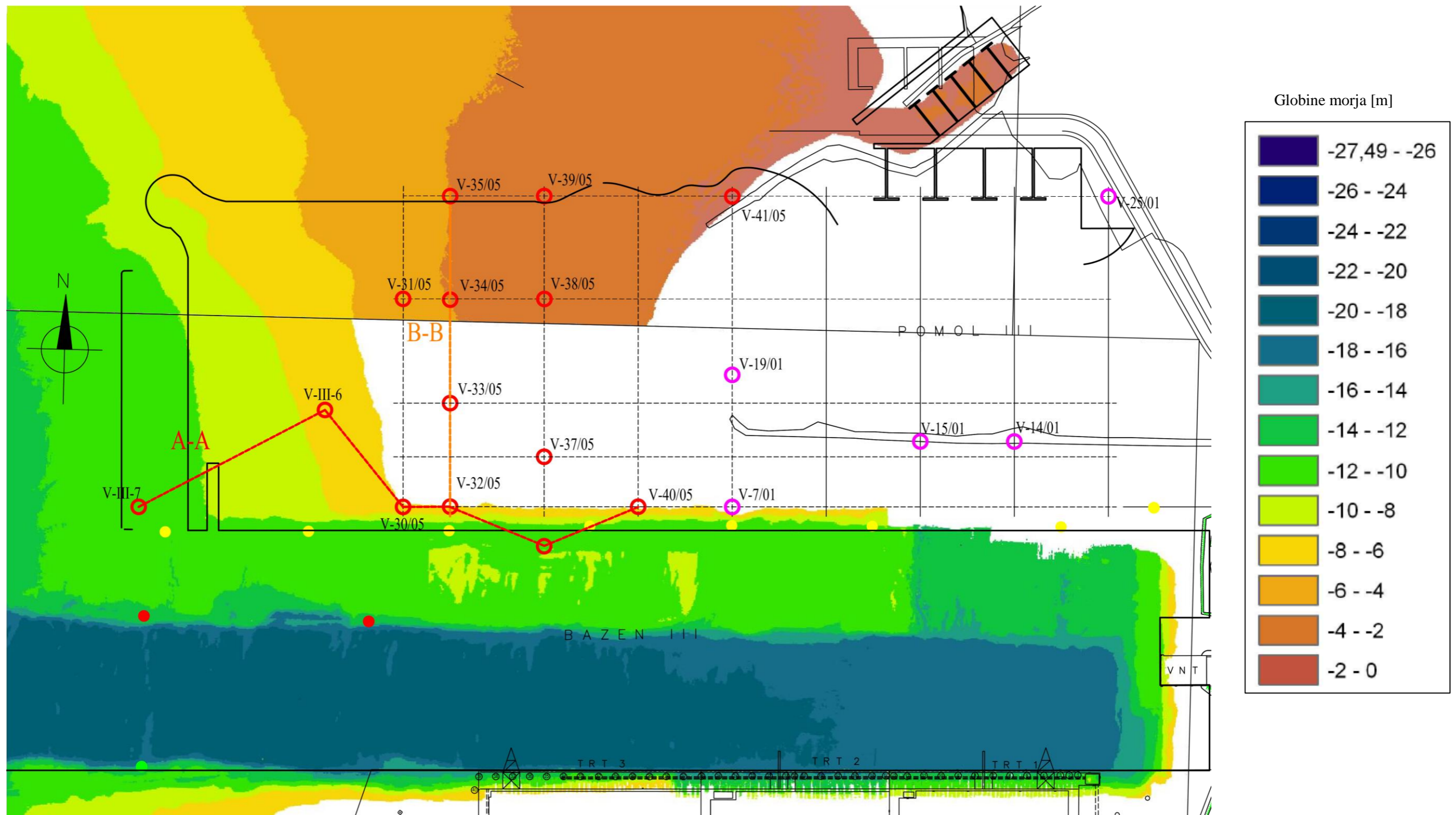
SIST EN 1997-1:2005. Evrokod 7: Geotehnično projektiranje – 1.del: Splošna pravila.

SEZNAM PRILOG

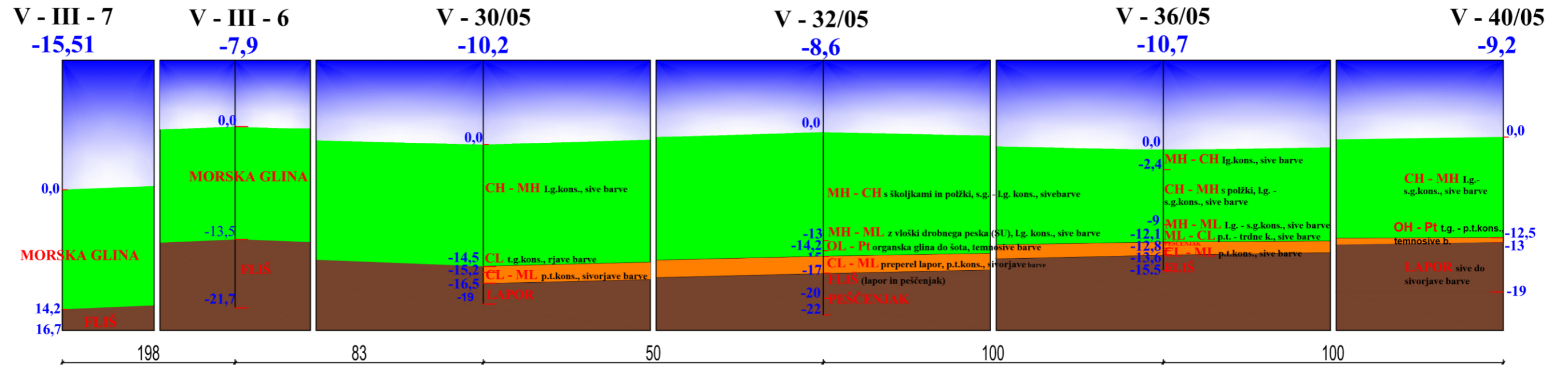
- Priloga A: Globine morskega dna in lokacije vrtin
- Priloga B: Geotehnični profil A-A in B-B (Venturini, 2005)
- Priloga C: Prečni prerez pomola z razbremenilno ploščado
- Priloga D: Prečni prerez odprtega pomola

PRILOGA A:

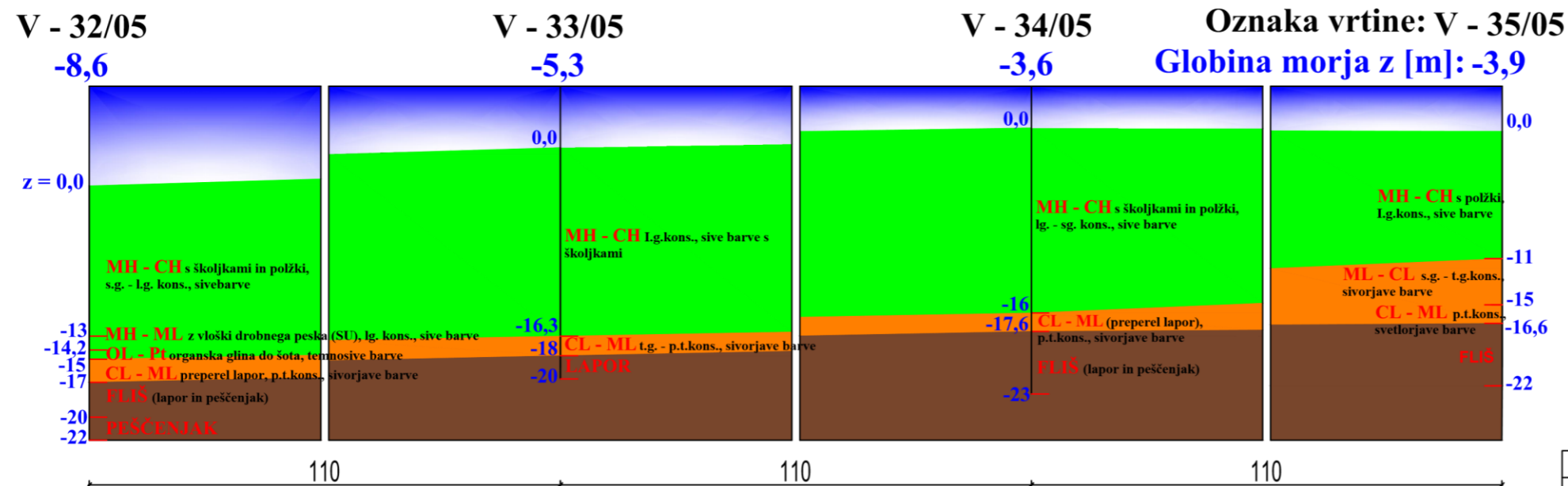
- Globine morskega dna (Logar, 2015b)
- Pozicije vrtin V-št.vrtine/01 in V-št.vrtine/05



GEOTEHNIČNI PROFIL A-A



GEOTEHNIČNI PROFIL B-B

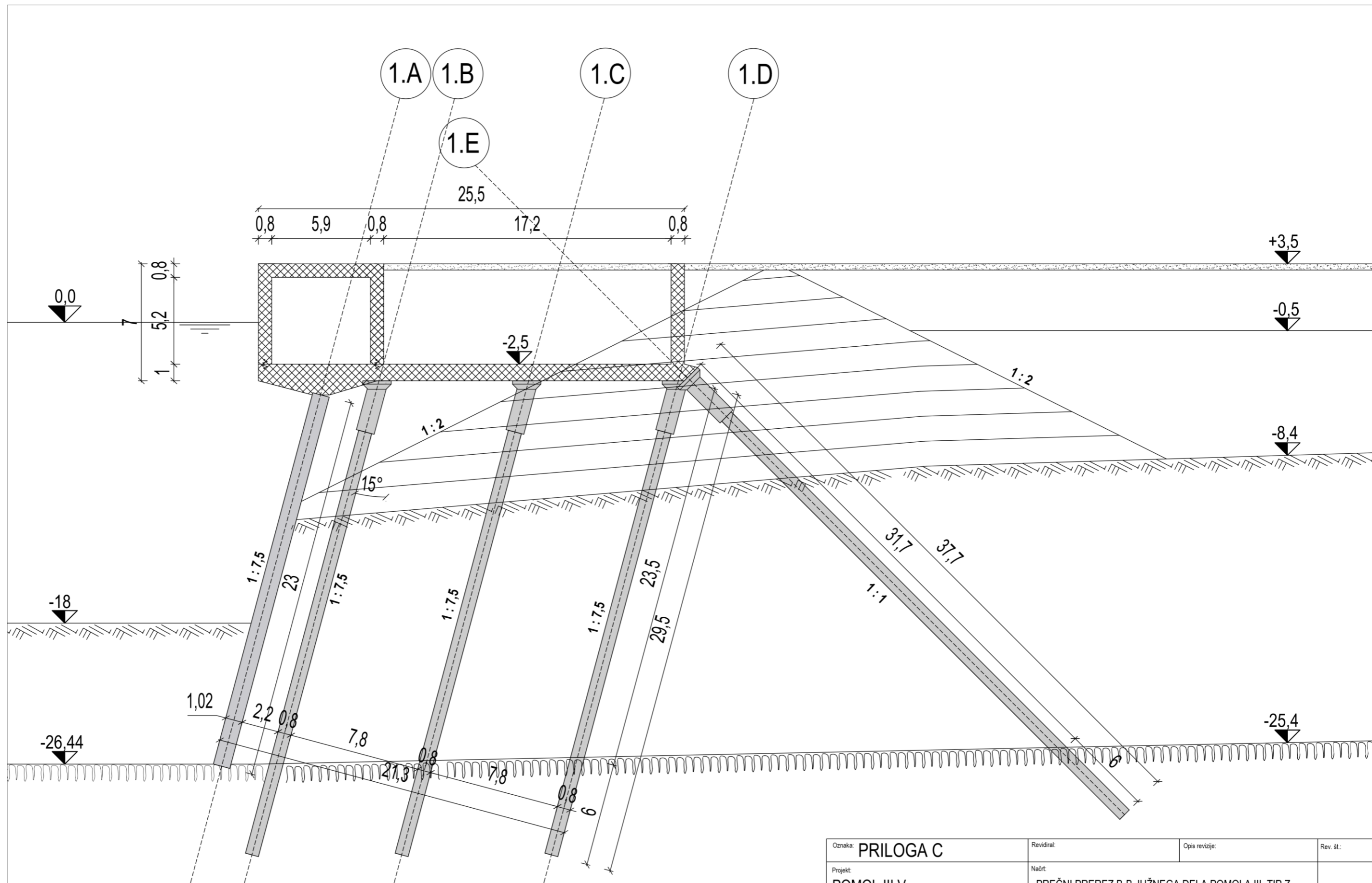


LEGENDA:

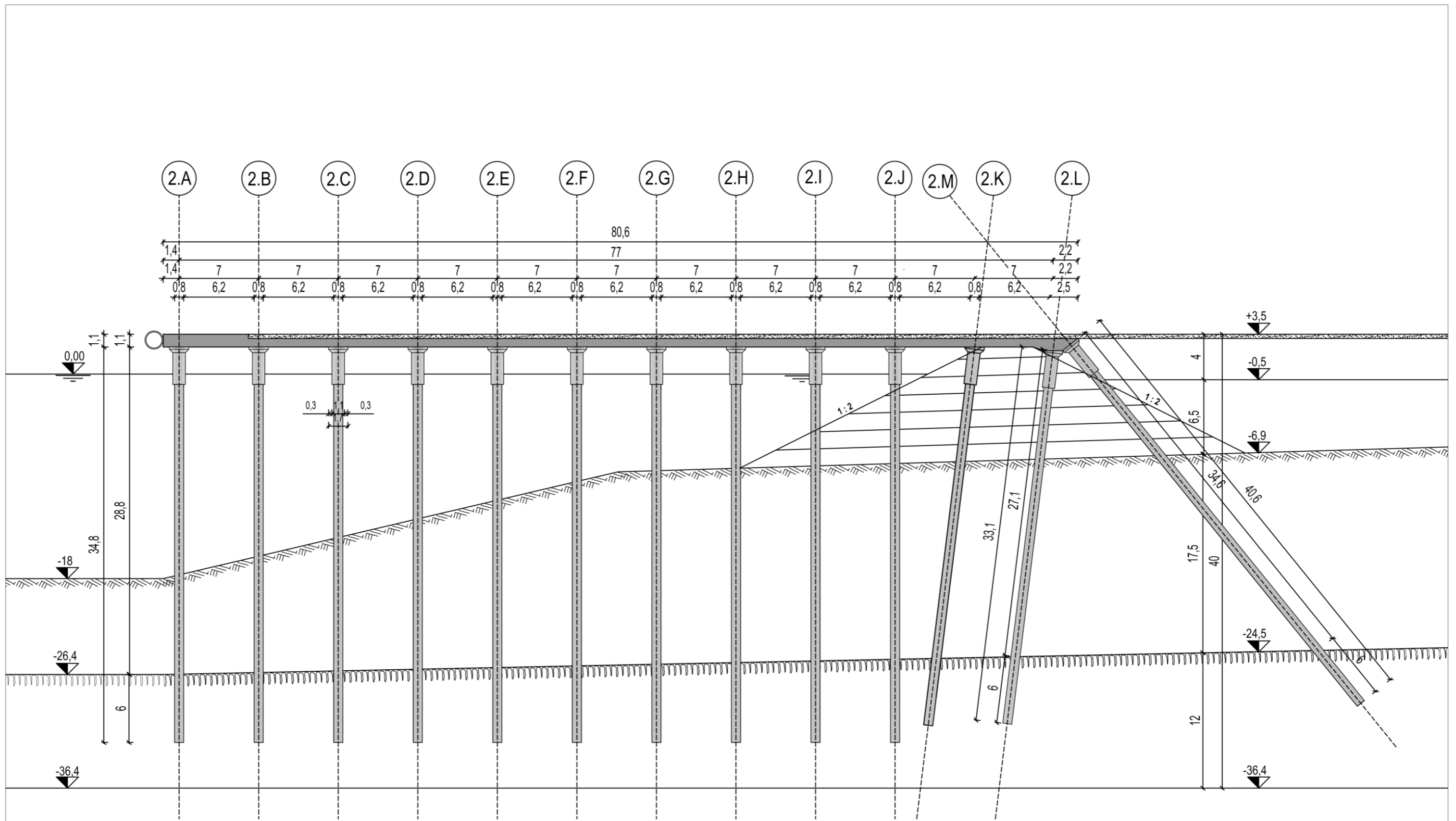
(poenostavljene plasti)

- Morje
- MH - CH I.g.kons.
- CL - ML p.t.kons.
- Fliš

Oznaka: PRILOGA C	Revidiral:	Opis revizije:	Rav. št.:
Projekt: POMOL III V LUKI KOPER	Naslov: GEOTEHNIČNI PROFIL A-A IN B-B		
Številka projekta:	Ime projekta: URBAN SELAN	Dat. projekta:	Merilo:
Univerza v Ljubljani Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo	Datum izdelave: 27.10.2015	Številka dokumenta:	Stran:



Oznaka: PRILOGA C	Revidiral:	Opis revizije:	Rev. št.:
Projekt: POMOL III V LUKI KOPER	Načrt: PREČNI PREREZ B-B JUŽNEGA DELA POMOLA III, TIP Z RAZBREMENILNO PLOŠČADJO		
Številka projekta:	Izdelal: URBAN SELAN	Del projekta:	Merilo:
Univerza v Ljubljani Fakulteta za <i>gradbeništvo in geodezijo</i>	Datum izdelave: 27.10.2015	Šifra elementa:	Stran:



Oznaka: PRILOGA D	Revidiral:	Opis revizije:	Rev. št.:
Projekt: POMOL III V LUKI KOPER	Načrt: PREČNI PREREZ B-B JUŽNEGA DELA POMOLA III, ODPRTI TIP POMOLA		
Številka projekta:	Izdela: URBAN SELAN	Del projekta:	Merilo:
Univerza v Ljubljani Fakulteta za <i>gradbeništvo in geodezijo</i>	Datum izdelave: 27.10.2015	Šifra elementa:	Stran: