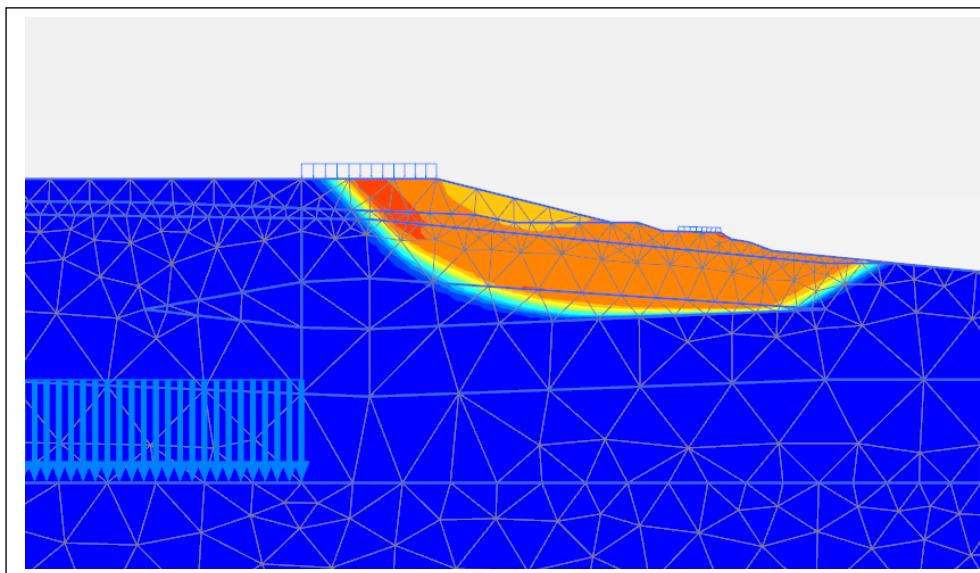


BERÄKNINGS PM - MASSUNDANTRÄNGNING OCH STABILITETSRAPPORT

SKEPPSBRON - PÅLANALYS HÖGHASTIGHETSBAK, JÖNKÖPINGS
KOMMUN



UPPRÄTTAD: 2017-02-03

Upprättad av

Annamaria Kossuth

Granskad av

Fredrik Andersson

Godkänd av

Nicholas Lusack

Innehållsförteckning

1	Sammanfattning	4
2	Inledning	5
2.1	Uppdrag	5
2.2	Planerad byggnation	5
3	Syfte och Geoteknisk kategori.....	6
4	Styrande dokument.....	6
5	Beräkningsförutsättningar	6
5.1	Beräkningsprogram.....	6
5.2	Geoteknisk kategori, säkerhetsklass, partialkoefficienter	8
5.3	Markprofil	8
5.4	Jordlagerföljd och jordparametrar	8
5.5	Vattennivå	11
5.6	Laster	11
6	Analys.....	13
6.1	Modell i Plaxis	13
6.2	Modell i Slope/W	15
7	Resultat	16
7.1	Rörelser i marken	16
7.2	Stabilitet	19

Kund: Jönköpings kommun
Kundens kontaktperson: Fredrik Sandberg Svärd

Konsult: Sigma Civil AB
Projektansvarig: Nicholas Lusack
Handläggare: Annamaria Kossuth
Konsultens projektnummer: 103033
Bild på första sida: Glidytta från Plaxis (stabilitetsberäkning - Sektion D)

Bilagor

Nr.	Antal sidor	Namn	Datum
1	20	Lastnedräkning	2016-11-02
2	74	Massundanträngning- och stabilitetsberäkningar	2017-01-03

Ritningsförteckning

Ritningsnummer	Typ	Skala	Format	Datum
G-10-1-031	Färgkarta A - Hel	1:2000	A1	2017-02-03
G-10-1-032	Färgkarta A - Del 1	1:1000	A1	2017-02-03
G-10-1-033	Färgkarta A - Del 2	1:1000	A1	2017-02-03
G-10-1-034	Färgkarta B - Hel	1:2000	A1	2017-02-03
G-10-1-035	Färgkarta B - Del 1	1:1000	A1	2017-02-03
G-10-1-036	Färgkarta B - Del 2	1:1000	A1	2017-02-03
G-10-1-041	Pålfördelningskarta - Hel	1:2000	A1	2017-02-03
G-10-1-042	Pålfördelningskarta - Del 1	1:1000	A1	2017-02-03
G-10-1-043	Pålfördelningskarta - Del 2	1:1000	A1	2017-02-03
G-10-1-044	Pålslagsordning	1:2000	A1	2017-02-03

1 Sammanfattning

Sigma Civil AB har haft på uppdrag av Jönköpings Kommun av stabilitetsberäkningar mot Munksjön samt Tabergsåns östra sida och analys av påverkan vid pålning, dvs. förväntade rörelser efter påslagning inom området och i anslutning mot framtida höghastighetsjärnväg.

Stadsområdet Skeppsbron ligger vid Munksjöns södra strand, där de nya byggnaderna bedöms grundläggas med pålar. En uppskattning av pålantal har gjorts enligt nuvarande planförslag om framtida byggnader.

Analyserna av påverkan vid påslagning (dvs. horisontella och vertikala rörelser) är utförda i Plaxis 2D och beräkningarna av totalstabiliteten är utförda både i Plaxis 2D och Geo Studio Slope/W.

Resultaten visar att området som är påverkat av påslagning, dvs. influensradien är på ett avstånd motsvarande en pållängd från det aktuella påslagningsområdet. Analyserna påvisar att massundanträngning sker primärt i sanden. Torven förutsätts oförändrat pga. att massrörelser förväntas absorberas delvis pga. det höga vatteninnehållet.

Resultaten från stabilitetsberäkningarna är tillräcklig goda för att erhålla tillfredsställande stabilitet för den framtida gång- och cykelbanan.

Analyserna med trafiklast (både trafik och byggtrafik) visar att resultaten inte alltid uppfyller säkerhetskraven för det västra området. Detta inkluderar området Prästkärret, Munksjöns västra strand samt den östra sidan av Skeppsbroområdet. Inom dessa områden har torv påträffats i större mäktigheter.

Det rekommenderas att ytterligare stabilitetsanalyser utförs vid detaljprojektering. Stabilitetsberäkningar föreslås utföras med Slope/W eller likvärdigt stabilitetsprogram.

2 Inledning

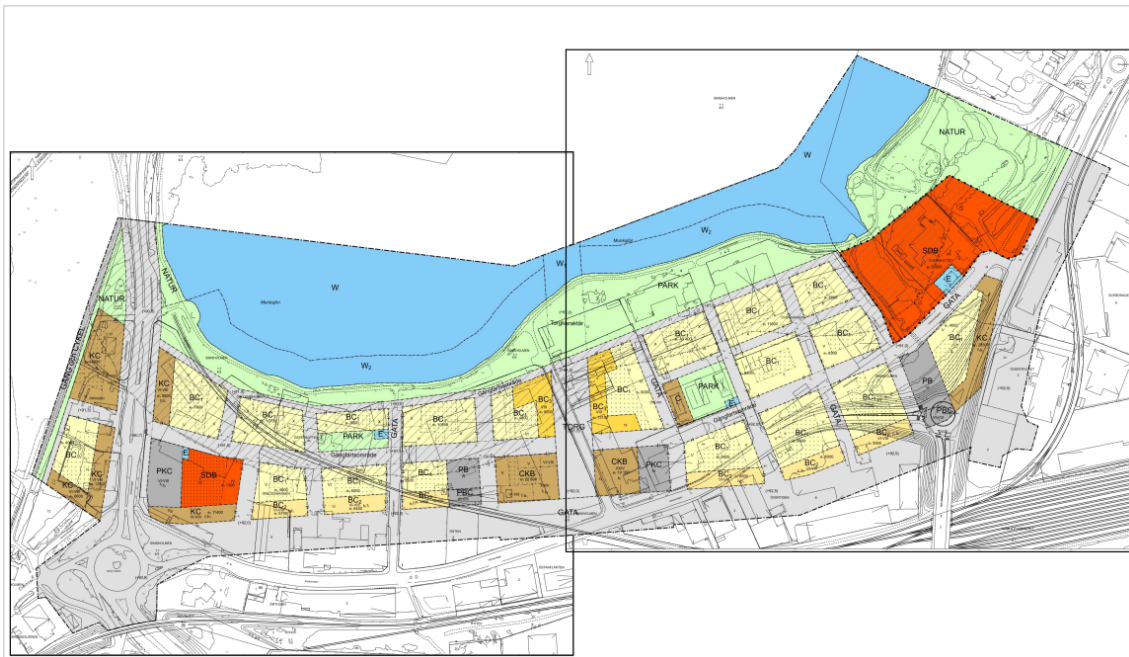
2.1 Uppdrag

Sigma Civil AB har på uppdrag av Jönköpings kommun utrett:

- stabilitetsberäkningar mot Munksjön samt Tabergsåns östra sida
- analys av påverkan vid pålning inom området och i anslutning mot framtida höghastighetsjärnväg

2.2 Planerad byggnation

Stadsområdet Skeppsbron ligger vid Munksjöns södra strand där de nya byggnaderna bedöms grundläggas med pålar. Baserat på nuvarande planförslag har en uppskattning av antal pålar för framtida byggnader gjorts. (Se Bilaga 1: Lastnedräkning)



Figur 1: Nuvarande planförslag

3 Syfte och Geoteknisk kategori

Syftet med undersökningen är att analysera stabiliteten och omgivningspåverkan, dvs. förväntade rörelser i samband med påslagning.

Beräkningarna utförs i Geoteknisk Kategori 2 (GK2) och Säkerhetsklass 2 (SK2).

4 Styrande dokument

Följande styrande dokument gäller för beräkningar.

Tabell 1. Standarder eller andra styrande dokument

Typ	Årtal
VVFS 2011:12	2011
TK Geo 13	2013
Eurokod 7 - SS-EN 1997:1–2005	2005

5 Beräkningsförutsättningar

5.1 Beräkningsprogram

Analys av påverkan vid påslagning (dvs. horisontella och vertikala rörelser) är utförda i Plaxis 2D och beräkningar av totalstabilitet är utförda båda i Plaxis 2D och Geo Studio Slope/W.

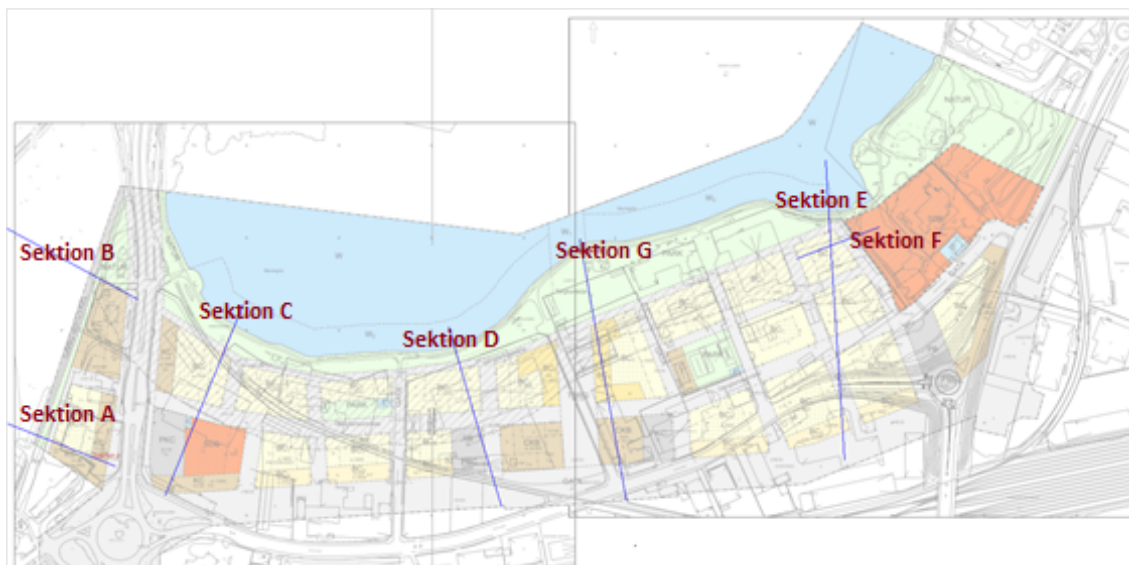
Följande versioner gäller avseende programvaror:

- PLAXIS 2D AE Version 2016, build 15047
- Geo Studio Slope/W Version 8.13.1.9253

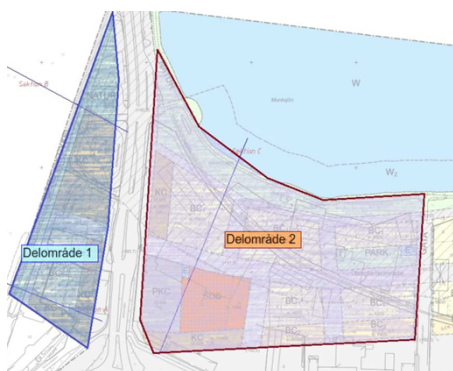
Stabilitetsberäkningar i Plaxis har utförts i sex sektioner, vilka också har använts för förskjutningsberäkningar med ytterligare en sektion (Sektion G), se Figur 2 nedan. För Sektion B och E har stabiliteten kontrollerats med programmet Slope/W.

Delområden (Figur 3):

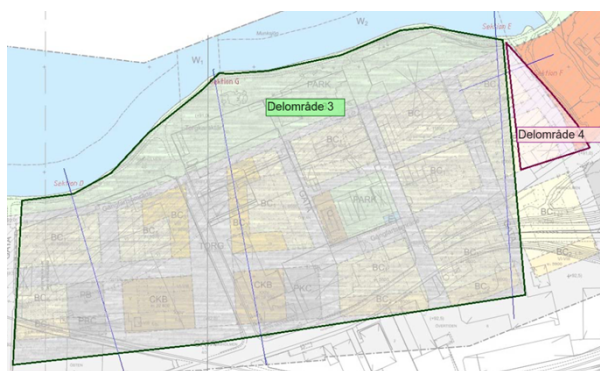
- delområde 1 - västra området: Sektion A och B (Prästkarret – på östra sidan av Tabergsånen)
- delområde 2 - väster om Skeppsbrogatan: Sektion C
- delområde 3 - öster om Skeppsbrogatan: Sektion D, E och G
- delområde 4 - östra sidan: Sektion F



Figur 2. Nuvarande planförslag med sektioner



Figur 3. Delområde 1 och 2



delområde 3 och 4

Sektioner har beräknats med två olika jordprofiler: den första beräkningen, Version 1, är utförd med jordparametrar från Atkins rapport medan den andra beräkningen, Version 2, har utförts med värden från kompletterande fältgeoteknik utförd av Sigma Civil.

5.2 Geoteknisk kategori, säkerhetsklass, partialkoefficienter

Släntstabilitet undersöks i geoteknisk kategori 2 (GK2) och i säkerhetsklass 2 (SK2).

$\gamma_d = 0,91$ (används i dimensionering av laster), partialkoefficienter används enligt TK Geo 13:

Partialkoefficienter för laster:

- permanent last: $\gamma_G = 0,91 \cdot 1,1 = 1,0$
- variabel last: $\gamma_Q = 0,91 \cdot 1,4 = 1,27$

Partialkoefficienter för jordparametrar (γ_M) enligt Tabell A.4(S) VVFS 2011:12:

- Friktionsvinkel: $\gamma_{\phi} = 1,3$
- Effektiv kohesion: $\gamma_c = 1,3$
- Odränerad skjuvhållfasthet: $\gamma_{cu} = 1,5$
- Tunghet: $\gamma_Y = 1,0$

Stabilitetskrav: **$F_{EN} = 1,0$**

5.3 Markprofil

Markytan till strandkanten har definierats med hjälp av inmättningsdata.

Lutning av strand samt sjöbotten:

- Version 1: 1:10 lutning från kanten under vatten
- Version 2: lutning från strand enligt underlag från *Munksjöns djupdata* (*Eko_RH2000_Munksj.dwg*), brantaste lutning i närheten av aktuell sektion har använts.

5.4 Jordlagerföljd och jordparametrar

Jordlagren består generellt av:

- fyllning: sand, grus, tegel (tjocklek: 0 – 7 m)
- lös siltig sand (tjocklek: 0 – 4 m)
- torv (tjocklek: 0 – 8 m)
- lös siltig sand (tjocklek: 2 – 12 m)
- fast sand: generellt omkring 15- 20 m under markytan finns fastare lager -> vald pållängd enligt bedömd stoppslagningsnivå.

Tabell 2. Jordlager - Version 1: Atkins fältresultat (AT)

Jordlager	Namn i Plaxis	Tunghet [kN/m ³]		Elasticitetsmodul [kN/m ²]	Poissons konstant [-]	Effektiv friktionsvinkel [°]	Dimensionerande eff. friktionsvinkel [°]	Dränerad skjuvhållfasthet - kar./dim. [kPa]	Odränerad skjuvhållfasthet - kar./dim. [kPa]
		γ	γ_s	E'	ν'	ϕ'	ϕ_d'	c'	c _u
Fyllning (sand, grus, tegel) - befintlig	Fyll_Sand (AT)	18	20	10000	0,3	36	28	0	0
Lös sand	Lös_sand (AT)	19	21	10000	0,3	34	27,4	0	0
Torv	Torv (AT)	12	12	300	0	28	22,2	2/1,5	20/12
Fast sand	Fast_sand (AT)	19	21	25000	0,3	36	28	0	0
Planerad fyllning (grus)	Fyll_grus (AT)	19	22	15000	0,3	34	27,4	0	0

Tabell 3. Jordlager - Version 2: kompletterande geotekniska undersökningar, Sigma Civil AB (SC)

Jordlager	Namn i Plaxis	Sektion	Tunghet [kN/m ³]		Elasticitetsmodul [kN/m ²]	Poissons konstant [-]	Effektiv friktionsvinkel [°]	Dimensionerande eff. friktionsvinkel [°]	Dränerad skjuvhållfasthet - kar./dim. [kPa]	Odränerad skjuvhållfasthet - kar./dim. [kPa]
			γ	γ_s	E'	ν'	ϕ'	ϕ_d'	c'	c _u
Fyllning (sand, grus, tegel) - befintlig	Fyll_sand SC_A	A	18	20	14900	0,3	33,5	26	0	0
	Fyll_sand SC_B	B			5400		30,6	23		
	Fyll_sand SC_C	C			15000		32,9	25		
	Fyll_sand SC_D	D			7400		29,0	22		
	Fyll_sand SC_E	E			14000		31,1	24		
	Fyll_sand SC_F	F			11500		29,4	22		
Lös sand	Lös_sand SC_A	A, B	19	21	5000*	0,3	32,7	25	0	0
	Lös_sand SC_C	C					31,0	24		
	Lös_sand SC_D	D					30,6	23		
	Lös_sand SC_E	E					31,5	24		
	Lös_sand SC_F	F					32,0	24		
Torv	Torv SC	A, B, C, D, E, F	12	12	300	0	28	22,2	2/1,5	20/12
Fast sand	Fast_sand SC_A	A, B, C	19	21	22000**	0,3	33,2	25	0	0
	Fast_sand SC_D	D, E, F					31,9	24		
Planerad fyllning (grus)	Fyll_grus SC		19	22	15000	0,3	34,0	26	0	0

ANM:

Dimensionerande värden används bara för Sektion B och E till beräkning i GeoSlope

* den lösa sandens E-modul har bestämts med ett maxvärde på 5 MPa enligt beräkningar Version 2

** den fasta sandens E-modul har bestämts med ett maxvärde på 22 MPa enligt beräkningar Version 2

5.5 Vattennivå

Grundvattennivån inom området varierar med vattennivån i Munksjön.

I *Version 1* av beräkningarna har vattennivån i Munksjön antagits till nivå +88,4 vilket definierats som lägsta lågvattenstånd för Vättern i Jönköping.

I *Version 2* har vattennivån i Munksjön antagits till nivå +88,0, enligt data från SMHI (Vättern lägsta vattenstånd) och grundvattennivån enligt vattennivån i GW-rör.

- a. Grundvattennivå (GW)
- b. Munksjöns/Prästkarrets vattennivå

Tabell 4. Vattennivå - Version 1

Sektion	a.	b.
SEK_A	+89,0	+88,9
SEK_B	+89,0	+89,0
SEK_C	+89,0	+88,3
SEK_D	+89,9	+88,3
SEK_E	+89,4	+88,4

Tabell 5. Vattennivå - Version 2

Sektion	a.	b.
SEK_A	+89,3	+88,0
SEK_B	+88,0	+88,0
SEK_C	+88,8	+88,0
SEK_D	+88,5	+88,0
SEK_E	+88,0	+88,0
SEK_F	+88,0	+88,0

5.6 Laster

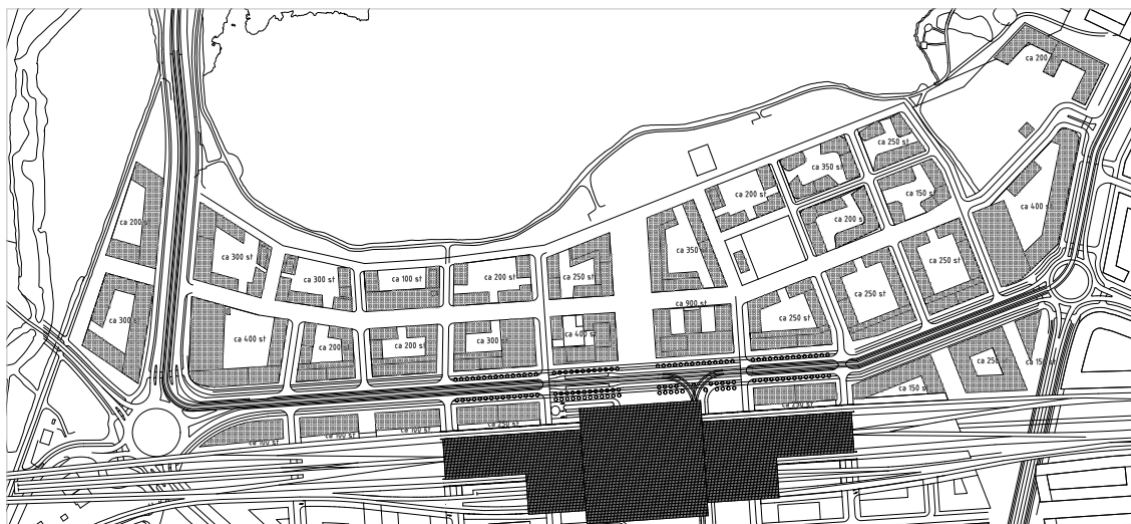
5.6.1 Väglaster

Karakteristiska värden vid dimensionering med partialkoefficienter.

- Gång-cykel väg: 5 kPa (befintlig trafiklast och framtida GC-väg)
- Trafiklast: 15 kPa
- Byggtrafiklast: 25 kPa

5.6.2 Pällaster

Pålantalet (Figur 4) och pällasterna för beräkningar i Plaxis har uppskattats enligt kvartersbeskrivning på nuvarande planförslag. Hela området bedöms innefatta cirka 8000 pålar. Pällasten på pålspets har applicerats efter expansionsfaser, beräknad med SP2, TYP 6. (Se Bilaga 1: Lastnedräkning, Ritningar: G-10-1-041 – G-10-1-043)



Figur 4. Antaget pålantal per kvarter

5.6.3 Massundanträngning i kvarter

Massundanträngningen som förorsakas av pålarna har analyserats med funktionen i Plaxis som kallas "Volume strain" (volymexpansion). Det behövs ett beräknat epsilonvärde, som skall användas till det aktuella området där påslagning utförs.

Exempel: För ett område med arean 2010 m², en byggnad på 10 våningar och ett uppskattat antal av pålar får vi epsilonvärde enligt följande (Tabell 6):

Tabell 6. Epsilonvärde till volymexpansion

kvartersarea [m ²]	antal SP2 pålar	SUM SP2 pålarea [m ²]	Förhållande av areor = volymexpansion i Plaxis [%]	Pållast i Plaxis [kN/m/m]
2010	265	20,04	$\epsilon = 20/2010 \cdot 100 = 1,0$	132

Pållängder har antagits mellan 15–25 meter baserad på CPTu sonderingar och Hfa sonderingar. (Se Tabell 7)

Tabell 7. Antagen pållängd för sektioner

Sektion	Pållängd [m]
A	24
B	21
C	22
D	16
E	25
F	25
G	25

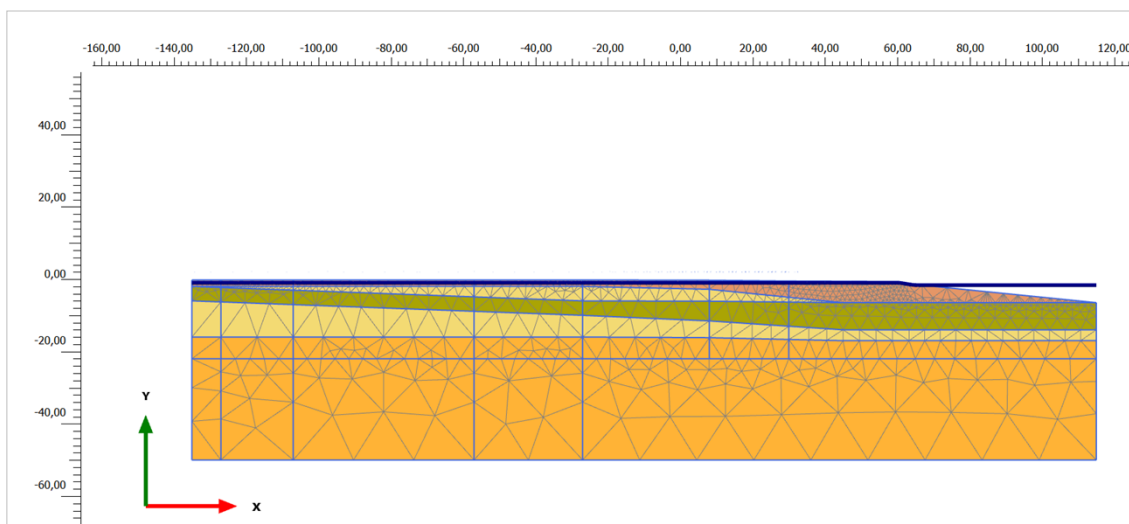
6 Analys

6.1 Modell i Plaxis

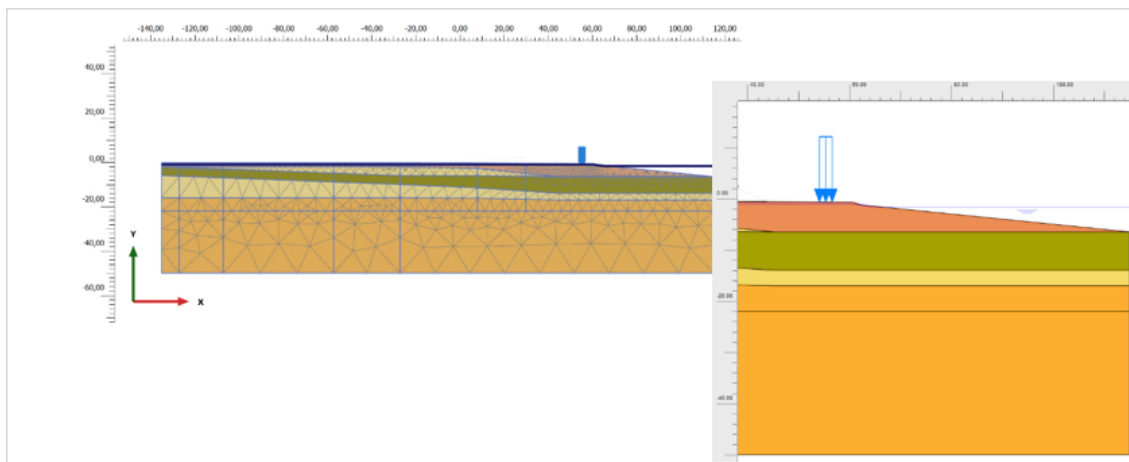
6.1.1 Generell beräkningsgång

1. In-situ förhållanden med piezometrisk vattenyta, Mohr-Coulomb jordmodeller med dränerad analys applicerades. (Figur 5)
2. Befintlig gång-cykel väg: 5 kPa + säkerhet för befintliga förhållanden. (Figur 6)
3. Expansion i flera faser: expansion har applicerats per kvarter med volymexpansion beräknad till aktuellt kvarter (epsilonvärde). Uppskattad byggordning: från exploateringsområdets södra gräns mot Munskjön. (Figur 7)
4. Applikation av pålast på påspets nivå. (Figur 8)
5. Fyllning av grus på exploaterande område enligt Plankarta 1 och 2 (fyllning till +91,0 – 92,0 m). Istället för mur som gräns mellan det uppfyllda området och strandramen modellerades fyllning med slänt. (Figur 9)
6. Applikation av trafiklast + säkerhetsanalys. (Figur 10)

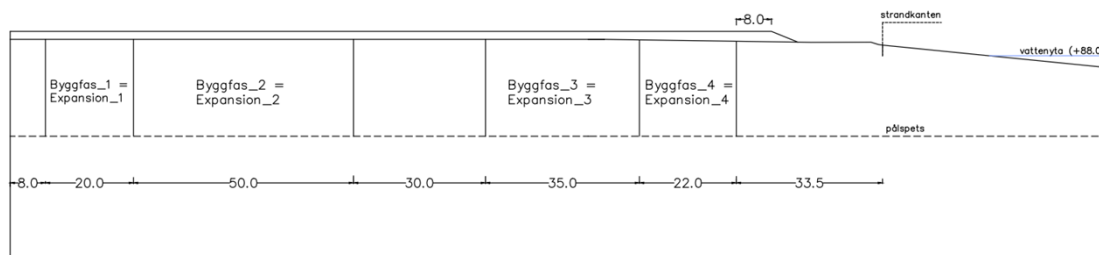
Följande figurer visar ett exempel på beräkningsgången (exempel från modell Sek_lång_C)



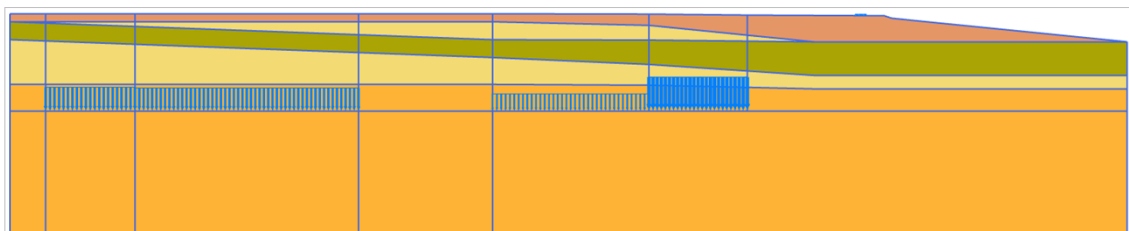
Figur 5. Fas 1: In-situ geometri



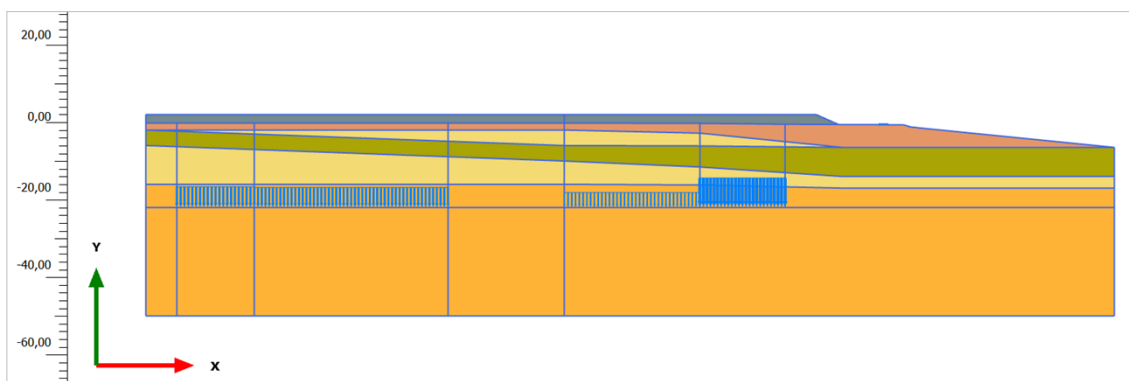
Figur 6. Fas med befintlig gång-cykel väg



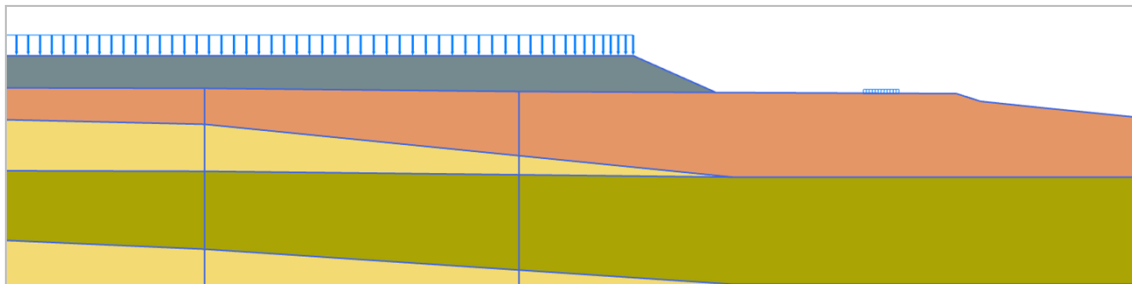
Figur 7. Expansionsfaser



Figur 8. Fas med applikation av pålast på pålspets nivå



Figur 9. Fas med fyllning av grus på exploaterande område

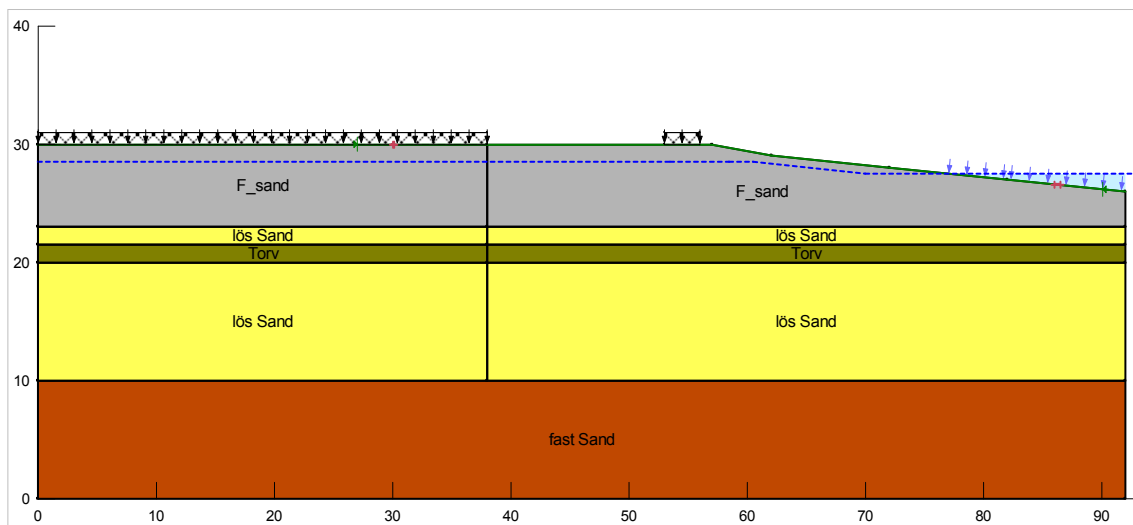


Figur 10. Fas med applikation av trafiklast (trafik på 15 kPa eller byggtrafik 25 på kPa)

6.2 Modell i Slope/W

Två sektioner (Sektion B och E) har analyserats i Slope/W för att kontrollera Plaxis stabilitetsresultat.

Samma geometri, jordlagerföljd och jordparametrar (se Tabell 2 och Tabell 3), vattennivå (se Tabell 4 och Tabell 5) och laster på markytan har använts som i Plaxis. Pållasterna har inte beaktats, därför att de inte påverkar stabiliteten i Slope/W.
(Se också Bilaga 2: Massundanträngning- och stabilitetsberäkningar)



Figur 11. Geometri och laster i Slope/W modell

7 Resultat

7.1 Rörelser i marken

7.1.1 Horisontella rörelser

Resultaten vid beräkning av massrörelser visar att området som är påverkat av påslagning, dvs. influensradien är på ett avstånd motsvarande en pållängd från det aktuella påslagningsområdet. Maxvärde av horisontella förskjutningar finns i nedanstående tabell (Tabell 8), Sektion A–G redovisas i Figur 12.

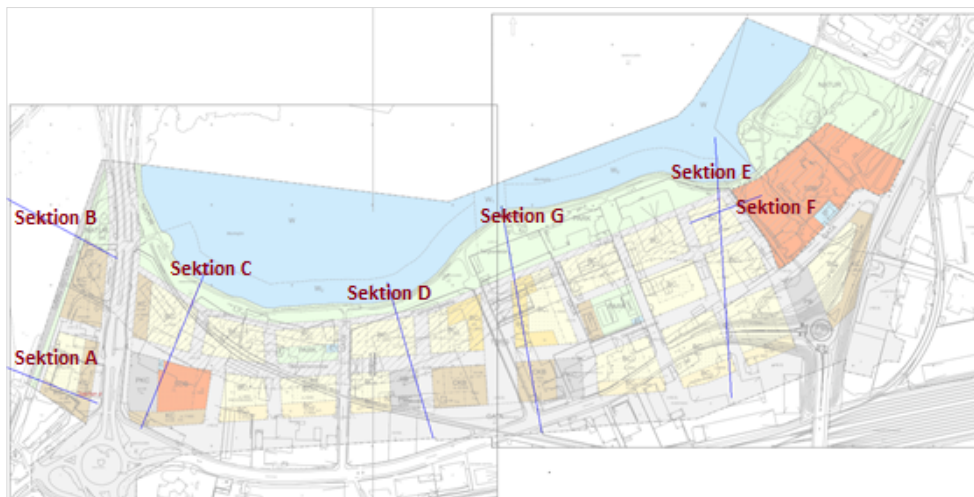
Tabell 8. Horisontella förskjutningar på markytan

Sektion	Max. horisontell förskjutning [mm]		Strandkantens förskjutning [mm]	
	Version 1	Version 2	Version 1	Version 2
A	80	105	27	38
B	77	67	35	20
C	103	81	64	35
D	87	84	33	44
E	120*	162	57*	137
F		149		102
G	220**	225**	4**	6**

ANM:

* Sektion F har analyserats bara med Version 2:s jordparametrar, så resultat från Sektion E har använts för Version 1;

** Sektion G har analyserats med olika jordparametrar men samma jordmodell i både Version 1 och Version 2.



Figur 12. Sektionernas läge i plan

Resultaten redovisas på färgkartor

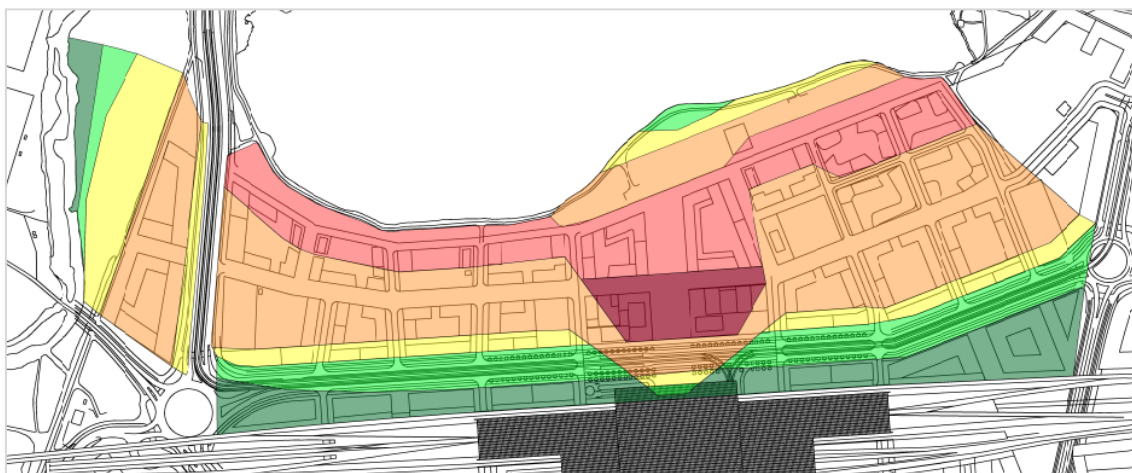
- Färgkarta A: där hänsyn har tagits bara till områdena inom planområdesgräns av nuvarande planförslag (Figur 14). (Se Ritningar G-10-1-31 – G-10-1-033)
- Färgkarta B: där hänsyn har tagits även till områdena utanför planområdesgräns södra sida av nuvarande planförslag, dvs. områdena mellan Skeppsbron och den framtida höghastighetsjärnvägen (Figur 15). (Se Ritningar G-10-1-034 – G-10-1-036)

FÖRKLARINGAR

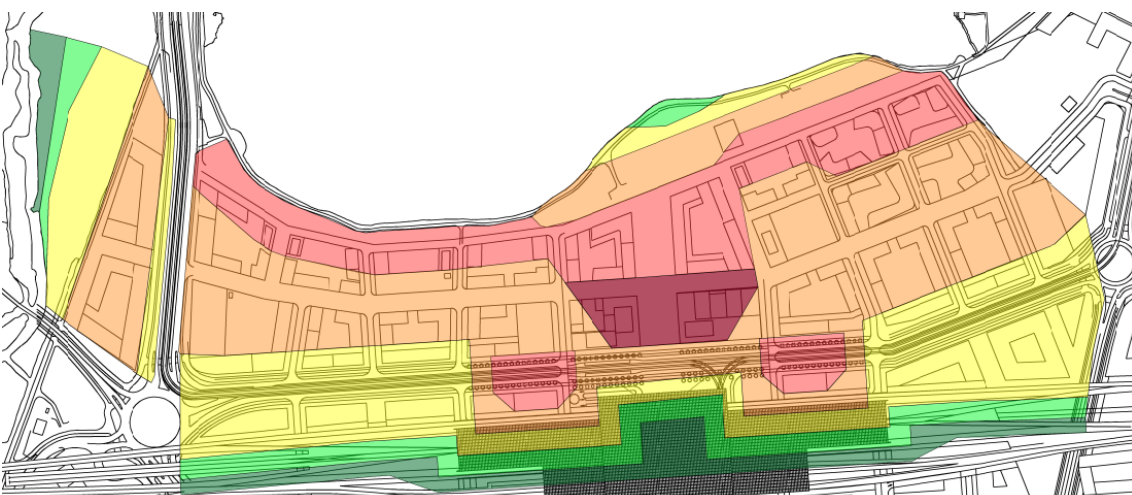
MAXIMAL RÖRELSE I HORISONTELL RIKTNING

	0-10 mm
	10-15 mm
	15-40 mm
	40-70 mm
	70-150 mm
	150-210 mm

Figur 13. Förklaringar till färgkartorna



Figur 14. Redovisning av maximal rörelse (Färgkarta A – resultat med hänsyn bara till områden inom nuvarande planområdesgräns)



Figur 15. Redovisning av maximal rörelse (Färgkarta B – resultat med hänsyn även till områden utanför nuvarande planområdesgräns)

Analyserna påvisar att massundanträngning sker primärt i sanden. Torven förutsätts oförändrat då massrörelserna förväntas absorberas delvis pga. det höga vatteninnehållet.

7.1.2 Vertikala rörelser

Maxvärde av vertikala förskjutningar finns i nedanstående tabell (Tabell 9), Sektion A–G redovisas ovan i Figur 12.

Tabell 9. Vertikala förskjutningar på markytan

Sektion	Max. vertikal förskjutning [mm]	
	Version 1	Version 2
A	91	95
B	77	79
C	89	88
D	87	90
E	139*	140
F		154
G	330**	317**

ANM:

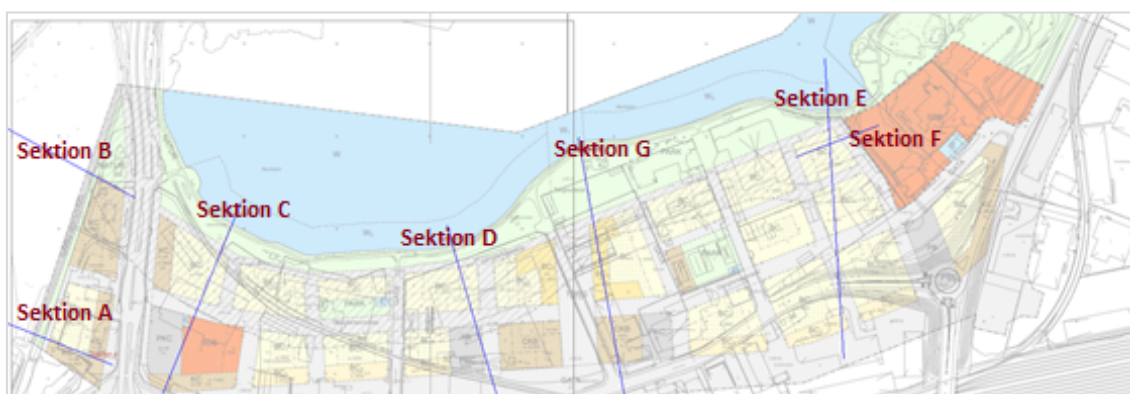
* Sektion F har analyserats bara med Version 2:s jordparametrar, så resultat från Sektion E har använts för Version 1;

** Sektion G har analyserats med olika jordparametrar men samma jordmodell i både Version 1 och Version 2.

7.2 Stabilitet

Resultaten från stabilitetsberäkningarna är tillräcklig goda för att erhålla tillfredsställande stabilitet för den framtida gång- och cykelbanan.

Analyserna med trafiklaster (både trafik och byggtrafik) visar att resultaten inte alltid uppfyller säkerhetskraven för det västra området. Detta inkluderar området Prästkärret (Delområde 1), Munksjöns västra strand (Delområde 2), samt den östra sidan av Skeppsbroområdet (Delområde 4). Inom dessa områden har torv påträffats i större mäktigheter. Delområde 3 har uppvisat fullgod stabilitet för dessa laster (för delområdena se Figur 3 i paragraf 5.1).



Figur 16. Sektionernas läge i plan

Tabell 10. Resultat från Plaxis stabilitetsberäkningar (Sektion A, C, D, F)

Säkerhetsfaktor i Plaxis						
Sektion	Befintlig (GC-väg – 5 kPa)		Trafik (15 kPa)		Byggtrafik (25 kPa)	
	Version 1	Version 2	Version 1	Version 2	Version 1	Version 2
A	1,6	2,05	1,2**	-	1,2**	-
C	2,3*	1,77*	1,8	1,56*	0,9	1,48*
D	2,24	1,6	1,87	1,6	1,76*	1,6
F	-	1,65*	-	1,0*	-	0,92*

ANM:

Stabilitetskrav: $F_{EN}=1,0$

* Ej relevant (lokal erosion i överbyggnad)

** farligaste glidyta på andra sidan av Tabergsån

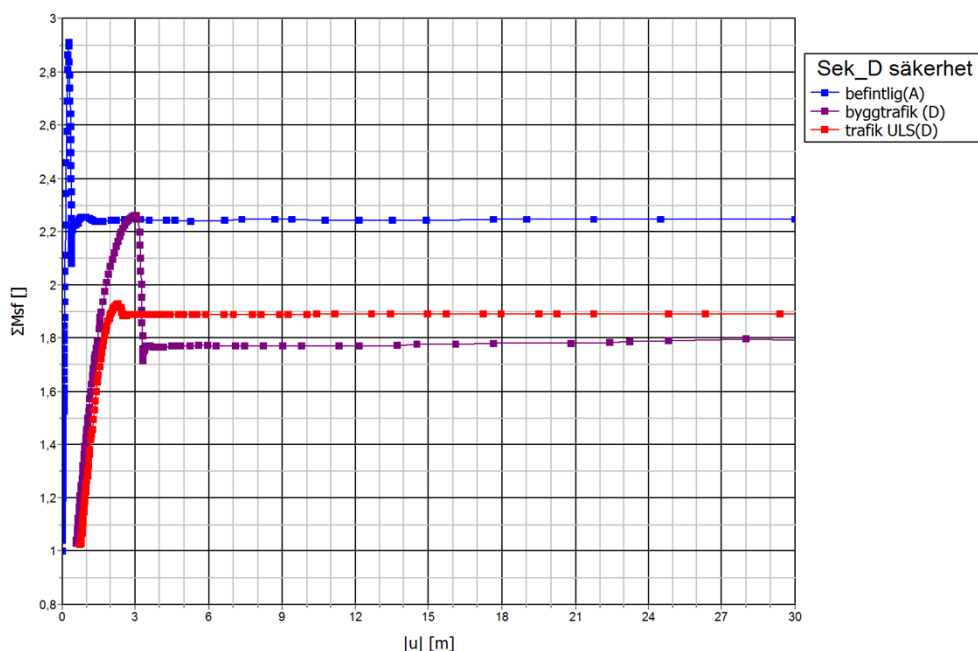
Tabell 11. Resultat från Plaxis och Slope/W stabilitetsberäkningar (Sektion B, E)

Säkerhetsfaktor i Plaxis och Slope/W												
Sektion	Befintlig (GC-väg – 5 kPa)				Trafik (15 kPa)				Byggtrafik (25 kPa)			
	Version 1		Version 2		Version 1		Version 2		Version 1		Version 2	
	Plaxis	Slope	Plaxis	Slope	Plaxis	Slope	Plaxis	Slope	Plaxis	Slope	Plaxis	Slope
B	1,04	1,04	3,0	1,6	0,9	0,9	2,4*	1,31	0,8	0,8	1,28*	1,14
E	3,6	1,9	1,8	1,5	1,8	1,89	1,15*	1,27	1,8	1,75	1,07*	1,1

ANM:

Stabilitetskrav: $F_{EN}=1,0$

* Ej relevant (lokal erosion i överbyggnad)



Figur 17. Exempel på säkerhetskurva (Sektion D)

ANM: ΣM_{sf} visar säkerheten (säkerhet = ΣM_{sf} -värde, där det blir konstant i funktion av förskjutningen)

Det rekommenderas att ytterligare stabilitetsanalyser utförs vid detaljprojektering. Stabilitetsberäkningar föreslås utföras med Slope/W eller likvärdigt stabilitetsprogram.

Detaljer av resultaten för varje Sektion finns i Bilaga 2: Massundanträngning- och stabilitetsberäkningar.