

STENARSRÖD - HÅLLERÖD (18000V)

18000VPM01, SGI – DELEGATIONEN FÖR GÖTA ÄLV
FÖRDJUPAD STABILITETSUTREDNING

2024-05-31



Stenarsröd - Hålleröd (18000V)

18000VPM01, SGI – Delegationen för Göta älv Fördjupad stabilitetsutredning

Uppdragsnamn	SGI Stabilitetsutredning Stenarsröd-Hålleröd, Göta älv
Plats	Stenarsröd-Hålleröd, Lilla Edets kommun, Göta älvs västra sida (18000V)
WSP:s uppdragsnummer	10358704
SGI:s uppdragsnummer	10 326
SGI:s diarienummer	6.2-2207-0748
Dokumentets littera	18000VPM01
Författare	Naomi Licudi/Malin Sundsten
Datum	2024-05-31
Ändringsdatum	
Uppdragledare	Malin Sundsten
Granskad/godkänd av	Ola Skepp

KUND

Statens geotekniska institut

KONSULT

WSP

Box 13033
412 50 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

Risken för skred längs Göta älv är stor och ökar i och med klimatförändringarna. Regeringen har gett Statens geotekniska institut (SGI) uppdraget att arbeta för att minska risken för ras och skred. Arbetet görs tillsammans med Delegation för Göta älv där representanter från berörda kommuner, myndigheter och organisationer ingår. Delegationen har ett sekretariat på SGI som bistår i administrativa och tekniska frågor.

År 2009–2011 gjordes en översiktlig utredning av skredrisken längs Göta älv. Denna utredning, kallad Göta älvutredningen, pekar ut områden i behov av vidare utredning och utgör ett stöd till bland annat kommuner vid prioritering av områden att arbeta vidare med. Utifrån den översiktliga utredningen går SGI vidare och utför detaljerade och fördjupade stabilitetsutredningar i utvalda områden med hög- eller medelhög skredrisk.

Stabilitetsutredningarna görs av geotekniska konsulter under ledning av SGI. I uppdragen ingår bland annat att presentera en bedömning av skjuvhållfastheten och att ge förslag på lämpliga stabilitetshöjande åtgärder. Utredningsresultaten ligger till grund för SGI:s fortsatta arbete med analys och beräkning av sannolikhet för skred samt för planering av eventuella stabilitetshöjande åtgärder. Allt i syfte att på sikt minska risken för skred i Göta älvdalen.

Statens geotekniska institut, Sekretariatet för Göta älv

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	UPPDRA	5
2	STYRANDE DOKUMENT	5
3	UNDERLAG	6
3.1	KARTOR, ORTOFOTO, MÄTDATA MM	6
3.2	GEOTEKNISKT UNDERLAG OCH ARKIVMATERIAL	6
4	GEOTEKNISK UNDERSÖKNING	7
4.1	FÄLTUNDERSÖKNINGAR	7
4.2	LABORATORIEUNDERSÖKNINGAR	7
5	OMRÅDESBESKRIVNING	7
5.1	GEOGRAFI OCH MARKANVÄNDNING	7
5.2	SKYDDADE OMRÅDEN	10
5.3	TOPOGRAFI OCH BATYMETRI	11
5.4	EROSION OCH EROSIONSSKYDD	12
5.5	BEFINTLIGA KONSTRUKTIONER, FÖRSTÄRKNINGSÅTGÄRDER OCH LEDNINGAR	14
6	GEOTEKNISKA FÖRHÅLLANDEN	15
6.1	JORDLAGERFÖLJD	15
6.2	GEOTEKNISKA EGENSKAPER	17
7	HYDROGEOLOGISKA FÖRHÅLLANDEN	25
7.1	VATTENNIVÅ I VATTENDRAG	25
7.2	GRUNDVATTENYTA OCH PORTRYCK	25
8	STABILITET	27
8.1	ALLMÄNT	27
8.2	ERFORDERLIG SÄKERHETSFAKTOR	27
8.3	BERÄKNINGSFÖRUTSÄTTNINGAR	30
8.4	STABILITETSANALYSER FÖR BEFINTLIGA FÖRHÅLLANDEN	32
8.5	KÄNSLIGHETSANALYS	41
9	SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER	46
9.1	FORTSATT UTREDNING	46

BILAGOR

Bilaga 1 – Härledda grundparametrar inkl. valda värden

Bilaga 2 – Härledd odränerad skjuvhållfasthet inkl. valda värden

Bilaga 3 – Utvärdering av portryck inkl. vald profil

Bilaga 4 – Utvärdering av kvicklera

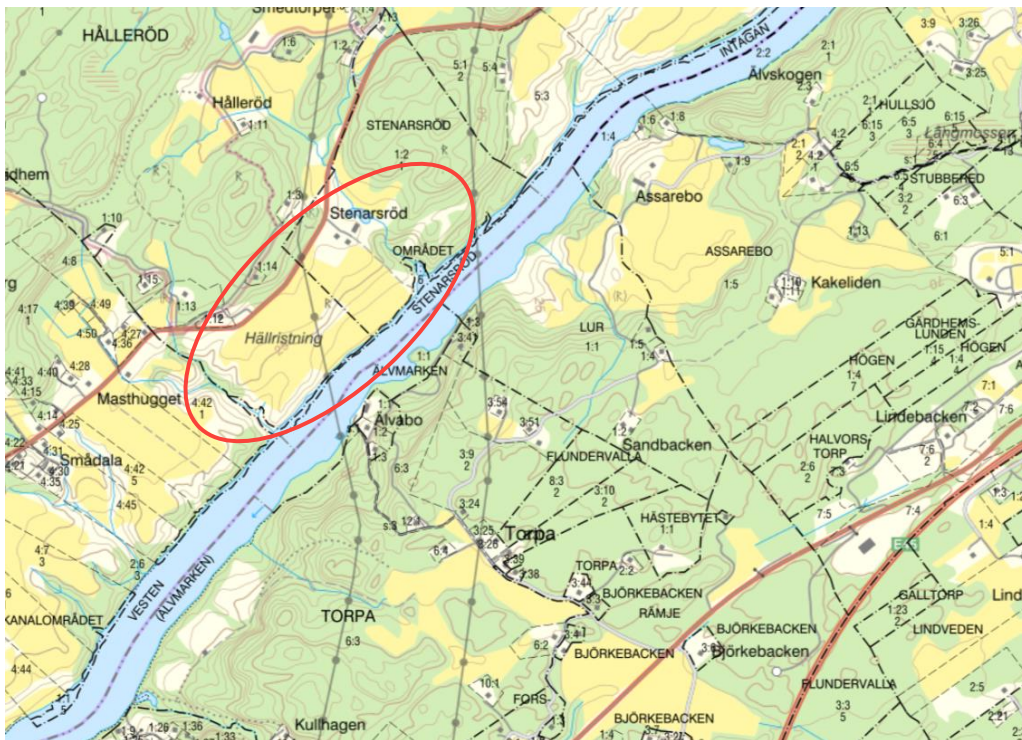
Bilaga 5 – Stabilitetsberäkningar, befintliga förhållanden och känslighetsanalys

TILLHÖRANDE HANDLINGAR

Markteknisk undersökningsrapport (MUR/Geo), daterad 2025-05-31, framtagen av WSP.

1 UPPDRAG

På uppdrag av SGI, Statens geotekniska institut, har WSP Sverige AB utfört en fördjupad stabilitetsutredning för området Stenarsröd-Hålleröd (18000V) 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 ha en negativ påverkan på vattenförsörjningen och fartygstrafiken i Göta älv samt byggnader och jordbruksverksamhet.



Figur 1-1. Aktuellt område för fördjupad stabilitetsutredning, markerat med röd ring (Källa: Lantmäteriet, öppen data).

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, version 7.0, Avser stabilitetsutredningar längs Göta älv", Sekretariatet för Delegationen för Göta älv, SGI, Linköping, 2022-04-29.
- "DGA00XST02 Riktlinjer för dokumenthantering, version 6.0, Avser stabilitetsutredningar längs Göta älv", Sekretariatet för Göta Älv, Statens geotekniska institut, SGI, Linköping, 2022-04-29.

3 UNDERLAG

3.1 KARTOR, ORTOFOTO, MÄTDATA MM

Som underlag för den fördjupade stabilitetsutredningen har nedanstående underlagsmaterial nyttjats.

- SGU:s jordartskarta (www.sgu.se).
- Batymetri från sjömätning Göta Älv 2018 (Clinton). TIF/XYZ, 1 m grid, SWEREF 99 TM, RH2000.
- Batymetri från sjömätning Göta Älv 2020 (IMM). TIF/XYZ, 1 m grid, SWEREF 99 TM, RH2000.
- Fastighetskartor från SGI, mottaget 2023-06-27.
- Höjddata från Lantmäteriet, 2022-08-31.
- GIS-material från SGI, mottaget 2023-06-27.
 - Längdmätning Göta älv
 - Områdesgränser för utredningsområdet
- Differensanalys av Göta älvs bottennivå från SGI, 2009–2020.
- 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 fördjupad stabilitetsutredning. För fullständig redovisning av undersökningarna hänvisas till nedanstående utredningar/handlingar:

- Göta älvutredningen, GÄU: Delområde 11, Delsträckorna Intagan-Ström samt Intagan-Lilla Edet (delområdena 5 och 7 på land). Försöksrapport/Fält 11RA004, SGI, 2010-12-10 (uppdragsnr 14098, Dnr 6-1001-0040). Borrhåls-ID U11XXX.
- Nordvästra Göta älv, Översiktlig stabilitetsutredning, Delrapport, SGI, 2010-12-22 (uppdragsnr 10109). Borrhåls-ID NV000XX.
- Göta älvutredningen, GÄU: Delområde 5, Intagan – Ström, Markteknisk undersökningsrapport/Geoteknik, SGI, daterad 2011-08-31 (uppdragsnr 14085). Borrhåls-ID U05XXX.
- Göta älvutredningen, GÄU: Delområde 5, Intagan – Ström, Tekniskt PM Geoteknik, Stabilitetsberäkningar, SGI, daterad 2012-12-20 (uppdragsnr 14085).
- Fördjupad stabilitetsutredning, Smådala, Markteknisk undersökningsrapport/Geoteknik, WSP, daterad 2020-03-13 (uppdragsnr 10289153). Borrhåls ID 19WS51 – 19WS82.
- Fördjupad stabilitetsutredning, Smådala, PM Geoteknik, WSP, daterad 2020-03-13 (uppdragsnr 10289153).
- Fördjupad stabilitetsutredning, Intagan Lilla Edet, Markteknisk undersökningsrapport/Geoteknik, WSP, daterad 2020-05-11 (uppdragsnr 19040304). Borrhåls ID 19WS01 – 19WS19.
- Fördjupad stabilitetsutredning, Intagan Lilla Edet. Geoteknisk PM, WSP, daterad 2020-05-12 (uppdragsnr 19040304)

4 GEOTEKNISK UNDERSÖKNING

4.1 FÄLTUNDERSÖKNINGAR

Geotekniska fältundersökningar i form av trycksondering, CPTu-R-sondering, vingförsök, kolvprovtagning, jordbergsondering, skruvprovtagning samt kartering av berg med MUK har utförts under perioden september-oktober 2023 av WSP Fältgeoteknik. I samband med fältundersökningarna installerades även grundvattenrör och porttrycksstationer för mätning och uppföljning av grundvattennivåer och porttryck inom området.

Geofysiska mätningar med resistivitet och refraktionsseismik utfördes under oktober 2023 av Impakt Geofysik AB, med syfte att kartlägga djup till berg och sammansättning av jordlager inom en begränsad och svårtillgänglig del av utredningsområdet (intill älven norr om norra sidoravinen).

Resultatet av undersökningarna redovisas i tillhörande MUR (Markteknisk undersökningsrapport/ Geoteknik), 18000VRA01, med samma uppdragsnummer och datum som föreliggande PM.

4.2 LABORATORIEUNDERSÖKNINGAR

Laboratorieundersökningar har utförts på ostörda prover under perioden september 2023 till mars 2024 av WSP Geolab i Göteborg. Undersökningarna omfattade rutin-, CRS-, direkta skjuv- och triaxialförsök.

Resultatet av undersökningarna redovisas i tillhörande MUR (Markteknisk undersökningsrapport/ Geoteknik), 18000VRA01, med samma uppdragsnummer och datum som föreliggande PM.

5 OMRÅDESBESKRIVNING

5.1 GEOGRAFI OCH MARKANVÄNDNING

Utredningsområdet Stenarsröd-Hålleröd är beläget ca 9 km sydväst om Trollhättan och ligger längs Göta älvs västra sida i Lilla Edets kommun, se Figur 1-1.

Utredningsområdet har en utbredning på ca 1000 m längs Göta älvs västra sida. Området är generellt ca 350-400 m brett, men smalare (ca 130 m) i den norra delen (Figur 5-6). I nordöst gränsar området till Stenarsröd N, och norr om detta område ligger Intagan. I väster avgränsas området av Edsvägen och i sydväst ligger område Smådala. Göta älv löper längs områdets östra kant.

Inom området finns två raviner, en i söder som gränsar mot Smådala (Figur 5-3) och en bäckravin i norr, strax nordost om befintlig gård (Figur 5-4). Sidoravinerna meandrar sig genom området och mynnar ut i Göta älv. Gården utgörs av ett bostadshus och komplementbyggnader. Längs älvstranden och sidoravinerna växer buskar och träd. I övrigt utgörs området främst av åkermark (Figur 5-1 och Figur 5-2). Mindre partier med berg-i-dagen förekommer lokalt inom området och i norr återfinns större bergspartier. Två luftledning korsar området.



Figur 5-1: Åkermark i den södra delen av området. Ett centralt beläget berg-i-dagen-parti syns till vänster, vid kraftledningsstolparna. Göta älv skymtar öster om åkrarna och träddidån i strandkant. Fotoriktning mot nordost. 2023-08-24.



Figur 5-2: Åkermark i den norra delen av området. Slänten ner mot älvens strandkant skymtar till vänster. Fotoriktning mot sydväst. 2023-08-24.



Figur 5-3: Den södra sidoravinen med trädbeväxta slänter. På släntkrönet syns åkermark. Svackan i förgrunden är ett ärr från ett tidigare skred som gick ner mot ravinen till vänster. Fotoriktning mot nordväst, 2023-08-24.



a)



b)

Figur 5-4: a) Hjulspår mellan gården i norr och Göta älv i söder. Den norra sidoravinens trädbevuxta släntrön löper parallellt med hjulspåren och ligger till höger i bild. Fotoriktning mot nordväst. 2023-08-24 b) Nere i den norra sidoravinen, där gården skymtar på krönet bakom träden. Fotoriktning mot nordväst. 2024-03-01.



a)



b)

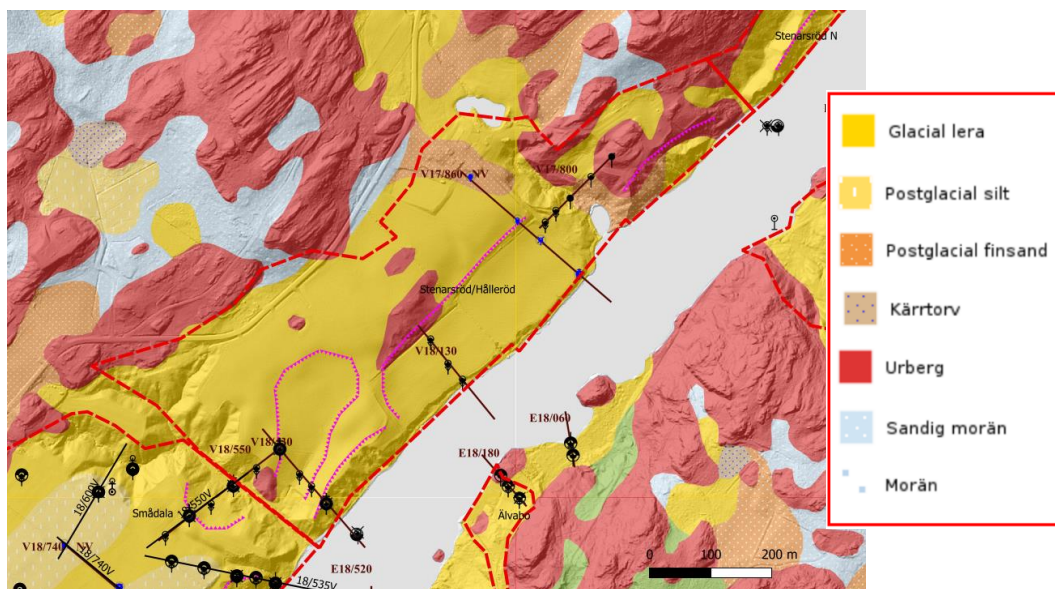
Figur 5-5: Slänten ner mot Göta älv norr om den norra sidoravinen. Fotoriktning a) mot öster och b) mot norr. 2024-03-01.

5.2 SKYDDADE OMRÅDEN

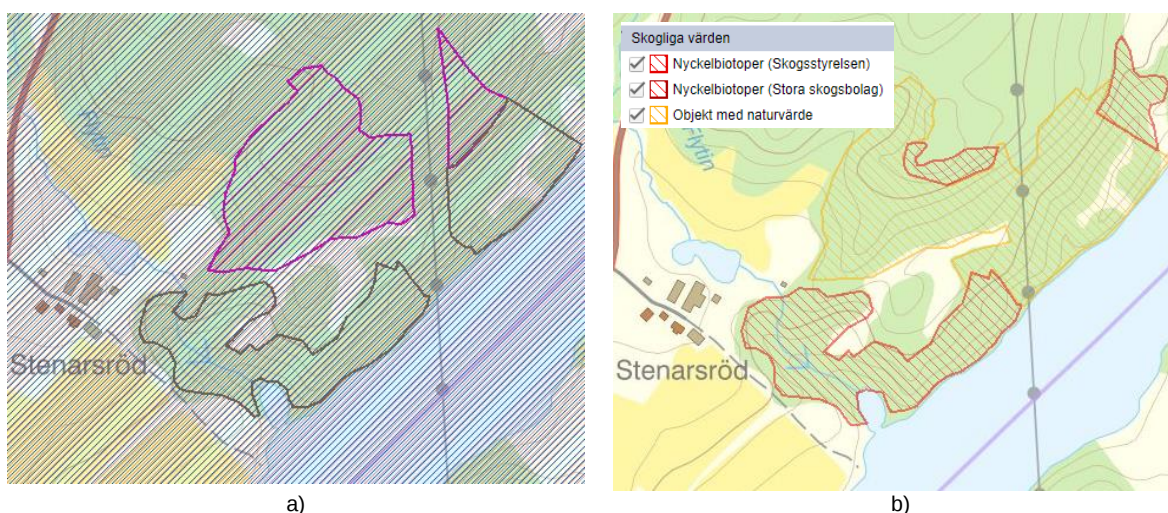
Området ligger inom Göta älv och Vänersborgsvikens vattenskyddsområde. Stränderna längs Göta älv är strandskyddade 100 m från strandlinjen, både upp på land och ut i vattnet. Inom hela området råder förbud mot markavvattning. Utredningsområdet är ett riksintresse för naturvård och friluftsliv.

Inom den norra delen av området finns områden med ytterligare formellt skydd av naturen. Skogligt biotopskyddsområde för ravinskog som domineras av ädellövträd gäller inom brunskrafferade områden, se Figur 5-7a. I nära anslutning till dessa områden finns också områden med naturvårdsavtal med Skogsstyrelsen för Ädellövskog ek” (cerise skraffering). Ett antal nyckelbiotoper i form av bäckdal, bergbrant, ädellövskog, lövlund och ravin är utpekade inom skrafferade områden i Figur 5-10b.

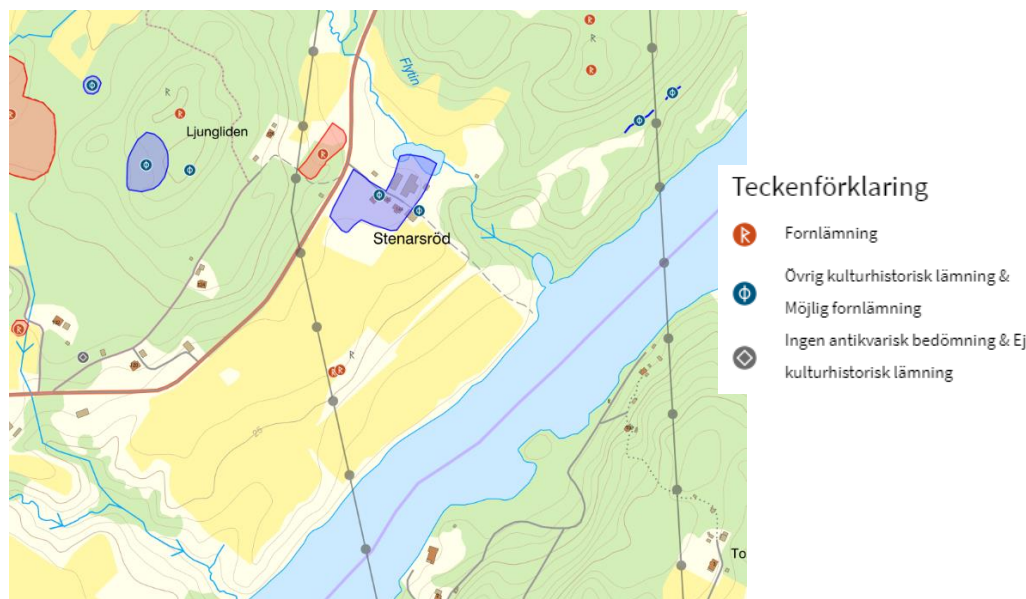
I Stenarsröd finns fornlämningar i form av hållristningar på en centralt belägen berghäll, se Figur 5-8. I direkt anslutning till gården finns det en fyndplats och även gården är en möjlig fornlämning. På gränsen till området eller strax utanför finns i den norra delen en hägnad/stenmur samt på höjden stensättning och röse. I älven strax nordost om området finns ett troligt vrak.



Figur 5-6: SGU:s jordartkarta med terrängskuggning samt tidigare utförda borrhpunkter, sektioner och skredärr (SGU). Utredningsområdets gräns är markerade med röd streckad linie.



Figur 5-7: Utdrag från Naturvårdsverkets karttjänst för skyddad natur (Källa: <https://skyddadnatur.naturvardsverket.se>). I Figur 4 är de bruna polygonerna Skogligt biotopskyddsområde, de rosa är område med särskilda restriktioner avseende Naturskogsartad lövskog och hela området är ett vattenskyddsområde.



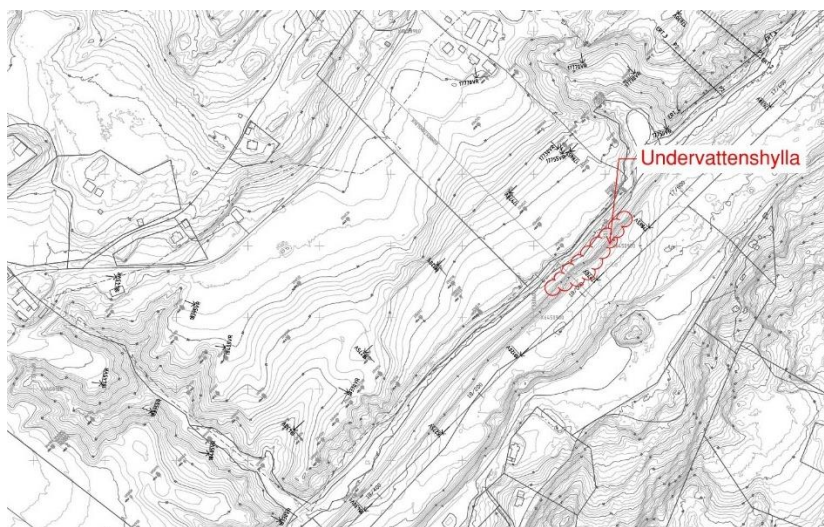
Figur 5-8: Utdrag från Riksantikvarieämbetets söktjänst Fornsök (Källa: <https://app.raa.se/open/fornsok>).

5.3 TOPOGRAFI OCH BATYMETRI

Edsvägen, i den nordvästra delen av området, ligger på nivån ca +35 i söder och ca +40 i norr. Marknivån vid Göta älvs och sidoravinernas strandkant är generellt ca +10 till +12.

I riktning mot älven har marken en generell lutning på ca 1:10, men brantare partier förekommer nära den södra ravinen och längst i norr. De kortare slänterna närmast älven har generellt en lutning på ca 1:2. I den södra delen av området sluttar marken brant ner mot bäcken i sidoravinen, med en generell lutning på ca 1:3 och lokalt ännu brantare (ca 1:2). Norr om gården mot älven och den norra sidoravinen har slänterna en lutning på ca 1:3.

Medelvattennivån (MW) i Göta älv är ca +7,2. I den västra delen av området finns en undervattenshylla på nivån ca +5, se Figur 5-9. Göta älvs botten är som djupast på nivån -5 till -10 på ett avstånd av ca 50-80 m från strandkanten. Lutningen på undervattensslänten längs med området är mycket brant, framförallt i den östra delen där lutningen lokalt är ca 1:1 eller ännu brantare.



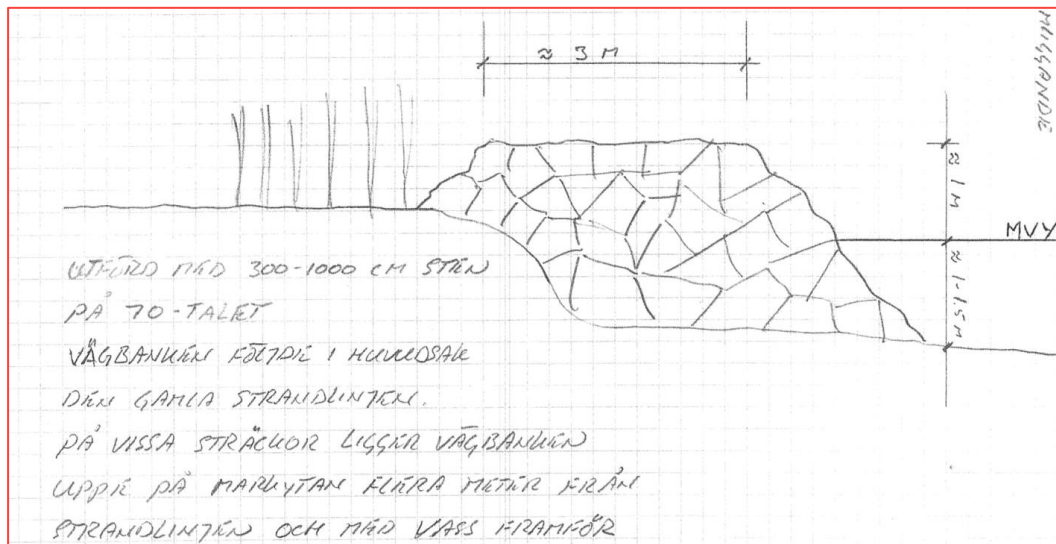
Figur 5-9: Undervattenshylla markerad med rött moln.

Det finns tecken på att det tidigare har skett ett flertal jordskred i området, både mot älven och mot den södra ravinen, se magentafärgade linjer för skredärr i Figur 5-6.

5.4 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, se Figur 5-10. Erosionsskydden utfördes genom att sprängsten lades ut på strandbankarna.

Erosionsskyddet mot älven norr om den norra sidoravinen åtgärdades/förbättrades av Sjöfartsverket år 2018 (Figur 5-11).



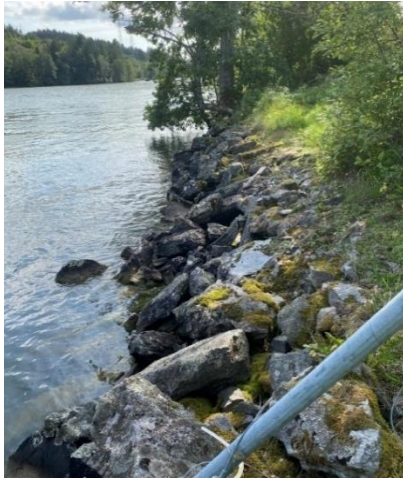
Figur 5-10: Principskiss av erosionsskydd med låg mark bakom (Källa: SGI, 2015).

Besiktning i samband med platsbesök 2023-08-24 och 2024-03-01 samt foton tagna vid SGI:s senaste besiktningsresa med båt på Göta älv (2023-04-27) visar generellt på kontinuerligt erosionsskydd av god kvalitet längs älven, se Figur 5-11 och Figur 5-12. I den södra delen av området har SGI lokalt noterat små släpp i erosionsskyddet (Figur 5-12b).

Längs vattendragen i den södra respektive norra sidoravinen finns inget erosionsskydd utlagt, men erosionen är liten eller obefintlig. Den södra ravinens strandkant är gräsbeväxt ända ner till vattendraget, se Figur 5-13. I den norra bäcken finns en hel del sten i strandlinjen, se Figur 5-14.



Figur 5-11: Erosionsskydd längs Göta älv, norr om den norra sidoravinen, utlagt av Sjöfartsverket 2018 (Foto, SGI, 2023-04-27)



a)



b)

Figur 5-12: Exempel på erosionsskydd längs Göta älv, mellan den södra och norra sidoravinen,.a) Strax söder om den norra sidoravinens utlopp. Fotoriktning mot sydväst, WSP, 2024-08-24 och b) I den södra delen av området, Fotoriktning mot nordväst, SGI, 2023-04-27)



a)



b)

Figur 5-13: Den södra bäckravinen. a) Utloppet i Göta älv. Fotoriktning mot nordost, SGI. 2023-04-27
b) Strandkanten är gräsbeväxt. Fotoriktning mot sydost, WSP, 2023-08-24.



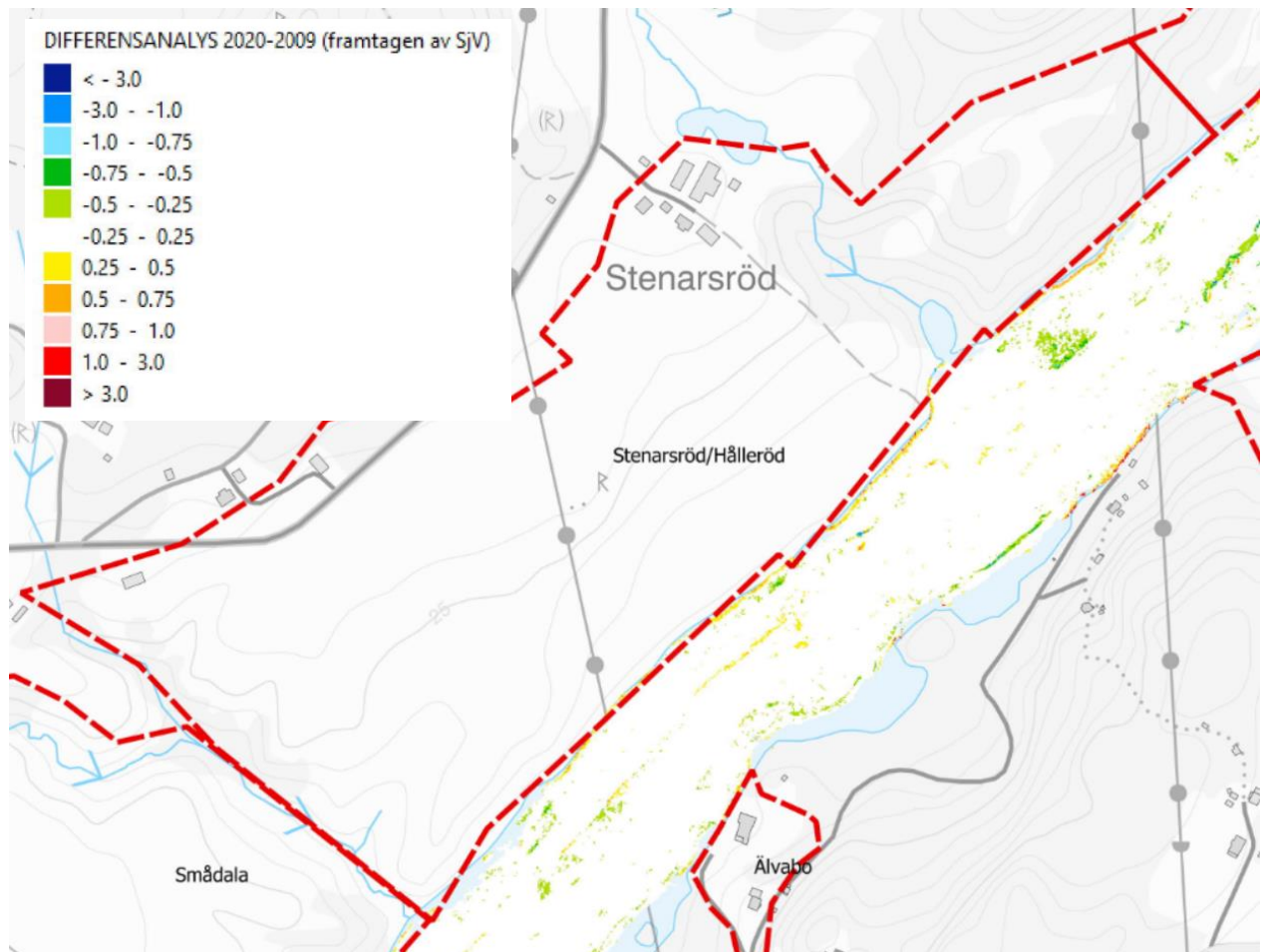
a)



b)

Figur 5-14: Den norra bäckravinen a) Utloppet i Göta älv. Fotoriktning mot nordväst, SGI, 2023-04-27.
b) Uppströms den norra bäcken, med en hel del sten i vattendraget och längs strandkanten. WSP, 2024-03-01.

Analys av förändringen i bottenivå längs Göta älv har utförts av SGI mellan åren 2009 till 2020. Differensanalysen längs den aktuella sträckan av Göta älv, ca km 17/500 - 18/500, 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 östra strandkant inom området, under denna tidsperiod.



Figur 5-15: Differensanalys 2009 - 2020, SGI. Göta älv ca km 17/500 – 18/500.

5.5 BEFINTLIGA KONSTRUKTIONER, FÖRSTÄRKNINGSÅTGÄRDER OCH LEDNINGAR

Det finns två luftburna ledningar som står på stolpar och korsar området i nord-sydlig riktning. Den ena ledningen korsar åkrarna centralt i området och den andra nära utredningsområdets gräns i norr. Ledningarnas lägen syns bl a på karta i Figur 5-8. Vidare finns det två avvecklade teleledningar i marken, tvärs genom åkrarna.

Gården i norr omfattar ett flertal byggnader, med okänd grundläggning. I söder finns en enklare carport för flera fordon och en asfalterad parkeringsyta nära vägen.

Utöver erosionsskyddet längs Göta älvs strandkant, se kapitel 5.4, har ingen information om utförda förstärkningsåtgärder inom området framkommit.

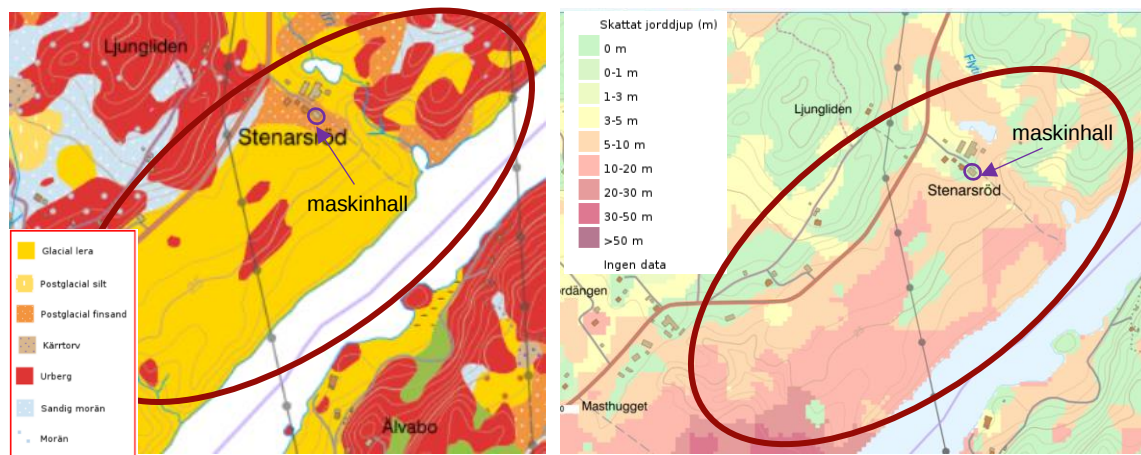
6 GEOTEKNISKA FÖRHÅLLANDEN

6.1 JORDLAGERFÖLJD

Enligt SGU:s jordarts- och jorddjupskarta utgörs jordlagren utmed älvstranden av lera och djupet till berget varierar mellan ca 5-20 m, se Figur 6-1. Jorddjupet är mäktigast i den södra delen och avtar mot nordost. Berg i dagen förekommer på ett flertal ställen inom området.

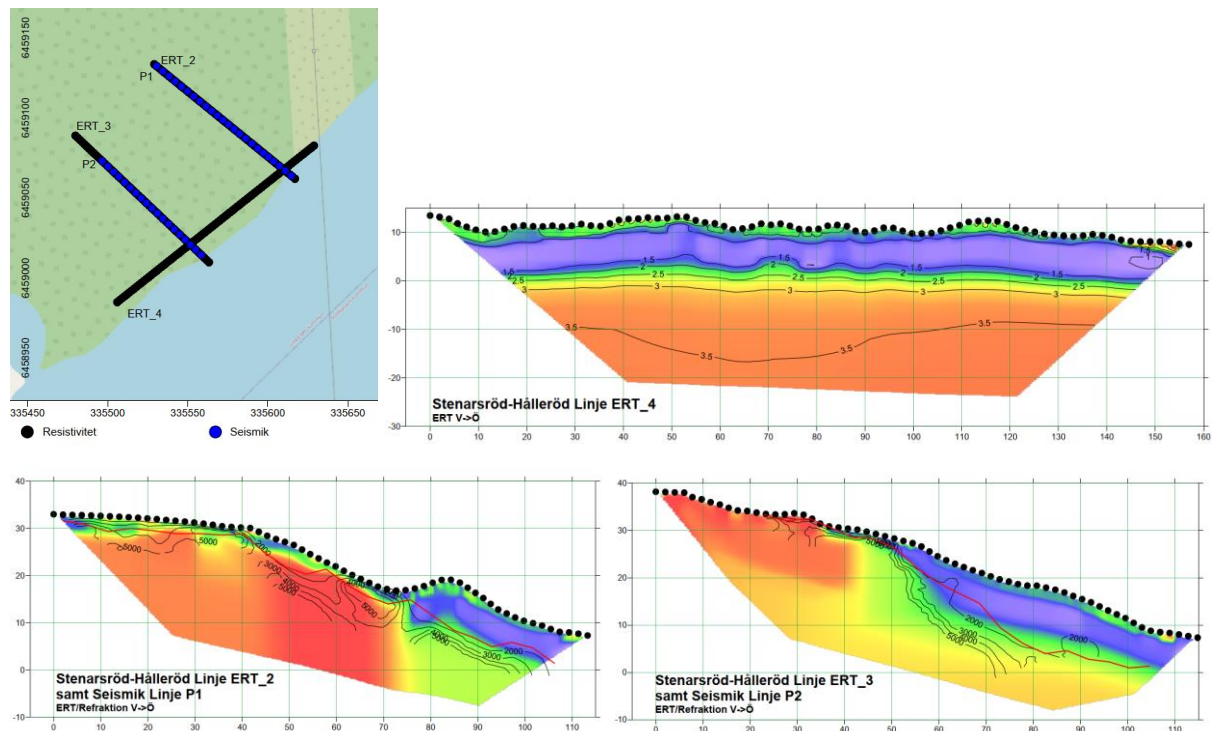
Enligt nu utförda undersökningar består jordlagerföljden generellt av ett tunt lager mulljord på ca 1,5-2 m torrskorpelera som vilar på lera ovan friktionsmaterial eller direkt på berg. Leran är generellt av siltig karaktär och framför allt i anslutning till sidoravinerna förekommer siltkörtlar och siltskikt. Mot älven är leran sulfidfläckig.

Djupet till fast botten varierar inom området, från berg i dagen till som djupast mellan ca 18-22 m längs älvstranden. Edsvägen i den nordvästra delen av området ligger längs merparten av sträckan på fastmark eller mycket begränsat jorddjup. Bostadshusen på gården är grundlagda på ca 0,5-2 m sand på berg (enligt jordartskarta samt information från brunnborrning). Enligt fastighetsägaren är maskinhallen (byggnaden längst i sydost) upprättad på berg i ena änden (nordväst) och på ca 10-12 m lera i andra änden (sydost).



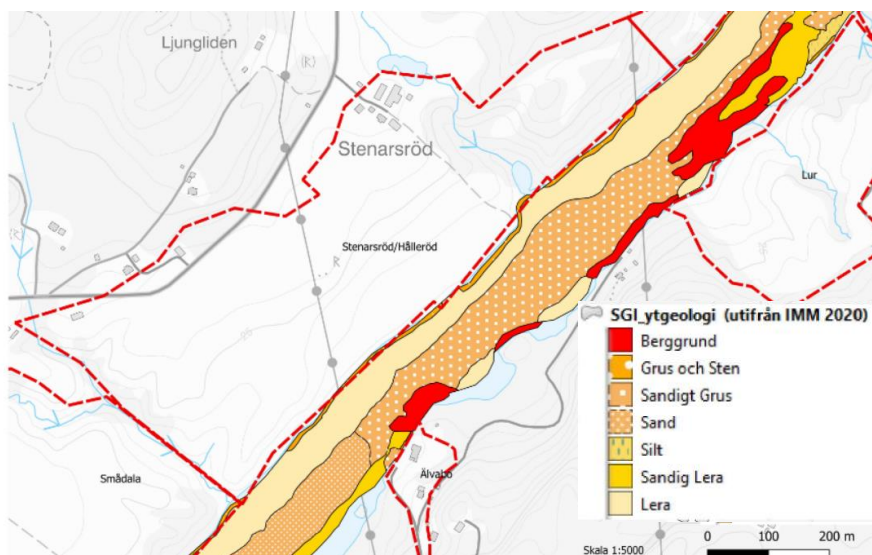
Figur 6-1: Jordartskarta t.v. och jorddjupskarta t.h. (Källa: www.sgu.se)

Den nordöstra delen av området, norr om norra sidoravinen, med tät vegetation och branta slänter är mycket svårtillgängligt med en geoteknisk borrhandsvagn. Geofysiska undersökningar (resistivitet och seismik) har utförts i tre sektioner (2 vinkelrätt och 1 parallellt med älven) för att ge en översiktlig bild av rådande jordlagerförhållanden. Undersökningarna visade på ett ca 5 m mäktigt lager med låg resistivitet (troligen lera) längs strandkant och i den nedre delen av slänten, se blållilafärgat skikt i Figur 6-2. Tolkat berg har orange/röd färg i sektionerna. Djupet till berg ökar ner mot älven.



Figur 6-2: Resultat från geofysiska undersökningar, resistivitet och seismik, i den nordligaste slänten mot Göta älv, norr om den norra sidoravinen (Impakt Geofysik AB, 2023).

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 sandigt grus, se Figur 6-3.



Figur 6-3: 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 1 tillsammans med valda värden för tunghet.

6.2.1 Tunghet, vattenkvot och konflytgräns

Lerans tunghet varierar generellt mellan ca 16-17,5 kN/m³ inom hela området. Lokalt, på slänkrönet vid den södra ravinens inre del (bh 23WS07) och i torrskorpeleran, har något högre tunghet uppmätts, ca 18-20 kN/m³.

Den naturliga vattenkvoten är generellt ca 40-80 %.

Konflytgränsen varierar generellt mellan ca 40-60 % i den övre delen av jordprofilen och minskar till ca 30-50 % mot djupet.

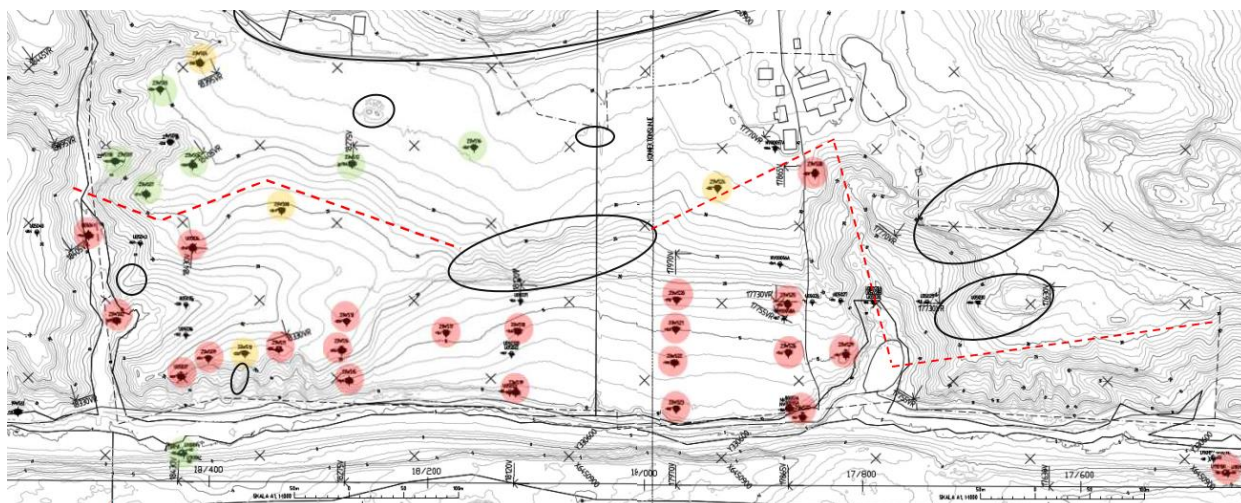
6.2.2 Sensitivitet och kvicklera

Leran inom området längs älven är generellt kvick (sensitivitet ≥ 50 och omrörd odränerad skjuvhållfasthet lägre än 0,4 kPa). Sensitivitet upp mot 900 har uppmätts lokalt och flertalet ostörda prover visar på S_t mellan ca 100-600. En del av laboratorieundersökningarna visar att kriterium för kvicklera är inte uppfyllt och leran är bara högsensitiv (dvs $S_t > 30$).

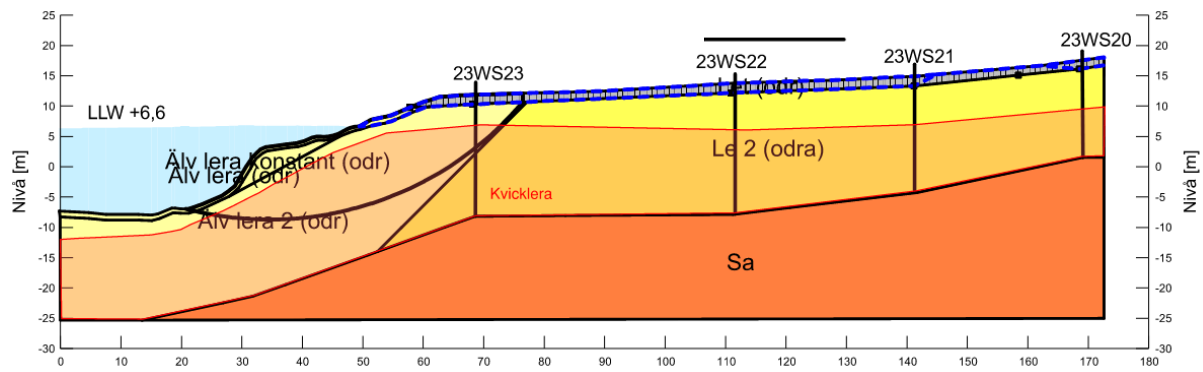
Utvärdering av utförda CPTu-R- och trycksonderingar stöder generellt att leran är att klassa som kvicklera. Resistivitmätningarna är dock inte entydiga och t.ex. har resistivitet mellan ca 7-33 uppmätts inom områden där kvicklera bekräftats genom rutinförsök på ostörda prover, men även inom områden där det fastlagts att kvicklera inte förekommer har resistivetsvärden mellan ca 17-35 uppmätts. I de fall där motstridiga uppgifter finns mellan laboratorieundersökningar och resistivetsmätningar utgår tolkningar uteslutande från laboratorieresultat då det är en långt mycket säkrare undersökningsmetod.

Kvicklerans mäktighet är som störst närmast älven och avtar mot fastmarkspartierna i norr. Bedömd/ tolkad utbredning av kvicklera i plan redovisas i Figur 6-4 nedan. Bedömd utbredning mot norr baserats på resultatet av utförda geotekniska undersökningar, topografisk information tillsammans med vetskap/bedömning om jordmäktighet och kartläggning av berg. Lermäktighet avtar mot norr. Exempel på kvicklereutbredning i en sektion mot Göta älv visas i Figur 6-5.

På större avstånd från älven, ca 200 m, och närmare/mellan fastmarkspartierna är leran också högsensitiv, men inte kvick. Lokalt, på slänkrönet till den inre delen av södra ravinen (bh23WS07), är den fastare och siltigare leran låg-till mellansensitiv.



Figur 6-4: Uppskattad utbredning av kvicklera söder om röd streckad linje. I rödmarkerade borrhälsar har kvicklera utvärderats och i gröna punkter är leran inte kvick. Gula punkter är högsensitiva men inte kvicka alternativt svårtolkade/osäkra. Svarta ovaler visar tolkat berg i dagen.

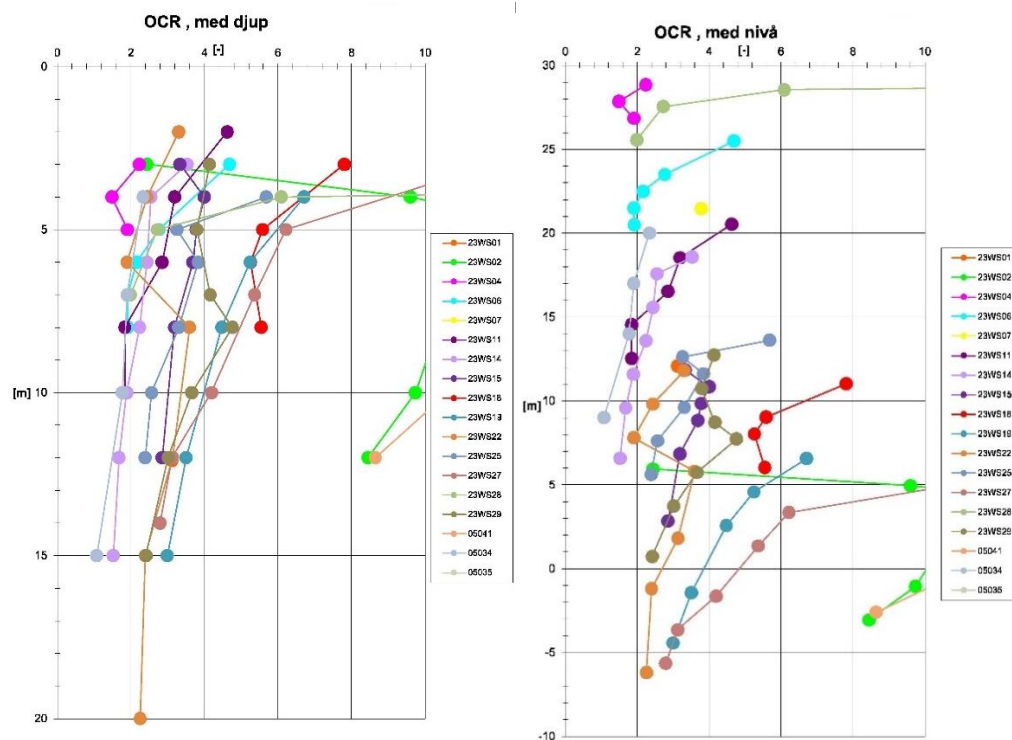


Figur 6-5: Exempel på tolkad kvicklereutbredning i sektion mot Göta älv (17970V), inom röd linje, med orange skuggning.

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 belägen markyta.

Överkonsolideringsgraden i leran varierar inom området, se Figur 6-6. Närmast älven är den översta leran överkonsoliderad, OCR ca 6-10. Längre upp i området och mot ravinerna är OCR generellt ca 2-4. Mot djupet avtar överkonsolideringsgraden och OCR är ca 1-3, dvs där är leran att klassa som normal-konsoliderad.

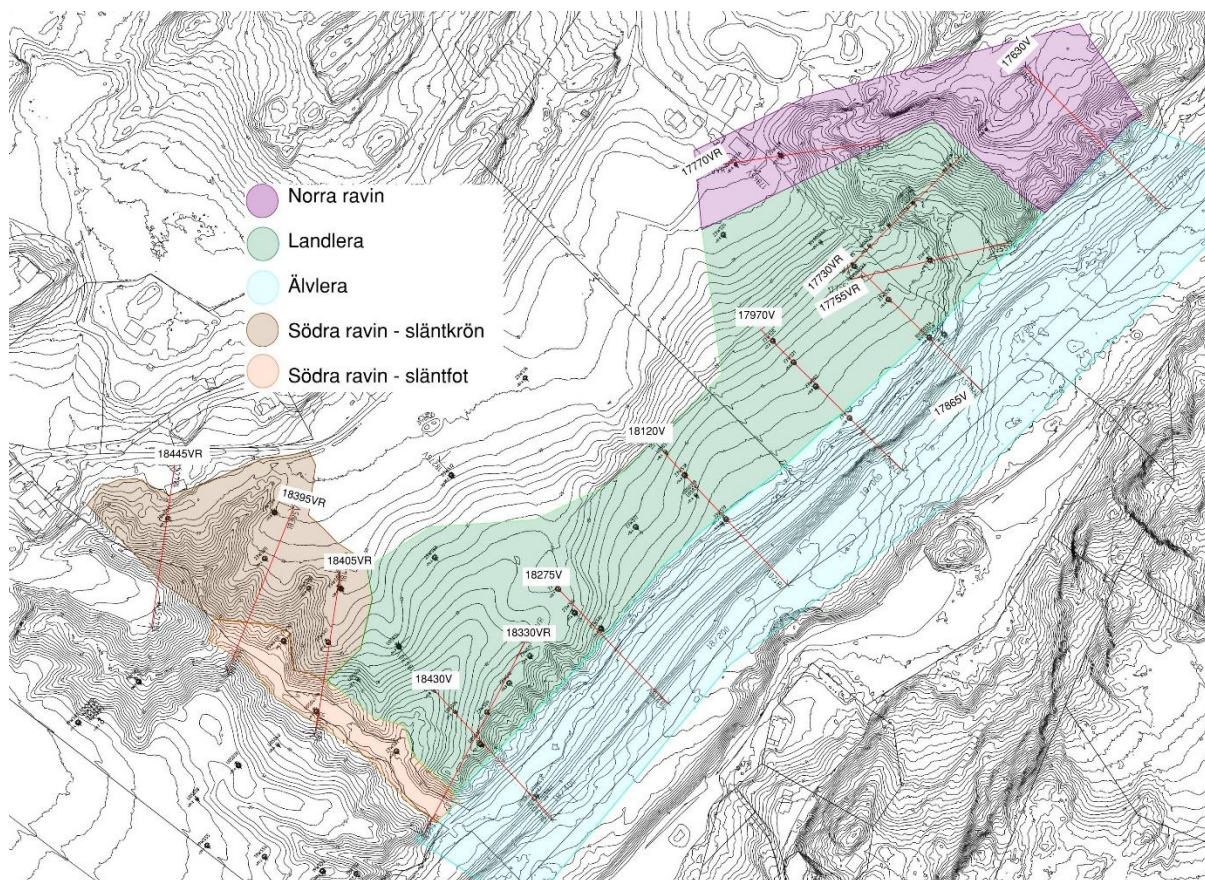


Figur 6-6: OCR mot djup och nivå.

6.2.4 Odränerad skjuvhållfasthet

Lerans odränerade skjuvhållfasthet är baserad på nu och tidigare utförda fält- och laboratorieundersökningar. Hållfastheten har sammanställts, studerats och analyserats mot såväl djup som nivå för olika undersökningsmetoder, samt jämförts med empiriskt framtagna samband. Hållfastheten har studerats för området i sin helhet, men också för olika geografisk belägna delområden eftersom analysen visade på olika geotekniska förutsättningar och att lerans egenskaper varierade, framförallt den odränerade skjuvhållfastheten. Utredningsområdet har delats in i fem representativa hållfasthetsprofiler (Figur 6-7), där resultaten från direkta skjuvförsök generellt värderats högst. CPT-sonderingarna har främst används som stöd för hållfasthetstillväxten mot djupet. Resultat från nu utförda försök, och speciellt de avancerade laboratieförsöken, har värderats högre än tidigare utförda försök i de fall där utförande och kvalitet inte har kunnat kontrolleras och kvalitetssäkras.

Fält- och laboratorieresultaten redovisas tillsammans med vald hållfasthet i kapitel nedan samt i Bilaga 2.

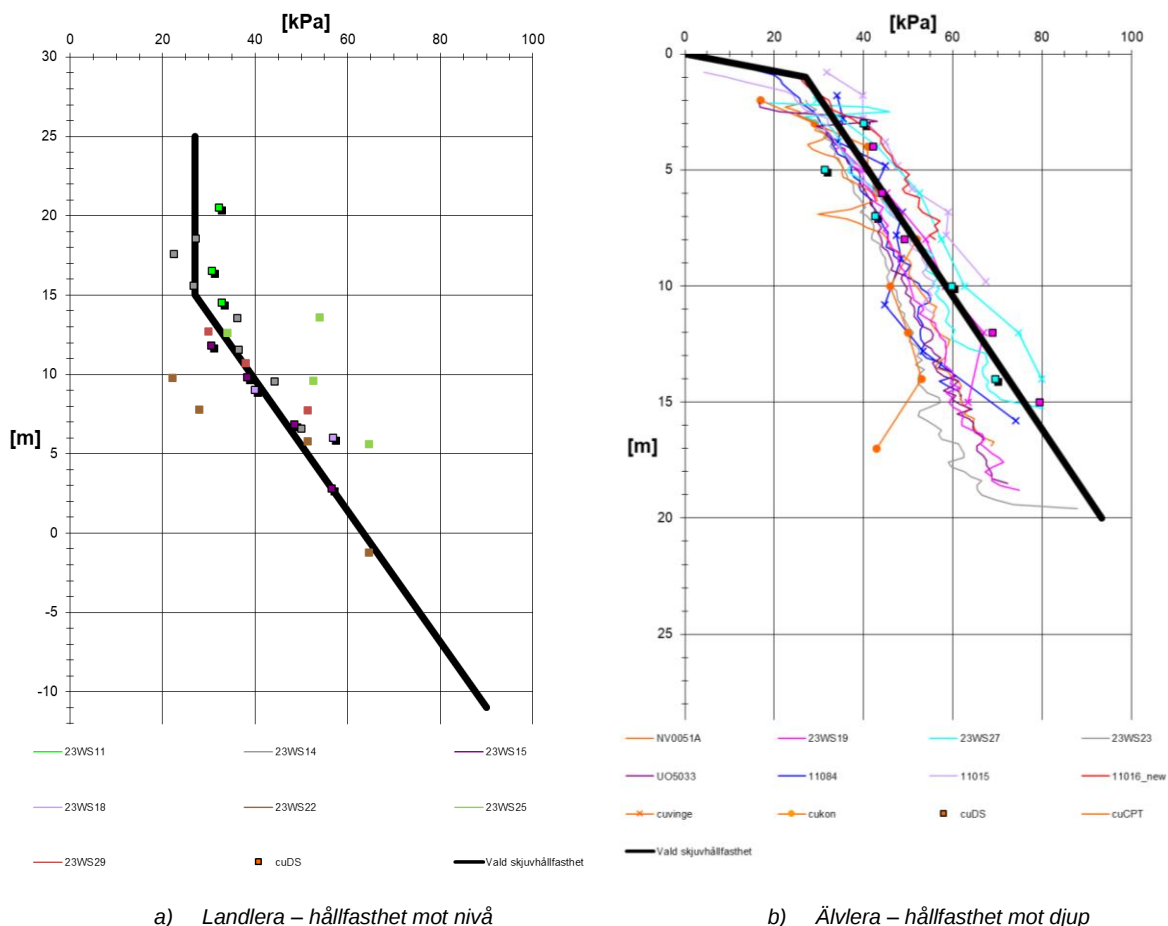


Figur 6-7: Odränerad skjuvhållfasthet, indelning av området.

Landlera

Den odränerade skjuvhållfastheten inom den större delen av landområdet (ljusgrön färg i Figur 6-7) 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 ca 27 kPa. Hållfastheten har utvärderats vara konstant ner till nivån ca +15. Hållfasthetstillväxten mot djupet under nivån +15 är ca 2,4 kPa/m.

I Figur 6-8a redovisas vald hållfasthet för landlera utifrån resultat från direkta skjuvförsök.



Figur 6-8: Odränerad skjuvhållfasthet för a) landlera (mot nivå) och älvlera (mot djup). I diagram a) redovisas endast direkta skjuvförsök samt vald hållfasthet och i diagram b) samtliga utförda försök samt vald skjuvhållfasthet.

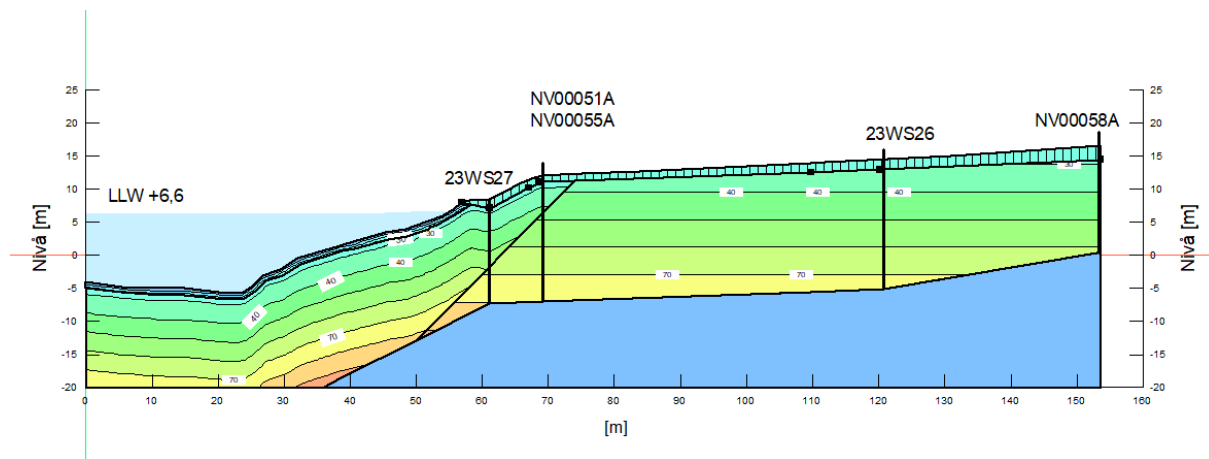
Älvlera

I älven och inom nu aktuellt utredningsområde har tre undersökningar av älvleran tidigare utförts från flotte, bh U11015, -16 och -84 (GÄU, SGI, 2010). Undersökningar utförda med borrhandsvagn på land längs strandkanten närmast älven (t ex bh 23WS19, -23 och -27), visar på lera med samma egenskaper som leran i älven.

Älvlerans odränerade skjuvhållfasthet har undersökts både i fält och på laboratorium, med bl a avancerade laborieförsök som direkta skjuvförsök. Resultaten visar att leran på ca 1 m djup under älvens botten har en odränerad skjuvhållfasthet på ca 27 kPa och där under en hög hållfasthetstillväxt mot djupet, ca 3,5 kPa/m (Figur 6-8b). Älvlerans odränerade skjuvhållfasthet har utvärderats som en funktion mot djup under älvbotten/markyta. Område för älvlera är ljusblått i Figur 6-7.

Gräns mellan landlera och älvlera

Gränsen mellan landlera och älvlera har anpassats efter släntens geometri och för att erhålla en jordmodell utan större hållfasthetssprång mellan land- och älvlera, se exempel i Figur 6-9. Gränsens lutning har generellt ansatts till 1:1 och hållfasthetsfördelningen i respektive sektion finns redovisad i Bilaga 5. Inom de områden där slänten närmast älven är brant och inga undersökningar gjorts i strandkanten har gränsen ansatts enligt SGI:s styrdokument, dvs på ca 1 m vattendjup (under medelvattennivån). Ungefärlig gräns i plan mellan landlera (ljusgrön) och älvlera (ljusblå) visas i Figur 6-7.



Figur 6-9: Modellerad skjuvhållfasthet i leran under älven, sektion 17865V mot Göta älv.

Södra ravin

Skjuvhållfastheten för den södra ravinen har delats upp i två delområden, ett för släntrönn och den övre delen av slänten (ca $\frac{3}{4}$) och ett för släntrfot och nedre delen av slänten (ca $\frac{1}{4}$). Gränsen mellan jordmodellerna med olika hållfasthet har ansatts ligga ca $\frac{1}{4}$ upp från släntrfot. På grund av branta slänter har det inte varit möjligt att utföra geotekniska undersökningar i själva slänten och därför ska gränsen ses som ett antagande baserat på tidigare erfarenhet.

Släntrönn

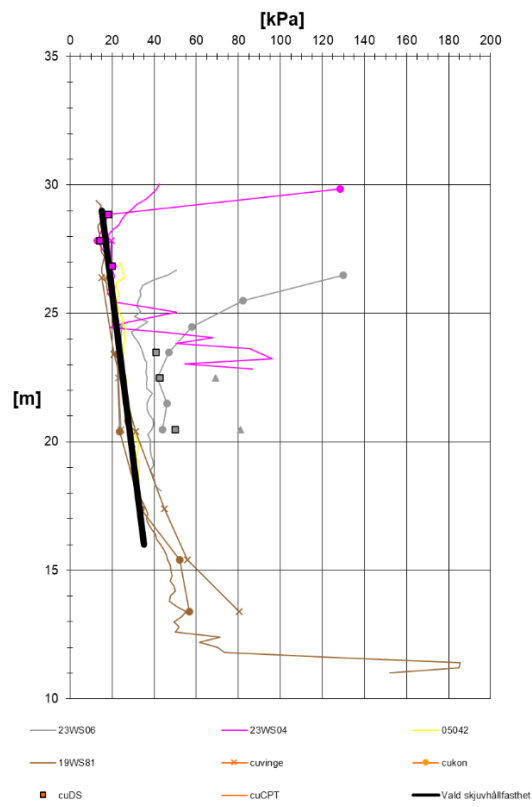
Den odränerade skjuvhållfastheten inom området södra ravinsens släntrönn (ljusbrun färg i Figur 6-7) anses generellt vara nivårelaterad och med en hållfasthetstillväxt mot djupet. Hållfastheten har utvärderats vara 15 kPa + 1,5 kPa/m från nivån +29, se Figur 6-10a.

Släntrfot

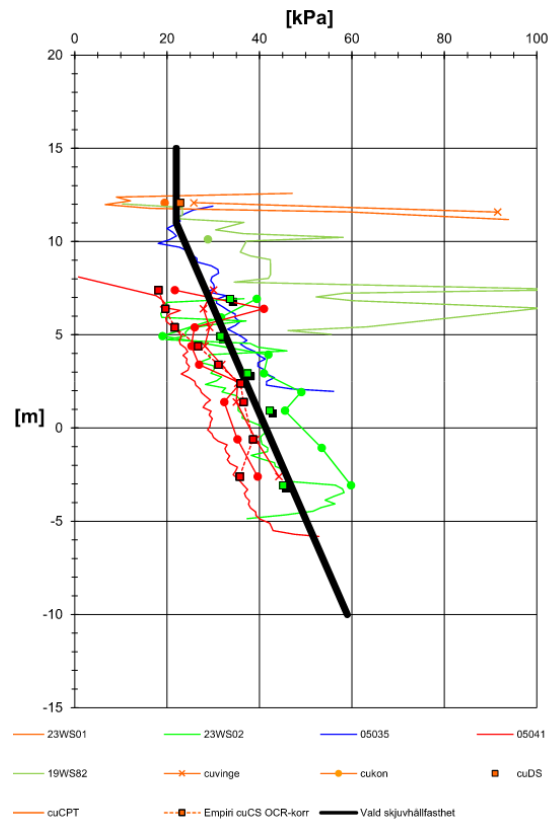
Den odränerade skjuvhållfastheten inom området södra ravinsens släntrfot (ljusorange färg i Figur 6-7) anses generellt vara nivårelaterad och konstant ner till en viss nivå under markytan för att på större djup ha en hållfasthetstillväxt mot djupet. Den konstanta odränerade skjuvhållfastheten i det övre lerlagret är ca 22 kPa. Hållfastheten har utvärderats vara konstant ner till nivån ca +11. Hållfasthetstillväxten mot djupet under nivån +11 är ca 1,8 kPa/m. I Figur 6-10b redovisas vald skjuvhållfasthet för södra ravinsens släntrfot.

Lokalt högre hållfasthetsval i södra ravinen

I en del av slänten mot den södra bäckravinen har betydligt högre odränerad skjuvhållfasthet utvärderats, se Figur 6-11. Slänten är brant och är troligen utdränerad åt alla håll, vilket gjort leran tyngre och fastare. Tungheten är högre i leran i denna del av slänten och något portryck har inte kunnat uppmätas. Baserat på detta har ett annat högre hållfasthetsval gjorts för sektion 18395VR och 18405VR. Hållfastheten har valts till 60 kPa, vilket bedöms vara ett val på säkra sidan.

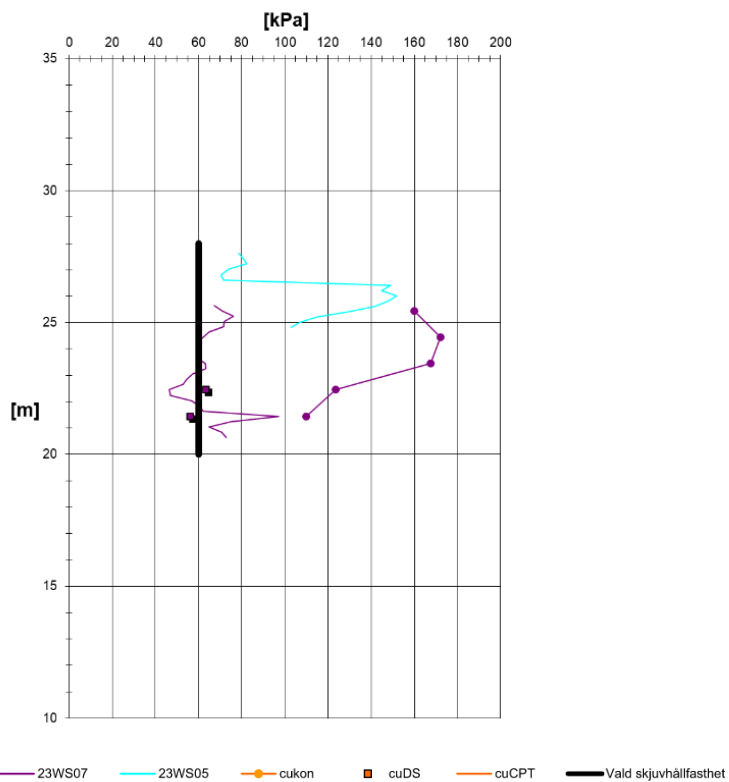


a) Södra ravin - släntröns



b) Södra ravin - släntröns

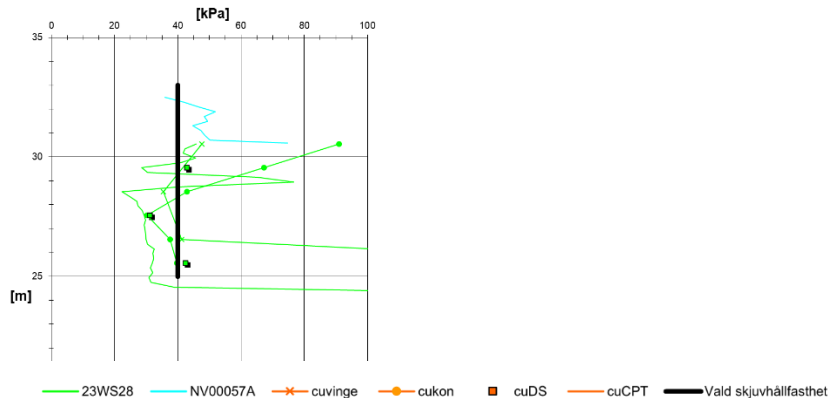
Figur 6-10: Södra ravin. Odränerad skjuvhållfasthet mot nivå för a) släntröns och b) släntröns.



Figur 6-11: Södra ravin, lokalt högre odränerad skjuvhållfasthet i anslutning till sektion 18395VR och 18405VR.

Norra ravin

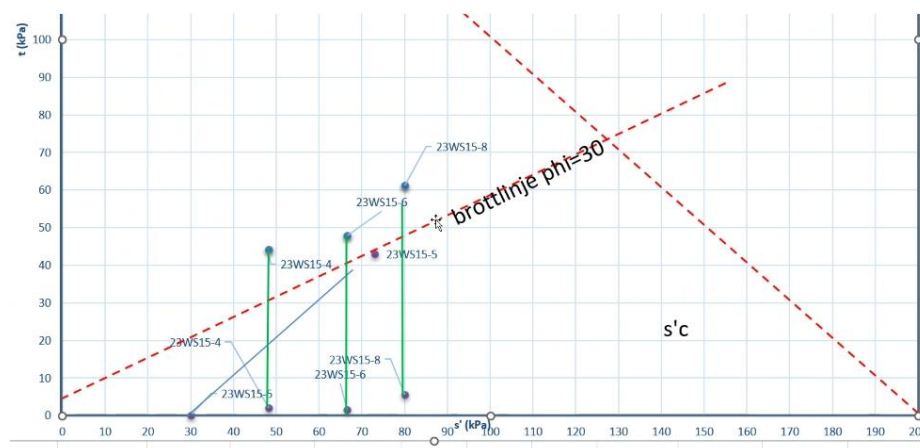
Gränsen mellan ländlera och norra ravinen kan ses som en uppskattning och det har valts konservativt för att vara på säkra sidan för att inte överskatta stabiliteten. Sektion 17630V anses tillhöra norra ravinen eftersom den har begränsad jorddjup och är väldigt brant, d v s samma egenskaper som sektion 17770VR. Den odränerade skjuvhållfastheten i den inre delen av den norra ravinen samt norr om densamma har utvärderats vara konstant mot djupet. Skjuvhållfasthet har utvärderats till ca 40 kPa, se Figur 6-12.



Figur 6-12: Norra ravin. Odränerad skjuvhållfasthet mot nivå.

6.2.5 Dränerad hållfasthet

Inom utredningen har 4 st dränerade triaxförsök utförts på lera från den södra delen av området, nära älven (bh23WS15). Förutsatt att brottlinjen har lutning 30° , så kan det kohesionsinterceptet, c' , utvärderas vara som lägst ca 5-7 kPa. Det är högre än den hållfasthet som normal brukar ansättas baserat på empiri (10 % av den odränerade skjuvhållfastheten). Baserat på begränsat antal försök och viss osäkerhet i resultaten har den dränerade hållfastheten inom ramen för föreliggande utredning ändå ansatt empiriskt i beräkningarna, vilket är ett val på säkra sidan. Inom område med ländlera innebär det dränerad skjuvhållfasthet $c' = 2,7$ kPa. Det innebär att säkerhetsfaktor för kombinerat (dränerat) brott troligen är högre än beräknat.



Figur 6-13: Dränerad hållfasthet intill älven, ländlera. Resultat/tolkning av 4 st dränerade triaxförsök i bh 23WS15. Gröna och blå streck är ungefärliga spänningsvägar. Dränerad hållfasthet avläses på y-axeln och beror på var brottlinjen placeras i förhållande till resultaten för de fyra försöken.

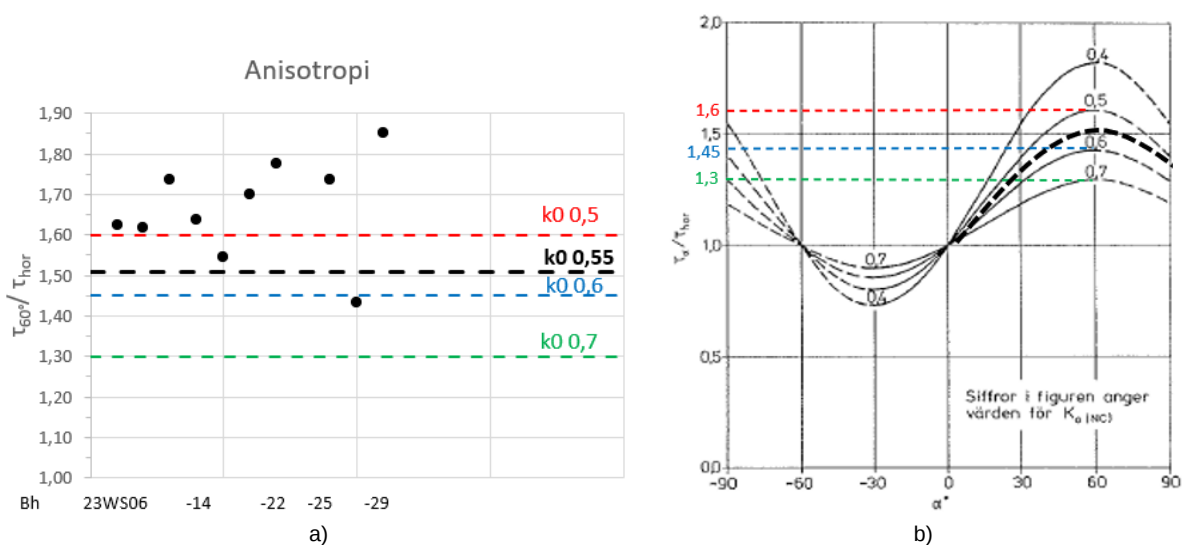
Inom ett annat uppdrag i närheten (Slussarna i Lilla Edet), så har man kört fler dränerade triaxförsök och också konstaterat att den dränerade hållfastheten är högre än vad som normalt uppskattas med hjälp av empirin. I det uppdraget fastlades den dränerade skjuvhållfastheten, c' vara ca 6 kPa.

6.2.6 Hållfasthetsanisotropi

Hållfasthetsanisotropi i leran kan spela en relativt stor roll för stabiliteten i branta slänter, där aktivzonen är mycket större än passivzonen. Utförda aktiva odränerade triaxialförsök på leran inom landområdet (bh 23WS06, -14, -22, -25 och -29) visar att skjuvhållfastheten vid ett aktivt brott generellt är ca 55-75 % högre än vid direkt skjuvning, vilket styrker att hållfasthetsanisotropi kan tillgodoräknas i leran inom hela området (Figur 6-14a). Triaxialförsök har utförts på olika djup under markytan och visar på ungefär samma grad av anisotropi inom området och genom jordprofilen.

Inom aktuellt område har inga avancerade labförsök (DS eller triax) utförts i älven, men försök inom närliggande områden påvisar samma anisotropi i älvleran som för leran på land. Mot bakgrund av det har samma anisotropifunktion valts för älvleran som för landleran i Stenarsröd-Hålleröd. Generellt är det ett val på säkra sidan, då älvleran oftast ligger på passivsidan i glidyten och därmed får en reducerad hållfasthet då anisotropi tillämpas.

Vid stabilitetsberäkningarna i Stenarsröd-Hålleröd har hållfasthetsanisotropi tillgodoräknats som motsvarar anisotropifunktionen $K_{0NC}=0,55$ (enligt Figur 24 i Skredkommissionens rapport 3:95). Detta betyder i praktiken att i glidytornas aktivzon, beroende på skjuvytans lutning mot horisontalplanet, erhålls en förhöjning av den odränerade skjuvhållfastheten med ca 0–45 % (sinusformad funktion beroende på skjuvplanets lutning, se Figur 6-14b). I glidytornas passivzon erhålls däremot en reduktion av skjuvhållfastheten med ca 0-15%. Effekten av anisotropi blir därmed större ju brantare slänten och glidyten är. Beaktande av hållfasthetsanisotropi i leran ger generellt för aktuella slänter ett positivt bidrag (ökning) till säkerhetsfaktorn mot stabilitetsbrott.



Figur 6-14: a) Förhållande mellan aktiv och direkt skjuvhållfasthet från utförda triaxial- respektive direkta skjuvförsök på ostörda prover från Stenarsröd-Hålleröd
b) Uppskattning av odränerad skjuvhållfasthet i olika skjuvplan med ledning av $K_{0(NC)}$ (Källa: "Anvisningar för släntstabilitetsutredningar", Skredkommissionen, Rapport 3:95).

7 HYDROGEOLOGISKA FÖRHÅLLANDEN

7.1 VATTENNIVÅ I VATTENDRAG

Nivån i Göta älv är bl.a. reglerad vid Lilla Edets sluss, ca km 31/600. Då fallhöjden mellan Trollhättan och Lilla Edets sluss är liten kan samma vattenstånd antas gälla från nedströms en sluss till uppströms nästa sluss. Detta innebär att för delområde Stenarsröd-Hålleröd, ca km 17/500–18/500, 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.

7.2 GRUNDVATTENYTA OCH PORTRYCK

Grundvattenrör har installerats i underliggande friktionsjord i fem punkter (se Gvr i Figur 7-1). Grundvattenrör placerade på släntkrön nära de branta slänterna ner mot sidoravinerna (23WS06, -25 och -28) visar på att grundvattenytan ligger mycket lågt, ca 10 m under markytan eller ännu lägre (torrt grundvattenrör). Grundvattenrör närmast älven (23WS27 och 23WS29) visar på en grundvattennivå som ligger ca 1 m under markytan (ca +8,6).

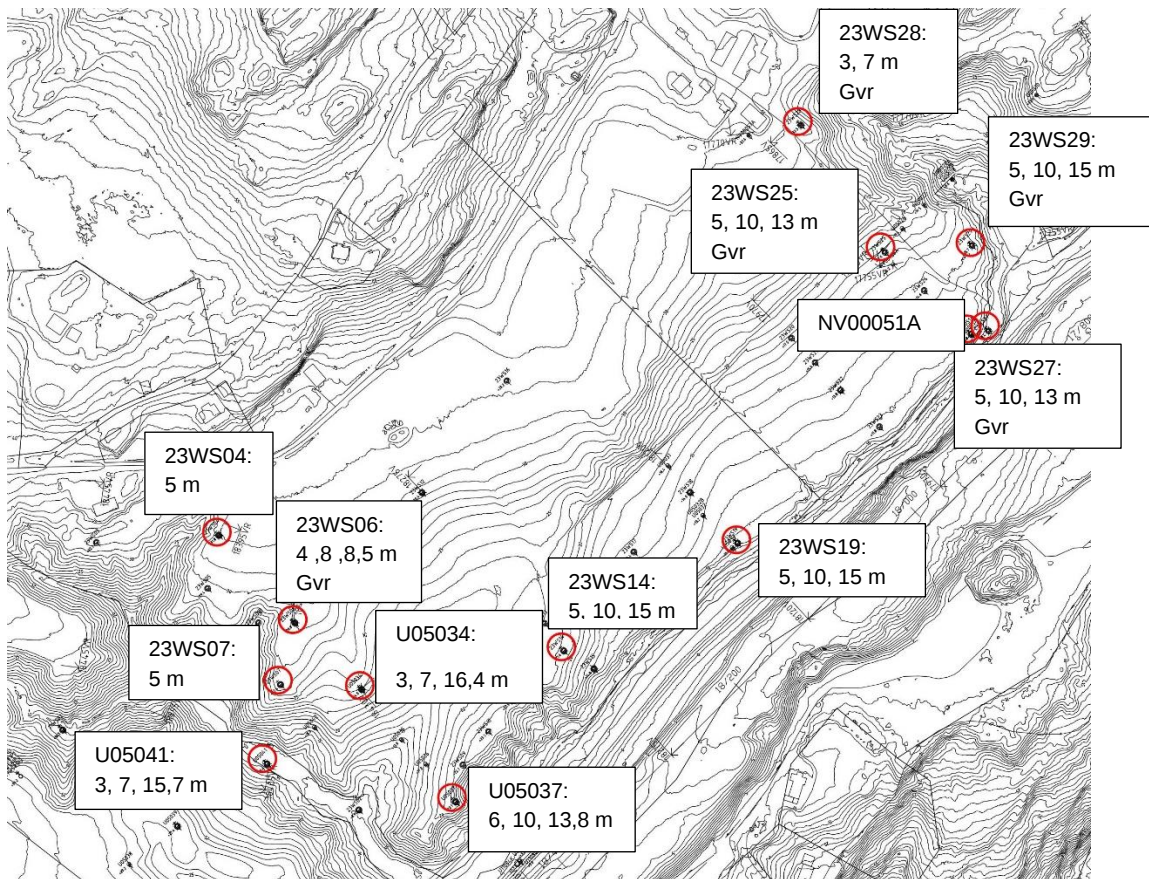
Portrycksspetsar har i samband med denna utredning installerats i nio punkter/stationer (23WS04, -06, -07, -14, -19, -25, -27, -28 och -29), se lägen i Figur 7-1. Portrycksspetsarna är generellt av typen BAT, men för jämförelse har också elektriska PVT-mätare med minne installerats i åtta punkter. Mätningarna med de olika metoderna stämmer väl överens. För utvärdering av portryck har även mätserier från tidigare utförda utredningar nyttjats.

Nu och tidigare utförda portrycksmätningar visar generellt att portrycket vid släntkrön mot älven är lägre än hydrostatiskt mot djupet vilket beror på förekomst av dränerande jordlager under leran.

Nolltrycksnivå varierar inom området. I de brantaste delarna av slänterna mot ravinerna är leran i princip utdränerad. Vid släntfot ligger nolltrycksnivå nära markytan och bakom släntkrön mot älven är nolltrycksnivå ca 1 m under markytan. Ingen fri vattenyta har noterats i håll för skruvprovtagning, skuvprover var antingen torra eller faller igen.

Tidigare utförda mätningar i botten av den *södra ravin*en (U05041) visar på ett portryck som är högre än hydrostatiskt, från en nolltrycksnivå som ligger ungefär i markytan, dvs i botten av ravin. Slänterna i den södra ravin. är väldigt branta och jordmättigheten begränsad. Jordmättigheten är ca 3-7 m vid släntkrön.

Uppmätt portryck i nu installerade portrycksstationer finns redovisade i Bilaga 3.



Figur 7-1: Placering av portrycksstationer, med spetsdjup under markytan, och grundvattenrör (Gvr).

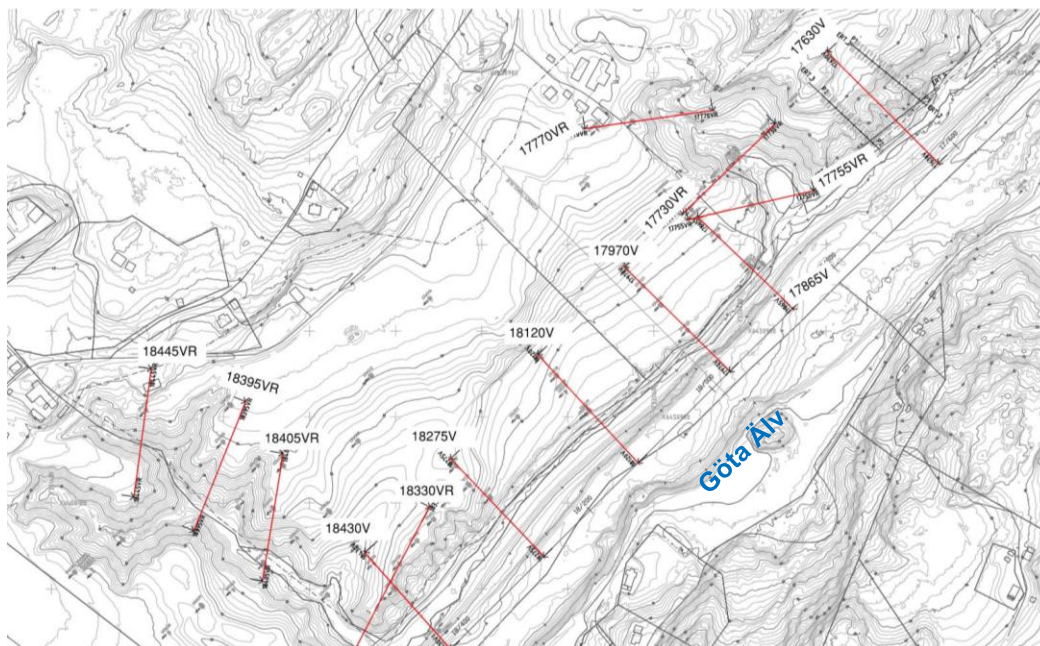
8 STABILITET

8.1 ALLMÄNT

Stabiliteten inom området har analyserats för befintliga förhållanden i 13 st representativa sektioner med lägen enligt Figur 8-1. Fyra av dessa sektioner har tidigare analyserats inom ramen för Göta älv-utredningen (sektion 17730VR, 17865V, 18120V och 18430V).

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 och beräknade säkerhetsfaktorer anses gälla även mellan sektionerna.

Stabilitetsanalyserna har utförts som kombinerad och odränerad analys med totalsäkerhetsmetoden med beräkningsprogrammet Slope/W (Geostudio 2023.1). Redovisade säkerhetsfaktorer avser Morgenstern-Price metod för cirkulärcylindriska glidytor.



Figur 8-1: Plan med sektionslägen och -benämningar. Benämningarna utgår ifrån Göta älvs längdmätning.

8.2 ERFORDERLIG SÄKERHETSAKTOR

8.2.1 Totalsäkerhetsmetoden

Stabilitetsutredningen har utförts enligt IEG rapport 4:2010 (samt Skredkommissionens anvisningar, Rapport 3:95) där erforderlig säkerhetsfaktor för huvuddelen av området gäller för Fördjupad stabilitetsutredning för markområden med markanvändningen "Befintlig bebyggelse och anläggning". I naturområdena allra längst i nordost vid sektion 17630V, dvs. innan sidoravinen, är det geotekniska underlaget begränsat till följd av att det är mycket svår framkomlighet i terrängen. I denna del av området är utredningen mer att klassa som en detaljerad stabilitetsutredning. 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". En sammanställning av förutsättningarna som gäller för större delen av området (i princip inom delområde "landlera" och delarna närmaste älven av södra respektive norra sidoravinen) finns redovisade i Figur 8-2.

Tabell 8-2: Sammanställning av gynnsamma och ogynnsamma förhållanden för slänter inom större delen av området (inom delområde landlera samt delarna närmaste älven av södra och norra sidoravinen).

Förutsättningar	Gynnsamma	Ogynnsamma
Konsekvenser av skred	Ingen risk för människoliv och ringa ekonomisk skada.	Kvicklera inom stor del av området.* Risk för bakåt- eller framåtgripande skred.*
Släntens beständighet	Inga tecken på rörelser i marken.	
Tidigare förändringar i slänten	Älvens strandkant är erosions-skyddad med sprängsten/ strandskoning. De mindre vatten-dragen har begränsat flöde och liten/ingen erosion samt intakt vegetation.	Tecken på tidigare skred, skredärr
Jordens egenskaper	Liten spridning i bestämda hållfasthetsegenskaper.**	Kohesionsjord. Hög sensitivitet, kvicklera.*
Analys- och beräkningsarbetets tillförlitlighet	Stort antal beräknade glidytor. Känslighetsanalys utförd på valda parametrar. Tvådimensionell analys (randeffekter försummas).	
Fält- och laboratorieundersökningarnas innehåll och omfattning	Stort antal undersökningar inom hela området. Många olika metoder i fält; Tr, CPTu-R-sonderingar och vingförsök. Stort antal ostörda prover undersökta på lab med rutin-, CRS-, direkta skjuv- och triaxialförsök.**	
Släntens geometri	Släntens geometri har modellerats utifrån höjddata från Lantmäteriet och batymetri från sjömätning varvid geometrin är välkänd.	Branta slänter. Lokala branta partier förekommer.
Grundvatten- och portrycksförhållanden	Grundvattenrör och portrycksstationer har installerats och mätts under ca 4-6 månader. God kännedom om portrycksfördelningen mot djupet och inom området.	Långtidsobservationer saknas.
Ytvattenförhållanden	Karakteristiska vattenstånd i Göta älv är kända.	

* I den sydvästra delen av området, i anslutning till den inre delen av södra ravinen, är det inte kvicklera.

** I den norra delen av området, i anslutning till den norra ravinen är jordmodellen mer osäker och bebyggelse finns i närheten.

Inom det aktuella området utgörs marken generellt av lera med låg odränerad skjuvhållfasthet. Inom stora delar av området är leran kvick. Det geotekniska underlaget är stort och spridningen hos lerans

egenskaper är relativt liten. I huvudsak utgörs området av åker- och naturmark. Konsekvenserna av ett eventuellt skred bedöms vara begränsade då det inom landområdet endast finns enstaka byggnader och en mindre väg (Edsvägen), vilka ligger på eller i nära anslutning till fastmark.

Ett skred skulle dock kunna innebära uppträckning av massor samt grumling i Göta älv, vilket kan påverka sjöfart, vattenkraft, vattenförsörjning och naturvärden. Risken för erosion bedöms vara liten då Göta älvs strandkant är erosionsskyddad med sprängstensbank av god kvalitet och erosionen längs de mindre vattendragen i söder respektive norr är mycket begränsad. Det finns dock viss risk för erosion i undervattensslänten. Detta bedöms vara begränsad och inte påverka sjöfart, vattenförsörjning, mm negativ.

Med utgångspunkt från de förutsättningar (både yttre och geotekniska) som råder inom det aktuella området enligt ovan rekommenderas att kraven på säkerhetsfaktorerna generellt, inom större delen av området, väljs enligt angivna värden i Figur 8-3 i enlighet med IEG 4:2010:

Tabell 8-3: Säkerhetsrekommendation för större delen av området inom föreliggande fördjupade stabilitetsutredning utifrån gynnsamma respektive ogynnsamma faktorer, totalsäkerhetsmetoden.

F_c	$\geq 1,35$
F_{komb}	$\geq 1,25$

För den sydvästra delen av området, dvs den inre delen av södra ravinen (sektion 18395VR, 18405VR och 18445VR) väljs något lägre rekommenderad säkerhet, se Tabell 8-4. Valet är baserat på att leran inte är kvick samt att flödet och erosionen i vattendraget är högst begränsat och avståndet till älven är stort (>200 m), vilket innebär liten risk för t ex grumling av älven pga skred. Potentiella glidytor är korta och det finns ingen risk för bakåtgripande skred som kan nå bebyggelse eller anläggning.

Tabell 8-4: Säkerhetsrekommendation för den inre delen av södra ravinen, sektion 18395VR, 18405VR och 18445VR, utifrån gynnsamma respektive ogynnsamma faktorer.

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

För den norra delen av området, närmast gården (sektion 17770VR), väljs något högre rekommenderad säkerhet, se Tabell 8-5. Valet är främst baserat på större osäkerhet i jordmodellen (jorddjup) samt närheten till älven och bebyggelse.

Tabell 8-5: Säkerhetsrekommendation för den norra delen av området, sektion 17770VR, utifrån gynnsamma respektive ogynnsamma faktorer.

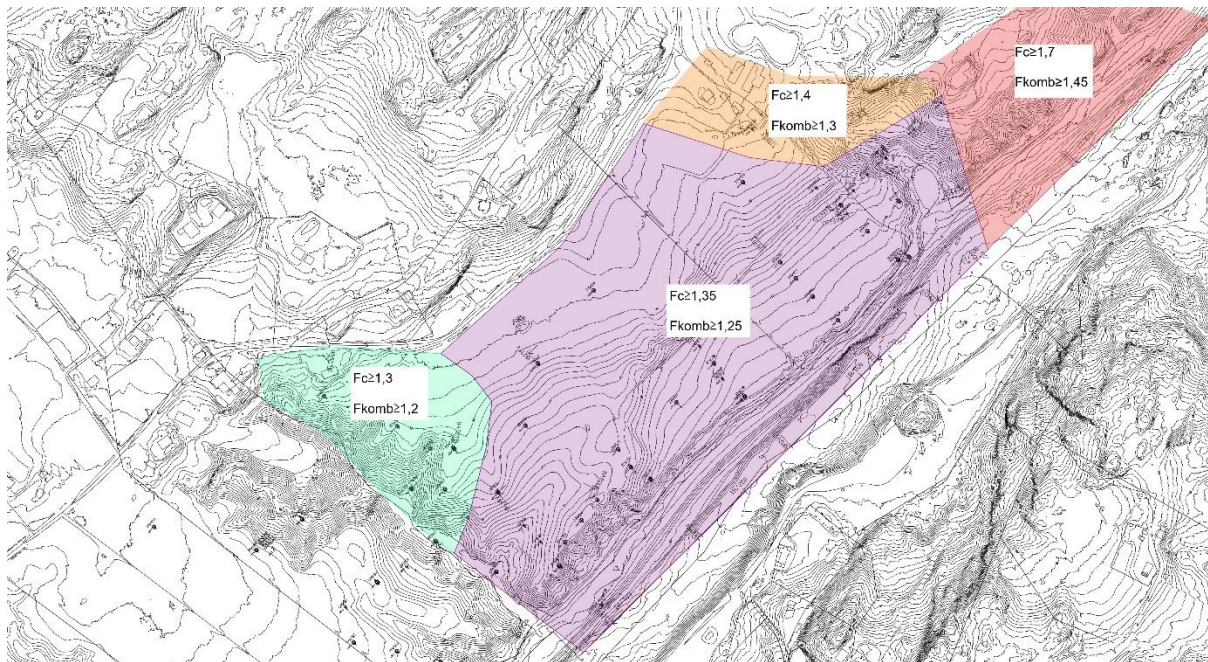
F_c	$\geq 1,4$
F_{komb}	$\geq 1,3$

För den nordöstra delen av området längs älven, norr om norra ravinen, finns tät vegetation och branta slänter som är mycket svårtillgängligt med en geoteknisk borrhandsvagn. Nere i slänterna har därmed endast geofysiska undersökningar utförts i tre sektioner. Rekommenderad erforderlig säkerhetsfaktor har därmed valts på basis av en detaljerad utredningsnivå. Erforderlig säkerhetsfaktor har valts i det högre spannet på grund av osäkerhet i hållfasthet parametrar.

Tabell 8-6: Säkerhetsrekommendation för den norra delen av området, sektion 17630V, utifrån gynnsamma respektive ogynnsamma faktorer.

F_c	$\geq 1,7$
F_{komb}	$\geq 1,45$

En sammanställning av valda säkerhetsfaktor inom olika delar av området redovisas på plan i Figur 8-2.



Figur 8-2: Plan över utredningsområdet med delområden för olika krav på säkerhetsfaktor för tillfredsställande stabilitet i föreliggande fördjupade stabilitetsutredning.

Om erforderlig säkerhetsfaktor inte uppnås i en fördjupad stabilitetsutredning ska ett översiktligt åtgärdsförslag tas fram. Åtgärdsförslaget ska utformas så att totalstabiliteten för aktuell slänt uppfyller gällande krav på säkerhetsfaktorer, se Tabell 8-3 - Tabell 8-5.

8.3 BERÄKNINGSFÖRUTSÄTTNINGAR

8.3.1 Utformning och geometri

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

Modell över älvens botten-topografi kommer från batymetrisk sjömätning 2018 (Clinton).

8.3.2 Materialegenskaper

Materialegenskaper samt jordlagrens mäktighet har utvärderats från nu utförda geotekniska undersökningar tillsammans med tidigare utförda undersökningar. I nedanstående Tabell 8-7 redovisas den tunghet och friktionsvinkel (för sand) som använts vid stabilitetsberäkningarna. Friktionsvinkeln i lera är empiriskt ansatt till 30° i samtliga lerlager. För sand har empiriska och konservativa värden ansatts baserat på TK Geo 13, version 2.0. Vald odränerad skjuvhållfasthet redovisas i Tabell 8-8 och på stabilitetsberäkningarna i Bilaga 5.

Tabell 8-7: Vald tunghet och friktionsvinkel (sand).

Jordlager	Materialegenskap	Värde
Torrskorpelera	Tunghet, γ	18 kN/m ³
Sand	Tunghet, γ Tunghet, γ' Friktionsvinkel, ϕ'	18 kN/m ³ 20 kN/m ³ 33°
Lera 1*	Tunghet, γ	16,3 kN/m ³
Lera 2 (nivå < +15)*	Tunghet, γ	17 kN/m ³
Lera (Sektion 18395VR och 18405VR)	Tunghet, γ	18 kN/m ³

*För grundparametrar har ingen indelning gjorts av lera. Redovisad tunghet gäller för samtliga delområden.

Tabell 8-8: Vald odränerad skjuvhållfasthet i leran inom respektive delområde.

Jordlager	Odränerad skjuvhållfasthet, T_{fu}
Torrskorpelera	Samma skjuvhållfasthet som leran under.
Landlera	$27 + 2,4 \cdot d_1$ kPa (d_1 avser djup räknat från nivå +15)
Älverla	$0 + 27 \cdot d_2$ kPa (d_2 avser djup räknat från markytan) $27 + 3,5 \cdot d_3$ kPa (d_3 avser djup räknat från 1 m djup)
Södra ravinen - slänkrön	$15 + 1,5 \cdot d_4$ kPa (d_4 avser djup räknat från nivå +29)
Södra ravinen - slänftot	$22 + 1,8 \cdot d_5$ kPa (d_5 avser djup räknat från nivå +11)
Södra ravinen, sektion 18395VR och 18405VR	60 kPa
Norra ravin	40 kPa

8.3.3 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 en byggnad i sektion 17770VR, en last av 10 kPa har ansatts.

8.3.4 Grundvatten och portryck

I stabilitetsberäkningarna mot älven har en något avsänkt portrycksprofil (jämfört mot en hydrostatisk profil) med en nolltrycksnivå på djupet ca 1 m under markytan valts i slänt och ovan slänkrön. Ned mot slänftot övergår den avsänkta profilen mot en hydrostatisk portryckprofil under Göta Älv, i enlighet med sammanställning och utvärdering av portryck i Bilaga 3.

I stabilitetsberäkningar mot ravinerna, har en portrycksprofil som är lägre än hydrostatisk valts närmast krönet (nolltrycksnivå på djupet ca 2-3 m) för att sedan övergå till ett något förhöjt portryck i slänftoten, enligt Bilaga 3. Grundvattennivån i slänftot har ansatts i markytan.

I området i norr är slänterna väldigt branta. I grundvattenrör som är installerad i borrhål 23WS28 har en grundvattenyta uppmätts på djupet ca 11 m under markytan. På grund av brist på undersökning i sektion 17630V har hydrostatiskt portryck antagits. Det är en konservativ bedömning, den har sannolikt en portrycksprofil som är avsänkt mot djupet (dvs. lägre än hydrostatisk) likt övriga mätpunkter.

Portrycksfördelningen redovisas i form av isobarer för samtliga beräkningssektioner i Bilaga 5.

8.3.5 Vattennivå

För Göta älv tillämpas dimensionerande vattenstånd för Lilla Edet Sluss 6 ÖVY enligt styrdokument DGA00XST01 (Version 7.0, SGI, 2023). 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 ravinerna har valts i nivå med botten då ravinerna under delar av året bedöms vara torrlagda.

8.4 STABILITETSANALYSER FÖR BEFINTLIGA FÖRHÅLLANDEN

I följande kapitel beskrivs resultaten av de stabilitetsanalyser som utförts inom ramen för föreliggande fördjupade stabilitetsutredning. Samtliga beräkningar redovisas i Bilaga 5.

8.4.1 Göta älv

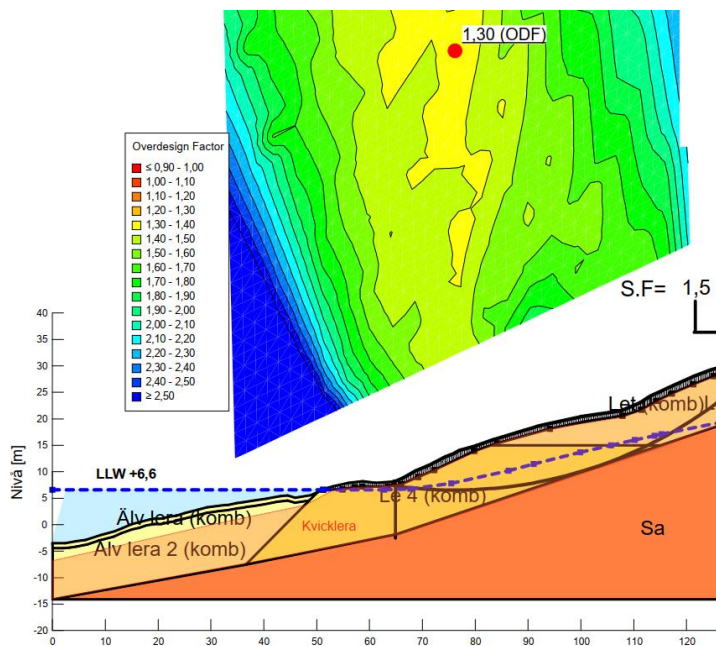
Stabiliteten mot Göta älv har kontrollerats i sex sektioner som tillsammans bedöms representera hela släntavsnittet mot älven inom aktuellt område. Slänkrönet ligger nära Göta älv och marken ovanför utgörs generellt av flackt lutande åkermark. Slänten närmast strandkant och undervattensslänten är relativt brant. 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. Lokala mindre glidytor i undervattensslänten kan förekomma med en beräkningsmässig låg säkerhet. Det har dock gjorts en känslighetsanalys om en skred skulle inträffa i undervattensslänten och stabiliteten inom land är fortfarande bra/tillfredsställande.

Sektion 17630V

Området längst i norr, norr om den norra sidoravinen, representeras av sektion 17630V. Slänten mot älven är brant och relativt tätt beväxt med träd och buskar. Jorddjup och jordlagerföljd har undersökts med geofysiska undersökningar. Lerdjupet har bedömts vara ca 5-7 m och i beräkningarna har det större djupet ansatts för att vara på säkra sidan. Lerans hållfasthet har ansatts vara densamma som i punkt 23WS28, vilken ligger i anslutning till likartad brant slänt, med ungefär samma jorddjup, intill den norra ravin.

Glidytan med lägst säkerhetsfaktor har en utbredning på ca 70 m och en säkerhetsfaktor på ca $F_{\text{komb}}=1,3$ (se Figur 8-3). I odränerad analys har glidytan med lägst säkerhetsfaktor, ca $F_c=1,4$, ungefär samma utbredning som i kombinerad analys. Glidytan går inte ner i älvleran.

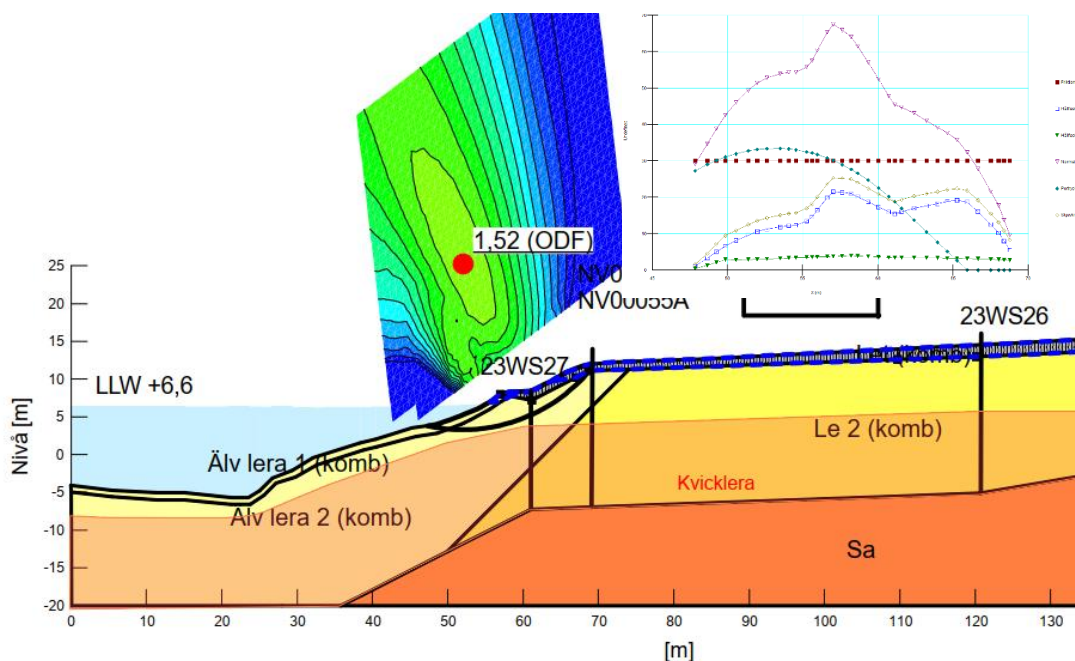


Figur 8-3: Sektion 17630V, mot Göta älv, kombinerad analys.

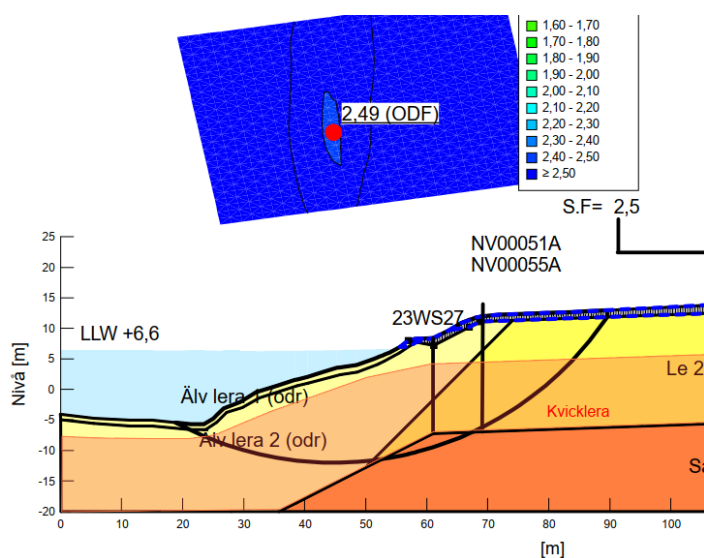
Sektion 17865V

Sektion 17865V ligger strax väster om den norra sidoravinen och representerar en ca 100-150 m lång sträcka längs älven. Glidyten med lägst säkerhetsfaktor har en utbredning på ca 20 m och går i strandkanten. Glidyten är i princip helt dränerad och har en säkerhetsfaktor på ca $F_{\text{komb}}=1,5$ (Figur 8-4). I odränerad analys har glidyten med lägst säkerhetsfaktor, ca $F_c=2,5$, en utbredning på ca 70 m och slår upp ca 35 m från strandkanten.

I tidigare utförd Göta älvutredning beräknades säkerhetsfaktorerna till ca $F_c=1,45$ och ca $F_{\text{komb}}=1,05$. Att nu beräknad lägsta säkerhetsfaktorer är markant högre än tidigare beräknad beror främst på utökad kunskap om lerans egenskaper baserad på resultaten från nya undersökningar (fält och lab). Den nya jordmodellen innebär en högre vald hållfasthet för såväl land- som älvlera tillsammans med tillgodoräknande av anisotropieffekter i leran. I Göta älvutredningen användes dessutom en nivå på LLW på +6,0 vid stabilitetsanalyserna.



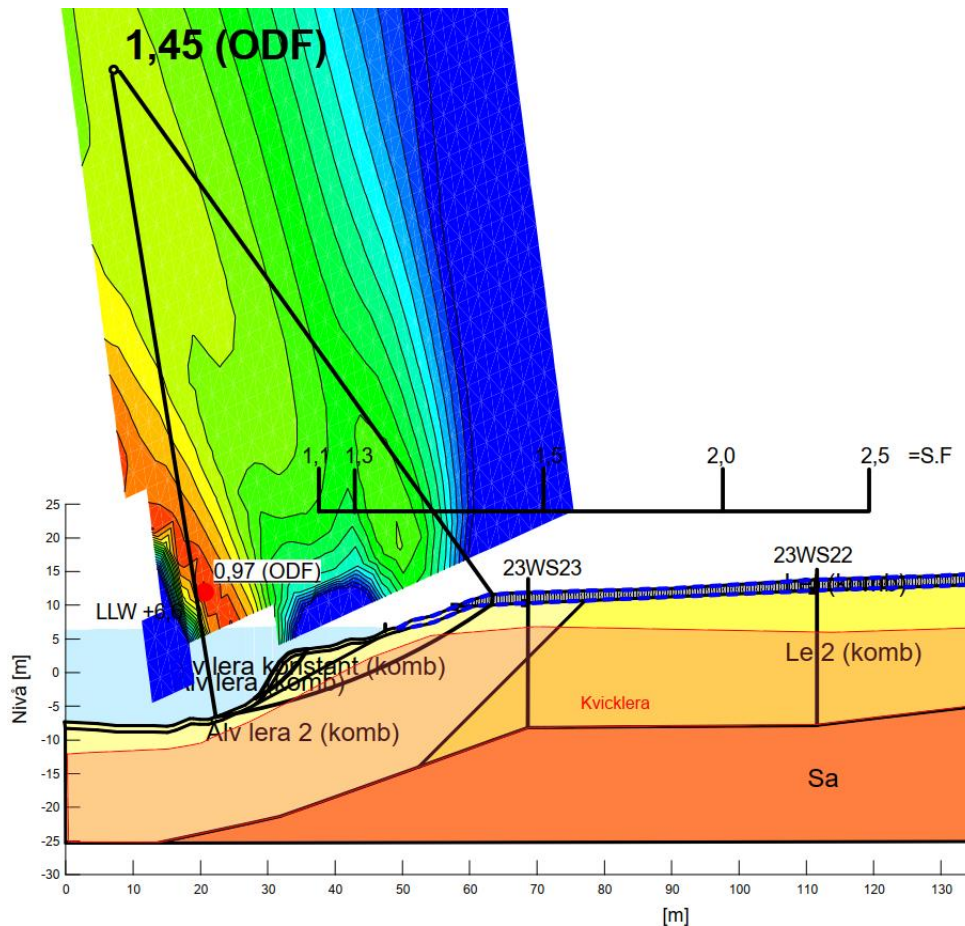
Figur 8-4: Sektion 17865V, mot Göta älv, kombinerad analys.



Figur 8-5: Sektion 17865V, mot Göta älv, odränerad analys.

Sektion 17970V

Sektion 17970V ligger knappt 200 m väster om norra sidoravinens utlopp och har en brantare undervattensslänt än den tidigare sektionen (17865V). Glidytan med lägst säkerhetsfaktor för denna sektion går i älvleran i undervattensslänten och har i kombinerad analys en säkerhetsfaktor på ca $F_{\text{komb}}=1,0$, se Figur 8-6. Glidytan är kort och har en utbredning av knappt 10 m. En något längre glidyta, som når upp till strandkanten, har säkerhetsfaktorer på ca $F_{\text{komb}}=1,45$ respektive $F_c=2,45$.

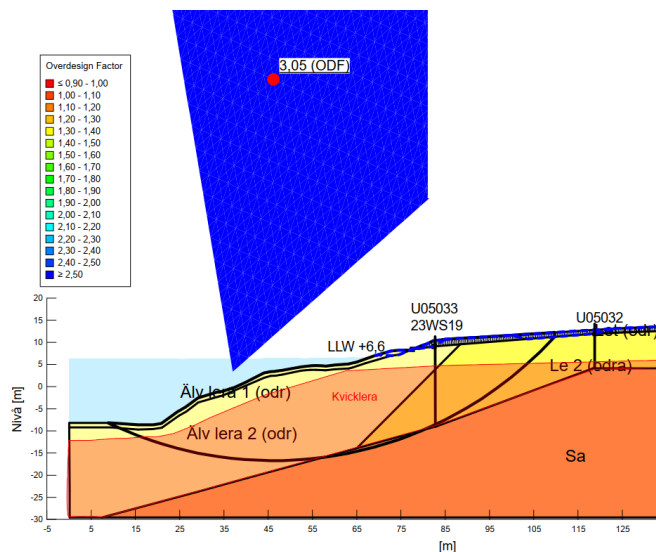


Figur 8-6: Sektion 17970V, mot Göta älv, kombinerad analys.

Sektion 18120V

Glidyten som går i älvleran i undervattensslänten, har en utbredning på knappt 12 m och en säkerhetsfaktor på ca $F_{komb}=1,65$. För landslänten är glidyten med lägst säkerhetsfaktor vid kombinerad analys ca 30 m lång och säkerhetsfaktorn är ca $F_{komb}=1,95$. Vid odränerad analys har glidyten ca 100 m utbredning och glidyten underkant når ner till nivån ca -16 och säkerhetsfaktorn är ca $F_c=3,0$, se Figur 8-7. Sandlagrets mäktighet har inte bekräftats, utan har antagits ha stor mäktighet för att inte begränsa glidyten.

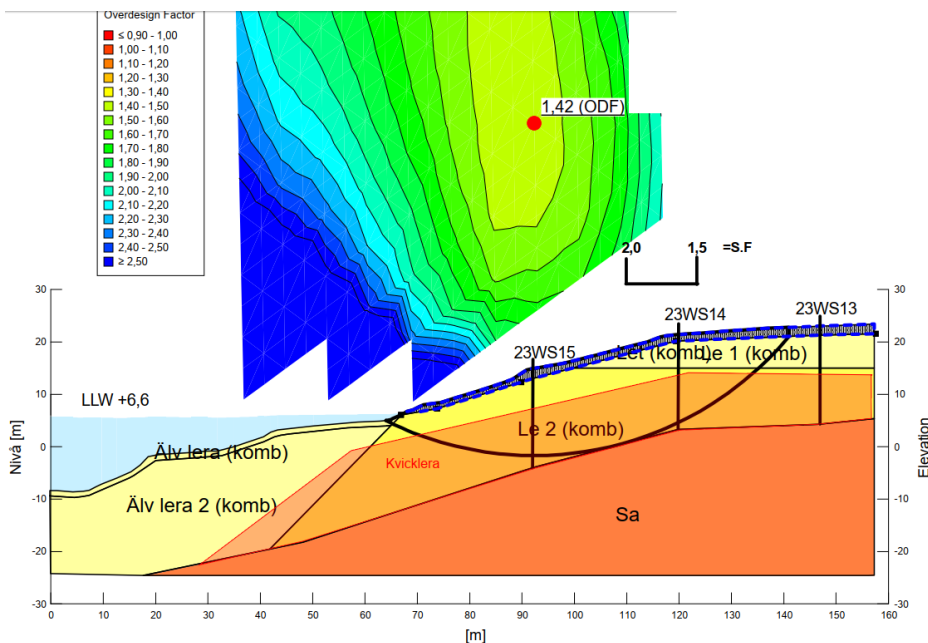
I tidigare utförd Göta älvutredning beräknades säkerhetsfaktorn på land till ca $F_c=2,2$ och $F_{komb}=1,8$. Att nu beräknade lägsta säkerhetsfaktorer är markant mycket högre än tidigare beräknade i GÄU beror främst på utökad kunskap om jordlagrens egenskaper (enl beskrivning för sektion 17865V).



Figur 8-7: Sektion 18120V, mot Göta älv, odränerad analys.

Sektion 18275V

Glidyten med lägst säkerhetsfaktor för denna sektion har en utbredning av ca 80 m och slår upp ca 75 m från älvkanten, se Figur 8-8. Säkerhetsfaktorerna är $F_{komb}=1,42$ och ca $F_c=1,55$.



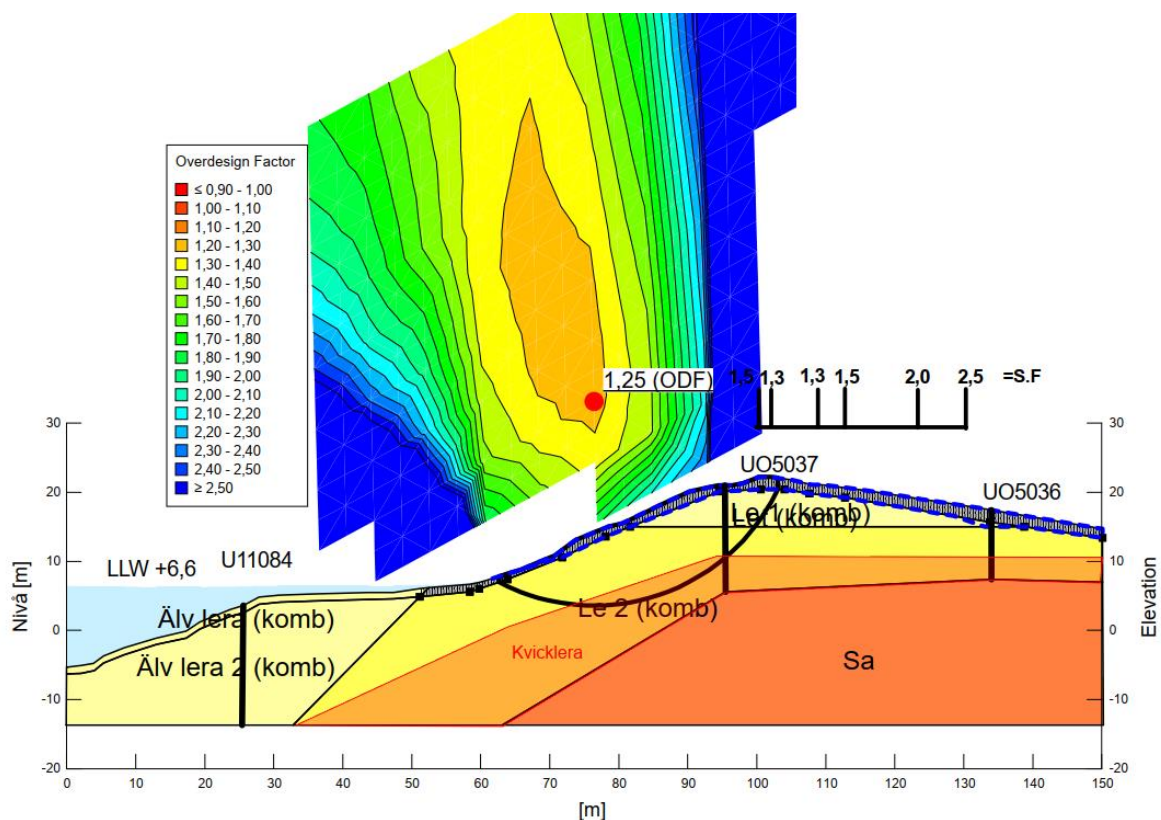
Figur 8-8: Sektion 18275V, mot Göta älv, kombinerad analys.

Sektion 18430V

Sektion 18430V ligger ca 50 m öster om den södra ravinens utlopp och representerar en delsträcka mot älven där det finns en brant landslänst och en grund undervattenshylla. Lokalt har berg-i-dagen observerats i den branta slänten, vilket innebär att jorddjupet i delar av slänten troligen är ännu grundare än ansatt i utförd beräkning.

Glidyten med lägst säkerhetsfaktor har en utbredning på ca 40 m och har en säkerhetsfaktor på ca $F_{\text{komb}}=1,25$, se Figur 8-9. Glidyten når inte ner i älvleran. I odränerad analys har glidyten med lägst säkerhetsfaktor, ca $F_c=1,4$, en utbredning på ca 50 m och glidyten når ner till nivån +2.

I tidigare utförd Göta älvutredning beräknades säkerhetsfaktorn på land till ca $F_c=F_{\text{komb}}=1,1$. Att nu beräknade lägsta säkerhetsfaktorer är markant mycket högre än tidigare beräknade i GÄU beror främst på utökad kunskap om jordlagrens egenskaper (enl beskrivning för sektion 17865V).



Figur 8-9: Sektion 18430V, mot Göta älv, kombinerad analys.

8.4.2 Södra ravinen

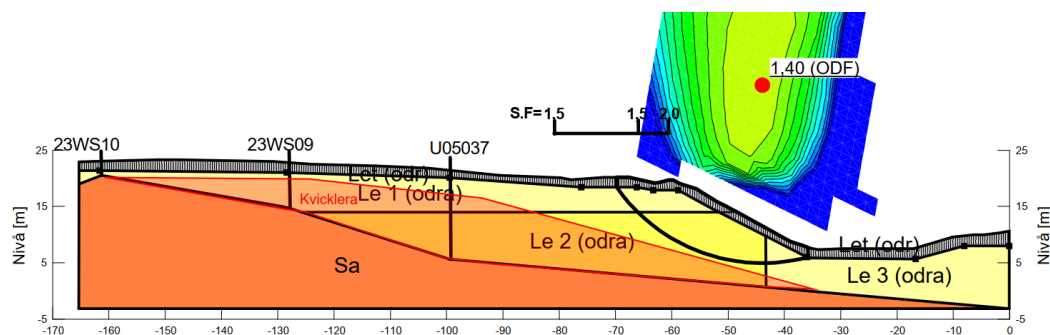
Stabiliteten har kontrollerats i fyra representativa sektioner för den södra sidoravinen (18330VR, 18395VR, 18405VR och 18445VR), se lägen i Figur 8-1. Stabiliteten har enbart kontrollerats för den östra sidan av ravinen. Stabiliteten mot den andra sidan har tidigare kontrollerats inom ramen för utredning av delområde Smådala.

Analyserna visar att stabiliteten för den södra ravinen i aktuellt undersökt område är att klassa som tillfredsställande. Släntavsnittet med lägst säkerhetsfaktor är i anslutning till sektion 18405VR där $F_{komb}=1,2$.

Sektion 18330VR

Sektion 18330VR ligger ca 20 m norr om bäckens utlopp i Göta älv. Stabilitetsförhållandena är överlag goda. Den lägsta säkerhetsfaktor är vid kombinerad analys, $F_{komb}=1,34$ för en ca 20 m lång och ca 3 m djup glidyta. Glidytan är i princip helt dränerad.

Den odränerade glidytan med lägst säkerhetsfaktor är ca 35 m lång och ca 10 m djup glidyta och har $F_c=1,40$; se Figur 8-10.

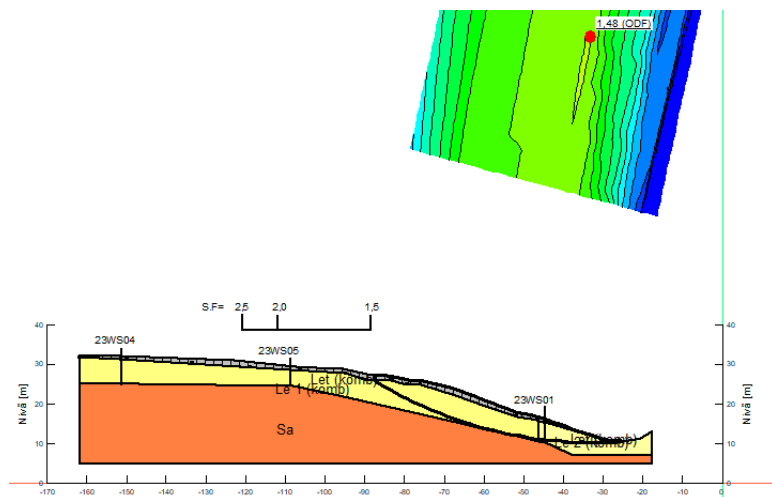


Figur 8-10: Sektion 18330VR, mot södra ravinen, odränerad analys.

Sektion 18395VR

Sektion 18395VR ligger längst in i den södra sidoravinen, närmast Edsvägen och ca 250 m norr om bäckens utlopp i Göta älv. Leran i denna inre del av ravinen har konstaterats ha högre tunghet och högre odränerad skjuvhållfasthet än leran närmare älven. Djupet till underliggande friktionsjord är generellt begränsat, vilket medför lågt/inget portryck i lerlagret då det är helt utdränerat.

Stabilitetsförhållandena är goda. Glidytagens utformning är ungefär detsamma för både kombinerad och odränerad analys. Den har en utbredning på ca 60 m och når till underkant lera, se Figur 8-11. Den lägsta säkerhetsfaktor är vid kombinerad analys, $F_{komb}=1,48$, och vid odränerad analys, ca $F_c=1,58$.

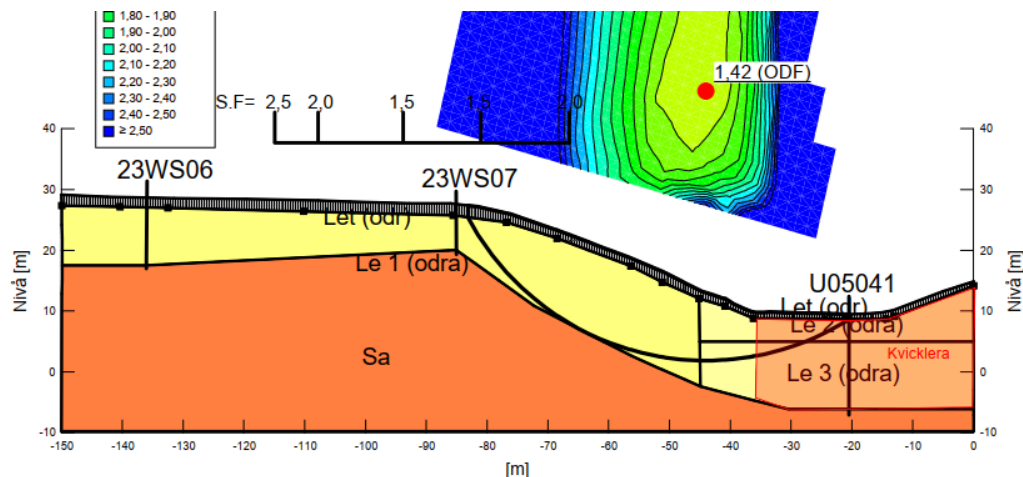


Figur 8-11: Sektion 18395VR, mot Göta älv, kombinerad analys.

Sektion 18405VR

Sektion 18405VR ligger ca 160 m norr om bäckens utlopp i Göta älv. Lerans egenskaper är detsamma som i sektion 18395VR, dvs något högre tunghet och odränerad skjuvhållfasthet än närmare älven eller ut på åkern.

Glidyten med lägst säkerhetsfaktor är vid kombinerad analys, $F_{komb}=1,21$. Den är ca 60 m lång och når till underkant lera. I odränerad analys är den lägsta säkerhetsfaktorn $F_c=1,42$ och glidyten utbredning är ungefär densamma som för kombinerad analys.



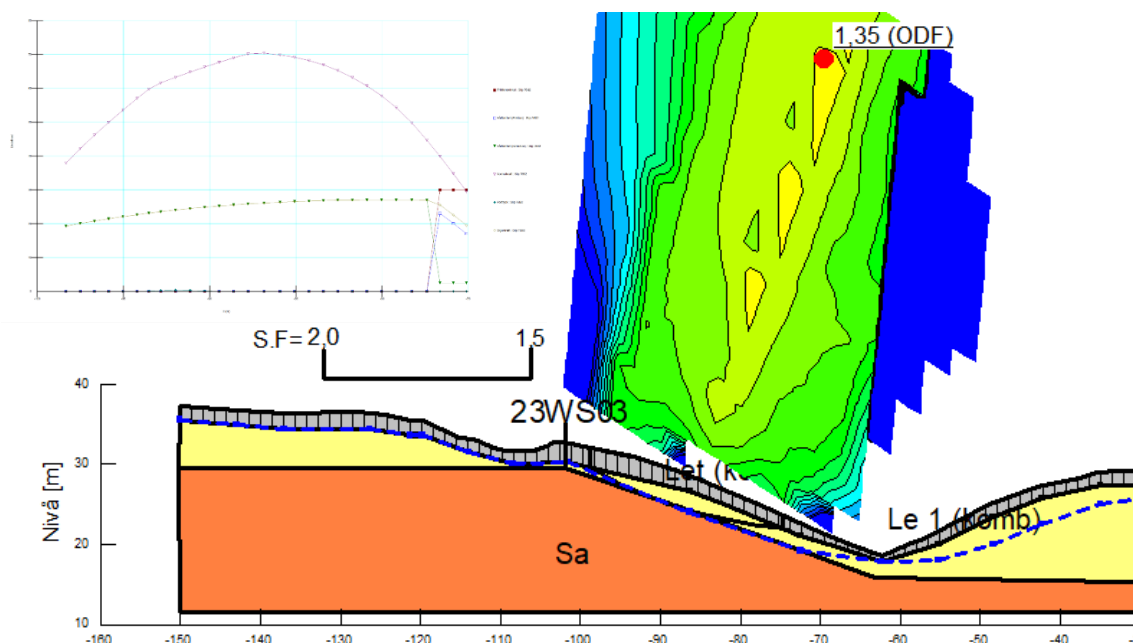
Figur 8-12: Sektion 18405VR, den östra slänten mot södra ravinen, odränerad analys.

Sektion 18445VR

Sektion 18445VR ligger ca 360 m norr om bäckens utlopp i Göta älv och lermäktigheten är väldigt begränsad. Friktionsmaterialets mäktighet under leran har inte verifierats.

Glidyten med lägst säkerhetsfaktor vid kombinerad analys är ca 25 m lång och har en säkerhetsfaktor på $F_{komb}=1,35$. Glidyten är nästan helt odränerad, det är bara ca 2 m som är dränerad.

I odränerad analys är den lägsta säkerhetsfaktor också $F_c=1,36$ och glidyten utbredning är något kortare än vid kombinerad analys, ca 20 m lång.



Figur 8-13: Sektion 18445VR, den östra slänten mot södra ravinen, kombinerad analys.

8.4.3 Norra ravinen

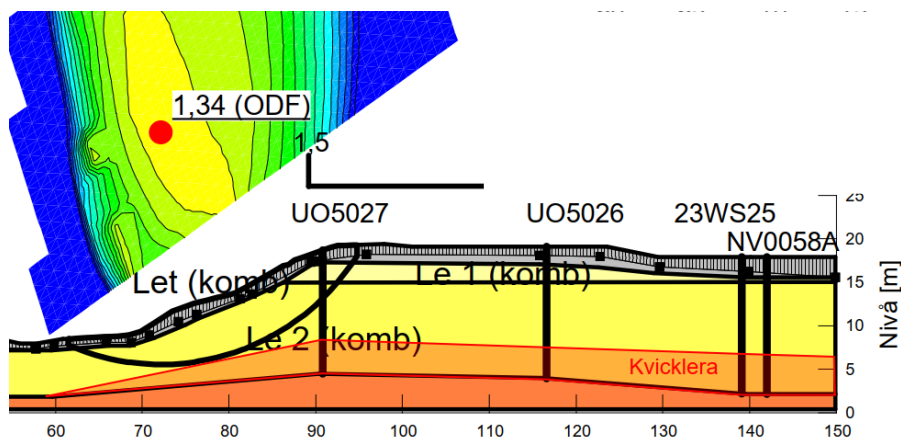
Stabiliteten har kontrollerats i tre representativa sektioner för den norra sidoravinen (17730VR, 17755VR och 17770VR), se lägen i Figur 8-1. Stabiliteten har generellt konstaterats vara tillfredsställande för befintliga förhållanden för samtliga slänter ner mot denna ravin.

Sektion 17730VR

Sektion 17730VR ligger ca 110 m norr om Göta älv. Den västra slänten utgörs av lera och har analyserats med avseende på stabilitet. Den östra slänten utgörs av fastmark enligt tidigare utförda undersökningar.

Glidyten med lägst säkerhetsfaktor vid kombinerad analys har en utbredning på ca 35 m och har en säkerhetsfaktor $F_{\text{komb}}=1,34$; se Figur 8-14. Vid odränerad analys har glidyten också en utbredning på ca 35 m och en högre säkerhetsfaktor, $F_c=1,74$.

I tidigare utförd Göta älvutredning beräknades säkerhetsfaktorn för samma slänt till ca $F_c=1,4$ och $F_{\text{komb}}=1,2$. Att nu beräknade lägsta säkerhetsfaktorer är markant högre än tidigare beräknade i GÄU beror på förfinad jordmodell baserad på nya undersökningar. Den nya jordmodellen innebär en högre hållfasthet för leran (landlera) tillsammans med tillgodoserande av anisotropieffekter i leran.

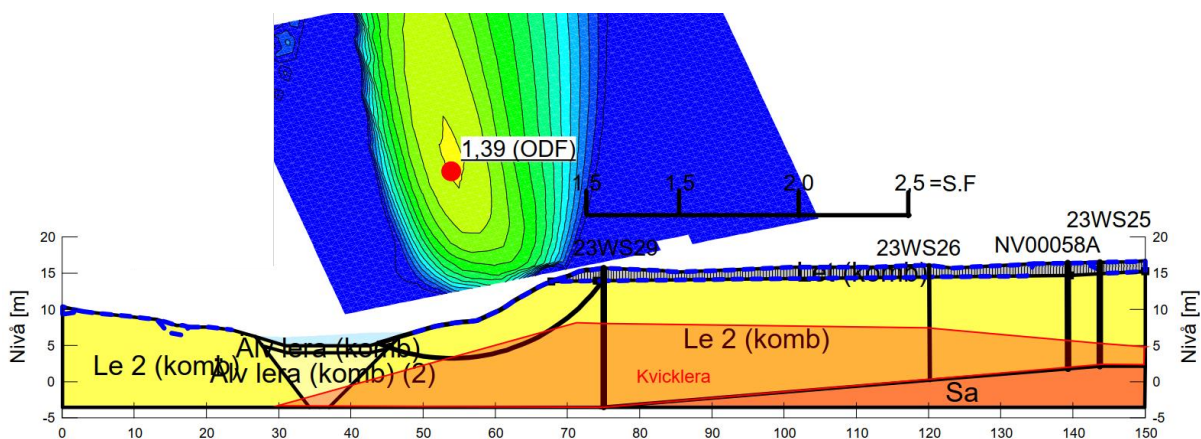


Figur 8-14: Sektion 17730VR, den västra slänten mot norra ravinen, kombinerad analys.

Sektion 17755VR

Sektion 17755VR ligger ner mot utlopp till Göta älv, dvs samma vattenstånd bedöms gälla i denna sektion som i älven. Inga undersökningar har utförts i botten på ravinen. Egenskaperna för leran under ravinbotten har antagits vara detsamma som älvleran.

Glidyten med lägst säkerhetsfaktor har en utbredning på ca 30 m och en säkerhetsfaktor på $F_{\text{komb}}=1,39$; se Figur 8-15. Vid odränerad analys är glidyten utbredd ca 40 m och har en säkerhetsfaktor på $F_c=2,29$.

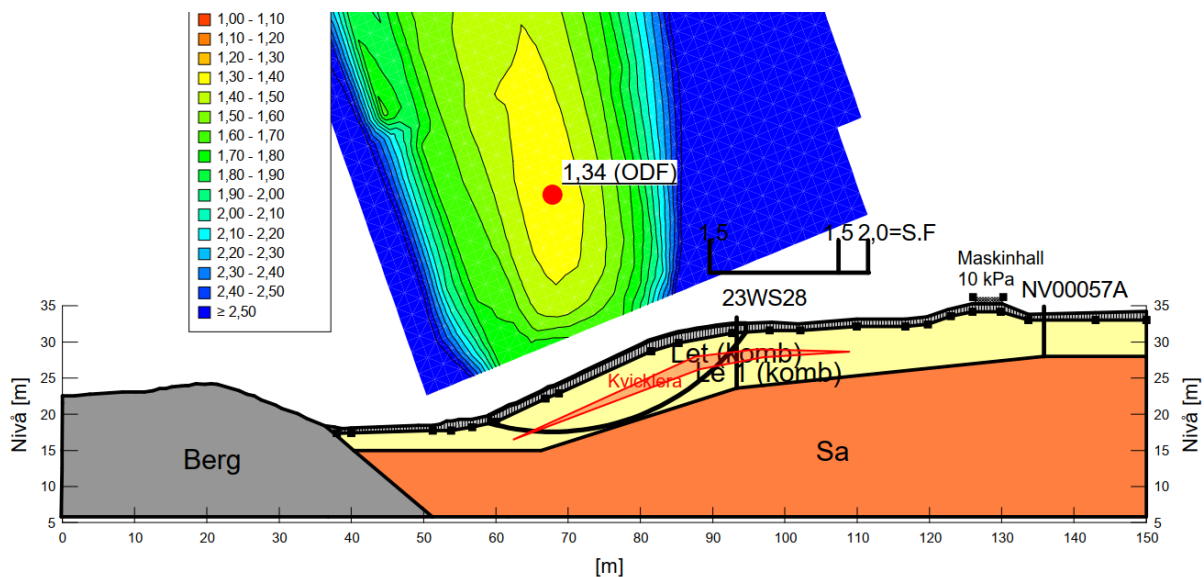


Figur 8-15: Sektion 17755VR, den västra slänten mot norra ravinen, kombinerad analys.

Sektion 17770VR

Sektion 17770VR ligger ca 200 m norr om Göta älv och strax sydväst om gården. Lerdjup och egenskaper har undersökts vid krönet, men inte längre ner i slänten och vid släntfot. Kartering av yttligt berg visar dock att det finns berg vid ravinbotten och i motstående slänt. Därmed bedöms lerdjupet vara begränsat i ravinens botten. Längre nedströms (i sektion 17730VR) visar tidigare undersökningar på ca 1-1,5 m friktionskord på berg i botten (bh U05028).

Glidyten med lägst säkerhetsfaktor har en utbredning på ca 35 m och en säkerhetsfaktor på $F_{komb}=1,34$, se Figur 8-16. Vid odränerad analys är glidyten utbredning något högre, ca 40 m, och säkerhetsfaktor är $F_c=1,57$. I båda fall når glidyten till underkant lera. Lermäktighet har bekräftats vid släntkrön och uppskattats utifrån topografi och synligt berg vid släntfot.



Figur 8-16: Sektion 17770VR, den västra slänten mot norra ravinen, kombinerad analys.

8.4.5 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 8-9 redovisas lägsta säkerhetsfaktor mot brott (totalsäkerhetsanalys) i utförda stabilitetsanalyser för befintliga förhållanden. Stabilitetsanalyserna redovisas i sin helhet i Bilaga 5.

Tabell 8-9: Säkerhetsfaktor mot brott enligt totalsäkerhetsmetoden i analyserade beräkningssektioner. Feta röda siffror innebär att rekommenderad säkerhetsnivå för stabiliteten, enligt ställda krav enligt IEG Rapport 4:2010, inte är uppfylld.

Totalsäkerhet, F_{tot}			
Vattendrag – Sektion	Odränerad analys, ca F_c	Kombinerad analys, ca F_{komb}	
Göta älv		Älven	Land
17630V	1,43	-	1,30
17865V	2,49	-	1,52
17970V	2,45	0,97	1,45
18120V	3,05	1,66	1,93
18275V	1,55	-	1,42
18430V	1,38	-	1,25
Södra Ravin			
18330VR	1,40	1,30	
18395VR	1,58	1,48	
18405VR	1,42	1,21	
18445VR	1,36	1,35	
Norra Ravin			
17730VR	1,74	1,34	
17755VR	2,29	1,39	
17770VR	1,57	1,34	

Utförda stabilitetsberäkningar visar att säkerhetsfaktorn mot brott generellt uppfyller rekommenderad säkerhetsnivå (fördjupad stabilitetsutredning enligt IEG Rapport 4:2010) inom huvuddelen av utredningsområdet.

På grund av svårtillgänglig terräng norr om norra sidoravinen har det inte varit möjligt att utföra geotekniska undersökningar i den delen och säkerhetsnivå har valts utifrån en detaljerad stabilitetsutredning enligt IEG Rapport 4:2010.

Sektion 17630V uppfyller inte rekommendationen för detaljerad utredningsnivå. Angränsande områden är mycket väl undersökta. Baserat på den informationen har valda geotekniska parametrar inom de nordöstra slänterna valts konservativt.

Lokalt finns en brant undervattenslänth i älven för vilken beräknade säkerhetsfaktorer i kombinerad analys är mycket låga, ca $F_{komb}=1,0$. Glidyterna är dock korta och lokala. Ett eventuellt mindre skred anses vara naturligt för dessa slänter och bedöms inte medföra någon omgivningspåverkan varvid åtgärdsförslag inte har studerats för dessa slänter. Sensitivitet i den närmaste punkten i land är ca 50.

8.5 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 faktorer/parametrar:

- utbredd ogynnsamt placerad markbelastning på 10 kPa (från exempelvis en uppfyllnad)
- förhöjda portrycksnivåer
- grundvattennivå
- jorddjup
- skjuvhållfasthet
- erosion längs vattendragen

Känslighetsanalyser har utförts i de sektioner där ovan nämnda parametrar har bedömts kunna ha påverkan på framtida stabilitetsförhållanden.

Göta älv:

- 17630V – Skjuvhållfasthet och grundvattennivå
- 17970V – Marklast, erosion, skred i undervattensslänt
- 18430V – Erosion, portryck

Södra ravinen:

- 18405VR – Skjuvhållfasthetsgräns

Norra ravinen:

- 17770VR – Jorddjup

En sammanställning av resultaten från samtliga utförda känslighetsanalyser återfinns i Tabell 8-10.

8.5.1 Marklast (trafiklast)

En 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. Känslighetsanalysen har utförts i en sektion mot älven (17970V). Samma last skulle också kunna simulera t.ex. en jordbruksmaskin på åkern.

Enligt utförda känslighetsanalyser minskar säkerhetsfaktorn mot brott mot Göta älv med ca 5 % då en utbredd last på 10 kPa påförs ovan släntröner. Lägsta säkerhetsfaktor mot brott är dock för befintliga förhållanden så pass hög att den ändå uppfyller rekommenderad säkerhetsnivå. Stabilitetsförhållandena är därmed att klassa som tillfredsställande även vid en extra påförd markbelastning.

8.5.2 Förhöjt portryck

Portrycket har höjts med 10 kPa genom hela lerlagret i en sektion mot älven, 18430V. Vattennivån i vattendraget har inte ändrats. Sektion 18430V ligger i den västra delen av området och har valts eftersom den representerar en brant slänt ner mot älven och säkerhetsfaktorn i kombinerad analys precis klarar ställt krav, $F_{komb}=1,25$. Vidare är portrycksprofilen vald baserad på en tidigare och relativt kort mätserie.

Utförda känslighetsanalyser visar att säkerhetsfaktorn mot kombinerat stabilitetsbrott minskar med ca 6% vid det ovan beskrivna förhöjda portrycket. Stabilitet är därmed inte längre att klassa som tillfredsställande.

Det anses dock generellt att portrycket i den nedre delen av jordprofilen normalt ej påverkas av årstidsberoende skillnader i grundvattenytans nivå, så aktuell känslighetsanalys är att betrakta som konservativt utformad. Det innebär alltså att ett sådant scenario ej bedöms som sannolikt, utan kan ses som ett ytterlighetsfall. Vidare är släntens geometri sådan att ett högre portryck inte bedöms kunna byggas upp pga slänter åt flertalet håll. Dessutom är säkerhetsfaktorn beräknad med förhöjt portryck inte särskilt låg ($F_{\text{komb}}=1,18$). Sammantaget bedöms ingen åtgärd erfordras.

8.5.3 Grundvattennivå

Grundvattennivån har höjts i sektion 17630V eftersom inga geotekniska undersökningar är utförda i området. Utförda känslighetsanalyser visar att säkerhetsfaktorn mot kombinerat stabilitetsbrott minskar med ca 5%.

Slänten är väldigt brant och är med största sannolikhet utdränerad. Således anses det att modellerat scenario är ej sannolikt.

8.5.4 Förändrad geometri genom erosion

1 m respektive 2 m erosion (enligt styrdokument)

Känsligheten för erosion av slänter och botten under farleden i Göta älv har studerats för ett fall där de ursprungliga marknivåerna sänkts med 1 m respektive 2 m och genom anpassning till befintliga nivåer. Känslighetsanalysen är utförd i två sektioner mot Göta älv, 17970V och 18430V, där erosionen modellerats enligt styrdokument DGA00XST01 med geometriska förändringar enligt typsektion B1-1 (slänt med undervattenshylla och med erosionsskydd, se Figur 8-17).



Figur 8-17: Typsektion B1-1 enligt styrdokument DGA00XST01

Utförda analyser för 1 m erosion visar att lägsta säkerhetsfaktor i odränerad analys påverkas marginellt. Säkerhetsfaktorn i kombinerad analys minskar med ca 3 %. Stabilitetsförhållandena för undervattensslänten i älven blir bättre efter erosion.

Utförda analyser med 2 m erosion visar att säkerhetsfaktorerna för glidytor som går från land minskar med ca 12-18 % för kombinerat brott och ca 2-6 % för odränerat brott. Säkerhetsfaktorerna för lokala glidytor i undervattensslänten ökar med ca 10 %.

Rekommenderade stabilitetskrav uppnås inte i sektion 18430V med utförd känslighetsanalys avseende erosion. Stabilitetskraven i sektion 17970V är tillfredsställande för 1 m erosion, men inte 2 m.

Erosion i form av mindre skred i undervattensslänt

Stabiliteten för undervattensslänten i sektion 17970V är ej tillfredsställande för befintliga förhållanden (ca $F_{\text{komb}}=1,0$). Det har därför utförts en känslighetsanalys för att analysera hur ett skred i undervattensslänten skulle påverka de längre glidytorna från land.

Utförd känslighetsanalys visar att säkerhetsfaktorn mot brott i kombinerad analys minskar med ca 3 % för de längre glidytorerna, men stabiliteten är fortfarande tillfredsställande. Den ytliga leran i undervattensslänten bedöms inte utgöras av kvicklera, dvs ingen risk för bakåtgripande sekundärskred pga erosion av undervattensslänten.

8.5.5 Skjuvhållfasthet

Gräns mellan släntrön och slänthot i den södra ravinen

Känslighetsanalys avseende skjuvhållfasthetsgränsen mellan släntrön och slänthot har utförts i en sektion mot södra ravinen (18405VR). På grund av mycket brant terräng har det inte varit möjligt att utföra geotekniska undersökningar i själva slänten, utan bara i slänthot och vid släntrön. Eftersom egenskaperna varierar har en gräns mellan jordmodell för slänthot respektive släntrön ansatts ligga ca $\frac{1}{4}$ upp i slänten (baserat på tidigare erfarenhet). Sektion 18405VR har valts för känslighetsanalys eftersom den har den lägsta beräknade säkerhetsfaktorn. Slänten är väldigt brant, jorddjupet är begränsat och leran på krönet och ner i slänten bedöms vara helt utdränerad. Leran i denna sektion har mer av en siltig karaktär. Med bakgrund på detta så är det mest troligt att lerans egenskaper i släntrön gäller ända ner till slänthot, vilket har analyserats i en känslighetsanalys.

Utförd analys visar att lägsta säkerhetsfaktor ökar med ca 6-9 % för såväl kombinerad som odränerad analys när gränsen mellan hållfasthetsmodellerna ansätts ligga i slänthot, dvs nedanför slänten, istället för ca $\frac{1}{4}$ upp i slänten.

Skjuvhållfasthet

Inga geotekniska undersökningar kunde utföras i slänten mot Göta älv norr om den norra ravinen (sektion 17630V) pga brant och otillgänglig terräng. Geofysiska mätningar har utförts och utgör underlag för jorddjup och jordtyp. I beräkningar för befintliga förhållanden har det antagits att leran har samma egenskaper som leran i sektion 17770VR (i den inre delen av norra ravinen, närmast gården). Det anses vara ett rimligt antagande med hänsyn till att sektionerna avser likartade branta slänter med begränsat jorddjup. För känslighetsanalys har dock sektion 17630V också analyserats med en lägre odränerad skjuvhållfasthet (motsvarande ländlera). Denna hållfasthet gäller dock generellt inom områden med större lerdjup och anses därför vara mindre trolig för sektion 17630V.

Utförd analys visar att lägsta säkerhetsfaktor minskar med ca 12-16 % mot såväl ett kombinerat som ett odränerat brott. Säkerhetsfaktorerna är ca $F_{\text{komb}}=1,15$ respektive $F_c=1,20$; dvs stabiliteten uppfyller inte rekommenderad säkerhetsnivå. Enligt resonemang ovan är dock inte denna låga hållfasthet trolig i aktuell slänt och inga åtgärdsförslag rekommenderas.

8.5.6 Jorddjup

På grund av brant och svårtillgänglig terräng var det inte möjligt att utföra geotekniska fältundersökningar i slänthot i den inre delen av den norra ravinen (sektion 17770VR). En manuell kartering av ytligt berg har dock utförts och resulterat i att ungefärligt utbredning av berg i dagen på motstående sida av ravinen har fastlagts, se Markteknisk Undersökningsrapport. En känslighetsanalys avseende jorddjup i botten av ravinen har genomförts för sektion 17770VR.

Utförd känslighetsanalys med avseende på jorddjup visar att lägsta säkerhetsfaktor minskar med ca 8-10% mot såväl ett kombinerat som ett odränerat brott. Rekommenderade stabilitetskrav uppnås inte för kombinerad analys i sektion 17770VR med utförd känslighetsanalys avseende jorddjup. Säkerhetsfaktorn är ca $F_{\text{komb}}=1,2$.

8.5.7 Sammanställning av utförda känslighetsanalyser

Känslighetsanalyser har utförts i valda sektioner för att analysera inverkan av tillkommande markbelastning, förhöjt porttryck, erosion, lägre skjuvhållfasthet och större jorddjup. I Tabell 8-10 redovisas lägsta säkerhetsfaktorer mot brott för utförda känslighetsanalyser i sektioner mot Göta älv och sidoravinerna, 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 framtida erosion vilket

bedöms kunna minska säkerhetsfaktorn med upp emot ca 18 % (vid 2 m erosion) jämfört med dagens befintliga förhållanden.

Ett högre porttryck i slänten ner mot älven påverkar stabiliteten negativt och säkerhetsfaktorn mot kombinerat brott minskar med ca 6 %.

Ett större jorddjup än ansatt i ursprunglig analys påverkar stabilitet i den norra ravinen negativ. Säkerhetsfaktor minskar med ca 6 % och säkerhetsfaktor är inte längre tillfredställande. Om man önskar fastställa det faktiska jorddjupet i norra delen av området, erfordras mycket omfattande åverkan på vegetationen. Då området är biotopskyddat rekommenderas inte att utföra ytterligare undersökningar. Stabiliteten anses vara tillräckligt då det inte finns några hotade objekt.

Resultatet av utförda känslighetsanalyser, och påverkan på lägsta säkerhetsfaktor mot brott, anses inte föranleda något behov av stabilitetsförbättrande åtgärd inom området. Störst beräkningsmässig påverkan har en förändrad släntgeometri till följd av erosion i Göta älv. Baserat på rådande botten-topografi (med en "hylla" och ett grundare vattenområde närmast strandkant och en lokal undervattens slänt en bit ut i älven) anses de glidytor med en beräkningsmässig låg säkerhet i Göta älv vid ett erosionsscenario inte utgöra någon alarmerande stabilitetsrisk för landområdena längs älven. Det rekommenderas dock att med löpande mellanrum hålla erosionsaktiviteten under uppsikt.

Tabell 8-10: Säkerhetsfaktorns variation beroende på känslighetsanalys. Faktiska värden samt procentuell förändring mot ursprunglig säkerhetsfaktor (för befintliga förhållanden).

Vattendrag - sektion - känslighetsanalys	F _{komb}		Procentuell förändring		F _c	Procentuell förändring
Göta älv – 17630V						
Ursprunglig beräkning	1,30				1,43	
Hållfasthet	1,14		-12%		1,20	-16%
Grundvattennivå	1,23		-5%		1,42	-1%
Göta älv – 17970V	Älv	Land	Älv	Land		
Ursprunglig beräkning	0,97	1,45			2,45	
Erosion 1 m, fall B1-1	1,02	1,41	+5%	-3%	2,49	+2%
Erosion 2 m, fall B1-1	1,08	1,19	+11%	-18%	2,42	-2%
Uppfyllnad, marklast 10 kPa	0,97	1,44	-	-	2,33	-5%
Skred i undervatten slänten	-	1,41	-	-3%	2,49	+1%
Göta älv – 18430 V						
Ursprunglig beräkning	1,25				1,38	
Erosion 1 m	1,21		-3%		1,37	-1%
Erosion 2 m	1,11		-11%		1,30	-6%
Förhöjt porttryck, 10 kPa	1,18		-6%		1,38	-
Södra ravin – 18405VR						
Ursprunglig beräkning	1,21				1,42	
Skjuvhållfasthetsgräns	1,32		+9%		1,51	+6%
Norra ravin – 17770VR						
Ursprunglig beräkning	1,34				1,57	
Jorddjup	1,26		-6%		1,50	-5%

9 SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER

Föreliggande fördjupade stabilitetsutredning visar att stabilitetsförhållandena inom *huvuddelen* av utredningsområdet Stenarsröd-Hålleröd är att klassa som tillfredsställande och uppfyller rekommenderad säkerhetsnivå enligt IEG Rapport 4:2010 för denna typ av markområde och aktuell utredningsnivå.

Undantag gäller dock för områdets allra nordostligaste del, slänterna kring sektion 17630V, där möjligheten till undersökningar starkt begränsades på grund av mycket svårtillgänglig/-forcerad terräng. Utredningsnivån för denna del av området är snarare att klassa som detaljerad nivå och säkerheten uppfyller inte rekommenderad nivå. Geotekniska parametrar anses ha valts konservativ och det bedöms inte föreligga någon skredrisk i området. Med hänsyn till rådande vegetation och naturvärden, tillsammans med resultatet av utförda stabilitetsanalyser, anses det inte föreligga något behov av vidare geotekniska undersökningar eller åtgärder inom detta släntavsnitt.

Glidytor i riktning mot Göta älv har generellt som lägst säkerhetsfaktor ca $F_c=1,4$ respektive $F_{komb}=1,25$. Lokalt finns en brant undervattensslänt som har för låg säkerhetsfaktor, ca $F_{komb}=1,0$. Utförd känslighetsanalys visar dock att även om det går ett mindre skred i undervattensslänten, så är stabiliteten fortsatt tillfredsställande för de längre glidytor som går upp på land. Mot bakgrund av detta anses det inte erfordras några stabilitetsförbättrande åtgärder.

Eventuell erosion i slänterna vid Göta älv påverkar stabiliteten negativt. Enligt utförda känslighetsanalyser bedöms erosion kunna minska säkerhetsfaktorn med ca 18 % (vid 2 m erosion), vilket skulle innebära att erforderlig säkerhet inte uppnås. Erosionsprocessen i älven rekommenderas därmed att fortsatt hållas under uppsikt med hjälp av återkommande sjömätning (batymetri) i älven samt besiktning av erosionsskydden längs älven. Förslag på tidsintervall mellan mätillfällen är 5 år.

Stabiliteten längs de båda sidoravinerna bedöms vara tillfredsställande för befintliga förhållanden. För den delen närmaste gården av den norra ravinen finns det dock en viss osäkerhet i jorddjup och om djupet är större än ansatt är stabiliteten inte tillfredsställande. För att säkerställa jordmäktigheten i detta område kan någon form av geofysisk undersökning utföras som komplement till de geotekniska undersökningarna.

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

Som ett komplement till denna fördjupade stabilitetsutredning och tillhörande känslighetsanalyser rekommenderas en statistisk utredning av brottsannolikheten i slänterna inom delområdet. Vid en statistisk utredning erhålls en bättre helhetsbild av området med stöd av beräkning av sannolikheten för ett stabilitetsbrott i en slänt och att skred ska kunna inträffa.

WSP SVERIGE AB
BOX 13033
412 50 GÖTEBORG
Besök: Fabriksgatan 1

T: +46 10-722 50 00
Org nr: 556057-4880
wsp.com

