

---

## PM GEOTEKNIK

---

BESTÄLLARE: STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT

**26000VPM01**  
**Fördjupad stabilitetsutredning Hjärtum Sörängen**

UPPDRAGSNUMMER SWECO: 12706515

UPPDRAGSNUMMER SGI: 19064

DIARIENUMMER SGI: 4.2.12-1902-0153



DATUM: 2020-02-07

SWECO CIVIL AB  
GÖTEBORG GEOTEKNIK

UPPDRAGSLEDARE: ANNLOUISE ELLIOT  
HANDLÄGGARE: HANNA BLOMÉN

---

**Sweco**  
Skänegatan 3  
411 40 Göteborg

Telefon 031-627500  
[www.sweco.se](http://www.sweco.se)

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

En del av Sweco-koncernen

AnnLouise Elliot

Mobil +46 (0)70 317 50 12  
[Annlouise.elliott@sweco.se](mailto:Annlouise.elliott@sweco.se)

## Ändringsförteckning

VER.	DATUM	ÄNDRINGEN AVSER	GRANSKAD	GODKÄND

# Innehållsförteckning

FÖRORD FRÅN SGI.....	
SAMMANFATTNING .....	1
1 UPPDRAG .....	4
2 SYFTE .....	5
3 UNDERLAG .....	5
4 STYRANDE DOKUMENT.....	5
5 PROJEKTERINGSFÖRUTSÄTTNINGAR.....	6
6 UTFÖRDA UNDERSÖKNINGAR .....	6
6.1 Nu utförda undersökningar.....	6
6.2 Tidigare utförda undersökningar .....	6
6.3 Pågående undersökningar .....	7
7 GEOTEKNISKA FÖRHÅLLANDEN.....	7
7.1 Topografi.....	7
7.2 Erosionsförhållanden .....	8
7.3 Natura 2000 .....	9
7.4 Geoteknisk översikt.....	9
7.4.1 Jordlager.....	9
7.4.2 Kvikklera .....	9
7.5 Hydrogeologiska förhållanden.....	10
8 STABILITETSANALYS .....	12
8.1 Allmänt .....	12
8.2 Beräkningsförutsättningar .....	12
8.2.1 Dimensionerande vattennivåer.....	12
8.2.2 Totalsäkerhetsmetoden.....	12
8.2.3 Partialkoefficientmetoden .....	14
8.2.4 Känslighetsanalys .....	14
8.2.5 Stabilitetsförbättrande åtgärder .....	15
8.3 Parameterval.....	15
8.3.1 Allmänna förutsättningar .....	16
8.3.2 Odränerad skjuvhållfasthet.....	17
8.3.3 Dränerad skjuvhållfasthet.....	18
8.3.4 Anisotropi.....	18
8.3.5 Portrycksmodell.....	19
8.4 Beräkningssektion km 25/730V .....	20
8.4.1 Befintliga förhållanden.....	21
8.4.2 Valda beräkningsparametrar .....	23
8.4.3 Beräkningsresultat .....	23
8.5 Beräkningssektion km 25/890V .....	29

8.5.1	Befintliga förhållanden.....	29
8.5.2	Valda beräkningsparametrar .....	30
8.5.3	Beräkningsresultat .....	30
8.6	Beräkningssektion km 26/100V.....	33
8.6.1	Befintliga förhållanden.....	34
8.6.2	Valda beräkningsparametrar .....	35
8.6.3	Beräkningsresultat .....	36
8.7	Beräkningssektion km 25/670VRS1.....	39
8.7.1	Befintliga förhållanden.....	40
8.7.2	Valda beräkningsparametrar .....	41
8.7.3	Beräkningsresultat .....	41
8.8	Beräkningssektion km 25/670VRS2.....	42
8.8.1	Befintliga förhållanden.....	43
8.8.2	Valda beräkningsparametrar .....	44
8.8.3	Beräkningsresultat .....	44
8.9	Sammanfattning av stabilitetsberäkningar.....	47
8.10	Kompletterande undersökningar .....	48
8.11	Jämförelse med Göta älvutredningen .....	49
9	ÅTGÄRDER OCH ERFORDERLIGA KRAV.....	50
10	SLUTSATS .....	52

## BILAGOR

<b>Bilaga 1</b>	<b>Sammanställning jordparametrar</b>
<b>Bilaga 2</b>	<b>Valda skjuvhållfastheter</b>
<b>Bilaga 3</b>	<b>Vald porttrycksprofil</b>
<b>Bilaga 4</b>	<b>Indikationer på förutsättningar för kvicklera</b>
<b>Bilaga 5</b>	<b>Bedömd utbredning kvicklera i plan</b>
<b>Bilaga 6</b>	<b>Förutsättningar för partialkoefficientmetoden och val av partialkoefficienter</b>
<b>Bilaga 7</b>	<b>Stabilitetsberäkningar – Göta älv</b>
<b>Bilaga 8</b>	<b>Stabilitetsberäkningar – Sollumsån</b>
<b>Bilaga 9</b>	<b>Översikt förstärkningsåtgärd - plan</b>
<b>Bilaga 10</b>	<b>Skjuvhållfasthet bedömd per metod</b>

# Förord från SGI

Regeringen har gett Statens geotekniska institut (SGI) i uppdrag att minska sannolikheten för skred i Göta älvdalen och för att underlätta det arbetet har en delegation inrättats, Delegationen för Göta älv. Delegationen 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.

I arbetet med Delegationen för Göta älv utför SGI detaljerade och fördjupade stabilitetsutredningar för att klargöra stabilitetsförhållandena inom de områden som utpekats med hög- eller medelhög skredrisk inom Göta älvutredningen 2009–2012. Dessa utredningar ligger sedan till grund för beräkning av sannolikheten för skred och projektering av stabilitetshöjande åtgärder.

Stabilitetsutredningarna utförs av geotekniska konsulter på uppdrag av SGI. Då resultaten från dessa utredningar utgör underlag till fortsatt analysarbete, har SGI varit delaktiga i framtagandet av fält- och laboratorieundersökningar, val av hållfasthet, beräkningar samt redovisning av resultat. Konsulten har fått uppdraget att i möjligaste utsträckning ta fram en trolig skjuvhållfasthet inför beräkningarna. Dessa utredningar redovisar därmed inte slutgiltiga bedömningar av stabilitetsförhållandena, sannolikheten för skred eller vilka åtgärder som bör utföras för aktuellt område.

*Sekretariatet till Delegation för Göta älv.*

## Sammanfattning

På uppdrag av Statens geotekniska institut (SGI) har en stabilitetsutredning utförts för område "Hjärtum – Sörängen" beläget på Göta älvs västra sida, norr om Lilla Edets tätort. Uppdraget syftar till att klarlägga stabiliteten för befintliga förhållanden och att ta fram översiktliga åtgärdsförslag där stabilitetskraven inte uppnås.

Inom större delen av utredningsområdet har stabilitetsutredningen utförts till fördjupad nivå. Väster om Kungälvsvägen har utredningen dock enbart utförts till översiktlig nivå. Stabilitetsberäkningar har utförts i fem sektioner, i huvudsak med totalsäkerhetsmetoden men vissa jämförande beräkningar har även utförts med partialkoefficientmetoden.

Utredningsområdet utgörs i huvudsak av svagt sluttande åkermark som faller mot Göta älv i öster och Sollumsån i norr. Jordlagren i området utgörs till största delen av lera med upp till 50 meters mäktighet. Kvikklara har endast konstaterats i en undersökningspunkt, belägen i den centrala delen av utredningsområdet. Indikationer finns på att det kan förekomma kvikklara även i anslutning till Kungälvsvägen och väster där om.

Erosionsförhållandena i området har bedömts okulärt. Längs Göta älv finns vid strandlinjen ett erosionskydd som bedöms ha god funktion medan erosionsförhållandena för undervattensslänten i älven är okända. Utmed Sollumsån saknas erosionskydd helt och slänterna bedöms vara erosionskänsliga.

Beräkningsresultaten visar att uppställda säkerhetskrav inte uppfylls för befintliga förhållanden i någon av beräkningssektionerna. I två av de tre beräkningssektionerna mot Göta älv är dock erhållna säkerhetsfaktorer nära det uppställda kravet. Resultat för befintliga förhållanden i respektive beräkningssektion redovisas i Tabell 1. Dessa resultat innebär att stabilitetsförbättrande åtgärder behöver utföras i utredningsområdet för att uppställda krav ska uppnås. De låga säkerheterna omfattar delar av Kungälvsvägen men stabiliteten för befintlig bebyggelse bedöms dock som betryggande.

*Tabell 1 Beräknade säkerhetsfaktorer med totalsäkerhetsmetoden för befintliga förhållanden. Resultat angivet med röd färg visar att uppställt krav inte är uppfyllt. Krav som ska uppnås för denna fördjupade utredning är  $F_c \geq 1,4$  och  $F_{komb} \geq 1,3$ .*

Sektion	Odränerad analys	Kombinerad analys
25/730V	$F_c=1,38$	$F_{komb}=1,36$
25/890V	$F_c=1,26$	$F_{komb}=1,24$
26/100V	$F_c=1,38$	$F_{komb}=1,28$
25/670VRS1	$F_c=0,88$	$F_{komb}=0,80$
25/670VRS2	$F_c=1,31$	$F_{komb}=1,23$

Längs Göta älv är avschaktning av åkermarken en lämplig och genomförbar åtgärd. Att åtgärda området kring Sollumsån är mer komplext då det är ett Natura 2000-område. Det innebär att så väl stabilitetsförbättrande åtgärder som erosionskydd bedöms vara svåra att utföra ur tillståndssynpunkt, då sådana åtgärder har stor påverkan på naturvärdena.

För att minska omfattningen av åtgärden är rekommendationen att säkerhetskraven ses över för hela utredningsområdet öster om Kungälvsvägen. Med hänsyn till att undersökningsmaterialet är omfattande och att utredningen avser tillståndsbedömning för befintliga förhållanden så är bedömningen att något lägre säkerhetskrav kan sättas i de delar där det inte finns kvicklera. En sådan sänkning av säkerhetskraven skulle innebära att föreslagna avschaktningsåtgärder på åkermarken mot Göta älv skulle minska och därmed medföra positiva aspekter ur ett hållbarhetsperspektiv med hänsyn till ekonomi, naturmiljö samt klimatpåverkan. Vid Sollumsån bedöms att säkerhetsnivåerna i naturområdet kan väljas utifrån "Annan mark" vilket ger en ytterligare sänkning av säkerhetsnivån och därmed skulle åtgärder i Natura 2000-området kunna undvikas. Belastningsrestriktioner kan komma att krävas på åkermarken inom de delar där säkerhetskraven eventuellt sänks enligt de båda förslagen ovan.







## 2 Syfte

Syftet med uppdraget är att klarlägga stabiliteten för befintliga förhållanden i utredningsområdet. Åtgärdsförslag ska översiktligt tas fram där stabilitetskraven inte uppfylls.

Detta ska göras genom en fördjupad stabilitetsutredning. Fält- och laboratorieundersökningar ska utföras för bestämning av beräkningsförutsättningar. Stabilitetsberäkningar ska utföras för befintliga förhållanden, känslighetsanalyser och åtgärdsförslag.

## 3 Underlag

Följande underlag har legat till grund för utredningen:

- Nu och tidigare utförda geotekniska fält- och laboratorieundersökningar som finns på land och i älvområdet, se kapitel 6
- Höjddata från Lantmäteriets WCS-tjänst, 2019-04-23
- Älvens bottentopografi utifrån batymetrisk sjömätning i Göta älv (SGI 2018)
- Sollumsåns bottentopografi vid utloppet. Mätningar med enstrålelod utförd av Sweco på uppdrag av SGI (2019)
- Göta Älvutredningen (GÄU), delrapport 7. Bedömning av grundvattenförhållanden för slänter längs Göta älv- Allmän vägledning. (Persson, H. mfl, SGI, Linköping, 2011)
- Data från SGU:s kartvisningstjänst, Grundvattennivåer, tidsserier ([www.sgu.se](http://www.sgu.se))
- Data från SMHI, Nederbörds mängder ([www.smhi.se](http://www.smhi.se))

## 4 Styrande dokument

Följande styrande dokument har legat till grund för detta uppdrag:

- Riktlinjer för tekniskt arbete (avser stabilitetsutredningar längs Göta älv) DGA00XST01, Version 2.0 daterad 2019-11-05
  - Inklusive excelmallar : Sammanställning lab- och fältdata, Val av skjuvhållfasthetsfördelning och Utvärderingsark kvicklera CPT och Tr
- Riktlinjer för dokumenthantering DGA00XST02, Version 2.0 daterad 2019-11-05
- Metodik för kartläggning av kvicklera (SGI 2018) samt GÄU Delrapport 29 (SGI 2012)
- SS-EN 1997-1 med tillhörande nationell bilaga, "Dimensionering av geokonstruktioner", samt tillämpningsdokument
  - IEG Rapport 2:2008, Rev 2 "Grunder"
  - IEG Rapport 6:2008, Rev 1 "Slänter och bankar"
  - IEG 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

## 5 Projekteringsförutsättningar

I styrdokument DGA00XST01 anges föreskrifter för utredningen. Centrala förutsättningar för uppdraget är:

- Koordinatsystem SWEREF 99 TM, höjdsystem RH 2000
- Beräkningar ska i huvudsak utföras med totalsäkerhetsmetoden. Jämförande beräkningar ska också utföras med partialkoefficientmetoden för utvalda beräkningar. Alla slutsatser och rekommendationer ska göras utifrån resultat från beräkningar med totalsäkerhetsmetoden
- För att beräkningsresultat med totalsäkerhetsmetoden i fördjupad utredning ska klassas som tillfredställande enligt gällande styrdokument, DGA00XST01, ska beräknade säkerhetsfaktorer minst nå upp till:
  - För odränerade förhållanden  $F_c \geq 1,4$
  - För kombinerade förhållanden  $F_{komb} \geq 1,3$

Dessa säkerhetsfaktorer är i den övre delen av spannet, enligt tabell 4.2 i IEG Rapport 4:2010, vid tillståndsbedömning för "Befintlig bebyggelse och anläggning" med fördjupad utredning.

- Kraven på säkerhetsfaktor med partialkoefficientmetoden är för säkerhetsklass 2 (SK2)  $F_{EN} \geq 1,0$  för både odränerad och kombinerad analys. Vid förekomst av kvicklera är krav enligt säkerhetsklass 3 (SK3),  $F_{EN} \geq 1,1$  för både odränerad och kombinerad analys.

## 6 Utförda undersökningar

Geotekniska fält- och laboratorieundersökningar finns inom och i anslutning till utredningsområdet, både på land och i älven.

### 6.1 Nu utförda undersökningar

Geotekniska fält- och laboratorieundersökningar har utförts under perioden juni till november år 2019.

Undersökningarna har utförts i syfte att utgöra underlag för fördjupad utredningsnivå i området öster om Kungälvsvägen. Väster om vägen är utförda undersökningar av översiktlig karaktär. Redovisning av undersökningsresultat finns i Markteknisk undersökningsrapport (MUR)/ Geoteknik (26000VRA01), daterad 2020-02-07.

### 6.2 Tidigare utförda undersökningar

Tidigare utförda undersökningar i anslutning till det nu aktuella utredningsområdet:

- GÄU, Delområde 5, Intagan – Ström. Markteknisk undersökningsrapport/ Geoteknik (05RA004). Statens geotekniska institut 2011-08-31. Uppdragsnummer: 14085, Diarienummer: 6-1001-0027. Avser geotekniska fältarbeten på land

utförda av Cowi under perioden januari till september 2010. Undersökningarna bedöms för aktuellt område vara utförda för detaljerad utredningsnivå

- GÄU, Delområde 11, Delsträckorna Intagan - Ström samt Intagan - Lilla Edet (älven vid delområdena 5 och 7 på land). Försöksrapport/Fält (11RA004), undersökningar utförda 2010-08-26 till - 2010-12-10. Laboratorierapport (11LRA002) 2010-12-30. Uppdragsnummer: 14098, diarienummer: 6-1001-0040. Avser geotekniska fältarbeten i älven utförda av Skanska under september 2010. Undersökningarna bedöms för aktuellt område vara utförda för översiktlig utredningsnivå

### 6.3 Pågående undersökningar

Under slutfasen av det nu föreliggande utredningsarbetet har även arbetsmaterial från pågående undersökningar i Göta älv delvis kunnat nyttjas. Undersökningarna utförs av Sweco på uppdrag av SGI i ett parallellt pågående uppdrag:

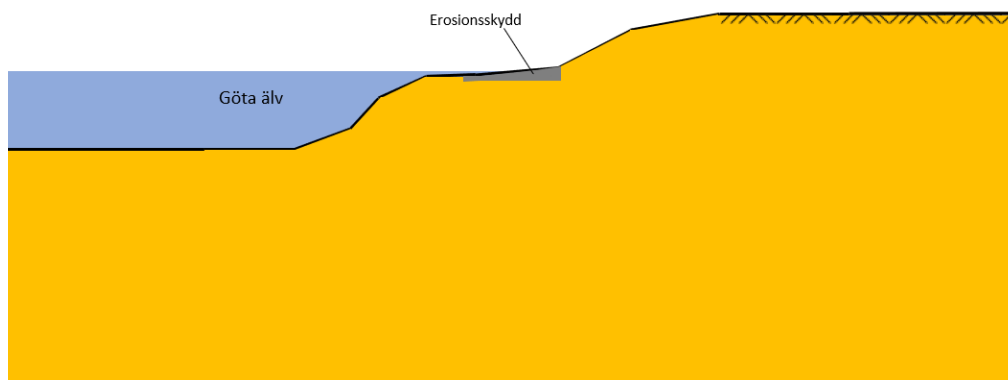
- Geotekniska undersökningar i Göta älv från flotte, Trollhättan – Lilla Edet. Uppdragsnummer: 19091, diarienummer 6.2-1906-0453. Undersökningsresultat har i tillämpliga delar inarbetats i föreliggande utredning

## 7 Geotekniska förhållanden

### 7.1 Topografi

Utredningsområdet utgörs i huvudsak av åkermark som faller svagt från väster mot Göta älv i öster. Väster om Kungälvsvägen finns ett höjdparti med fastmark.

Marknivåerna i anslutning till Kungälvsvägen är cirka +21 och vid släntkrönet vid Göta älv är nivån cirka +15, vilket ger en marklutning som är flackare än 1:30. Från släntkrönet faller marken brantare mot strandbrinken till nivån cirka +8 med lutning cirka 1:2. Mellan strandbrinken och djupfåran i älven finns en svagt sluttande undervattenshylla som sträcker sig 20-40 meter ut i älven. Därefter utgörs älvbotten av en uppemot 20 meter hög undervattensslänt som sluttar brant mot djupfåran. Undervattensslänten bedöms ha en lutning av 1:1. I Figur 2 visas schematiskt slänten mot Göta älv inom det aktuella området.



Figur 2 Typsektion för slänt mot Göta älv med ett erosionsskydd vid strandlinjen, utlagt på undervattenshyllan.



I den norra delen av området är slänterna i den tvärgående ravinen, där Sollumsån har sitt flöde, uppemot 10 meter höga.

Strax söder om utredningsområdet finns i slänten mot älven tydliga spår av skredärr från tidigare utbildade skred. Det finns även flera skredärr i slänten mot Sollumsån, både öster och väster om Kungälvsvägen.

## 7.2 Erosionsförhållanden

Vid strandbrinken längs Göta älv finns ett erosionsskydd av sprängsten som bedömningsvis har god funktion, se Figur 3. Uppgifter om mäktighet, utbredning och status för erosionsskyddet under vattenytan saknas. Vid platsbesök har inga tecken på pågående erosion i anslutning till Göta älv konstaterats.



Figur 3 Erosionsskydd längs Göta älv.

Längs Sollumsån står slänterna mycket brant på den södra sidan av ån. Generellt är slänterna flackare på den norra sidan än på den södra. Vid mynningen invid Göta älv, men även ställvis uppströms ån, finns öppna sår i slänten längs dess södra sida. Dessa visar på pågående erosion och att mindre ras uppkommer i de branta delar, se Figur 4. Vid platsbesök konstaterades att slänterna i ån inte är erosionsskyddade.



Figur 4 Tydlig erosion i slänten i den östra delen av Sollumsåns södra sida.

### 7.3 Natura 2000

Den norra delen av utredningsområdet, i anslutning till den tvärgående ravinen för Sollumsån, är ett Natura 2000-område med flera känsliga naturtyper. Skyddet omfattar så väl arter på land som i ån. Eventuella markarbeten, exempelvis skredsäkring, inom den norra delen bedöms kunna påverka miljövärdena i området.

### 7.4 Geoteknisk översikt

#### 7.4.1 Jordlager

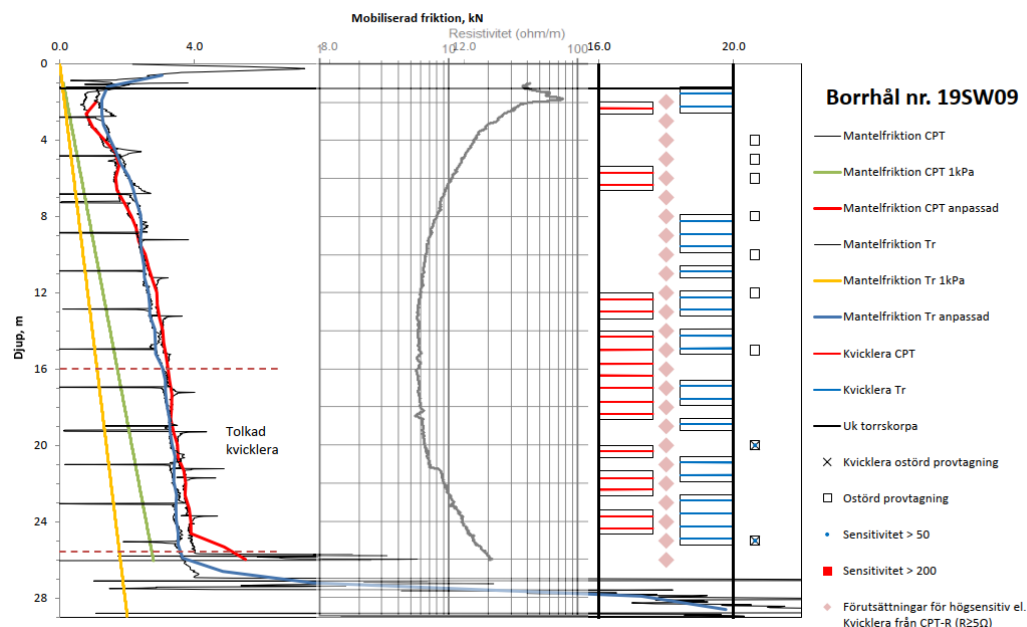
Jordlagren utgörs av lera med ökande mäktighet från fastmarksområdet i väster mot Göta älv i öster. Överst finns torrskorpelera som underlagras av siltig lera, som i anslutning till älven har över 50 meters mäktighet. Under leran finns ett lager friktionsjord ovan berg. Strax under torrskorpan är skjuvhållfastheten i leran kring 20 kPa, och därifrån ökar hållfastheten mot djupet. Leran är normal- till svagt överkonsoliderad inom landområdet. Under älven bedöms leran vara överkonsoliderad för den avlastning som uppkommit av erosionen som skapat älvfåran.

Undersökningsresultaten visar generellt på relativt små skillnader för jordparametrar och hållfastheten inom utredningsområdet.

#### 7.4.2 Kwicklera

Förekomst av kvicklera och högsensitiv lera har kartlagts utifrån ostörd provtagning, CPT-sondering samt resistivitet uppmätt med CPT-R utrustning, se exempel i Figur 5 samt Bilaga 4 för redovisning av resultat för respektive borrhål. Jämförelse mellan resultat från kolvprovtagning och sondering indikerar att vid uppmätt resistivitet högre än 5 ohm/m kan kvicklera finnas. Det samlade underlaget visar att det endast är i en undersökningspunkt (19SW09) som det finns bekräftad kvicklera ( $S_{>50}$  samt  $\tau_{fu} < 0,4$ ) i två djupa kolvprover.

Övriga undersökningsmetoder indikerar att kvicklera kan finnas inom den västra delen av området, upp till 120 meter från älven, se Bilaga 5. Uppmätta sensitivitetvärden är i de flesta undersökta punkter kring 20 till 25, vilket innebär att leran är medelsensitiv. Enstaka prov visar på högre värden och som högst har en sensitivitet på 125 erhållits, se Bilaga 1 i tillhörande MUR (26000VRA01) för fullständiga resultat.



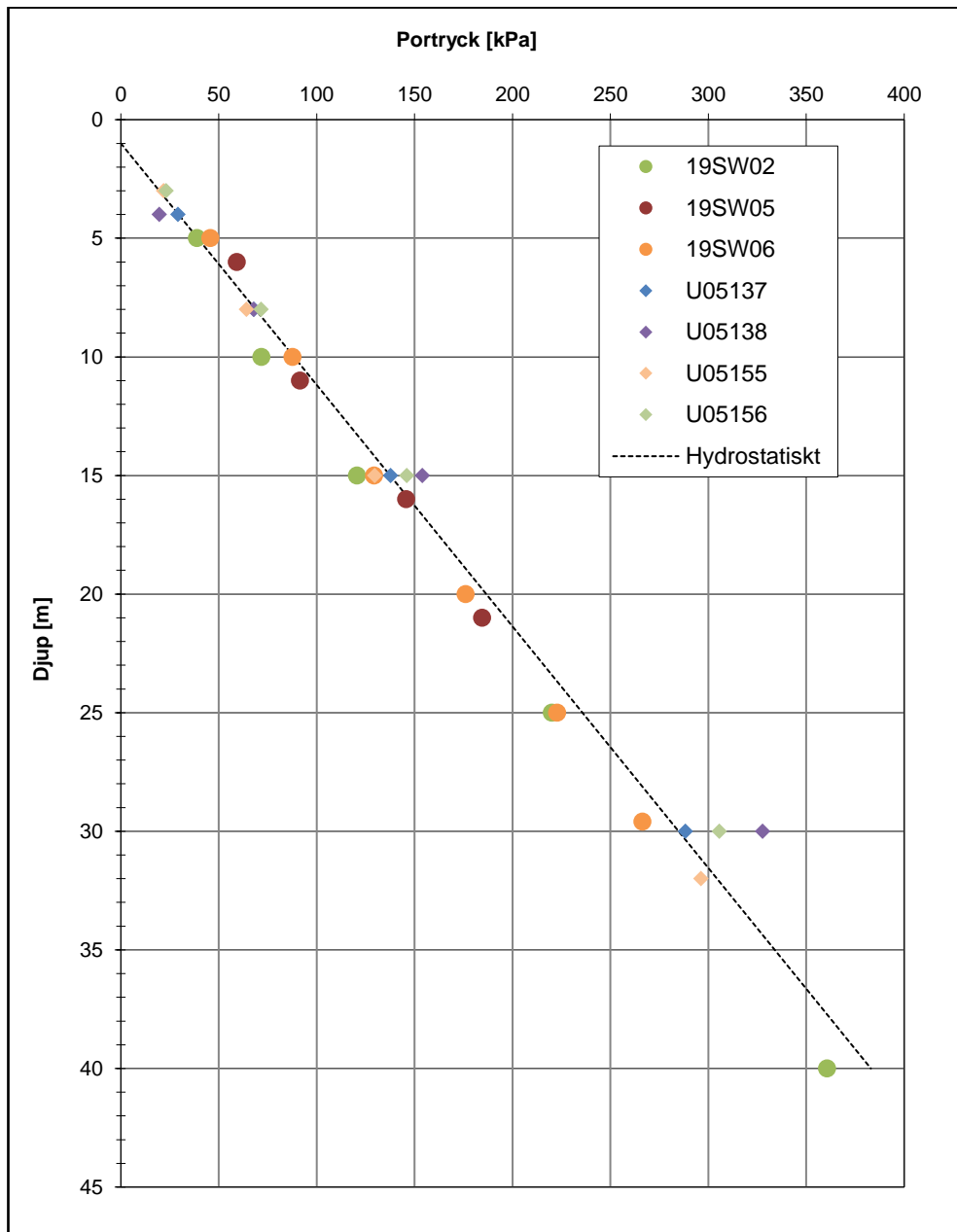
Figur 5 Utvärdering av kvicklereförekomst, exempel från punkt 19SW09. Se Bilaga 4 för resultat från samtliga undersökningspunkter.

## 7.5 Hydrogeologiska förhållanden

Vattenståndsnivån för Göta älv regleras nedströms utredningsområdet vid slussen i Lilla Edet. Dimensionerande vattenståndsnivåer i Göta älv är dämningshöjden +7,6 och sänkningshöjden +6,6 för sträckan. Medelvattenståndet i älven är på nivå +7,5.

Det finns inga uppgifter om vattenståndsnivåer i Sollumsån. Vid utloppet har samma vattenståndsnivåer som i Göta älv antagits. Uppströms ån har något högre nivåer antagits.

Uppmätta portrycksnivåer motsvarar en grundvattenyta belägen cirka 1-2 meter under markytan. Därunder visar nu utförda mätningar att i princip hydrostatiska förhållanden råder mot djupet, se Figur 6. Det finns dock antydning till att det kan vara något avsakta portryck mot djupet enligt de nu utförda mätningarna.



Figur 6 Sammanställning av uppmätta maximala portryck. Punkterna 19SW02, 19SW05 och 19SW06 utförda i detta uppdrag. Punkterna U05137, U05138, U05155 och U05156 utförda inom Göta älvutredningen år 2009-2012.

Uppmätta portryck har studerats tillsammans med nederbörd från SMHI:s station i Vänersborg (dygnsmedelvärden, mm), se vidare i kapitel 8.3.5 samt i Bilaga 7 i tillhörande MUR (26000VRA01). Även pågående referensrörmätningar av grundvattennivåer från en station i Kungälv, redovisade av SGU (Sveriges geologiska undersökning), har beaktats.



## 8 Stabilitetsanalys

### 8.1 Allmänt

Stabilitetsanalyser har utförts för befintliga förhållanden i fem utvalda sektioner, tre sektioner mot Göta älv och två sektioner mot Sollumsån. Beräkningssektionernas lägen är i huvudsak placerade där undersökningar nu har utförts, detta för att en spridning i området ska erhållas så att eventuella variationer av förutsättningar ska täckas in. I huvudsak har beräkningar utförts med totalsäkerhetsmetoden i både odränerad och kombinerad analys. Några beräkningar har också utförts med partialkoefficientmetoden enligt IEG Rapport 6:2008.

Känslighetsanalyser avseende ökad markbelastning, förhöjda portryck och erosion har utförts med totalsäkerhetsmetoden i utvalda sektioner. Åtgärdsförslag med avschaktning har beräknats med både totalsäkerhetsmetoden och partialkoefficientmetoden.

Alla stabilitetsanalyser har utförts för cirkulär cylindriska glidytor med programmet GeoStudio 2019 (Slope/W version 10.0.1.17733), med beräkningsmetod enligt Morgenstern-Price.

I beräkningarna har portrycket modellerats som hydrostatiskt från en angiven nivå ("Piezometric line").

### 8.2 Beräkningsförutsättningar

#### 8.2.1 Dimensionerande vattennivåer

Beräkningar har utförts för den reglerade sänkningshöjden +6,6 i Göta älv. Vattennivån i Sollumsån har vid utloppet antagits vara i nivå med älven. Utifrån antagna bottenivåer uppströms har en något högre vattennivå, +7, antagits i ån för beräkningarna i dess västra del.

#### 8.2.2 Totalsäkerhetsmetoden

Vid beräkning med totalsäkerhetsmetoden ska, enligt IEG Rapport 4:2010, den erforderliga säkerhetsfaktorn väljas utifrån undersökningarnas omfattning och med hänsyn till osäkerheter som finns i beräkningsantaganden och förutsättningar. En lägre säkerhetsfaktor kan väljas om förutsättningarna inom ett område är gynnsamma. I Tabell 2 finns en sammanställning av gynnsamma och ogynnsamma förutsättningar för de aktuella slänterna, som underlag för motivering av de angivna säkerhetsfaktorerna.

Tabell 2 Underlag för val av totalsäkerhetsfaktorer. Gynnsamma och ogynnsamma förutsättningar i utredningsområdet.

<b>Förutsättning</b>	<b>Gynnsam</b>	<b>Ogynnsam</b>
<b>Fältundersökningens omfattning</b>	Undersökningar inom området ger ett bra geotekniskt underlag, CPT-sonderingar är utförda, insituprovtagning med vinge är utförd	Undersökningar för slänten mot Sollumsån är i de västra delarna mer begränsade och därmed översiktliga
<b>Laboratorieundersökningens omfattning</b>	Kompressionsförsök, direkta skjuvförsök och triaxialförsök är utförda i relativt stor omfattning	Ringa hållfasthetsbestämning i älven
<b>Släntens beständighet mot Göta älv</b>	Inga tecken på rörelser har observerats. Erosionsskydd finns i vattenlinjen	
<b>Släntens beständighet mot Sollumsån</b>		Aktiv erosion och branta slänter. Lutande träd. Inga erosionsskydd finns
<b>Släntens geometri mot Göta älv</b>	Flack slänt fram till övre släntrönn, geometrin är väl inmätt (bra höjddatabas, avvägningar på land och botten-scanning av älven)	Brant undervattenslänt som inte är inspektionsbar
<b>Släntens geometri mot Sollumsån</b>	Flack slänt fram till övre släntrönn, bra höjddata på flacka delen	Enbart enstaka avvägda sektioner i slänten. Bottenlodning enbart vid mynningen. Stora variationer längs ån
<b>Grundvatten och portrycksförhållanden</b>	God kännedom om portrycksfördelningen mot djupet. Begränsade förväntade tryckvariationer. Känslighetsanalys avseende grundvatten- och portrycksförhållanden är översiktligt utförd	Långtidsobservationer saknas. Funktionen hos grundvattenrören osäkra
<b>Ytvattenförhållanden</b>	Karakteristiska vattenstånd är kända. Små vattenståndsvariationer	Osäkra dräneringar och ev risk för vattenansamlingar. Osäkerhet kring förekomst av kulvertar och trummor
<b>Jordens egenskaper</b>	Relativt homogen jord. De geotekniska förhållandena är väl kända och liknande geologiska förutsättningar råder i hela området. Liten spridning i hållfasthetsegenskaper	Kohesionsjord. Kvikclera i en punkt. Indikation på kvicklera finns i ett antal punkter
<b>Tidigare förändringar i slänten</b>	Utlagt erosionsskydd vid Göta älv. Reglering av älven	Skredärr strax söder om utredningsområdet. Skred-/rasytor utmed Sollumsåns södra slänt
<b>Konsekvenser av ett skred</b>	Begränsad utbredning	Viss risk för dämning av älven. Risk för påverkan avseende grumling vid råvattenintag. Risk för bakåtgripande skred i den västra delen utmed Sollumsåns södra sida. Dämning av Sollumsån
<b>Analys- och beräkningsarbetets tillförlitlighet</b>	Stort antal beräknade glidytor. Förhållandena på land har små variationer. Kritiska glidytor är stor, mindre glidytor har god beräkningsmässig säkerhet. 2-dimensionell analys. Lågvattennivå valt i älven som mothållande last	Last och portryck valda för normalstillstånd för slänten
<b>Verksamhet i området</b>	Ingen känd nyexploatering i området	Osäkerheter kring infiltration i området

Enligt IEG Rapport 4:2010 tabell 4.2 ska säkerhetsfaktorer för odränerad analys vara  $F_c \geq 1,7-1,5$  och för kombinerad analys  $F_{\text{komb}} \geq 1,3-1,2$ . En sammanvägning av de gynnsamma respektive ogynnsamma förhållandena i Tabell 2 visar att utredningen har fördjupad utredningsnivå för beräkningssektioner mot Göta älv och säkerhetsfaktorer enligt gällande styrdokument DGA00XST01, se kapitel 5, är rimliga. Bedömningen är att vid gynnsamma förhållanden i utredningsområdet skulle det kunna vara möjligt att även sänka kravet inom tillåtet intervall, se kapitel 9.

För området kring Sollumsån är bedömningen att det behövs ytterligare underlag för att utredningen i sin helhet ska kunna klassas som fördjupad. Det är främst geometrier i ravinen samt erosionsförhållanden längs ån som behöver klarläggas, då bedömningen nu är att de förutsättningarna varierar mycket längs med ån. Väster om Kungälvsvägen är bedömningen att det även erfordras ytterligare geotekniska fältundersökningar för att utredningen ska nå upp till fördjupad nivå.

### 8.2.3 Partialkoefficientmetoden

Beräkningar med partialkoefficientmetoden har hänförs till Geoteknisk kategori 2. Detta eftersom det inte finns någon kvicklera i de delar där säkerhetskraven inte är uppfyllda, att områdets markförhållanden och hydrogeologiska förhållanden inte är komplicerade samt att inga konstruktioner ska uppföras i området.

Om beräkningarna ska utföras för säkerhetsklass 2 (SK2) eller 3 (SK3) med partialkoefficienter enligt IEG Rapport 6:2008, beror på om kvicklera finns eller inte. För glidytor som inte påverkar område med kvicklera kan beräkningar utföras för SK2. SK3 ska gälla för glidytor som berör kvicklera.

Samma odränerade skjuvhållfasthet har använts vid beräkning med partialkoefficientmetoden som vid beräkning med totalsäkerhetsmetoden, där större vikt har lagts på de direkta skjuvförsöken vid valet av skjuvhållfasthet. Detta innebär att den valda skjuvhållfastheten är högre än om lika stor vikt lagts på alla undersökningsmetoder. För att ta hänsyn till detta vid beräkningar med partialsäkerhetsmetoden har delfaktorn  $\eta_3$  därför satts till 1,0 istället för 1,1 (se IEG Rapport 6:2008, kap 3.4.2).

Val av partialkoefficienter och förutsättningar för beräkningar med partialkoefficientmetoden redovisas i sin helhet i Bilaga 6.

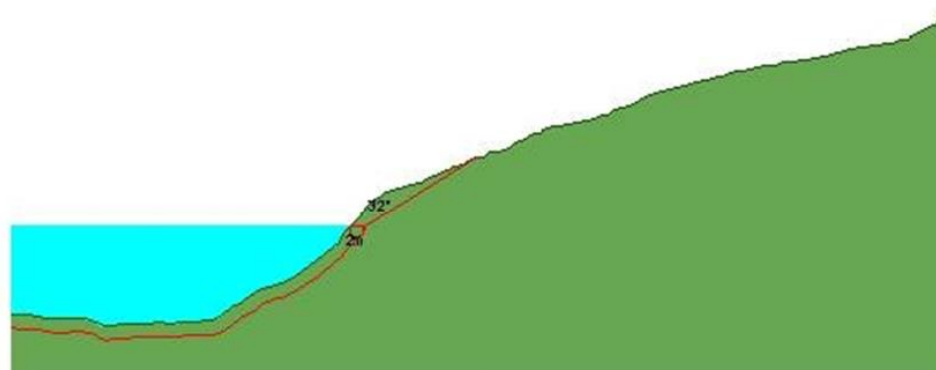
### 8.2.4 Känslighetsanalys

Känslighetsanalys avseende ökad markbelastning, förhöjda portryck och erosion har utförts i utvalda sektioner. Känslighetsanalyserna innebär att:

- På befintlig markyta har 10 kPa belastning påförts, vilket motsvarar en uppfyllnad om cirka 0,5 meter. Vid beräkningar antas att denna last utgörs av en jämnt utbredd last, som enbart verkar på den pådrivande delen av glidytan
- Portrycket har ökat med 10 kPa i hela profilen, vilket motsvarar en höjning med en meter jämfört med ursprunglig beräkning. Det motsvarar en grundvattenyta som i stort sett ligger i markytan, med en hydrostatisk portrycksfördelning mot djupet
- Antagen erosion i älvbotten med 1 meter respektive 2 meter enligt typsektion B1-1, se Figur 7. Detta enligt styrdokument DGA00XST01
- Antagen erosion i Sollumsån med 1 meter respektive 2 meter enligt typsektion A2, se Figur 8. Detta enligt styrdokument DGA00XST01

B1-1

Figur 7 Geometrisk förändring pga erosion för typsektion B1-1, slänt i älven med undervattenshylla och erosionsskydd. Bild från DGA00XST01 (Riktlinjer för tekniskt arbete, SGI 2019).



Figur 8 Geometrisk förändring pga erosion för typsektion A2, för slänt i Sollumsån utan erosionsskydd. Bild från DGA00XST01 (Riktlinjer för tekniskt arbete, SGI 2019).

### 8.2.5 Stabilitetsförbättrande åtgärder

Där säkerheten inte når upp till ställda stabilitetskrav för befintliga förhållanden ska stabilitetsförbättrande åtgärder översiktligt tas fram. Lämplig åtgärd i utredningsområdet bedöms vara avschaktning inom åkermarken. Detta eftersom det sannolikt är den enklaste åtgärdsmetoden att utföra samt att det bedöms vara en kostnadseffektiv åtgärd. Vid Sollumsån är det dock med hänsyn till naturvärden tveksamt om fysiska åtgärder över huvud taget är möjliga att utföra.

Eftersom undersökningarna inom större delen av utredningsområdet är relativt omfattande är ett alternativt åtgärdsförslag, för att minimera de fysiska åtgärderna, och minska påverkan på Natura 2000-området att se över uppsatta säkerhetskrav för utredningen. De nu gällande säkerhetsfaktorerna är i övre delen av spannet för fördjupad utredning (IEG Rapport 4:2010) och de bedöms kunna sänkas något i vissa delar av utredningsområdet där förhållandena är gynnsamma. Se vidare i kapitel 9.

### 8.3 Parameterval

Jordparametrar har inom utredningsområdet generellt sammanställts för två delområden, det norra respektive det södra.

Det norra delområdet sträcker sig mellan cirka km 25/670 – 25/900, och det södra delområdet mellan cirka km 25/900 – 26/200, se Figur 9. Undersökningpunkter belägna nära gränsen mellan delområdena är med i utvärderingen av parametrar för båda delområdena. Valda jordlagerparametrar inom respektive delområde redovisas i Bilaga 1.



### 8.3.2 Odränerad skjuvhållfasthet

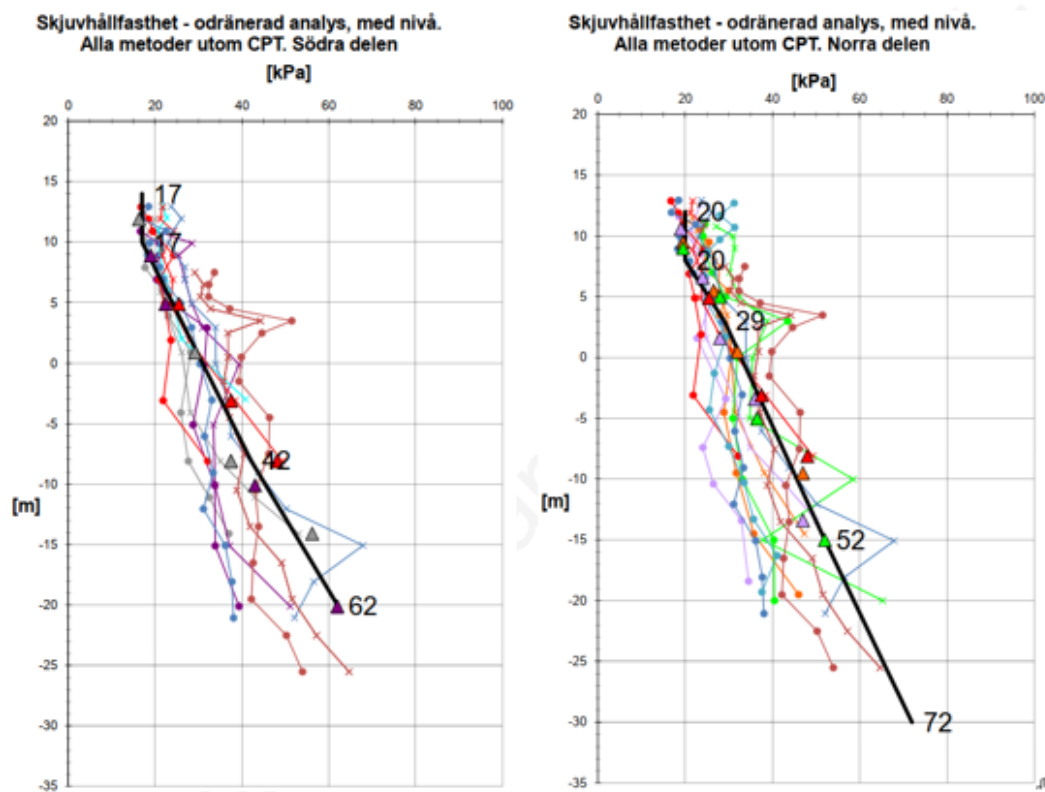
Valda värden för lerans odränerade skjuvhållfasthet har bestämts utifrån ett stort antal uppmätta värden. Inom delområdena, norra och södra, förekommer viss spridning i resultaten men trenden för delområdena likartade.

Val av odränerad hållfasthet på land inom respektive delområde har utförts utifrån sammanställning av erhållna värden från vingsondering, fallkonförsök, direkta skjuvförsök, aktiva triaxialförsök, CPT-sondering samt empiri. Resultat från skjuvförsök, vingsondering samt triaxialförsök har värderats högre än övriga metoder. Resultat från CPT-sonderingar har främst gett stöd för vald trend för hållfasthetsökningen mot djupet.

Vingsonderingarna har korrigerats med avseende på konflytgräns och med hänsyn till överkonsolideringsgrad ( $\sigma'_c$ ), bestämd utifrån belastningsförsök (CRS).

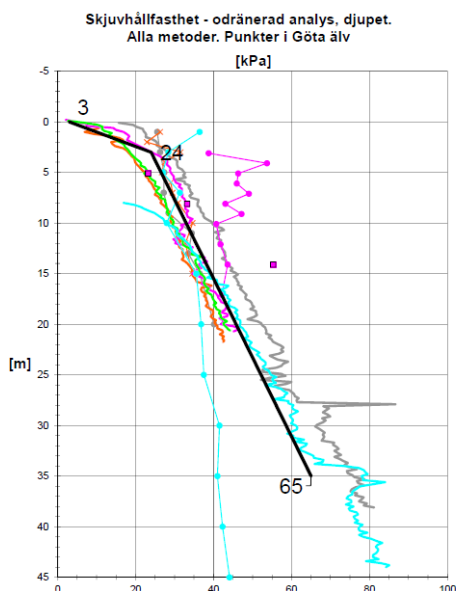
Generellt är skjuvhållfastheten från fallkonförsök lägre i förhållande till övriga metoder, framförallt mot djupet. Hållfastheten från fallkonförsök har därför inte beaktats vid valet av skjuvhållfasthet på djup större än cirka 20 meter.

Den odränerade skjuvhållfastheten bedöms på land vara nivårelaterad, vilket stöder teorin om att erosion utifrån en plan markyta har skapat älvfåran och dess slänter. I Figur 10 och Bilaga 2 redovisas sammanställning av framtagen skjuvhållfasthet tillsammans med vald hållfasthet på land. För redovisning av sammanställda skjuvhållfastheter metodvis hänvisas till Bilaga 10.



Figur 10 Sammanställning av odränerad skjuvhållfasthet på land (vinge, kon och direkta skjuvförsök) inklusive vald profil (svart linje). Södra delen i den vänstra figuren, norra delen i den högra. Se Bilaga 2 för fullständiga figurer inkl symbolförklaring och där redovisas även sammanställning av CPT-sonderingar.

För val av odränerad skjuvhållfasthet i älven är underlaget inte lika omfattande. Förutom undersökningspunkter i älven har även närliggande punkter på land därför beaktats. I älven saknas underlag i form av skjuv- och triaxialförsök. I enlighet med styrdokument DGA00XST01 har hållfastheten i älvleran omedelbart under älvbotten antagits till 3 kPa. Mot djupet har antagits att hållfastheten ökar linjärt mot den hållfasthet som råder på land. För sammanställning av vald hållfasthet i älven se Figur 11, samt Bilaga 2 för fullständig redovisning.



Figur 11 Sammanställning av odränerad skjuvhållfasthet i Göta älv (CPT, vinge, kon och CRS), inklusive vald profil (svart linje). Se Bilaga 2 för fullständig figur inkl symbolförklaring.

### 8.3.3 Dränerad skjuvhållfasthet

För kohesionsjordens dränerande hållfasthetsparametrar har följande värden valts utifrån empiri och de gäller inom hela utredningsområdet:

- Inre friktionsvinkel:  $\phi' = 30^\circ$
- Kohesionsintercept:  $c' = 0,1 \times c_u$

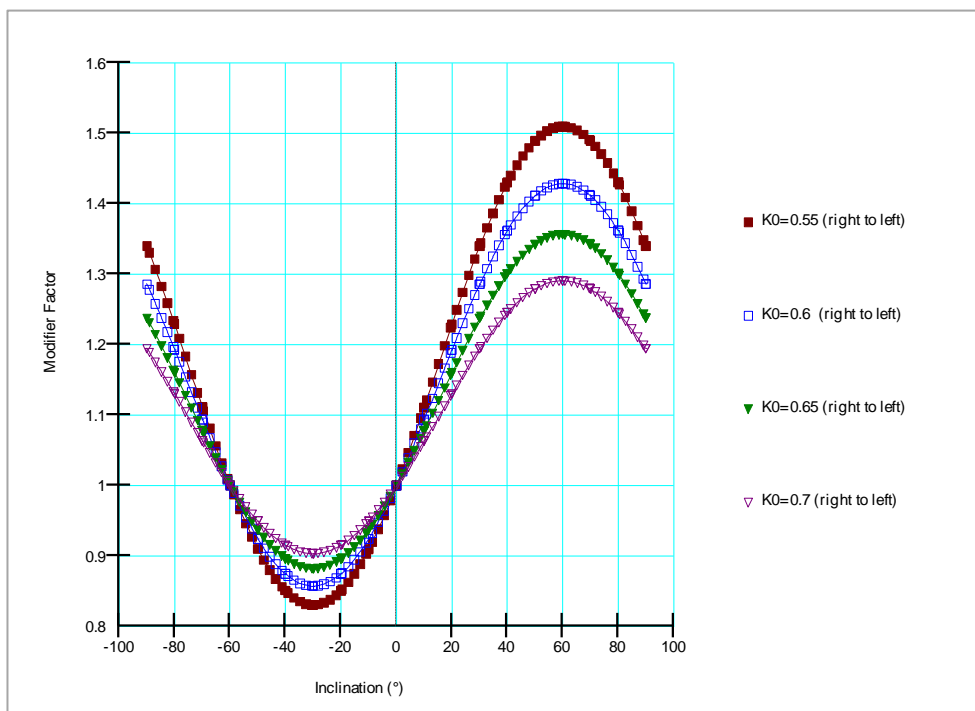
där  $c_u$  är vald odränerad skjuvhållfasthet.

### 8.3.4 Anisotropi

Vid stabilitetsberäkningarna har hänsyn tagits till de anisotropa egenskaperna i leran. De har bestämts utifrån de utförda aktiva triaxialförsöken och empiriska samband enligt SGI Information 3, se sammanställning i Bilaga 10.

Det aktiva sambandet mellan vertikal- och horisontalspänning,  $K_0$ , varierar i området mellan 0,55 - 0,7, se Figur 12. Valt  $K_0$  redovisas under respektive beräkningssektion. I älvleran har vid beräkningar det lägre värdet för sambandet ( $K_0=0,55$ ) antagits vid glidyornas passiv sida eftersom inga passiva triaxialförsök har utförts. Detta värde på  $K_0$  bedöms vara ett konservativt val.





Figur 12 I beräkningarna använda anisotropifunktioner,  $K_0=0,55$ ,  $K_0=0,6$ ,  $K_0=0,65$  och  $K_0=0,7$ . Under respektive beräkningssektion redovisas valt  $K_0$ .

### 8.3.5 Portrycksmodell

Generellt antas att det är de permeabla lagren i slänterna, det vill säga torrskorpan och friktionsjorden under leran, som styr de aktuella portrycksförhållandena i området. Med hänsyn till att leran är relativt homogen utan skikt bedöms vattentransporten genom lerlagret vara försumbar i förhållande till vatten som transporteras i de övre och undre grundvattenmagasinen, som utgörs av uppsprucken torrskorpa i ytan respektive friktionsjord under leran.

Mätningar visar att variationerna i portryck är som störst i de ytligaste mätarna. Detta beror på dess närhet till den förmodat uppspruckna torrskorpan, som leder ner regnvatten i jordprofilen, samt att de övre jordlagren har en snabbare respons då de har en högre överkonsolidering. Mot djupet är lerlagren mer homogena utan några större permeabla vattenförande skikt och det tar därför lång tid för nederbörd att ta sig nedåt i jordprofilen och den påverkar därmed inte portrycket.

De nu genomförda mätningarna är utförda under sommarhalvåret, då avdunstningen är som störst och växtperioden påverkar som mest. Erfarenhet visar att nivåerna är som lägst under sommar och höst, och som högst under vintern. Det är därmed rimligt att anta att de högsta nivåerna under året är högre än de nu uppmätta. Sannolikt kan naturliga årstidsfluktuationer även noteras i de djupare portrycksspetsarna efter en längre mätperiod. Utifrån detta har valda portrycksnivåer i stabilitetsberäkningarna antagits vara något högre än de nu uppmätta värdena. En känslighetsanalys för förhöjda värden (höjning av grundvattenytan med 1 meter) har utifrån detta utförts i en sektion, km 26/100V.



Resultat från nu utförda grundvattennivå- och portrycksmätningar har legat till grund för en bedömning av portrycken i leran. Dessa har också jämförts med referensrörmätningar i Kungälv (redovisade av SGU), där mätningar har utförts 2 gånger per månad sedan många år. En direkt jämförelse mellan dessa värden och de nu uppmätta är inte genomförbar på grund av olika mätintervall och osäkerhet om de är placerade i samma typ av geologiska formation. Dock går det att se att trenden över tid stämmer bra med den kortare tidsperiod som nu studerats. Något momentant samband har inte kunnat ses mellan nederbördstillfällena (data från SMHI:s station i Vänersborg) och förändringar i portrycksnivåerna, utan förändringarna sker med viss fördröjning.

I Göta älvutredningen delrapport 7 (SGI 2011) anges för bedömning av maximala nivåer i det övre grundvattenmagasinet att *"Högsta tänkbara grundvattennivå i det övre grundvattenmagasinet sammanfaller med markytan eller älvnära områden med översvämningsrisk av vattenytan i älven. På släntkrön, i branta slänter, såväl som i områden med mäktig eller högpermeabel torrskorpa finns det dock anledning att anta att den maximala nivån är lägre. Detta gäller speciellt i de fall ytliga glidytor kan väntas vara dimensionerande och den dränerade hållfastheten är dimensionerande i en stor del av glidyten."* Dessa slutsatser antas gälla även efter de nu utförda mätningarna i denna utredning.

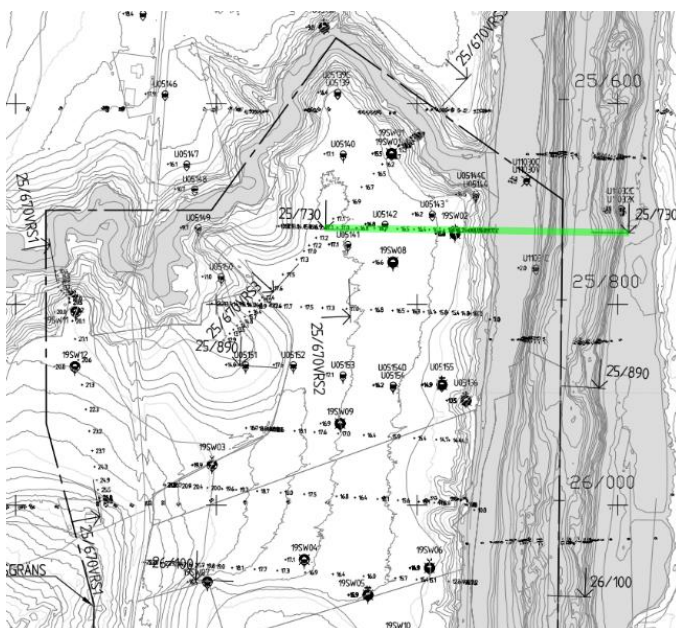
För de beräknade slänterna mot Sollumsån har samma antaganden om grundvattenytans läge och portrycksfördelning i leran använts som för slänterna mot Göta älv.

#### **8.4 Beräkningssektion km 25/730V**

Beräkningssektion 25/730V är belägen i den norra delen av utredningsområdet, strax söder om Sollumsån, se Figur 13.

I sektionen har beräkningar utförts för befintliga förhållanden, både med totalsäkerhetsmetoden och partialkoefficientmetoden. Med totalsäkerhetsmetoden har även känslighetsanalyser utförts. Dels har beräkningar utförts för en ökad markbelastning om 10 kPa och dels med erosion i älven (för både 1 meter och 2 meter).

Ett åtgärdsförslag med avschaktning av släntkrön har beräknats med totalsäkerhetsmetoden.



Figur 13 Beräkningssektion 25/730V, sektionläget är markerat med grön linje.

I denna beräkningssektion finns de nu undersökta punkterna 19SW02 och 19SW08 samt arkivpunkter U05141-144 från Göta älvutredningen delområde 5 (MUR - 05RA003). Punkt 19SW01 ligger strax norr om sektionen. I Göta älv finns arkivpunkterna U11030, U11031 och U11032 från Göta älvutredningen delområde 11 (11RA004 och 11LRA002) nära beräkningssektionen. Från uppdrag Geotekniska undersökningar i Göta älv från flotte, Trollhättan – Lilla Edet, har punkterna 19SW10 och 19SW11 använts då de ligger i älven nära den aktuella sektionen.

#### 8.4.1 Befintliga förhållanden

Markytan i sektion 25/730V är till största del plan ovan släntkrön och sluttar därefter brant ner mot Göta älv med en höjdskillnad på cirka 10 meter. Vid strandkanten finns ett väl synligt erosionskydd. Älvbotten är från strandkanten relativt plan i cirka 40 meter, den så kallade undervattenshyllan. Därefter sluttar älvbotten brant ner mot älvfårans mitt. Som djupast är älven i denna sektion cirka 23 meter djup.

Den största lermäktigheten i sektionen uppgår till cirka 55 meter vid släntkrön (punkt 19SW02). Jorddjupet avtar något mot väster och ungefär 100 meter från släntkrön är lermäktigheten cirka 35 meter (punkt U05141). Under den organiska ytjorden finns en cirka 1,5 meter mäktig torrskorpa och därunder finns en homogen, delvis siltig, lera.

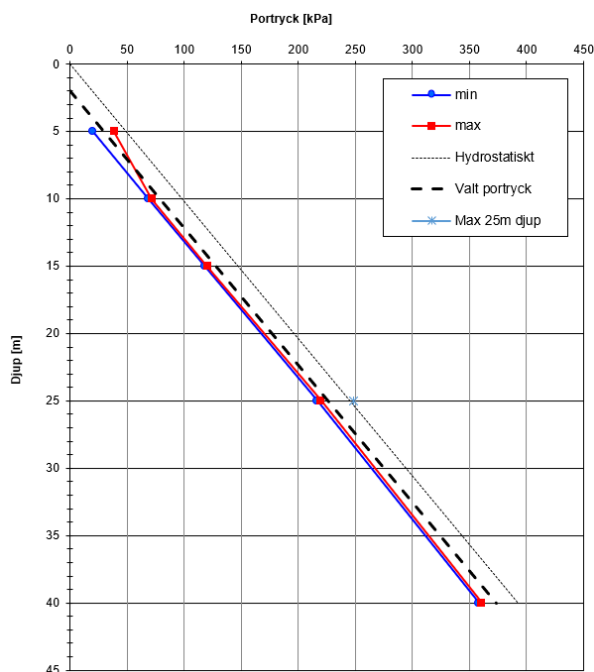
Laboratorieundersökningar visar att lerans densitet generellt varierar mellan 1,6-1,7 ton/m<sup>3</sup>. Den naturliga vattenkvoten och konflytgränsen varierar mellan 50-80 % i leran, med högst uppmätta värden i den undre delen av profilen. Sensitiviteten är 20-30 och ingen indikation på kvicklera är påvisad i sektionen. För laboratorieprotokoll se Bilaga 1 i tillhörande MUR (26000VRA01).

I punkt 19SW02 finns portrycksmätare på fem nivåer: 5, 10, 15, 25 och 40 meter under markytan. Dessa har loggat portrycket var 6:e timme sedan juni 2019 och loggning pågår fortfarande. Mätresultat till och med oktober 2019 har utvärderats i denna utredning.

Den ytligaste portrycksmätaren är den som uppvisade störst variation. Skillnaden är cirka 1,85 meter mellan den lägsta och den högsta uppmätta nivån under mätperioden. Mätaren på 25 meters djup visade från mitten av september 2019 på kraftigt ökande nivåer och steg med cirka 2,5 meter fram till mätningen den sista oktober. Denna ökning syntes ej i någon annan portrycksmätare under aktuell mätperiod, och kan inte heller förklaras med till exempel närhet till permeabla skikt eller dylikt. En jämförelse har även gjorts med nederbörden under perioden och inte heller den kan förklara de kraftigt ökande nivåerna i mätaren på 25 meters djup. Dessa höga nivåer har därför bedömts som otillförlitliga och har ej använts vid beräkningarna.

Övriga mätare visar på en rimlig variation på cirka 20-35 cm mellan uppmätt lägsta och högsta värde på respektive nivå under mätperioden, se Figur 14 nedan samt Bilaga 3.

Utifrån ovanstående resultat har en hydrostatisk portrycksfördelning med nollnivån cirka 2 meter under markytan antagits för beräkningarna, se streckad linje i Figur 14. I figuren finns en hydrostatisk linje utgående från markytan som referenslinje.



Figur 14 Vald portrycksprofil 19SW02P, se även Bilaga 3.

#### 8.4.2 Valda beräkningsparametrar

I beräkningssektion 25/730V har egenskaper från det norra delområdet använts för leran på land. I Tabell 3 redovisas valda värden för tunghet och skjuvhållfasthet relaterat till nivåer. Anisotropi har tillgodoräknats i leran enligt Tabell 3.

Tabell 3 Valda egenskaper för leran på land inom det norra delområdet.

Nivå (möh, RH2000)	Tunghet (kN/m <sup>3</sup> )	Skjuvhållfasthet (kPa)	Anisotropifunktion K <sub>0</sub>
+15,5 till +8	16,5	20	0,6
+8 till +3	16,6	20+1,8*z (där z=0 vid nivå +8)	0,55
+3 till ±0	16,6	29+1,3*z (där z=0 vid nivå +3)	0,55
±0 till underkant lera	16,2	33+1,3*z (där z=0 vid nivå ±0)	0,65

I Tabell 4 redovisas valda värden för tunghet, skjuvhållfasthet och anisotropi i älvområdet relaterat till djup under älvbotten.

Tabell 4 Valda egenskaper för älvleran.

Djup (meter)	Tunghet (kN/m <sup>3</sup> )	Skjuvhållfasthet (kPa)	Anisotropifunktion K <sub>0</sub>
0 till 3	16,4	3+7*z (där z är djup från älvbotten)	0,55
3 till underkant älvlera	16,4	24+1,3*z (där z är djupet 3 m under älvbotten)	0,55

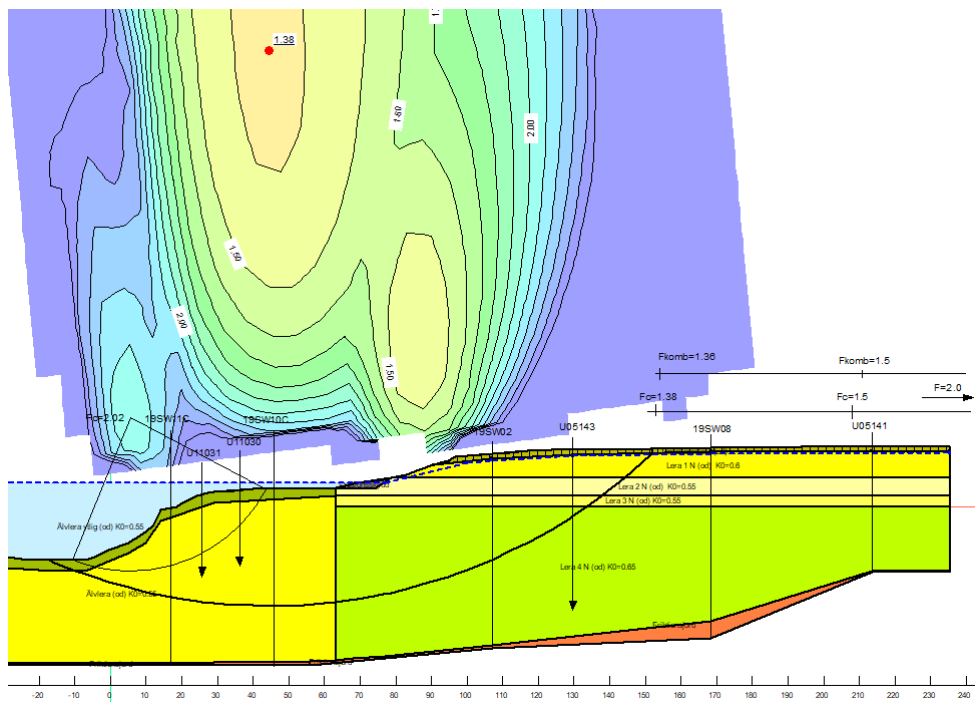
#### 8.4.3 Beräkningsresultat

Utförda beräkningar visar att det enbart är i kombinerad analys med totalsäkerhetsmetoden som säkerhetsfaktorn för befintliga förhållanden uppfyller säkerhetskraven. För odränerad analys med totalsäkerhetsmetoden och för beräkningar med partialkoefficientmetoden är säkerhetsfaktorerna något lägre än de i utredningen ställda kraven. I Tabell 5 redovisas sammanställning av de lägst beräknade säkerhetsfaktorerna i sektion 25/730V. För fullständig redovisning av beräkningarna se Bilaga 7.

Tabell 5 Sammanställning av beräkningsresultat för sektion 25/730V. Svarta siffror visar att krav på säkerhetsfaktor har uppnåtts och röda siffror att krav ej har uppnåtts.

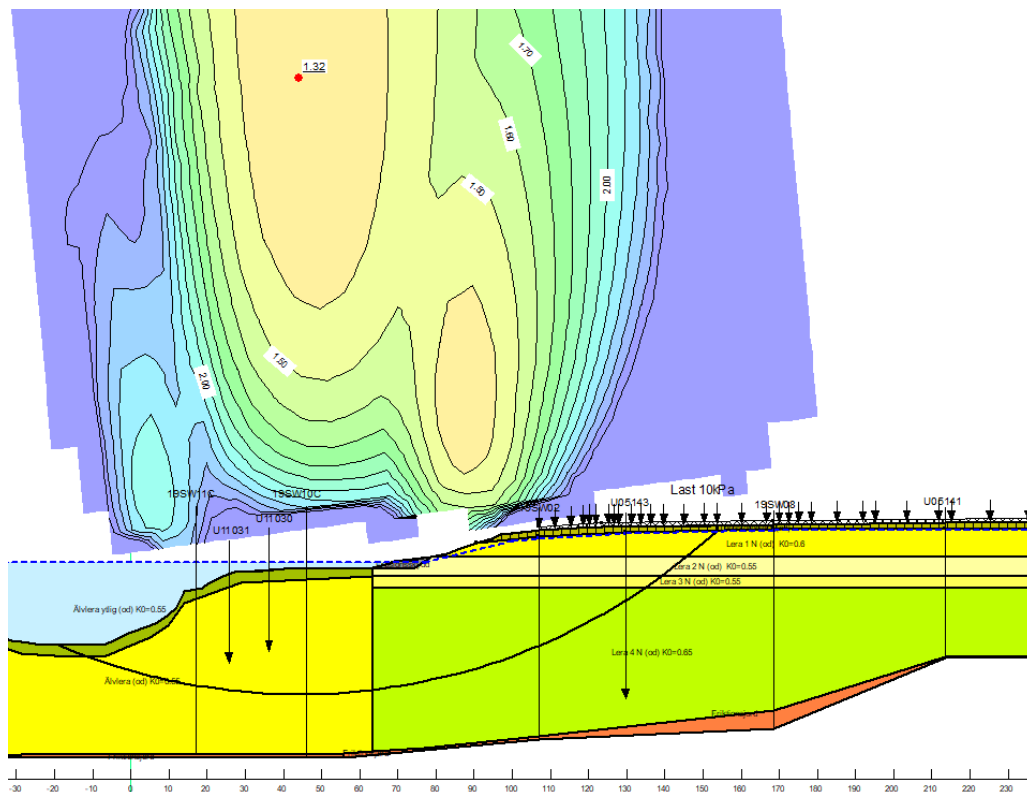
Beräkningsfall	Odränerad analys	Kombinerad analys	Anmärkning
25/730V			Ingen kvicklera
Totalsäkerhetsmetod	$F_c=1,38$	$F_{komb}=1,36$	$F_c$ endast 0,02 från att uppnå kravet
Partialkoefficientmetod	$F_{EN}=0,96$	$F_{EN}=0,92$	SK2
Känslighetsanalys: Uppfyllnad 10 kPa Totalsäkerhetsmetod	$F_c=1,32$	$F_{komb}=1,31$	
Känslighetsanalys: 1 m erosion (Fall B1-1) Totalsäkerhetsmetod	$F_c=1,36$	$F_{komb}=1,34$	
Känslighetsanalys: 2 m erosion (Fall B1-1) Totalsäkerhetsmetod	$F_c=1,34$	$F_{komb}=1,32$	
Åtgärdsförslag: Avschaktning med cirka 0,5 m Totalsäkerhetsmetoden	$F_c=1,42$	$F_{komb}=1,40$	

I Figur 15 redovisas den glidyta som har lägst beräknad säkerhet i odränerad analys med totalsäkerhetsmetoden, vilken har en säkerhetsfaktor som är strax under gällande krav (endast två hundra delar). Denna glidyta slår upp cirka 60 meter bakom släntkrön. Framför och strax bakom glidytan med lägst säkerhetsfaktor uppfylls kravet på säkerhetsfaktorn ( $F_c \geq 1,4$ ).



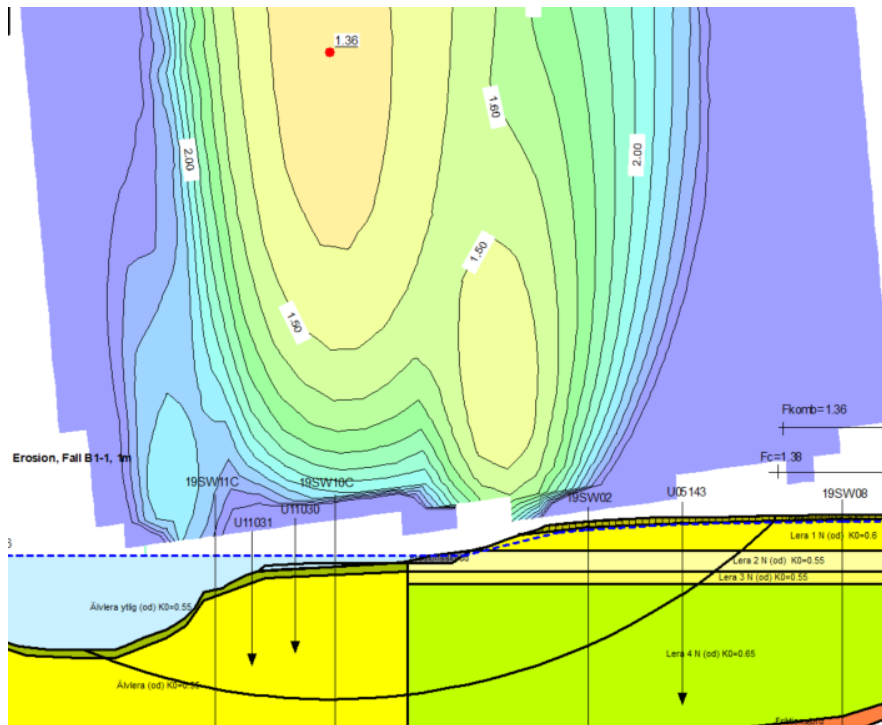
Figur 15 Beräkningsresultat för sektion 25/730V, beräkning 25730VUTB1.  $F_c=1,38$  för befintliga förhållanden, totalsäkerhetsmetoden, odränerad analys. För fullständig redovisning av beräkningen se Bilaga 7.

Känslighetsanalys för en lastökning med 10 kPa, som motsvarar en uppfyllnad av 0,5 meter jord på slänkrön, innebär att säkerhetsfaktorn sjunker i både odränerad- och kombinerad analys med cirka 4 %, se Figur 16. I den kombinerade analysen uppfylls fortfarande erforderligt krav. I den odränerade analysen uppfyller den beräknade säkerhetsfaktorn ( $F_c=1,32$ ) inte uppsatta krav men ligger inom spannet för säkerhetsfaktorer som kan väljas vid fördjupad utredning ( $F_c=1,3-1,4$ ).

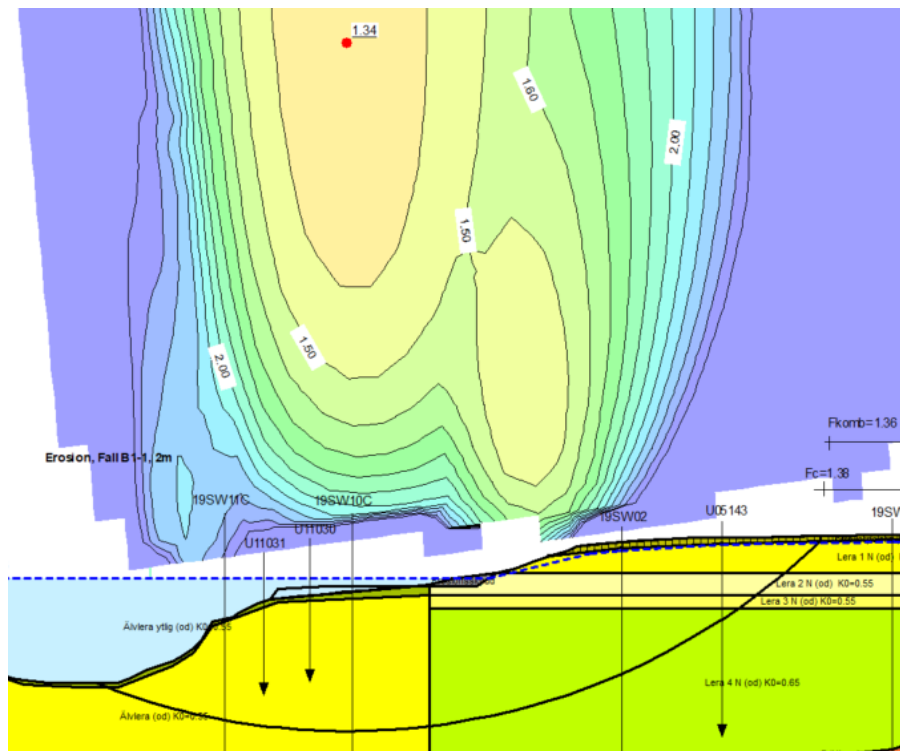


Figur 16 Beräkningsresultat för sektion 25/730V, beräkning 25730VUTK1.  $F_c=1,32$  vid känslighetsanalys med last 10 kPa, totalsäkerhetsmetoden, odränerad analys. För fullständig redovisning av beräkningen se Bilaga 7.

Känslighetsanalys med avseende på erosion som ger en förändrad geometri har studerats enligt beskrivning i styrdokument DGA00XST01. Beräkning har utförts med sänkning av botten i farleden och undervattensslänten med både 1 meter och 2 meter, se Figur 17 respektive Figur 18. Beräkningarna visar att området inte är särskilt känsligt för denna erosion, då säkerhetsfaktorn i den odränerade analysen endast sjunker med 1-3 % jämfört med befintliga förhållanden. I den kombinerade analysen är kraven uppfyllda för såväl 1 meter som för 2 meter erosion. För fullständig redovisning av beräkningarna se Bilaga 7.



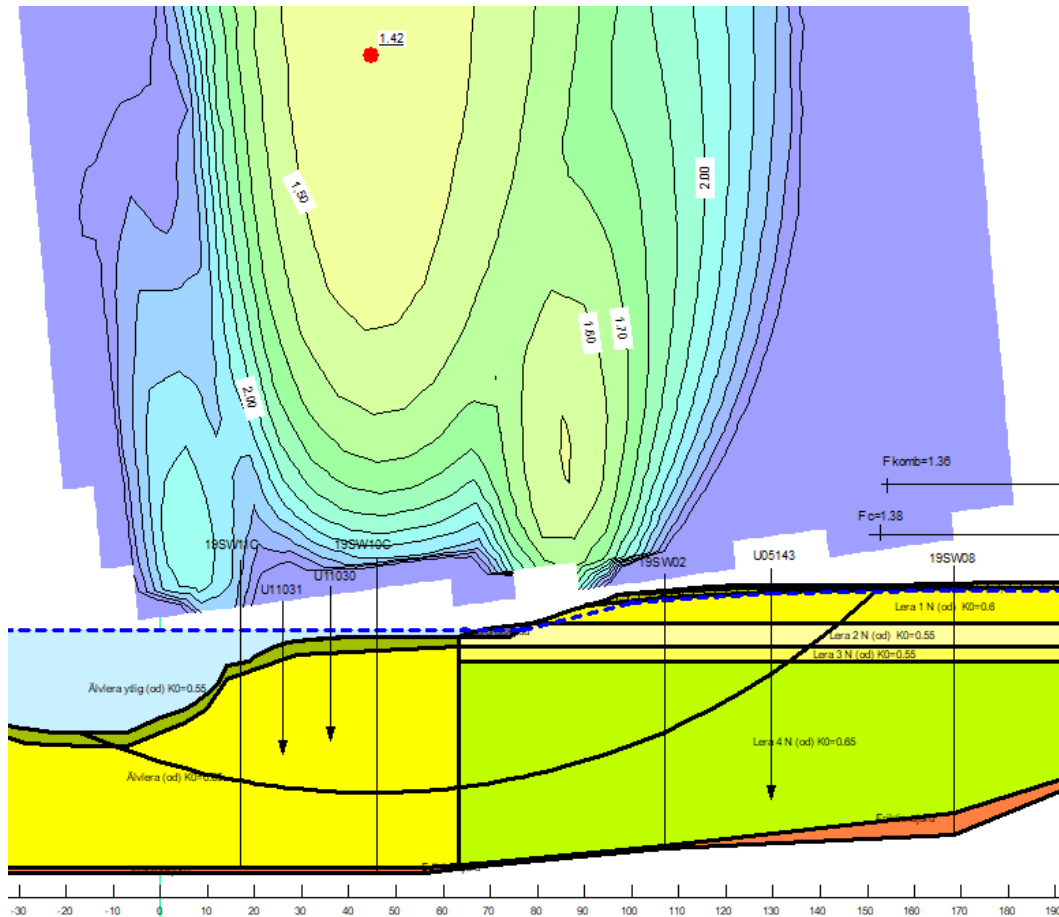
Figur 17 Beräkningsresultat för sektion 25/730V, beräkning 25730VUTE1.  $F_c=1,36$  för känslighetsanalys avseende erosion 1 meter, totalsäkerhetsmetoden, odränerad analys. För fullständig redovisning av beräkningen se Bilaga 7.



Figur 18 Beräkningsresultat för sektion 25/730V, beräkning 25730VUTE2.  $F_c=1,34$  för känslighetsanalys avseende erosion 2 meter, totalsäkerhetsmetoden, odränerad analys. För fullständig redovisning av beräkningen se Bilaga 7.



För att säkerställa stabiliteten fullt ut för befintliga förhållanden enligt uppsatta krav i utredningen behöver stabilitetsförbättrande åtgärder utföras. Den åtgärd som behövs är en avschaktning med 0,5 meter med en utbredning från släntkrön och 70 meter västerut. Resultaten från beräkningar med totalsäkerhetsmetoden, se Figur 19, visar att slänten då uppfyller uppsatta krav för både odränerad och kombinerad analys.



Figur 19 Beräkningsresultat för sektion 25/730V, beräkning 25730VUTA1.  $F_c=1,42$  vid känslighetsanalys med avschaktning, totalsäkerhetsmetoden, odränerad analys. För fullständig redovisning av beräkningen se Bilaga 7.

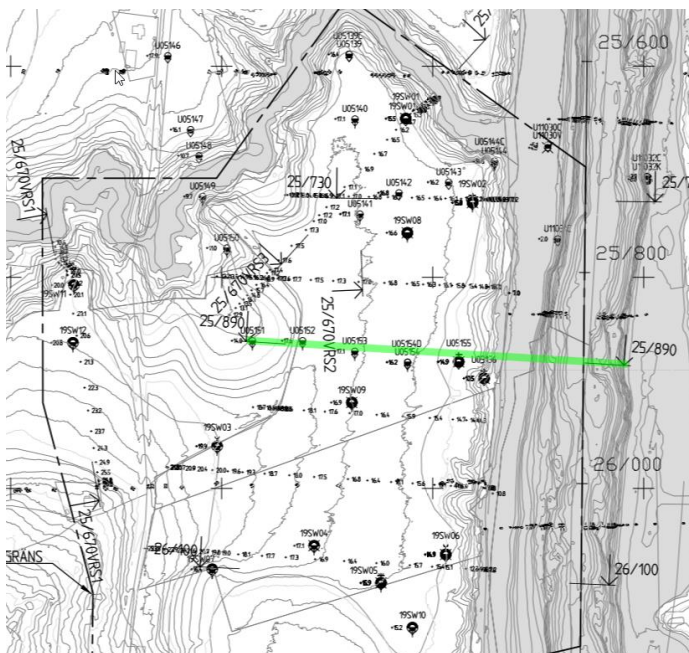
Med hänsyn till att det är mycket nära att uppsatta krav uppnås för befintliga förhållanden tillsammans med att känslighetsanalyserna visar på liten påverkan på säkerhetsfaktorerna kan det övervägas om någon åtgärd är nödvändig, se kapitel 9.

## 8.5 Beräkningssektion km 25/890V

Beräkningssektion 25/890V är belägen centralt i utredningsområdet, se Figur 20.

I sektionen har beräkningar för befintliga förhållanden enbart utförts med totalsäkerhetsmetoden.

Åtgärdsförslag med avschaktning av slänkrön (1,5 meter respektive 3 meter) har beräknats med både totalsäkerhetsmetoden och partialkoefficientmetoden.



Figur 20 Beräkningssektion 25/890V, sektionläget är markerat med grön linje.

I denna beräkningssektion finns arkivpunkterna U05151-156 från Göta älvutredningen samt den nu undersökta punkten 19SW09, som ligger strax söder om sektionen.

### 8.5.1 Befintliga förhållanden

Markytan i sektion 25/890V är till största delen plan ovan slänkrön och sluttar därefter brant ner mot Göta älv, med en höjdskillnad på cirka 8 meter. Vid strandkanten finns ett erosionskydd som delvis är bevuxet. Älvbotten är från strandkanten relativt plan i cirka 30 meter, den så kallade undervattenshyllan. Därefter sluttar älvbotten brant ner mot älvfårans mitt. Som djupast är älven i denna sektion cirka 21 meter.

Den största lermäktigheten i sektionen återfinns vid slänkrönet (punkt U05155) och uppgår till mer än 45 meter. Jorddjupet avtar mot väster och ungefär 150 meter från slänkrön har lermäktigheten avtagit till cirka 20 meter (punkt U05152). Under den organiska ytjorden finns en cirka 1,5 meter mäktig torrskorpa och där under finns en homogen, delvis siltig, lera.

Sensitiviteten är runt 20 i punkterna U05155 och U05156, men enligt utförda CPT-sonderingar i punkterna U05151, U05152 och U05153 i den västra delen av sektionen finns indikation på kvicklereförekomst. Strax söder om sektionen, i punkt 19SW09, visar utförd CPTR-sondering att det finns indikation på kvicklera från 16 meters djup, och

ostörd provtagning visar att det förekommer kvicklera på 20 och 25 meters djup, se Bilaga 4.

Laboratorieundersökningar visar att lerans densitet generellt varierar mellan 1,6-1,7 ton/m<sup>3</sup>. Den naturliga vattenkvoten i leran varierar mellan 50-70 % och konflytgränsen varierar mellan 60-80 %. För laboratorieprotokoll se Bilaga 1 i tillhörande MUR (26000VRA01).

Portrycksmätningar från Göta älvutredningen, (U05155 och U05156) har nyttjats i beräkningarna. Dessa indikerar en hydrostatisk portrycksfördelning med nollnivå cirka 1,5 meter under markytan, vilket har antagits i beräkningarna.

### 8.5.2 Valda beräkningsparametrar

I beräkningssektion 25/890V har egenskaper från det norra delområdet använts för lera på land. I Tabell 6 redovisas valda värden för tunghet och skjuvhållfasthet relaterat till nivåer. Anisotropi har tillgodoräknats i leran enligt Tabell 6.

Tabell 6 Valda egenskaper i leran på land inom det norra delområdet.

Nivå (möh, RH2000)	Tunghet (kN/m <sup>3</sup> )	Skjuvhållfasthet (kPa)	Anisotropifunktion K <sub>0</sub>
+15,5 till +8	16,5	20	0,6
+8 till +3	16,6	20+1,8*z (där z=0 vid nivå +8)	0,55
+3 till ±0	16,6	29+1,3*z (där z=0 vid nivå +3)	0,55
±0 till underkant lera	16,2	33+1,3*z (där z=0 vid nivå ±0)	0,65

I Tabell 7 redovisas valda värden för tunghet, skjuvhållfasthet och anisotropi i älvområdet relaterat till djup under älvbotten.

Tabell 7 Valda egenskaper för älvleran.

Djup (meter)	Tunghet (kN/m <sup>3</sup> )	Skjuvhållfasthet (kPa)	Anisotropifunktion K <sub>0</sub>
0 till 3	16,4	3+7*z (där z är djup från älvbotten)	0,55
3 till underkant älvlera	16,4	24+1,3*z (där z är djupet 3 m under älvbotten)	0,55

### 8.5.3 Beräkningsresultat

Utförda beräkningar visar att säkerhetsfaktorerna för befintliga förhållanden inte uppfyller säkerhetskraven med totalsäkerhetsmetoden varken med odränerad eller kombinerad analys.

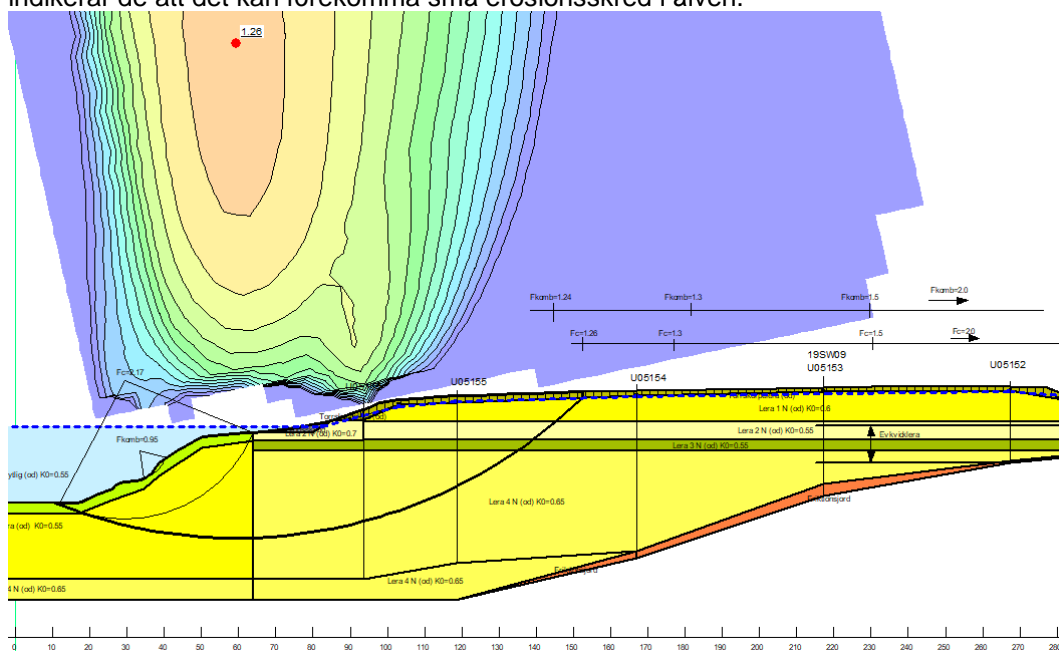
I Tabell 8 redovisas en sammanställning av resultat från utförda beräkningar för sektion 25/890V. För fullständig redovisning av beräkningarna se Bilaga 7.

Tabell 8 Sammanställning av beräkningsresultat för sektion 25/890V. Svarta siffror visar att krav på säkerhetsfaktor har uppnåtts och röda siffror att krav ej har uppnåtts.

Beräkningsfall	Odränerad analys	Kombinerad analys	Anmärkning
25/890V			Kvicklera enbart bakom glidytor med lägst säkerhet, SK2
Totalsäkerhetsmetod	$F_c=1,26$	$F_{komb}=1,24$	
Åtgärdsförslag 1: Avschaktning med ca 1,5 m Totalsäkerhetsmetod	$F_c=1,43$	$F_{komb}=1,37$	
Åtgärdsförslag 1: Avschaktning med ca 1,5 m Partialkoefficientmetod	$F_{EN}=0,96$	$F_{EN}=0,93$	
Åtgärdsförslag 2: Avschaktning med ca 3 m Totalsäkerhetsmetod	$F_c=1,55$	$F_{komb}=1,45$	
Åtgärdsförslag 2: Avschaktning med ca 3 m Partialkoefficientmetod	$F_{EN}=1,03$	$F_{EN}=0,99$	Uppställda krav kan anses vara uppnådda om små justeringar görs

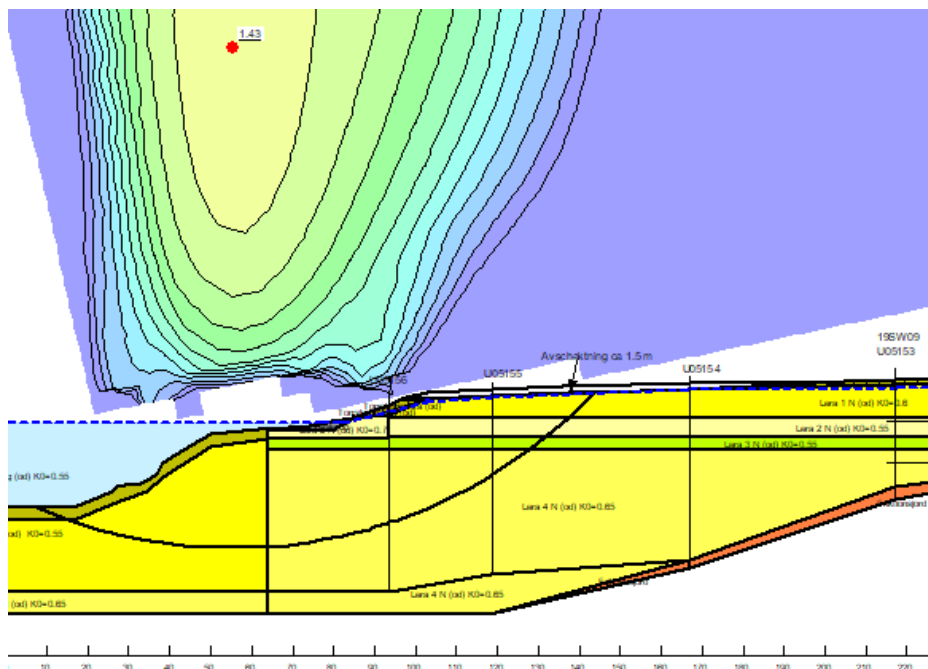
Glidytor med för låga säkerhetsfaktorer sträcker sig cirka 100 meter bakom släntkrön (västerut), se Figur 21. För att uppnå uppsatta krav erfordras stabilitetsförbättrande åtgärder.

Mycket små glidytor i undervattenslätten har beräkningsmässigt låga säkerhetsfaktorer men innebär ingen påverkan på totalstabiliteten om de skulle uppkomma. Däremot indikerar de att det kan förekomma små erosionskred i älven.



Figur 21 Beräkningsresultat för sektion 25/890V, beräkning 25890VUTB1.  $F_c=1,26$  för befintliga förhållanden, totalsäkerhetsmetoden, odränerad analys. För fullständig redovisning av beräkningen se Bilaga 7.

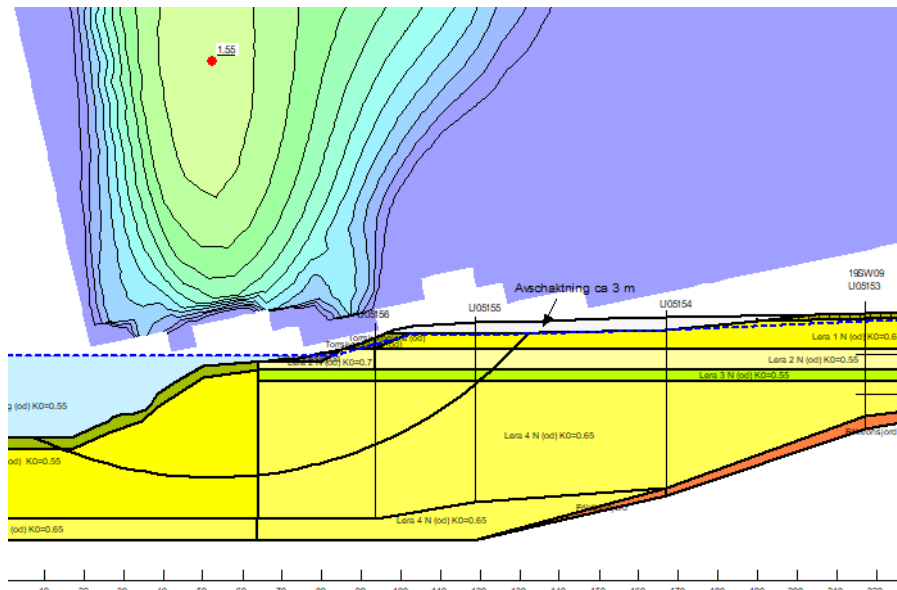
Som åtgärd för att säkerställa säkerheten för befintliga förhållanden har beräkningar utförts för avschaktning av markytan med cirka 1,5 meter (Åtgärdsförslag 1), på en yta från släntkrön och 100 meter bakom, se Figur 22. Med denna åtgärd uppfylls uppsatta krav för totalsäkerhetsmetoden, men inte för partialkoefficientmetoden i SK2.



Figur 22 Beräkningsresultat för sektion 25/890V, beräkning 25890VUTA1.  $F_c=1,43$  för Åtgärdsförslag 1, totalsäkerhetsmetoden, odränerad analys. För fullständig redovisning av beräkningen se Bilaga 7.

För att se om avschaktning är en möjlig åtgärd utifrån partialkoefficientmetoden har beräkningar även utförts för en mer omfattande avschaktning om cirka 3 meter (Åtgärdsförslag 2), se Figur 23. Denna avschaktning innebär att krav för SK2 uppfylls i odränerad analys. I kombinerad analys är säkerhetsfaktorn  $F_{EN}$  precis under kravet för SK2 och kan därför anses bli uppfyllt med små justeringar av åtgärden. Glidytor med lägst säkerhet omfattar inte jordlager med kvicklera, då kvickleran finns längre bak i sektionen.

Resultaten med totalsäkerhetsmetoden visar att Åtgärdsförslag 2 innebär att säkerhetskraven uppfylls med marginal, se Figur 23. Åtgärder med en sådan omfattning kan därmed anses vara överdimensionerade.



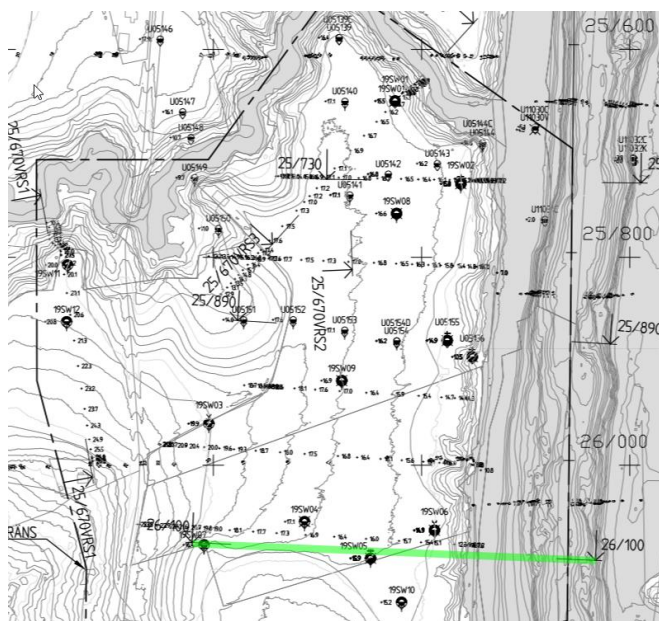
Figur 23 Beräkningsresultat för sektion 25/890V, beräkning 25890VUTA2.  $F_c=1,55$  för Åtgärdsförslag 2, totalsäkerhetsmetoden, odränerad analys. För fullständig redovisning av beräkningen se Bilaga 7.

### 8.6 Beräkningssektion km 26/100V

Beräkningssektion 26/100V är belägen i den södra delen av utredningsområdet, se Figur 24.

I sektionen har beräkningar för befintliga förhållanden utförts med totalsäkerhetsmetoden. Känslighetsanalys för en höjd grundvattennivå med 1 meter har även utförts med totalsäkerhetsmetoden.

För ett åtgärdsförslag med avsaktning av släntröner har beräkningar utförts med både totalsäkerhetsmetoden och partialkoefficientmetoden.



Figur 24 Beräkningssektion 26/100V, sektionläget är markerat med grön linje.

I denna beräkningssektion finns de nu undersökta punkterna 19SW04 - 19SW07 samt punkten 19SW10, som ligger strax söder om sektionen.

Befintligt bostadshus samt ladugård som finns strax söder om beräkningssektionen är sannolikt grundlagda på berg och bedöms inte ha någon påverkan på stabiliteten i området, eller att de skulle påverkas vid ett eventuellt skred.

### 8.6.1 Befintliga förhållanden

Markytan i sektion 26/100V är till största delen plan ovan släntkrön och sluttar därefter brant ner mot Göta älv med en höjdskillnad på cirka 8 meter. Vid strandkanten finns erosionssskydd som delvis är bevuxet. Älvbotten är från strandkanten relativt plan i cirka 30 meter, den så kallade undervattenshyllan. Därefter sluttar älvbotten brant ner mot älvfårans mitt. Som djupast är älven i denna sektion cirka 20 meter.

Den största lermäktigheten i sektionen återfinns vid släntkrönet (punkt 19SW06) och uppgår till cirka 47 meter. Jorddjupet avtar mot väster och drygt 200 meter från släntkrön har lermäktigheten avtagit till cirka 5 meter (punkt 19SW07). Under den organiska ytjorden finns en cirka 1,5 meter mäktig torrskorpa och därunder finns en homogen, delvis siltig, lera. Under leran finns ett lager med friktionsjord, vars mäktighet bedöms till cirka 6 meter i den västra delen. Friktionsjordens mäktighet avtar mot älven och är cirka 1 meter vid släntkrön.

Sensitiviteten är runt 15-25 i punkt 19SW06 samt i den övre delen av 19SW05. På djupen 24-30 meter är sensitiviteten i punkt 19SW05 högre, 38-66. Den omrörda skjuvhållfastheten i leran visar likväl inte på att det finns kvicklera. Indikation på kvicklereförekomst finns emellertid enligt utförda CPTR-sonderingar i punkterna 19SW04 och 19SW07, som ligger i den bakre delen av sektionen i väster.

Laboratorieundersökningar visar att lerans densitet generellt varierar mellan 1,6-1,7 ton/m<sup>3</sup>. Den naturliga vattenkvoten och konflytgränsen i leran varierar båda mellan 60-75 %. För laboratorieprotokoll, se Bilaga 1 i tillhörande MUR (26000VRA01).

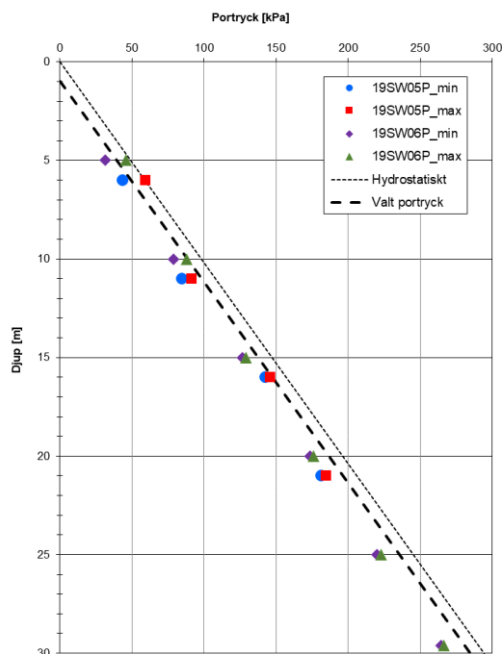
I punkt 19SW05, cirka 80 meter bakom släntkrön, finns portrycksmätare på fyra nivåer: 6, 11, 16 och 21 meter under markytan. Dessa har loggat portrycket var 6:e timme sedan juni 2019 och loggning pågår fortfarande. Mätresultat till och med oktober 2019 har utvärderats i denna utredning.

Den ytligaste portrycksmätaren, 6 meter under markytan, är den som uppvisar störst variation. Skillnaden är cirka 1,6 meter mellan den lägsta och den högsta uppmätta nivån under mätperioden. Den näst ytligaste mätaren, 11 meter under markytan, visar en variation på cirka 70 cm mellan den lägsta och den högsta uppmätta nivån under samma mätperiod. De två djupast installerade mätarna visar på mindre variation med cirka 30 cm skillnad mellan den lägsta och den högsta uppmätta nivån för respektive mätare under mätperioden.

I punkt 19SW06, placerad cirka 10 meter bakom släntkrön i samma sektion, har portrycksmätare installerats på sex nivåer: 5, 10, 15, 20, 25 och 29,6 meter under markytan. Även dessa har loggat portrycket var 6:e timme sedan juni 2019 och loggning pågår fortfarande. Mätresultat till och med oktober 2019 har utvärderats i denna utredning. Också i denna punkt är variationen störst i den ytligast installerade mätaren, med cirka 1,4 meter skillnad mellan den lägsta och den högsta uppmätta nivån under mätperioden. Näst störst variation återfinns hos den näst ytligaste, med cirka 90 cm skillnad. För mätarna installerade på större djup är variationerna betydligt mindre, cirka 15-30 cm skillnad under mätperioden.



Utifrån ovanstående resultat har en hydrostatisk portrycksfördelning med nollnivån cirka 1 meter under markytan antagits för beräkningarna, se streckad linje i Figur 25. I figuren finns en hydrostatisk linje utgående från markytan som referenslinje. I Bilaga 3 redovisas även respektive undersökningspunkt separat.



Figur 25 Vald portrycksprofil för punkterna 19SW05P och 19SW06P, se även Bilaga 3 för separat redovisning för respektive punkt.

### 8.6.2 Valda beräkningsparametrar

I beräkningssektion 26/1000V har egenskaper från det södra delområdet använts för leran på land. I Tabell 9 redovisas valda värden för tunghet och skjuvhållfasthet relaterat till nivåer. Anisotropi har tillgodoräknats i leran enligt Tabell 9.

Tabell 9 Valda egenskaper i leran på land inom det södra delområdet.

Nivå (möh, RH2000)	Tunghet (kN/m <sup>3</sup> )	Skjuvhållfasthet (kPa)	Anisotropifunktion K <sub>0</sub>
+15,5 till +10	16,2	17	0,6
+10 till -8	16,5	17+1,4*z (där z=0 vid nivå +10)	0,55
-8 till underkant lera	16,1	42+1,7*z (där z=0 vid nivå -8)	0,65

För denna sektion har skjuvhållfasthetsökningen mot djupet anpassats under älven för att bättre möta hållfastheten på land. I Tabell 10 redovisas valda värden för tunghet, skjuvhållfasthet och anisotropi i älvområdet relaterat till djup under älvbotten.

Tabell 10 Valda egenskaper för älvleran.

Djup (meter)	Tunghet (kN/m <sup>3</sup> )	Skjuvhållfasthet (kPa)	Anisotropifunktion K <sub>0</sub>
0 till 3	16,4	3+7*z  (där z är djup från älvbotten)	0,55
3 till underkant älvlera	16,4	24+1,5*z  (där z är djupet 3 m under älvbotten)	0,55

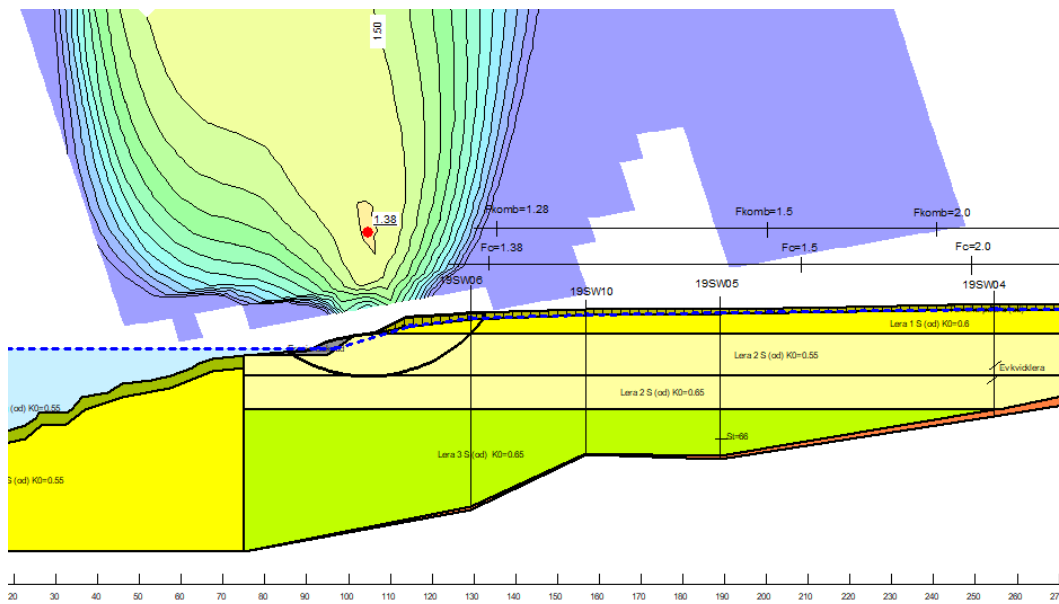
### 8.6.3 Beräkningsresultat

Utförda beräkningar visar att säkerhetsfaktorerna för befintliga förhållanden inte uppfyller säkerhetskraven med totalsäkerhetsmetoden, varken i odränerad eller kombinerad analys. Erhållna säkerhetsfaktorer för befintliga förhållanden är dock endast två hundradelar lägre än det uppsatta kravet. I Tabell 11 redovisas en sammanställning av resultat från utförda beräkningar i sektion 26/100V. För fullständig redovisning av beräkningarna se Bilaga 7.

Tabell 11 Sammanställning av beräkningsresultat för sektion 26/100V. Svarta siffror visar att krav på säkerhetsfaktor har uppnåtts och röda siffror att krav ej har uppnåtts.

Beräkningsfall	Odränerad analys	Kombinerad analys	Anmärkning
26/100V			Kvicklera finns väster om glidytor med lägst beräknad säkerhet, SK2
Totalsäkerhetsmetod	F <sub>c</sub> =1,38	F <sub>komb</sub> =1,28	F <sub>c</sub> och F <sub>komb</sub> endast 0,02 från att uppnå kraven
Känslighetsanalys : Uppfyllnad 10 kPa Totalsäkerhetsmetod	F <sub>c</sub> =1,28	F <sub>komb</sub> =1,22	
Känslighetsanalys : Höjning av grundvattenytan 1 m, 10 kPa portryckshöjning i profilen Totalsäkerhetsmetod	F <sub>c</sub> =1,38	F <sub>komb</sub> =1,22	
Åtgärdsförslag: Avschaktning med ca 1 m Totalsäkerhetsmetod	F <sub>c</sub> =1,52	F <sub>komb</sub> =1,42	Uppställda krav uppnås med marginal
Åtgärdsförslag: Avschaktning med ca 1 m Partialkoefficientmetod	F <sub>EN</sub> =1,01	F <sub>EN</sub> =0,99	Uppställda krav kan anses vara uppnådda

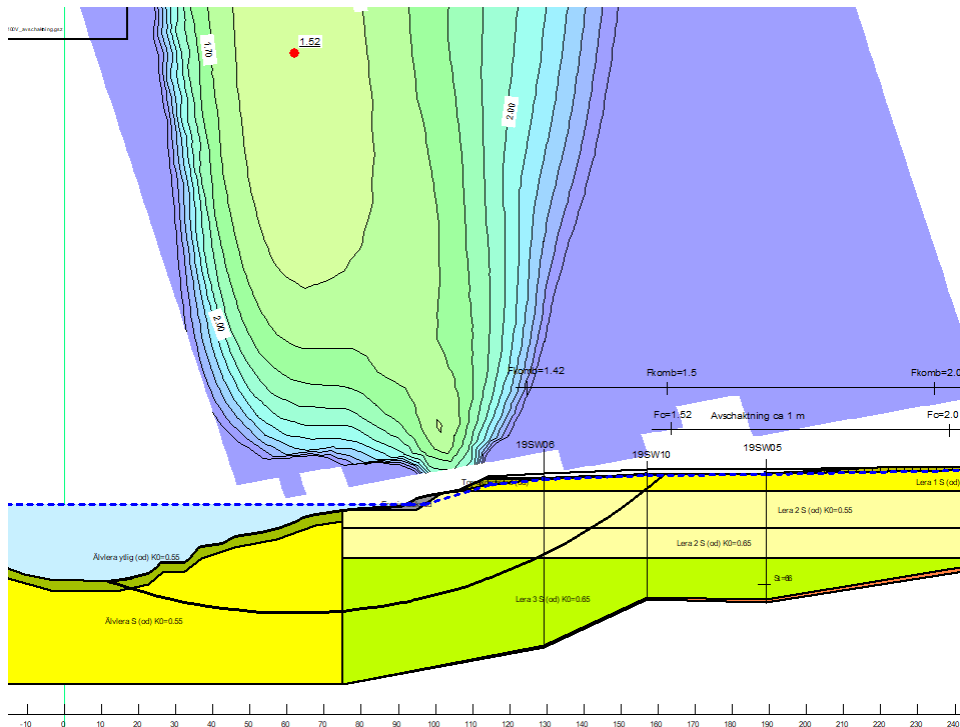
Glidytor med låga beräknade säkerhetsfaktorer som inte uppfyller säkerhetskraven för befintliga förhållanden omfattar ett område som når cirka 25 meter bakom släntrön, se Figur 26.



Figur 26 Beräkningsresultat för sektion 26/100V, beräkning 26100VUTB1.  $F_c=1,38$  för befintliga förhållanden, totalsäkerhetsmetoden, odränerad analys. För fullständig redovisning av beräkningen se Bilaga 7.

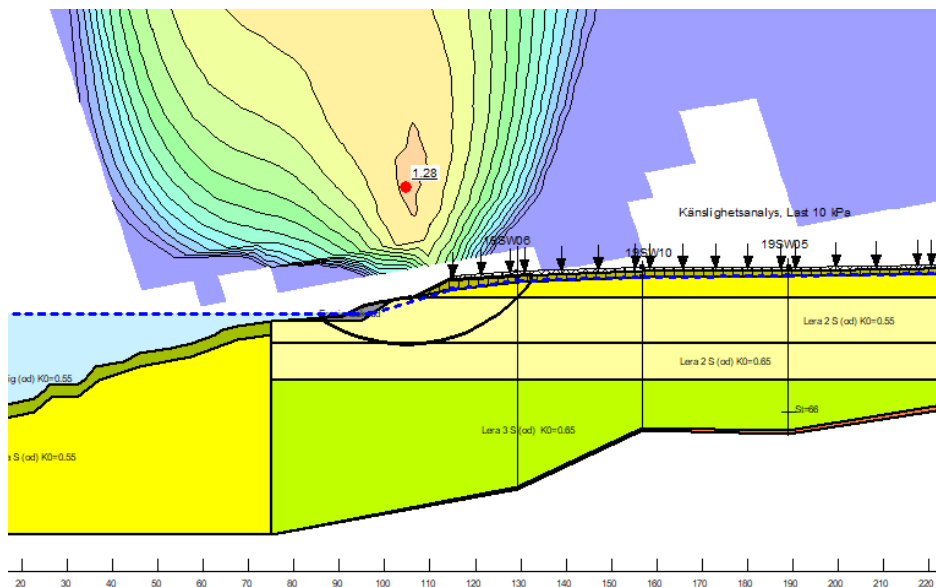
För att höja säkerheten föreslås cirka 1 meter avschaktning av marken 50-100 meter västerut bakom slänkrön, se Figur 27. Slänten uppfyller efter denna åtgärd ställda krav med totalsäkerhetsmetoden samt även för odränerad analys med partialkoefficientmetoden för SK2.

Med hänsyn till att glidytorna inte omfattar jordlager med kvicklera bedöms SK2 som tillämpbar. Indikationer på att kvicklera förekommer finns inte vid slänkrön men däremot västerut i sektionen. Denna del är det enbart större glidytor som når och de har betydligt högre beräknade säkerheter. I kombinerad analys är inte säkerheten helt uppfylld då erhållen säkerhetsfaktor är precis under kravet för SK2.



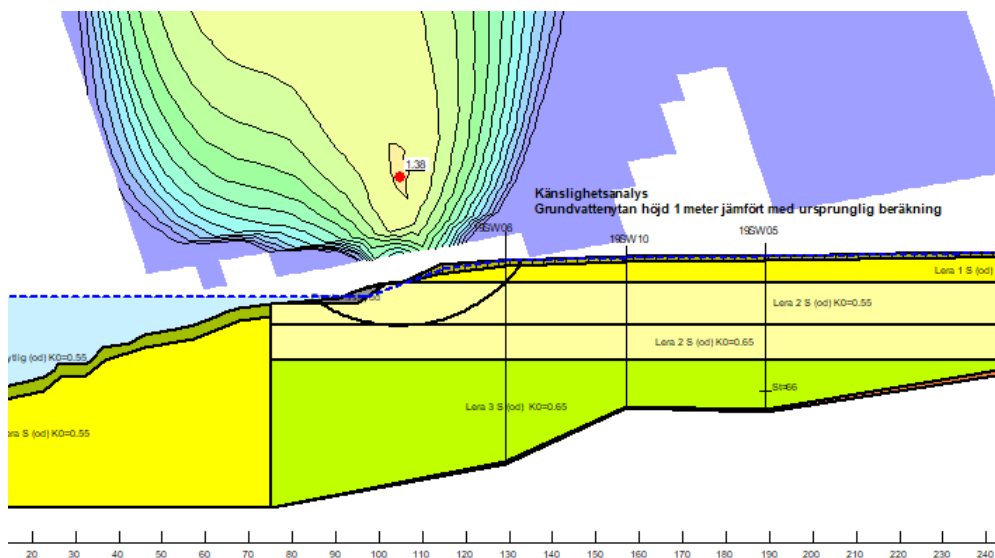
Figur 27 Beräkningsresultat för sektion 26/100V, beräkning 26100VUTA1.  $F_c=1,52$  för åtgärdsförslag med avschaktning, totalsäkerhetsmetoden, odränerad analys. För fullständig redovisning av beräkningen se Bilaga 7.

Känslighetsanalyser har även utförts för den befintliga slänten, vilka har beräknats med totalsäkerhetsmetoden. Den ena känslighetsanalysen innebär en lastökning med 10 kPa på den aktiva sidan av beräkningssektionen, vilket motsvarar en uppfyllnad av cirka 0,5 meter jord på åkermarken, se Figur 28. Beräknade säkerhetsfaktorer visar att säkerheten i odränerad analys sänks med cirka 7 % och i kombinerad analys med cirka 5 %.



Figur 28 Beräkningsresultat för sektion 26/100V, beräkning 26100VUTK1.  $F_c=1,28$  för känslighetsanalys med last 10 kPa, totalsäkerhetsmetoden, odränerad analys. För fullständig redovisning av beräkningen se Bilaga 7.

Den andra känslighetsanalysen innebär beräkningar för en porttryckshöjning i leran som motsvarar en höjning av grundvattenytan med 1 meter, vilket betyder att grundvattenytan i stort sett hamnar i markytan. I den odränerade analysen påverkas inte säkerhetsfaktorerna, se Figur 29, medan säkerheten i den kombinerade analysen sänks med cirka 5 %, se Bilaga 7.

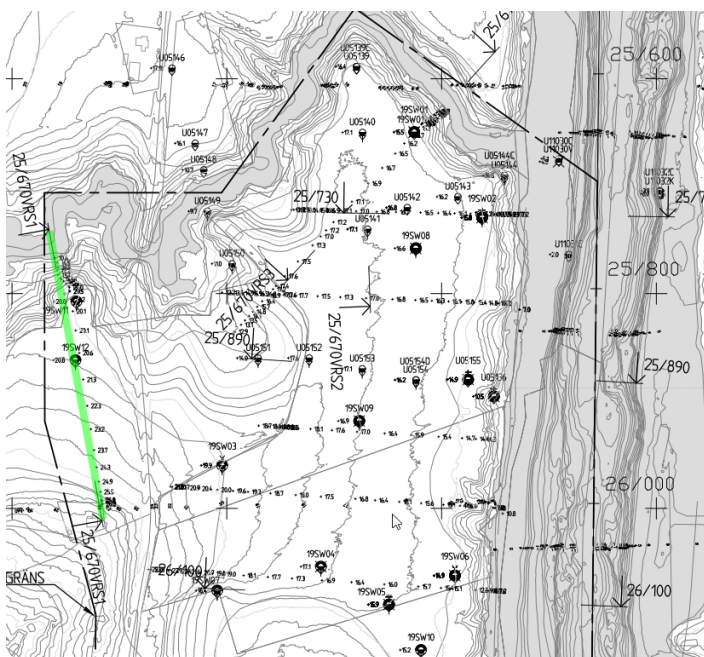


Figur 29 Beräkningsresultat för sektion 26/100V, beräkning 26100VUTK2.  $F_c=1,38$  för känslighetsanalys med höjt porttryck, totalsäkerhetsmetoden, odränerad analys. För fullständig redovisning av beräkningen se Bilaga 7.

## 8.7 Beräkningssektion km 25/670VRS1

Beräkningssektion 25/670VRS1 är belägen väster om Kungälvsvägen och omfattar den södra slänten mot Sollumsån, se Figur 30. Beräkningssektionen berör vid Sollumsån Natura 2000-området.

Beräkningar har i sektionen utförts för befintliga förhållanden med totalsäkerhetsmetod.



Figur 30 Beräkningssektion 25/670VRS1, sektionläget är markerat med grön linje.

I denna beräkningssektion finns de nu undersökta punkterna 19SW11 och 19SW12 söder om ån där CPTR-sonderingar och störd provtagning har utförts. Omfattningen av undersökningarna är här av mer översiktlig karaktär. Eftersom ett skred i detta område bedöms ha liten påverkan på Göta älv har avsteg gjorts från fördjupad utredningsnivå i denna utredning.

### 8.7.1 Befintliga förhållanden

Sektion 25/670VRS1 sträcker sig från Sollumsån i norr till ett fastmarksparti i söder. Markytan sluttar mot Sollumsån med en medellutning av ungefär 1:20 fram till slänkrön som är beläget på nivån cirka +20. Från slänkrön sluttar marken brantare, med en lutning på cirka 1:3, ner mot ravinbotten där marken invid ån är belägen på nivå cirka +7. Åbredden varierar i området med mellan 15-30 meter, och i beräkningssektionen har den bedömts vara 30 meter.

Ingen lodning av åfåran har utförts, varför bottennivån har antagits till +5, som bedöms vara ett konservativt val.

Den största lermäktigheten återfinns vid slänkrönet (punkt 19SW11) och uppgår till drygt 45 meter. Cirka 60 meter söder därom (punkt 19SW12) har lermäktigheten avtagit till knappt 25 meter. Lermäktigheten avtar ytterligare åt söder och drygt 200 meter från slänkrön är det fastmark. Under den organiska ytjorden finns en 1-2 meter mäktig torrskorpa och därunder finns en homogen, delvis siltig, lera. Enligt utförda CPT-sonderingar finns vid slänkrönet även ett skikt med grövre material i leran, 22-24 meter under markytan. Längre söderut avtar lermäktigheten, samtidigt som nivån för det grövre skiktet stiger till 16-17 meter under markytan i punkt 19SW12.

Inga kvalificerade undersökningar har utförts i sektionen och det finns heller inga portrycks- eller grundvattenrör i sektionen. För framtagning av beräkningsparametrar har sammanställningar för den norra delen, det vill säga öster om sektionen, nyttjats men med viss justering på grund av att markytan är högre belägen i detta område. Utförd CPTR-sondering ger indikation på att det kan förekomma kvicklera i området.

Med utgångspunkt från portrycksmätningar öster om sektionen, i det norra delområdet, har en hydrostatisk portrycksfördelning med en nollnivå cirka 2 meter under markytan antagits vid beräkningarna, se Figur 14.

### 8.7.2 Valda beräkningsparametrar

I beräkningssektion 25/670VRS1 har egenskaper från det norra delområdet generellt antagits för leran. Men med hänsyn till att markytan i sektionen ligger på en högre nivå än vad undersökningspunkterna i öster gör, har värdena anpassats för de övre 15 metrarna. I Tabell 12 redovisas valda värden för tunghet och skjuvhållfasthet relaterat till nivåer. Vid beräkningarna har hänsyn tagits till anisotropieffekter i leran, trots mycket begränsat undersökningsmaterial i denna del av utredningsområdet, se Tabell 12.

Tabell 12 Valda egenskaper för leran på land utifrån nordvästra delområdet.

Nivå (möh, RH2000)	Tunghet (kN/m <sup>3</sup> )	Skjuvhållfasthet (kPa)	Anisotropifunktion K <sub>0</sub>
+18 till +3	16,5	15+1,2*z (där z=0 vid nivå +18)	0,6
+3 till ±0	16,6	29+1,3*z (där z=0 vid nivå +3)	0,55
±0 till underkant lera	16,2	33+1,3*z (där z=0 vid nivå ±0)	0,65

Vid Sollumsån har samma förhållanden som i älvområdet antagits, med justering för att vattendjupet i ån endast är cirka 2 meter och därmed betydligt grundare än Göta älv. I Tabell 13 redovisas valda värden för tunghet, skjuvhållfasthet och antagen anisotropi vid ån relaterat till djup.

Tabell 13 Valda egenskaper i leran vid Sollumsån.

Djup (meter)/ Nivå	Tunghet (kN/m <sup>3</sup> )	Skjuvhållfasthet (kPa)	Anisotropifunktion K <sub>0</sub>
0 till 1 m djup	16,4	3+7*z (där z är djup från åbotten)	0,55
1 m djup till nivå +3	16,4	24+1,3*z (där z är djupet 1 m under åbotten)	0,55
Nivå +3 till ±0	16,6	29+1,3*z (där z=0 vid nivå +3)	0,55
Nivå ±0 till underkant lera	16,2	33+1,3*z (där z=0 vid nivå ±0)	0,65

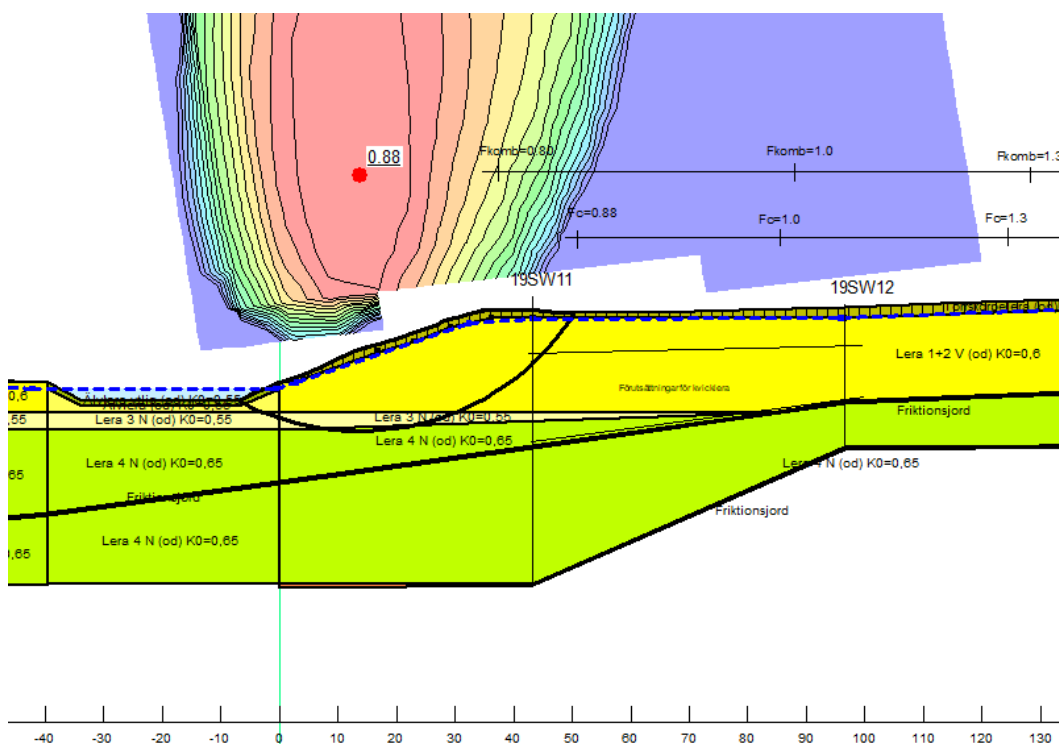
### 8.7.3 Beräkningsresultat

Beräkningsresultat i sektion 25/670VRS1 visar för befintliga förhållanden med totalsäkerhetsmetoden mycket låga säkerhetsfaktorer främst i odränerad analys, se Figur 31. Även säkerhetsfaktorer för kombinerad analys är låga. I Tabell 14 redovisas resultat från utförda beräkningar, för fullständig redovisning av beräkningarna se Bilaga 8.



Tabell 14 Beräkningsresultat 25/670VRS1\_Sollumsån. Röda siffror visar att krav på säkerhetsfaktor ej har uppnåtts

Beräkningsfall	Odränerad analys	Kombinerad analys	Anmärkning
25/670VRS1_Sollumsån			
Totalsäkerhetsmetod	$F_c=0,88$	$F_{komb}=0,8$	



Figur 31 Beräkningsresultat för sektion 25/670V Sollumsån sektion 1, beräkning 25670VRS1UTB1.  $F_c=0,88$  för befintliga förhållanden, totalsäkerhetsmetoden, odränerad analys. För fullständig redovisning av beräkningen se Bilaga 8.

Glidytor med låga säkerheter omfattar stora delar av slänten. De lägst beräknade säkerhetsfaktorerna ( $F_c < 0,9$ ) motsvarar glidytor som slår upp strax bakom släntkrön.  $F_c > 1,0$  erhålls 50-60 meter bakom släntkrön och först drygt 100 meter bakom släntkrön uppnås  $F_c > 1,5$  både i odränerad- och kombinerad analys. Skredutbredningen bedöms kunna bli relativt omfattande även vid ett mindre initialscred vid släntkrön, då utförda sonderingar indikerar på att det kan finnas kvicklera tillsammans med låga säkerhetsfaktorer långt bak i slänten.

Med hänsyn till de låga beräknade säkerheterna i kombination med att omfattningen av undersökningar är begränsad behöver kompletterande underlag tas fram i denna del av utredningsområdet. Resultaten visar att lerans egenskaper behöver klarläggas i detalj samt att inmätning av slänten och Sollumsån behöver utföras.

## 8.8 Beräkningssektion km 25/670VRS2

Beräkningssektion 25/670VRS2 är belägen i det norra delområdet, knappt 200 meter väster om Göta älv, och omfattar slänten mot Sollumsån, se Figur 32.

Beräkningssektionen berör Natura 2000-området vid Sollumsån.



Utförande närliggande beräkningssektion 25/730V, där portrycksmätningar i leran har utförts, har samma portrycksprofil använts för aktuell sektion. Det vill säga att en hydrostatisk portrycksfördelning med nollnivå cirka 2 meter under markytan har valts i beräkningarna, se Figur 14.

### 8.8.2 Valda beräkningsparametrar

I beräkningssektion 25/670VRS2 har egenskaper från det norra delområdet använts för leran på land. I Tabell 15 redovisas valda värden för tunghet och skjuvhållfasthet relaterat till nivåer. Anisotropi har tillgodoräknats i leran enligt Tabell 15.

Tabell 15 Valda egenskaper för leran på land i det norra delområdet.

Nivå (möh, RH2000)	Tunghet (kN/m <sup>3</sup> )	Skjuvhållfasthet (kPa)	Anisotropifunktion K <sub>0</sub>
+17 till +8	16,5	20	0,6
+8 till +3	16,6	20+1,8*z (där z=0 vid nivå +8)	0,55
+3 till ±0	16,6	29+1,3*z (där z=0 vid nivå +3)	0,55
±0 till underkant lera	16,2	33+1,3*z (där z=0 vid nivå ±0)	0,65

Vid Sollumsån har samma förhållanden som i älvområdet antagits, med justering för att vattendjupet i ån endast är cirka 2 meter och därmed betydligt grundare än i Göta älv. I Tabell 16 redovisas valda värden för tunghet, skjuvhållfasthet och antagen anisotropi för leran vid ån relaterat till djup.

Tabell 16 Valda egenskaper för leran vid Sollumsån.

Djup (meter)/ Nivå	Tunghet (kN/m <sup>3</sup> )	Skjuvhållfasthet (kPa)	Anisotropifunktion K <sub>0</sub>
0 till 1 m djup	16,4	3+7*z (där z är djup från åbotten)	0,55
1 m djup till nivå +3	16,4	24+1,3*z (där z är djupet 1 m under åbotten)	0,55
Nivå +3 till ±0	16,6	29+1,3*z (där z=0 vid nivå +3)	0,55
Nivå ±0 till underkant lera	16,2	33+1,3*z (där z=0 vid nivå ±0)	0,65

### 8.8.3 Beräkningsresultat

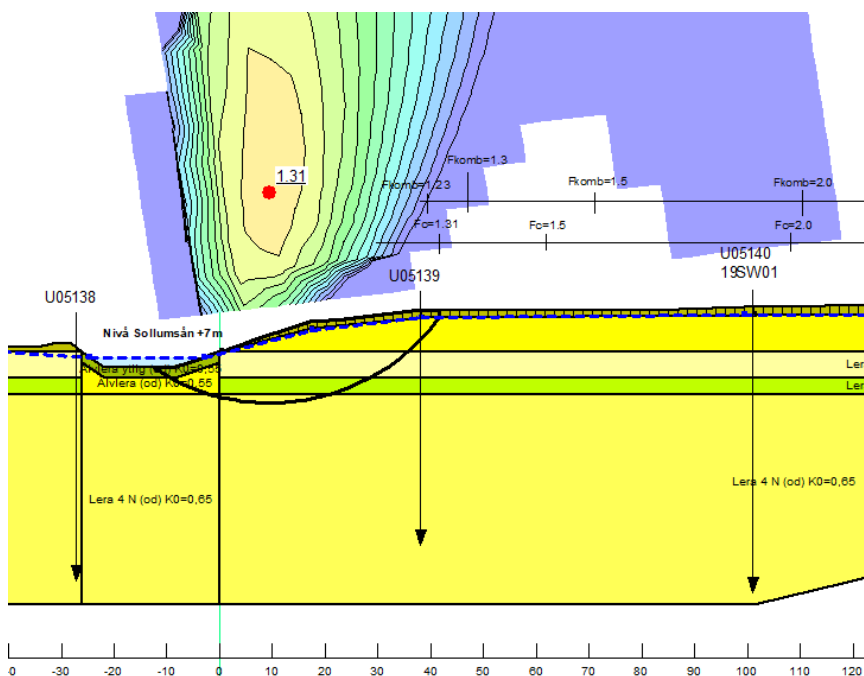
Utförda beräkningar i sektion 25/670VRS2 visar att säkerhetsfaktorerna för befintliga förhållanden inte uppfyller säkerhetskraven med totalsäkerhetsmetoden varken med

odränerad eller kombinerad analys. I Tabell 17 redovisas sammanställning av beräkningsresultat, för fullständig redovisning av beräkningarna se Bilaga 8.

Tabell 17 Beräkningsresultat för 25/670VRS2\_Sollumsån. Svarta siffror visar att krav på säkerhetsfaktor har uppnåtts och röda siffror att krav ej har uppnåtts.

Beräkningsfall	Odränerad analys	Kombinerad analys	Anmärkning
25670VRS2_Sollumsån			Ingen kvicklera
Totalsäkerhetsmetod	$F_c=1,31$	$F_{komb}=1,23$	
Känslighetsanalys: 1 m erosion (Fall A2) Totalsäkerhetsmetod	$F_c=1,28$	$F_{komb}=1,18$	
Känslighetsanalys: 2 m erosion (Fall A2) Totalsäkerhetsmetod	$F_c=1,25$	$F_{komb}=1,12$	
Åtgärdsförslag: Avschaktning med ca 1,5 m Totalsäkerhetsmetod	$F_c=1,53$	$F_{komb}=1,34$	
Åtgärdsförslag: Avschaktning med ca 1,5 m Partialkoefficientmetoden	$F_{EN}=1,02$	$F_{EN}=1,00$	SK2

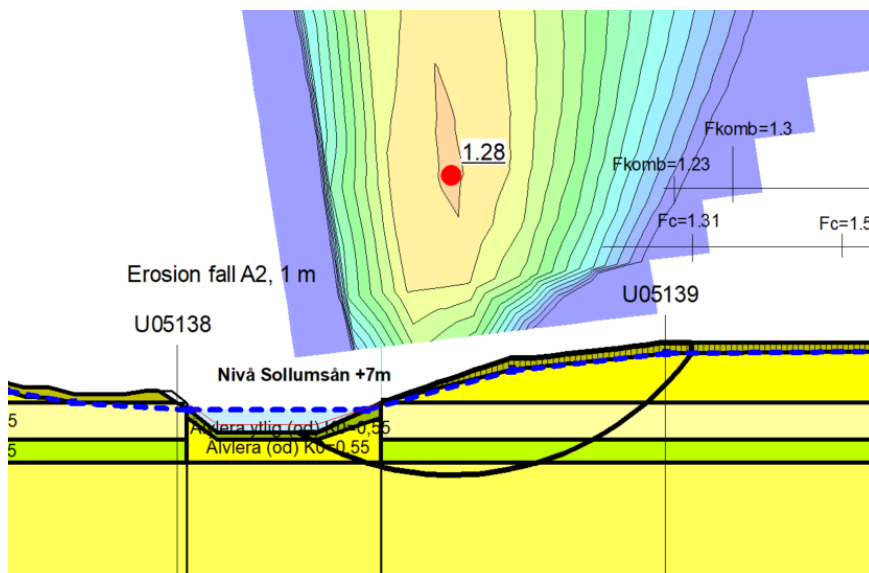
Glidytor med lägst säkerhetsfaktor slår upp cirka 20 meter bakom släntröner, se Figur 33. Säkerhetskraven uppnås dock först drygt 30 meter bakom släntröner.



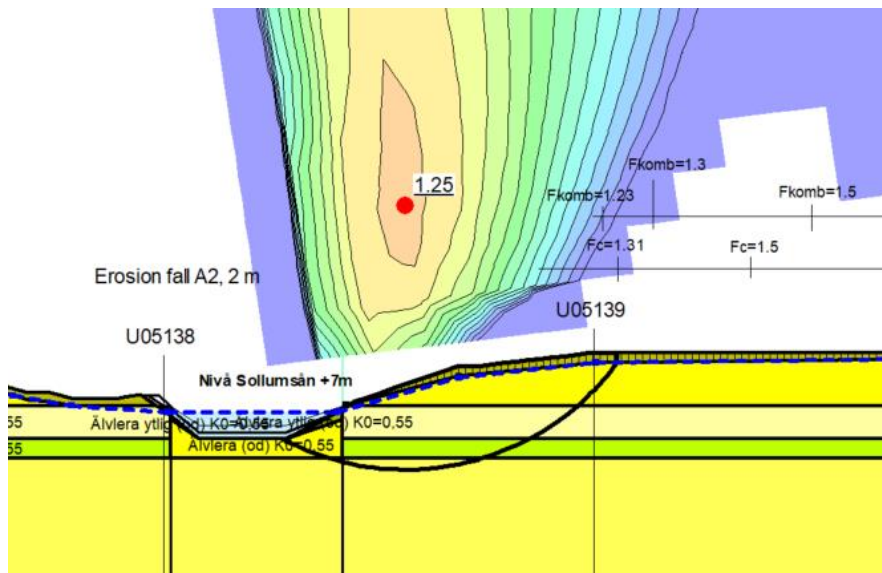
Figur 33 Beräkningsresultat för sektion 25/670V Sollumsån sektion 2, beräkning 25670VRS2UTB1.  $F_c=1,31$  för befintliga förhållanden, totalsäkerhetsmetoden, odränerad analys. För fullständig redovisning av beräkningen se Bilaga 8.

Känslighetsanalys avseende erosion som ger en förändrad geometri har studerats enligt beskrivning i styrdokument DGA00XST01. Två olika beräkningar har utförts med

sänkning av åbotten och med erosionspåverkan av slänten med både 1 meter respektive 2 meter, se Figur 34 respektive Figur 35. Beräkningarna visar att säkerheten för slänten sjunker mest i kombinerad analys vid omfattande erosion. Säkerhetsfaktorn minskar då med upp till 10 %, i odränerad analys minskar säkerhetsfaktorn med 5 % jämfört med befintliga förhållanden. För fullständig redovisning av beräkningarna se Bilaga 8.

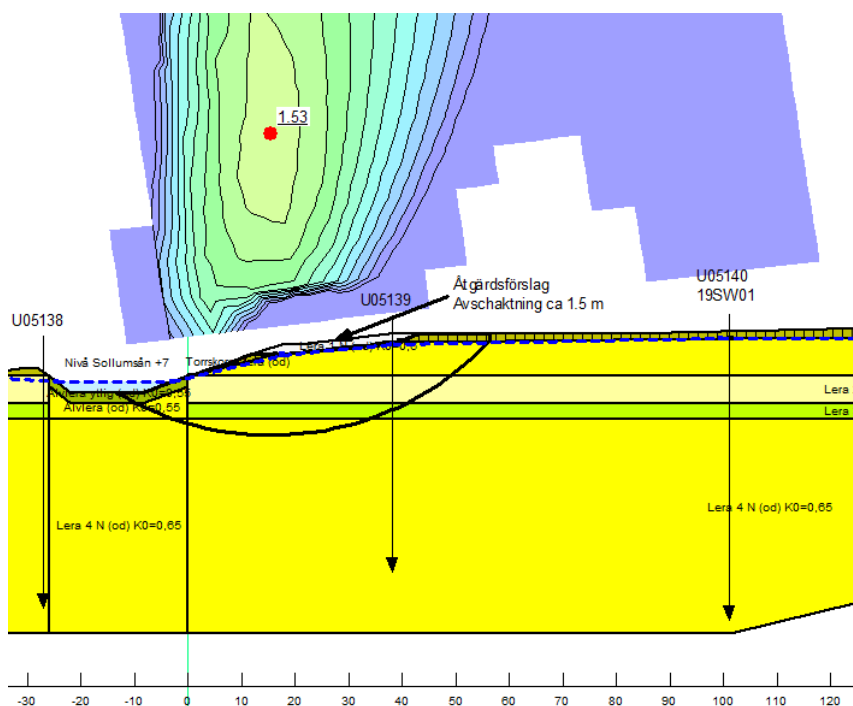


Figur 34 Beräkningsresultat för sektion 25/670V Sollumsån sektion 2, beräkning 25670VRS2UTE1.  $F_c=1,28$  för känslighetsanalys avseende erosion 1 meter, totalsäkerhetsmetoden, odränerad analys. För fullständig redovisning av beräkningen se Bilaga 8.



Figur 35 Beräkningsresultat för sektion 25/670V Sollumsån sektion 2, beräkning 25670VRS2UTE2.  $F_c=1,25$  för känslighetsanalys avseende erosion 2 meter, totalsäkerhetsmetoden, odränerad analys. För fullständig redovisning av beräkningen se Bilaga 8.

För att säkerställa stabiliteten enligt uppsatta krav erfordras någon form av stabilitetsförbättrande åtgärd i området. Redovisad åtgärd som beräknats är en avschaktning om cirka 1,5 meter vid slänkrön och knappt 30 meter åt söder, se Figur 36. Denna åtgärd innebär att beräknade säkerhetsfaktorer i både odränerad analys och kombinerad analys, med så väl totalsäkerhetsmetoden som partialkoefficientmetoden, når upp till stabilitetskraven.



Figur 36 Beräkningsresultat för sektion 25/670V Sollumsån sektion 2, beräkning 25670VRS2UTA1.  $F_c=1,53$  för åtgärdsförslag med avschaktning, totalsäkerhetsmetoden, odränerad analys. För fullständig redovisning av beräkningen se Bilaga 8.

Med hänsyn till erosionen vid ån behöver erosionskydd anläggas så att säkerheten även på sikt kommer att uppfylla säkerhetskraven. Natura 2000 klassningen av området kring Sollumsån påverkar möjligheten att kunna utföra åtgärder i området.

Med hänsyn till att marken kring Sollumsån kan klassas som "Annan mark" enligt IEG Rapport 4:2010 kan det övervägas om säkerhetskraven i detta område kan sänkas. Detta för att undvika åtgärder och därmed inte påverka Natura 2000-området, se kapitel 9.

## 8.9 Sammanfattning av stabilitetsberäkningar

Utförda beräkningar visar att stabilitetskraven för befintliga förhållanden inte uppnås för någon del av utredningsområdet, se Tabell 18, och stabilitetsförbättrande åtgärder behöver därför utföras för att nå upp till kraven.

Tabell 18 Beräknade säkerhetsfaktorer med totalsäkerhetsmetoden för befintliga förhållanden. Resultat angivet med röd färg visar att uppställt krav inte är uppfyllt. Krav som ska uppnås för denna fördjupade utredning är  $F_c \geq 1,4$  och  $F_{komb} \geq 1,3$ .

Sektion	Odränerad analys	Kombinerad analys
25/730V	$F_c=1,38$	$F_{komb}=1,36$
25/890V	$F_c=1,26$	$F_{komb}=1,24$
26/100V	$F_c=1,38$	$F_{komb}=1,28$
25/670VRS1	$F_c=0,88$	$F_{komb}=0,8$
25/670VRS2	$F_c=1,31$	$F_{komb}=1,23$

Resultaten visar att de lägsta säkerheterna mot Göta älv finns i den centrala delen av utredningsområdet (beräkningssektion 25/890V), där de nu föreslagna åtgärderna är mest omfattande. Eftersom säkerhetskravet är mycket nära att uppnås i den nordöstra delen av utredningsområdet (beräkningssektion 25/730V) och ingen indikation på kvicklera finns där, är bedömningen att stabiliteten är godtagbar utan att några åtgärder behöver utföras. I den södra delen (beräkningssektion 26/100V) uppnås inte säkerheten helt i varken odränerad eller kombinerad analys. Åtgärdernas utbredning åt söder har därför anpassats utifrån att det ändå är nära att kraven uppnås.

Utförda känslighetsanalyser avseende uppfyllnad av markytan med 0,5 meter, respektive höjning av grundvattennivån med 1 meter, visar på liten påverkan på säkerhetsfaktorerna för glidytor mot Göta älv. För glidytor med lägst beräknad säkerhet är påverkan i storleksordningen 5 % för respektive analys. Känslighetsanalys avseende erosion visar marginell påverkan på säkerheten mot Göta älv.

Mot Sollumsån (beräkningssektion 25/670VRS2) är säkerheten för befintliga förhållanden för låg i förhållande till ställda krav. Utförd känslighetsanalys avseende erosion visar, framförallt i kombinerad analys, att erosion i området påverkar de redan låga säkerheterna.

Beräkningarna med totalsäkerhetsmetoden visar att stabilitetskraven kan uppnås inom hela undersökningsområdet öster om Kungälvsvägen med avschaktning av marken bakom slänkrön. Däremot visar beräkningar med partialkoefficientmetoden att det är svårare att nå upp till ställda krav. Detta medför att det skulle krävas mer omfattande förstärkningsåtgärder om säkerhetskraven enligt partialkoefficientmetoden skulle uppfyllas.

I området väster om Kungälvsvägen (beräkningssektion 25/670VRS1) erhålls mycket låga säkerhetsfaktorer mot Sollumsån. Med hänsyn till den begränsade omfattningen av undersökningar som utförts här kan den fördjupade utredningen inte omfatta detta område. För att komma upp till fördjupad utredningsnivå behövs kompletterande undersökningar utföras.

## 8.10 Kompletterande undersökningar

Under utredningens gång har behovet av kompletteringar uppmärksamats. Det rekommenderas därför att underlaget kompletteras i vissa delar innan detaljprojektering av åtgärder i området utförs. För att öka detaljeringsgraden på underlagsmaterialet har följande undersöknings- och utredningsbehov identifierats.

Natura 2000-områdets omfattning och dess begränsningar behöver klargöras. Bedömningen är att det är avgörande för om fysiska åtgärder är möjliga i och i anslutning till slänten och slänkrön mot Sollumsån. Därför behöver detta detaljstuderas så att resultatet blir en förutsättning för vad som över huvud taget kan utföras vid detaljprojektering av åtgärder.

Slänterna mot Sollumsån visar på stora variationer i geometri samt att de i varierande omfattning är påverkade av erosion. Därför föreslås att följande underlag tas fram:

- Omfattning och tidsaspekt för erosion i ån som uppkommer i botten och i anslutning till åns slänfot/vattenlinje på grund av flödet i ån
- Omfattning, orsak och tidsaspekt för erosion i de övre delarna av slänten vilken ger lokala ras som blottlägger jorden och skapar förutsättningar för fortskridande erosion



- Förtätad avvägning och lodning i sektioner över ån för detaljerade geometrier på hela sträckan
- Påverkan på Göta älv vid skred längs Sollumsån, grumling och dämning etc., i de fall inga åtgärder är möjliga i Natura 2000-området

Geotekniska fält- och laboratorieundersökningar väster om Kungälvsvägen föreslås för att klarlägga de förutsättningar som råder där och för att höja utredningsnivån. I denna del är två CPTR-sonderingar utförda som indikerar kvicklera. Jordlagerparametrar etc. för nu utförda beräkningar är bedömda utifrån underlag som utförts närmare Göta älv.

Komplettering föreslås med:

- Ostörd provtagning (Kv) och vingsondering (Vb) i två punkter, ca 10 nivåer per metod och undersökningsspunkt
- Laboratieförsök för att klarlägga om kvicklera förekommer. Belastningsförsök (CRS) och aktiva direkta skjuvförsök (DS), ca 3 nivåer per metod och undersökningsspunkt
- Portrycksmätare, 3 nivåer i en punkt
- Utförlig analys av hållfasthetsvärden utifrån undersökningar och empiri samt beräkningar

Inget direkt behov av kompletterande fältundersökningar i området mot Göta älv har identifierats. Däremot rekommenderas att efter minst 1 års mätning av portrycks- och grundvattennivåer kontrollera att de nivåerna överensstämmer med de nivåer som har antagits i beräkningarna.

### 8.11 Jämförelse med Göta älvutredningen

De i denna utredning lägsta beräknade säkerhetsfaktorerna för befintliga förhållanden har jämförts med de tidigare framtagna inom Göta älvutredningen, se Tabell 19. I tabellen visas förändringen av säkerhetsfaktorerna efter den nu utförda fördjupade utredningen. Jämförelsen visar att en ökning av säkerhetsfaktorerna har erhållits inom hela utredningsområdet. Säkerhetsfaktorerna har i huvudsak ökat mest i de delar där de tidigare beräknade säkerhetsfaktorerna var som lägst (<1), i två av sektionerna är ökningen mer än 45 %. Lägst ökning, 10 %, har erhållits i den södra sektionen där säkerheten initialt relativt sett var som högst.

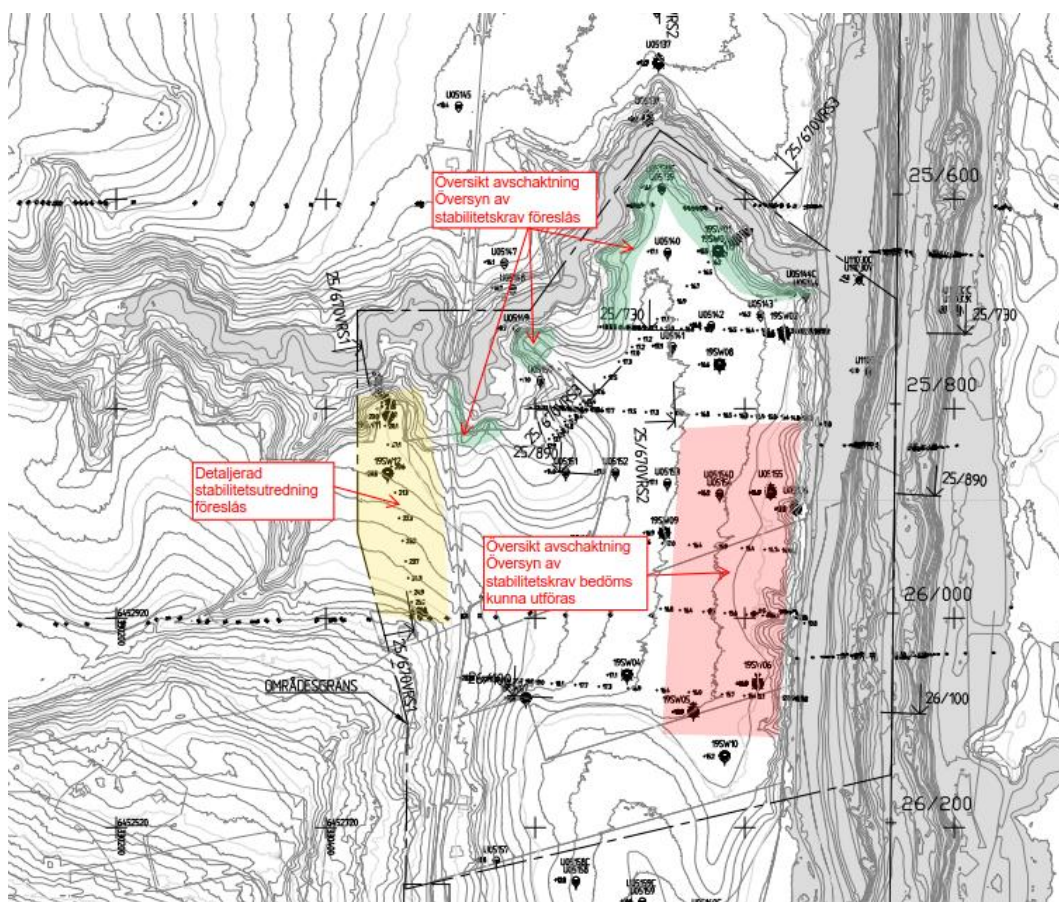
Tabell 19 Nu beräknade säkerhetsfaktorer jämfört med Göta älvutredningen (GÄU) enligt totalsäkerhetsmetoden, för odränerad och kombinerad analys.

Sektion	Odränerad analys	Kombinerad analys	Ökning av säkerhetsfaktor efter nu utförd fördjupad utredning
GÄU: V25/660	$F_c=0,95$	$F_{komb}=0,83$	
25/730V	$F_c=1,38$	$F_{komb}=1,36$	odrän 45 %, komb 63 %
GÄU: V25/900	$F_c=1,01$	$F_{komb}=0,99$	
25/890V	$F_c=1,26$	$F_{komb}=1,24$	odrän och komb 25 %
GÄU: V26/350	$F_c=1,28$	$F_{komb}=1,16$	
26/100V	$F_c=1,38$	$F_{komb}=1,28$	odrän 8 %, komb 10 %
GÄU: V25/540	$F_c=0,84$	$F_{komb}=0,79$	
26/670VRS2	$F_c=1,31$	$F_{komb}=1,2$	odrän 64 %, komb 50 %

Orsaken till att de nu beräknade säkerhetsfaktorerna genomgående är högre, är huvudsakligen att det finns mer omfattande hållfasthetsbestämningar jämfört med i GÄU. I föreliggande utredning har också hänsyn tagits till de anisotropa egenskaperna i leran, vilket inte har gjorts vid tidigare beräkningar.

## 9 Åtgärder och erforderliga krav

Beräkningar för befintliga förhållanden visar att förstärkningsåtgärder erfordras för att uppställda stabilitetskrav ska uppnås,  $F_c \geq 1,4$  och  $F_{komb} \geq 1,3$ , både för slänten mot Göta älv och för slänten mot Sollumsån. Stabilitetskraven kan inom hela undersökningsområdet öster om Kungälvsvägen uppnås med avschaktning av marken bakom släntrön, se översiktlig utbredning i Figur 37 och Bilaga 9.



Figur 37 Röd och grön markering visar översiktlig utbredning av avschaktning för att säkerställa att ställda stabilitetskrav uppnås. Gul markering visar område där ytterligare undersökningar föreslås.

För att öka säkerheten i en slänt är generellt den effektivaste åtgärden en avlastning vid släntröner. Det uppnås genom att belastningar på glidytns aktivsida tas bort så att den pådrivande kraften minskar, tex genom avschaktning vid släntröner. En annan åtgärd är att öka de mothållande krafterna på glidytns passivsida. Det kan utföras genom att en mothållande kraft påförs vid släntröner, antingen genom att en tryckbank anläggs eller genom att vattennivån i ett vattendrag höjs. Exempel på andra metoder för att öka säkerheten i en slänt är att med kalk-cementpelare höja hållfastheten för leran i glidytns aktivzon eller genom att installera en permanent spont. Sponten behöver vara så djup att den förhindrar att glidytor med för låg säkerhet kan utbildas.

För den aktuella slänten mot Göta älv bedöms avschaktning av släntröner vara den lämpligaste åtgärdsmetoden ur både ett kostnads- och genomförandeperspektiv (se röd markering i Figur 37). En avschaktning vid släntröner medför att säkerheten för korta glidytor ökar, medan säkerheten för långa glidytor kan minska. Detta på grund av att mothållande belastning för de större glidyterna tas bort. Beräkningsresultaten inom området visar dock att säkerheten för långa glidytor uppnås med redovisade avschaktningar.

Även vid Sollumsån kan säkerheten säkerställas genom avschaktning av släntröner (se grön markering i Figur 37), men en sådan åtgärd bedöms komma i konflikt med naturvärdena i ravinen. Även andra fysiska åtgärder inom ravinen (kalk-cementpelare, stödfyllning, kulvertering, etc.) som skulle höja säkerheterna bedöms ha stor påverkan. Att installera en spont söder om släntröner är troligen den åtgärd som skulle påverka naturvärdena i Natura 2000-området minst. På grund av hög anläggningskostnad samt

att sponten har en begränsad livslängd, bedöms åtgärden inte vara lämplig. En avschaktning utanför Natura-2000-området kan utföras vilket skulle innebära att ett eventuellt skred begränsas så att inte bakomliggande markområden påverkas. Eftersom det inte finns indikationer på kvicklera bedöms den lämpligaste åtgärden vara att se över säkerhetskraven utifrån områdets markanvändning. För ett helhetsperspektiv rekommenderas att översynen utförs tillsammans med en riskanalys, där sannolikheten för ett skred och dess eventuella utbredning sätts i proportion till de konsekvenser som uppkommer för älven, bakomliggande markområden samt infrastrukturen i området (vägar och ledningar).

Bedömningen är att området kring Sollumsån inte behöver klassas som "Befintlig bebyggelse och anläggning" utan att det skulle kunna klassas som "Annan mark", eller möjligen "Naturmark". Det skulle medföra att säkerhetskraven åtminstone skulle kunna sänkas till  $F_c \geq 1,3-1,2$  och  $F_{komb} \geq 1,2$  enligt IEG Rapport 4:2010 tabell 4.2 (avser "Annan mark"). Åtgärderna skulle då kunna minskas, vilket i sin tur leder till att påverkan på Natura 2000-området minimeras, och eventuellt kan undvikas helt.

För att åtgärda den pågående erosionen i Sollumsån skulle ett erosionsskydd behöva anläggas längs hela sträckan. Behovet av ett erosionsskydd behöver studeras i ovan föreslagna riskanalys och kopplat till möjligheterna att anlägga ett erosionsskydd med hänsyn till skyddsvärdena inom Natura 2000-området. Vanligen använd metod med utläggning av krossmaterial, så som längs Göta älv, är sannolikt uteslutet längs Sollumsån. Eventuellt kan ett naturanpassat erosionsskydd vara möjligt.

Med hänsyn till att det nu finns omfattande undersökningsmaterial i området mot Göta älv bedöms att säkerhetskraven även där kan ses över i de delar där det inte finns indikation på kvicklera. Att välja något lägre säkerhetsfaktorer, mitt i spannet för fördjupad utredning, enligt IEG Rapport 4:2010 tabell 4.2 ( $F_c \geq 1,4-1,3$  och  $F_{komb} \geq 1,3-1,2$ ) innebär att omfattningen av avschaktningen minskar. Detta skulle medföra att avschaktning i norr inte behövs och utbredningen i söder kan minskas. Mot Göta älv skulle det då enbart bli kvar ett område i den centrala delen att åtgärda, kring beräkningssektion 25/890V, där det har påvisats kvicklera och gällande säkerhetskrav för utredningen därför bör gälla.

Ovanstående resonemang har nu nyttjats i anslutning till den norra beräkningssektionen, 25/730V, där det är mycket nära att stabilitetskraven är uppfyllda för befintliga förhållanden. Bedömningen är därför att säkerhetskraven kan sänkas där och detta område behöver därmed inte åtgärdas alls.

Den totala omfattningen av avschaktningen som erfordras utifrån att nu gällande säkerhetskrav ska uppnås uppskattas till cirka 73 000 m<sup>3</sup> för området öster om Kungälvsvägen, varav 20 000 m<sup>3</sup> för slänten mot Sollumsån och 53 000 m<sup>3</sup> för området mot Göta älv. Avschaktningar behöver utföras upp till 100 meter från släntrönn vid Göta älv och 30 meter vid Sollumsån, med ett djup som varierar mellan 0,5-3 meter.

## 10 Slutsats

Föreliggande utredning är en tillståndsbedömning för befintliga slänter och utgångspunkten har varit att området ska bedömas enligt IEG Rapport 4:2010. Det innebär att alla slutsatser och rekommendationer har utförts utifrån resultat från totalsäkerhetsmetoden. Beräkningar visar att erhållna säkerhetsfaktorer för befintliga förhållanden inte uppfyller uppsatta säkerhetskrav. För att uppfylla säkerhetskraven behöver därför stabilitetsförbättrande åtgärder utföras.

I uppdraget ingick att utföra några jämförande beräkningar med partialkoefficientmetoden. Resultatet visar att säkerhetsfaktorerna då är längre från att

uppnå erforderliga krav, än vad säkerhetsfaktorerna framtagna med totalsäkerhetsmetoden är. Det innebär att om utredningsområdet skulle åtgärdas utifrån partialkoefficientmetoden (IEG Rapport 6:2008) skulle åtgärderna bli mer omfattande.

Utförda undersökningar visar att det inte finns kvicklera som påverkar glidytor som inte har tillfredställande säkerheter inom området. Det är endast i en punkt inom den centrala delen av området som det har konstaterats att det finns kvicklera och då endast på större djup i leran. Undersökningarna indikerar dock att det kan finnas kvicklera i den västra delen av området men det är så långt som 120 meter från Göta älv och stora glidytor som når dit har tillfredställande säkerheter.

Stabiliteten för befintlig bebyggelse inom utredningsområdet bedöms som betryggande, då husen ligger på relativt stort avstånd från både Göta älv och Sollumsån, de påverkas inte av glidytor med låga säkerheter samt att de är belägna inom fastmarksområden. Det är dock inte uteslutet att ett skred mot Sollumsån skulle kunna påverka bron över ån samt Kungälvsvägen. Grundläggning av bron och vägen har inte studerats i denna utredning så det är oklart hur robusta dessa anläggningar är.

De lägsta säkerheterna mot Göta älv finns i den centrala delen av utredningsområdet där de nu beräknade avschaktningsåtgärderna är mest omfattande. Eftersom säkerhetskravet är mycket nära att uppnås i den nordöstra delen av utredningsområdet och ingen indikation på kvicklera finns där, är bedömningen att inga åtgärder behöver utföras i denna del. Känslighetsanalyser för slänten mot Göta älv visar att måttligt ökande portryck, erosion i älven eller små belastningsökningar på släntröner inte var för sig har så stor påverkan på stabiliteten. I Göta älv finns ett erosionskydd längs strandlinjen som bedöms ha god funktion. Det innebär att ingen erosion som kan påverka stabiliteten uppkommer vid strandlinjen. Erosionsförhållandena i undervattensslänten, mot djupfåran, är okända men bedöms inte ha någon större påverkan för stabiliteten på land.

Mot Sollumsån är säkerheten för befintliga förhållanden för låg och åtgärder krävs för att nå uppställda krav. Dessutom finns pågående erosion i slänten utmed ån och en känslighetsanalys visar att erosionen har stor påverkan på de redan låga säkerheterna. Med hänsyn till Natura 2000-området kring Sollumsån kan den avschaktning som erfordras ur stabilitetssynpunkt vara omöjlig att utföra, då den påverkar naturvärden i området. Även anläggning av erosionskydd i slänten riskerar att påverka naturvärdena, vilket inte har studerats vidare i denna utredning. Alla åtgärder med påverkan på Natura 2000-området bedöms med största sannolikhet behöva prövas i Mark och miljödomstolen.

För området väster om Kungälvsvägen har mycket låga säkerhetsfaktorer mot Sollumsån beräknats. Skulle ett skred uppkomma i detta område är det inte uteslutet att skredutbredningen skulle kunna bli omfattande även vid ett mindre initialscred vid släntröner, då det finns indikation på kvicklera i denna del. Skredets inverkan på Göta älv bedöms ändå bli måttlig på grund av avståndet, men osäkerhet finns kring risker för Kungälvsvägen och bron över Sollumsån. För att klarlägga stabilitetssituationen och eventuella konsekvenser rekommenderas att kompletterande undersökningar utförs i detta område (se gul markering i Figur 37). Erfarenhetsmässigt brukar de beräknade säkerheterna öka när utredningsunderlaget blir utförligare.

För att minska de fysiska åtgärderna längs Sollumsån och därmed undvika påverkan på Natura 2000-området rekommenderas, som alternativ åtgärd, att se över vilka säkerhetskrav som behöver uppnås för detta område. Då det är naturmark är bedömningen att kraven kan sänkas från "Befintlig bebyggelse och anläggning" till minst "Annan mark" enligt IEG Rapport 4:2010 tabell 4.2. Detta skulle innebära att det fysiska

åtgärdsbehovet minskar. Eventuella skredmassor kommer att ta sig nedströms mot Göta älv och därför behöver konsekvenserna för älven vid ett eventuellt skred studeras mer i detalj och ställas mot den påverkan som uppkommer på Natura 2000-området vid en fysisk åtgärd. Det finns ingen indikation på kvicklera i denna del och bedömningen är därför att utbredningen av ett eventuellt skred blir begränsad. En avschaktning utanför Natura-2000-området medför att den eventuella skredutvecklingen kan begränsas och inte blir bakåtgripande.

I de resterande delar av utredningsområdet mot Göta älv där kvicklera inte förekommer är bedömningen att säkerhetskraven även här kan ses över med hänsyn till det nu omfattande undersökningsmaterialet. Att välja säkerhetsfaktorer mitt i spannet istället för den övre gränsen innebär att omfattningen av åtgärderna minskar.

Vid sänkning av kraven på säkerhetsfaktorer, både vid Göta älv och Sollumsån, behöver komplettering med lastrestriktioner på åkermarken införas så att inga nya laster påförs där de tillåtna säkerheterna är som lägst.

Rekommendationen är att säkerhetskraven ses över och eventuellt sänks innan beslut om avschaktningsåtgärder tas i utredningsområdet öster om Kungälvsvägen. Om säkerhetskraven kan sänkas i hela eller delar av området, och avschaktningarna minskar, medför det positiva aspekter ur ett hållbarhetsperspektiv med hänsyn till ekonomi, naturmiljö samt klimatpåverkan. Omfattning av erforderlig avschaktning är uppskattad till cirka 73 000 m<sup>3</sup> utifrån de nu gällande säkerhetskraven i området.