
PM GEOTEKNIK

BESTÄLLARE: STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT

00500OPM01
Fördjupad stabilitetsutredning Vargön

UPPDRAGSNUMMER SWECO: 12708217

UPPDRAGSNUMMER SGI: 20016

DIARIENUMMER SGI: 4.2.12-1902-0901



DATUM: 2020-10-09

SWECO CIVIL AB
GÖTEBORG GEOTEKNIK

UPPDRAGSLEDARE: MAGNUS AF PETERSENS
HANDLÄGGARE: HENRIK FALCH/ANNLOUISE ELLIOT

Sweco
Skänegatan 3
411 40 Göteborg

Telefon 031-627500
www.sweco.se

Sweco Civil AB
Org.nr 556507-0868
Styrelsens säte: Stockholm

En del av Sweco-koncernen

Magnus af Petersens

Mobil +46 (0)70 331 76 59
Magnus.afpetersens@sweco.se

Ändringsförteckning

VER.	DATUM	ÄNDRINGEN AVSER	GRANSKAD	GODKÄND

PM GEOTEKNIK
DATUM: 2020-10-09
UPPDRAGSLEDARE: MAGNUS AF PETERSENS
FÖRDJUPAD STABILITETSUTREDNING VARGÖN

Innehållsförteckning

FÖRORD FRÅN SGI	1
SAMMANFATTNING	2
1 BAKGRUND	3
1.1 UPPDRAG	3
1.2 SYFTE	3
1.3 ORIENTERING	4
2 PROJEKTERINGSFÖRUTSÄTTNINGAR	4
3 STYRANDE DOKUMENT	6
4 UNDERLAG	6
4.1 MÄTUNDERLAG	6
4.2 TIDIGARE UTFÖRDA GEOTEKNISKA UTREDNINGAR	7
4.3 TIDIGARE UTFÖRDA MILJÖTEKNISKA UNDERSÖKNINGAR	7
4.4 UNDERLAG HAMNVERKSAMHET	7
4.5 ÖVRIGT UNDERLAG	7
5 HISTORIK	8
6 UTFÖRDA UNDERSÖKNINGAR	9
6.1 NU UTFÖRDA UNDERSÖKNINGAR	9
7 OMRÅDESBESKRIVNING	9
7.1 TOPOGRAFI OCH YTBEKÄFFENHET	9
7.2 BEFINTLIGA KONSTRUKTIONER	10
7.3 EROSION	11
8 GEOTEKNISKA FÖRHÅLLANDEN	13
8.1 JORDLAGER	13
8.1.1 Norra delområdet	13
8.1.2 Södra delområdet	13
8.2 KVICKLERA	14
8.3 HYDROGEOLOGISKA FÖRHÅLLANDEN	14
9 STABILITETSANALYS	15
9.1 ALLMÄNT	15
9.2 BERÄKNINGSFÖRUTSÄTTNINGAR	15
9.2.1 Val av geoteknisk kategori	15
9.2.2 Val av säkerhetsklass	15
9.2.3 Dimensionerande laster	15
9.2.4 Dimensionerande vattennivåer	16
9.2.5 Erforderlig säkerhetsfaktor	16

9.2.6	Valda värden	16
9.2.6.1	Odränerad skjuvhållfasthet.....	16
9.2.6.2	Anisotropi	17
9.2.6.3	Dränerad skjuvhållfasthet.....	18
9.2.6.4	Friktionsmaterial.....	18
9.2.7	Dimensionerande värden	18
9.2.8	Portrycksmodell.....	22
9.2.8.1	Vald portrycksmodell norra delområdet.....	22
9.2.8.2	Vald portrycksmodell södra delområdet	23
9.2.9	Känslighetsanalys	25
9.3	STABILITETSFÖRHÅLLANDEN	25
9.3.1	Beräkningssektion km 0/4500 (sektion A) – i norra delområdet	27
9.3.1.1	Befintliga förhållanden.....	27
9.3.1.2	Beräkningsresultat befintliga förhållanden.....	28
9.3.1.3	Beräkningsresultat känslighetsanalys	29
9.3.1.4	Beräkningsresultat åtgärdsförslag	30
9.3.2	Beräkningssektion km 0/4900 (sektion B) – i norra delområdet	32
9.3.2.1	Befintliga förhållanden.....	32
9.3.2.2	Beräkningsresultat befintliga förhållanden.....	33
9.3.2.3	Beräkningsresultat känslighetsanalys	34
9.3.2.4	Beräkningsresultat åtgärdsförslag	35
9.3.3	Beräkningssektion km 0/5300 (sektion C) – i norra delområdet.....	36
9.3.3.1	Befintliga förhållanden.....	36
9.3.3.2	Beräkningsresultat befintliga förhållanden.....	37
9.3.3.3	Beräkningsresultat känslighetsanalys	38
9.3.3.4	Beräkningsresultat åtgärdsförslag	39
9.3.4	Beräkningssektion km 0/5900 (sektion D) – i södra delområdet	41
9.3.4.1	Befintliga förhållanden.....	41
9.3.4.2	Beräkningsresultat befintliga förhållanden.....	42
9.3.4.3	Beräkningsresultat känslighetsanalys	43
9.3.4.4	Beräkningsresultat åtgärdsförslag	43
9.3.5	Beräkningssektion km 0/6500 (sektion E) – i södra delområdet	45
9.3.5.1	Befintliga förhållanden.....	45
9.3.5.2	Beräkningsresultat befintliga förhållanden.....	46
9.3.5.3	Beräkningsresultat känslighetsanalys	47
9.3.6	Beräkningssektion km 0/7400 (sektion F) – i södra delområdet.....	49
9.3.6.1	Befintliga förhållanden.....	49
9.3.6.2	Beräkningsresultat befintliga förhållanden.....	50
9.3.6.3	Beräkningsresultat känslighetsanalys	50
9.3.7	Beräkningssektion km 0/8500 (sektion G) – i södra delområdet	52
9.3.7.1	Befintliga förhållanden.....	52
9.3.7.2	Beräkningsresultat befintliga förhållanden.....	53
9.3.7.3	Beräkningsresultat känslighetsanalys	53
10	ÅTGÄRDSFÖRSLAG	55
10.1	KALK- CEMENTPELARE (KC-PELARE).....	55
10.2	SPONT.....	55
10.3	AVSCHAKTNING OCH EROSIONSSKYDD	55
10.3.1	Klimatkalkyl för avschaktning och erosionsskydd	56
11	SLUTSATS.....	56

BILAGOR

- Bilaga 1 Sammanställning jordparametrar**
- Bilaga 2 Vald skjuvhållfasthet**
- Bilaga 3 Vald portrycksprofil**
- Bilaga 4 Utvärdering av indikationer på kvicklera**
- Bilaga 5 Förutsättningar för partialkoefficientmetoden och val av partialkoefficienter**
- Bilaga 6 Stabilitetsberäkningar – norra delområdet**
- Bilaga 7 Stabilitetsberäkningar – södra delområdet**
- Bilaga 8 Stabilitetsberäkningar enligt IEG 4:2010, vald skjuvhållfasthet**
- Bilaga 9 Klimatkalkyl för avschaktning och erosionsskydd**

RITNINGAR

- G-10-1-002 Plan, Utbredning kvicklera, skala 1:1000**
- G-10-1-003 Plan, Skredutbredning och omfattning avschaktning, skala 1:1000**

Förord från SGI

Regeringen har gett Statens geotekniska institut (SGI) i uppdrag att minska risken för skred i Göta älvdalen. För att effektivisera det arbetet inrättades Delegationen för Göta älv år 2018. Delegationens arbete leds och samordnas av SGI och består av representanter från Vänersborgs, Trollhättans, Lilla Edets, Ales, Kungälv och Göteborgs kommuner, Länsstyrelsen Västra Götaland, Länsstyrelsen Värmland, Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB), Sjöfartsverket, Trafikverket, Vattenfall Vattenkraft AB och SGI.

Inom ramen för Delegationens arbete genomförs detaljerade och fördjupade stabilitetsutredningar för områden som utpekats med hög- eller medelhög skredrisk i Göta älvtutredningen år 2009–2011. Stabilitetsutredningarna utförs av geotekniska konsulter vars uppdrag upphandlas och leds av SGI som är delaktiga i arbetet. I konsulternas uppdrag ingår bland annat att presentera en trolig skjuvhållfasthet samt förslag på genomförbara stabilitetshöjande åtgärder.

Utredningsresultaten ligger till grund för SGI:s fortsatta analysarbete, beräkning av sannolikheten för skred samt planering av eventuella stabilitetshöjande åtgärder.

Sekretariatet till Delegation för Göta älv

Sammanfattning

Sweco har på uppdrag av Statens geotekniska institut, SGI, utfört en fördjupad stabilitetsutredning för ett område i anslutning till hamnen i Vargön. Området är beläget på Göta älvs östra strand, strax söder om Vargöns Kraftverk.

Uppdraget syftar till att klargöra stabilitetsförhållandena i området och där säkerhetskraven inte uppnås för befintliga förhållanden ska den mest kostnadseffektiva stabilitetsförbättrande åtgärden tas fram.

I utredningen har alla stabilitetsberäkningar utförts med partialkoefficientmetoden i totalt 7 sektioner. Beräkningar har även utförts med totalsäkerhetsmetoden för SGI:s fortsatta arbete. De resultaten beskrivs inte i denna handling utan finns enbart redovisade i Bilaga 8.

Utförda stabilitetsberäkningar visar att stabilitetsförbättrande åtgärder erfordras i den norra delen av utredningsområdet för att säkerhetskraven där ska uppnås. Den tekniskt och ekonomiskt bästa åtgärden bedöms vara avschaktning av släntröner i kombination med erosionsskydd. I den södra delen av utredningsområdet, där ett erosionsskydd finns sedan tidigare, bedöms stabilitetsförhållandena vara tillfredställande.

Åtgärder av hamnområdet behöver prioriteras med hänsyn till de låga säkerheterna, och tills att området har åtgärdats behöver området vara avspärrat. Det finns en gällande detaljplan för utredningsområdet som visar hamn och industriverksamhet. Innan arbeten för att åtgärda stabiliteten påbörjas är det därför viktigt att fastställa hur området i framtiden ska nyttjas. Om norra området i framtiden ska nyttjas för hamnverksamhet i enlighet med detaljplanen behöver andra förstärkningsåtgärder än de nu framtagna utföras.

Utredningsområdet är plant kring nivå +41, från strandlinjen till Mälderistvägen i utredningsområdets östra del. I den norra delen ansluter området till ett höjdparti med berg i dagen.

Inom den norra delen av området, som tidigare har varit ett hamnområde, finns hårdgjorda ytor alternativt bottenplattor i läget för tidigare byggnader. Längs hela strandlinjen finns äldre kajkonstruktioner, vilkas tekniska livslängd bedöms vara passerad. Inom den södra delen av området har marken tidigare till stor del nyttjats som upplagsytor och marken är uppfylld till en jämn nivå som delvis även är gräsbevuxen.

Verksamheten i området avvecklades år 2008 och i samband med det utfördes miljötekniska undersökningar samt sanering i delar av området. I samband med dessa arbeten anlades erosionsskyddet i den södra delen, år 2010.

I norra delen av utredningsområdet finns berg i dagen, djupet till fast botten ökar sedan mot söder och uppgår till 54 meter längst i söder. Inom utredningsområdet har två sammanhängande områden med kvicklera identifierats.

Erosion har enligt utförda känslighetsanalyser stor påverkan på säkerheten i den norra delen. I dagsläget bedöms dock erosionen vara ringa eller obefintlig. Vid tidigare hamnverksamhet har fartygstrafik orsakat betydande propellererosion i älven. I det södra delområdet har erosion i älvleran inte så stor påverkan enligt känslighetsanalyserna.

I hela utredningsområdet visar känslighetsanalyserna att ett höjt porttryck i leran har en begränsad påverkan som är i storleksordningen av vad som kan förväntas (minskning av säkerheten med cirka 10%).

1 Bakgrund

1.1 Uppdrag

Sweco har på uppdrag av Statens geotekniska institut, SGI, utfört en fördjupad stabilitetsutredning för hamnområdet i Vargön, se Figur 1. Uppdraget omfattar att klargöra de geotekniska förutsättningarna i området enligt fördjupad utredningsnivå och att utföra stabilitetsberäkningar.



Figur 1 Översikt i plan. Avgränsning av utredningsområdet (röd linje), stålspont (lila linje), befintlig betongkaj från början av 1980-talet (blå linje), befintligt erosionsskydd utlagt år 2010 (orangea linjer), stålspont (grön linje). Delområdesgräns mellan det norra och södra utredningsområdet (gul streckad linje). (Flygfoto: Lantmäteriet).

1.2 Syfte

Syftet med denna utredning är att klargöra stabilitetsförhållandena inom det aktuella utredningsområdet. Stabilitetsberäkningar ska utföras för befintliga förhållanden. För de områden där säkerhetskravet inte uppfylls ska de mest kostnadseffektiva åtgärdsförslagen översiktligt tas fram för angivna laster.

1.3 Orientering

Vargöns hamnområde är beläget i Vänersborgs kommun utefter Göta älvs östra strand, strax söder om Vargöns kraftverk. Utredningsområdet är cirka 650 meter långt längs med älven (km 0/250 till km 0/900 enligt längdmätning upprättad i Göta älvutredningen) samt cirka 200 meter brett. Det sträcker sig till strax öster om Mälderistvägen, som går genom utredningsområdet, se Figur 1.

Det aktuella området är 13 hektar och består i den norra delen av ett före detta hamnområde med hårdgjorda ytor samt betong- och träkajer utmed Göta älv. I den södra delen av utredningsområdet finns plana upplagsytor och i slänten mot älven finns i denna del ett erosionskydd (från cirka km 0/550) utmed med Göta Älv. Markytan är hårdgjord fram till cirka km 0/700 och söder där om är den gräsbevuxen. Området har tidigare varit bebyggt, men samtliga byggnader är nu rivna.

2 Projekteringsförutsättningar

Projekteringsförutsättningar för utredningen anges i styrdokument med tillhörande bilagor, framtagna av SGI för stabilitetsutredningar längs Göta älv. Nedan redovisas för uppdraget väsentliga projekteringsförutsättningar:

- Riktlinjer för tekniskt arbete, DGA00XST01 (avser stabilitetsutredningar längs Göta älv), Version 3.0 daterad 2020-03-25
- Riktlinjer för dokumenthantering DGA00XST02, Version 2.2, daterad 2020-03-25
- Excelmallar erhållna av SGI för sammanställning av lab. – och fältdata, val av skjuvhållfasthetsfördelning, grundparametrar och utvärdering kvicklera från CPTu och Tr
- Koordinatsystem SWEREF 99 TM
- Höjdsystem RH 2000
- Beräkningar i utredningen ska utföras med partialkoefficientmetoden (enligt IEG Rapport 6:2008, rev 1 "Tillämpningsdokument EN 1997-1 Kapitel 11 och 12, Slänter och bankar")

Vid förekomst av kvicklera ska beräkningarna utföras i säkerhetsklass 3 (SK3) enligt IEG Rapport 6:2008, vilket innebär att säkerhetsfaktorn för både odränerad och kombinerad analys lägst ska uppnå $F_{EN} \geq 1,1$.

Skredutbredningen ska tas fram utifrån den djupaste glidyten för $F_{EN}=1,0$ och med belastning på marken för befintliga förhållanden.

Om slänterna klassificeras till Geoteknisk kategori 3 (GK3) ska de geotekniska förutsättningarna och grundvattenförhållandena utredas till en nivå som lägst motsvarar rekommendationerna för "fördjupad utredning" enligt Rapport 4:2010. Oberoende GK3-granskning erfordras ej då ingen dimensionering av geokonstruktioner utförs i detta skede.

Inom hamnområdets norra del ska stabilitetsberäkningar för befintliga förhållanden utföras både för helt obelastad mark och med 10 kPa utbredd markbelastning. Efter stabilitetsförbättrande åtgärder ska beräkningar visa att stabilitetskraven är uppfyllda för belastning med 10 kPa på markytan. I den södra delen ska marken, vid

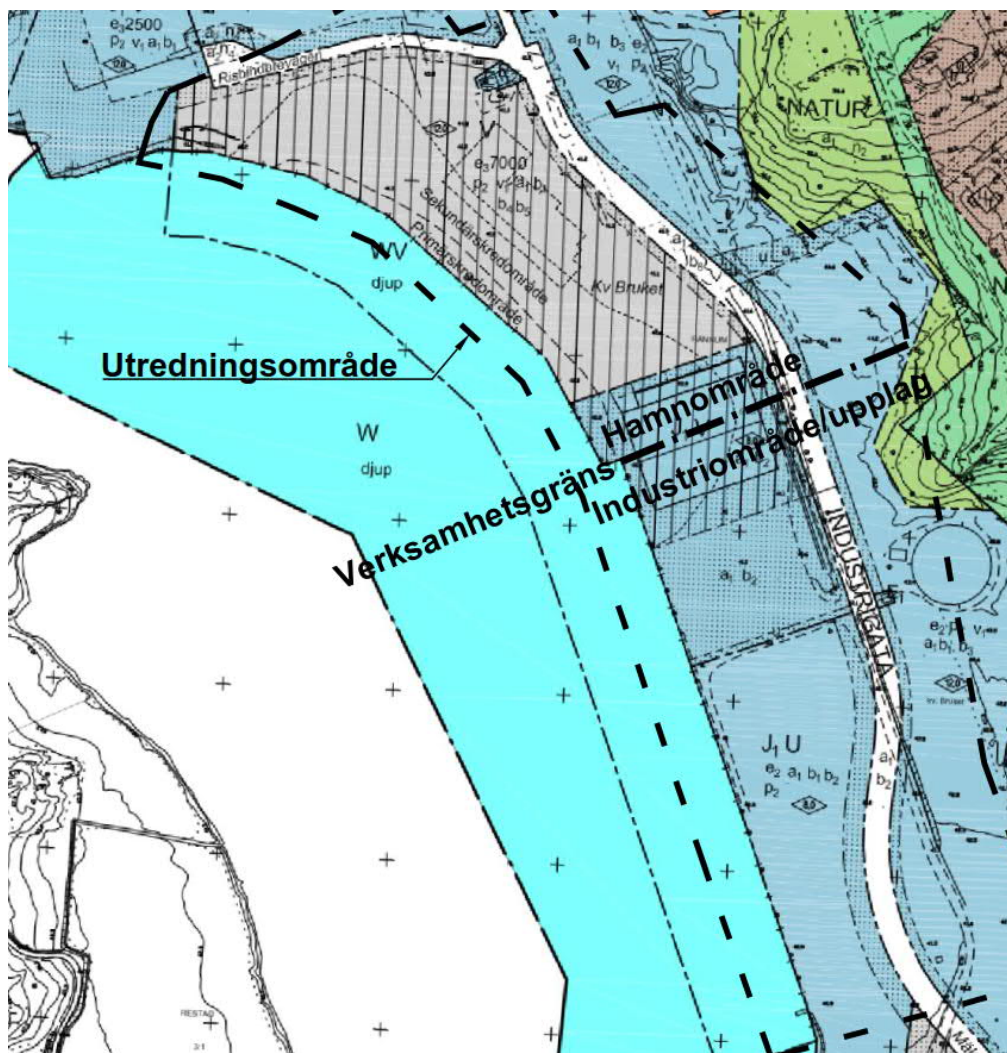
stabilitetsberäkningar för befintliga förhållanden, belastas med laster enligt gällande detaljplan, se avsnitt 9.2.3.

Vid stabilitetsberäkningar ska befintliga vattendjup utifrån batymetrisk sjömätning användas.

Val av stabilitetsåtgärd och dess lämplighet styrs av den tekniska lösningens totalkostnad.

Stabilitetsberäkningar för befintliga förhållanden och eventuella åtgärder ska även utföras med totalsäkerhetsmetoden enligt Rapport 4:2010. Resultat och underlag för dessa beräkningar redovisas enbart i Bilaga 8 utan beskrivande text.

Som förutsättning för denna utredning är gränsen för hamnområdet satt till norra delen av erosionsskyddet, vilket dock är ett fränsteg från verksamheten enligt gällande detaljplan. Industriområde/upplagsyta sträcker sig alltså i utredningen något längre norr ut än vad som visas i detaljplanen. Se Figur 2 för den verksamhetsgräns som gäller vid beräkningarna i utredningen.



Figur 2 Utsnitt från gällande detaljplanekarta. Utredningsområdet och den från detaljplanen avvikande verksamhetsgränsen (Hamnområde i norr och Industriområde/upplag i söder).

Observera att nu utförda stabilitetsberäkningar och sektioner vid Vargön på Göta älvs östra sida redovisas från söder mot norr, för att underlätta jämförelsen med ett stort antal stabilitetsberäkningar som tidigare redovisat på detta sätt. Detta är ett frånsteg från vedertaget förfarande att redovisa sektioner i älvens strömningsriktning (och dess längdmätning), från norr mot söder. Det innebär att sektionerna visas "från höger till vänster", hamn- och industriområdet till höger och Göta älv till vänster. Beräkningssektionerna kompletteras även med tidigare sektionsbeteckningar inom parentes (Sektion A, B osv) för att underlätta spårbarheten.

3 Styrande dokument

Följande styrande dokument har legat till grund för detta uppdrag:

- Metodik för kartläggning av kvicklera (SGI 2018) samt GÄU Delrapport 29 (SGI 2012)
- Hantering av kvicklereförekomst vid stabilitetsbedömning för Göta älv – riktlinjer, GÄU Delrapport 32 (SGI 2011)
- Information 3, Skjuvhållfasthet – utvärdering i kohesionsjord, (SGI 2007)
- SS-EN 1997-1 med tillhörande nationell bilaga, "Dimensionering av geokonstruktioner", samt tillämpningsdokument:
 - Rapport 2:2008, Rev 2 "Grunder"
 - Rapport 6:2008, Rev 1 "Slänter och bankar"
 - Rapport 4:2010 "Tillståndsbedömning/klassificering av naturliga slänter och slänter med befintlig bebyggelse och anläggningar"
- TK Geo 13 TDOK 2013:0667 Version 2, Trafikverkets tekniska krav för geokonstruktioner
- TR Geo 13 TDOK 2013:0668 Version 2, Trafikverkets tekniska råd för geokonstruktioner

4 Underlag

Följande underlag har legat till grund för utredningen:

4.1 Mätunderlag

I handlingen har följande mätunderlag inarbetats:

- Höjddata från Lantmäteriets WCS-tjänst, 2020-01-22.
- Älvens bottenpografi, batymetrisk sjömätning i Göta älv (SGI 2018).
- Grundkarta från Vänersborgs kommun, utdrag 2020-01-22.

4.2 Tidigare utförda geotekniska utredningar

Tidigare utförda geotekniska undersökningar se tillhörande MUR, 00500ORA01 inom och i anslutning till det aktuella utredningsområdet. Tidigare utförda geotekniska utredningar i området:

- Projekterings PM Geoteknik Detaljplan för hamnen och Ronnums herrgård i Vargön. Utförd av Structor daterad 2012-12-07, Kompletterande utredning av risken för bakåtgripande skred, daterad 2013-03-22.
- *Förstärkning av hamnen i Vargön i Vänersborgs kommun.* Utförd av Ramböll daterad 2015-05-20, PM nummer 2, daterad 2015-08-28.
- Projekterings-PM Geoteknik (PM/Geo) Vargöns hamn Förstärkning av kaj. Utförd av Ramböll daterad 2016-03-21, rev 2016-06-08.
- Teknisk PM, geoteknik. *Delområde 6 (Intagan -Vargön)* SGI, Göta älvutredningen, GÄU. Daterad 2011-04-21. Diarienummer: 6-1001-0028.

4.3 Tidigare utförda miljötekniska undersökningar

Miljötekniska utredningar som utfördes i samband med avveckling av verksamheten i området:

- Marksaneringsrapport Sanering Wargöns bruk. Utförd av Golder Associates daterad 2012-03-29.
- Riskvärdering Wargöns bruk, slutgiltig. Utförd av Golder Associates daterad 2010-06-14.
- Miljöteknisk Undersökning Wargöns bruk. Utförd av Golder Associates daterad 2010-02-01.

4.4 Underlag hamnverksamhet

Underlag som erhållits av Vänersborgs kommun:

- Kompletterande förstudie för Vänerhamn. Utförd av Ramböll daterad 2011-04-28.
- Nytt hamnläge i Vargön, slutrapport för Vänerhamn. Utförd av Ramböll daterad 2008-12-03.
- Dykinspektion av Holmenkajen i Vargön. Utförd av FROG daterad 2009-03-02.
- Separata ritningar över Holmenkajen.

4.5 Övrigt underlag

Andra underlag som har gett förutsättningar för stabilitetsberäkningarna:

- Detaljplan för Hamnen och Ronnums herrgård i Vargön, Vänersborgs kommun, antagen av KF 2013-06-12 § 80 laga kraft 2013-07-08.
- Utdrag från pågående tolkningar av ytgeologi i Göta älv, utförs av SGI.

5 Historik

Från 1900-talets början fram till år 2008 har Wargöns bruk varit etablerat i området. I den norra delen av utredningsområdet var industrifastigheter placerade och i söder nyttjades marken som timmerupplag. Idag är alla byggnader rivna, men det finns kvarvarande betongplattor och grundkonstruktioner. Längs älven finns idag kvar äldre träkajer samt en cirka 125 meter lång betongkaj (pålad), uppförd i början av 1980-talet.

Göta älv har ursprungligen haft en älvfåra även öster om Vargöns bruk, se Figur 3. Kring år 1900 fylldes den östra fåran delvis igen vid öns södra del, så att en smalare älvfåra skapades. Denna del av älven fortsatte senare att fyllas igen och någon gång mellan år 1933 och år 1943 var den helt igenfylld.



Figur 3 Flygfoto över pappersbruket, vy från sydost mot nord väst. Sannolikt år 1918 och fotot är taget av Linde Barrlind.

Efter avvecklingen av verksamheten utfördes år 2010 ett antal miljötekniska utredningar och vissa delar av området sanerades, se kapitel 4.3. Vid dessa arbeten anlades även det nya erosionskyddet i söder.

6 Utförda undersökningar

Ett stort antal geotekniska fält- och laboratorieundersökningar finns utförda inom och i anslutning till utredningsområdet, i huvudsak på land men även ett fåtal i älven, se avsnitt 4.2.

6.1 Nu utförda undersökningar

Geotekniska fält- och laboratorieundersökningar har nu enbart utförts på land, under perioden maj till juni år 2020. Undersökningar har utförts i syfte att erhålla underlag för fördjupad utredningsnivå enligt IEG 4:2010. Undersökningsresultat redovisas i Markteknisk undersökningsrapport/Geoteknik, 00500ORA01, Fördjupad stabilitetsutredning Vargön, daterad 2020-10-09 (MUR).

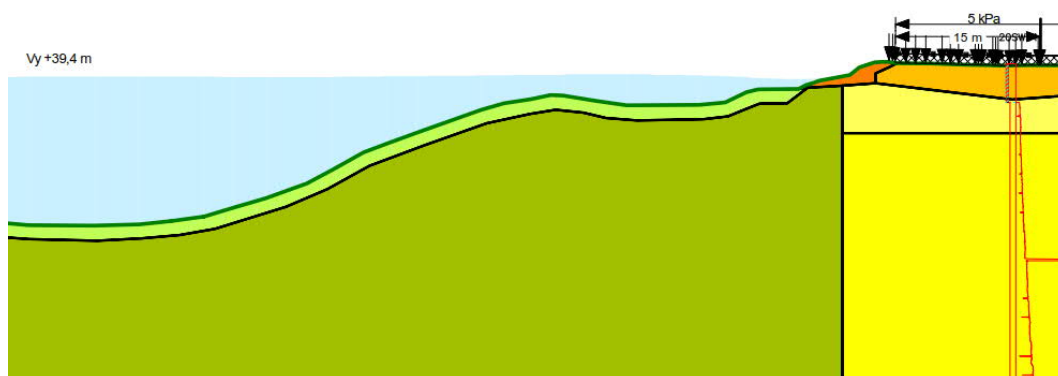
7 Områdesbeskrivning

7.1 Topografi och ytbeskaffenhet

Utredningsområdet är relativt plant med nivåer kring +41 från strandlinjen fram till Mälderistvägen i öster. Från vägen stiger markytan till en nivå på cirka +43 vid områdets östra gräns. Längre öster ut, strax utanför utredningsområdet, finns ett höjdparti med nivåer på upp till cirka +60.

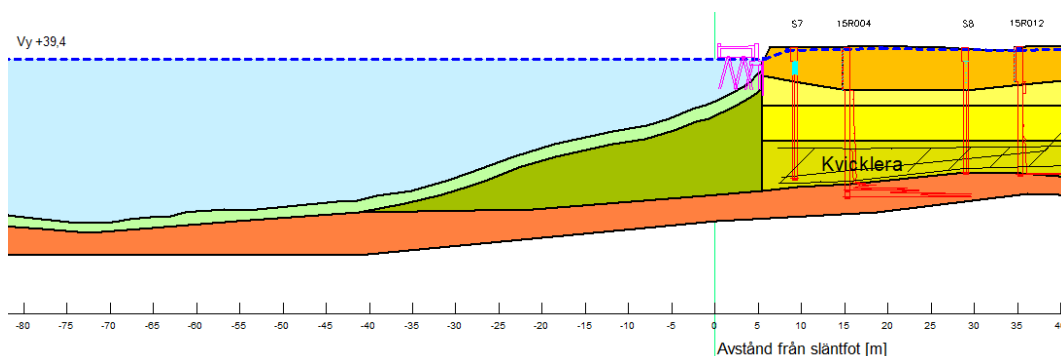
I norra delen av området finns hårdgjorda ytor bestående av asfalt och i läget för de tidigare byggnaderna finns kvarvarande bottenplattor. I den södra delen av området är delar av marken gräsbevuxen och andra delar utgörs av uppgrusade områden där det tidigare har funnits stora upplag av framförallt trä.

Bottentopografin i älven varierar utmed området. I den södra delen finns en undervattenshylla på 2-5 meters djup, som sträcker sig cirka 50 meter ut från strandkanten, se Figur 4. Norröver minskar undervattenshyllans bredd successivt. Ungefär 200 meter söder om den befintliga betongkajen och norrut finns ingen undervattenshylla.



Figur 4 Typsektion i söder för slänt mot Göta älv med undervattenshylla.

Vid kajerna i den norra delen sluttar älvbotten mycket brant ner till ungefär 5-6 meters djup, varefter lutningen flackas ut något, se Figur 5.



Figur 5 Typsektion för hamnområdet vid Göta älv i läget för betongkajen som markerats i lila. Strandlinjen avser ytterkant betongkaj, grön markering.

7.2 Befintliga konstruktioner

I hela den norra delen av hamnområdet finns äldre kajkonstruktioner längs Göta älv. Längst i norr är det en cirka 145 meter lång träkaj som mot söder ansluter till en cirka 125 meter lång betongkaj. På en sträcka om cirka 70 meter från betongkajen och söderöver finns det inga uppgifter om vilken konstruktion som finns där. Söder om denna del tar ett nyligen anlagt erosionsskydd vid. Det finns invid strandlinjen längs hela den södra delen av utredningsområdet, undantaget en kort sträcka på knappt 20 meter, där det finns en stålspont, se Figur 1. Sponten bedöms okulärt vara i gott skick, men inga uppgifter finns om den.

I den norra delen finns en stålspont innanför träkajen. Det finns inga handlingar på hur stålsponten är konstruerad och dess skick är oklart. Träkajen har omfattande synliga skador och den bör inte beträdas.

Betongkajen som följer mot söder, byggdes i början av 1980-talet och det finns konstruktionsritningar att tillgå för kajen. Den är 4,3 meter bred och ansluter till ett äldre, bakomliggande, betongfundament för ett upphöjt kranspår. Betongkajen och fundamentet är pålade. På landsidan, strax bakom betongkajen respektive under den, visar ritningar att det även sitter en träspont med liten dimension som fanns innan betongkajen byggdes. Se foton på kajen i Figur 6. Betongkajen förefaller okulärt vara i gott skick men utförd dykinspektion år 2009 visade på omfattande skador på pålar, infästning och pålskarvar. Bedömningen är att betongkajen inte kan nyttjas för hamnverksamhet på grund av dessa skador. Dessutom är betongkajen enligt erhållna handlingar ursprungligen dimensionerad för en betydligt lägre last än de laster som skulle vara aktuella för en hamnverksamhet idag.



Figur 6 Betongkajen från 1980-talet. Till vänster vy mot söder och till höger vy mot norr.
(Foto: Sweco)

Dykinspektionen från 2009 visade även att träsponten bakom betongkajen redan då var i bristande kondition, och hur länge till den kan hålla bakomliggande jordmassor innan den går till brott är högst osäkert. Det bedöms att om träsponten bakom betongkajen går till brott föreligger stor risk att markrörelser och omfattande skador uppkommer i området. Längre in i hamnområdet finns det även ett antal bottenplattor kvar från de tidigare byggnaderna. Det är oklart i vilken omfattning dessa plattor är pålade.

7.3 Erosion

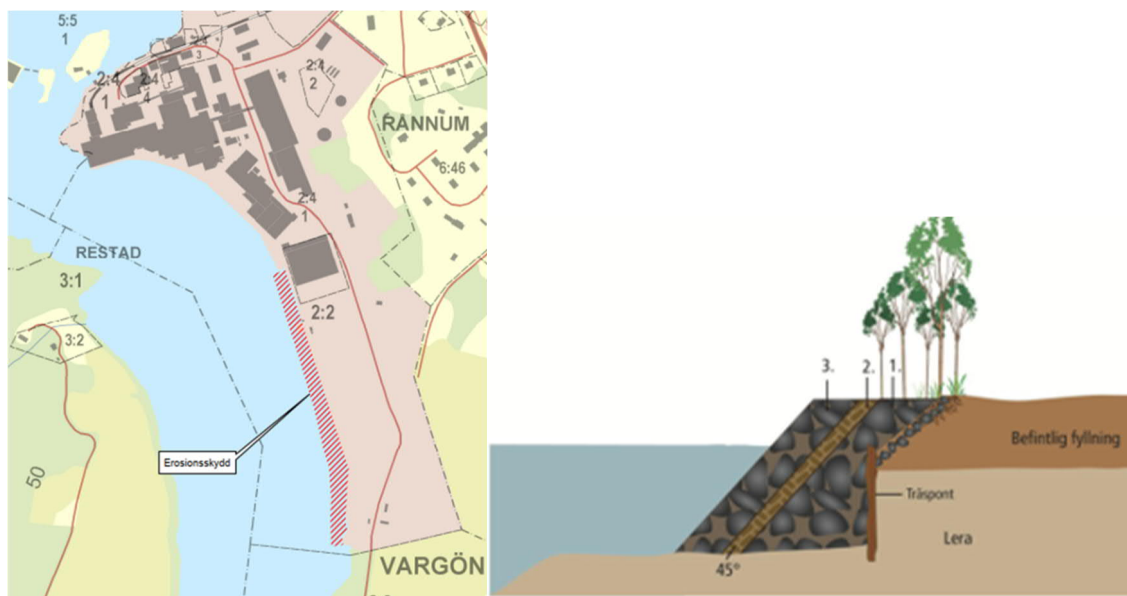
Bedömningen är att det idag inte pågår erosion längs strandlinjen mot Göta älv. Dels är slänterna i området skyddade med antingen spont eller erosionsskydd dels är det ingen fartygstrafik sedan hamnverksamheten lades ner.

I den norra delen av området finns sponter utmed hela strandlinjen. Trots den varierande och huvudsakligen okända statusen för dessa görs bedömningen är att de skyddar mot erosion.

Vid okulärbesiktning noterades att erosionsskyddet som anlades längs den södra delen av älven år 2010 är i gott skick, se Figur 8. Ritningsunderlag visar utbredningen i plan, samt att det även är relativt kraftigt uppbyggt se Figur 7.

Älvbotten har inom hamnområdet tidigare påverkats av fartygstrafik genom kraftig propellererosion. Bedömningen görs att dagens vattenströmning inte påverkar älvbotten i någon betydande omfattning. Om fartygstrafiken tas upp igen behöver älvbotten skyddas så att inte erosion på sikt försämrar stabiliteten.

På den kortare sträckan med stålspons i södra delen, se Figur 1, skyddar även den mot erosion.



Figur 7 Erosionsskydd från 2010 markerat med rött i plan på bilden till vänster. På den högra bilden visas en typsektion för det erosionsskyddet. (Källa: Marksaneringsrapport, Sanering Vargöns bruk, daterad 2012-03-29).



Figur 8 Erosionsskyddet vid strandlinjen längs Göta älv i det södra delområdet, vy mot söder. (Foto: Sweco).

8 Geotekniska förhållanden

Inom utredningsområdet visar undersökningarna på stora skillnader i jordlagerföljd och djup till fast botten. Det är även variationer i jordlagrens grundparametrar och lerans skjuvhållfasthet varför utredningsområdet har delats in i två delområden. Ett område i norr, mellan cirka km 0/250-0/550, och ett i söder, mellan cirka km 0/550-0/900. Gränsen mellan de båda områdena är cirka 45 meter norr om den del där befintligt erosionssskydd börjar, se Figur 1 och ritning G-10-1-002.

8.1 Jordlager

8.1.1 Norra delområdet

Inom hela det norra delområdet finns under en hårdgjord yta fyllnadsmassor med en mäktighet som varierar mellan cirka 2,5 meter och 3,5 meter. Ett undantag är där den tidigare östra älvgrenen hade sin sträckning genom området i nästan rak nord-sydlig riktning, se ritning G-10-1-002, där fyllningens mäktighet uppgår till cirka 5 meter. Fyllnadsmassorna är heterogena och innehåller ställvis betong och sten.

Fyllningen underlagras av siltig lera som har flertalet skikt av silt och sand. Under fyllningen har den siltiga leran en skjuvhållfasthet kring 27 kPa som ökar mot djupet.

I den norra delen av delområdet har även ett sammanhängande skikt med sand och grus konstaterats på cirka 8 meters djup. Skiktet har en mäktighet på upp till 2,5 meter, se ritning G-10-1-002.

Längst i norr går berget i dagen. Djupet till fast botten ökar därifrån kraftigt fram till Göta älvs strandlinje, där det är cirka 20 meter (i läget för sektion 0/450). Utmed strandlinjen är djupet till fast botten cirka 20 meter längs hela norra halvan av det norra delområdet. Längs den södra halvan minskar djupet söderut och varierar mellan 13-15 meter fram till gränsen mot det södra delområdet. Lerdjupen minskar även mot öster. Friktionsjorden som underlagras leran har en varierande mäktighet och ställvis saknas det helt.

Laboratorieundersökningar visar att lerans tunghet generellt varierar mellan 16-18,1 kN/m³. Vattenkvoten i leran varierar mellan 40-70% och konflytgränsen mellan 34-60%.

8.1.2 Södra delområdet

I det södra delområdet varierar fyllningens mäktighet över området med mellan 0,5 meter och 3,5 meter. Fyllningen underlagras av en relativt homogen siltig lera. Ytligt är skjuvhållfastheten kring 23,5 kPa med en ökning mot djupet.

I gränsen mellan det norra och det södra delområdet ökar djupet till fast botten kraftigt på en kort sträcka från cirka 14 meter till 23 meter. I det södra delområdet ökar djupet till fast botten succesivt från 23 meter i den norra delen till 54 meter längst i söder. Djupet till fast botten minskar något mot öster i förhållande till djupet vid strandlinjen. Friktionsjorden som underlagras den siltiga leran bedöms vara sammanhängande och ha en relativt stor mäktighet.

Laboratorieundersökningar visar att lerans tunghet generellt varierar mellan 16-18 kN/m³. Vattenkvoten i leran varierar mellan 37-77% och konflytgränsen mellan 28-67%.

8.2 Kvikklera

Förekomst av högsensitiv och kvicklera har kartlagts utifrån ostörd provtagning, CPTu-sondering samt resistivitet uppmätt med CPTu-R, se Bilaga 4 för resultat. I delar av området finns det ostörd provtagning från år 1960 som har jämförts med undersökningar utförda på 2000-talet. Det finns en genomgående trend som visar på att de äldre undersökningarna underskattar sensitiviteten. Detta har beaktats vid bedömningen av kvicklerans utbredning där det enbart finns äldre undersökningsmaterial.

Jämförelser mellan resultat från kolvprovtagning och sondering indikerar att kvicklera kan finnas vid uppmätt resistivitet högre än 5 ohm/m. Det samlade underlaget visar att det inom utredningsområdet då finns två sammanhängande områden där det bedöms finnas kvicklera, ett i norr och ett i söder, se ritning G-10-1-002. Mäktigheten på skikten med kvicklera avtar mot öster, se i utförda stabilitetsberäkningar i Bilaga 6 och Bilaga 7.

Det är inte klarlagt i vilken utsträckning det finns kvicklera under älven, då omfattningen av undersökningar är begränsad. Ostörd provtagning finns i en tidigare utförd punkt som visar på kvicklera i älven, liksom det tidigare även påvisats kvicklera i en punkt vid Göta älvs västra sida. I detta skede har det därför antagits att älvleran i viss utsträckning utgörs av kvicklera.

8.3 Hydrogeologiska förhållanden

Grundvattennivån i det övre grundvattenmagasinet bedöms följa Göta älvs vattenstånd i hela utredningsområdet. Dimensionerande vattenstånd i älven har antagits till samma nivå som för erhållen nivå vid Brinkebergskulles slussled, strax nedströms Vargön. Det lägsta tillåtna vattenståndet, sänkningshöjden, är där beläget på nivån +39,4. Det högsta tillåtna vattenståndet, den så kallade dämningshöjden, är vid Brinkebergskulles slussled beläget på nivån +44,1. Medelvattenytan är där belägen 0,1 meter under dämningshöjden, alltså på nivån +44,0. Dämningshöjden bedöms dock enbart gälla ovan slussleden då angiven nivå för medelvattenytan är cirka 3 meter över markytan i Vargöns hamnområde. Uppgifter om medelvattenyta har därför i detta skede inte kunnat tas fram för det aktuella området.

Mätningar av grundvattentryck i rör på 7, 17,8 och 19,3 meters djup i det norra delområdet visar på ett hydrostatiskt tryck mot djupet utifrån en grundvattenyta belägen cirka 1 meter under markytan (korttidsmätning i punkt 20SW10). Inledningsvis visade framförallt röret på 17,8 meters djup på mycket låga tryck, varför ett ytterligare rör installerades på 19,3 meters djup. Efter spolning av det två ursprungliga rören, på 7 och 17,8 meters djup, visar samtliga tre rör på hydrostatiskt tryck från en nivå som ligger i nära anslutning till Göta älvs vattenyta. Friktionsjorden under leran och det sammanhängande skiktet med sand och grus som finns i den norra delen av det norra delområdet, bedöms stå i förbindelse med Göta älv. Friktionsjorden förefaller inte vara sammanhängande i utsträckningen mot öster och bedöms därför inte genomgående stå i förbindelse med höjdpåret i öster.

I det södra delområdet visar mätningar att portrycket är något högre än hydrostatiskt mot djupet. Ökningen i tryck i förhållande till hydrostatiska nivåer sker från cirka 16,5 meters djup under markytan vilket ungefär motsvarar Göta älvs bottennivå, se Bilaga 3. I det södra delområdet har portrycket mätts kontinuerligt på 6, 16 och 26 meters djup (i punkt 20SW04). Dessutom har grundvattenmätning utförts på 31,5 meters djup, i den underliggande friktionsjorden (punkt 20SW04). Inledningsvis rann det vatten ur

grundvattenröret vars överkant var 0,5 meter över markytan. Efter det att röret förlängts har det inte svämmat över. Det något förhöjda trycket i den underliggande friktionsjorden bedöms bero på att detta lager står i förbindelse med höjdpartiet i öster.

9 Stabilitetsanalys

9.1 Allmänt

Stabilitetsförhållandena har analyserats för befintliga förhållanden och beräkningar har utförts med partialkoefficientmetoden. I det norra delområdet har stabiliteten beräknats i tre sektioner och i det södra delområdet i fyra sektioner. Beräkningar har även utförts för känslighetsanalyser och åtgärdsförslag.

9.2 Beräkningsförutsättningar

Beräkningarna följer beräkningsgång enligt IEG rapport 6:2008 rev 1.

- Dimensioneringssätt: DA3

Stabilitetsanalyserna har utförts med programmet GeoStudio 2020 (Slope/W version 10.2.1.19666), med beräkningsmetod enligt Morgenstern-Price. Beräkningarna av stabiliteten har utförts med både kombinerad och odränerad analys för cirkulär-cylindriska glidytor.

9.2.1 Val av geoteknisk kategori

- Geoteknisk kategori 3 (GK3)

Val av GK3 har gjorts med hänsyn till att det förekommer kvicklera i större delen av området. Dessutom är områdets markförhållanden varierande och komplexa och det finns ett antal kända konstruktioner i området, vars verkningssätt och funktion inte finns dokumenterade och/eller verifierade.

9.2.2 Val av säkerhetsklass

- Säkerhetsklass 3 (SK3)

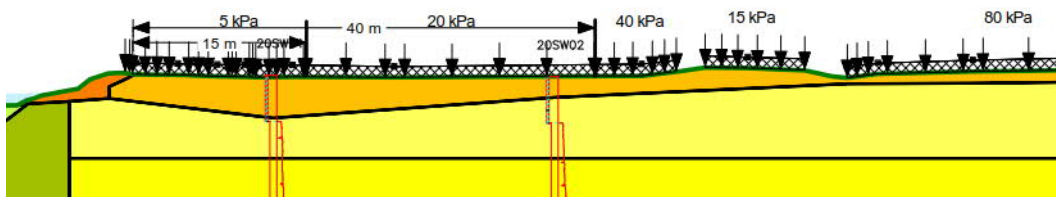
Eftersom det förekommer kvicklera som påverkar glidytor med för låg säkerhet gäller SK3.

9.2.3 Dimensionerande laster

I det norra delområdet inom hamnområdet har beräkningar dels utförts obelastat, dels med en last på 10 kPa. Vid beräkningar för stabilitetsåtgärder har en last på 10 kPa använts.

I det södra delområdet har laster med utbredning och storlek enligt den gällande detaljplanen använts vilket omfattar lasterna, 5 kPa, 20 kPa, 40 kPa samt 80 kPa, se Figur 9.

Karaktäristisk trafiklast på Mälderistvägen har ansatts enligt TK Geo 13 version 2 till 15 kPa.



Figur 9 Last enligt detaljplan, 5 kPa 0-15 meter från strandlinjen, 20 kPa 15-40 meter från strandlinjen, trafiklast på Mälderistvägen och 80 kPa öster om vägen.

Enligt ekvation 4.1b i IEG 6:2008 rev 1 är Geolasten för de olika lasterna $1,27 \times Q_{kj}$. Lasterna gäller enligt TR Geo 13 (version 2) i SK1 till SK3 vid beräkningar med program utvecklade för totalsäkerhetsanalys (vilket GeoStudio 2020, Slope/W är).

9.2.4 Dimensionerande vattennivåer

Beräkningar har utförts för den reglerade sänkningshöjden i Göta älv på nivå +39,4.

9.2.5 Erforderlig säkerhetsfaktor

Erforderlig säkerhetsfaktor är $F_{EN} = 1,1$ (SK3), både i odränerad och kombinerad analys.

9.2.6 Valda värden

Valda värden på ingående jordmaterial redovisas för älvleran i Tabell 1 och Figur 11, för det norra delområdet i Tabell 2 och Figur 12 samt för det södra delområdet i Tabell 3 och Figur 13. Samtliga diagram över härledda och valda värden för odränerad skjuvhållfasthet redovisas även i Bilaga 2.

9.2.6.1 Odränerad skjuvhållfasthet

Valda värden för lerans odränerade skjuvhållfasthet har bestämts utifrån ett stort antal härledda värden. Inom delområdena, det norra och södra, förekommer viss spridning i resultaten, men trenden är inom delområdena likartade. Val av odränerad hållfasthet på land inom respektive delområde har utförts utifrån sammanställning av erhållna värden från vingsondering, fallkonförsök, direkta skjuvförsök, aktiva triaxialförsök, CPTu-sondering samt empiri. Det valda värdet för skjuvhållfastheten har tagits fram utan att resultaten från skjuvförsök har värderats högre än resultaten från övriga metoder. Vingsonderingarna har korrigerats med avseende på konflytgräns och med hänsyn till överkonsolideringsgrad (σ'_c), bestämd utifrån belastningsförsök (CRS).

Den odränerade skjuvhållfastheten har bedömts vara nivårelaterad på land. Sammanställning av framtagna skjuvhållfastheter tillsammans med vald hållfasthet på land, redovisas i Figur 12 och Tabell 2 för det norra delområdet, respektive i Figur 13 och Tabell 3 för det södra området.

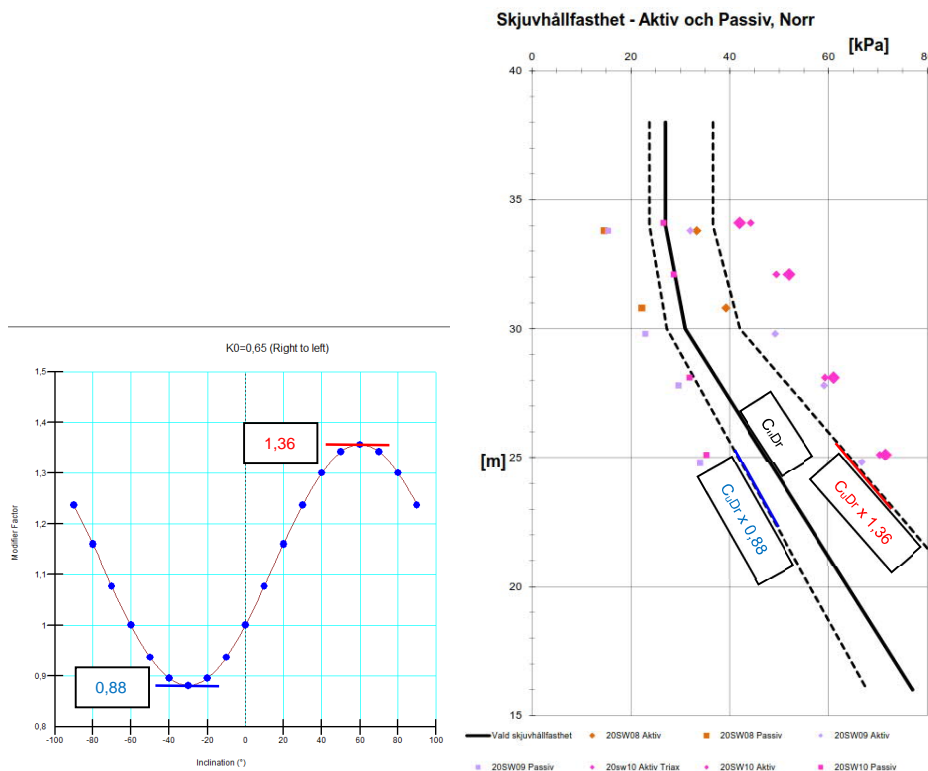
För val av odränerad skjuvhållfasthet i älven är underlaget inte lika omfattande då det endast finns ett begränsat antal undersökningspunkter. I älven saknas helt underlag i form av skjuv- och triaxialförsök. Överst har antagits att jordlagren utgörs av mycket lösa sediment med så låg hållfasthet som 2 kPa vid älvbotten. Hållfastheten ökar kraftigt mot djupet till 17 kPa på 1,5 m djup (älvlera 1). Där under är hållfasthetstillväxten mot djupet ($17+1,78z$ kPa/m - älvlera 2) likartad den på land. En sammanställning av vald hållfasthet i älven redovisas i Figur 11 och Tabell 1.

För en fullständig redovisning av framtagna hållfastheter på land och i älven hänvisas även till Bilaga 2.

9.2.6.2 Anisotropi

De anisotropa förhållandena har bestämts utifrån utförda triaxialförsök och empiri enligt SGI Information 3, se till höger i Figur 10. I utförda stabilitetsberäkningar har utvärderade anisotropa förhållanden använts enligt Rapport 3:95 (Figur 24 samt Tabell 5:1 i rapporten), vilket innebär en större hållfasthetstillväxt mot djupet i lerans aktivzon jämfört med i passivzonen, se Figur 10 och Bilaga 2.

Det aktiva och passiva förhållandet mellan vertikal- och horisontalspänningen, K_0 , varierar något utifrån utförda triaxialförsök och har valts till 0,65 i hela utredningsområdet. På passivsidan, i älvleran, har samma K_0 -värde använts som på land. Detta bedöms vara på den säkra sidan utifrån belastningshistoriken och ett betydligt högre K_0 -värde borde kunna användas. Inga triaxialförsök har dock utförts på älvleran i detta uppdrag för att styrka den teorin.



Figur 10 Bilderna visar anisotropifunktion $K_0=0,65$ (till vänster), underlag för vald anisotropifunktion, streckade linjer anpassade till aktiv respektive passiva värden (till höger). Stor romb C_u -aktiv från triax-försök, liten romb C_u -aktiv från empiri, kvadrat C_u -passiv från empiri. De streckade linjerna gäller för $K_0=0,65$ (höger bild) där värdet för den direkta skjuvhållfastheten (C_uDr) multipliceras med max- (1,36) och minvärde (0,88) enligt anisotropifunktionen (vänster bild) för respektive nivå.

9.2.6.3 *Dränerad skjuvhållfasthet*

Generellt gäller att vid dränerad och kombinerad analys ska för kohesionsjord antas att:

Inre friktionsvinkel, $\phi' = 30^\circ$

Kohesionsintercept, $c' = 0,1 \cdot c_u$

där c_u är valda värden för odränerad skjuvhållfasthet, vilken anges specifikt för varje jordlager i Tabell 1 till Tabell 3.

9.2.6.4 *Friktionsmaterial*

Följande förutsättningar gäller inom de båda delområdena vid beräkningarna:

- I friktionsjorden under leran har friktionsvinkeln konservativt antagits till 38°
- I fyllning har friktionsvinkeln baserat på CPTu-sondering antagits till 35°
- I skikt med sand/grus har friktionsvinkeln antagits till 35°
- I erosionskydd bestående av sprängsten. både det befintliga och vid åtgärd, har friktionsvinkel antagits till 45° enligt TK Geo

9.2.7 Dimensionerande värden

Partialkoefficienter γ_M och bestämning av faktorn η redovisas i Bilaga 5 för jordmaterial enligt IEG 6:2008 rev 1.

I beräkningarna har tungheten för den naturliga jorden partialkoefficient 1,0.

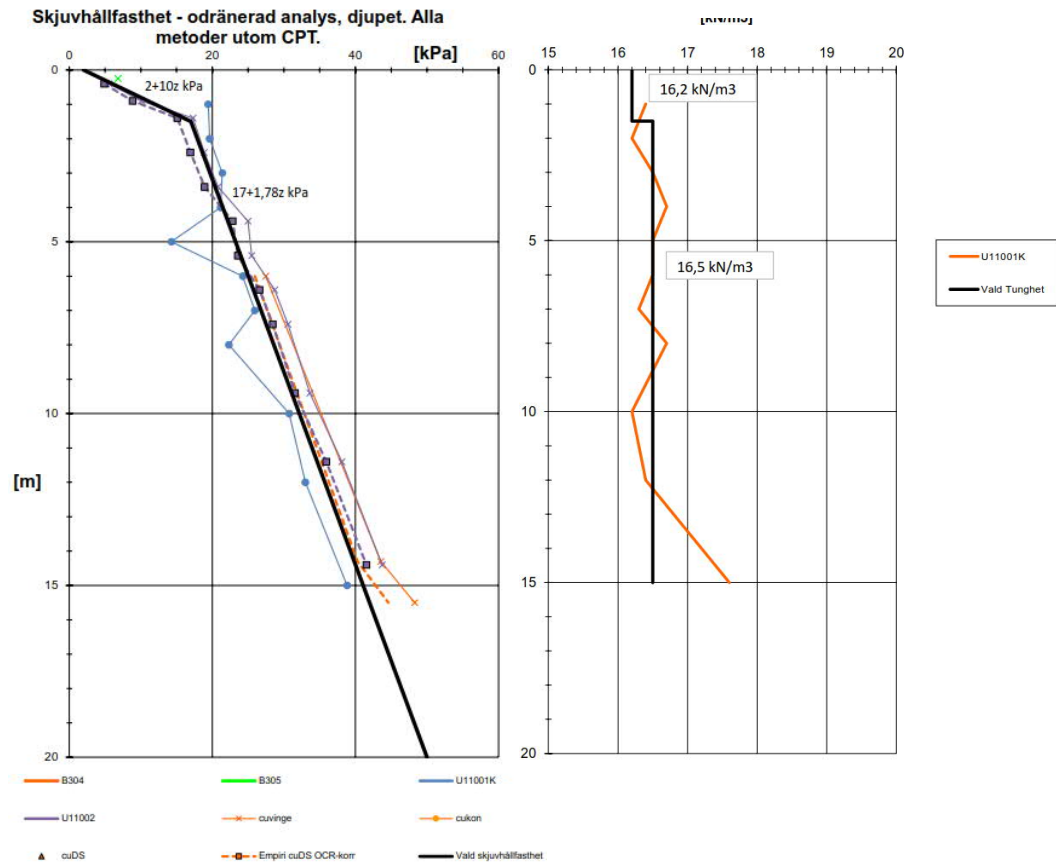
I älven är utförda punkter sammanställda för att gälla hela utredningsområdet. Tunghet och skjuvhållfasthetsfördelning utgående från djup redovisas i Tabell 1 och Figur 11 samt Bilaga 1 och Bilaga 2.

Tabell 1 Sammanställning av jordlagerparametrar. Valda och dimensionerande värden för materialegenskaper i älvleran för hela utredningsområdet.

Jordlager	Materialegenskaper	Valda värden	Dimensionerande värden
Älvlera 1	Tunghet, γ	16,2 kN/m ³	16,2 kN/m ³
	Effektiv tunghet under GW, γ'	6,2 kN/m ³	6,2 kN/m ³
	Odränerad skjuvhållfasthet, c_u	$2+10z^1$ kPa	$1,47+7,33z^1$ kPa
	Inre friktionsvinkel, ϕ'	30 grader	23,9 grader
	Kohesionsintercept, c'	$0,2+1z^1$ kPa	$0,15+0,77z^1$ kPa
Älvlera 2	Tunghet, γ	16,5 kN/m ³	16,5 kN/m ³
	Effektiv tunghet under GW, γ'	6,5 kN/m ³	6,5 kN/m ³
	Odränerad skjuvhållfasthet, c_u	$17+1,78z^2$ kPa	$12,47+1,31z^2$ kPa
	Inre friktionsvinkel, ϕ'	30 grader	23,9 grader
	Kohesionsintercept, c'	$1,7+0,178z^2$ kPa	$1,31+0,14z^2$ kPa

Z^1 = djup från botten Göta älv.

Z^2 = djup från 1,5 m under botten Göta älv.



Figur 11 Till vänster: Sammanställning av odränerad skjuvhållfasthet i älvområdet, härledda och valda värden, se även Bilaga 2. Till höger: sammanställning av tunghet, se även Bilaga 1.

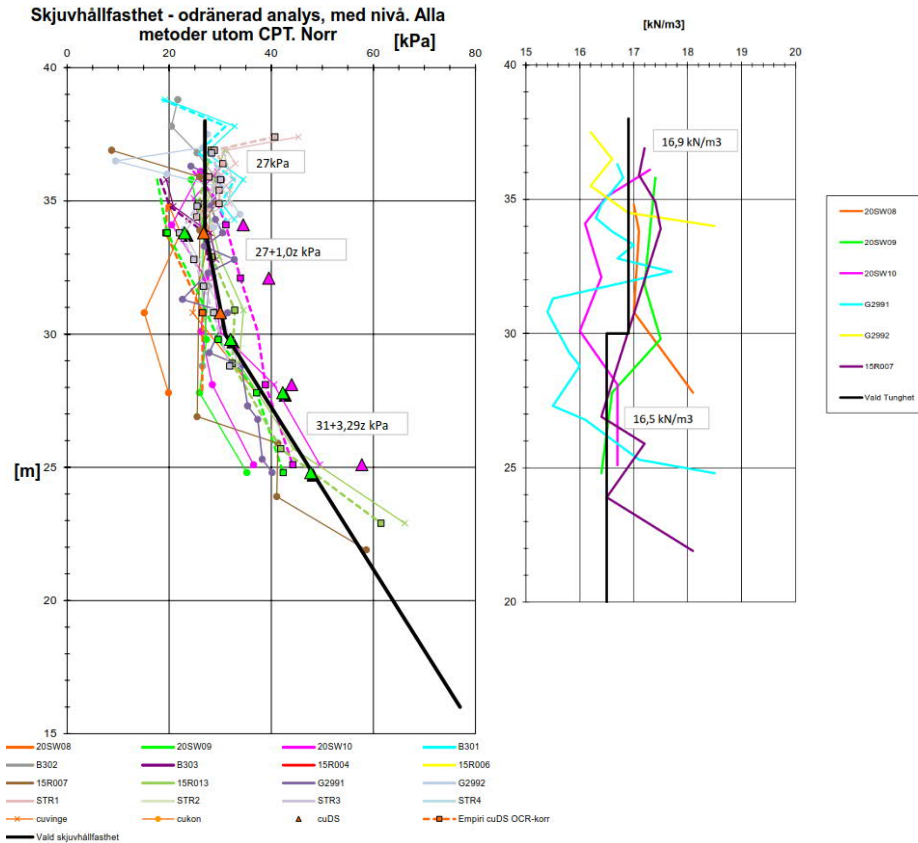
Dimensionerande materialegenskaper för det norra delområdet redovisas i Tabell 2 samt i Bilaga 5. Tunghet och skjuvhållfasthetsfördelning utgående från nivå redovisas även i Figur 12 och i Bilaga 1 och Bilaga 2.

Tabell 2 Sammanställning av jordlagerparametrar. Valda och dimensionerande värden för materialegenskaper inom det norra delområdet.

Jordlager	Materialegenskaper	Valda värden	Dimensionerande värden
Bef. Fyllning sigrSa	Tunghet, γ Effektiv tunghet under GW, γ' Friktionsvinkel	18 kN/m ³ 10 kN/m ³ 35 grader	18 kN/m ³ 10 kN/m ³ 28,3 grader
Sand	Tunghet, γ Effektiv tunghet under GW, γ' Friktionsvinkel	18 kN/m ³ 10 kN/m ³ 35 grader	18 kN/m ³ 10 kN/m ³ 28,3 grader
siltig Lera 1 N	Tunghet, γ Effektiv tunghet under GW, γ' Odränerad skjuvhållfasthet, c_u Inre friktionsvinkel, ϕ' Kohesionsintercept, c'	16,9 kN/m ³ 6,9 kN/m ³ 27 kPa 30 grader 2,7 kPa	16,9 kN/m ³ 6,9 kN/m ³ 19,8 kPa 23,9 grader 2,08 kPa
siltig Lera 2 N	Tunghet, γ Effektiv tunghet under GW, γ' Odränerad skjuvhållfasthet, c_u Inre friktionsvinkel, ϕ' Kohesionsintercept, c'	16,9 kN/m ³ 6,9 kN/m ³ 27+1z ¹ kPa 30 grader 2,7+0,1z ¹ kPa	16,9 kN/m ³ 6,9 kN/m ³ 19,8+0,73z ¹ kPa 23,9 grader 2,08+0,08z ¹ kPa
siltig Lera 3 N	Tunghet, γ Effektiv tunghet under GW, γ' Odränerad skjuvhållfasthet, c_u Inre friktionsvinkel, ϕ' Kohesionsintercept, c'	16,5 kN/m ³ 6,5 kN/m ³ 31+3,29z ² kPa 30 grader 3,1+0,329z ² kPa	16,5 kN/m ³ 6,5 kN/m ³ 22,73+2,41z ² kPa 23,9 grader 2,38+0,25z ² kPa
Friktionsjord (under leran)	Tunghet, γ Effektiv tunghet under GW, γ' Friktionsvinkel	18 kN/m ³ 10 kN/m ³ 38 grader	18 kN/m ³ 10 kN/m ³ 31 grader
Sprängsten (erosionsskydd)	Tunghet, γ Effektiv tunghet under GW, γ' Friktionsvinkel	18kN/m ³ 11kN/m ³ 45 grader	18 kN/m ³ 11 kN/m ³ 37,6 grader

Z¹ = djupet från nivå +34,0 m.

Z² = djupet från nivå +30,0 m.



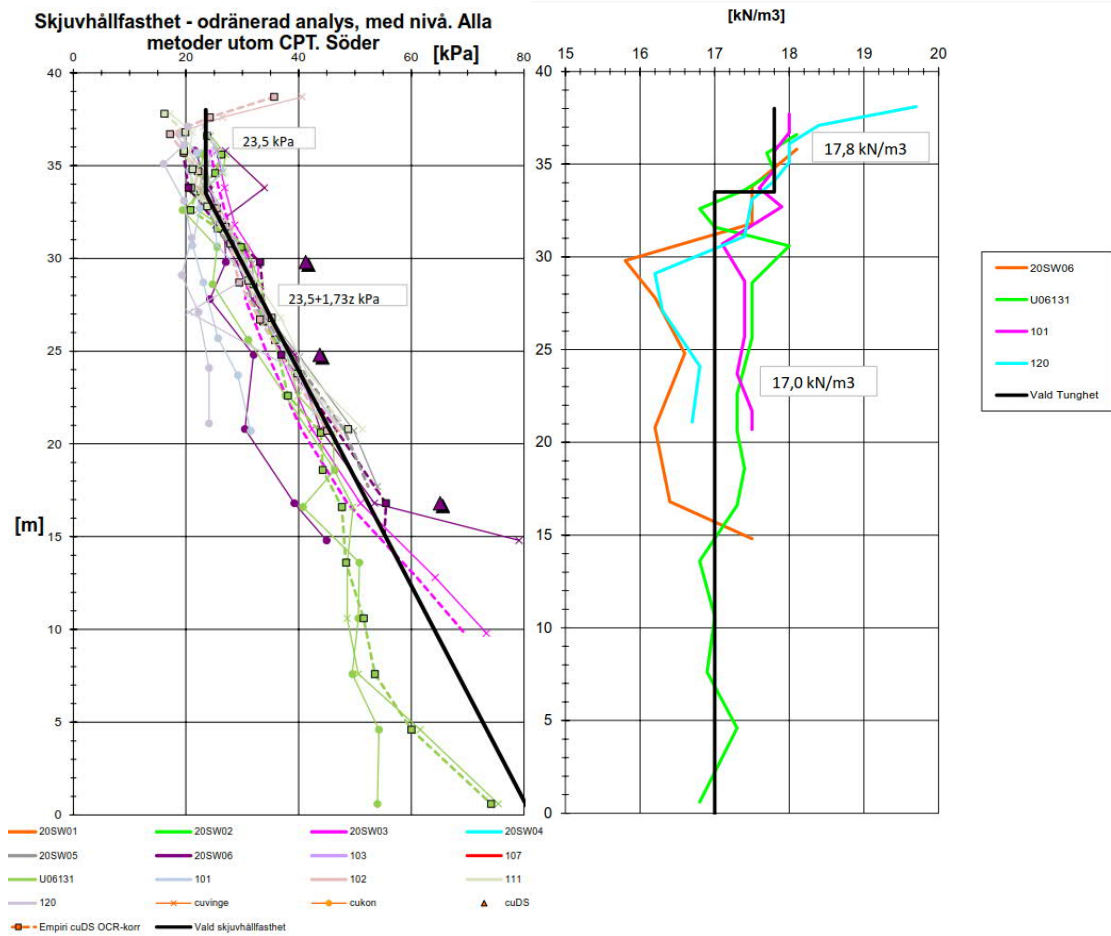
Figur 12 Till vänster: Sammanställning av odränerad skjuvhållfasthet för det norra delområdet, härledda och valda värden, se även Bilaga 2. Till höger: sammanställning av tunghet, se även Bilaga 1.

Dimensionerande materialegenskaper redovisas för södra delområdet i Tabell 3 samt Bilaga 5. Tunghet och skjuvhållfasthetsfördelning utgående från nivå redovisas även i Figur 13 samt Bilaga 1 och Bilaga 2.

Tabell 3 Jordlager, Valda och dimensionerande värden för materialegenskaper vid stabilitetsberäkningar för det södra delområdet.

Jordlager	Materialegenskaper	Valda värden	Dimensionerande värden
Bef. Fyllning sigrSa	Tunghet, γ Effektiv tunghet under GW, γ' Friktionsvinkel	18 kN/m ³ 10 kN/m ³ 35 grader	18 kN/m ³ 10 kN/m ³ 28,3 grader
siltig Lera 1 S	Tunghet, γ Effektiv tunghet under GW, γ' Odränerad skjuvhållfasthet, c_u Inre friktionsvinkel, ϕ' Kohesionsintercept, c'	17,8 kN/m ³ 7,8 kN/m ³ 23,5 kPa 30 grader 2,35 kPa	17,8 kN/m ³ 7,8 kN/m ³ 17,23 kPa 23,9 grader 1,81 kPa
siltig Lera 2 S	Tunghet, γ Effektiv tunghet under GW, γ' Odränerad skjuvhållfasthet, c_u Inre friktionsvinkel, ϕ' Kohesionsintercept, c'	17 kN/m ³ 7 kN/m ³ 23,5+1,73z ¹ kPa 30 grader 2,35+0,173z ¹ kPa	17 kN/m ³ 7 kN/m ³ 17,23+1,27z ¹ kPa 23,9 grader 1,81+0,13z ¹ kPa
Friktionsjord (under leran)	Tunghet, γ Effektiv tunghet under GW, γ' Friktionsvinkel	18 kN/m ³ 10 kN/m ³ 38 grader	18 kN/m ³ 10 kN/m ³ 31 grader
Erosionsskydd	Tunghet, γ Effektiv tunghet under GW, γ' Friktionsvinkel	18 kN/m ³ 11 kN/m ³ 45 grader	18 kN/m ³ 11 kN/m ³ 37,6 grader

Z¹ = djupet från nivå +33,5 m.



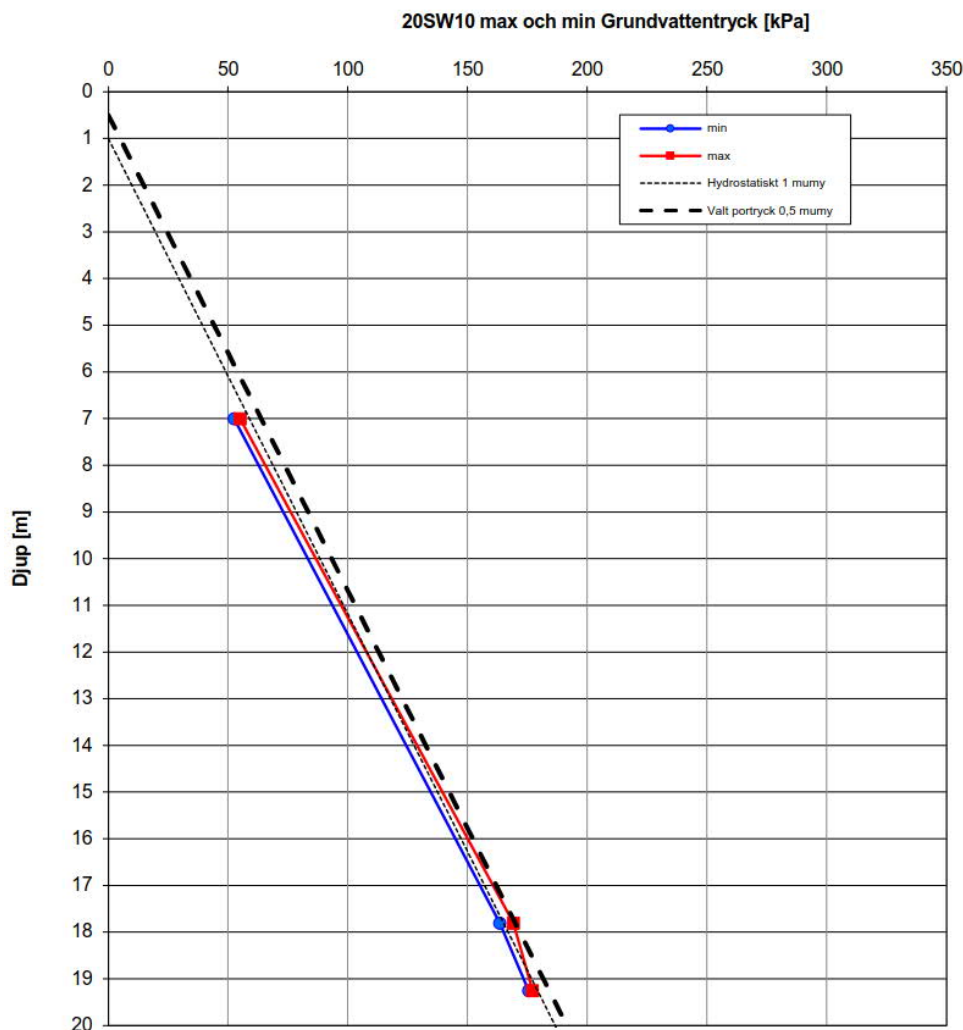
Figur 13 Till vänster: Sammanställning av odränerad skjuvhållfasthet för det södra delområdet, härledda och valda värden, se även Bilaga 2. Till höger: sammanställning av tunghet, se även Bilaga 1.

9.2.8 Portrycksmodell

9.2.8.1 Vald portrycksmodell norra delområdet

Vid stabilitetsberäkningarna har utifrån utförda mätningar ett maxvärde för portrycket använts. Utifrån ovanstående har en hydrostatisk portrycksfördelning med en nollnivå cirka 0,5 meter under markytan antagits i beräkningarna, se Figur 14 samt Bilaga 3.

Låga mätvärdena erhöles vid de inledande mätningarna i rören på djupen 7 respektive 17,8 innan ny funktionskontroll utfördes. De felaktiga värdena redovisas inte i handlingen.

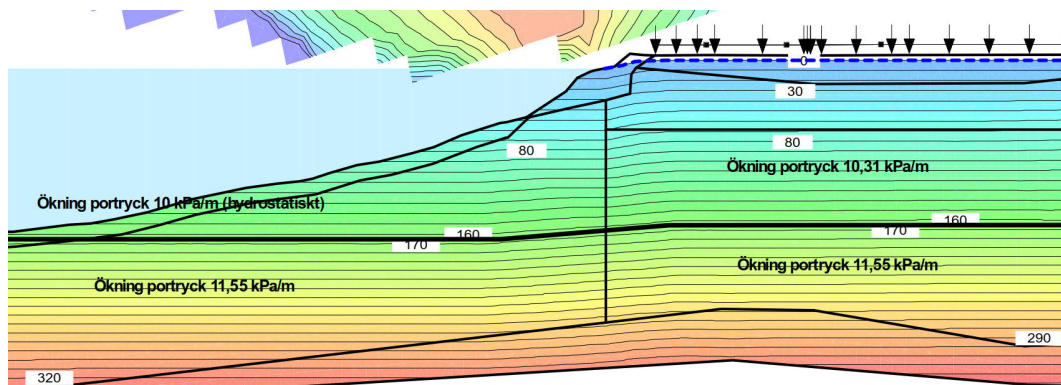
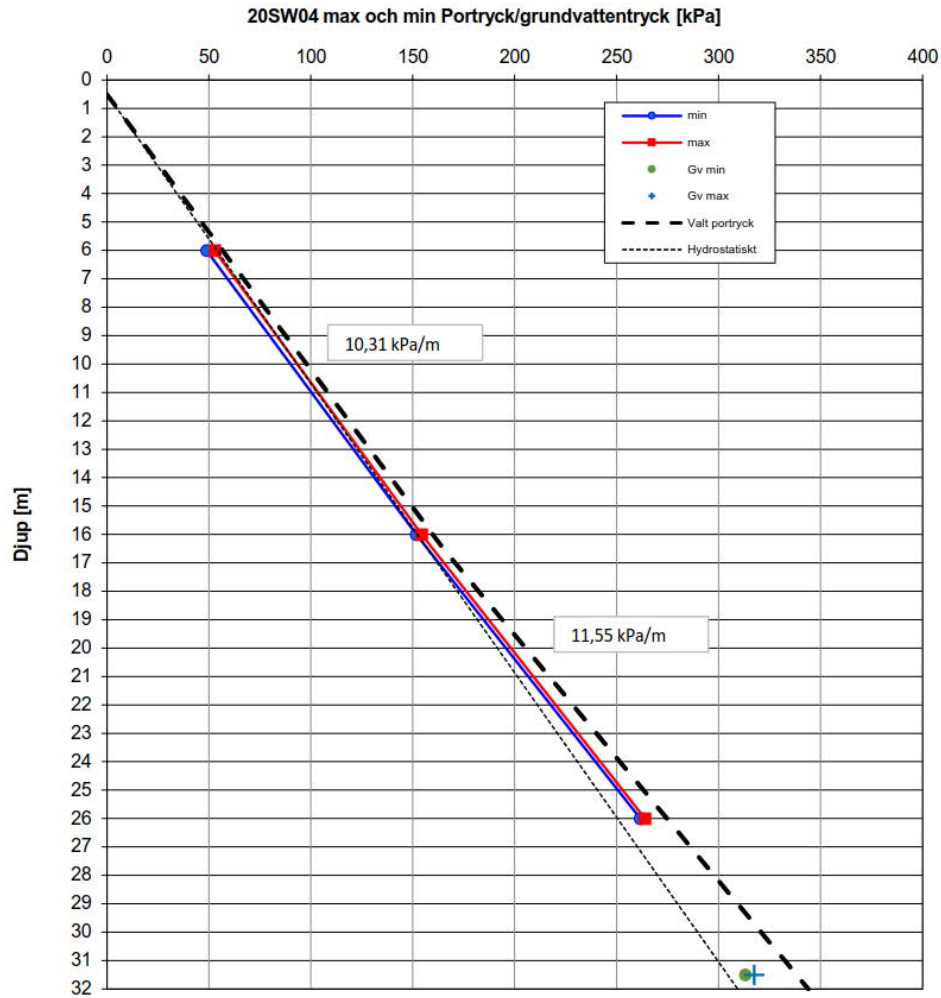


Figur 14 Profil, grundvattentryck i kPa för norra delområdet. Uppmätta maxvärden (rött) och minvärden (blått). Se även Bilaga 3.

9.2.8.2 Vald portrycksmodell södra delområdet

I älvleran har portrycket valts till hydrostatiskt från vattenytan ner till ett djup av 16,5 meter, vilket motsvarar bottendjupet i Göta älv. Dimensionerande grundvattenyta bedöms utifrån utförda mätningar ligga cirka 0,5 meter under markytan.

I den siltiga leran på land har, utifrån de uppmätta värdena, en ökning något över hydrostatiskt (10,31 kPa/m) valts ner till ett djup av 16,5 meter. På större djup än 16,5 meter har en större ökning (11,55 kPa/m) valts både i älvleran och på land. Se vald portrycksfördelningen mot djupet i Figur 15.

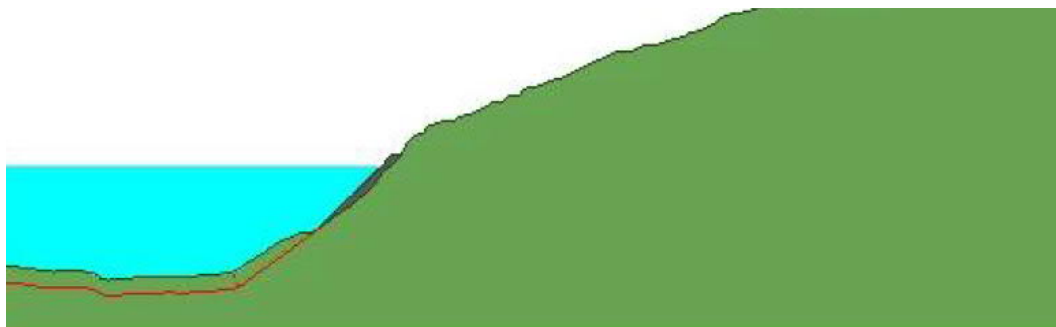


Figur 15 Portrycksprofil samt portrycksfördelning mot djupet i kPa för södra delområdet. Se även Bilaga 3.

9.2.9 Känslighetsanalys

Känslighetsanalys med avseende på förhöjda portryck har utförts i samtliga sektioner. Portrycket har då ökat med 10 kPa i hela profilen. Det motsvarar en höjning av grundvattenytan med en meter jämfört med ursprunglig beräkning i det norra delområdet. Det innebär för det norra delområdet en grundvattenyta som ligger cirka 0,5 meter över markytan, med en hydrostatisk portrycksfördelning mot djupet. I beräkningarna sätts trycket till hydrostatiskt i fyllningen och det ökade trycket börjar först i leran. Inom det södra delområdet läggs det ökade portrycket med 10 kPa till det dimensionerande (valda) trycket, vilket ursprungligt har en högre ökning mot djupet än hydrostatiskt från den dimensionerande grundvattenytan.

Känslighetsanalys med avseende på erosion i älvområdet har i den södra delområdet utförts i sektionen med lägst framräknad säkerhet (sektion 0/6500). I det norra delområdet har känslighetsanalys utförts i sektion 0/5300. Känslighetsanalys har där inte utförts i sektion 0/5900 vilken är den sektion som har lägst framräknad säkerhet, eftersom det finns stora osäkerheter om konstruktionerna utmed älven. Beräkningarna har utförts med erosion i älvbotten med 1 respektive 2 meter, enligt fall A1 (från Riktlinjer för tekniskt arbete, DGA00XST01), se Figur 16. Bedömningen är att fall A1 kan motsvara möjlig erosion i det norra delområdet, även om det där sitter en spont utmed vattenlinjen som förhindrar erosion på landsidan. Vid beräkning antas här erosion ske med 1 respektive 2 meter i direkt anslutning till sponten.



Figur 16 Erosion i älvbotten enligt fall A1 (se DGA00XST01).

9.3 Stabilitetsförhållanden

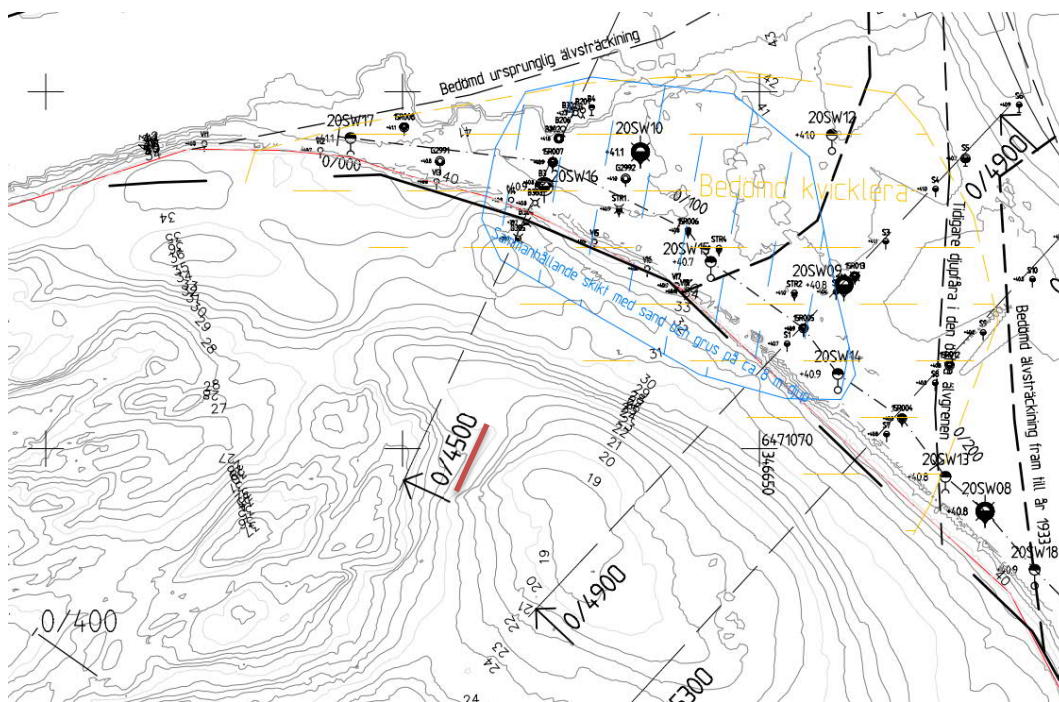
Beräkningar har utförts i totalt sju sektioner längs den östra sidan av Göta älv. Resultat från de tre sektionerna i det norra delområdet (0/4500, 0/4900 och 0/5300) redovisas i Bilaga 6. Resultat från beräkningar för de fyra sektionerna i det södra delområdet (0/5900, 0/6500, 0/7400 och 0/8500) redovisas i Bilaga 7. Beräkningssektionerna har valts för kritiska sektioner inom det norra respektive det södra delområdet, se Kapitel 8. Beräkningssektionernas lägen, samt gränsen mellan det norra och det södra delområdet, redovisas på Ritning G-10-1-002. Sektion 0/5900 tillhör med hänsyn till beräkningsparametrar det södra delområdet men sektionen är belägen i den södra delen av hamnområdet.

Vid beskrivning av förhållandena i beräkningssektionerna avser benämningen "djup" djupet från markytan, och "vattendjup" avser djupet från den reglerade sänkningshöjden i Göta älv (nivå +39,4). Samtliga tidigare utförda undersökningspunkter, lägen och deras tillhörande handling där de ursprungligen redovisades, anges på ritning G-10-1-001 i tillhörande MUR, 00500ORA01.

Säkerhetsfaktorn vid teoretiskt brott (när det teoretiskt sker ett skred) styrs av partialkoefficienter för materialparametrar i brottgränstillstånd, γ_m , och omräkningsfaktorn η (se Bilaga 5) och är beroende av respektive glidyta dräneringsgrad. Teoretiskt brott kan därför variera mellan $F_{EN}=0,73$ för en helt odränerad glidyta och cirka $F_{EN}=0,81$ för en helt dränerad glidyta (dock inte konstant utan även beroende av respektive friktionsvinkel). I utförda beräkningar finns det varken någon glidyta som är helt dränerad eller någon som är helt odränerad. För befintliga förhållanden där framräknad säkerhetsfaktor underskrider säkerhetsfaktorn för teoretiskt brott redovisas den med dräneringsgrad enligt den dimensionerande glidyta.

9.3.1 Beräkningssektion km 0/4500 (sektion A) – i norra delområdet

Beräkningssektion 0/4500 är belägen i den norra delen av utredningsområdet, där Göta älv viker av mot väster, se läget i Figur 17 och för detaljer och förklaringar hänvisas till ritning G-10-1-002. Sektionen ligger inom hamnområdet.



Figur 17 Aktuell beräkningssektion 0/4500 markerat med rött.

I sektionen har beräkningar utförts för befintliga förhållanden, för känslighetsanalys med höjt portryck på 10 kPa i den leran och för en stabilitetsåtgärd. Åtgärdsförslaget omfattar avschaktning av slänkrönet till lutning 1:2 samt utfyllnad med erosionskydd i vattenområdet.

I denna beräkningssektion finns den nu utförda punkten 20SW16 (med trycksond och störd provtagning) och arkivpunkter B301-B305, B3 och B4. Punkt 20SW10 ligger strax sydost om sektionen och där har det nu utförts CPTu-R-sondering, vingförsök, störd respektive ostörd provtagning samt 3 st grundvattenrör. Laboratorieundersökningar på de ostörda proverna omfattar rutinanalys, CRS-försök, direkta skjuvförsök och aktiva triaxialförsök.

9.3.1.1 Befintliga förhållanden

Markytan i sektion 0/4500 är plan och varierar mellan nivå +40,8 och +41,3. Från strandlinjen och 24 meter där bakom utgörs marken av hårdgjord yta, asphalt. På större avstånd från strandlinjen återfinns rester från en till största delen riven byggnad. Källarplanet och bjälklaget där ovan finns fortfarande kvar. Källarplanets bottenplatta är ungefär i nivå med marken i framkanten mot älven, och ligger något under marknivån i bakkanten, se Figur 18. Vid strandlinjen sitter en stålpont med stag bakåtförankrade i fundament. Spontens skick har inte värderats. Utanför sponten finns en träkaj som är i mycket dåligt skick.

Vattendjupet i anslutning till sponten är cirka 3 meter. Undervattensslänten lutar från sponten och relativt brant ner till ett vattendjup av cirka 9 meter. Vattendjupet minskar sedan till cirka 7 meter på ett avstånd av cirka 25 meter ut från strandlinjen. Bottenprofilen bedöms vara starkt påverkad av propellererosion från tidigare hamnverksamhet. Som djupast är älven i denna sektion cirka 14,4 meter djup. På ett avstånd av cirka 70 meter från strandlinjen finns inga sediment och Göta älvs botten består av berg (enligt utdrag från pågående undersökning av ytgeologi i Göta älv som utförs av SGI).

Det största djupet till fast botten i sektionen uppgår till cirka 21 meter och återfinns i anslutning till strandlinjen (punkt B3). Lermäktigheten avtar sedan relativt brant åt nordost och cirka 85 meter från strandlinjen ansluter berg i dagen. Under den hårdgjorda ytan finns 1 till 3 meter fyllning, med störst mäktighet i anslutning till strandlinjen. Fyllningen vilar på en siltig lera som är silt- och sandskiktad. På cirka 8 meters djup finns i sektionen ett sammanhängande skikt med sand och grus som har en mäktighet på cirka 1,4 meter.

Sensitiviteten varierar mellan 13 och 279 i sektionen. Det är den siltiga leran under det sammanhängande skiktet med sand och grus som bedöms vara kvick, se Figur 18.

9.3.1.2 *Beräkningsresultat befintliga förhållanden*

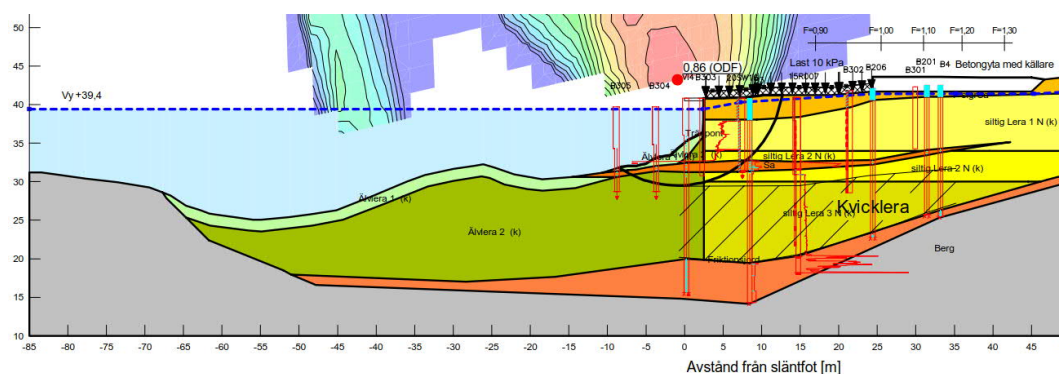
Utförda beräkningar för befintliga förhållanden visar att erforderliga stabilitetskrav enbart uppfylls för odränerad analys och obelastad markyta. Ställda säkerhetskrav uppfylls varken för kombinerad analys utan last eller för odränerad respektive kombinerad analys med 10 kPa last på markytan. Det innebär att förstärkningsåtgärder erfordras.

På ritning G-10-1-003 redovisas skredutbredningen från den djupaste glidyten för $F_{EN}=1,0$ vid 10 kPa belastning på marken. Glidyten når ner till kvickleran.

I Tabell 4 redovisas en sammanställning av de lägst beräknade säkerhetsfaktorerna för befintliga förhållanden i sektion 0/450O. Fullständiga beräkningsresultat redovisas i Bilaga 6. I Figur 18 redovisas den glidyta som har lägst beräknad säkerhet.

Tabell 4 Sammanställning av beräkningsresultaten för befintliga förhållanden i sektion 0/450O (sektion A).

Sektion, Beräkningsfall	kombinerad analys F_{EN}	odränerad analys F_{EN}	Anmärkning
0/450O (Sektion A) Befintligt, med spont Anisotropi $K_0=0,65$ Last 0 kPa	00450OKPB1 0,93	00450OUPB1 1,13	Förutsätter att sponten är intakt
0/450O (Sektion A) Befintligt, med spont Anisotropi $K_0=0,65$ Last 10 kPa	00450OKPB2 0,86	00450OUPB2 0,99	Förutsätter att sponten är intakt



Figur 18 Beräkningsresultat för befintliga förhållanden i sektion 0/4500 (004500KPB2), $F_{EN}=0,86$, kombinerad analys och last 10 kPa. Skrafferingen visar tolkad kvicklera på land, med osäkert avslut under älven. För fullständig redovisning av beräkningen se Bilaga 6.

9.3.1.3 Beräkningsresultat känslighetsanalys

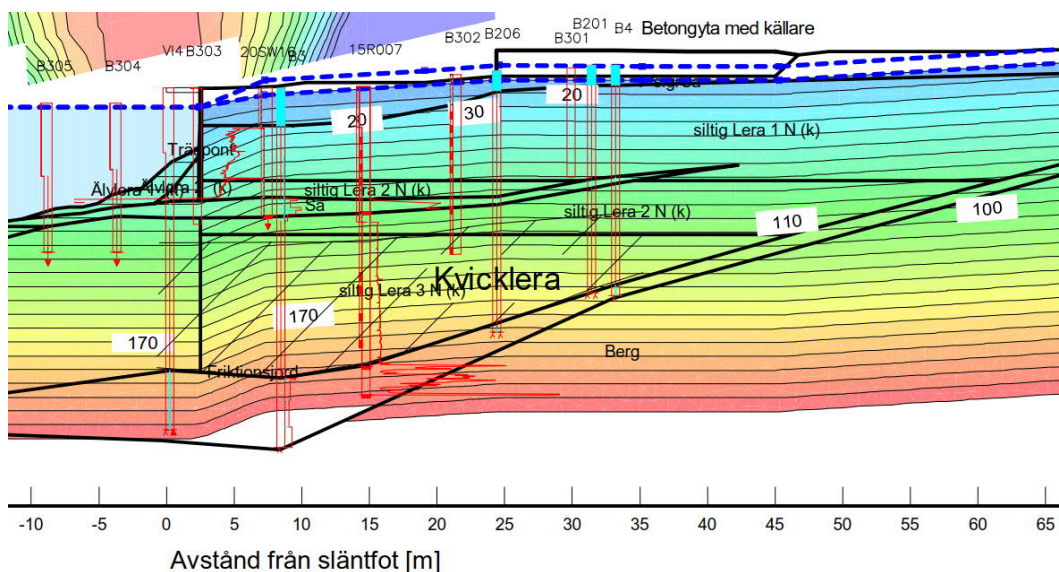
I sektion 0/4500 har en känslighetsanalys utförts för höjning av portrycket i den siltiga leran på land med 10 kPa. Höjningen har utförts genom att lägga till en grundvattenyta som ligger 1 meter högre än den valda (dimensionerande). I fyllningen är trycket fortfarande hydrostatiskt från den valda grundvattenytan, och höjningen påverkar endast den underliggande leran.

Utförda känslighetsanalyser med ett höjt portryck med 10 kPa visar att erforderliga krav fortfarande uppfylls för odränerad analys utan någon last på markytan.

I Tabell 5 redovisas en sammanställning av säkerhetsfaktorerna för känslighetsanalysen i sektion 0/4500 samt säkerhetsfaktorns minskning i procent från befintliga förhållanden. I Figur 19 redovisas det förhöjda portrycket (10 kPa) i leran. Fullständiga beräkningsresultat redovisas i Bilaga 6.

Tabell 5 Sammanställning av beräkningsresultaten för känslighetsanalys i sektion 0/4500 (sektion A).

Sektion, Beräkningsfall	kombinerad analys F_{EN}	odränerad analys F_{EN}	Anmärkning
0/4500 (Sektion A) Höjt portryck med 10 kPa, Anisotropi $K_0=0,65$ Last 0 kPa	004500KPK1 0,85 (9%)	004500UPK1 1,10 (3%)	Förutsätter att sponten är intakt
0/4500 (Sektion A) Höjt portryck med 10 kPa, Anisotropi $K_0=0,65$ Last 10 kPa	004500KPK2 0,79 (8%)	004500UPK2 0,97 (2%)	Förutsätter att sponten är intakt



Figur 19 Redovisning av höjt portryck med 10 kPa i den siltiga leran, sektion 0/4500. För fullständig redovisning se Bilaga 6.

Utförd känslighetsanalys visar att säkerheten mot brott minskar med upp till 9%. För kombinerad analys med höjt portryck ligger säkerhetsfaktorn precis över nivån för teoretiskt brott (med 10 kPa belastning på marken).

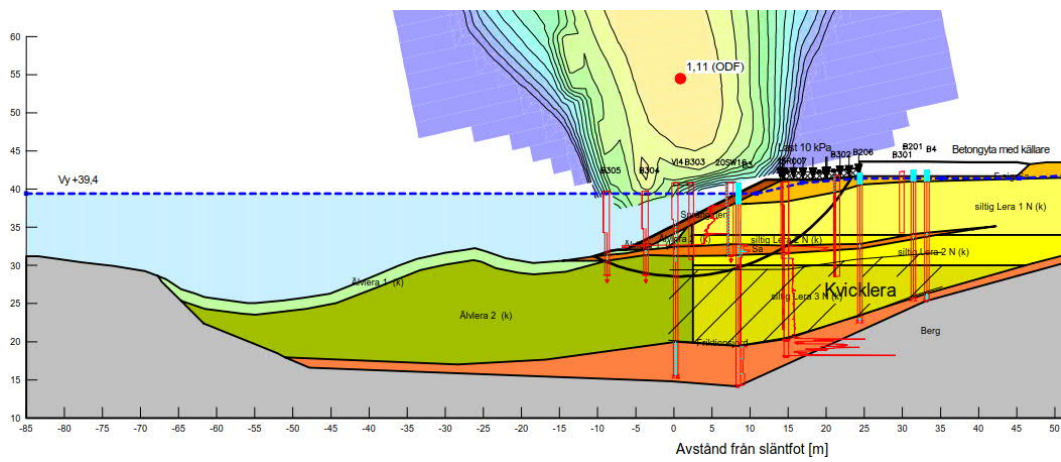
9.3.1.4 Beräkningsresultat åtgärdsförslag

Beräkningar för ett åtgärdsförslag har utförts som omfattar avschaktning av slänkrön till en lutning på 1:2 och utläggning av erosionsskydd med 1 meters mäktighet i Göta älv. Avschaktningen som erfordras sträcker sig cirka 15 meter in från strandlinjen (strandlinjen utgörs av stålsponten).

I Tabell 6 redovisas resultatet från utförda beräkningar för åtgärdsförslaget i sektion 0/4500. Fullständiga beräkningsresultat redovisas i Bilaga 6. I Figur 20 redovisas den glidyta som har lägst beräknad säkerhet.

Tabell 6 Beräkningsresultat för åtgärdsförslaget i sektion 0/4500 (sektion A).

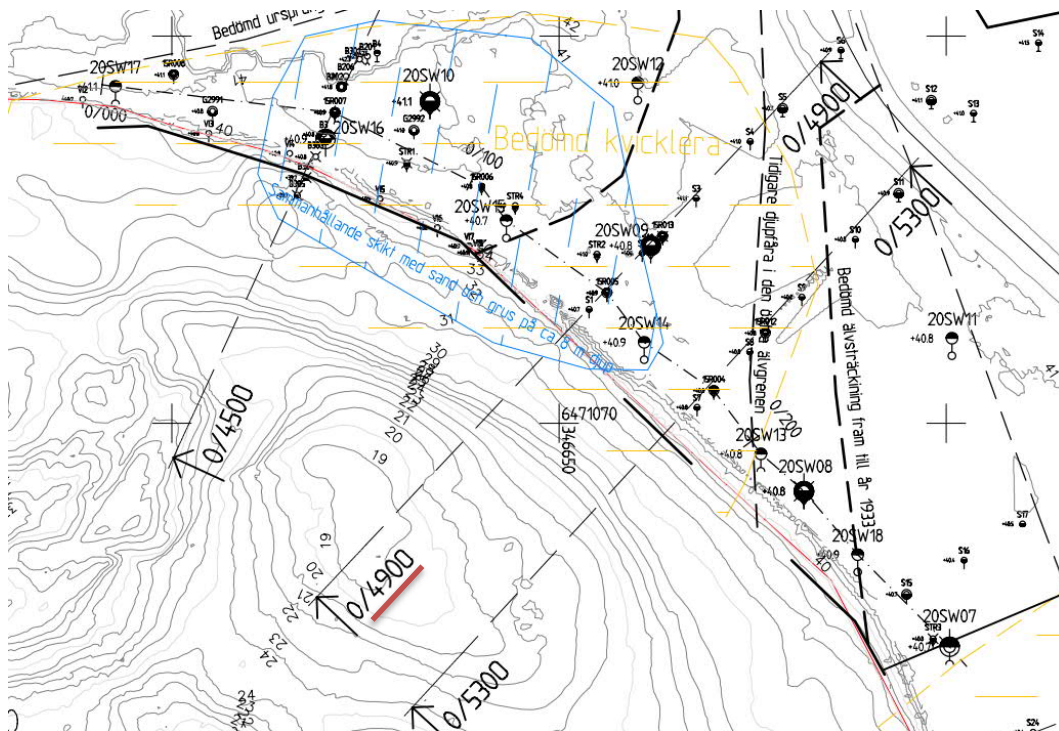
Sektion, Beräkningsfall	kombinerad analys F_{EN}	odränerad analys F_{EN}	Anmärkning
0/4500 (Sektion A) Åtgärdsförslag Anisotropi $K_0=0,65$ Last 10 kPa	004500KPA 1,11	004500OUPA 1,23	



Figur 20 Beräkningsresultat sektion 0/4500, $F_{EN}=1,11$ i kombinerad analys, för åtgärdsförslag med avschaktning i lutning 1:2 och erosionsskydd. För fullständig redovisning av beräkningen se Bilaga 6.

9.3.2 Beräkningssektion km 0/490O (sektion B) – i norra delområdet

Beräkningssektion 0/490O är belägen i den norra delen av befintlig kaj (125 meter lång), se läget i Figur 21 och för detaljer och förklaringar hänvisas till ritning G-10-1-002. Sektionen ligger inom hamnområdet.



Figur 21 Aktuell beräkningssektion 0/490O markerat med rött.

I sektionen har beräkningar utförts för befintliga förhållanden, för känslighetsanalys med höjt porttryck med 10 kPa i leran samt för en stabilitetsåtgärd. Åtgärdsförslaget omfattar avschaktning av släntkrönet till en lutning på 1:2 samt utfyllnad med erosionsskydd i vattenområdet.

I denna beräkningssektion finns den nu utförda punkten 20SW09 och arkivpunkter 15R005, 15R013 och S1-S5. I punkt 20SW09 har det utförts CPTu-R-sondering och störd respektive och ostörd provtagning. Laboratorieundersökningar på de ostörda proverna omfattar rutinanalys, CRS-försök och direkta skjuvförsök.

9.3.2.1 *Befintliga förhållanden*

Markytan i sektion 0/490O är plan och varierar mellan nivå +40,9 och +41,0 och består av en hårdgjord asfaltsyta fram till cirka 90 meter bakom strandlinjen. På större avstånd från strandlinjen ligger Mälderistvägen som går på vägbank med körytan på nivån +42,5.

Utmed strandlinjen finns i sektionen en betongkaj från början av 1980-talet. Betongkajen är 4,3 meter bred och ansluter till ett äldre fundament för ett upphöjt kranspår. Kajen och fundamentet är pålade och under kajen finns en stensatt slänt ner till en träspont, som fanns innan kajen byggdes. Spontens läge varierar i sidled under kajen. Både kajen och sponten uppvisar skador och deras tekniska livslängder bedöms vara passerade.

Undervattenslätten med naturligt lagrad jord börjar vid spontens överkant vid cirka 1 meters vattendjup. Undervattensslättens lutning är sedan mycket brant (1,4:1) ner till ett vattendjup av cirka 6,5 meter. Efter den mycket branta delen är botten helt plan i cirka 4 meter varefter den lutar svagt nedåt till ett avstånd av 27 meter från strandlinjen där slätten blir något brantare. Bottenprofilens utseende bedöms vara starkt påverkad av propellererosion eftersom den inledningsvis är mycket brant. Erosionen bedöms sedan ha hindrats av ett skikt med friktionsjord som går ut i Göta älv. Detta har medfört att botten har fått en plan del, följt av en svag lutning. Som djupast är älven i denna sektion cirka 21 meter djup.

Det största djupet till fast botten i sektionen uppgår till cirka 20 meter och återfinns i anslutning till strandlinjen (punkt S1). Djupet avtar sedan mot öster och är vid Mälderistvägen cirka 12 meter. Under den hårdgjorda ytan finns 2,5 till 4,5 meter fyllning. De största fyllnadsmäktigheterna återfinns cirka 75 meter från strandlinjen, där den igenfyllda djupfåran för den östra älvgrenen korsar sektionen. Fyllningen vilar på siltig lera med silt- och sandskikt. Vid strandlinjen finns ett sammanhängande skikt med sand och grus på cirka 9 meters djup, med en mäktighet på upp till 2,7 meter. På ett avstånd av cirka 30 meter från strandlinjen upphör åt öster det sammanhängande skiktet med sand och grus.

Sensitiviteten varierar mellan 10 och 355. Den siltiga leran under skiktet med sand och grus bedöms vara kvick. Öster om det sammanhängande sand- och grusskiktet bedöms hela lerprofilen bestå av kvicklera, varefter mäktigheten av kvickleran avtar åt öster och upphör innan punkten S5, se Figur 23.

9.3.2.2 *Beräkningsresultat befintliga förhållanden*

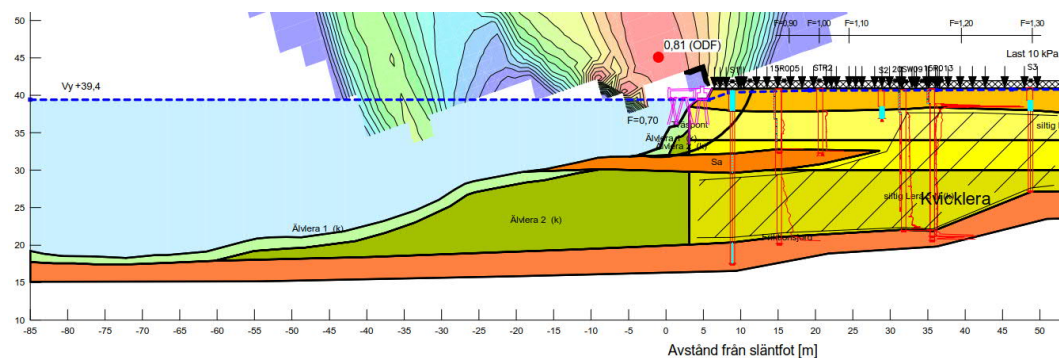
Utförda beräkningar för befintliga förhållanden visar att erforderliga stabilitetskrav enbart uppfylls för odränerad analys utan någon last på markytan. Ställda krav uppfylls varken för kombinerad analys utan last eller för odränerad respektive kombinerad analys med en last på 10 kPa. Utförda beräkningar visar att förstärkningsåtgärder erfordras.

På ritning G-10-1-003 redovisas skredutbredningen från den djupaste glidyten för $F_{EN}=1,0$ vid 10 kPa belastning på marken. Glidyten når inte ner till kvickleran. De låga beräknade säkerhetsfaktorerna mot brott förutsätter att träsponten under kajen är intakt.

I Tabell 7 redovisas en sammanställning av de lägst beräknade säkerhetsfaktorerna för befintliga förhållanden i sektion 0/4900. I Figur 22 redovisas den glidyta som har lägst beräknad säkerhet. Fullständiga beräkningsresultat redovisas i Bilaga 6.

Tabell 7 Sammanställning av beräkningsresultaten för befintliga förhållanden i sektion 0/4900 (sektion B).

Sektion, Beräkningsfall	kombinerad analys F_{EN}	odränerad analys F_{EN}	Anmärkning
0/4900 (Sektion B) Befintligt, med spont Anisotropi $K_0=0,65$ Last 0 kPa	00490OKPB1 0,86	00490OUPB1 1,13	Förutsätter att träsponten under kajen är intakt
0/4900 (Sektion B) Befintligt, med spont Anisotropi $K_0=0,65$ Last 10 kPa	00490OKPB2 0,81	00490OUPB2 0,99	Förutsätter att träsponten under kajen är intakt



Figur 22 Beräkningsresultat för befintliga förhållanden i sektion 0/4900 (004500KPB2), $F_{EN}=0,81$ i kombinerad analys och med last 10 kPa. Skrafferingen visar tolkad kvicklera. Osäkert avslut av kvickleran i öster och under älven. För fullständig redovisning av beräkningen se Bilaga 6.

9.3.2.3 Beräkningsresultat känslighetsanalys

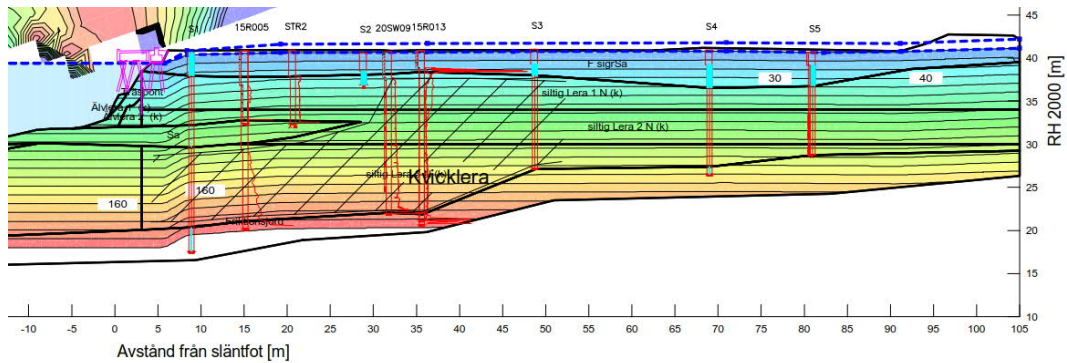
I sektion 0/4900 har en känslighetsanalys utförts för en höjning av portrycket med 10 kPa i leran på land. Höjningen har utförts genom att lägga till en andra grundvattenyta, som ligger 1 meter högre än den valda (dimensionerande). I fyllningen är trycket fortfarande hydrostatiskt från den valda grundvattenytan, och höjningen påverkar endast den underliggande leran.

Utförda känslighetsanalyser med ett höjt portryck med 10 kPa visar att erforderliga krav fortsatt uppfylls för odränerad analys utan någon last på markytan.

I Tabell 8 redovisas en sammanställning av säkerhetsfaktorerna för känslighetsanalysen i sektion 0/4900 samt säkerhetsfaktorers minskning i procent från befintliga förhållanden. I Figur 23 redovisas det förhöjda portrycket (10 kPa) i leran. Fullständiga beräkningsresultat redovisas i Bilaga 6.

Tabell 8 Sammanställning av beräkningsresultaten för känslighetsanalys i sektion 0/4900 (sektion B).

Sektion, Beräkningsfall	kombinerad analys F_{EN}	odränerad analys F_{EN}	Anmärkning
0/4900 (Sektion A) Höjt portryck med 10 kPa, Anisotropi $K_0=0,65$ Last 0 kPa	004900KPK1 0,83 (3%)	004900UPK1 1,13 (0%)	Förutsätter att träsponten under kajen är intakt
0/4900 (Sektion A) Höjt portryck med 10 kPa, Anisotropi $K_0=0,65$ Last 10 kPa	004900KPK2 0,81 (0%)	004900UPK2 0,99 (0%)	Förutsätter att träsponten under kajen är intakt



Figur 23 Redovisning av höjt portryck med 10 kPa i leran, sektion 0/4900 (sektion B). För fullständig redovisning se Bilaga 6.

Känslighetsanalysen visar att en höjning av portrycket har en mycket begränsad inverkan på stabiliteten i sektionen.

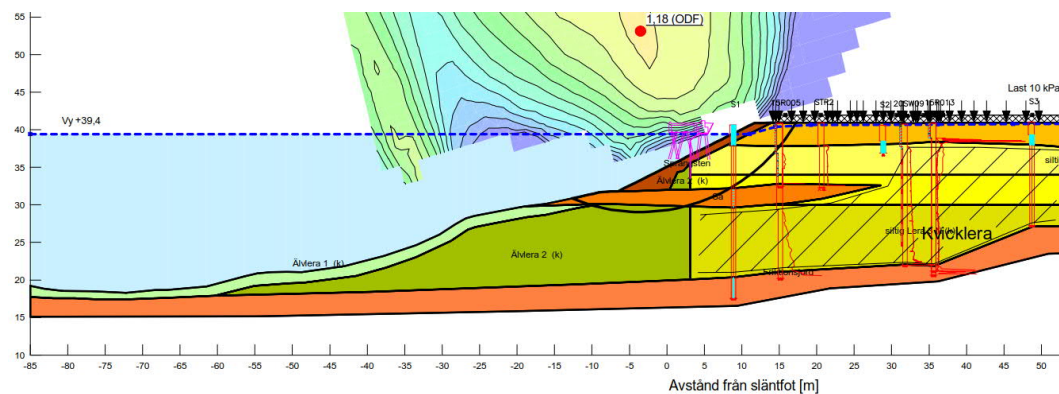
9.3.2.4 Beräkningsresultat åtgärdsförslag

Beräkningar har utförts för ett åtgärdsförslag med avschaktning av släntkrön till en lutning på 1:2 och utläggning av erosionsskydd med 1 meters mäktighet i Göta älv. Avschaktningen som erfordras sträcker sig cirka 14 meter in från strandlinjen varav 5 meter utgörs av befintlig betongkaj.

I Tabell 9 redovisas resultatet från utförda beräkningar för åtgärdsförslaget i sektion 0/4900. I Figur 24 redovisas den glidyta som har lägst beräknad säkerhet. Fullständiga beräkningsresultat redovisas i Bilaga 6.

Tabell 9 Beräkningsresultat för åtgärdsförslaget i sektion 0/4900 (sektion B).

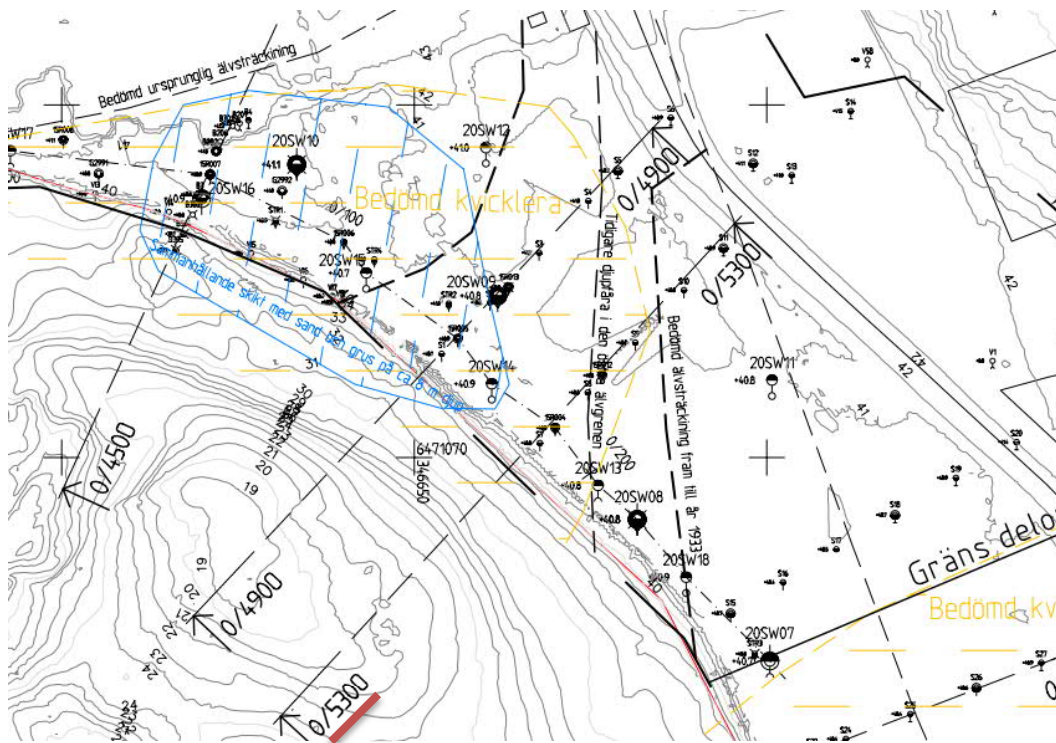
Sektion, Beräkningsfall	kombinerad analys F_{EN}	odränerad analys F_{EN}	Anmärkning
0/4900 (Sektion B) Åtgärdsförslag Anisotropi $K_0=0,65$ Last 10 kPa	004900KPA 1,18	004900UPA 1,24	Om avschaktningen minskas (optimeras) uppkommer ytliga glidytor som då inte uppfyller ställda krav



Figur 24 Beräkningsresultat sektion 0/4900 (004900KPA), $F_{EN}=1,18$ i kombinerad analys för åtgärdsförslag med avschaktning i lutning 1:2 och erosionsskydd. För fullständig redovisning av beräkningen se Bilaga 6.

9.3.3 Beräkningssektion km 0/5300 (sektion C) – i norra delområdet

Beräkningssektion 0/5300 ligger i befintlig betongkajs centrala del inom hamnområdet, relativt nära sektion 0/4900, se läget i Figur 25 och för detaljer och förklaringar hänvisas till ritning G-10-1-002. Sektionerna är dock olika då kajkonstruktionen skiljer sig åt. Anledning till att sektionen inte har placerats längre söder ut inom kajdelen beror också på att jorddjupet blir mindre samt att Göta älvs bottengeometri söderut är mindre kritisk, med flackare bottenlutning och mindre vattendjup.



Figur 25 Aktuell beräkningssektion 0/5300 markerat med rött.

I sektionen har beräkningar utförts för befintliga förhållanden, för känslighetsanalys med höjt portryck, 10 kPa i leran samt för erosion av botten med 1 respektive 2 meter. Beräkning har även utförts för en åtgärd som omfattar avschaktning av slänkrönet till en lutning på 1:2 samt utfyllnad med erosionskydd i vattenområdet.

I denna beräkningssektion finns arkivpunkter 15R004, 15R012 samt S7-S11. Punkt 20SW08 ligger sydost om sektionen där det utförts CPTu-R-sondering, vingförsök, störd och ostörd provtagning. Laboratorieundersökningar på de ostörda proverna omfattar rutinanalys, CRS-försök samt direkta skjuvförsök och aktiva triaxialförsök.

9.3.3.1 Befintliga förhållanden

Markytan i sektion 0/5300 är plan och varierar mellan nivå +40,4 och +41,1 och består av en hårdgjord asfaltsyta fram till cirka 88 meter bakom strandlinjen. På större avstånd från strandlinjen ligger Mälderistvägen som går på vägbank med körytan på nivån +42,2.

Utmed strandlinjen i sektionen finns en betongkaj från början av 1980-talet. Kajen är 4,3 meter bred och ansluter till ett äldre fundament för ett upphöjt kranspår. Kajen och fundamentet är pålade. På insidan av fundamentet finns en träspont som sattes innan

kajen byggdes. Både kajen och sponten uppvisar skador och deras tekniska livslängder bedöms vara passerade.

Undervattenslänthen med naturligt lagrad jord börjar vid sponten, vilken är cirka 5,1 meter innanför betongkajens ytterkant. Vattendjupet är vid sponten cirka 1,4 meter.

Undervattenslänthen sluttar sedan i en relativt jämn lutning (1:3) till ett vattendjup av 15,5 meter knappt 40 meter utanför kajen. Utanför kajen finns en viss försänkning från den jämna lutningen som bedöms ha uppkommit till följd av propellererosion. Som djupast är älven i denna sektion cirka 19 meter djup, se Figur 26.

Det största djupet till fast botten i sektionen uppgår till cirka 16 meter i anslutning till strandlinjen. Djupet avtar sedan något och är cirka 10 meter vid Mälderistvägen i öster. Under den hårdgjorda ytan finns 2,7 till 5 meter fyllning. På den delen i sektion där fyllningsmaktigheten är 5 meter (cirka 14 meter lång sträcka) sammanfaller det med den igenfyllda östra älvgrenen som korsar sektionen. Fyllningen vilar på en siltig lera med tunna silt- och sandskikt. I sektionen finns dock inga sammanhängande skikt med friktionsjord.

Sensitiviteten i punkterna i S11 och 20SW08 varierar mellan 10 och 34. Punkt S11 ligger cirka 85 meter från strandlinjen och punkt 20SW08 ligger cirka 36 meter sydöst om sektionen. Utförd CPTu i punkt 15R004 visar att spetstrycket är konstant från djupet 12 meter och ner till fast botten. Resultatet från CPTu i punkt 15R004, tillsammans med att det förekommer ett sammanhängande skikt med kvicklera i nordväst, gör att bedömningen är att det kan finnas kvicklera även i denna sektion, trots låga sensitivitetvärden i punkterna S11 och 20SW08.

9.3.3.2 ***Beräkningsresultat befintliga förhållanden***

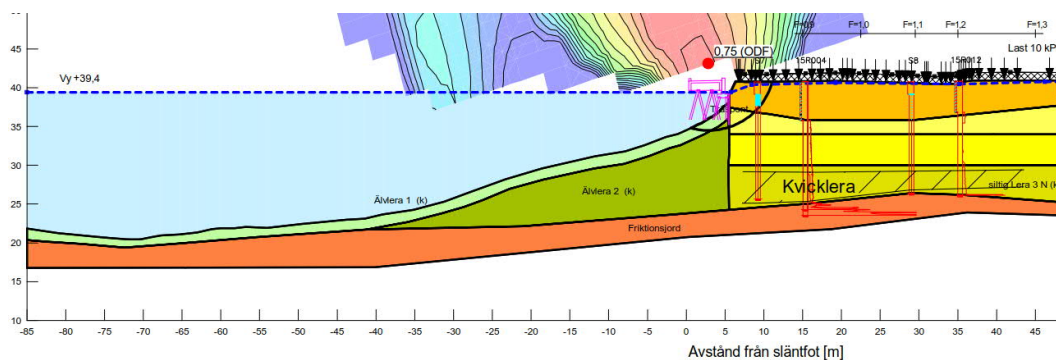
Utförda beräkningar för befintliga förhållanden visar att erforderliga stabilitetskrav inte uppfylls för varken odränerad eller kombinerad analys med 10 kPa last eller helt obelastad markyta.

På ritning G-10-1-003 redovisas skredutbredningen från den djupaste glidyten för $F_{EN}=1,0$ vid 10 kPa belastning på marken. Glidyten bedöms nå ner till kvickleran. De låga beräknade säkerhetsfaktorerna mot brott förutsätter att träsponten under kajen är intakt.

I Tabell 10 redovisas en sammanställning av resultaten från utförda beräkningar för befintliga förhållanden i sektion 0/5300. I Figur 26 redovisas den glidyta som har lägst beräknad säkerhet. Fullständiga beräkningsresultat redovisas i Bilaga 6.

Tabell 10 Sammanställning av beräkningsresultat för befintliga förhållanden i sektion 0/5300 (sektion C).

Sektion, Beräkningsfall	kombinerad analys F_{EN}	odränerad analys F_{EN}	Anmärkning
0/5300 (Sektion C) Befintligt, med spont Anisotropi $K_0=0,65$ Last 0 kPa	00530OKPB1 0,79	00530OUPB1 1,07	Förutsätter att träsponten innanför fundamentet vid kajen är intakt Teoretiskt brott sker för kombinerad analys vid $F_{EN}=0,80$ (cirka 90% dränerad)
0/5300 (Sektion C) Befintligt, med spont Anisotropi $K_0=0,65$ Last 10 kPa	00530OKPB2 0,75	00530OUPB2 0,93	Förutsätter att träsponten innanför fundamentet vid kajen är intakt Teoretiskt brott sker för kombinerad analys vid $F_{EN}=0,78$ (cirka 70% dränerad)



Figur 26 Beräkningsresultat för befintliga förhållanden i sektion 0/5300 (00530OKPB2), $F_{EN}=0,75$ i kombinerad analys och last 10 kPa. Skrafferingen visar tolkad kvicklera med osäkert avslut under älven. För fullständig redovisning av beräkningen se Bilaga 6.

Utförda beräkningar visar att förstärkningsåtgärder erfordras. Beräknade säkerhetsfaktorer är mycket låga och för kombinerad analys är de lägre än för ett teoretiskt brott, både för helt obelastad mark och med 10 kPa belastning.

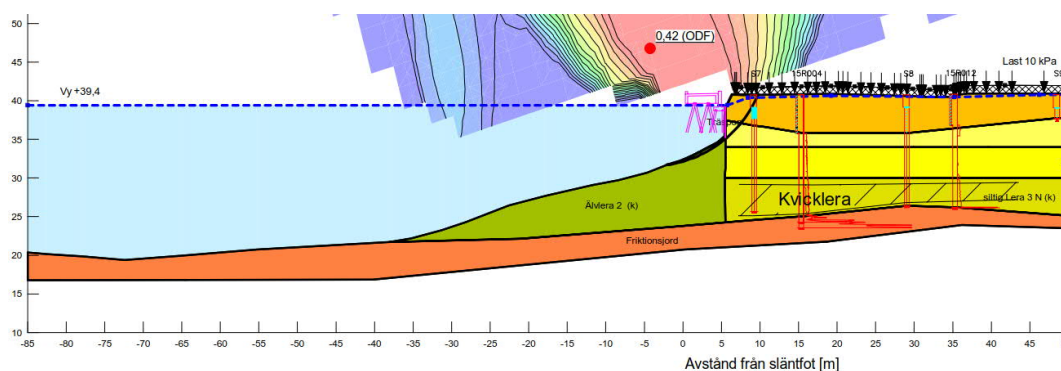
9.3.3.3 Beräkningsresultat känslighetsanalys

En känslighetsanalys har utförts för en höjning av portrycket med 10 kPa i leran på land. Känslighetsanalys har även utförts för erosion av älvbotten med 1 respektive 2 meter, se Figur 27. I analysen med portryckshöjning har den utförts genom att lägga till en grundvattenyta som ligger 1 meter högre än den valda (dimensionerande). I fyllningen är trycket fortfarande hydrostatiskt från den valda grundvattenytan, och höjningen påverkar endast leran. Känslighetsanalys för erosion av älvbotten har utförts med sänkning med 1 respektive 2 m hela vägen fram till sponten.

I Tabell 11 redovisas en sammanställning av resultaten för känslighetsanalyserna i sektion 0/5300 samt säkerhetsfaktorns minskning i procent i förhållande till befintliga förhållanden. I Figur 27 redovisas den glidyta som har lägst beräknad säkerhet vid 2 meter erosion. Fullständiga beräkningsresultat redovisas i Bilaga 6.

Tabell 11 Sammanställning av beräkningsresultat för känslighetsanalyser i sektion 0/5300 (sektion C).

Sektion, Beräkningsfall	kombinerad analys	odränerad analys	Anmärkning
	F_{EN}	F_{EN}	
0/5300 (Sektion C) Höjt portryck med 10 kPa, Anisotropi $K_0=0,65$ Last 10 kPa	00530OKPK1 0,73 (3%)	00530OUPK1 0,93 (0%)	Förutsätter att träsponten under kajen är intakt
0/5300 (Sektion C) Erosion 1 m, älvbotten (A1) Anisotropi $K_0=0,65$ Last 10 kPa	00530OKPK2 0,64 (15%)	00530OUPK2 0,87 (6%)	Förutsätter att träsponten under kajen är intakt
0/5300 (Sektion C) Erosion 2 m, älvbotten (A1) Anisotropi $K_0=0,65$ Last 10 kPa	00530OKPK3 0,42 (44%)	00530OUPK3 0,70 (25%)	Förutsätter att träsponten under kajen är intakt



Figur 27 Beräkningsresultat för känslighetsanalys för två meters erosion i sektion 0/5300 (00530OKPK3), $F_{EN}=0,42$ i kombinerad analys. För fullständig redovisning av beräkningen se Bilaga 6.

Känslighetsanalysen för höjning av portrycket visar att det har en begränsad inverkan i sektionen. Känslighetsanalyserna för erosion visar däremot att det har mycket stor påverkan i sektionen och redan vid 1 meters erosion leder det till att säkerhetsfaktorerna ligger långt under teoretiskt brott.

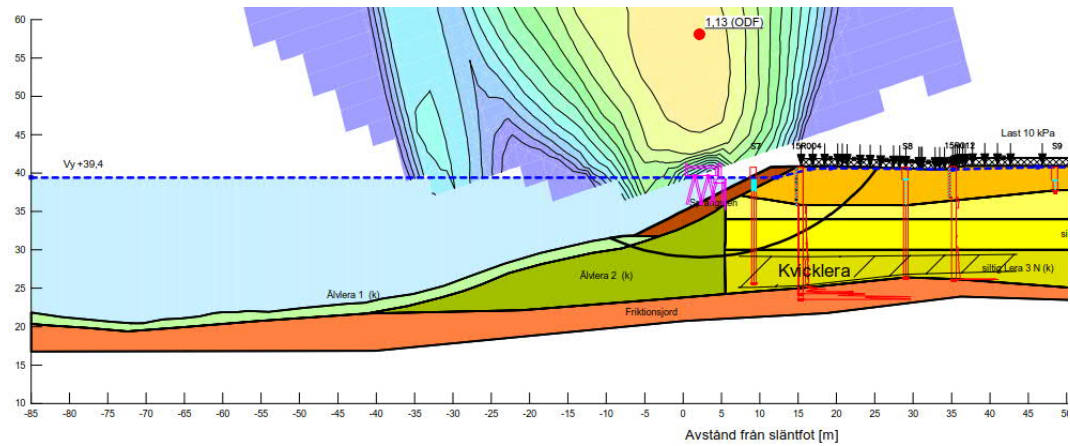
9.3.3.4 Beräkningsresultat åtgärdsförslag

Beräkningar har utförts för ett åtgärdsförslag med avschaktning av slänkrön till en lutning på 1:2 och utläggning av erosionsskydd med 1 meters mäktighet i Göta älv. Avschaktningen som erfordras sträcker sig cirka 15 meter in från strandlinjen varav 5 meter utgörs av befintlig betongkaj.

I Tabell 12 redovisas resultatet för utförda beräkningar för åtgärdsförslaget i sektion 0/5300. I Figur 28 redovisas den glidyta som har lägst beräknad säkerhet. Fullständiga beräkningsresultat redovisas i Bilaga 6.

Tabell 12 Beräkningsresultat för åtgärdsförslaget i sektion 0/5300 (sektion B).

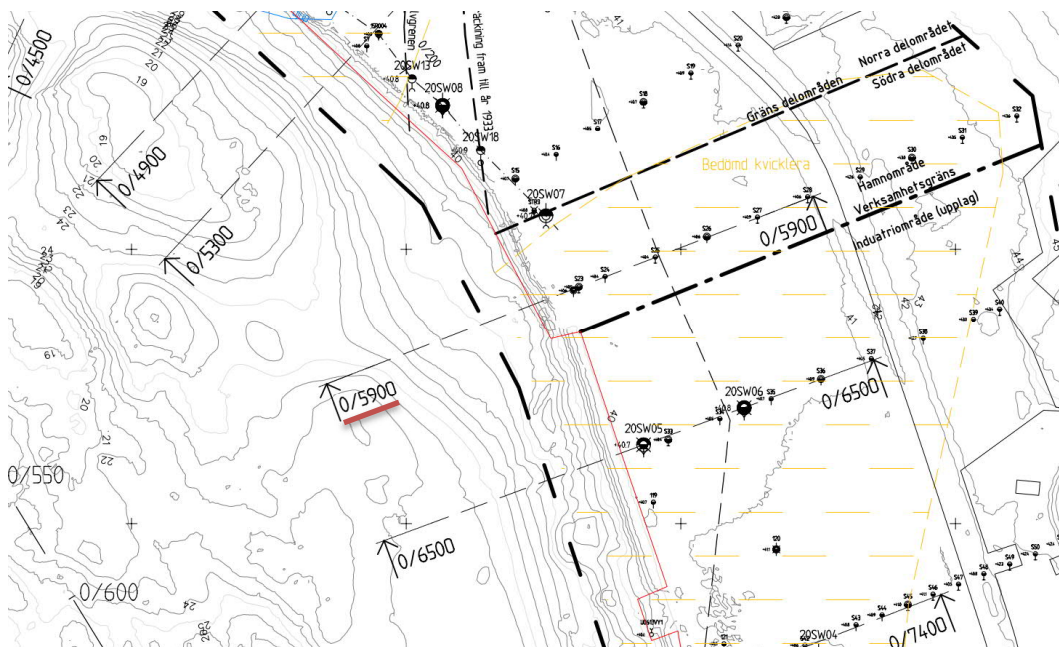
Sektion, Beräkningsfall	kombinerad analys	odränerad analys	Anmärkning
	F_{EN}	F_{EN}	
0/530 (Sektion C) Åtgärdsförslag Anisotropi $K_0=0,65$ Last 10 kPa	00530OKPA 1,13	00530OUPA 1,14	



Figur 28 Beräkningsresultat sektion 0/5300 (00530OKPA), $F_{EN}=1,13$ med kombinerad analys, för åtgärdsförslag med avschaktning och erosionsskydd i lutning 1:2. För fullständig redovisning av beräkningen se Bilaga 6.

9.3.4 Beräkningssektion km 0/5900 (sektion D) – i södra delområdet

Beräkningssektion 0/5900 är belägen i hamnområdets södra del, precis innan det befintliga erosionskyddet börjar söderut, men sektionen tillhör det södra delområdet avseende valda beräkningsparametrar, se läget i Figur 29 för detaljer och förklaringar hänvisas till ritning G-10-1-002.



Figur 29 Aktuell beräkningssektion 0/5900 markerat med rött.

I sektionen har beräkningar utförts för befintliga förhållanden, för känslighetsanalys med höjt portryck med 10 kPa i leran samt för en stabilitetsåtgärd. Åtgärdsförslaget omfattar avschaktning av slänkrönet till en lutning på 1:2, samt utfyllnad med erosionskydd i vattenområdet.

I denna beräkningssektion finns arkivpunkterna 15R001 och S23-S28.

9.3.4.1 *Befintliga förhållanden*

Markytan i sektion 0/5900 är plan och varierar mellan nivå +40,6 och +40,9. Närmast strandlinjen utgörs markytan av en hårdjord asfaltsyta och där bakom finns en befintlig bottenplatta.

Utmed strandlinjen finns en träkaj som är i mycket dåligt skick. För de bakomliggande konstruktionerna i sektionen finns det inga uppgifter att tillgå. I beräkningarna för befintliga förhållanden har antagandet gjorts att det sitter en liknande träspont som i området norr om sektionen.

Utförd batymetrisk sjömätning börjar vid ett vattendjup av cirka 1,4 m. Undervattenslätten faller brant (cirka 1:1,5) ner till ett vattendjup av cirka 9 meter. Efter den branta delen är botten mycket flack till ett avstånd av 40 meter från strandlinjen där slänten åter blir något brantare, se Figur 30. Som djupast är älven i denna sektion cirka 16 meter djup.

Det största djupet till fast botten i sektionen uppgår till cirka 26 meter i anslutning till strandlinjen (punkt S23). Djupet avtar sedan mot öster och är cirka 19 meter i den östra delen av området. Under den hårdgjorda ytan finns 0,7 till 3,5 meter fyllning som har störst mäktighet i anslutning till strandlinjen. Under fyllningen följer siltig lera med silt- och sandskikt.

Sensitiviteten varierar mellan 10 och 150. Den siltiga leran bedöms vara kvick från cirka halva lerlagrets mäktighet och ner till fast botten.

9.3.4.2 Beräkningsresultat befintliga förhållanden

Utförda beräkningar för befintliga förhållanden visar att erforderliga krav inte uppfylls för varken odränerad eller kombinerad för helt obelastad mark och med 10 kPa belastning.

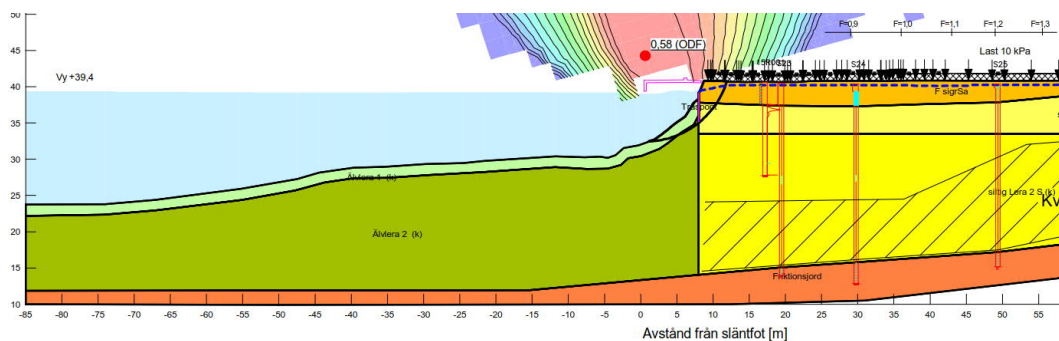
På ritning G-10-1-003 redovisas skredutbredningen från den djupaste glidyta för $F_{EN}=1,0$ vid 10 kPa belastning på marken. Glidyta bedöms nå ner till kvickleran.

De låga beräknade säkerhetsfaktorerna mot brott förutsätter att det finns en träsponten som når samma djup som i sektion 0/5300 och att den är intakt.

I Tabell 13 redovisas en sammanställning av resultaten från utförda beräkningar för befintliga förhållanden i sektion 0/5900. I Figur 30 redovisas den glidyta som har lägst beräknad säkerhet. Fullständiga beräkningsresultat redovisas i Bilaga 7.

Tabell 13 Sammanställning av beräkningsresultat för befintliga förhållanden i sektion 0/5900 (sektion D).

Sektion, Beräkningsfall	kombinerad analys F_{EN}	odränerad analys F_{EN}	Anmärkning
0/5900 (Sektion D) Befintligt, med spont Anisotropi $K_0=0,65$ Last 0 kPa	005900KPB1 0,61	005900UPB1 0,99	Förutsätter att det finns en träsponten som är intakt Teoretiskt brott sker för kombinerad analys vid $F_{EN}=0,81$ (cirka 98% dränerad)
0/5900 (Sektion D) Befintligt, med spont Anisotropi $K_0=0,65$ Last 10 kPa	005900KPB2 0,58	005900UPB2 0,85	Förutsätter att det finns en träsponten som är intakt Teoretiskt brott sker för kombinerad analys vid $F_{EN}=0,81$ (cirka 98% dränerad)



Figur 30 Beräkningsresultat för befintliga förhållanden i sektion 0/5900 (005900KPB2), $F_{EN}=0,58$, kombinerad analys och last 10 kPa. Skrafferingen visar tolkad kvicklera med osäkert avslut under älven. För fullständig redovisning av beräkningen se Bilaga 7.

Utförda beräkningar visar att förstärkningsåtgärder erfordras. Beräknade säkerhetsfaktorer är mycket låga och för kombinerad analys är de lägre än för ett teoretiskt brott både för helt obelastad mark och med 10 kPa last.

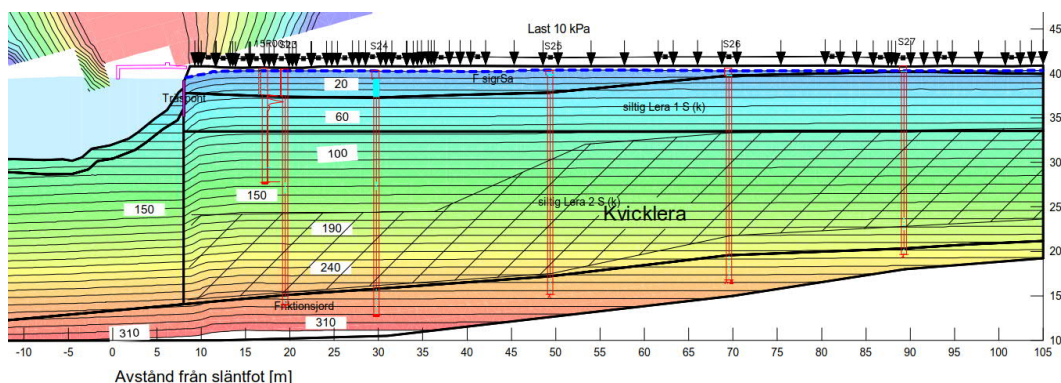
9.3.4.3 *Beräkningsresultat känslighetsanalys*

I sektion 0/5900 har känslighetsanalys utförts för en höjning av porttrycket med 10 kPa i leran på land. Höjningen har utförts genom att porttrycket ökats med 10 kPa från det dimensionerande (valda) trycket vilket är högre än hydrostatiskt, se Figur 31.

I Tabell 14 redovisas en sammanställning av resultaten med säkerhetsfaktorer för känslighetsanalysen i sektion 0/5900 samt säkerhetsfaktorers minskning i procent i förhållande till befintliga förhållanden. I Figur 31 redovisas det förhöjda porttrycket (10 kPa) i leran. Fullständiga beräkningsresultat redovisas i Bilaga 7.

Tabell 14 Sammanställning av beräkningsresultaten för känslighetsanalys i sektion 0/5900 (sektion D).

Sektion, Beräkningsfall	kombinerad analys	odränerad analys	Anmärkning
	F_{EN}	F_{EN}	
0/5900 (Sektion D) Höjt porttryck med 10 kPa, Anisotropi $K_0=0,65$ Last 10 kPa	005900OKPK 0,50 (14%)	005900OUPK 0,84 (1%)	Förutsätter att det finns en träsponten som är intakt



Figur 31 Redovisning av höjt porttryck med 10 kPa i leran, sektion 0/5900 (sektion D). För fullständig redovisning se Bilaga 7.

Känslighetsanalysen visar att ett höjt porttryck har en betydande inverkan på säkerheten, som minskar med upp till 14% i kombinerad analys. Beräknad säkerhetsfaktor är betydligt lägre än säkerhetsfaktorn för teoretiskt brott.

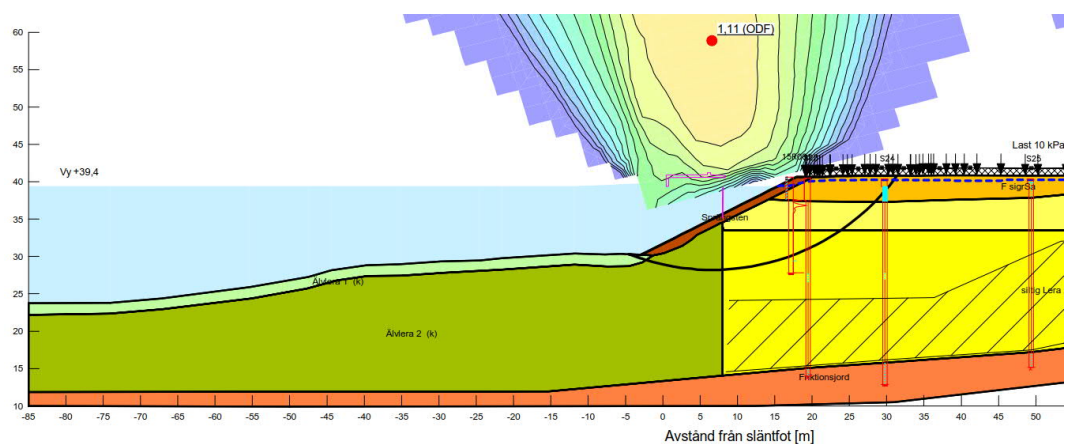
9.3.4.4 *Beräkningsresultat åtgärdsförslag*

Beräkningar har utförts för ett åtgärdsförslag som omfattar avschaktning av släntrönn till en lutning på 1:2 och utläggning av erosionsskydd med 1 meters mäktighet i Göta älv. Avschaktningen som erfordras sträcker sig cirka 20 meter in från strandlinjen varav 8 meter utgörs av befintlig träkaj.

I Tabell 15 redovisas resultatet för utförda beräkningar för åtgärdsförslaget i sektion 0/5900. I Figur 32 redovisas den glidyta som har lägst beräknad säkerhet. Fullständiga beräkningsresultat redovisas i Bilaga 7.

Tabell 15 Sammanställning av beräkningsresultat för åtgärdsförslag i sektion 0/5900 (sektion D).

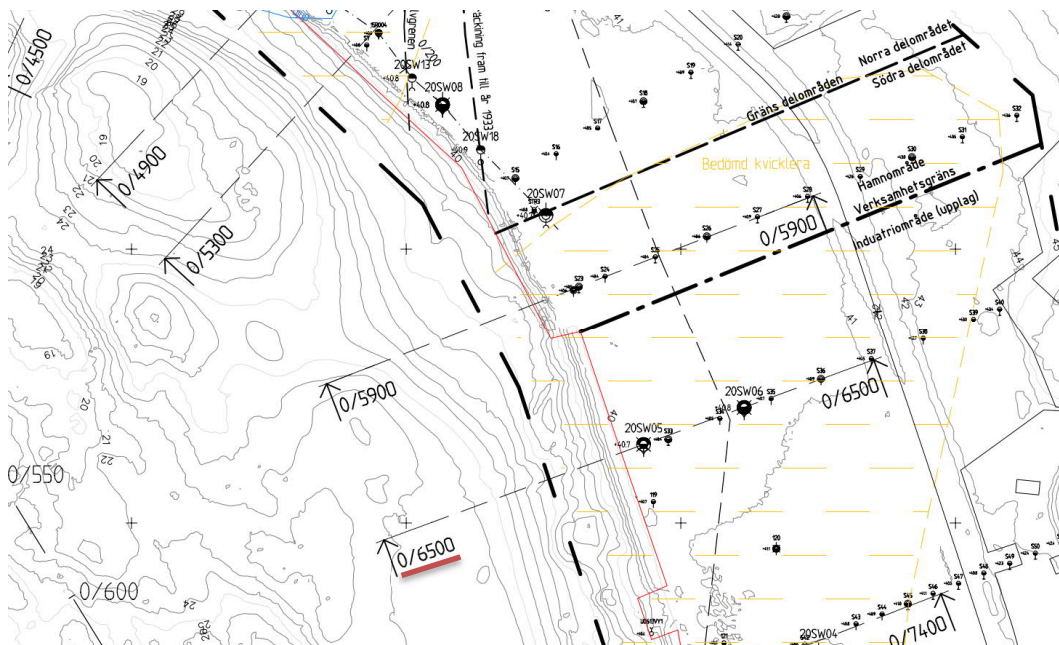
Sektion, Beräkningsfall	kombinerad analys F_{EN}	odränerad analys F_{EN}	Anmärkning
0/5900 (Sektion D) Åtgärdsförslag Anisotropi $K_0=0,65$ Last 10 kPa	005900KPA 1,11	005900UPA 1,14	



Figur 32 Beräkningsresultat sektion 0/5900 (005900KPA), $F_{EN}=1,11$ i kombinerad analys, för åtgärdsförslag med avschaktning och erosionskydd i lutning 1:2. För fullständig redovisning av beräkningen se Bilaga 7.

9.3.5 Beräkningssektion km 0/6500 (sektion E) – i södra delområdet

Beräkningssektion 0/6500 är belägen i den norra delen av sträckan med befintligt erosionsskydd inom område för industriområde/upplagsyta, se läget i Figur 33. För detaljer och förklaringar hänvisas till ritning G-10-1-002.



Figur 33 Aktuell beräkningssektion 0/6500 markerat med rött.

I sektionen har beräkningar utförts för befintliga förhållanden. Beräkningar har även utförts för känslighetsanalys med höjt portryck på 10 kPa i leran samt känslighetsanalys för erosion av älvbotten med 1 respektive 2 meter.

I denna beräkningssektion finns de nu utförda punkten 20SW05 och 20SW06 samt arkivpunkter S33-S36. I punkt 20SW05 har det utförts CPTu-R-sondering, vingförsök och störd provtagning. I punkt 20SW06 har det utförts CPTu-R-sondering, vingförsök, störd respektive ostörd provtagning. Laboratorieundersökningar på de ostörda proverna omfattar rutinanalys, CRS-försök samt direkta skjuvförsök och aktiva triaxialförsök.

9.3.5.1 *Befintliga förhållanden*

Markytan i sektion 0/6500 är plan och varierar mycket lite mellan nivå +40,7 och +40,9 och utgörs av en hårdgjord asfaltsyta. Utmed strandlinjen i sektionen finns ett erosionsskydd som bedöms vara i mycket bra skick.

Utförd batymetrisk sjömätning visar att erosionsskyddet under vattenytan ligger i en lutning på cirka 1:1,4. Undervattensslänts faller därefter svag (cirka 1:4) till Göta älvs största vattendjupet i sektionen, där djupet är cirka 16,5 meter.

Det största djupet till fast botten i sektionen uppgår till cirka 28 meter (punkt S34) något öster om strandlinjen. Djupet avtar därefter mot öster och är cirka 20 meter vid Målderistvägen. Djupet till fast botten minskar även lokalt mot strandlinje, till cirka 24 meter i punkt 20SW05, se Figur 34. Under den hårdgjorda ytan finns 0,5 till 2,7 meter

med fyllning. Under fyllningen följer en siltig lera med mindre inslag av gyttja i de övre delarna och ytligt finns även tunna silt- och sandskikt i leran.

Sensitiviteten varierar mellan 50 och 485 och ökar mot djupet. Leran bedöms vara kvick i nästan hela lerprofilen från strandlinjen och cirka 50 meter åt öster, in mot land. I sektionens östra del bedöms kvicklera finnas från cirka halva lerprofilen och ner till fast botten.

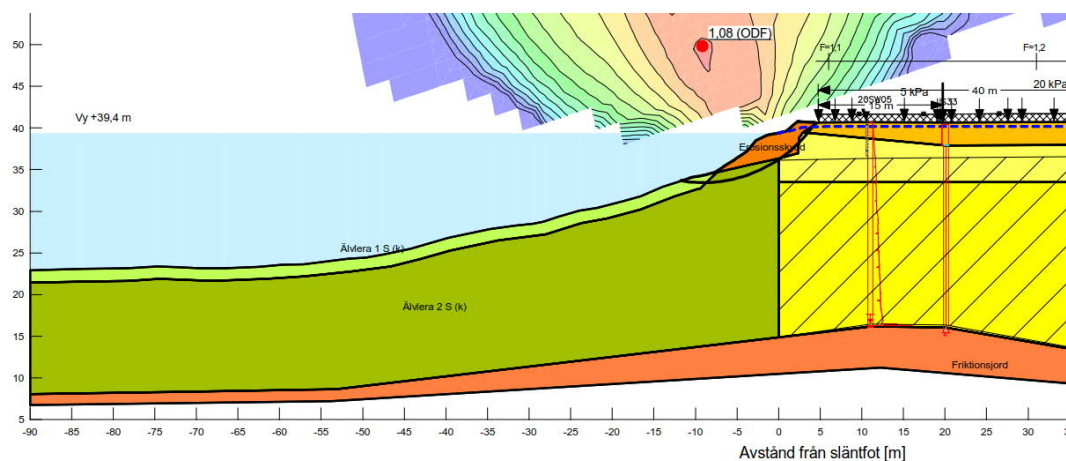
9.3.5.2 Beräkningsresultat befintliga förhållanden

Utförda beräkningar visar att för odränerad analys är stabilitetskravet uppfyllt men för kombinerad analys är säkerhetsfaktorn precis under erforderliga krav, se Figur 34. Samtliga beräkningar har utförts för de markbelastningar som anges i gällande detaljplan, se avsnitt 9.2.3.

I Tabell 16 redovisas en sammanställning av resultaten från utförda beräkningar för befintliga förhållanden i sektion 0/6500. I Figur 34 redovisas den glidyta som har lägst beräknad säkerhet. Fullständiga beräkningsresultat redovisas i Bilaga 7.

Tabell 16 Sammanställning av beräkningsresultat för befintliga förhållanden i sektion 0/6500 (sektion E).

Sektion, Beräkningsfall	kombinerad analys F_{EN}	odränerad analys F_{EN}	Anmärkning
0/6500 (Sektion E) Befintligt, med erosionsskydd Anisotropi $K_{\sigma}=0,65$ Last enligt DP (5, 20, 40 kPa)	006500KPB 1,08	006500UPB 1,20	



Figur 34 Beräkningsresultat för befintliga förhållanden i sektion 0/6500 (006500KPB), $F_{EN}=1,08$ i kombinerad analys och med last enligt detaljplan. Skrafferingen visar tolkad kvicklera på land, med osäkert avslut under älven. För fullständig redovisning av beräkningen se Bilaga 7.

I sektionen är den framräknade säkerhetsfaktorn precis under gällande krav enligt partialkoefficientmetoden för kombinerad analys ($F_{EN}=1,08$). I Bilaga 8 redovisas även att stabiliteten kontrollerats för totalsäkerhetsanalys (enligt Rapport 4:2010) vilket visar på en

säkerhetsfaktor $F_{komb}=1,35$ för samma glidyta. Bedömning är därför att sektionen kan klassas som tillfredställande ur stabilitetssynpunkt för befintliga förhållanden.

9.3.5.3 *Beräkningsresultat känslighetsanalys*

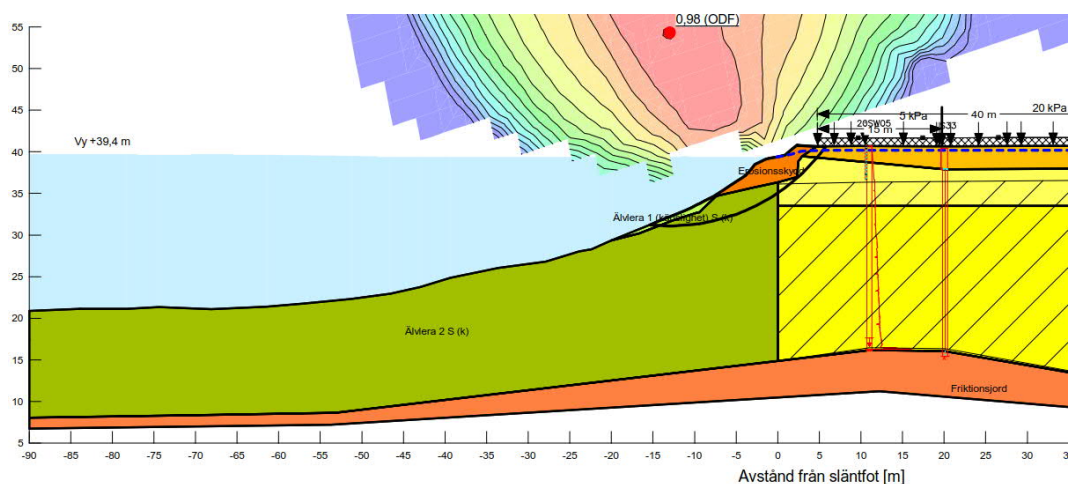
I sektion 0/650O har känslighetsanalyser utförts dels för en höjning av portrycket med 10 kPa i leran på land samt även beräkning för erosion av älvbotten med 1 respektive 2 meter. Höjningen av portrycket har utförts genom att portrycket ökats med 10 kPa från det dimensionerande (valda) trycket vilket är högre än hydrostatiskt, se Figur 31.

Känslighetsanalys för erosion av älvbotten har utförts enligt Figur 16 Erosion i älvbotten enligt fall A1 (se DGA00XST01).

I Tabell 17 redovisas en sammanställning av säkerhetsfaktorerna för känslighetsanalysen i sektion 0/650O samt säkerhetsfaktorers minskning i procent från befintliga förhållanden. I Figur 35 redovisas den glidyta som har lägst beräknad säkerhet. Fullständiga beräkningsresultat redovisas i Bilaga 7.

Tabell 17 Sammanställning av beräkningsresultat för känslighetsanalys i sektion 0/650O (sektion E).

Sektion, Beräkningsfall	kombinerad analys F_{EN}	odränerad analys F_{EN}	Anmärkning
0/650O (Sektion E) Höjt portryck med 10 kPa, med spont Anisotropi $K_0=0,65$ Last enligt DP (5, 20, 40 kPa)	00650OKPK1 0,97 (10%)	00650OUPK1 1,20 (0%)	
0/650O (Sektion E) Erosion 1 m, älvbotten (A1) Anisotropi $K_0=0,65$ Last enligt DP (5, 20, 40 kPa) Last 10 kPa	00650OKPK2 0,99 (8%)	00650OUPK2 1,17 (3%)	
0/650O (Sektion E) Erosion 2 m, älvbotten (A1) Anisotropi $K_0=0,65$ Last enligt DP (5, 20, 40 kPa)	00650OKPK3 0,98 (9%)	00650OUPK3 1,14 (5%)	

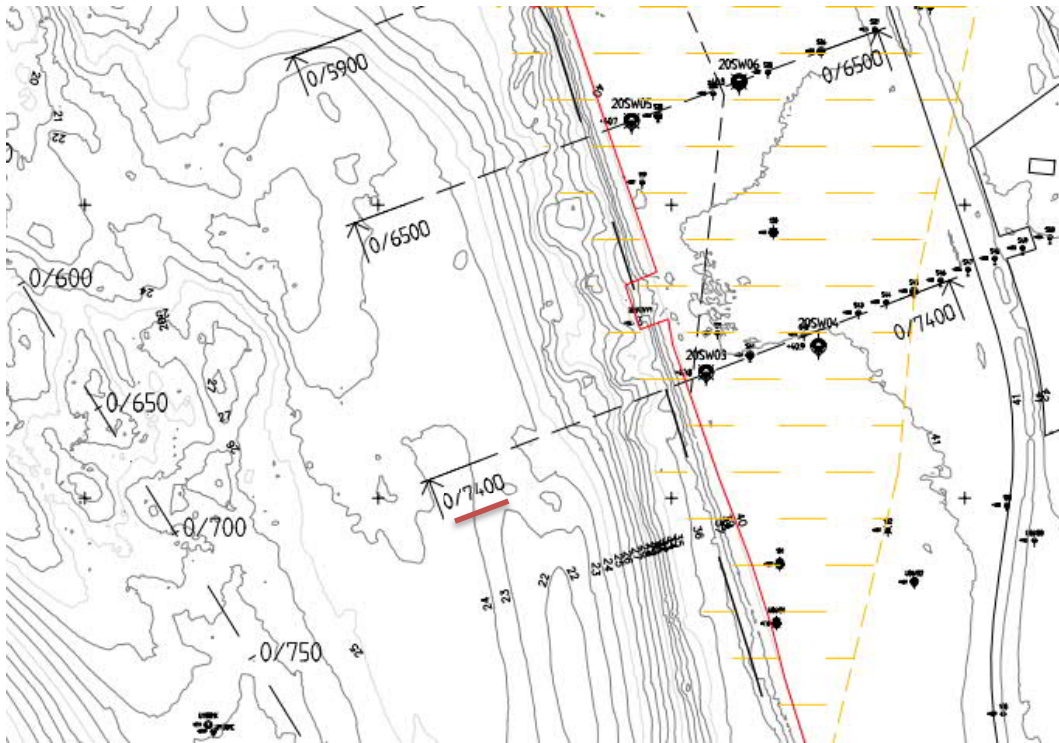


Figur 35 Beräkningsresultat för känslighetsanalys för två meters erosion i sektion 0/6500 (006500KPK3), $F_{EN}=0,98$ i kombinerad analys och med last enligt detaljplan. För fullständig redovisning av beräkningen se Bilaga 7.

Känslighetsanalyserna visar att varken en höjning av portrycket eller erosion i älvleran har så stor inverkan på säkerheten mot brott. Säkerhetsfaktorn minskar som mest med 10% vid höjt portryck och med 9% vid erosion med 2 meter i älven. Erforderliga krav uppfylls då fortfarande för beräkning i odränerad analys.

9.3.6 Beräkningssektion km 0/7400 (sektion F) – i södra delområdet

Beräkningssektion 0/7400 är belägen i mitten av det södra delområdet, inom område för industriområde/upplagsyta, se läget i Figur 36 och för detaljer och förklaringar hänvisas till ritning G-10-1-002.



Figur 36 Aktuell beräkningssektion 0/7400 markerat med rött.

I sektionen har beräkningar utförts för befintliga förhållanden och för känslighetsanalys med höjt portryck med 10 kPa i leran.

I denna beräkningssektion finns de nu utförda punkten 20SW03 och 20SW04 samt arkivpunkterna S41-S46. I punkt 20SW03 har det utförts CPTu-R-sondering, vingförsök och störd provtagning. I punkt 20SW04 har det utförts CPTu-R-sondering, störd provtagning samt installerats tre portrycksspetsar och ett grundvattenrör.

9.3.6.1 *Befintliga förhållanden*

Markytan i sektion 0/7400 är plan och varierar mellan nivå +40,7 och +41,7 och marken är gräsbevuxen. Sektionen ligger precis söder om den stora hårdgjorda ytan i området.

Utmed strandlinjen i sektionen finns ett erosionsskydd som bedöms vara i mycket bra skick. Utförd batymetrisk sjömätning visar att erosionsskyddet under vattenytan ligger i en lutning på cirka 1:1. Undervattensslänten har sedan en lutning på cirka 1:3 ner till ett vattendjup av cirka 11 meter. Undervattensslänten faller därefter svagt till Göta älvs största vattendjupet i sektionen, där djupet är cirka 16 meter se Figur 37.

Det största djupet till fast botten i sektionen uppgår till cirka 33 meter (punkt 20SW03). Djupet till fast botten avtar sedan något mot öster och är cirka 28 meter i sektionens östra del. Jordprofilen består övers av cirka 0,7 till 1,1 meter fyllning. Under fyllningen följer en siltig lera.

Sensitiviteten varierar mellan 10 och 100. Den siltiga leran bedöms vara kvick i större delen av lerlagret vid strandlinje. Kviklerans omfattning bedöms minska mot öster, se Figur 37, framförlt i den övre delen av lerprofilen.

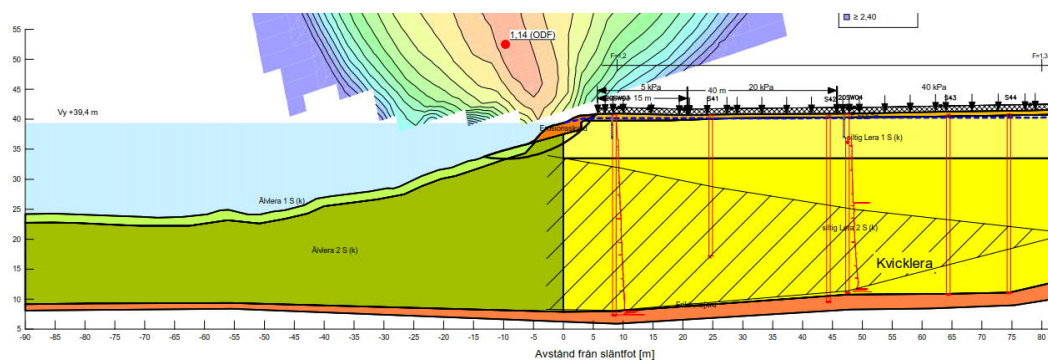
9.3.6.2 *Beräkningsresultat befintliga förhållanden*

Utförda beräkningar visar att framräknad säkerhetsfaktor uppfyller erforderliga krav. Samtliga beräkningar har utförts för de markbelastningar som anges i gällande detaljplanen, se avsnitt 9.2.3.

I Tabell 18 redovisas en sammanställning av resultaten från utförda beräkningar för befintliga förhållanden i sektion 0/7400. I Figur 37 redovisas den glidyta som har lägst beräknad säkerhet. Fullständiga beräkningsresultat redovisas i Bilaga 7.

Tabell 18 Sammanställning av beräkningsresultat för befintliga förhållanden i sektion 0/7400 (sektion F).

Sektion, Beräkningsfall	kombinerad analys F_{EN}	odränerad analys F_{EN}	Anmärkning
0/7400 (Sektion F) Befintligt, med erosionsskydd Anisotropi $K_0=0,65$ Last enligt DP (5, 20, 40 kPa)	007400KPB 1,14	007400UPB 1,25	



Figur 37 Beräkningsresultat för befintliga förhållanden i sektion 0/7400 (007400KPB), $F_{EN}=1,14$ i kombinerad analys och laster enligt detaljplan. Skrafferingen visar tolkad kvicklera på land, med osäkert avslut under älven. För fullständig redovisning av beräkningen se Bilaga 7.

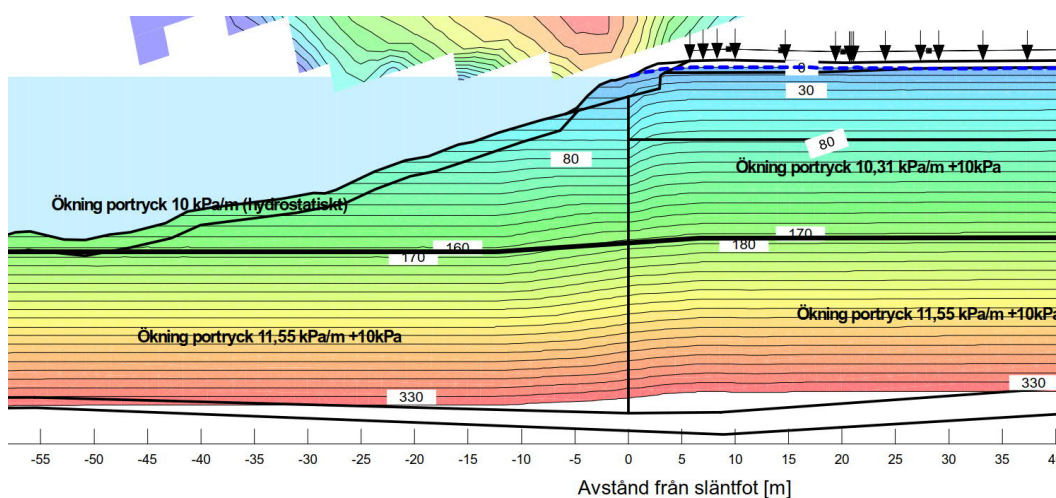
9.3.6.3 *Beräkningsresultat känslighetsanalys*

I sektion 0/7400 har en känslighetsanalys utförts för en höjning av portrycket med 10 kPa i leran på land. Höjningen har utförts genom att portrycket ökats med 10 kPa från det dimensionerande (valda) trycket vilket är högre än hydrostatiskt, se Figur 38.

I Tabell 19 redovisas en sammanställning av säkerhetsfaktorerna för känslighetsanalysen i sektion 0/7400 samt säkerhetsfaktorers minskning i procent i förhållande till befintliga förhållanden. I Figur 38 redovisas det förhöjda portrycket (10 kPa) i leran. Fullständiga beräkningsresultat redovisas i Bilaga 7.

Tabell 19 Sammanställning av beräkningsresultaten för känslighetsanalys i sektion 0/7400 (sektion F).

Sektion, Beräkningsfall	kombinerad analys F_{EN}	odränerad analys F_{EN}	Anmärkning
0/7400 (Sektion F) Höjt portryck med 10 kPa, med spont Anisotropi $K_0=0,65$ Last enligt DP (5, 20, 40 kPa)	007400OKPK 1,01 (11%)	007400OUPK 1,25 (0%)	

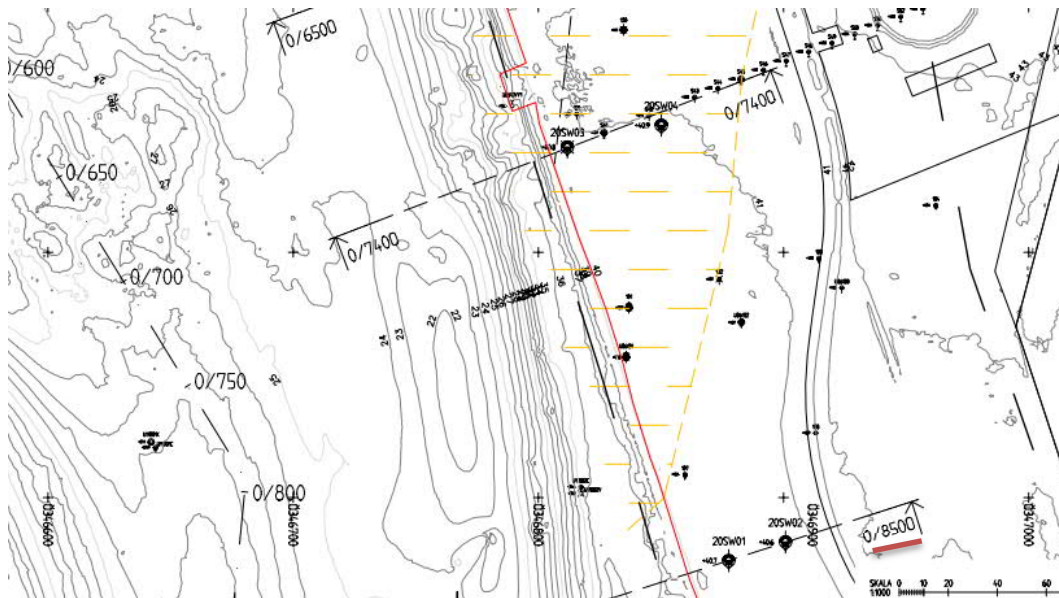


Figur 38 Redovisning av höjt portryck med 10 kPa i leran, sektion 0/7400 (sektion F). För fullständig redovisning se Bilaga 7.

Utförd känslighetsanalys visar att erforderliga krav uppfylls för odränerad analys med höjt portryck. I den kombinerade analysen minskar säkerheten mot brott med upp till 11% vilket innebär att erforderligt krav inte uppfylls.

9.3.7 Beräkningssektion km 0/8500 (sektion G) – i södra delområdet

Beräkningssektion 0/8500 är belägen i utredningsområdets södra del, inom område för industriområde/upplagsyta, se läget i Figur 39 och för detaljer och förklaringar hänvisas till ritning G-10-1-002.



Figur 39 Aktuell beräkningssektion 0/8500 markerat med rött.

I sektionen har beräkningar utförts för befintliga förhållanden och för en känslighetsanalys med höjt portryck med 10 kPa i leran.

I denna beräkningssektion finns de nu utförda punkterna 20SW01 och 20SW02. I punkterna har det utförts CPTu-R-sondering och störd provtagning.

9.3.7.1 *Befintliga förhållanden*

Markytan i sektion 0/8500 är plan och varierar svagt mellan nivå +40,6 och +40,8 och till ett avstånd av 50 meter från strandlinjen är marken gräsbevuxen. Längre öster ut går Mälderistvägen på låg bank med körytan på nivån cirka +41,3.

Utmed strandlinjen i sektionen finns ett erosionsskydd som bedöms vara i mycket bra skick. Utförd batymetrisk sjömätning visar att erosionsskyddet under vattenytan ligger i en lutning på cirka 1:3,5. Efter erosionsskyddet följer en undervattenhylla med vattendjup mellan 1,5 och 3 meter, till ett avstånd av 34 meter ut från strandlinjen.

Undervattensslänten faller därefter med en lutning på cirka 1:2,6 till Göta älvs största vattendjupet i sektionen som är cirka 15,5 meter, se Figur 40.

Det största djupet till fast botten i sektionen uppgår till cirka 53,5 meter (punkt 20SW01). Djupet till fast botten avtar sedan mot öster. Jordprofilen består övers av cirka 1 till 3,5 meter fyllning. Under fyllningen följer en siltig lera.

Inga laboratorieundersökningar har utförts i direkt anslutning till sektionen. Leran bedöms inte vara kvick utifrån utvärdering av indikationer på kvicklera (mobiliserad friktion) och utförda CPTu-R-sonderingar som visar att resistiviteten är lägre än 5 ohm/m, se Bilaga 4.

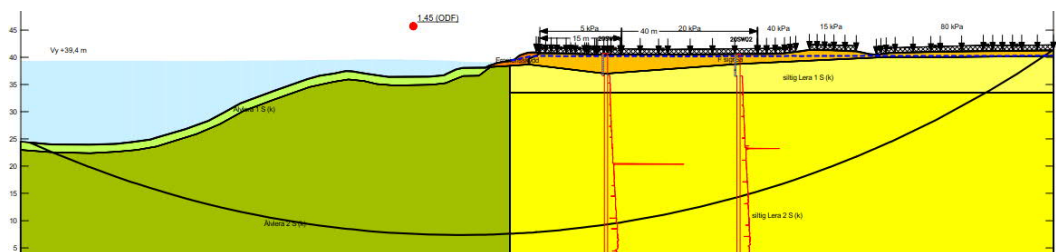
9.3.7.2 *Beräkningsresultat befintliga förhållanden*

Utförda beräkningar visar att framräknad säkerhetsfaktor uppfyller erforderliga krav. Samtliga beräkningar har utförts för de markbelastningar som anges i gällande detaljplanen, se avsnitt 9.2.3.

I Tabell 20 redovisas en sammanställning av resultaten från utförda beräkningar för befintliga förhållanden i sektion 0/8500. I Figur 40 redovisas den glidyta som har lägst beräknad säkerhet. Fullständiga beräkningsresultat redovisas i Bilaga 7.

Tabell 20 Sammanställning av beräkningsresultaten för befintliga förhållanden i sektion 0/8500 (sektion G).

Sektion, Beräkningsfall	kombinerad analys F_{EN}	odränerad analys F_{EN}	Anmärkning
0/8500 (Sektion G) Befintligt, med erosionsskydd Anisotropi $K_0=0,65$ Last enligt DP (5, 20, 40, 80 kPa)	008500KPB 1,45	008500UPB 1,46	



Figur 40 Beräkningsresultat för befintliga förhållanden i sektion 0/8500 (008500KPB), $F_{EN}=1,45$ i kombinerad analys och med laster enligt detaljplan. För fullständig redovisning av beräkningen se Bilaga 7.

9.3.7.3 *Beräkningsresultat känslighetsanalys*

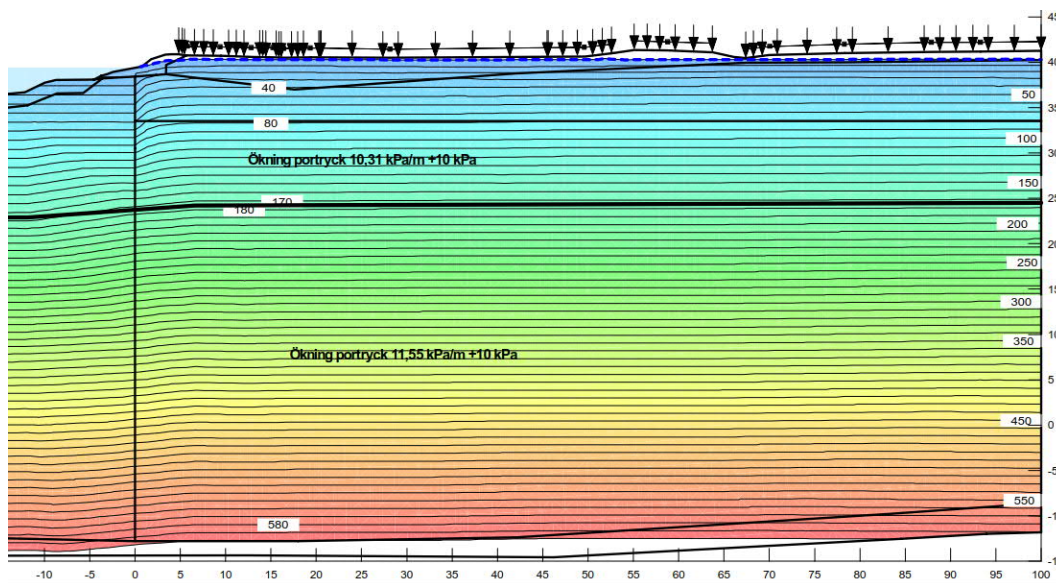
I sektion 0/8500 har känslighetsanalys utförts för en höjning av portrycket med 10 kPa i leran på land. Höjningen har utförts genom att portrycket ökats med 10 kPa från det dimensionerande (valda) trycket vilket är högre än hydrostatiskt.

Utförda känslighetsanalyser visar att beräkningarna uppfyller erforderliga stabilitetskrav både i odränerad och kombinerad analys.

I Tabell 21 redovisas en sammanställning av säkerhetsfaktorerna för känslighetsanalysen i sektion 0/8500 samt säkerhetsfaktorers minskning i procent från befintliga förhållanden. I Figur 41 redovisas det förhöjda portrycket (10 kPa) i leran. Fullständiga beräkningsresultat redovisas i Bilaga 7.

Tabell 21 Sammanställning av beräkningsresultat för känslighetsanalys i sektion 0/8500 (sektion G).

Sektion, Beräkningsfall	kombinerad analys F_{EN}	odränerad analys F_{EN}	Anmärkning
0/8500 (Sektion G) Höjt portryck med 10 kPa, Anisotropi $K_0=0,65$ Last enligt DP (5, 20, 40, 80 kPa)	00850OKPK 1,45 (0%)	00850OUPK 1,46 (0%)	



Figur 41 Redovisning av höjt portryck med 10 kPa i leran, sektion 0/8500 (sektion G). För fullständig redovisning se Bilaga 7.

Känslighetsanalysen visar att en höjning av portryck inte har någon inverkan på de dimensionerande glydytorna. Detta beror på att de är mycket djupa och nästan helt odränerade.

10 Åtgärdsförslag

För att erforderliga säkerhetskrav ska uppfyllas inom hamnområdet behöver stabilitetsförbättrande åtgärder utföras fram till befintligt erosionsskydd, se ritning G-10-1-003. Detta gäller oavsett om området utvecklas för hamnverksamhet enligt gällande detaljplan eller om det kommer att förbli obebyggt. Det finns alltså inget nollalternativ där det norra området kan lämnas som det är idag. Detta till följd av att konstruktionerna i hamnområdet redan idag är i dåligt skick och på sikt kommer dessa försämrats och gå till brott så att skred kan uppkomma även om markytan är helt obelastad.

Som förutsättning lämnad av SGI ska beräkningar för stabilitetsåtgärder inom hamnområdet, fram till det befintliga erosionsskyddet, utföras med en utbredd marklast på 10 kPa.

I det södra delområdet erfordras inga åtgärder då säkerhetskraven är uppfyllda. En förutsättning för detta är att de på plankartan angivna marklasterna inom industriområde/upplag inte överskrids.

Framtaget åtgärdsförslag i norr samt för befintliga förhållanden i söder förutsätter att ingen muddring utförs i Göta älv (vilket tillåts enligt gällande detaljplan).

10.1 Kalk- cementpelare (KC-pelare)

I tidigare utredningar har som stabilitetsförbättrande åtgärd, för att säkerställa stabiliteten för hamnverksamhet, visat på förslag med Kalk- cementpelare (KC-pelare) bakom den befintliga kajlinjen. Att utföra KC-pelare bedöms inte vara en genomförbar åtgärd i området med hänsyn till de heterogena fyllnadsmassorna, friktionsjordsskikt i leran samt kvarvarande grundrester. Till följd av detta har KC-pelare som stabilitetsförbättrande åtgärd avfärdats i denna utredning.

10.2 Spont

För att i den norra delen möjliggöra hamnverksamhet enligt detaljplan erfordras mycket omfattande stabilitetsförbättrande åtgärder. Erforderliga förstärkningsåtgärder har inte studerats i denna utredning. Dock görs bedömningen att den ekonomiskt och tekniskt mest fördelaktiga lösningen för att möjliggöra hamnverksamhet är att anlägga en spontkaj.

En permanent spont skulle uppfylla stabilitetskraven även om ny kaj och hamn inte anläggs. I det fallet, då det enbart skulle vara en stabilitetsförbättrande åtgärd, bedöms spont dock inte var det mest kostnadseffektiva alternativet. Spont har därför inte valts som åtgärdsförslag och inga beräkningar har därför utförts för det alternativet. Att uppföra en spontkaj för hamnverksamhet eller enbart en permanent spont för befintliga förhållanden är båda en åtgärd som innebär att skred förhindras helt.

10.3 Avschaktning och erosionsskydd

I utredningen har en åtgärd tagits fram för att säkerställa stabiliteten för hamnområdet, dock inte för hamnverksamhet. Åtgärd med avschaktning av slänkrön och erosionsskydd i älven bedöms vara det ekonomiskt mest fördelaktiga förslaget för att säkerställa stabiliteten i den norra delen av området. Både schaktarbeten och utfyllnader behöver då utföras i älven och det ska beaktas att arbeten i vatten är komplicerade och förenade med

osäkerheter. I arbetsskedet behövs en tillfällig spont i älven för att motverka grumling och att förorenade schaktmassor sprids. Den medför dock inte att arbetena kommer kunna bedrivas i torrhet.

För den norra delen har åtgärdsförslag med avschaktning och erosionsskydd utförts med en utbredd marklast på 10 kPa. För att uppnå gällande stabilitetskrav visar stabilitetsberäkningarna enligt partialkoefficientmetoden att det krävs att släntrönet schaktas av till en jämn lutning på 1:2. Avschaktningen behöver utföras inom Göta älvs vattenområde så att strandlinjen flyttas 14-20 meter (inräknat befintliga kajens bredd) åt öster och att hela slänten erosionsskyddas. Erosionsskyddet behöver huvudsakligen ha en mäktighet på 1 meter, men lokalt vid sektion 0/5300 behöver erosionsskyddet vara cirka 1,5 meter. Åtgärden innebär också att ytterligare utfyllnad i vattenområdet lokalt behöver utföras för angiven slänlutning ska erhållas.

10.3.1 Klimatkalkyl för avschaktning och erosionsskydd

En klimatkalkyl har tagits fram för det aktuella åtgärdsförslaget med avschaktning och erosionsskydd, se Bilaga 9.

Arbetsmoment som ingår i klimatkalkylen:

- Tillfällig spont installerad i vattenområdet. Schakten antas utföras i minst två etapper längs strandlinjen så att den tillfälliga sponten används två gånger (cirka halva totala spontmängden).
- Schakt inom landområdet bedöms ske i förorenade massor varför samtliga massor förutsätts transporteras till deponi och att det då tillkommer en miljöavgift. Komplexa schaktarbeten i vatten medför risker med flytbenägna jordarter och bristande lokalstabilitet.
- Fyllning med krossmaterial för erosionsskydd. Eventuellt arbete från pråm.

Arbetsmoment som inte ingår i klimatkalkylen är rivning av befintliga kajer och pålar. Detta för att det dels krävs för samtliga åtgärdsalternativ, dels för att det inte anses vara ett huvudsakligen geotekniskt relaterat arbetsmoment.

11 Slutsats

Beräkningar utförda i denna fördjupade utredning visar att erhållna säkerhetsfaktorer för befintliga förhållanden inom hamnområdet i den norra delen inte uppfyller gällande säkerhetskrav enligt partialkoefficientmetoden, $F_{EN}=1,1$ (SK3).

För att här erhålla tillfredställande stabilitet krävs omfattande stabilitetsförbättrande åtgärder. Åtgärder för hamnområdet behöver prioriteras, och tills att området har åtgärdats behöver det vara avspärrat.

Innan arbeten för att åtgärda stabiliteten påbörjas är det viktigt att fastställa hur området i framtiden ska nyttjas. Om norra området i framtiden ska nyttjas för hamnverksamhet bedöms den ekonomiskt mest fördelaktiga lösningen vara att anlägga en spontkaj. Detaljplanen medger hamnverksamhet i denna den norra delen, efter det att stabilitetsförbättrande åtgärder har utförts i tillräcklig omfattning. Vid beslut att området inte ska bebyggas bedöms den ekonomiskt mest fördelaktiga lösningen vara avschaktning och utläggning av erosionsskydd inom Göta älvs vattenområde enligt åtgärdsförslag framtaget i denna utredning.

För samtliga konstruktioner inom hamnområdet bedöms respektive teknisk livslängd vara passerad. Om någon kajkonstruktion skulle gå till brott finns en betydande risk för skred i anslutning till kajen, med efterföljande bakåtgripande skred. Stabiliteten i området kring den pålade betongkajen från tidigt 1980-tal, som samverkar med den betydligt äldre träsponten (okänt årtal), visar på mycket låga säkerheter. Detta trots att konstruktionerna i beräkningarna har förutsatts uppfylla sin funktion.

Utförda känslighetsanalyser visar dessutom att stabiliteten för hamnområdet är mycket känsligt för erosion av älvbotten. Bedömningen görs dock att erosionen i dagsläget är liten eller obefintlig och att tidigare erosion främst uppstått till följd av fartygstrafik (propellererosion). Känslighetsanalys för höjt porttryck påverkar inte stabiliteten i större utsträckning än vad som kan förväntas (cirka 10 %).

Vid detaljprojektering av förstärkningsåtgärderna för hamnområdet kan kompletterande geotekniska undersökningar bli aktuellt för att optimera åtgärderna.

För den södra delen längs sträckan med befintligt erosionskydd uppfylls stabilitetskraven enligt partialkoefficientmetoden och med laster enligt gällande detaljplan, förutom lokalt vid sektion 0/6400. Den framräknade säkerhetsfaktorn är precis under gällande krav för kombinerad analys enligt partialkoefficientmetoden ($F_{EN}=1,08$). I Bilaga 8 har även stabiliteten beräknats enligt totalsäkerhetsmetoden (Rapport 4:2010) vilket för samma glidyta ger säkerhetsfaktorn $F_{komb}=1,35^1$. Då området har ett befintligt erosionskydd och omfattas av en gällande detaljplan bedöms det södra området kunna hanteras enligt Rapport 4:2010. Bedömningen är därför att hela det södra området (industriområde/upplag) kan klassas som tillfredställande ur stabilitetssynpunkt. Inga stabilitetsförbättrande åtgärder erfordras.

Känslighetsanalyser för sträckan med befintligt erosionskydd visar att höjda porttryck och erosion av älvbotten inte påverkar stabiliteten i någon större utsträckning än vad som kan förväntas.

¹ Kravet på säkerhetsfaktor kan i kombinerad analys väljas enligt IEG Rapport 4:2010 i spannet $F_{komb} \geq 1,3-1,2$ för befintliga förhållanden vid fördjupad utredningsnivå.