

Janne Iho

Student number 263061 / janne.iho@student.tut.fi

Tampere University of Technology

Department of Civil Engineering

RAK-23546 2017-01

Computational Geotechnics 2

Course work 1: Retaining wall

Given to: Juho Mansikkamäki via Moodle

Date 2.6.2018

Contents

1. Initial data	3
Design process	3
Dimensions.....	3
Excavation site and ground parametres	3
Desing method.....	4
Sheet pile wall.....	4
Anchor levels.....	4
External Loads.....	4
2. Plaxis results.....	5
6.10a: Permanent loads	5
6.10b: Permanent and temporary loads.....	7
3. Summary	9
Deflection.....	10
Anchor beams	11
Struts.....	11
4. Ground water	12
Appendix A in Finnish.....	13

1. Initial data

Design process

Assignment consists geotechnical designing of a supported excavation in Lutakko, Jyväskylä. A new residential building (12 m * 20 m) will be constructed near the existing concert Venue Lutakko, which is established on wooden piles along with the surrounding city centre.

Supported excavation is modelled in Plaxis 2D program, which calculates service limit state stresses and displacement for sheet pile walls. SLS stresses are converted in to ultimate limit state values, which are compared into to sheet pile wall's structural resistances. Vertical displacements are limited into 50 mm. Displacements must be monitored in excavation and surrounding structures during construction.

Sheet pile wall is excavated in coarse soil, which conducts ground water. Ground water level must be lowered into excavation level, which will also lower water level in surrounding ground. Water level will be checked below Lutakko concert venue. Pumped water from excavation will be calculated.

Dimensions

The supported excavation takes its place in the distance of 10 meters from Lutakko and will be excavated to level +75,00, almost 5,0 meters deep from initial ground level +80,00. Excavation will be rectangular, and its side dimension are 13*21 metres.

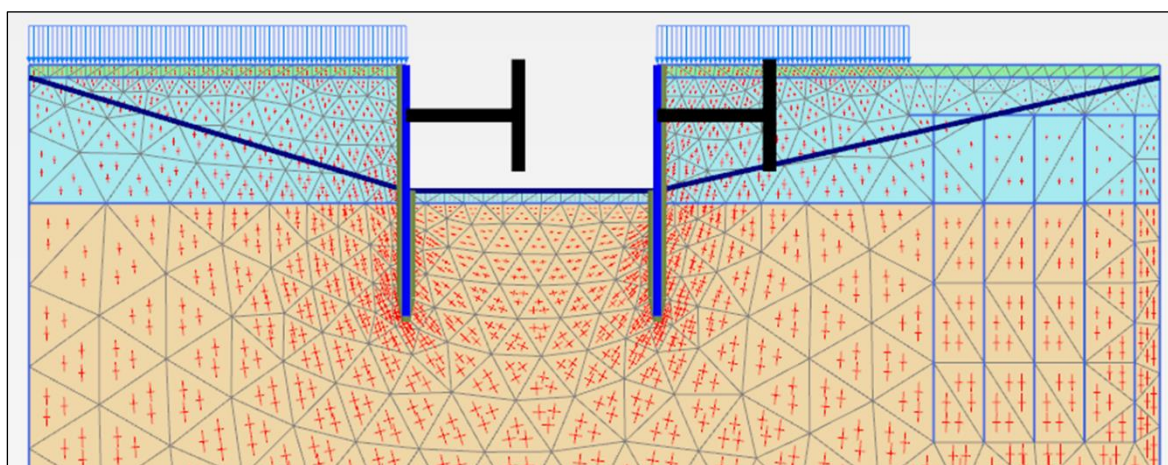


Figure 1: Excavation

Excavation site and ground parameters

- Top soil is mixed fill material from +80,00 to +79,50.
- Silt from +79,50 to +74,50.
- Sandy silt continues from +74,50 to deep bottom moraine.
- Groundwater level is +79,50.

Ground parameters are based on the (paino- ja heijari) soundings and eight soil samples from +66,00 to 78,00. Samples are used to test grain distribution in laboratory.

		Fill	Silt	Sandy silt
Material model		Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Hardening soil
γ_{unsat}	kN/m ³	16	16	17
γ_{sat}	kN/m ³	20	20	20
Drainage		Drained	Drained	Drained
Void ratio		0,5	0,5	0,5
Young's modulus	MPa	20	10	30
Cohesion c'	kN/m ²	5	1	1
Friction angle		31	30	34
Dilatancy angle		1	0	4

Design method

Stresses are calculated in method DA2. Ground parameters are not fixed with safety factors.

Factors are targeted in loads and resistances.

Sheet pile wall

Supported excavation wall will be constructed of commonly used Larsen 603 -sheet piles. Minimum yield strength for S240 steel is 240 N/mm². Sheet are installed to bottom level +70,00. Sheet pile wall's stresses and resistances are calculated later in the report. Sheets joints are not needed to weld each other, because bending stress versus the resistance is low.

		Section width per D = 1200 mm				
		Unit	Per m wall	Single pile	Double pile	Triple pile
Elastic section modulus ¹⁾	W_y	cm ³	1200	E 330	D 1440	Dr 1670
	W_z	cm ³	–	1130	–	–
Plastic section modulus ¹⁾	W_y	cm ³	1300	–	–	–
Weight		kg/m	108.0	64.8	129.6	194.4
Cross sectional area		cm ²	138.3	83.0	166.0	249.0
Circumference ²⁾		cm	260	181	337	493
Coating area ³⁾		m ² /m	2.60	1.69	3.25	4.81
Static moment	S_y	cm ³	650	–	–	–
Second moment of inertia	I_y	cm ⁴	18600	3830	22320	31050
	I_z	cm ⁴	–	36100	–	–
Radius of gyration	i_y	cm	11.63	6.79	11.63	11.19

Anchor levels

Sheet pile wall is supported to opposing wall by steel with one strut level +78,00. Strut distance is 4 meters and proper profile and support beam between the strut and the wall are calculated later in the report.

Strut profiles used in Plaxis 2D are 320/8 steel piles and Young's modulus is 210 000 N/mm².

External Loads

Equally distributed traffic load 20 kPa is used around excavation.

2. Plaxis results

6.10a: Permanent loads

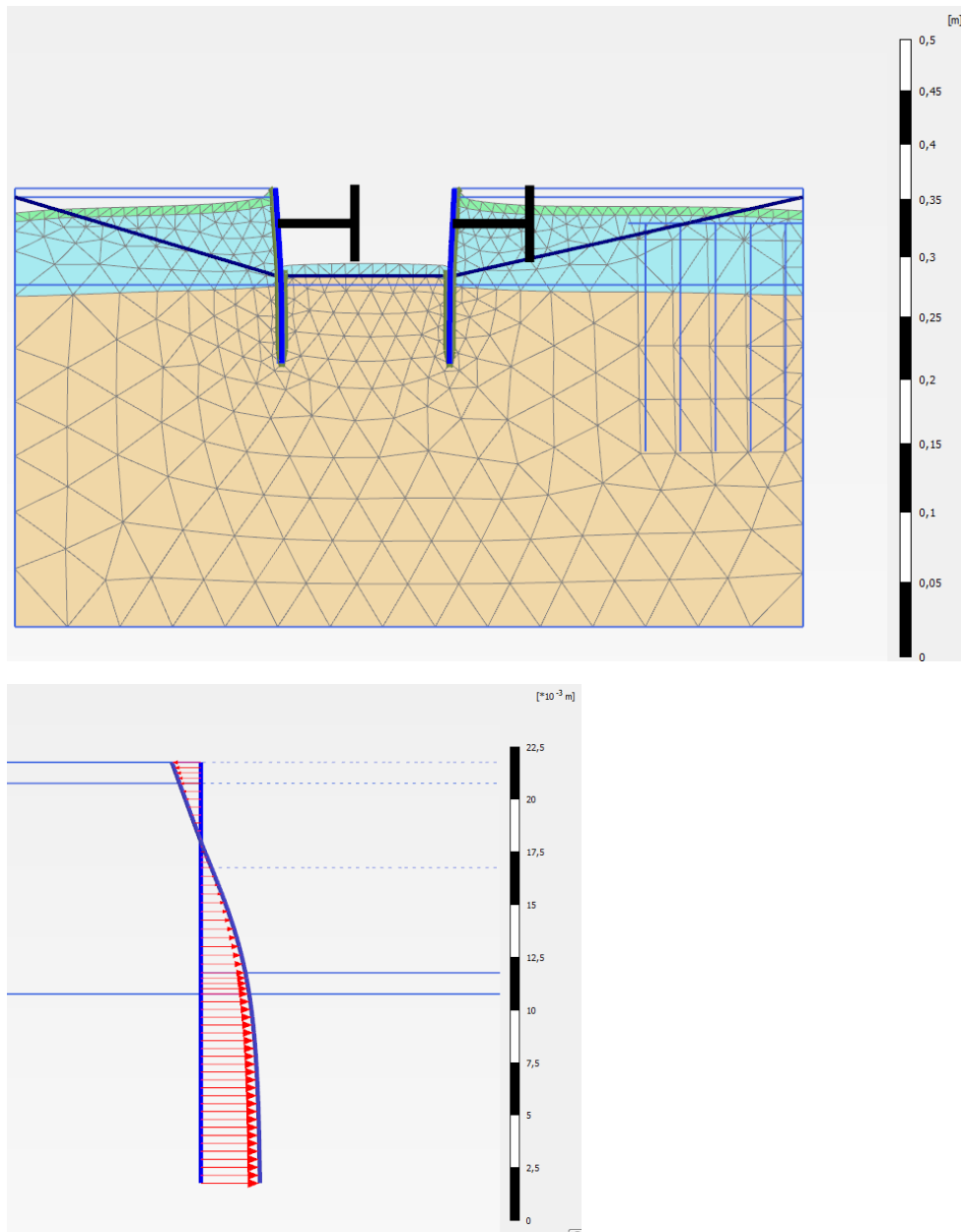


Figure 2 and 3: Wall deflection is very low, top deflect out (1 mm) and bottom in (3 mm).

Structural element	Node	Local number	X [m]	Y [m]	N [kN]	N_{\min} [kN]	N_{\max} [kN]	Φ_z [°]	Length [m]
FixedEndAnchor_1_1	499	1	0,000	78,000	-339,819	-339,819	0,000	0,000	5,000
FixedEndAnchor_2_1	4258	1	10,000	78,000	323,232	0,000	323,232	0,000	5,000

Figure 4: Strut normal loads SLS, maximum 340 kN. Model is not precisely symmetrical.

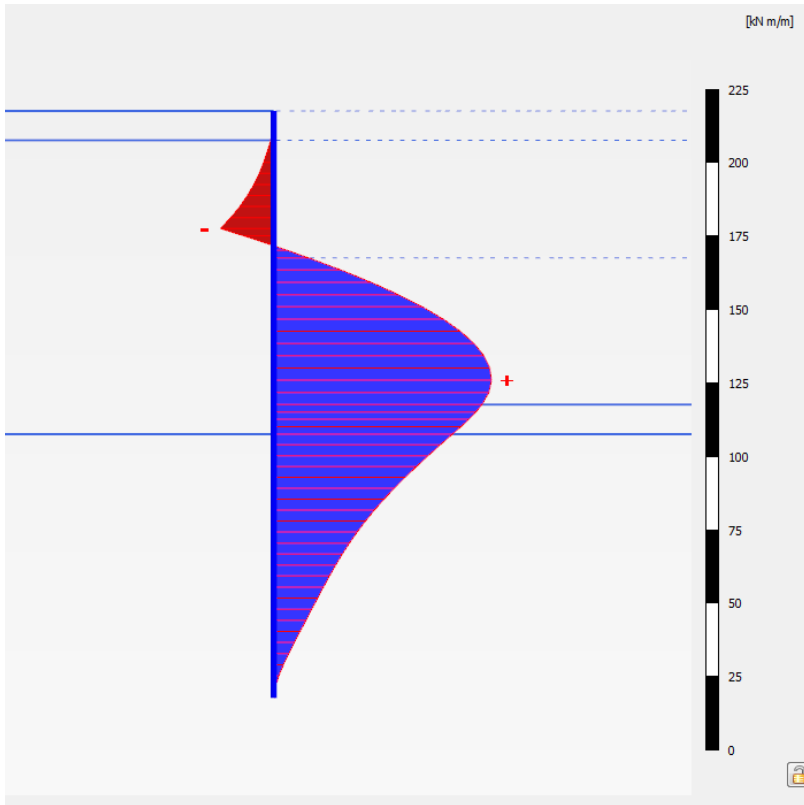


Figure 5: Sheet pile wall's bending moment.

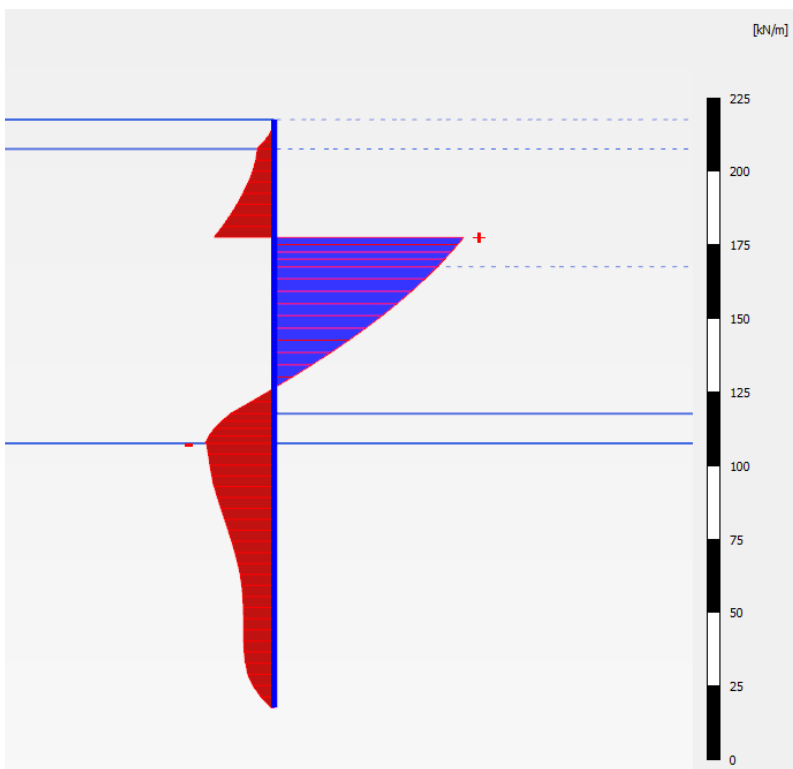


Figure 6: Sheet pile wall's shear force.

6.10b: Permanent and temporary loads

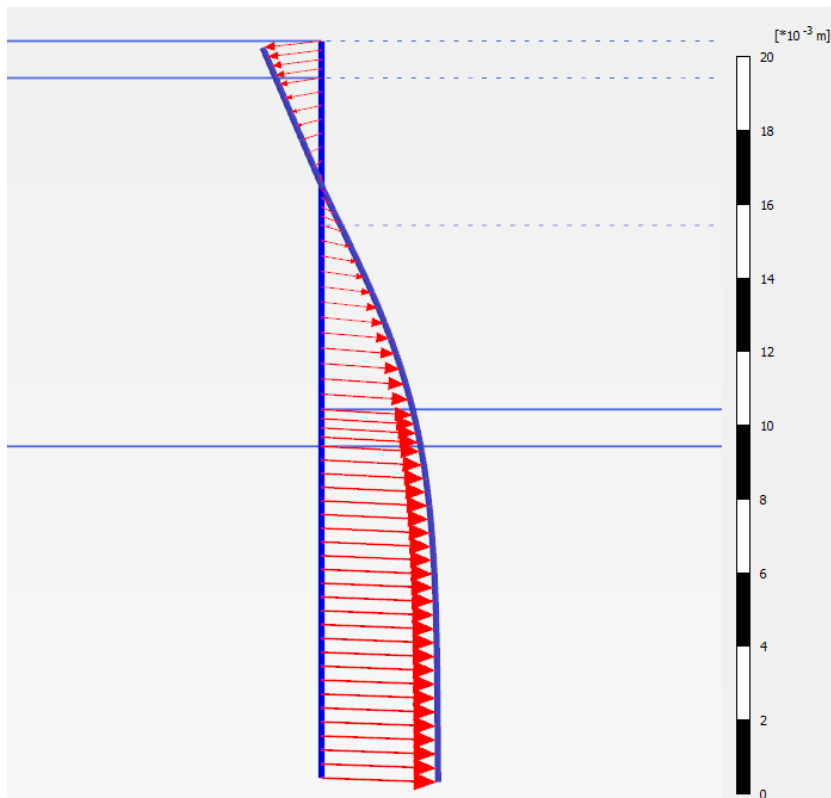
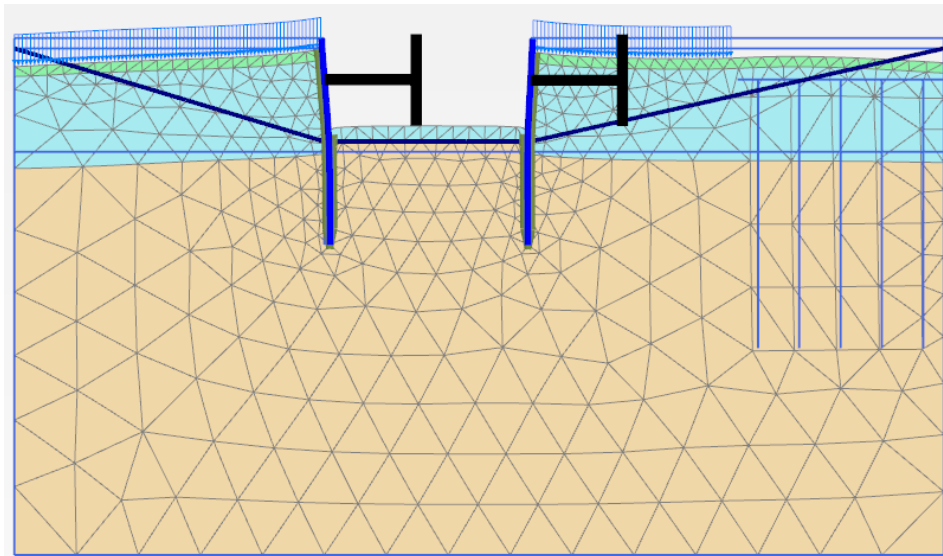


Figure 7 and 8: Wall deflection is very low, top deflect out (2 mm) and bottom in (3 mm).

Structural element ▲	Node ▲	Local number ▲	X ▲ [m]	Y ▲ [m]	N ▲ [kN]	N_{\min} ▲ [kN]	N_{\max} ▲ [kN]	Φ_z ▲ [°]	Length ▲ [m]
FixedEndAnchor_1_1	499	1	0,000	78,000	-456,438	-456,438	0,000	0,000	5,000
FixedEndAnchor_2_1	4258	1	10,000	78,000	436,583	0,000	436,583	0,000	5,000

Figure 9: Strut normal loads SLS, maximum 456 kN. Model is not precisely symmetrical.

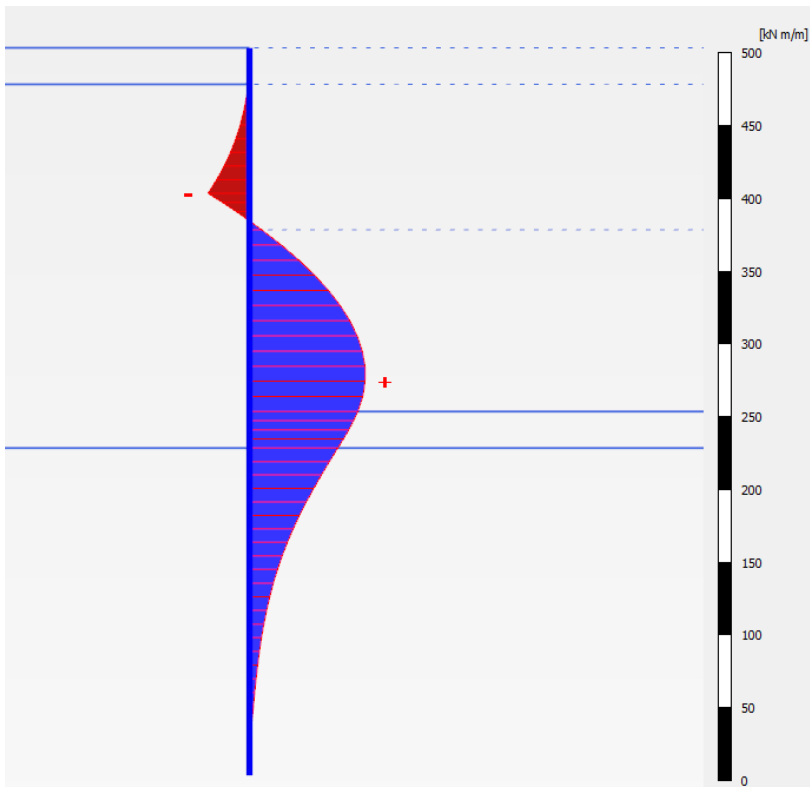


Figure 10: Sheet pile wall's bending moment.

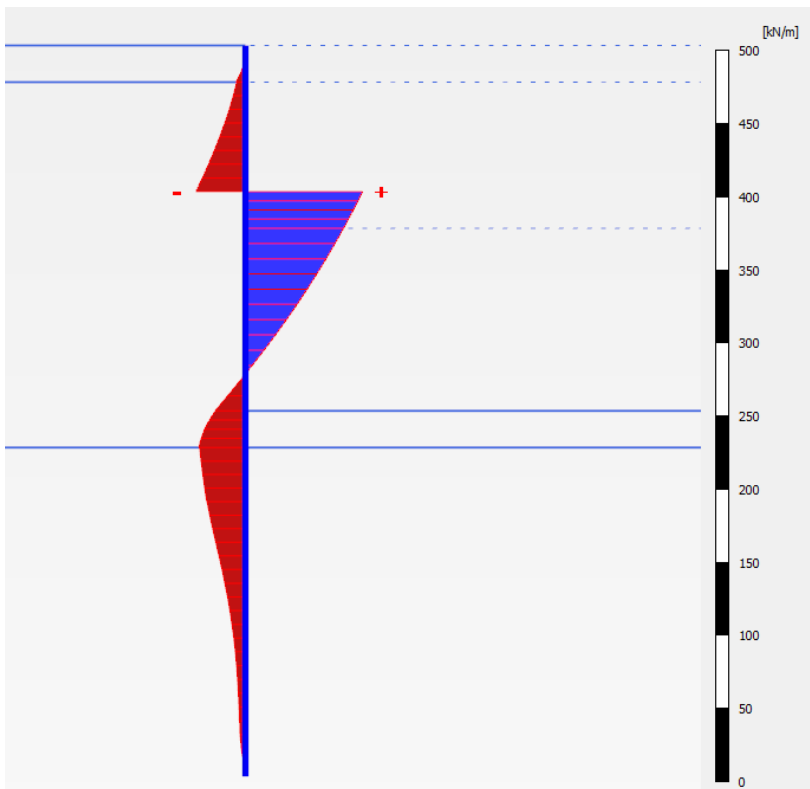


Figure 11: Sheet pile wall's shear force.

3. Summary

Loads and deformations are calculated for steel sheet pile Larssen 603.

$M_{k,max}$ =	Bending moment, SLS
$V_{k,max}$ =	Shear force, SLS
$T_{k,max}$ =	Anchor load, SLS
γ_{GA} =	1,35 Load factor G 6.10a
γ_{GB} =	1,15 Load factor G 6.10b
γ_{QB} =	1,5 Load factor Q 6.10b
γ_M =	1,15 Model factor, temporary support
KK =	4 m Anchor distance

Short term excavation

		M_{max} [kNm]	V_{max} [kN]	$T_{1,max}$ [kN]	Deflection [mm]
6.10a	G_k	74	65	340	3
6.10b	G_k+Q_k	80	80	456	3
	Q_k	6	15	116	
		M_d [kNm]	V_d [kN]	$T_{1,d}$ [kN]	
6.10a	G_d	100	88	459	
6.10b	G_d+Q_d	94	97	565	

Max loads

6.10a/6.10b	$M_{d,max}$ [kNm]	$V_{d,max}$ [kN]	$T_{1,d,max}$ [kN]	Deflection [mm]
LOAD	100	97	565	
LOAD * γ_M	115	112	650	3

Anchor beam

Anchor level 1

G_k =	85 kN/m	Lineload SLS
Q_k =	29 kN/m	Lineload SLS
6.10a P_d =	132 kN/m	Lineload ULS
6.10b P_d =	162 kN/m	Lineload ULS

Sheet pile wall Larsen 603 S240 moment bending and shear strenght

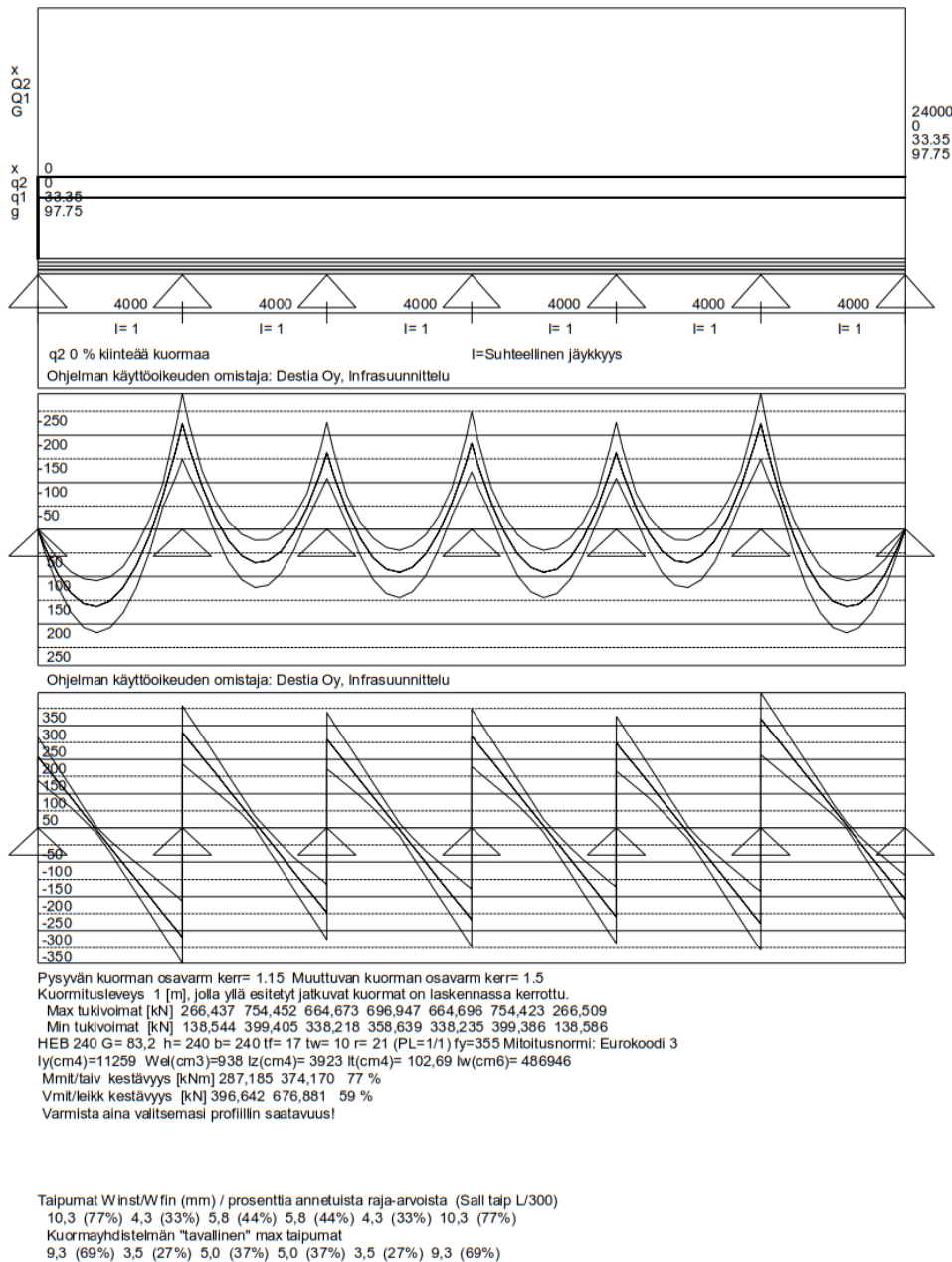
M_d =	100 kNm	Bending moment ULS
M_{Rd} =	262 kNm	Maxium bending strenght (handbook)
KA =	38 % OK	Service state
V_d =	112 kN	Shear force ULS
V_{Rd} =	2012 kN	Shear strenght (safety factor 1,1)
KA =	6 % OK	Service state

Deflection

Maximum deflections are in wall top -2 mm and bottom 3 mm.

Anchor beams

Anchor beams are checked in Pupax for design case 6.10b ($g_k=85 \text{ kN/m}$, $q_k=29 \text{ kN/m}$, $\gamma_{\text{model}}=1,15$).



Profile HEB-beams are commonly used in sheet pile walls. In this case HEB240 S355 maximum deflection in the middle of span is 10,3 mm and structural service state against bending and shearing failure are 77 % and 59 %. Beams are installed and welded continuously into wall as a multispan structure.

Struts

Struts are hollow pipe profiles 323/10 S355J2H. Buckling failure has been checked in the appendix A.

4. Ground water

Ground water will be lowered into excavation level by two wells with a pumping capacity of $300 \text{ m}^3/\text{d}$. Soils water conductivity is approximated from soil samples to $0,11 \text{ m/d}$.

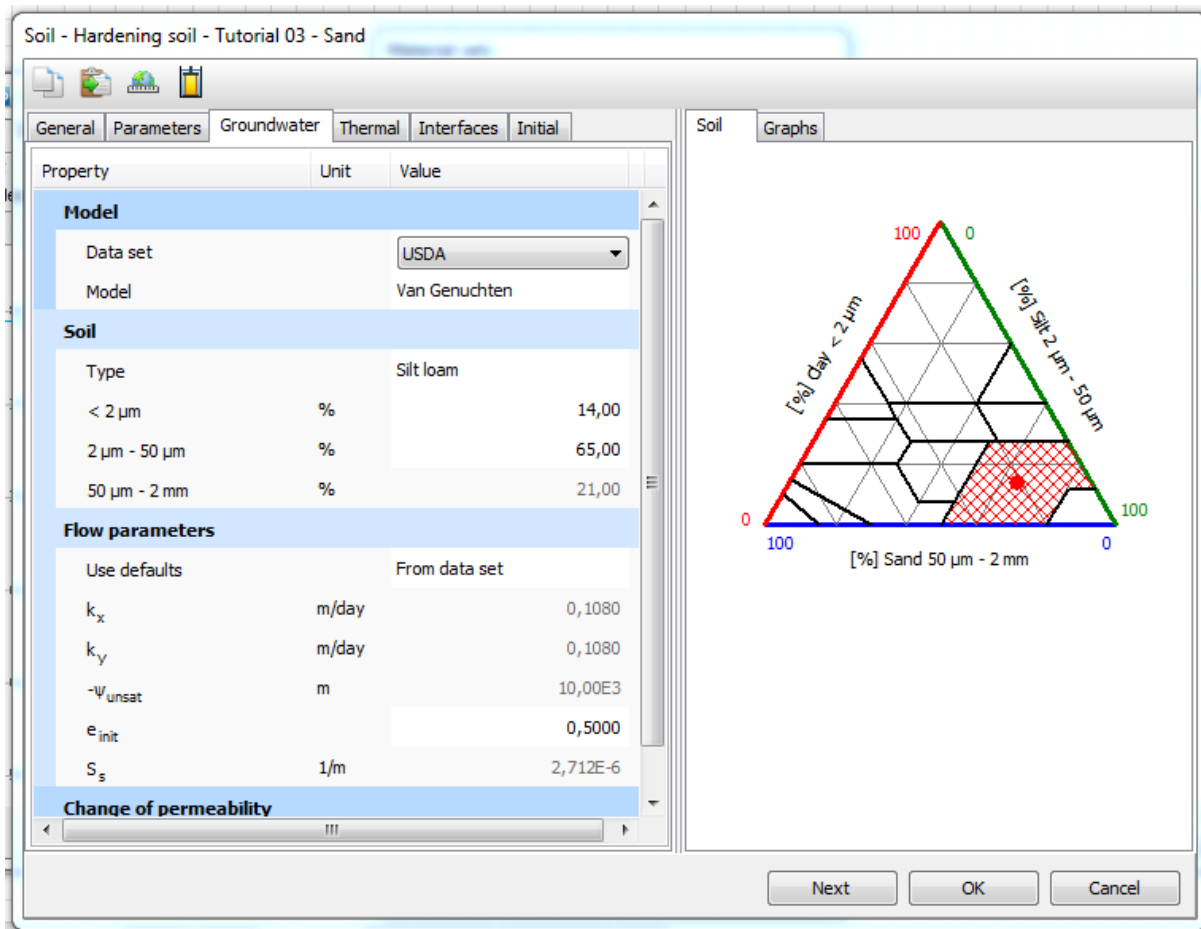


Figure 12: Ground water parameters in subsoil

Plaxis 2S analysis results that water level will also lower beneath Lutakko building, but only 0,5...1,0 meters. This will not reach the Lutakko's support piles and expose them to decay.

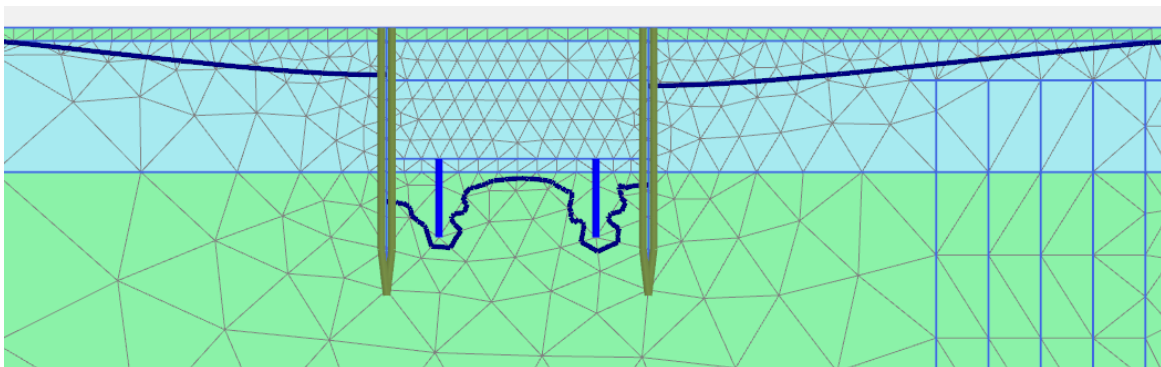


Figure 13: Lowered ground water level

Appendix A in Finnish

Pönkäpalkin mitoitus

Mitoitetaan pönkäpalkki vaakapalkin tukivoimasta ja lämpötilakuormasta syntyvälle normaalivoimalle sekä kuorman epäkeskeisyydestä, palkin alkukäyrydestä ja palkkiin ripustetusta kuormasta aiheutuvalle taivutusmomentille. Pönkäpalkki on nurjahdustuettu tasaisin välein. Käytetään palkkina pyöreää putkipalkkia, jonka nurjahdus-kapasiteetti on sama joka suuntaan.

Rasitukset

$$N_d = 650,0 \text{ kN} \quad \text{Palkin tukivoima, pönkäpalkin normaalivoima ilman lämpötilakuormaa}$$

$$N_{d,T} = \Delta T * \alpha * E * A$$

$$\Delta T = 20 \text{ °C} \quad \text{Lämpötilamuutos työn aikana}$$

$$\alpha = 0,000012 \text{ 1/°C}$$

$$E = 210000 \text{ N/mm}^2$$

$$A = 9861 \text{ mm}^2$$

$$N_{d,T} = 497,0 \text{ kN} \quad \text{Lämpötilan muutoksesta johtuva lämpötilakuorma pönkäpalkissa}$$

$$\Delta L = \Delta T * \alpha * L_0$$

$$L_0 = 12400 \text{ mm}$$

$$\Delta L = 2,976 \text{ mm} \quad \text{Pönkäpalkin lämpölaajeneminen}$$

Tästä voidaan todeta, että lämpötilakuorma on todella valtava suhteessa pituuden muutokseen palkissa.

Ei ole järkevää mitoittaa palkkia koko lämpötilakuormalle, koska tukiseinä ja maa seinän takana varmasti myötäävät hieman palkin työntäessä sitä kasaan valtavalla kuormalla.

Käytetään lämpötilakuormana 20 % lasketusta arvosta.

$$N_{d,T} = 99,4 \text{ kN} \quad \text{Lämpötilan muutoksesta johtuva lämpötilakuorma pönkäpalkissa}$$

$$\Sigma N_d = 749,4 \text{ kN} \quad \text{Normaalivoima, jolle pönkäpalkki mitoitetaan}$$

Katsotaan Ruukin Rakenneputket-käsikirjasta alustavia putkikokoja, jotka voisivat kestää tämän normaalivoiman.

Putki on tuettu molemmista päistään nivelellisesti ja sen nurjahduspituus on 12,4 m.

Valitaan alustavasti putkikooksi rakenneputki S355 D323,9/10.

765,2	691,8	620,2	553,0	323,9	4
975,7	878,7	784,8	697,4	323,9	5
1389	1235	1091	959,8	323,9	6
1456	1295	1143	1006	323,9	6,3
1831	1627	1435	1262	323,9	8
2263	2008	1770	1555	323,9	10
2789	2472	2175	1909	323,9	12,5
				d	t
				mm	mm
7	8	9	10		

Arvioidaan normaalivoiman epäkeskeisyys ja siitä aiheutuva taivutusmomentti.

Lisäksi pöngäpalkkiin saatetaan työmaalla ripustaa putkia tai muita kuormia, jotka aiheuttavat palkille taivutusmomentin.

$L_0 =$	12400 mm	Palkin kokonaispituus
$L_{cr} =$	12400 mm	Palkin solmuväli, nurjahduspituus, molemmat päät nivelöity
$e =$	50 mm	Normaalivoiman epäkeskeisyys
$M_{epäk,d} =$	37,5 kNm	Epäkeskeisyyden aiheuttama taivutusmomentti pöngäpalkissa
$Q_k =$	5,0 kN	Lisäkuorma, joka on ripustettu pöngäpalkin keskelle
$Q_d =$	7,5 kN	Kuorman mitoitusarvo, osavarmuus 1,5
$M_{Q,d} = Q_d * L_{cr} / 4$		
$M_{Q,d} =$	15,5 kNm	Lisäkuormasta aiheutuva taivutusmomentti
$G_k =$	0,6 kN/m	Palkin omanpainon ominaisarvo
$G_d =$	0,7 kN/m	Palkin omanpainon mitoituskuorma, osavarmuus 1,15
$M_{G,d} = G_d * L_{cr}^2 / 8$		
$M_{G,d} =$	13,7 kNm	Lisäkuormasta aiheutuva taivutusmomentti
$\Sigma M_d =$	66,7 kNm	Kokonaismomentti, jolle putkipalkki mitoitetaan

Mitoitetaan pöngäpalkki puristusnurjahdukselle.

Rakenteellinen mitoitus

a) Puristussauvan mitat

	D323,9/10	Sauvan profiili
$A =$	9861 mm ²	Sauvan poikkileikkauspinta-ala
$f_y =$	355 N/mm ²	Paarteen teräslujuus
$N_{Ed} =$	749,4 kN	Suurin puristusrasitus
$M_{Ed} =$	66,7 kNm	Suurin taivutusmomentti
$V_{Ed} =$	8,2 kN	Suurin leikkausvoima

Poikkileikkausluokka 3

b) Taivutusmitoitus

$W_{el} =$	985700 mm ³	Kimmainen taivutusvastus, jos PL-luokka 3 tai 4, muuten plastinen
$f_y =$	355 N/mm ²	
$M_{c,Rd} =$	349,9 kNm	Momenttikapasiteetti
$ka =$	19 %	OK $M_{Ed} < M_{c,Rd}$

c) Leikkausmitoitus

$A_v =$	9861 mm ²	Uuman pinta-ala
$V_{pl,Rd} =$	2427 kN	
$ka =$	0 %	OK $V_{Ed} < V_{pl,Rd}$

d) Leikkauslommahduksen tarkastaminen

Leikkauslommahduksen käyttöastetta ei tarvitse laskea.

e) Taivutuksen ja leikkauksen yhteisvaikutuksen tarkastaminen

$V_{Ed} =$	8,2 kN	Suurin leikkausvoima
$0,5 * V_{pl,Rd} =$	1214 kN	
$ka =$	1 %	OK $V_{Ed} < 0,5 * V_{pl,Rd}$

Taivutuksen ja leikkauksen yhteisvaikutusta ei tarvitse laskea.

f) Leikkauksen ja väännön yhteisvaikutus, ei esiinny vääntöä

g) Sauvan kiepahtaminen, ei esiinny putkiprofiileilla

h) Sauvan taipuma, ei tutkita yksittäisen solmuvälin taipumaa.

i) Vetomitoitus, sauvassa ei esiinny vetoa

j) Puristusmitoitus

$N_{Ed} =$	749,4 kN	Sauvan suurin puristusrasitus
$f_y =$	355 N/mm ²	Paarteen teräslujuus
$A =$	9861 mm ²	Sauvan poikkileikkauspinta-ala
$N_{t,Rd} =$	3501 kN	Yläpaarteen puristuskapasiteetti ilman nurjahdusta.
$ka =$	21 %	OK $N_{Ed} < N_{t,Rd}$

k) Puristusnurjahdus

$N_{Ed} =$	749 kN	Sauvan suurin puristusrasitus
$f_y =$	355 N/mm ²	Paarteen teräslujuus
$A =$	9861 mm ²	Sauvan poikkileikkauspinta-ala
$E =$	210000 kN/mm ²	Teräsmateriaalin kimmokerroin
$I =$	121580000 mm ⁴	Profiilin neliömometti
$L_{cr} =$	12400 mm	Nurjahduspituus
$N_{cr} =$	1639 kN	Kriittinen nurjahduskuorma
$\lambda =$	1,5	Muunnettu hoikkuus
$\alpha =$	0,49	Epätarkkuustekijä, määrytyy profiilin valmistusmenetelmästä
$\phi =$	1,877	
$\chi =$	0,327	Puristuskestävyyden pienennyskerroin
$N_{b,Rd} =$	1146 kN	Puristuskapasiteetti, kun nurjahdus huomioitu.
$ka =$	65 %	OK $N_{Ed} < N_{b,Rd}$

l) Taivutus ja aksiaalivoima

$M_{c,Rd} =$	349,9 kNm	Momenttikapasiteetti
$M_{Ed} =$	66,7 kNm	Suurin taivutusmomentti
$N_{Ed} =$	749 kN	Sauvan suurin puristusrasitus
$N_{pl,Rd} =$	3501 kN	Yläpaarteen puristuskapasiteetti ilman nurjahdusta.
$x =$	0,95	Momenttikapasiteetin pienennyskerroin
$M_{N,Rd} =$	333,9 kNm	Taivutukselle ja aksiaalivoimalle pienennetty momenttikapasiteetti
$ka =$	20 %	OK $M_{Ed} < M_{N,Rd}$

l) Taivutus, leikkaus ja aksiaalivoima

$V_{Ed} =$	8,2 kN	Suurin leikkausvoima
$0,5 * V_{pl,Rd} =$	1214 kN	Taivutuksen, leikkauksen ja aksiaalivoiman yhteisvaikutusta ei tarvitse laskea.
$ka =$	1 %	OK $N_{Ed} < 0,5 * N_{t,Rd}$

Lopullinen mitoitusehto

Selvitettävä ensiksi momentin muotokerroin k_{yy} .

$M1 =$	0,0 kNm	Tukimomentti 1. solmussa
$M2 =$	0,0 kNm	Tukimomentti 2. solmussa
$\psi =$	1,00	Kerroin

$M_s =$	29,2	kNm	Kenttämömentti
$\alpha_s =$	0,00		Kerroin
$C_{my} =$	0,95		OK $C_{my} > 0,4$
$\lambda =$	1,5		Muunnettu hoikkuus
$N_{Ed} =$	749	kN	Sauvan suurin puristusrasitus
$\chi_y =$	0,327		Puristuskestävyyden pienennyskerroin
$N_{Rk} =$	3501	kN	$= A * F_y$
$\gamma_{M1} =$	1,00		
$k_{yy1} =$	1,73		
$k_{yy2} =$	1,45		
$k_{yy} =$	1,45		Taivutusmomentin muodon huomioiva kerroin

(4) Yhdistetyn taivutuksen ja aksiaalisen puristuksen rasittamille sauvoille tarkistetaan seuraavat ehdot:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1 \quad (6.61)$$

$N_{Ed} =$	749	kN	Sauvan suurin puristusrasitus
$\chi_y =$	0,327		
$N_{Rk} =$	3501	kN	$= A * f_y$
$\gamma_{M1} =$	1,00		

1) 65,40 %

$k_{yy} =$	1,45		
$M_{y,Ed} =$	29,20	kNm	Sauvan suurin momentti
$\Delta M_{y,Ed} =$	37,47	kNm	Aksiaalivoiman epäkeskeisyydestä johtuva taivutusmomentti
$\chi_{LT} =$	1,000		Kiepahduksesta johtuva momenttikapasiteetin pienennyskerroin
$M_{y,Rk} =$	349,92	kNm	$= W * f_y$
$\gamma_{M1} =$	1,00		

2) 27,57 %

3) 0,00 % Yläpaarteessa ei esiinny poikkisuuntaista taivutusta.

$k_a =$ 93 % OK $k_a < 100$ %

Valitaan pönkäpalkiksi D323,9/10, lujuus S355

Pönkäpalkki on mitoitettu maksimiepäkeskeisyydelle.

Tarkemmalla asennustyöllä voidaan käyttöastetta ja pönkäpalkkia pienentää.

Pönkäpalkki hitsataan vaakapalkkiin koko profiilinsa ympäri