

# NEDRA TORP (24500V)

24500VPM01, SGI – DELEGATIONEN FÖR GÖTA ÄLV  
FÖRDJUPAD STABILITETSUTREDNING

2022-09-23



# NEDRA TORP (24500V)

## 24500VPM01, SGI – Delegationen för Göta älv FÖRDJUPAD STABILITETSUTREDNING

Uppdragsnamn	GÅ Paket 5, Nedra Torp, Fördjupad stabilitetsutredning
Plats	Nedra Torp, Lilla Edets kommun, Göta älvs västra sida (24500V)
Uppdragsnummer	10334779
SGI:s uppdragsnummer	10 223
SGI:s diarienummer	6.2-2106-0455
Dokumentets littera	24500VPM01
Författare	Malin Sundsten / Linus Wrede / Khaled Alaydi
Datum	2022-09-23
Ändringsdatum	
Uppdragledare	Malin Sundsten
Granskad/godkänd av	Ola Skepp

## KUND

**Statens geotekniska institut**

## KONSULT

### WSP

Box 13033  
402 51 Göteborg  
Besök: Ullevigatan 19  
Tel: +46 10-722 50 00  
WSP Sverige AB  
Org nr: 556057-4880  
**wsp.com**

## ÄNDRINGSFÖRTECKNING

Version: [A, ÅÅÅÅ-MM-DD]

Ändringen avser:

## Förord från SGI

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

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

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

*Sekretariatet till Delegation för Göta älv*

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

<b>1</b>	<b>UPPDRAG</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>STYRANDE DOKUMENT</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>UNDERLAG</b>	<b>7</b>
3.1	KARTOR, ORTOFOTO, MÄTDATA MM	7
3.2	GEOTEKNISKT UNDERLAG OCH ARKIVMATERIAL	7
<b>4</b>	<b>GEOTEKNISK UNDERSÖKNING</b>	<b>8</b>
4.1	FÄLTUNDERSÖKNINGAR	8
4.2	LABORATORIEUNDERSÖKNINGAR	8
<b>5</b>	<b>OMRÅDESBESKRIVNING</b>	<b>8</b>
5.1	GEOGRAFI, MARKANVÄNDNING OCH SKYDDADE OMRÅDEN	8
5.2	TOPOGRAFI OCH BATYMETRI	9
5.3	EROSION OCH EROSIONSSKYDD	9
5.4	BEFINTLIGA KONSTRUKTIONER, FÖRSTÄRKNINGSÅTGÄRDER OCH LEDNINGAR	10
<b>6</b>	<b>GEOTEKNISKA FÖRHÅLLANDEN</b>	<b>11</b>
6.1	JORDLAGERFÖLJD	11
6.2	GEOTEKNISKA EGENSKAPER	12
6.2.1	Densitet, vattenkvot och konflytgräns	12
6.2.2	Sensitivitet	12
6.2.3	Konsolideringsegenskaper	12
6.2.4	Odränerad skjuvhållfasthet inom landområdet	13
6.2.5	Hållfasthetsanisotropi	16
6.2.6	Odränerad skjuvhållfasthet under älven	17
<b>7</b>	<b>HYDROGEOLOGISKA FÖRHÅLLANDEN</b>	<b>19</b>
7.1	VATTENNIVÅ I VATTENDRAG	19
7.2	GRUNDVATTENNYTA OCH PORTRYCK	19
<b>8</b>	<b>STABILITET</b>	<b>21</b>
8.1	ALLMÄNT	21
8.1	ERFORDERLIG SÄKERHETSFAKTOR	22
8.1.1	Totalsäkerhetsmetoden	22
8.1.2	Partialkoefficientmetoden	23
8.2	BERÄKNINGSFÖRUTSÄTTNINGAR	23
8.2.1	Utformning och geometri	23
8.2.2	Materialegenskaper	23
8.2.3	Laster	24

8.2.4	Grundvatten och portryck	24
8.2.5	Vattennivå	24
8.3	STABILITETSANALYSER FÖR BEFINTLIGA FÖRHÅLLANDEN	25
8.3.1	Träsbrobäcken	25
8.3.2	Göta älv	26
8.3.3	Valdalsbäcken	29
8.3.4	Sammanställning av stabilitetsanalyser för befintliga förhållanden	30
8.4	KÄNSLIGHETSANALYS	31
8.4.1	Marklast	31
8.4.2	Förhöjt portryck	32
8.4.3	Förändrad geometri genom erosion	32
8.4.4	Lägre odränerad skjuvhållfasthet	33
8.4.5	Sammanställning av utförda känslighetsanalyser	33
8.5	STABILITETSFÖRBÄTTRANDE ÅTGÄRDER	35
8.5.1	Alternativa stabilitetsförbättrande åtgärder	35
8.5.2	Lämpliga stabilitetsförbättrande åtgärder för aktuella slänter	35
8.5.3	Sammanfattning av stabilitetsförbättrande åtgärdsförslag	36
8.5.4	Klimatkalkyl för stabilitetsförbättrande åtgärdsförslag	37
<b>9</b>	<b>SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER</b>	<b>38</b>
9.1	FORTSATT UTREDNING OCH/ELLER ÅTGÄRDER	38

## BILAGOR

Bilaga A – Härledda grundparametrar inkl. valda värden

Bilaga B – Härledd odränerad skjuvhållfasthet inkl. valda värden

Bilaga C – Utvärdering av portryck

Bilaga D – Stabilitetsberäkningar, befintliga förhållanden

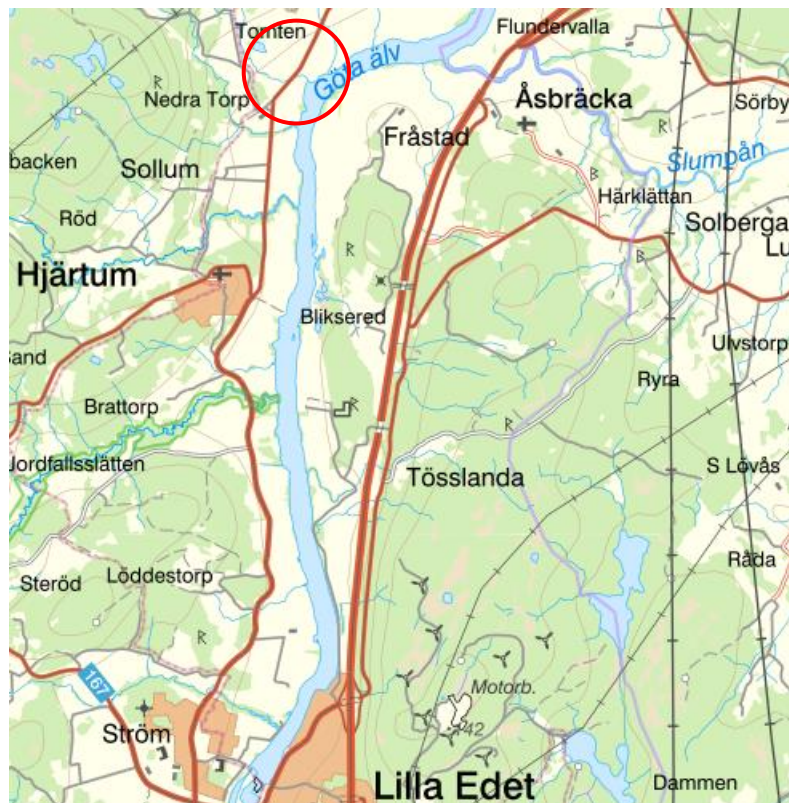
Bilaga E – Stabilitetsberäkningar, åtgärdsförslag

## TILLHÖRANDE HANDLINGAR

Markteknisk undersökningsrapport (MUR/Geo), daterad 2022-09-23, framtagen av WSP.

# 1 UPPDRAG

På uppdrag av SGI, Statens geotekniska institut, har WSP Sverige AB utfört en fördjupad stabilitetsutredning för området Nedra Torp (24500V) på Göta Älvs västra sida, i Lilla Edets kommun, Figur 1.1. Uppdraget utgör en del i arbetet med Delegationen för Göta Älv och syftar till att utreda och minska risken för ras och skred i området. Konsekvensen av ett skred inom aktuellt område kan vara negativ påverkan på vattenförsörjningen och fartygstrafiken i Göta älv samt jordbruksverksamheten på land.



Figur 1.1. Aktuellt område för fördjupad stabilitetsutredning, markerad med röd ring (Källa: Lantmäteriet, öppen data, 2022-06-23).

# 2 STYRANDE DOKUMENT

Föreliggande stabilitetsutredning har utförts enligt riktlinjer i följande styrdokument:

- *"Tillståndsbedömning/klassificering av naturliga slänter och slänter med befintlig bebyggelse och anläggningar"*. Rapport 4:2010. IEG.
- *"Tillämpningsdokument. EN 1997-1 Kapitel 11 och 1, Slänter och bankar"*. Rapport 6:2008. IEG.
- *"Anvisningar för släntstabilitetsutredningar"*. Rapport 3:95. Skredkommissionen.
- *"DGA00XST01 Riktlinjer för tekniskt arbete 5.0, Avser stabilitetsutredningar längs Göta älv"*, Sekretariatet för Delegationen för Göta älv, SGI, Linköping, 2021-03-08.
- *"DGA00XST02 Riktlinjer för dokumenthantering 4.0, Avser stabilitetsutredningar längs Göta älv"*, Sekretariatet för Göta Älv, Statens geotekniska institut, SGI, Linköping, 2021-10-11.



## 3 UNDERLAG

### 3.1 KARTOR, ORTOFOTO, MÄTDATA MM

Som underlag för den fördjupade stabilitetsutredningen har nedanstående underlagsmaterial nyttjats.

- SGU:s jordartskarta ([www.sgu.se](http://www.sgu.se)).
- Batymetri från sjömätning Göta älv 2018 (Clinton). ESRI FGDB, 1 m grid, SWE99 TM, RH 2000.
- Fastighetskartor från Lantmäteriet, 2021-11-03.
- Höjddata från Lantmäteriet, 2021-10-01.
- GIS-material från SGI, mottaget 2021-11-03.
  - ⇒ Längdmätning Göta älv
  - ⇒ Områdesgräns för utredningsområdet
- Differensanalys av Göta älvs bottennivå från SGI, 2009–2018.
- Besiktningsobservationer & foton från SGI, 2014-2020.
- Ytgeologisk tolkning av Göta älvs botten från SGI, 2020.

### 3.2 GEOTEKNISKT UNDERLAG OCH ARKIVMATERIAL

Inom och i nära anslutning till aktuellt utredningsområde har flertalet geotekniska undersökningar och utredningar utförts under årens lopp. Geotekniskt arkivmaterial från dessa utredningar har inarbetats och utgjort underlag för nu utförd fördjupade stabilitetsutredning. För fullständig redovisning av undersökningarna hänvisas till nedanstående utredningar/handlingar:

- Göta älvutredningen, GÄU: Delområde 5, Intagan – Ström, Tekniskt PM Geoteknik, Stabilitetsberäkningar, SGI, daterad 2012-12-20 (uppdragsnr 14085).
- Göta älvutredningen, GÄU: Delområde 5, Intagan – Ström, Markteknisk undersökningsrapport/Geoteknik, SGI, daterad 2011-08-31 (uppdragsnr 14085).
- Nordvästra Göta älv, Översiktlig stabilitetsutredning, Delrapport, daterad 2010-12-22 (uppdragsnr 10109)
- Pore pressure response in the uppermost part of a clay soil slope – Two case studies in the Gothenburg region, Hanna Blomén, Chalmers tekniska högskola, 2017.
- Göta älvutredningen, GÄU: Delområde 11, Intagan – Lilla Edet, Laboratorierapport, SGI, daterad 2010-12-30 (uppdragsnr 14098).
- Göta älvutredningen, GÄU: Delområde 11, Intagan – Lilla Edet, Sammanfattande fältslutrappport, SGI, daterad 2010-12-24 (uppdragsnr 14098).
- Geotekniska undersökningar i Göta älv, Norra Lilla Edet, Markteknisk undersökningsrapport/geoteknik, Sweco, daterad 2020-03-13 (uppdragsnr 19091)

## 4 GEOTEKNISK UNDERSÖKNING

### 4.1 FÄLTUNDERSÖKNINGAR

Geotekniska fältundersökningar i form av trycksondering, CPTu-R-sondering, vingförsök, kolvprovtagning samt skruvprovtagning har utförts under perioden december 2021 till februari 2022 av WSP Fältgeo. I samband med fältundersökningarna installerades även porttrycksstationer för mätning och uppföljning av porttryck inom området.

Resultatet av undersökningarna redovisas i tillhörande MUR (Markteknisk undersökningsrapport/ Geoteknik), 24500VRA01, med samma uppdragsnummer och datum som föreliggande PM.

### 4.2 LABORATORIEUNDERSÖKNINGAR

Laboratorieundersökningar har utförts på ostörda prover under perioden december 2021 till maj 2022 av WSP Geolab i Göteborg. Undersökningarna omfattade rutin-, CRS-, direkta skjuv- och triaxialförsök.

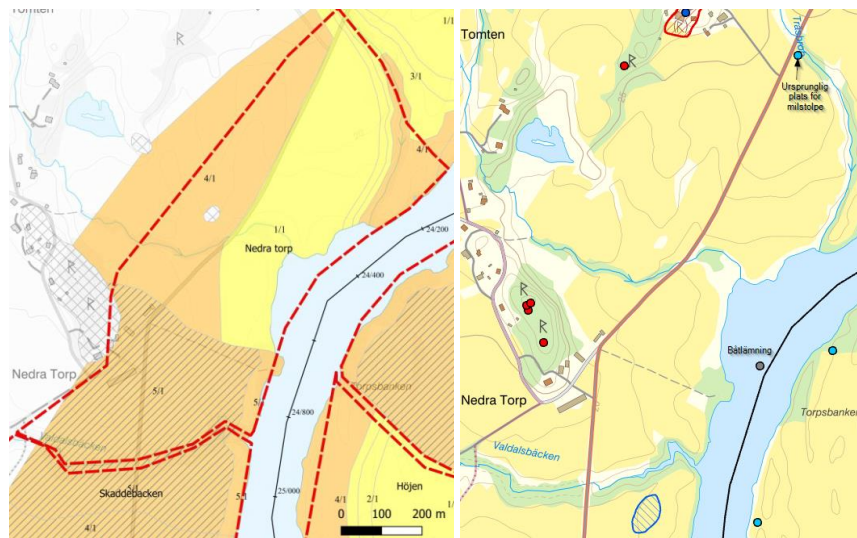
Resultatet av undersökningarna redovisas i tillhörande MUR (Markteknisk undersökningsrapport/ Geoteknik), 24500VRA01, med samma uppdragsnummer och datum som föreliggande PM.

## 5 OMRÅDESBESKRIVNING

### 5.1 GEOGRAFI, MARKANVÄNDNING OCH SKYDDADE OMRÅDEN

Utredningsområdet är beläget ca 7 km norr om Lilla Edet och sträcker sig ca 800 m längs Göta älvs västra sida. Området ligger i Lilla Edets kommun. Området är knappt 500 m brett i väst-östlig riktning. I söder avgränsas området av Valdalsbäcken och i norr av Träsbrobäckens ravin. Länsväg 2025 löper i nord-sydlig riktning genom området på ett avstånd av ca 100-400 m från Göta älvs strandkant. Marken mellan väg 2025 och älven utgörs i huvudsak av åkermark. Längs älvstranden och ravinerna i norr och söder växer buskar och träd. I den södra delen av området finns bebyggelse strax väster om vägen.

Stränderna längs Göta älv är strandskyddade 100 m från strandlinjen. Utredningsområdet ingår i Göta och Nordre älvs dalgångar och är ett riksintresse för naturvård och friluftsliv. Inom området återfinns kulturhistoriska fyndplatser i form av ursprunglig plats för milstolpe nära vägen i områdets norra del samt en båtlämning (möjligt vrak) i älven.



Figur 5.1: T.v översiktskarta över utredningsområde markerat med röd streckad linje, längdmätning Göta älv ca km 24/100-24/900. T.h utdrag från Länsstyrelsens kartvisningstjänst över kulturmiljövård.



## 5.2 TOPOGRAFI OCH BATYMETRI

I den norra delen av området sluttar marken relativt flackt (lutning ca 1:10-1:40) från ca +24 i nordligaste hörnet, ner till ca +7 vid strandkanten intill Göta älv. I den södra delen är nivån ca +20 vid riksväg 2025, och marken lutar svagt ner mot Göta älv, till ca +7, med undantag av ett mindre område i mitten där marken har en något större lutning.

Markytan ligger lägst i den centrala delen av området (dvs. stiger mot både norr och söder) där det finns en, numera delvis utfylld, bäckravin som mynnar ut i Göta älv mitt i området.

Slänten ned mot Göta älv är, för hela delområdet, generellt mycket flack väster om strandkanten. I Göta älv finns en undervattensslänt mot farleden där botten går ner till nivån ca -13 på ett avstånd av ca 40-60 meter från strandkant och medelvattennivån (MW) ligger på +7,5. Undervattensslänten i Göta älv är generellt relativt brant, med en lutning på ca 1:2-1:3.

Mot de båda områdesavgränsande vattendragen Träsbrobäcken i norr och Valdalsbäcken i söder råder brantare släntlutningar, lokalt upp mot ca 1:3. Släntkrönet för Träsbrobäcken är beläget på nivån ca +18 - +21 och för Valdalsbäcken ca +14 - +11. Vattendragen är båda generellt mycket grunda. Vattendjupet har mätts av WSP den 2022-04-28 och uppmättes då till ca 0,2-0,3 m som ökar till upp mot ca 0,5-1 m där bäckarna vidgas, dvs närmast mynningen ut mot Göta älv.

## 5.3 EROSION OCH EROSIONSSKYDD

Hela områdets strandlinje längs Göta älv är försedd med strandskoning. Enligt Göta älvutredningen – delrapport 1, "Erosionsförhållanden i Göta älv" anlades erosionsskydd (300-1000 mm bergkross) längs med i stort sett hela älven under 1960- och 1970-talet. Det finns dock ingen dokumentation om hur och mer exakt var skydden anlagts, varken i längsled eller hur långt ner/ut mot undervattensslänten som skydden lades ut. Erosionsskydden utfördes genom att sprängsten lades ut på strandbankarna.

Erosionsskyddets förekomst och dess utbredning inspekterades okulärt vid platsbesök 2021-11-15. Vid inspektionen kunde bekräftas att det finns erosionsskydd i form av en sprängstensvall med en bredd som varierar mellan ca 2-5 m längs med Göta älvs strandlinje inom aktuellt område. Vallens bedöms ha underhållits och anses vara av tillfredsställande god kvalitet. Vallens utbredning och kvalitet under vattenytan har inte besiktigats.

Vid Träsbrobäcken löper erosionsskyddet längs älven tvärs över bäckens utlopp, som därmed är något avsmalnat pga. sprängstensbanken. Träsbrobäckens strandkanter är inte erosionsskyddade.

Utloppet för Valdalsbäcken i söder är något större, och erosionsskyddet sträcker sig ca 20 m in längs bäckens båda sidor. Strax innan utloppet, där erosionsskydd saknas, är erosionen lokalt påtaglig. Längs strandkanterna syns tydlig ursköljning samt ett flertal lutande eller nedfallna träd, främst längs bäckens södra sida, se Figur 5.3.



Figur 5.2: Erosionsskydd i form av sprängstensbank längs Göta älv. Fotot är taget i den mellersta delen av området. Fotoriktning mot söder (datum: 2021-11-15).



Figur 5.3: Valdalsbäckens utlopp med synliga erosionsindikatorer. Foto taget i västlig riktning, 2021-11-15.

Analys av förändringen i bottenivå längs Göta älv har utförts av SGI mellan år 2009 och 2020. Differensanalysen längs den aktuella sträckan av Göta älv, ca km 24/100-24/900, visar lokalt på en viss förändring i form av både erosion (ljus- och mörkgrön färg innebär -0,25 - -0,75 m) och sedimentation (gul färg innebär +0,25 - +0,5 m) längs undervattensslänten en bit ut från älvens västra strandkant inom området, under denna tidsperiod. Vid de okulärbesiktningar av erosionskydden som SGI utfört från båt år 2014 till 2021, har inga större erosionsangrepp dokumenterats och inga åtgärder finns rekommenderade inom området.



Figur 5.4: Differensanalys 2009-2020, SGI. Göta älv ca km 24/100-24/900.

## 5.4 BEFINTLIGA KONSTRUKTIONER, FÖRSTÄRKNINGSÅTGÄRDER OCH LEDNINGAR

Området utgörs i stort av åker- och naturmark. Ledningar finns längs väg 2025 samt längs tillfartsvägar till byggnaderna i områdets sydvästra del. En elledning ligger strax öster om vägen, en bit in på åkern. I övrigt finns det inom området kännedom om nedgrävd åkerdränering, vilken mynnar ut i riktning mot Göta älv. Från byggnaderna i sydväst går nedgrävd fiber tvärs över åkern mot Göta älv.

Utöver erosionskyddet längs Göta älvs strandkant, se kapitel 5.3, har ingen information om utförda förstärkningsåtgärder inom området framkommit.

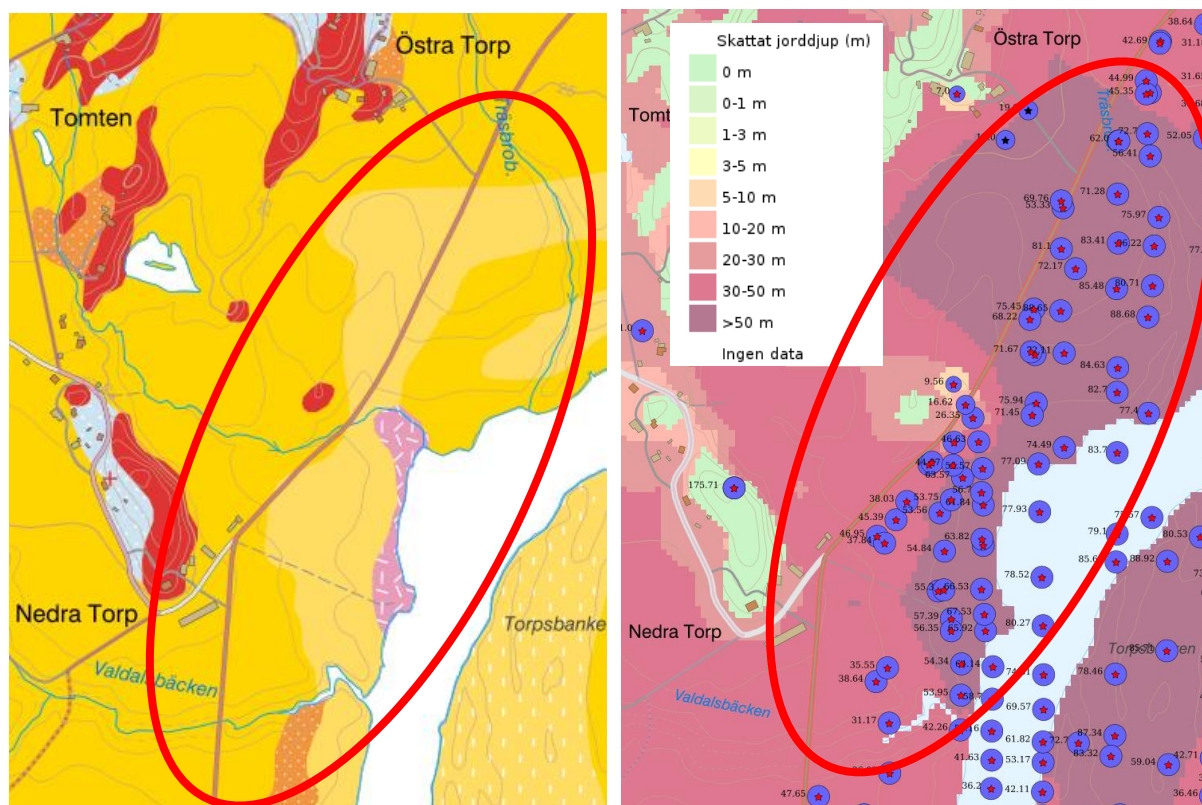
## 6 GEOTEKNISKA FÖRHÅLLANDEN

### 6.1 JORDLAGERFÖLJD

Jordlagren utmed älvstranden utgörs i stort av ett minst 45 m mäktigt lerlager. Lerlagret är mäktigast längs med älvens strandkant och i den norra delen av området, där jorddjupskartan visar på ca 70-90 m djup till fast botten. Jorddjupet avtar mot sydväst där området gränsar mot ett fastmarksparti. Det finns ett mindre fastmarksområde även i den centrala delen av området, väster om vägen, se Figur 6.1. I anslutning till Valdalsbäcken i söder visar nu utförda sonderingar att jorddjupet är över 45 m.

Torrskorpan är generellt ca 2 m mäktig och innehåller relativt mycket silt. Vid Göta älvs strandkant i mitten av området förekommer svämsediment. Under torrskorpelera följer relativt homogen lera till stort djup, men lokalt förekommer siltskikt, skal och växtrester samt sulfidhaltighet.

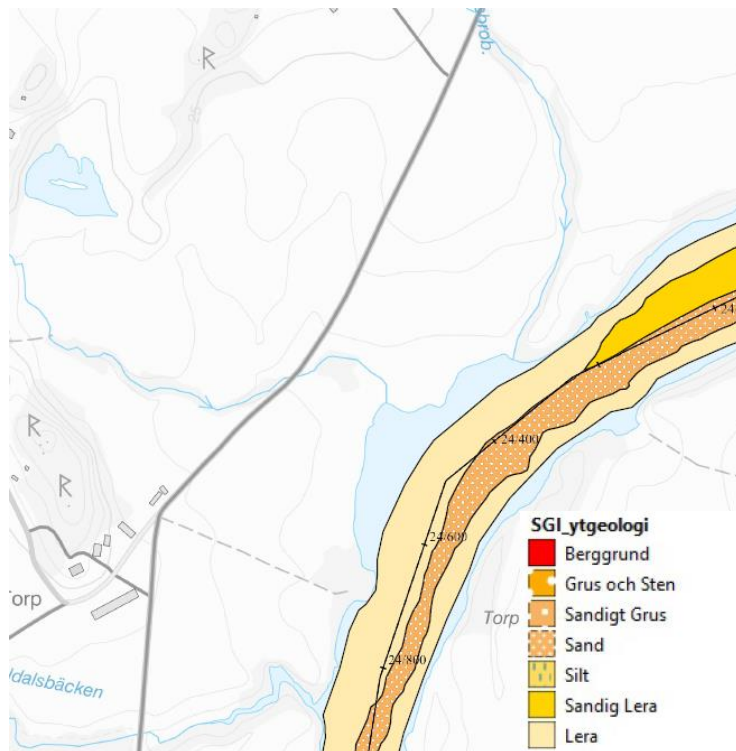
I den norra delen av området förekommer ett ca 1 m mäktigt sandskikt på nivån ca -2. I den centrala delen av området finns också ett sandskikt. Detta sandskikt är ca 4-6 m mäktigt och ligger på nivån ca -6 till -11 vid mitten av undersökningsområdet, och sluttar ned till nivån ca -13 till -17 strax söder om områdets mitt.



Figur 6.1: Jordartskarta t.v. och jorddjupskarta t.h. (Källa: www.sgu.se)

Ytgeologisk tolkning utförd år 2020 av SGI visar att de ytliga jordlagren i botten på Göta älv utgörs av lera närmast strandkanten och att det i mitten av älven, längs djupfåran, återfinns sandig lera och sand, se Figur 6.2.





Figur 6.2: Ytgeologisk tolkning för Göta älv, utförd och redovisad inom ramen för GÄU (Källa: SGI).

## 6.2 GEOTEKNISKA EGENSKAPER

Härledda värden för lerans grundparametrar (tunghet, vattenkvot, konflytgräns och sensitivitet) finns sammanställda i Bilaga A tillsammans med valda värden för tunghet. Egenskaperna varierar något inom området och har sammanställts och utvärderats för två olika delområden, "Träsbrobäcken" respektive "Göta älv och Valdalsbäcken", se ungefärlig områdesindelning i Figur 6.4.

### 6.2.1 Densitet, vattenkvot och konflytgräns

Lerans tunghet varierar generellt mellan ca 16-17 kN/m<sup>3</sup> inom hela området. I det norra delområdet mot Träsbrobäcken är lerans tunghet något lägre, ca 15,5-16,5 kN/m<sup>3</sup>.

Den naturliga vattenkvoten ligger generellt mellan 50-80 %.

Konflytgränsen varierar generellt mellan ca 55-70 % i den övre delen av jordprofilen och ökar till ca 65-80 % mot djupet. På stort djup (ca 25-35 m under markytan) är konflytgränsen dock något lägre igen, ca 60-70 %.

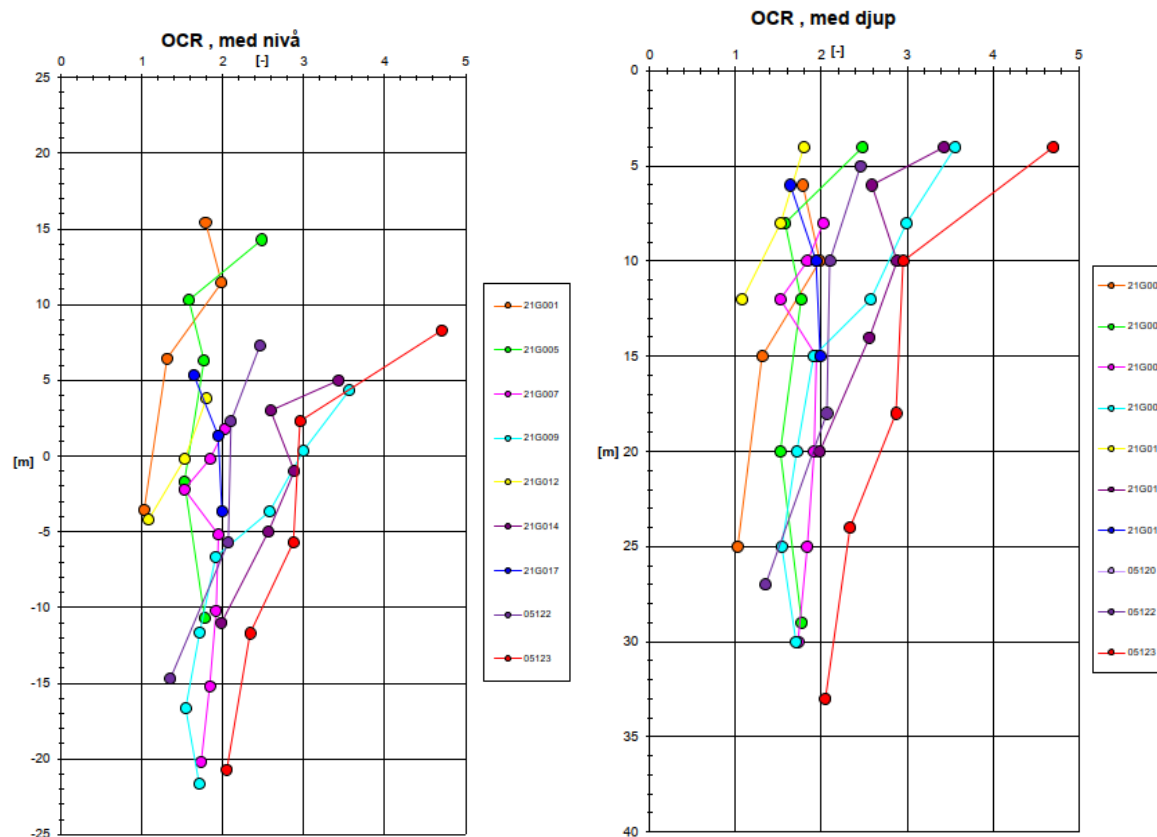
### 6.2.2 Sensitivitet

Nu utförda rutinförsök på ostörda prover i väster visar generellt på en sensitivitet på ca 10-30 genom hela jordprofilen. Lokalt i den norra delen av området (BH 21G001) har värden på ca 40-50 uppmätts i den övre delen av jordprofilen (på 0-10 m djup), dvs högsensitiv lera, men kriterierna för kvicklera är inte uppfyllda (sensitivitet  $\geq 50$  och omrörd odränerad skjuvhållfasthet lägre än 0,4 kPa). Leran är således generellt att klassas som mellansensitiv inom aktuellt utredningsområde.

### 6.2.3 Konsolideringsegenskaper

Lerans konsolideringsegenskaper har fastlagts genom CRS-försök på representativa prover fördelade inom området och i jordprofilen. Det är sedan tidigare utredningar allmänt känt att leran i slänterna längs Göta älv uppströms Lilla Edet generellt är överkonsoliderade pga. en historiskt högre liggande markyta.

Överkonsolideringsgraden i leran är inom större delen av området generellt ca 2-3,5 de översta ca 10 metrarna, se Figur 6.3. Mot djupet avtar överkonsolideringen något och OCR är ca 1,5-2, dvs. leran är svagt överkonsoliderad. I den norra och högre belägna delen av området är OCR generellt mellan ca 1-2.



Figur 6.3: OCR mot nivå och djup.

#### 6.2.4 Odränerad skjuvhållfasthet inom landområdet

Lerans odränerade skjuvhållfasthet är baserad på nu och tidigare utförda fält- och laboratorieundersökningar. Hållfastheten har sammanställts, studerats och analyserats mot såväl djup som nivå, inom olika delar av området och för olika undersökningsmetoder samt jämförts med empiriskt framtagna samband. Fält- och laboratorieresultaten redovisas tillsammans med vald hållfasthet i diagram nedan samt i Bilaga B.

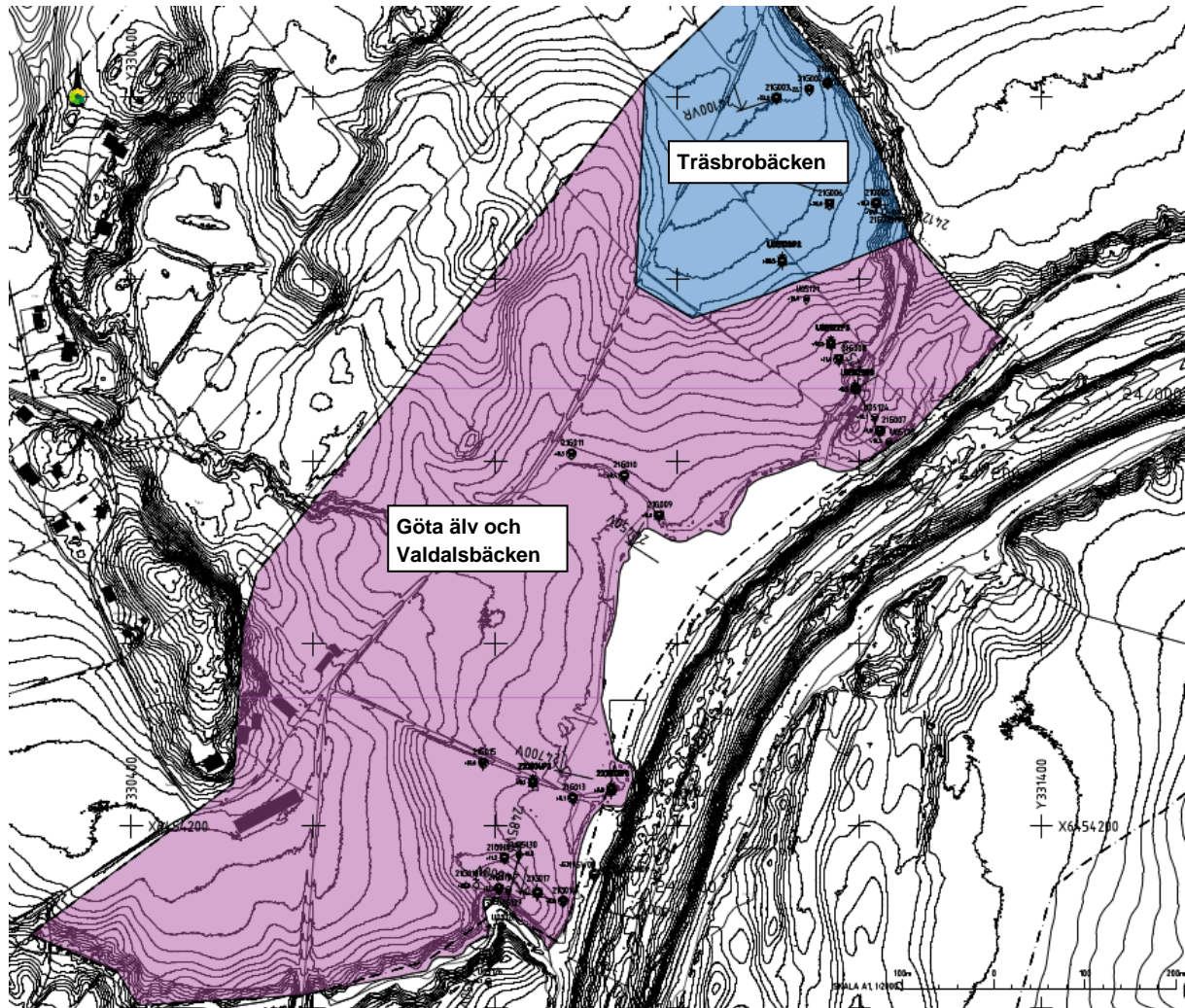
Den odränerade skjuvhållfastheten inom landområdet anses generellt vara nivårelaterad och konstant ner till en viss nivå under markytan för att på större djup ha en hållfasthetstillväxt mot djupet. Detta överensstämmer med att slänten ner mot vattendragen eroderats från en ursprunglig i princip plan markyta. Den konstanta odränerade skjuvhållfastheten i det övre lerlagret är generellt ca 17 kPa. Hållfastheten har generellt utvärderats vara konstant ner till nivån ca +12 inom större delen av området och ner till ca +14 i den norra något högre belägna delen av området (intill Träsbrobäcken). Hållfasthetstillväxten mot djupet är ca 1,3 kPa/m.

Med avseende på den odränerade skjuvhållfastheten har utredningsområdet därför delats in i två delområden (Träsbrobäcken respektive Göta älv & Valdalsbäcken) enligt kartbild i Figur 6.4.

För respektive delområde sammanställdes och analyserades inledningsvis ett större urval borrhull och samtliga undersökningsmetoder tillsammans med empiri. Därefter har urvalet förfinats och ej representativa punkter valts bort. En representativ hållfasthetsprofil har tagits fram för respektive delområde, där resultaten från direkta skjuvförsök generellt värderats högst, följt av resultaten från vingförsök. Hållfasthetsbestämningarna från konförsök på laboratorium ligger generellt sett för lågt på

större djup och har därmed valts bort i utvärderingen, och CPT-sonderingarna har främst använts som stöd för hållfasthetstillväxten mot djupet. Vidare har vid stor spridning i hållfasthetsbestämningarna resultat från nu utförda försök, och speciellt de avancerade laboratorieförsöken, värderats högre än tidigare utförda försök där utförande och kvalitet inte har kunnat kontrolleras/kvalitetssäkras.

För respektive delområde nedan redovisas generellt två diagram med hållfasthetsbestämningar inkl. karakteristisk hållfasthetsprofil (vald hållfasthet) där det första (t.v.) visar samtliga undersökningsmetoder och det andra (t.h.) endast resultat från direkta skjuvförsök och vingförsök tillsammans med empiriskt bestämd skjuvhållfasthet, baserad på ett sammanvägt förkonsolideringstryck.



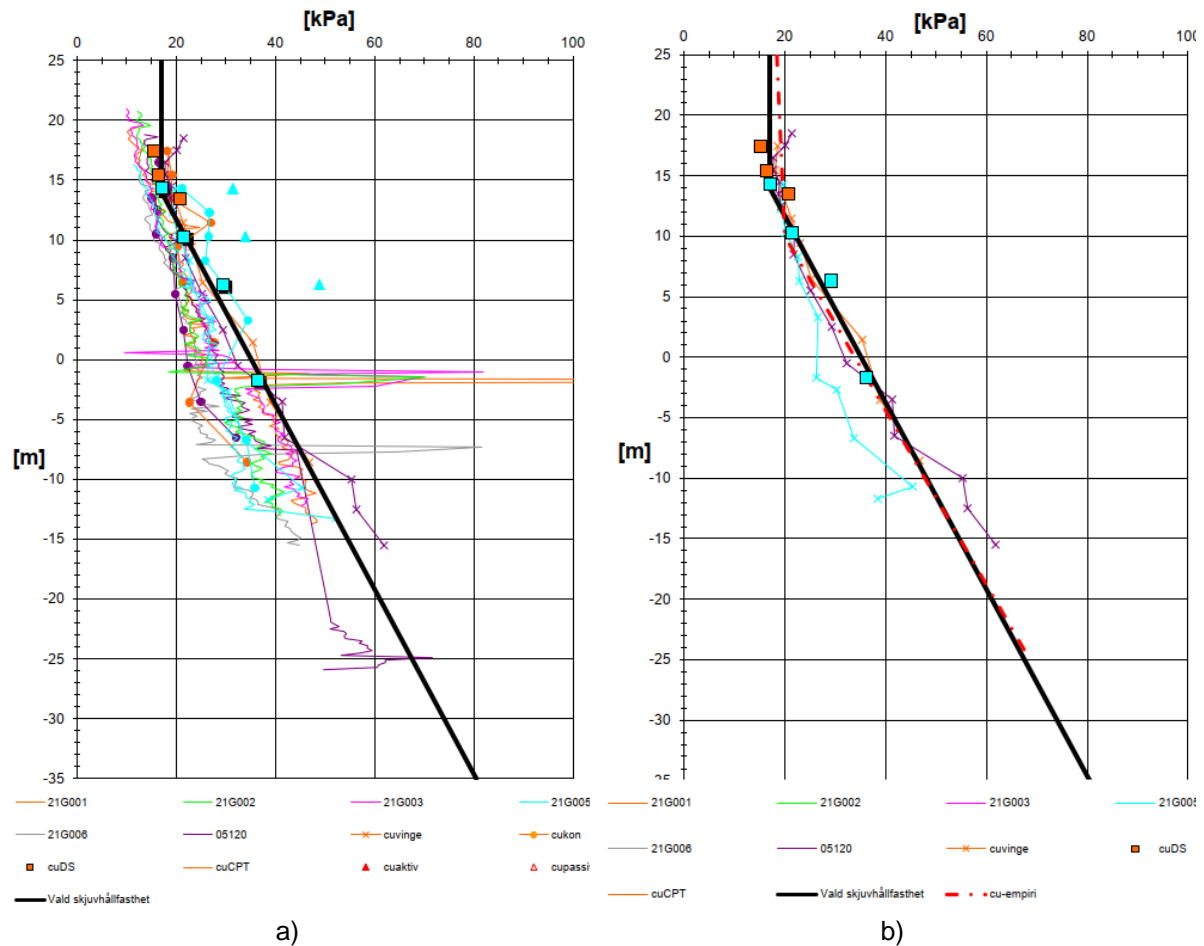
Figur 6.4: Lerans odränerade skjuvhållfasthet, utvärderad inom två olika delområden i plan.



### Träsbrobäcken (norra delen av området)

En karakteristisk hållfasthetsprofil har tagits fram för den norra delen av området, längs Träsbrobäcken. I Figur 6.5 redovisas en sammanställning av resultat från nu och tidigare utförda undersökningar. Samtliga försök visar god överensstämmelse, både när det gäller nivå och ökning/tillväxt mot djupet.

Den odränerade skjuvhållfastheten i leran har utvärderats vara konstant ca 17 kPa ner till nivån ca +14 för att därunder öka mot djupet (hållfasthetstillväxt) med ca 1,3 kPa/m enligt Figur 6.5.



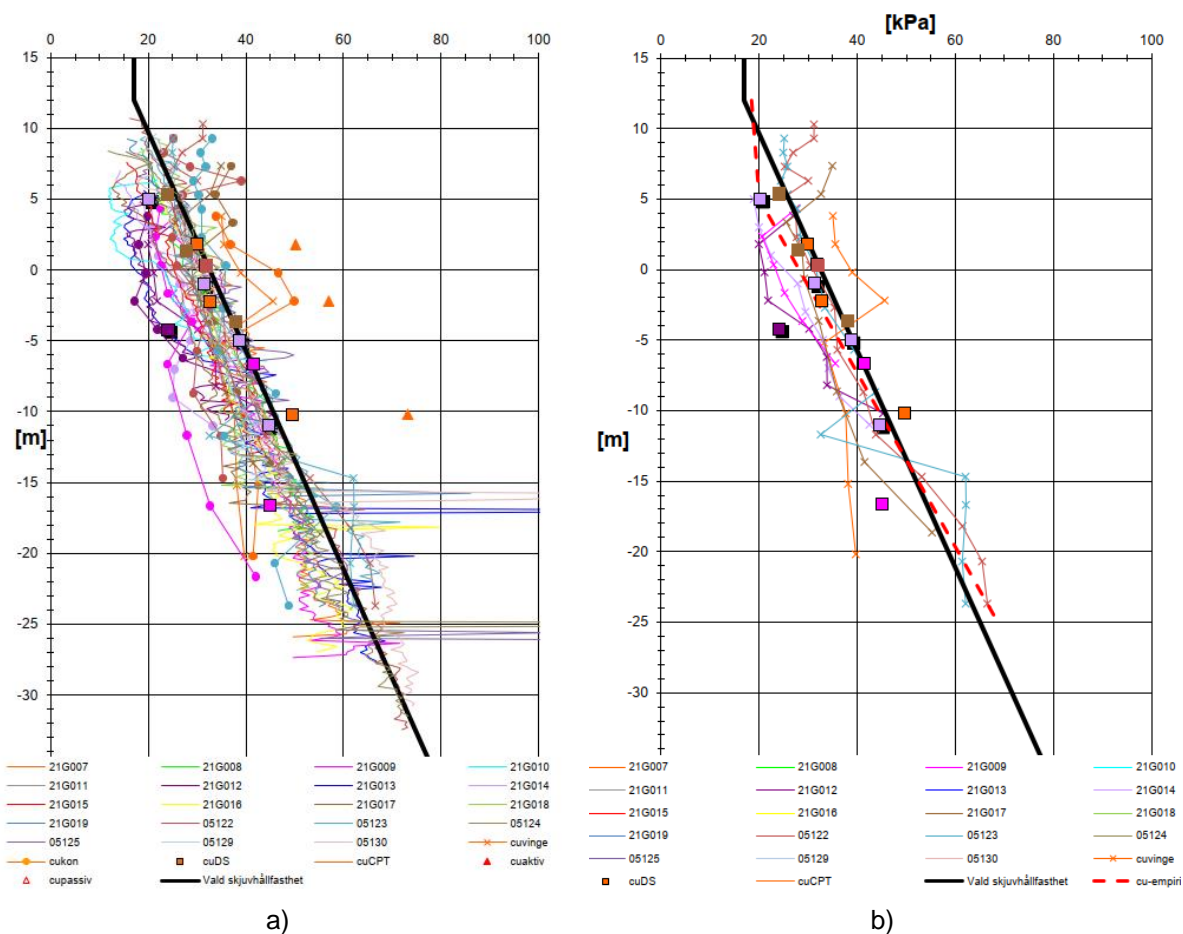
Figur 6.5: Träsbrobäcken. Odränerad skjuvhållfasthet mot nivå sammanställt för a) samtliga utförda undersökningsmetoder (CPT, vinge, kon och direkta skjuvförsök som visar direkt skjuvhållfasthet och triaxförsök som visar aktiv skjuvhållfasthet) och b) vinge, direkta skjuvförsök och empiri baserat på sammanvägt förkonsolideringstryck, samt vald skjuvhållfasthet.

## Längs Göta älv och Valdalsbäcken

Inom resterande del av området, dvs längs Göta älv mellan ca km 24/200–24/900 och i anslutning till Valdalsbäcken i söder, har en likartad karakteristisk hållfasthetsprofil tagits fram. Det som skiljer från området i norr (Träsbrobäcken) är att lerans hållfasthet utvärderats vara konstant något längre ner, till nivån +12.

Förekommande sand- och siltskikt är av begränsad mäktighet och har inte bedömts påverka hållfastheten i leran, baserat på utförda undersökningar och analys. Det finns ett omfattande geotekniskt underlag från fält- och laboratorieundersökningar (såväl nya undersökningar som arkivmaterial), se sammanställning av resultat i Figur 6.6.

Den odränerade skjuvhållfastheten i leran inom detta område har utvärderats vara konstant ca 17 kPa ner till nivån ca +12. Under denna nivå ökar lerans hållfasthet med ca 1,3 kPa/m mot djupet.



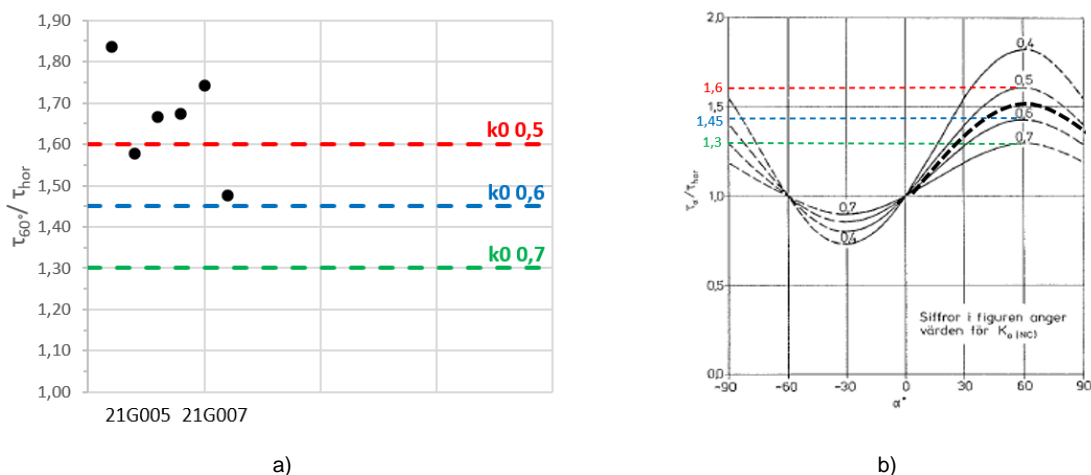
Figur 6.6: Göta älv och Valdalsbäcken. Odränerad skjuvhållfasthet mot nivå sammanställt för a) samtliga utförda undersökningsmetoder (CPT, vinge, kon och direkta skjuvförsök som visar direkt skjuvhållfasthet och triaxförsök som visar aktiv skjuvhållfasthet) och b) vinge, direkta skjuvförsök och empiri baserat på sammanvägt förkonsolideringstryck, samt vald skjuvhållfasthet.

### 6.2.5 Hållfasthetsanisotropi

Hållfasthetsanisotropi i leran kan spela en relativt stor roll för stabiliteten i branta slänter, där aktivzonen är mycket större än passivzonen. Nu utförda aktiva odränerade triaxialförsök på leran inom landområdet visar att skjuvhållfastheten vid ett aktivt brott är ca 45-70% högre än vid direkt skjuvning, vilket styrker att hållfasthetsanisotropi bör/kan tillgodoräknas i leran inom hela området (Figur 6.7a). Analys av utförda triaxialförsök inom området (bh 21G005 och 21G007) och på olika djup under markytan visar på ungefär samma grad av anisotropi inom området och genom jordprofilen. Även empirisk utvärdering av anisotropin utifrån lerans konflytgräns stöder samma anisotropifunktion.

Som referens, fastlades i tidigare utförd fördjupade stabilitetsutredning inom delområde Åsbräcka, på östra sidan Göta älv, vid samma längdmätning som Nedra Torp, anisotropifunktion ( $K_{0NC}=0,6$ ). Inom områdena Smådala (längre norrut, på Göta älvs västra sida) samt Ballsered (strax norr om Åsbräcka, på Göta älvs östra sida) fastlades och nyttjades anisotropifunktion  $K_{0NC}=0,55$ .

Vid stabilitetsberäkningarna i Nedra Torp har hållfasthetsanisotropi tillgodoräknats som motsvarar anisotropifunktionen  $K_{0NC}=0,6$  (enligt Figur 24 i Skredkommissionens rapport 3:95), vilket bedöms vara ett val på säkra sidan då flera försök visar på större anisotropi. Detta betyder i praktiken att i glidyornas aktivzon, beroende på skjuvytans lutning mot horisontalplanet, erhålls en förhöjning av den odränerade skjuvhållfastheten med ca 0–45 % (sinusformad funktion beroende på skjuvplanets lutning (Figur 6.7b)). I glidyornas passivzon erhålls däremot en reducering av skjuvhållfastheten med ca 0-15%. Effekten av anisotropi blir därmed större ju brantare slänten och glidytan är. Beaktande av hållfasthetsanisotropi i leran ger för aktuella slänter ett positivt bidrag (ökning) till säkerhetsfaktorn mot stabilitetsbrott.



Figur 6.7: a) Förhållande mellan aktiv och direkt skjuvhållfasthet från utförda triaxial- respektive direkta skjuvförsök på ostörda prover från Nedra Torp och b) Uppskattning av odränerad skjuvhållfasthet i olika skjuvplan med ledning av  $K_{0(NC)}$  (Källa: "Anvisningar för släntstabilitetsutredningar", Skredkommissionen, Rapport 3:95).

### 6.2.6 Odränerad skjuvhållfasthet under älven

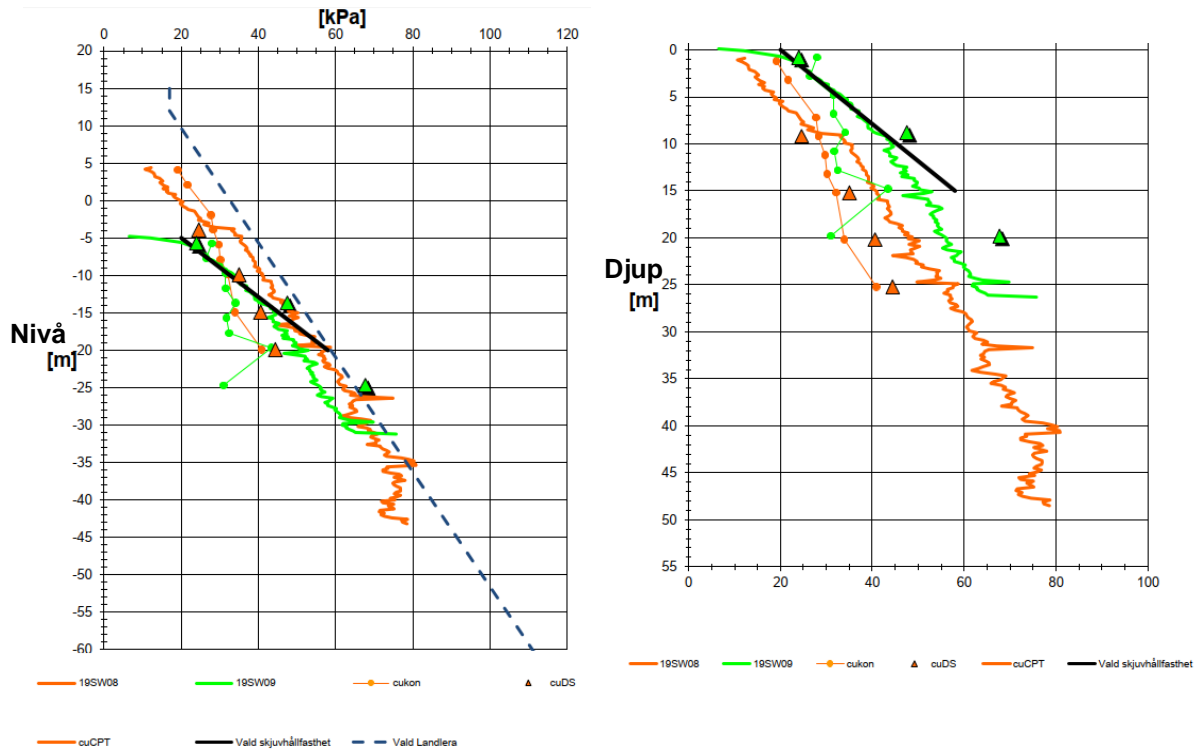
I älven och inom nu aktuellt utredningsområde har två undersökningar av älvleran tidigare utförts från flotte, BH 19SW08 och 19SW09 (Flottborring, år 2019).

Älvlerans odränerade skjuvhållfasthet har undersökts både i fält och på laboratorium, med såväl rutinförsök som avancerade försök (CRS, DS och Triax). Resultaten visar att leran strax under älvens botten har en odränerad hållfasthet på ca 20-25 kPa och med en hög tillväxt mot djupet, ca 2-3 kPa/m, se Figur 6.8. De passiva triaxförsöken visar på samma eller högre hållfasthet, jämfört med de direkta skjuvförsöken.

I beräkningarna har älvlerans hållfasthet vid botten ute i älvfåran ansatts till 20 kPa med en ökning på 2,5 kPa/m ner till det djup där hållfastheten i älvleran är densamma som den hållfasthet som råder på land (Figur 6.9). Inverkan från avlastningen av älvfåran bedöms vara ca 10-15 m under älvbotten. I övergångszonen, dvs i undervattensslänten, har den odränerade skjuvhållfastheten modellerats ökande mot djup för att bättre representera övergången mellan land och älv.

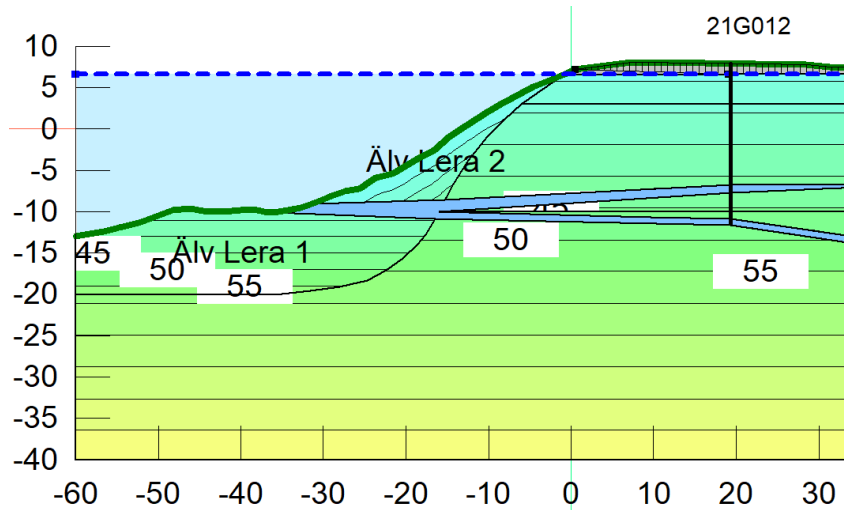
Utförda odränerade passiva triaxialförsök i leran under älvbotten påvisar en högre passiv skjuvhållfasthet än resultatet från de odränerade direkta skjuvförsöken. Detta är inte rimligt, men orsaken till detta bedöms bero på andra faktorer (såsom försöksutförande, punktplacering etc.). Då älvleran utgör en mycket liten andel av glidyorna med lägsta säkerhetsfaktor mot brott, och därmed har en marginell

inverkan på beräkningsresultatet, har leran under älvbotten därmed valts att modellerats utan hållfasthetsanisotropi.



a) b)

Figur 6.8: Älvlera. Odränerad skjvghållfasthet mot a) nivå och b) djup. sammanställt för samtliga utförda undersökningsmetoder samt vald skjvghållfasthet. I diagrammet mot nivå (t.v.) visas även vald odränerad skjvghållfasthet för landleran längs Göta älv (mörkblå streckad linje).



Figur 6.9: Modellerad skjvghållfasthet i leran under älven, sektion 24700V mot Göta älv.

## 7 HYDROGEOLOGISKA FÖRHÅLLANDEN

### 7.1 VATTENNIVÅ I VATTENDRAG

Nivån i Göta älv är bl.a. reglerad vid Lilla Edets sluss, ca längdmätning 31/600. Då fallhöjden mellan Trollhättan och Lilla Edets sluss är liten kan samma vattenstånd antas gälla från nedströms en sluss till uppströms nästa. Detta innebär att för delområde Nedra Torp, ca längdmätning 24/500, gäller samma vattenstånd som för Lilla Edet Sluss 6 ÖVY (övre vattenyta). Enligt Tabell 6.1 i Styrdokument DGA00XST01 (SGI, 2021) är HHW +7,5, MW +7,2 och LLW +6,6.

Vattennivån i de yttre delarna av Träsbrobäcken och Valdalsbäcken bedöms variera med vattenståndet i Göta älv enligt ovan. I den inre delen av Träsbrobäcken i norr ligger dock botten högre än nivån för LLW och bäckfåran bedöms tidvis vara torrlagd. Botten längs Valdalsbäckens inre (västra) del ligger också något högre i nivå än LLW. Bäckens geometri, bottenens lutning och mer tydligt definierade fåra vittnar om att den nog ej torrläggs, men tidvis har mycket lågt vattenstånd.

### 7.2 GRUNDVATTENYTA OCH PORTRYCK

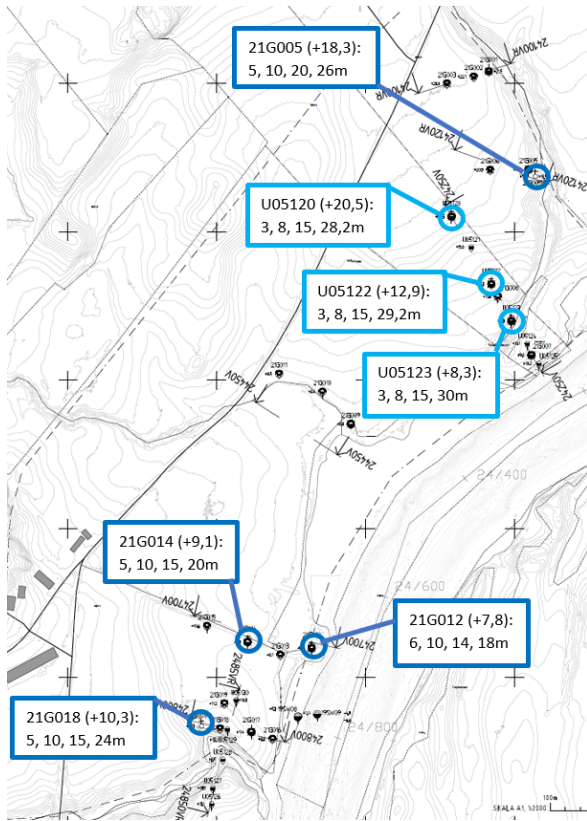
Portrycksspetsar med elektriska PVT-mätare med minne har installerats i 4 punkter (21G005, 21G012, 21G014 och 21G018), se lägen i Figur 7.1a. I tidigare utredningar (GÄU, 2012) har portrycket mätts i tre punkter placerade i en sektion mot Göta älv, se Figur 7.1a. Tidigare portrycksstationer finns inte kvar för fortsatt mätning, men dokumenterade mätserier (april - september 2010) har nyttjats för utvärdering av portrycket inom området. Nu och tidigare installerade portrycksspetsar är belägna ovanför och under ett av de förekommande sandskikten.

Portrycksmätningarna mot Träsbrobäcken visar att trycket generellt är hydrostatiskt, eller något lägre närmast släntrönet. I en tidigare mätstation (U05123) i nära anslutning till Träsbrobäckens utlopp till Göta älv har en något förhöjd portryckstendens uppmätts mot djupet i leran.

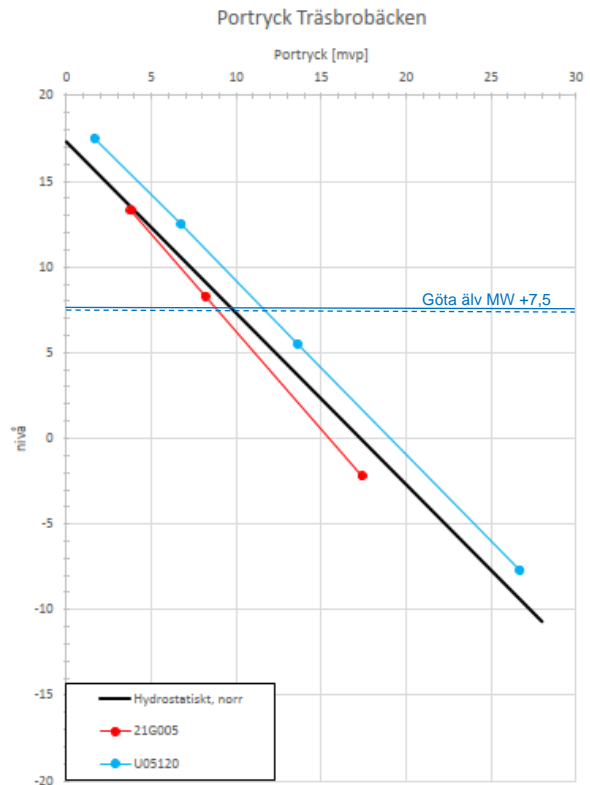
Nu utförda mätningar visar att portrycket vid släntrön mot Göta älv och Valdalsbäcken generellt är hydrostatiskt, från en nolltrycksnivå ca 0,5-1,5 m djup under markytan (Bilaga C). Vid 21G012 syns en tendens till mindre avsänkning till ett sandskikt om ca 1 m mäktighet vid +6,5 till +7,5, men som mot nästa mätdjup utjämnats mot "normal" trycknivå.

Fri vattenyta i provtagningshål har vid fältundersökningarna generellt uppmätts på mellan 0,5-1 m djup inom hela området.

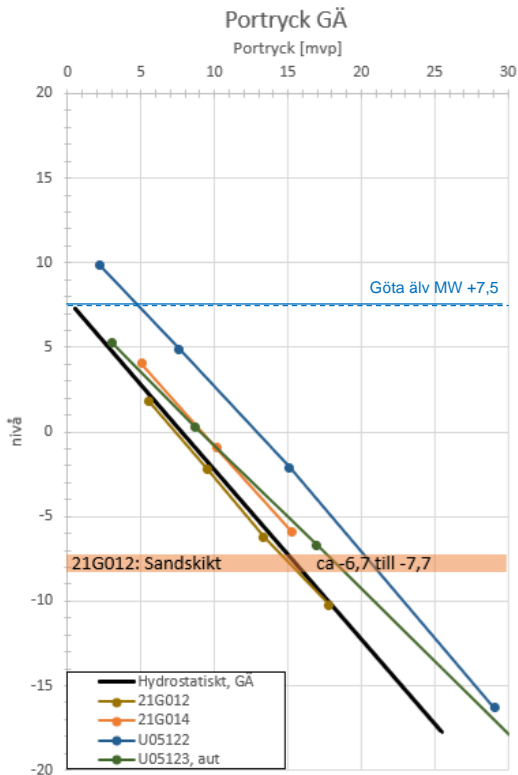
Uppmätt portryck för slänterna mot de tre olika vattendragen finns redovisade i Figur 7.1 (diagram b, c och d) och Bilaga C. I diagrammen redovisas även för jämförelse en hydrostatisk linje, vilken utgår från en genomsnittlig marknivå i delområdet.



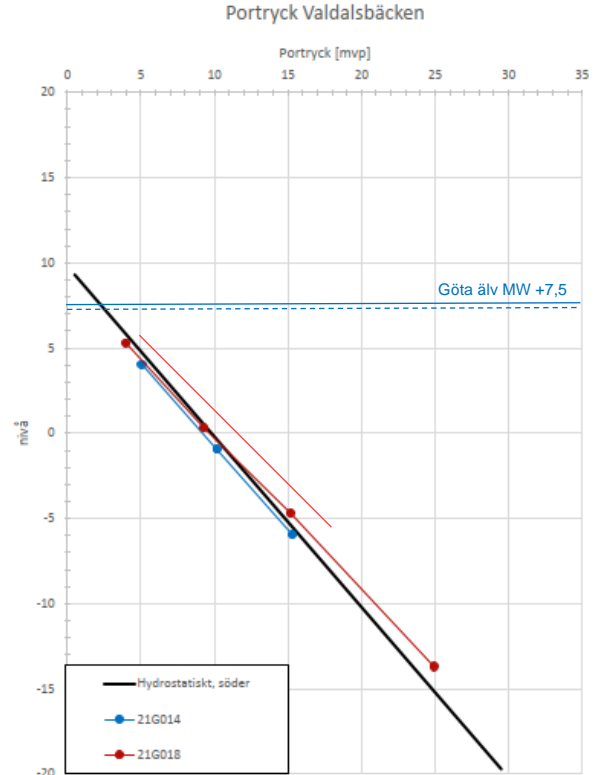
a)



b)



c)



d)

Figur 7.1: a) Portrycksstationer i Nedra Torp. Nu installerade och mätta stationer är markerade med mörkblå ring och tidigare stationer är markerade med ljusblå ring. Diagram b), c) och d) visar uppmätt portryck mot Träsbrobäcken, Göta älv och Valdalsbäcken.



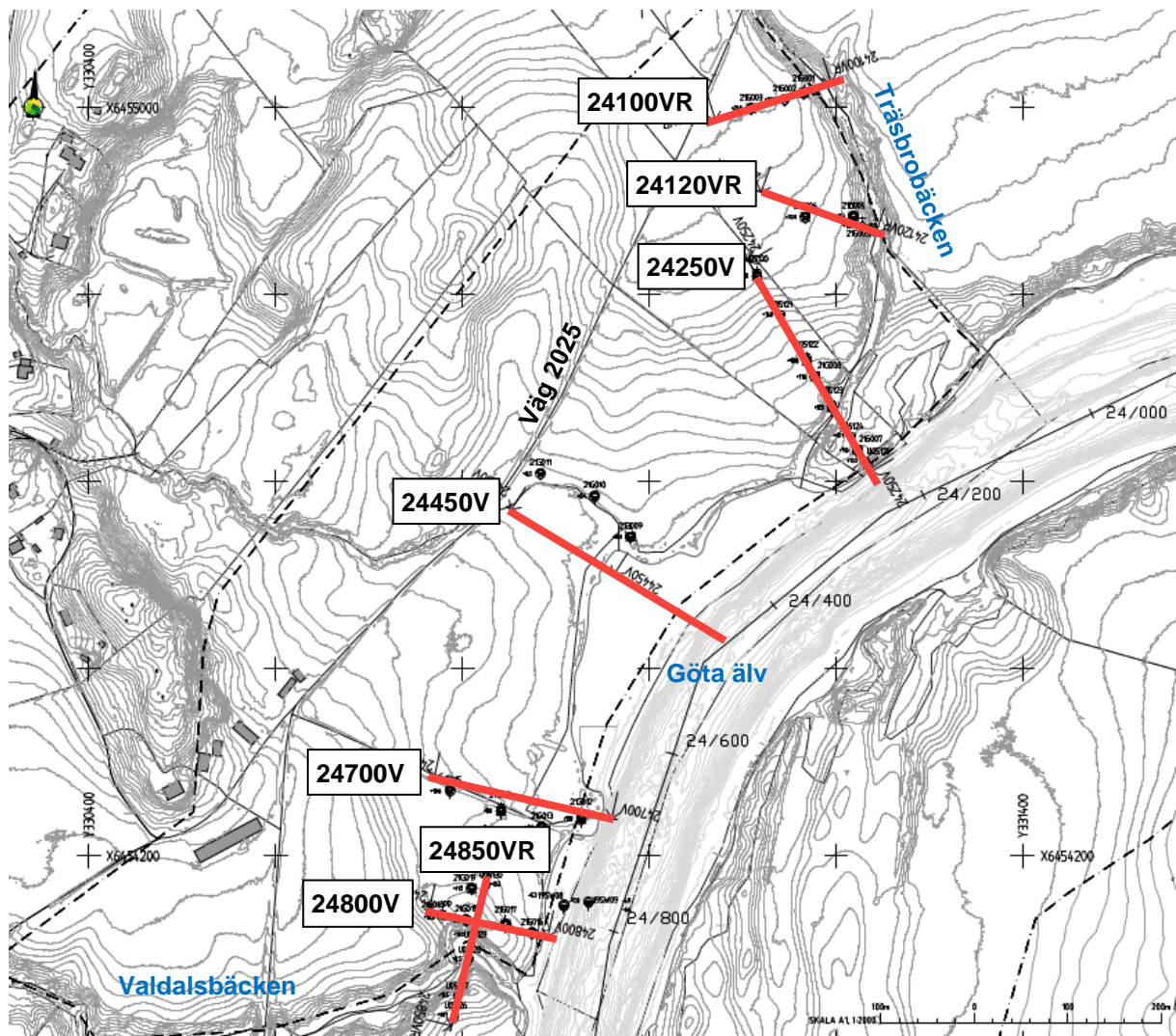
## 8 STABILITET

### 8.1 ALLMÄNT

Stabiliteten inom området har analyserats för befintliga förhållanden i sju representativa sektioner med lägen enligt Figur 8.1. Två närliggande sektioner har tidigare analyserats inom ramen för Göta älvutredningen (sektion V24/230 och V24/870).

Beräkningssektionernas lägen har valts ut utifrån variationerna i geometri, batymetri och geotekniska förutsättningar inom området för att på så sätt täcka in och kunna bedöma stabilitetsförhållandena inom hela området. Sektionerna har placerats i representativa delar av slänterna mot de tre vattendragen och beräknade säkerhetsfaktorer bedöms gälla även mellan sektionerna.

Stabilitetsanalyserna har utförts som kombinerad och odränerad analys med totalsäkerhetsmetoden med beräkningsprogrammet Slope/W (Geostudio 2021.3). Redovisade säkerhetsfaktorer avser Morgenstern-Price metod för cirkulär-cylindriska glidytor.



Figur 8.1: Plan med sektionslägen och -benämningar. Benämningarna utgår ifrån längdmätning i Göta älv. Ändelse R står för ravin och ingår i sektionensnamnen för biflödena till Göta älv.

## 8.1 ERFORDERLIG SÄKERHETSAKTOR

### 8.1.1 Totalsäkerhetsmetoden

Stabilitetsutredningen har utförts enligt IEG rapport 4:2010 (samt Skredkommissionens anvisningar, Rapport 3:95) där erforderlig säkerhetsfaktor gäller för Fördjupad stabilitetsutredning för markområden med markanvändningen "Befintlig bebyggelse och anläggning". Enligt ovanstående gäller därmed följande rekommendation på säkerhetsfaktorn mot brott utifrån rådande förutsättningar:

Tabell 8.1: Rekommenderad säkerhetsfaktor för befintlig bebyggelse och anläggning och fördjupad utredning enligt Tabell 4.2 i Rapport IEG 4:2010, totalsäkerhetsmetoden.

$F_c$	$\geq 1,4-1,3$
$F_{komb}$	$\geq 1,3-1,2$

Säkerhetsrekommendationen utgörs således av ett "spann" mellan olika nivåer på erforderlig säkerhetsfaktor. Vilket krav på erforderlig säkerhetsfaktor som råder inom ett projekt bestäms av ett stort antal faktorer som betecknas som "gynnsamma" eller "ogynnsamma". Exempel på en gynnsam faktor är t.ex. förekomst av kvicklera, stora konsekvenser av ett skred, pågående erosion eller ett begränsat antal geotekniska undersökningar etc.

Inom det aktuella området utgörs marken generellt av lera med låg odränerad skjuvhållfasthet. Leran är mellansensitiv och det finns ingen kvicklera. Det geotekniska underlaget är stort och spridningen hos lerans egenskaper är relativt liten. Konsekvenserna av ett eventuellt skred bedöms vara begränsade då det inom landområdet inte finns någon bebyggelse eller anläggning som kan beröras, utan endast natur- och betesmark. Ett skred skulle dock kunna innebära upptryckning av massor samt grumling i Göta älv, vilket kan påverka sjöfart, vattenkraft, vattenförsörjning och naturvärden. Det finns idag inga tecken på pågående rörelser i slänterna. Det finns tre vattendrag inom området, men risken för erosion bedöms vara liten då Göta älvs strandkant är erosionskyddad med sprängstensbank av god kvalitet och erosionen längs de mindre vattendragen är mycket begränsad.

Med utgångspunkt från de förutsättningar (både yttre och geotekniska) som råder inom det aktuella området enligt sammanfattning ovan anses följande säkerhetskrav rekommenderas enligt IEG 4:2010:

Tabell 8.2: Säkerhetsrekommendation för föreliggande fördjupade stabilitetsutredning utifrån gynnsamma respektive ogynnsamma faktorer, totalsäkerhetsmetoden.

$F_c$	$\geq 1,3$
$F_{komb}$	$\geq 1,2$

Enligt SGI:s gällande styrdokument (DGA00XST01 Riktlinjer för tekniskt arbete 5.0) gäller dock för fördjupad stabilitetsutredning generellt kraven på säkerhetsfaktor  $F_{tot}$  från den övre gränsen i intervallen i Tabell 8.1, se Tabell 8.3, vilka använts i föreliggande utredning.

Tabell 8.3: Gällande säkerhetsrekommendation för föreliggande fördjupade stabilitetsutredning, totalsäkerhetsmetoden.

$F_c$	$\geq 1,4$
$F_{komb}$	$\geq 1,3$

Om erforderlig säkerhetsfaktor inte uppnås med totalsäkerhetsmetoden i en fördjupad stabilitetsutredning så ska ett översiktligt åtgärdsförslag tas fram. Åtgärdsförslaget ska utformas så att totalstabiliteten för aktuell slänt uppfyller gällande krav på säkerhetsfaktorer enligt totalsäkerhetsmetoden, se Tabell 8.3.

### 8.1.2 Partialkoefficientmetoden

Vid behov av stabilitetsförbättrande åtgärd ska åtgärdsförslagen utformas så att totalstabiliteten för aktuell slänt uppfyller gällande krav på säkerhetsfaktorer enligt totalsäkerhetsmetoden, se ovan. Eventuella *nyskapade schaktslänter* ska dock uppfylla ställda krav enligt partialkoefficientmetoden enligt Eurocode. Säkerhetsklass 2, SK2, kan användas då det fastlagts att kvicklera inte förekommer inom området. Kraven på säkerhetsfaktorn  $F_{EN}$  för att en slänt ska anses vara stabil är enligt SGI:s styrdokument och IEG Rapport 6:2008  $F_{EN} \geq 1,0$  för SK2, såväl vid odränerad som kombinerad analys.

## 8.2 BERÄKNINGSFÖRUTSÄTTNINGAR

### 8.2.1 Utformning och geometri

Som underlag till utförda stabilitetsberäkningar för utredningsområdet har Lantmäteriets nationella höjd-datamodell (1 m grid) samt fastighetskartan använts.

Modell över älvens bottenpografi kommer från batymetrisk sjömätning 2018 (Clinton). Träsbrobäckens och Valdalsbäckens bottenprofiler är huvudsakligen mycket grunda, och kontrollmättes vid aktuella beräkningssektioners lägen av WSP den 2022-04-28.

### 8.2.2 Materialegenskaper

Materialegenskaper samt jordlagrens mäktighet har utvärderats från nu utförda geotekniska undersökningar tillsammans med tidigare utförda fältundersökningar. I nedanstående Tabell 8.4 och Tabell 8.5 redovisas de materialparametrar som använts vid stabilitetsberäkningarna för respektive delområde. Valda materialparametrar redovisas också på respektive stabilitetsberäkning i Bilaga D och Bilaga E. För sand och silt har konservativa värden ansatts baserat på enstaka ostörda prover inom området, samt utifrån utvärderade CPT-sonderingar.

Tabell 8.4: Valda materialegenskaper för jordarter i slänter mot Träsbrobäcken.

Jordlager	Bedömda materialegenskaper	Värde
Torrskorpelera	Tunghet, $\gamma$ Odränerad skjuvhållfasthet, $T_{fu}$	17 kN/m <sup>3</sup> 17 kPa
Silt	Tunghet, $\gamma$ Friktionsvinkel, $\varphi'$	18 kN/m <sup>3</sup> 32°
Sand	Tunghet, $\gamma$ Friktionsvinkel, $\varphi'$	18 kN/m <sup>3</sup> 34°
Lera 1	Tunghet, $\gamma$ Odränerad skjuvhållfasthet, $T_{fu}$	16,4 kN/m <sup>3</sup> 17 kPa
Lera 2	Tunghet, $\gamma$ Odränerad skjuvhållfasthet, $T_{fu}$	16 kN/m <sup>3</sup> 17 + 1,3*z kPa
Lera 3	Tunghet, $\gamma$ Odränerad skjuvhållfasthet, $T_{fu}$	16,8 kN/m <sup>3</sup> 17 + 1,3*z kPa

Z avser djup räknat från nivån +14.

Tabell 8.5: Valda materialegenskaper för jordarter i slänter mot Göta älv och Valdalsbäcken.

Jordlager	Bedömda materialegenskaper	Värde
Torrskorpelera	Tunghet, $\gamma$ Odränerad skjuvhållfasthet, $T_{fu}$	17 kN/m <sup>3</sup> 17 kPa
Silt	Tunghet, $\gamma$ Friktionsvinkel, $\varphi'$	18 kN/m <sup>3</sup> 32°
Sand	Tunghet, $\gamma$ Friktionsvinkel, $\varphi'$	18 kN/m <sup>3</sup> 34°
Lera 1	Tunghet, $\gamma$ Odränerad skjuvhållfasthet, $T_{fu}$	16,8 kN/m <sup>3</sup> 17 kPa
Lera 2	Tunghet, $\gamma$ Odränerad skjuvhållfasthet, $T_{fu}$	16,8 kN/m <sup>3</sup> 17 + 1,3*z <sub>1</sub> kPa
Lera 3	Tunghet, $\gamma$ Odränerad skjuvhållfasthet, $T_{fu}$	16 kN/m <sup>3</sup> 17 + 1,3*z <sub>1</sub> kPa
Lera 4	Tunghet, $\gamma$ Odränerad skjuvhållfasthet, $T_{fu}$	16,8 kN/m <sup>3</sup> 17 + 1,3*z <sub>1</sub> kPa
Älv Lera 1	Tunghet, $\gamma$ Odränerad skjuvhållfasthet, $T_{fu}$	16,5 kN/m <sup>3</sup> 20 + 2,5*z <sub>2</sub> kPa
Älv Lera 2	Tunghet, $\gamma$ Odränerad skjuvhållfasthet, $T_{fu}$	16,5 kN/m <sup>3</sup> 20 + 2,5*z <sub>3</sub> kPa

Z avser djup räknat från följande nivåer: z<sub>1</sub> = +12, z<sub>2</sub> = -5, z<sub>3</sub> = lagrets ovkant (djuprelaterad).

### 8.2.3 Laster

Marklaster ansätts generellt i de fall där de befinner sig i aktivzonen, d v s i den pådrivande delen, av glidytor. Inom aktuellt område finns inga byggnader eller andra anläggningar som utgör en belastning i stabilitetsberäkningarna.

### 8.2.4 Grundvatten och portryck

I beräkningarna har hydrostatisk portrycksmodell använts inom hela området, i enlighet med utförda portrycksmätningar. Någon tydlig genomgående förhöjning eller avsänkning av portrycket i leran har inte uppmätts inom området (med undantag för någon mindre lokal variation i enstaka mätpunkt).

I de sektioner som angränsar till Göta älv har grundvattenytan ansatts ligga på ca 1-3 m djup under markytan vid släntröner och platå, och vid släntröner något ytligare, på ca 0,5-1,5 m djup, för att ansluta till vattennivån i älven.

För beräkningssektionerna mot Träsbrobäcken och Valdalsbäcken har grundvattenytan ansatts ligga på ca 1 m djup under markytan vid platå och något djupare, ca 1,5-3 m under markytan, vid släntröner. Grundvattennivån i släntröner har ansatts stå i relation med ansatt vattennivå för bäcken (ca 0-1 m djup).

### 8.2.5 Vattennivå

För Göta älv tillämpas dimensionerande vattenstånd för Lilla Edet Sluss 6 ÖVY enligt styrdokument DGA00XST01 (Version 5.0, SGI, 2021). I beräkningarna har LLW (+6,6) ansatts då vattnets mothållande effekt då är som lägst, vilket därmed utgör det mest ogynnsamma lastfallet med avseende på stabiliteten.

Vattennivån i Träsbrobäcken har valts i nivå med bäckens bottennivå då bäcken tidvis under året anses vara torrlagd.

Vattennivån vid Valdalsbäckens utlopp till Göta älv anses följa vattenståndet i älven.

## 8.3 STABILITETSANALYSER FÖR BEFINTLIGA FÖRHÅLLANDEN

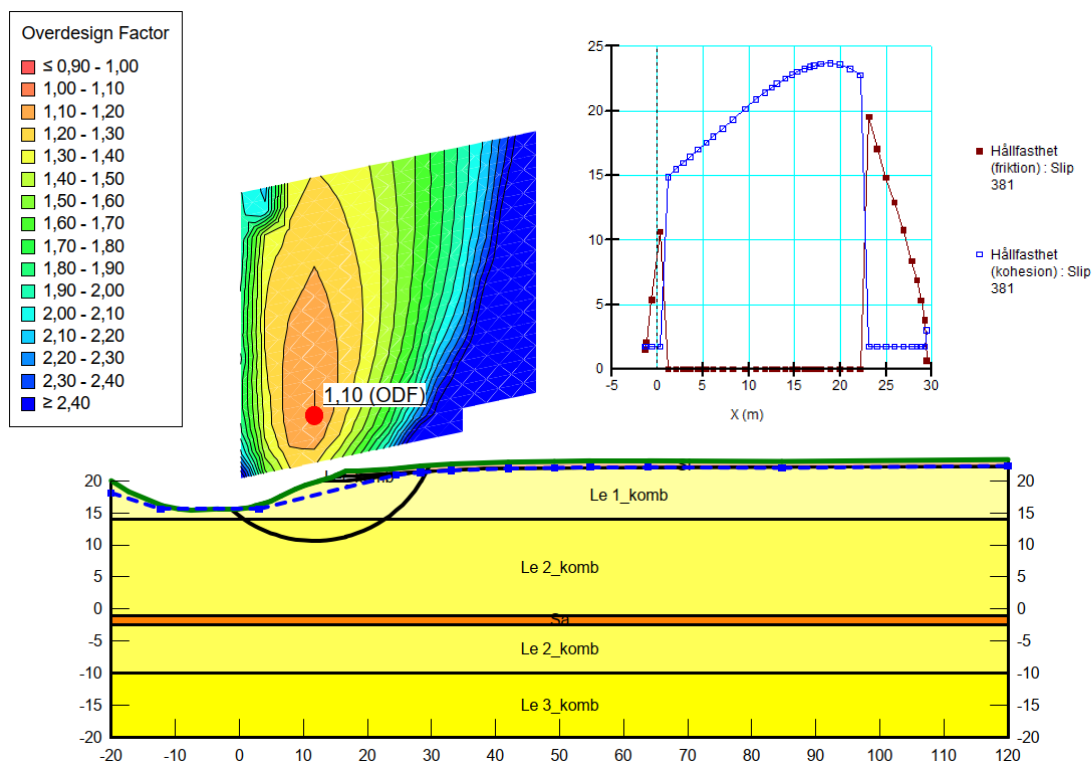
I följande kapitel beskrivs resultaten av de stabilitetsanalyser som utförts inom ramen för föreliggande fördjupade stabilitetsutredning. Samtliga beräkningar för befintliga förhållanden redovisas i sin helhet i Bilaga D.

### 8.3.1 Träsbrobäcken

I den norra delen av området har stabiliteten mot Träsbrobäcken kontrollerats i två sektioner, 24100VR och 24120VR. Vattendragets ravin är generellt ca 5-10 m djup och slänterna relativt branta. Ovanför släntkrönet finns åkermark, medan slänterna är beväxta med gräs, buskar och träd.

Utförda stabilitetsanalyser visar att stabilitetsförhållandena för den södra sidan av Träsbrobäckens ravin inte uppfyller rekommenderad säkerhetsnivå (fördjupad utredning) och därmed inte kan anses vara tillfredsställande.

Beräknade sektioner ligger ca 500 m respektive 300 m uppströms Träsbrobäckens utlopp i Göta älv och säkerheten mot odränerat brott har beräknats till ca  $F_c=1,3-1,35$  och mot kombinerat brott till ca  $F_{komb}=1,1$ , se Figur 8.2. Glidyterna med lägst säkerhetsfaktor har en utbredning av ca 25-30 m, från strax utanför släntfot i vattendragets botten till ca 10-15 m bakom släntkrönet. Glidyterna är max ca 10 m djupa och i den kombinerade analysen är den odränerade skjuvhållfastheten dimensionerande längs ca 75 % av glidytan och den dränerade skjuvhållfastheten längs ca 25 %, se diagram i Figur 8.7.



Figur 8.2: Sektion 24100VR, mot Träsbrobäcken, kombinerad analys.



### 8.3.2 Göta älv

Stabiliteten mot Göta älv har kontrollerats i fyra sektioner som tillsammans bedöms representera hela släntavsnittet mot älven inom aktuellt område. Släntkrönet ligger nära Göta älv och marken ovanför utgörs generellt av flackt lutande åkermark. Slänten närmast strandkant och undervattensslänten är relativt brant. Slänten ner mot vattendraget är beväxt med gräs och buskar och lokala trädgångar, främst i norra och södra delen av området. I den centrala delen av området finns i anslutning till älven ett lågt beläget markområde, som under delar av året står under vatten. Längs strandkanten löper ett erosionsskydd av sprängsten.

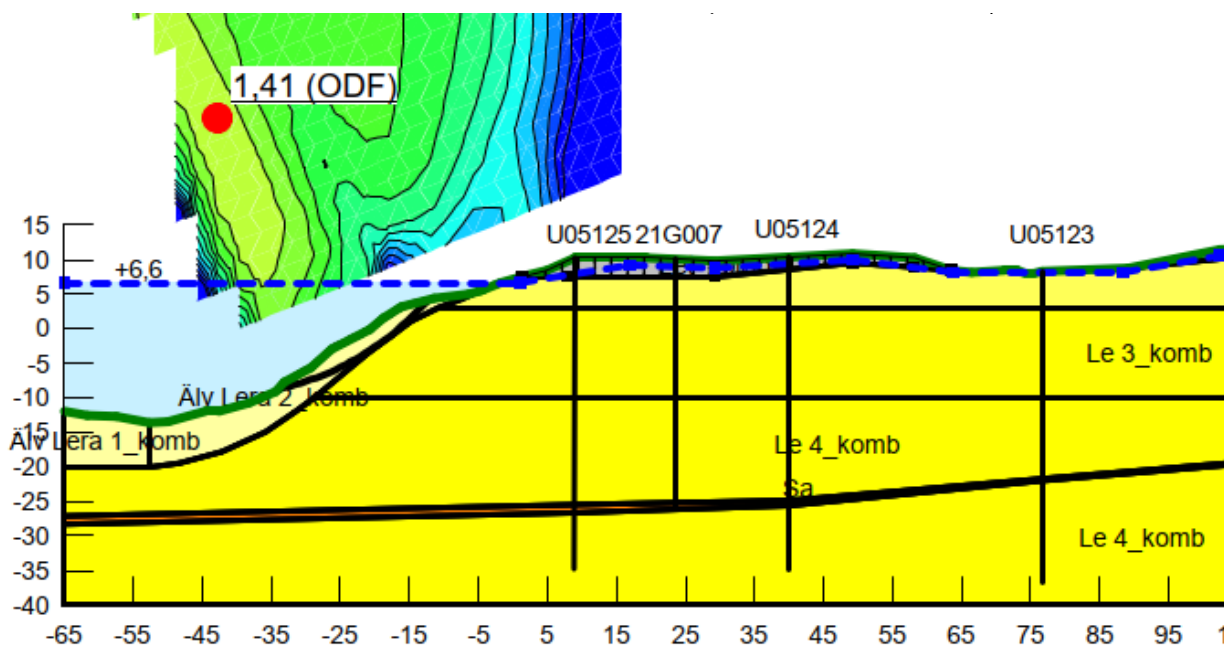
Utförda stabilitetsanalyser visar att stabilitetsförhållandena längs Göta älv inom hela det aktuella utredningsområdet uppfyller rekommenderad säkerhetsnivå för fördjupad utredning och därmed kan stabiliteten anses vara tillfredsställande.

Analyserna visar generellt att det är glidytorna i den branta undervattensslänten som har lägst säkerhetsfaktor, ca  $F_{komb} = 1,3-1,7$ , men glidytorerna är små och ställda krav är uppfyllda och stabiliteten bedöms vara tillfredsställande. De odränerade glidytorerna med lägst säkerhetsfaktor slår generellt upp ca 20-30 m bakom släntkrönet och har  $F_c > 1,8$ , dvs tillfredsställande stabilitet.

#### Sektion 24250V

Sektion 24250V är placerad i den norra delen av området och korsar Träsbrobäckens utlopp i Göta älv. Slänten ovanför Göta älvs strandkant är flack, men undervattensslänten är brant (lutning ca 1:2,5). Glidytan med lägst säkerhetsfaktor går i älvleran i undervattensslänten, har en utbredning på knappt 20 m, är i princip helt dränerad och har en säkerhetsfaktor på ca  $F_{komb}=1,4$ , se Figur 8.4. I odränerad analys har glidytan med lägst säkerhetsfaktor, ca  $F_c=1,85$ , en utbredning på ca 70 m och slår upp ca 30 m från strandkanten.

I tidigare utförd Göta älvutredning beräknades säkerhetsfaktorn för intilliggande sektion V24230 till ca  $F_c=1,2$  och  $F_{komb}=1,15$ . Att nu beräknade lägsta säkerhetsfaktorer är markant högre än tidigare beräknade i GÄU, vilket beror på förfinad jordmodell baserad på nya undersökningar, och därmed högre hållfasthet för såväl land- som älvlera och att anisotropieffekter i leran har bekräftats/styrkts och tillgodoräknats.

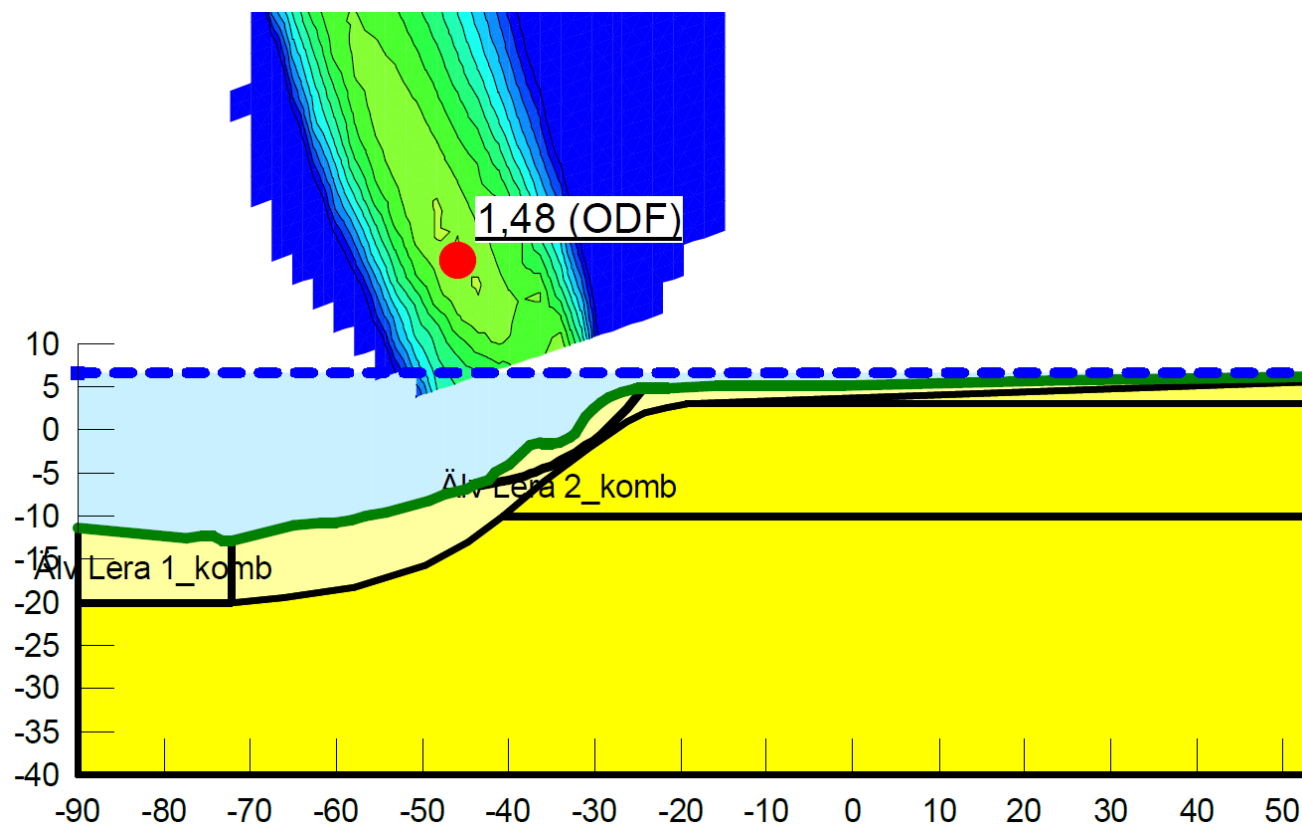


Figur 8.3: Sektion 24250V, mot Göta älv, kombinerad analys.



### Sektion 24450V

Sektion 24450V representerar området med det lågt beläget markområdet närmast älven, ca km 24/300-24/600. De lägsta beräknade säkerhetsfaktorerna är ca  $F_{komb}=1,5$  för undervattensslänten (Figur 8.4) och ca  $F_c=3,2$  för en något större glidyta med ca 70 m utbredning.



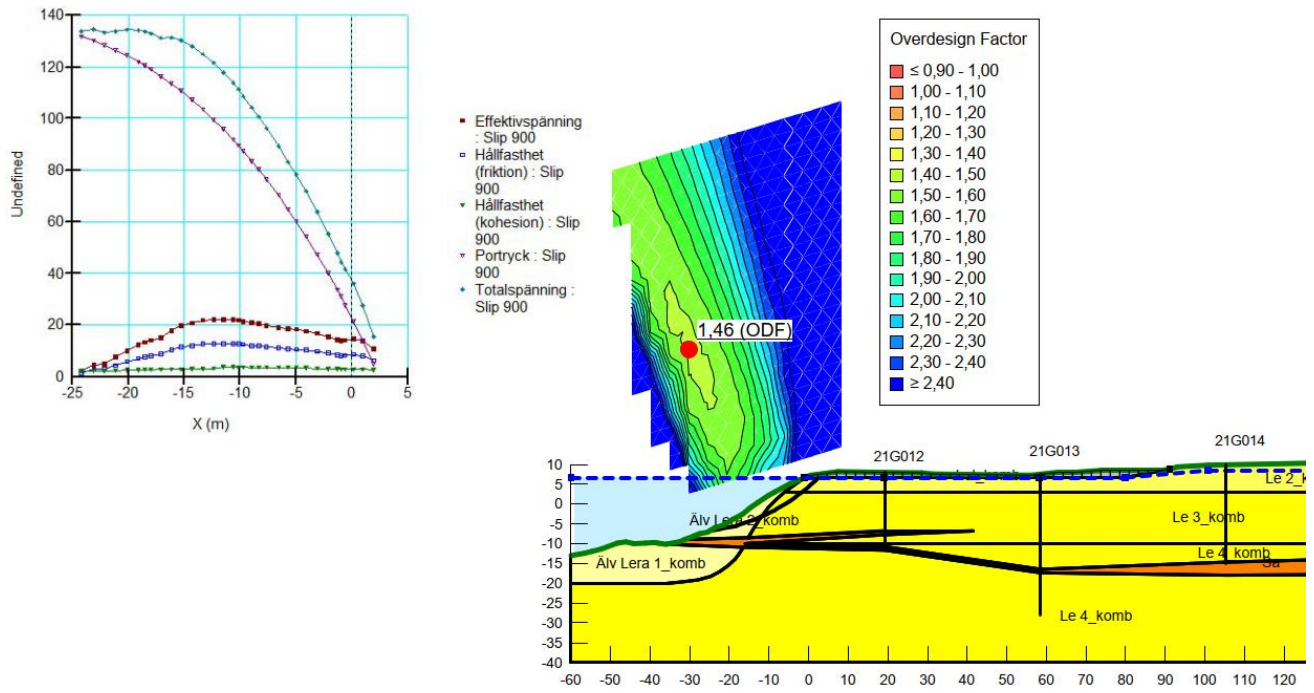
Figur 8.4: Sektion 24450V, mot Göta älv, kombinerad analys.

### Sektion 24700V och 24800V

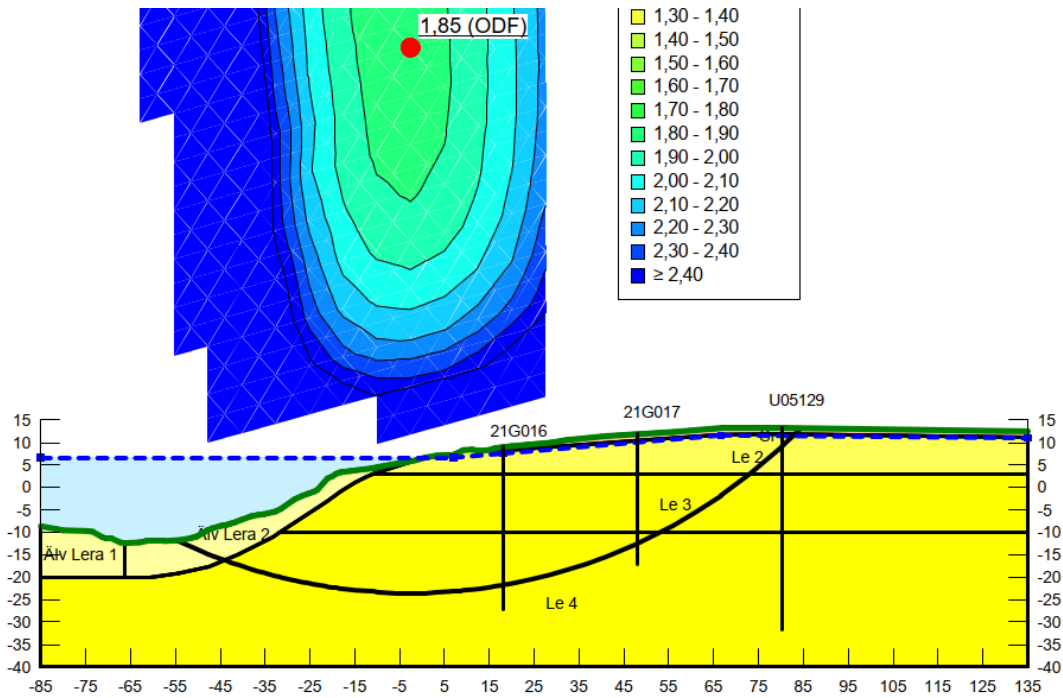
Sektion 24700V och 24800V är placerade i den södra delen av området. I anslutning till sektion 24700V har skikt med friktionsjord observerats på ca 15 m djup (i nivå med älvens botten). I sektion 24800V är släntgeometrin i undervattensslänten något flackare och det har inte påträffats någon förekomst av skikt.

Glidytor med lägst säkerhetsfaktor mot brott har en begränsad utbredning i undervattensslänten. Lägst säkerhet mot ett kombinerat brott för dessa glidytor är ca  $F_{komb}=1,45-1,7$ . För dessa glidytor är den dränerade skjuvhållfastheten är dimensionerande längs ca 90% av glidytan (exempel på detta kan utläsas i diagram i Figur 8.5).

Lägst säkerhetsfaktor mot odränerat brott är ca  $F_c=1,85$ . Glidytor med lägst säkerhet mot ett odränerat brott har ett utseende/utbredning som är betydligt djupare och längre (ca 130 m i sektion 24800V), se Figur 8.6.



Figur 8.5: Sektion 24700V, mot Göta älv, kombinerad analys.



Figur 8.6: Sektion 24800V, mot Göta älv, odränerad analys.

### 8.3.3 Valdalsbäcken

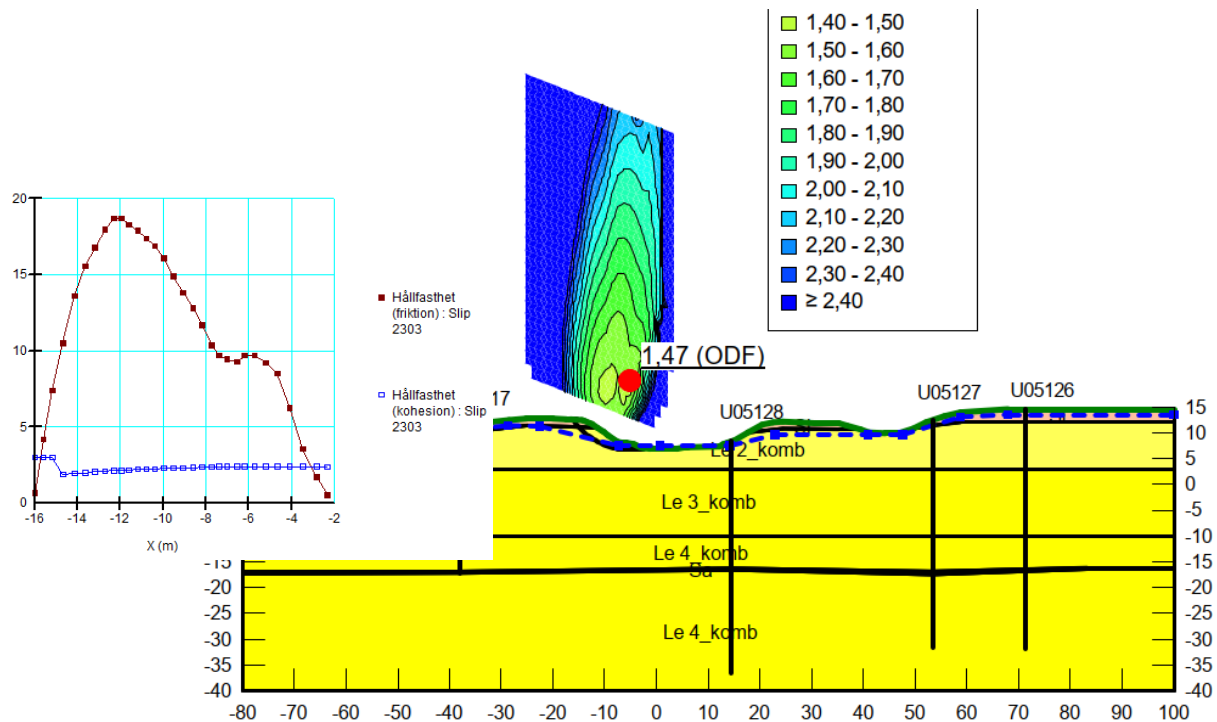
Stabiliteten mot Valdalsbäckens norra sida har kontrollerats i en representativ sektion, 24850VR. En närliggande sektion (V24/870) har tidigare analyserats inom ramen för Göta älvutredningen. Även inom detta delområde utgörs markytan ovanför slänkrönet av åkermark och själva ravinen av naturmark med gräs, buskar och träd.

Utförda stabilitetsanalyser visar att stabilitetsförhållandena för aktuell slänt mot Valdalsbäcken uppfyller rekommenderad säkerhetsnivå (fördjupad utredning) och därmed kan stabiliteten anses vara tillfredsställande.

#### Sektion 24850VR

Sektion 24850VR ligger ca 80 m väster om bäckens utlopp i Göta älv. För aktuell sektion har säkerheten mot odränerat brott beräknats till ca  $F_c=1,75$  och mot kombinerat brott till ca  $F_{komb}=1,45$ , vilket uppfyller ställda säkerhetskrav.

Glidyornas utbredning är ca 20 m och deras djup ca 5-10 m, (Figur 8.7). För glidyorna med lägst säkerhetsfaktor mot brott är den dränerade skjuvhållfastheten dimensionerande längs i princip hela glidytan (ca 95 %) av glidytan, se diagram i Figur 8.7.



Figur 8.7: Sektion 24850VR, mot Valdalsbäcken, kombinerad analys.

Inom Göta älvutredningen beräknades stabiliteten i närliggande sektion V24/870 till ca  $F_c = 1,05$  och ca  $F_{komb}=1,0$ . Den nu högre beräknade säkerhetsfaktorn beror på förfinad jordmodell med högre hållfasthet (ökande hållfasthet från en högre nivå) samt tillgodoräknande av anisotropi.

### 8.3.4 Sammanställning av stabilitetsanalyser för befintliga förhållanden

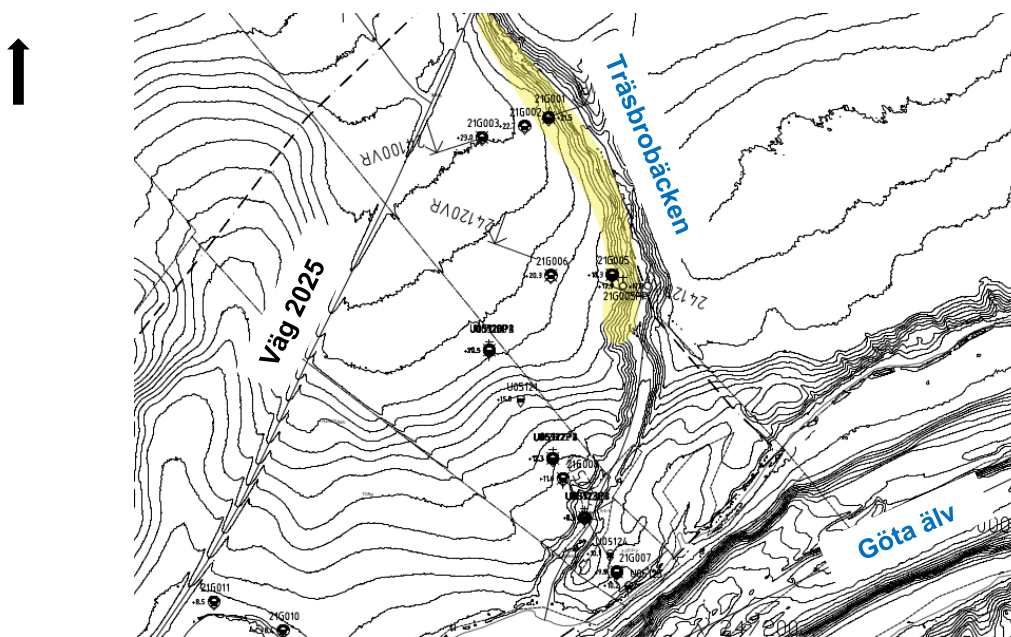
Utförda beräkningssektioner är placerade med syfte att täcka in och representera stabilitetsförhållandena för befintliga slänter inom det aktuella området. I Tabell 8.6 redovisas lägsta säkerhetsfaktor mot brott (totalsäkerhetsanalys) i utförda stabilitetsanalyser för befintliga förhållanden. Stabilitetsanalyserna redovisas i sin helhet i Bilaga D.

Tabell 8.6: Säkerhetsfaktor mot brott enligt totalsäkerhetsmetoden i analyserade beräkningssektioner. Feta svarta siffror innebär att rekommenderad säkerhetsnivå för stabiliteten, enligt ställda krav enligt IEG Rapport 4:2010, inte är uppfylld.

Totalsäkerhet, F <sub>tot</sub>		
Vattendrag - Sektion	Odränerad analys, ca F <sub>c</sub>	Kombinerad analys, ca F <sub>komb</sub>
<b>Träsbrobäcken</b>		
24100VR	<b>1,25</b>	1,1
24120VR	<b>1,35</b>	1,1
<b>Göta älv</b>		
24250V	1,85	1,4
24450V	3,25	1,5
24700V	2,3	1,45
24800V	1,85	1,7
<b>Valdalsbäcken</b>		
24850VR	1,75	1,45

Utförda stabilitetsberäkningar visar att säkerhetsfaktorn mot brott inom begränsade delar av utredningsområdet inte uppfyller stabilitetsrekommendationerna för en fördjupad stabilitetsutredning enligt IEG Rapport 4:2010.

Inom merparten av området och för samtliga slänter mot Göta älv och mot Valdalsbäcken i söder är stabilitetsförhållandena goda. Däremot är säkerhetsfaktorn mot brott för låg för slänten mot Träsbrobäcken i den norra delen av området. Det område inom vilket stabiliteten inte uppfyller rekommenderad säkerhetsnivå (fördjupad utredning) har markerats med gul färg i Figur 8.8.



Figur 8.8: Översiktskarta med markerat område (gul skuggning) längs Träsbrobäcken i den norra delen av utredningsområdet, inom vilket stabiliteten inte uppfyller säkerhetsrekommendationerna enligt IEG Rapport 4:2010 för befintliga förhållanden och aktuell utredningsnivå.

## 8.4 KÄNSLIGHETSANALYS

I en geoteknisk stabilitetsberäkning finns det ett antal indata som påverkar säkerhetsfaktorn mot brott. Det finns därför alltid en viss osäkerhet i de resultat som erhålls vid en stabilitetsanalys, vilket ska beaktas vid värdering och hantering av resultatet. För att få en bild av hur olika parametrar inverkar på resultatet av stabilitetsanalyserna kan en känslighetsanalys utföras för de ingående parametrarna i den geotekniska modellen. Känslighetsanalysen utgör ett stöd i bedömningen av olika parametrar. Det finns större anledning att skaffa ett bra underlag för att bestämma en parameter som har stor inverkan på säkerhetsfaktorn mot brott. En känslighetsanalys kan t.ex. svara på om det finns anledning att vidare utreda parametrar som är något osäkra.

I föreliggande fördjupade stabilitetsutredning har känslighetsanalyser utförts med avseende på följande:

- utbredd ogynnsamt placerad markbelastning på 10 kPa (från exempelvis en uppfyllnad)
- förhöjda portrycksnivåer
- erosion längs vattendragen.
- lägre odränerad skjuvhållfasthet i leran

Känslighetsanalyser har utförts i de sektioner där ovan nämnda parametrar har bedömt kunna ha påverkan på framtida stabilitetsförhållanden. Det innebär att marklast samt erosion av älvbotten utförts för sektion 24700V respektive 24250V mot Göta älv. Förhöjt portryck bedöms ej som relevant att studera för sektionerna mot Göta älv då glidytorerna med lägst säkerhet mot brott är små och går i undervattensslänten.

För slänterna mot Träsbrobäcken i norr är erosionen obefintlig/ringa och bedöms inte kunna påverka stabiliteten, men känslighetsanalys avseende förhöjt portryck och tillkommande marklast har utförts i sektion 24120R.

I den yttre delen av Valdalsbäcken i söder, närmast utloppet i Göta älv, har lokal erosion observerats och en känslighetsanalys avseende erosion i strandkant har utförts för sektion 24850R.

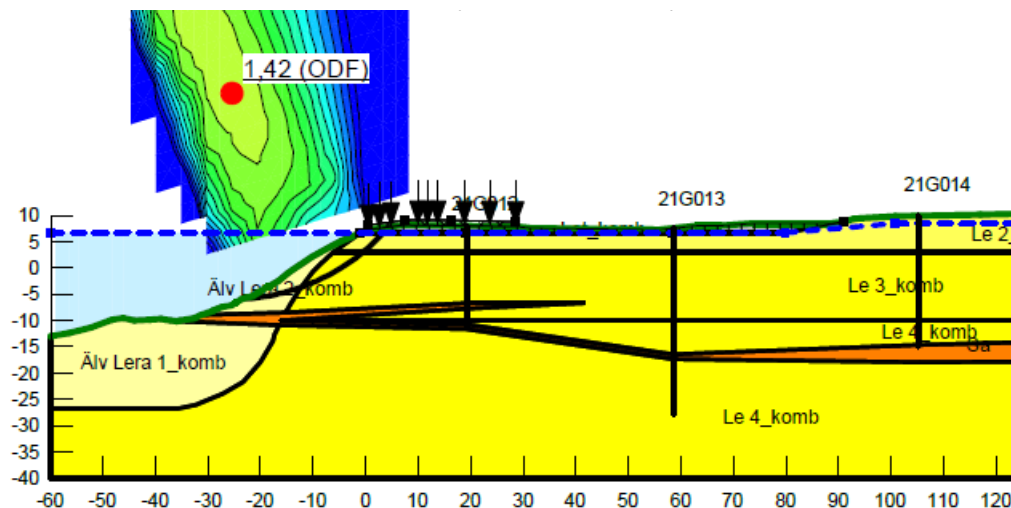
Inom det större delområdet, Göta älv och Valdalsbäcken, har en känslighetsanalys även utförts för en lägre vald odränerad skjuvhållfasthet i leran. Stabilitetsanalyser med den lägre skjuvhållfastheten har utförts för de sektioner som har lägst beräknad säkerhetsfaktor för befintliga förhållanden och där glidytan går i landleran, sektion 24700V mot älven och 24850VR mot Valdalsbäcken.

### 8.4.1 Marklast

För aktuellt område finns ingen detaljplan och känslighetsanalys har utförts för marknivåjustering (uppfyllnad med ca 0,5 m jord) motsvarande en utbredd last på 10 kPa där en sådan är ogynnsam, dvs. i aktivzonen.

Enligt utförda känslighetsanalyser minskar säkerhetsfaktorn mot brott med upp till 3–9 % då en utbredd last på 10 kPa påförs ovan släntröner (ca 0-30 m från krönet) i slänterna mot Göta älv. Säkerhetsfaktorn för odränerat liksom kombinerat brott är dock fortfarande tillfredsställande ( $F_c=2,1$ ,  $F_{komb}=1,40$ ).





Figur 8.9: Känslighetsanalys m.a.p. påförd marklast i sektion 24700V, mot Göta älv, kombinerad analys.

Säkerhetsfaktorerna för slänterna mot Träsbrobäckens ravin i norr minskar med ca 5-10 % då 10 kPa marklast påförs ovan släntrönen. Beräknade säkerhetsfaktorer blir ca  $F_c=1,2$  respektive  $F_{komb}=1,05$ .

#### 8.4.2 Förhöjt portryck

Maximala trycknivåer har modellerats enligt styrdokument DGA00XST01 och en maximal portrycksprofil har tagits fram för aktuella jordlager.

Utförd känslighetsanalys i sektion 24120VR, vid Träsbrobäcken, har modellerats genom att nolltrycksnivån (grundvattenytan) höjts till högsta möjliga nivå, dvs. till markytan, inom området ovanför släntrönen. I slänten och vid krönet har grundvattenytan ansatts ligga 0,5 m högre än tidigare vald nivå för befintliga förhållanden. Vid släntrönet ansluter nolltrycksnivån fortsatt till vattennivån i vattendraget, vilket enligt dimensionerande vattenstånd innebär en vattenyta strax under markytan.

Portryckstillväxten mot djupet har från nolltrycksnivån ansatts vara densamma som i beräkningen för befintliga förhållanden, dvs hydrostatiskt, vilket resulterar i ett högre portryck genom hela jordprofilen. Då det generellt anses att portrycket djupt i jordprofilen normalt ej påverkas årstidsberoende skillnader i grundvattenytans nivå, så är aktuell känslighetsanalys att betrakta som konservativt utformad. Det innebär alltså att ett sådant scenario ej bedöms som sannolikt, utan kan ses som ett ytterlighetsfall.

Utförda känslighetsanalyser visar att säkerhetsfaktorn mot kombinerat stabilitetsbrott minskar med ca 9 % och ligger strax över  $F_{komb}=1,0$  vid det ovan beskrivna förhöjda portrycket.

#### 8.4.3 Förändrad geometri genom erosion

Känsligheten för erosion av slänter och botten under farleden i Göta älv har studerats för ett fall där de ursprungliga marknivåerna sänkts med 2 m och genom anpassning till befintliga nivåer. Känslighetsanalysen är utförd i sektion 24250V där erosionen modellerats enligt styrdokument DGA00XST01 med geometriska förändringar enligt typsektion B1-1 (slänt med undervattenshylla och med erosionskydd). Vald sektion anses vara representativ för hela den aktuella sträckan, eftersom släntgeometrin närmast älven och glidyornas utbredning är likartade längs sträckan.

Utförd analys visar att lägsta säkerhetsfaktor mot ett odränerat brott minskar med ca 4 % och mot kombinerat brott med ca 10 %. De ursprungliga säkerhetsfaktorerna för befintliga förhållanden är höga och även efter ca 2 m erosion är stabilitetsförhållandena goda.

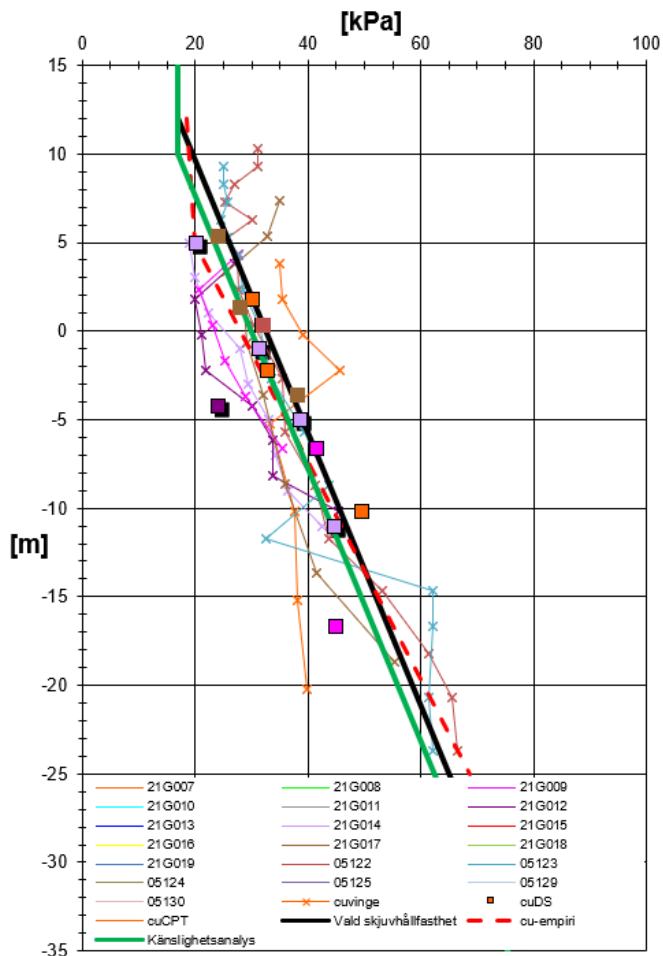
För den norra slänten ner mot Valdalsbäcken visar utförda känslighetsanalyser med 1 m erosion av botten samt längs strandkanten att säkerhetsfaktorerna minskar med ca 6-11 %, men stabilitetsförhållandena är fortsatt goda.



#### 8.4.4 Lägre odränerad skjuvhållfasthet

En känslighetsanalys har utförts för en lägre vald odränerad skjuvhållfasthet i leran inom delområde Göta älv och Valdalsbäcken. Hållfastheten har ansatts till konstant 17 kPa ner till nivån +10 och därifrån ökande med 1,3 kPa/m (istället för ökande från nivån +12 som valts i föreliggande utredning), se Figur 8.10.

Utförd känslighetsanalys visar att säkerhetsfaktorn blir något lägre, men att ställda krav fortfarande är uppfyllda. Säkerhetsfaktorerna mot Göta älv (24700V) beräknades till  $F_c=2,2$  respektive  $F_{komb}=1,45$  och mot Valdalsbäcken (24850VR) till  $F_c=1,6$  respektive  $F_{komb}=1,4$ . Det innebär att en lägre vald skjuvhållfasthet inte påverkar åtgärdsbehovet inom aktuellt område.



Figur 8.10: Lägre vald odränerad skjuvhållfasthet för känslighetsanalys; 17 kPa + 1,3 kPa/m från nivå +10 (grön linje).

#### 8.4.5 Sammanställning av utförda känslighetsanalyser

Känslighetsanalyser har utförts i valda sektioner för att analysera inverkan av tillkommande marklast, förhöjt portryck, erosion och lägre vald skjuvhållfasthet. I Tabell 8.7 redovisas lägsta säkerhetsfaktorer mot brott för utförda känslighetsanalyser i sektioner mot Göta älv, Träsbrobäcken och Valdalsbäcken, samt procentuell förändring av säkerhetsfaktorn jämfört med ursprunglig beräkning.

Utförda känslighetsanalyser visar att den negativa påverkan på stabilitetsförhållandena varierar inom området och beroende på vilken parameter som studeras. Störst påverkan har uppfyllnad, dvs en tillkommande markbelastning ovan släntrönet, vilket bedöms kunna minska säkerhetsfaktorn med upp till 25 % jämfört med befintliga förhållanden.

En högre förekommande grundvattenyta och högre portryck i slänten ner mot Träsbrobäcken påverkar stabiliteten negativt och säkerhetsfaktorn mot kombinerat brott minskar med upp till 10 %, men är strax över  $F_{komb}=1,0$ .

Analys av stabilitetsförhållandena efter 2 m erosion i Göta älv visar på fortsatt god stabilitet, dvs även om säkerhetsfaktorerna minskar med upp till ca 5 % så uppfyller de fortsatt ställda krav med god marginal. Även längs Valdalsbäcken är stabiliteten fortsatt tillfredsställande, även vid ca 1 m erosion av botten och strandkant.

För de båda sektionerna som undersökts med en lägre vald skjuvhållfasthet blev säkerhetsfaktorn något lägre (upp till 9 % försämring), men var fortsatt hög nog för att nå ställda stabilitetskrav.

Tabell 8.7: Säkerhetsfaktorns variation beroende på känslighetsanalys. Faktiska värden samt procentuell förändring mot ursprunglig säkerhetsfaktor (för befintliga förhållanden).

Vattendrag - sektion - känslighetsanalys	$F_c$	Procentuell förändring	$F_{komb}$	Procentuell förändring
<b>Träsbrobäcken – 24120VR</b>				
Ursprunglig beräkning	1,35	-	1,10	-
Uppfyllnad, marklast 10 kPa	1,22	-10 %	1,05	-5 %
Förhöjt portryck	1,35	0 %	1,02	-9 %
<b>Göta älv – 24250V</b>				
Ursprunglig beräkning	1,84	-	1,59*	-
Erosion 2 m	1,76	-4 %	1,43	-10 %
<b>Göta älv – 24700V</b>				
Ursprunglig beräkning	2,32	-	1,46	-
Uppfyllnad, marklast 10 kPa	2,11	-9,5 %	1,42	-3 %
Lägre vald skjuvhållfasthet	2,19	-5,5 %	1,44	-1,5 %
<b>Valdalsbäcken – 24850VR</b>				
Ursprunglig beräkning	1,75	-	1,47	-
Erosion 1 m i botten	1,64	-6 %	1,36	-7,5 %
Erosion 1 m i botten + erosion i strandkant	1,63	-7 %	1,31	-11 %
Lägre vald skjuvhållfasthet	1,59	-9 %	1,39	-5,5 %

\*Känslighetsanalys utförs på en vald glidyta som representerar stabiliteten i strandzonen (inte enbart i undervattensslänten i vilken erosionen "eroderar bort" älvleran).

## 8.5 STABILITETFÖRBÄTTRANDE ÅTGÄRDER

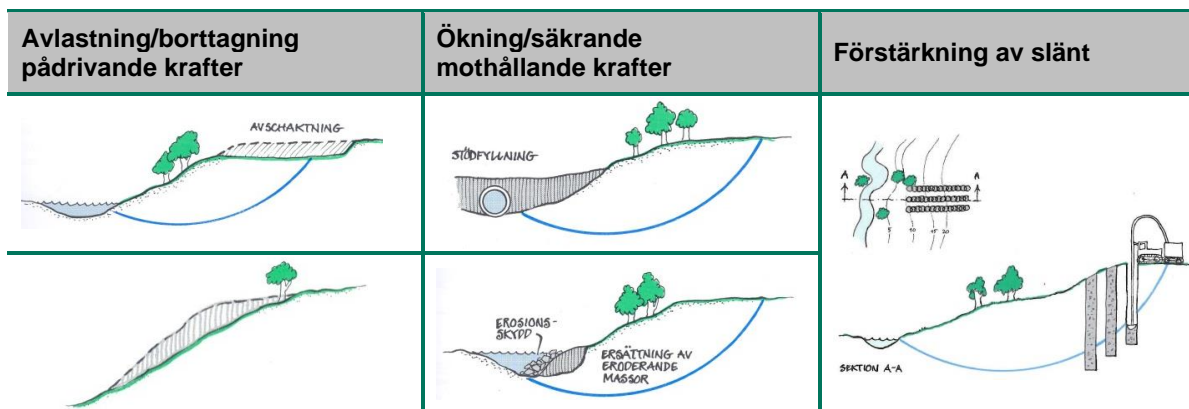
I följande kapitel beskrivs resultaten av de stabilitetsanalyser som utförts för stabilitetsförbättrande åtgärder inom ramen för föreliggande fördjupade stabilitetsutredning. Samtliga beräkningar redovisas i sin helhet i Bilaga E.

Åtgärdsförslagen dimensioneras så att totalstabiliteten för aktuella slänter uppfyller ställda krav enligt totalsäkerhetsmetoden (Tabell 8.3) men så att eventuella nyskapade schaktslänter samtidigt uppfyller ställda krav enligt partialsäkerhetsmetoden ( $F_{EN} \geq 1,0$ ).

### 8.5.1 Alternativa stabilitetsförbättrande åtgärder

För att förbättra stabiliteten för aktuella slänter och erhålla en säkerhetsfaktor mot brott som uppfyller rekommenderad säkerhetsnivå finns olika alternativ/möjligheter till åtgärd. Lämplig åtgärd kan variera och beror bl. a på slänternas geometri, eventuell bebyggelse på släntrönet och typ av naturområde samt vattendrag. Generellt innebär stabilitetsförbättrande åtgärder antingen att de pådrivande krafterna minskas (t ex avschaktning, utflackning) eller att de mothållande krafterna ökas (t ex stödfyllning, erosionsskydd) eller att hållfastheten hos jorden längs glidytan förstärks (t ex med KC-pelare).

I nedanstående Figur 8.11 visas principutseende på åtgärd genom avlastning, motfyllning respektive förstärkning av en slänt.



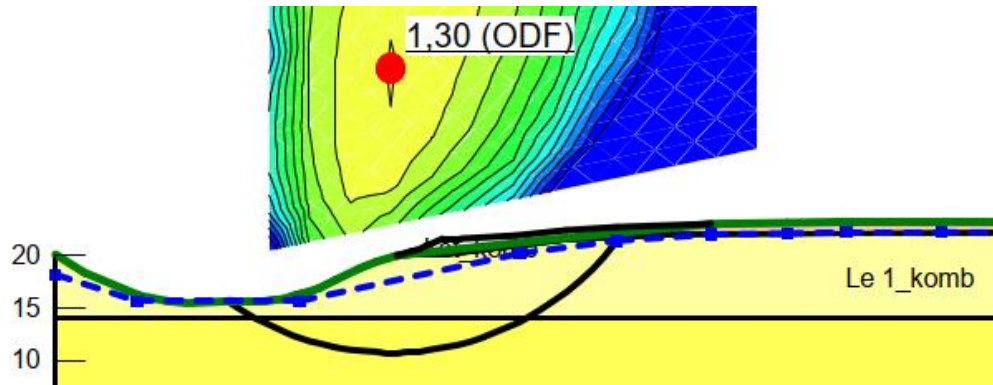
Figur 8.11: Principutseende för tänkbara stabilitetsförbättrande åtgärdsalternativ (Källa: Skredkommissionen, Rapport 5:95. "Anvisningar för släntstabilitetsutredningar – Information").

### 8.5.2 Lämpliga stabilitetsförbättrande åtgärder för aktuella slänter

Den aktuella slänten mot Träsbrobäcken är relativt brant närmast vattendraget och med flackt sluttande mark ovan släntrönet. Markanvändningen ovan släntrönet är åkermark och ravinen utgörs av naturmark. Det finns ingen bebyggelse eller anläggning att beakta i närheten av aktuell slänt. Erosionen längs Träsbrobäcken bedöms vara ringa/obefintlig.

Sammantaget bedöms avschaktning på släntrönet vara den lämpligaste åtgärden för aktuell slänt, då området är lättillgängligt, markanvändningen inte bedöms påverkas och arbete i vattenområde kan undvikas. Vid avschaktning närmast släntrönet kommer viss röjning/avverkning av befintlig vegetation att erfordras. I samband med detaljprojektering av åtgärderna bör olika intressen i form av bl. a naturvärden på land respektive i vatten samt markanvändning vägas mot varandra och åtgärden optimeras.

Utförda stabilitetsanalyser i sektionerna mot Träsbrobäcken (24100VR och 24120VR) visar att det för att uppfylla ställda krav enligt totalsäkerhetsmetoden erfordras en ca 25-30 m bred avschaktning från släntrönet och bakåt, se Figur 8.12. Schakten har utformats med en jämn och svag lutning (ca 1:10) för att möjliggöra att marken fortsatt kan brukas. Maxdjupet vid släntrönet blir ca 1 m. Åtgärden bedöms erfordras längs en sträcka på ca 300 m. Samtliga stabilitetsberäkningar för åtgärdsförslaget återfinns Bilaga E.

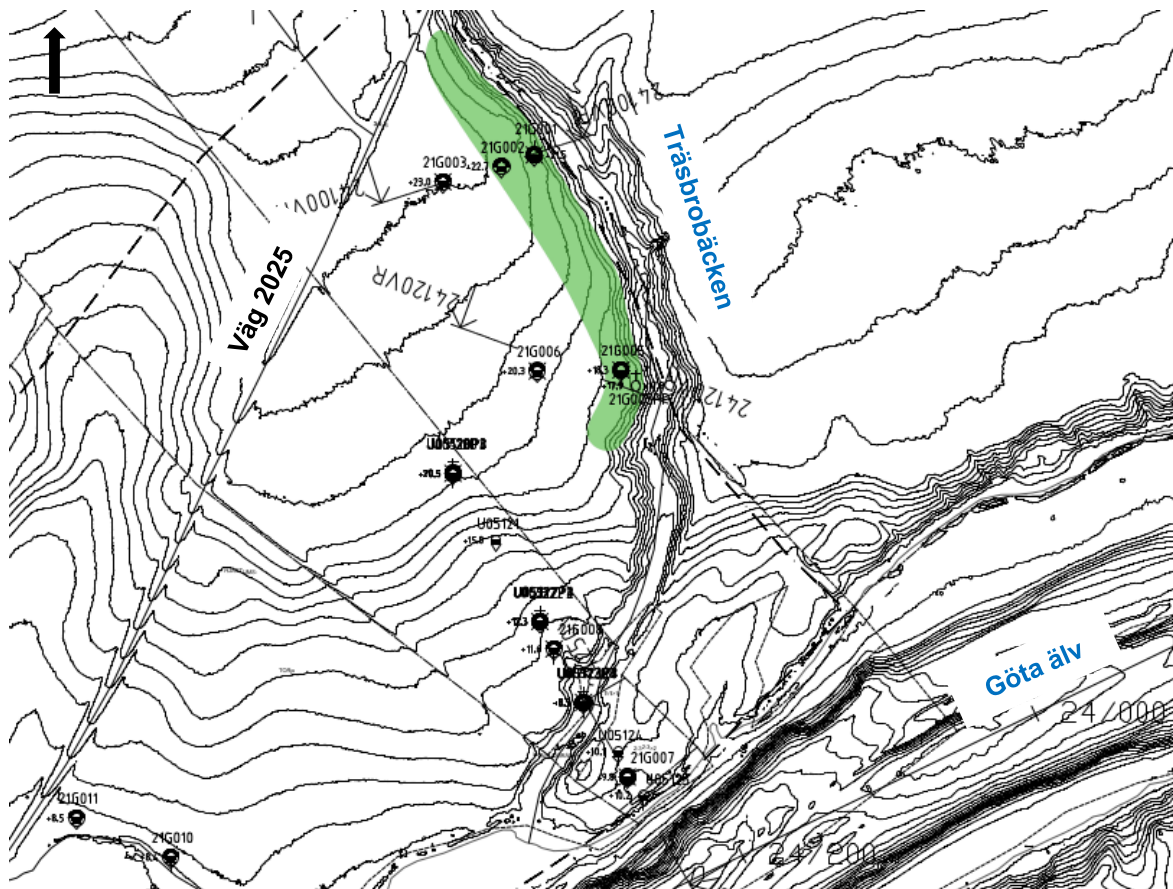


Figur 8.12: Exempel på stabilitetsförbättrande åtgärd i form av avschaktning av släntröner inom åkermark, sektion 24100VR, mot Träsbrobäcken.

Eftersom avschaktning utformats med flack lutning hela vägen, så uppstår ingen ny schaktslän som behöver kontrolleras med partialkoefficientmetoden och föreslagen åtgärd uppfyller därmed även kraven för nyanläggning ( $F_{EN} \geq 1,0$ ).

### 8.5.3 Sammanfattning av stabilitetsförbättrande åtgärdsförslag

För att uppnå rekommenderad säkerhetsnivå för stabiliteten i slänten mot Träsbrobäcken erfordras en stabilitetsförbättrande åtgärd inom delar av aktuellt utredningsområde. Rekommendationen är att avschaktning ovan släntröner utförs med ungefärlig utbredning enligt Figur 8.13. Totalt bedöms avschaktning erfordras inom en yta på ca 8000 m<sup>2</sup> och schaktvolymer uppskattas preliminärt till ca 4000 m<sup>3</sup>. Merparten av schakten kommer att utgöras av torrskorpelera och lera, vilket innebär att ca 7000 ton massor kommer att behöva transporteras bort. Med tung lastbil med släp innebär det i storleksordningen ca 230 transporter. Stabilitetsanalyser för åtgärdsförslaget redovisas i Bilaga E.



Figur 8.13: Översiktsskarta med ungefärligt område (grön skuggning) längs Träsbrobäcken i den norra delen av området, inom vilket stabilitetsförbättrande åtgärd i form av avschaktning erfordras.

#### 8.5.4 Klimatkalkyl för stabilitetsförbättrande åtgärdsförslag

Utförandet av föreslagen stabilitetsförbättrande åtgärd i form av avschaktning bedöms medföra följande miljöbelastande moment:

- Detaljprojektering av åtgärd (ca 200 h kontorsarbete)
- Platsbesök/besiktning (resa med miljöklassad bil Göteborg – Nedra Torp t o r, ca 2 x 65 km)
- Mätarbete Nedra Torp (resa med miljöklassad bil Göteborg – Nedra Torp t o r, ca 2 x 65 km)
- Transport till fysiska möten med beställare, med spårvagn eller cykel (förutsatt i Göteborg)
- Avverkning/röjning (ca 8 h)
- Schakt (ca 4000 m<sup>3</sup>, motsvarande ca 7000 ton)
- Transport av massor (förutsatt återanvändning inom Lilla Edets kommun, ca 230 x 20 km)

För bestämning av antalet koldioxidekvivalenter som föreslagen åtgärd medför har uppgifter nyttjats från SGFs hemsida "Carbon footprint" (<http://www.sgfmark.se/faktorer>). I Tabell 8.8 återfinns en översiktlig klimatkalkyl för föreslagna stabilitetsförbättrande åtgärder i form av avschaktning. Summan landar på ca 8,8 ton koldioxidemission.

Tabell 8.8: Klimatkalkyl för föreslagna stabilitetsförbättrande åtgärder i form av avschaktning.

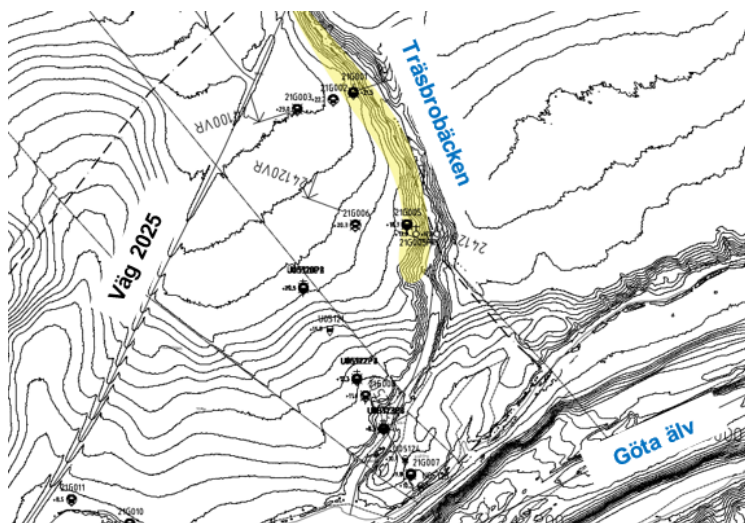
Arbetsmoment	Mängd	Emissionsfaktor	Summa
Kontorsarbete (svensk elmix)	200 h	3 g/h	600 g
Platsbesök/mät, 2 tillfällen (personbil)	260 km	107 g/km	27 820 g
Schakt av massor (normal; 85 ton/timme)	7000 ton	600 g/ton	4 200 000 g
Avverkning/röjning (skördare – liten)	8 h	23 660 g/h	189 280 g
Avverkning (skotare – liten)	8 h	20 280 g/h	162 240 g
Transport av massor (lastbil, tung med släp, kapacitet 30 ton per last)	4600 km	910 g/km	4 186 000 g
<b>TOTALT:</b>			<b>8 765 940 g</b>



## 9 SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER

Föreliggande fördjupade stabilitetsutredning visar att stabilitetsförhållandena för större delen av utredningsområdet Nedra Torp uppfyller gällande rekommendationer enligt IEG Rapport 4:2010 för denna typ av markområde och aktuell utredningsnivå. Glidytorna i riktning mot Göta älv har som lägst säkerhetsfaktor ca  $F_c=1,8-1,9$  och  $F_{komb}=1,4-1,5$ . Säkerhetsfaktorerna för slänterna i riktning mot Valdalsbäcken i söder är med god marginal högre än ställda krav.

Undantaget är slänten mot Träsbrobäcken i den norra delen av området där säkerhetsfaktorerna mot stabilitetsbrott är för låga jämfört med ställda krav. Beräknade säkerhetsfaktorer är ca  $F_c=1,3-1,35$  respektive ca  $F_{komb}=1,1$ . De områden som inte bedöms ha tillfredsställande god stabilitet är gulschuggade i Figur 9.1.



Figur 9.1: Översiktskarta med markerat område (gul skuggning) inom vilket stabiliteten inte uppfyller säkerhetsrekommendationerna enligt IEG Rapport 4:2010 för befintliga förhållanden och aktuell utredningsnivå.

Föreliggande fördjupade stabilitetsutredning baseras på de idag rådande förutsättningarna inom aktuellt område. I samband med all förändring av områdena såsom nybyggnation, schaktning, ändrade dräneringsförutsättningar, lastförändringar, upplag etc. skall stabilitetsförhållandena kontrolleras, så att de även efter förändringen uppfyller stabilitetskraven.

### 9.1 FORTSATT UTREDNING OCH/ELLER ÅTGÄRDER

På översiktskartan i Figur 9.1 har de markområden markerats (gul skuggning) inom vilka säkerhetsfaktorn mot brott ej uppfyller rekommenderad säkerhetsnivå enligt föreliggande fördjupade stabilitetsutredning. Ett inledande översiktligt åtgärdsförslag, i form av avschaktning längs släntrönet ner mot Träsbrobäckens ravin har tagits fram, se ungefärligt utbredning i plan i Figur 8.13.

Dimensionering av det översiktliga åtgärdsförslaget har gjorts enligt totalsäkerhetsmetoden med krav på  $F_c > 1,4$  respektive  $F_{komb} > 1,3$ . Aktuellt område utgörs av åker- och naturmark. Med undantag av Göta älv, där såväl sjöfart som vattenförsörjning skulle kunna påverkas av ett framtida skred, så är intressena inom området begränsade. Eventuella skred i biflödet Träsbrobäcken bedöms dock i stort sett inte påverka Göta älv negativt, främst baserat på det begränsade flödet i bäcken, avsaknaden av kvicklera i området samt det relativt långa avståndet till utloppet i älven. Inte heller väg 2025 bedöms påverkas, då det inte föreligger någon risk för bakåtgripande följdskred av den storleksordningen (ej kvicklera).

I samband med detaljprojektering av åtgärden bör olika intressen i form av bl. a naturvärden på land respektive i vatten samt markanvändning vägas mot varandra och åtgärden optimeras även med avseende på detta.

**WSP SVERIGE AB**  
BOX 13033  
402 51 GÖTEBORG  
Besök: ULLEVIGATAN 19

T: +46 10-722 50 00  
Org nr: 556057-4880  
[wsp.com](http://wsp.com)

