

## **26500VPM01**

### **Hjärtum 2:22**

Lilla Edets kommun

Fördjupad släntstabilitetsutredning

## **Projekterings-PM/Geoteknik**



**Uppdragsansvarig:** Henrik Lundström

**Handläggare:** Frida Lundin  
David Palmquist

**Granskning:** Henrik Lundström

**Uppdragsnr:** 20042

**Datum:** 2021-11-26

**Revision:**

## Innehåll

1	Uppdrag .....	3
2	Syfte.....	3
3	Underlag .....	3
4	Styrande dokument.....	3
5	Befintliga förhållanden.....	4
5.1	Mark, vegetation och topografi .....	4
5.2	Befintlig bebyggelse .....	4
5.3	Befintligt erosionskydd .....	4
5.4	Geotekniska förhållanden.....	4
5.5	Geohydrologiska förhållanden.....	7
6	Släntstabilitet.....	7
6.1	Allmänt.....	7
6.2	Valda parametrar .....	8
6.3	Beräkningar.....	10
6.4	Resultat och slutsats .....	11

## Bilagor

Bilaga 1:1-1:24	Jordlagerparametrar
Bilaga 2:1-2:4	Skjuvhållfasthetssammanställningar
Bilaga 3:1-3:6	Konsolideringsdiagram
Bilaga 4:1-4:10	Sammanställningar, anisotropi
Bilaga 5:1-5:9	Portrycksprofiler med val
Bilaga 6:1-6:16	Resistivitet och kvicklereutvärdering
Bilaga 7:1-7:3	Sammanställning, gynnsamma och ogynnsamma förhållanden
Bilaga 8:1-8:31	Släntstabilitetsberäkningar, befintliga förhållanden
Bilaga 9:1-9:10	Släntstabilitetsberäkningar, känslighetsanalys
Bilaga 10:1-10:6	Släntstabilitetsberäkningar, anisotropi
Bilaga 11:1-11:28	Släntstabilitetsberäkningar, åtgärdsförslag
Bilaga 12:1-12:6	Befintligt erosionskydd, foton
Bilaga 13:1-13:3	Erosionskartering, foton

## Ritningar

G501	Plan, områdesavgränsningar och beräkningssektioner	2021-11-26
G502	Plan, erosionskydd	2021-11-26
G503	Plan, kvicklereutbredning	2021-11-26
G504	Plan, primär- och sekundärskred	2021-11-26
G505	Åtgärdsförslag	2021-11-26

## 1 Uppdrag

På uppdrag av Lilla Edets kommun, med SGI som medfinansiärer, har Bohusgeo AB utfört en geoteknisk undersökning och släntstabilitetsutredning för en delsträcka längs Göta älvs västra sida vid Hjärtum, Lilla Edets kommun.

## 2 Syfte

Syftet med undersökningen och utredningen är att uppnå fördjupad utredningsnivå enligt IEG Rapport 4:2010 och att redovisa befintlig släntstabilitet och översiktligt ge förslag till stabilitetsförbättrande åtgärder för slänter mot Göta älv och mot tvärravin.

## 3 Underlag

Underlaget för de i denna PM redovisade utvärderingarna utgörs av:

- fält- och laboratoriearbeten utförda av oss för projektet, samt äldre relevanta undersökningar. Resultaten finns redovisade i en MUR 2020-12-08 (uppdragsnr. 20042).
- utvalda delar ur följande handlingar:
  - Delegationen för Göta älv 2020, DGA00XST01 Riktlinjer för tekniskt arbete, Avser stabilitetsutredningar längs Göta älv, Statens geotekniska institut, SGI, Linköping, 2020-09-10.
  - Delegationen för Göta Älv 2019, DGA00XST02 Riktlinjer för dokumenthantering, Avser stabilitetsutredningar längs Göta älv, Statens geotekniska institut, SGI, Linköping, 2019-11-05.
  - Helen Åhnberg m.fl. GÄU delrapport 32, Hantering av kvicklereförekomst vid stabilitetsbedömning för Göta älv, Statens geotekniska institut, Linköping, 2011

## 4 Styrande dokument

Utredningen har utförts i enlighet med tillämpliga delar i dokument förtecknade i Tabell 1.

**Tabell 1, Styrdokument**

Typ av utredning	Styrande dokument
Alla utredningar	SS-EN 1997-1, SS-EN 1997-2 IEG Rapport 2:2008, rev 3 IEG Rapport 4:2008, rev 1
Släntstabilitet	Skredkommissionens rapport 3:95 IEG Rapport 4:2010 TKGeo
Slänter och bankar	IEG Rapport 6:2008, rev 1

## 5 Befintliga förhållanden

### 5.1 Mark, vegetation och topografi

Det undersökta området är ca 1200 x 500 m och utgörs i huvudsak av åkermark mot Göta älv. Området avgränsas av en tvärravin i söder, Göta älv i öster och Kungälvsvägen i väster, se ritning G501 med markerat undersökningsområde. Markytans nivå varierar mellan ca +20 och +30 i områdets västra del och minskar mot Göta älv i öster. Bottennivån i älven ligger som lägst på ca -14. Inom åkermarken är markytan generellt relativt flack, men i den centrala samt södra delen av området förekommer branta slänter mot älven och mot tvärravinen. Markytans lutning varierar mellan som minst ca 1:40 inom åkermarken och som mest ca 1.5:1 för undervattensslänterna i älven. Släntens lutning i tvärravinen varierar mellan ca 1:2 och ca 1:2.5 och slänterna mot älven har en lutning på mellan ca 1:1.5 och 1:2.5. Lokalt förekommer brantare slänthlutningar.

### 5.2 Befintlig bebyggelse

Inom den centrala delen av området finns ett reningsverk.

### 5.3 Befintligt erosionsskydd

Längs Göta älv finns ett befintligt erosionsskydd i älvkanten. En okulär besiktning av erosionsskyddet har utförts från land för projektet. Bilder från besiktningen redovisas i bilaga 12. Erosionsskyddets utbredning redovisas på ritning G502. I övriga delar av undersökningsområdet saknas erosionsskydd.

Erosionsskyddet består i huvudsak av sprängsten och block som ligger i slänten vid vattenbrynet och som i den övre delen avslutas av en plan yta med ca 3-4 m bredd som troligtvis användes som arbetsväg vid utförandet av erosionsskyddet. Utlagt material är på delar av sträckan helt eller delvis övervuxet, men den översiktliga bedömningen är att erosionsskyddet är intakt. Inom en mycket begränsad del iaktogs dock viss urspolning vid besiktningen, se figur 7 i bilaga 12.

Erosionsskyddets utbredning och skick under vattenytan har inte undersökts.

### 5.4 Geotekniska förhållanden

Det totala sonderingsdjupet varierar mellan ca 4 och ca 49 m. Ett flertal sonderingar har avbrutits på djup mellan ca 40 och ca 45 m utan att stopp erhållits. Generellt är jorddjupet som minst i områdets västra del och ökar successivt mot älven i öster. Jordlagren bedöms under det ca 0.2-0.4 m tjocka vegetationsjordlagret från markytan räknat i huvudsak utgöras av:

- fast ytlager (saknas delvis)
- lera
- friktionsjord vilande på berg

Det fasta ytlaget utgörs i huvudsak av **silt**, men även **finsand** och **torrskorpelera** har påträffats. Silten har bitvis torrskorpekaraktär och är gyttjig i

enstaka prover. Tjockleken varierar i huvudsak mellan ca 1 och ca 2 m. Vattenkvoten har uppmätts till mellan ca 10 och ca 45 %. Silten är mycket tjällyftande och starkt flytbenägen. Inom vattenområdet i Göta älv saknas det fasta ytlagret.

**Lera** finns till mellan ca 2 och ca 48 m djup under markytan. Mäktigheten är störst i områdets östra del och minskar mot väster. Leran är delvis siltig och i enstaka prov gyttjig. Gyttejinnehållet förekommer i lerlagrets övre del. Vattenkvoten har i huvudsak uppmätts till mellan ca 50 och ca 80 %. Konflytgränsen har uppmätts till mellan ca 40 och ca 80 %. I bilaga 1 redovisas sammanställningar av erhållna jordlagerparametrar.

Information om lerans skjuvhållfasthet, sensitivitet, anisotropi och konsolideringsegenskaper redovisas under kapitel 5.4.1-5.4.4 nedan.

**Friktionsjorden** under leran har inte undersökts närmare. Sonderingarna har i regel trängt ned mellan 0 och ca 5 m och stoppat i den fast lagrade friktionsjorden, delvis utan och delvis med stopp mot sten, block eller berg.

#### 5.4.1 Skjuvhållfasthet

Lerans skjuvhållfasthet har i fält bestämts genom vingförsök och CPT-sonderingar och på laboratorium genom konförsök och direkta skjuvförsök. Dessutom har en empirisk utvärdering med ledning av utförda CRS-försök utförts. Skjuvhållfastheten har korrigerats för konflytgränsen och för överkonsolideringsgrad (OCR) i närliggande provtagningspunkter. Sammanställningar av skjuvhållfastheterna redovisas i bilaga 2. Den korrigerade skjuvhållfastheten uppgår till mellan ca 10 och ca 30 kPa närmast under det fasta ytlagret och ökar till mellan ca 50 och ca 70 kPa på nivå -30.

För prover tagna i älven har även passiva triaxial-försök utförts i en punkt. Aktiva triaxial-försök är utförda i en punkt direkt söder om utredningsområdet. Lerans anisotropa egenskaper beskrivs närmare under kapitel 5.4.4.

#### 5.4.2 Sensitivitet

Sensitiviteten har uppmätts i laboratorium på tagna ostörda prover. Dessutom har resistivitetmätningar utförts vid ett flertal av Cpt-sonderingarna.

Sammanställningar av sensitiviteten redovisas i bilaga 1 och varierar i regel mellan ca 20 och ca 650. Högst sensitivitet har uppmätts i de djupaste proverna i älven. Leran bedöms vara mellan- till högsensitiv och delvis kvick och extremt kvick. I ett flertal prover bedöms inte lerans som kvick även om sensitiviteten överstiger 50, eftersom den omrörda skjuvhållfastheten är över 0.4 kPa. Kvikklara har påträffats inom stora delar av området, förutom längs älven i undersökningsområdets centrala och södra del. På ritning G503 redovisas bedömt område med förutsättningar för kvicklara. Observera dock att kvickleran i flera punkter enbart påträffats i de djupaste proverna. Bedömningen har delvis baserats på resistivitetmätningen.

Resistivitetmätningarna, utförda med CPTu-R, har utvärderats med SGIs utvärderingsverktyg i Excel och redovisas tillsammans med sammanställningar av samtliga resistivitetvärden i bilaga 6. Erhållen resistivitet varierar mellan ca 0.9 och ca 550  $\Omega\text{m}$ . De högsta erhållna värdena bedöms vara registrerade i friktionsjord utan saltinnehåll. Tumregler från tidigare studier gör gällande att förutsättningar för kvicklera kan finnas när resistiviteten överstiger ca 5  $\Omega\text{m}$ . Jämförelser mellan bedömd kvicklera i rutinundersökningen och motsvarande resistivitetmätning i detta projekt visar dock att kvicklera förekommer för resistiviteter redan runt ca 3.5  $\Omega\text{m}$ . Resistivitetssammanställningen visar att risken för kvicklerreförekomst ökar för minskande lermäktigheter och att resistiviten är som högst i den övre och undre delen av jordprofilen, vilket bedöms överensstämma med gängse teorier om urlakning av marin lera.

På grund av den delvis mycket höga sensitiviteten finns förutsättningar för att eventuella skred kan bli bakåtgripande. Se kapitel 6.4.4 för ytterligare information angående bakåtgripande skred.

### 5.4.3 Konsolideringsförhållanden

För att undersöka lerans konsolideringsförhållanden har kompressionsförsök typ CRS utförts. Konsolideringsdiagram med total- och effektivspänningar samt med utvärderat förkonsolideringstryck från CRS och empiriskt utvärderat förkonsolideringstryck från vingförsök och CPT-sonderingar redovisas i bilaga 3. Leran bedöms i huvudsak som normalkonsoliderad till svagt överkonsoliderad.

### 5.4.4 Anisotropi

Lera är ett anisotropt material vilket innebär att skjuvhållfastheten varierar beroende på skjuvningsvinkel. Ju brantare skjuvningsvinkel på aktivsidan, desto högre värde antar lerans skjuvhållfasthet (upp till 60 graders skjuvningsvinkel). Generellt erhålls högre säkerhetsfaktorer vid beräkningar med hänsyn tagen till anisotropi.

En utredning av lerans anisotropa egenskaper för undersökningsområdet har utförts med hjälp dels av empiriska utvärderingar baserade på K0 enligt metod beskriven i Skredkommissionens rapport 3:95 och dels av aktiva och passiva triaxial-försök. De passiva försöken är utförda i punkt 19SW12 i älven och de aktiva försöken är utförda i punkt 20GO01 strax söder om utredningsområdet. Undersökningspunkternas lägen kan ses på planritning G101 i MUR 2020-12-08. Eftersom de aktiva försöken inte har utförts inom undersökningsområdet har en jämförelse av jordlagerparametrar utförts mellan punkt 20GO01 och kolvprovtagningar inom undersökningsområdet, för att bedöma om jordlagerförhållandena är likartade. Sammanställningarna redovisas i bilaga 4. Samtliga sammanställda jordlagerparametrar påvisar god korrelation mellan punkterna och utförda aktiva triaxial-försök bedöms därför som representativa för utredningsområdet.

Den empiriska utvärderingen av anisotropifaktor vid aktiv ( $60^\circ$ ) och passiv ( $-30^\circ$ ) skjuvning jämfört med direkt skjuvning ger medelvärden på 1.4 respektive 0.9. Triaxial-försöken ger aktiv och passiv faktor 1.2 respektive

1.0 vid jämförelse med vald skjuvhållfasthet vid direkt skjuvning, se bilaga 4.

## **5.5 Geohydrologiska förhållanden**

Portrycksnivån i lerprofilen har uppmätts i 9 punkter (2-4 spetsar/punkt). För tre av punkterna (U05165, U05167 och U05168) pågick mätningar under perioden juni-augusti 2010. Övriga mätningar har utförts under perioden juli-december 2020, med loggeravläsning var fjärde timme. De uppmätta trycknivåerna för mätningarna under 2020 redovisas i MUR 2020-12-08 och övriga mätningar redovisas i de äldre handlingar som är hänvisade till i rapportens arkivmaterialsammanställning. Portrycksmätningar har fortsatt fram till 2021-06-11, dessa mätningar redovisas ej i vår MUR utan har efterhand redovisats av SGI.

Portrycksprofiler för mätningarna i respektive punkt redovisas i bilaga 5. Generellt är uppmätta tryckvariationer relativt små, särskilt i de djupare spetsarna.

Den övre grundvattennivån (0-portrycksnivån) bedöms vara belägen mellan 0.5 och 2.5 m under markytan. Grundvattenytan ligger djupast i de mätningar som är utförda vid släntkrön. I undersökningsområdets södra och centrala delar uppvisar mätningarna generellt en hydrostatisk tryckfördelning mot djupet, vilket innebär en ökning med ca 10 kPa/m. I de lägst belägna punkterna vid älven i områdets nordöstra del ökar trycket med mer än 10 kPa/m mot djupet och jämfört med en hydrostatisk fördelning har ett övertryck på ca 20 kPa uppmätts i lerans underkant i dessa punkter.

Trycknivån i lerans underkant varierar mellan ca +11 och +11.5 för mätpunkterna längs älven och ökar mot väster. Längre in i undersökningsområdet har trycknivån i lerans underkant uppmätts till ca +13.

Vid platsbesök påträffades inget rinnande vatten i tvärravinen, men under perioder med riklig nederbörd kan rinnande vatten förväntas.

## **6 Släntstabilitet**

### **6.1 Allmänt**

Släntstabiliteten har beräknats i 6 sektioner, se placering på ritning G501. På ritningen är beräknade sektioner markerade med heldragna linjer. Vid val av beräkningssektioner har samtliga undersökningssektioners geometrier och jordlagerförhållanden beaktats. Sektionerna är även valda så att beräkningarna ska ge en god bild av släntstabiliteten inom hela undersökningsområdet.

Stabilitetsberäkningarna har utförts med datorprogrammet Geo Studio 2018 och 2021. Beräkningarna har utförts med cirkulärcylindriska glidytor med odränerad (c) och kombinerad analys (komb). Beräkningarna är utförda med totalsäkerhetsmetoden, dels för befintliga förhållanden och dels för stabilitetsförbättrande åtgärder. Beräkningar är även utförda med hänsyn till

anisotropi. Känslighetsanalyser med avseende på förhöjda porttryck och ytterligare erosion i undervattensslänterna i älven är också utförda.

Den utförda undersökningen bedöms motsvara fördjupad nivå enligt IEG R4:2010.

Erforderliga säkerhetsfaktorer enligt IEG R4:2010 framgår av Tabell 2. Eftersom det finns ett reningsverk inom området samt att Göta älv används för transporter m.m. bedöms kraven för befintlig bebyggelse gälla inom undersökningsområdet.

**Tabell 2, Erforderliga säkerhetsfaktorer enligt IEG R4:2010**

Utredningsnivå	$F_c$	$F_{komb}$
Fördjupad utredning, befintlig bebyggelse	$\geq 1.4-1.3$	$\geq 1.3-1.2$

För att välja erforderliga säkerhetsfaktorer har en värdering gjorts utifrån en sammanställning av gynnsamma och ogynnsamma förhållanden enligt IEG Rapport 4:2010. Sammanställningen redovisas i bilaga 7. De erforderliga säkerhetsfaktorerna från sammanställningen ligger i den nedre delen av intervallet i Tabell 2. Eftersom leran delvis är kvick ska dock beräknade säkerhetsfaktorer ligga i den övre delen av intervallet och erforderlig säkerhetsfaktor har därför valts enligt Tabell 3.

**Tabell 3, Valda erforderliga säkerhetsfaktorer**

Utredningsnivå	$F_c$	$F_{komb}$
Fördjupad utredning, befintlig bebyggelse	$\geq 1.35$	$\geq 1.25$

## 6.2 Valda parametrar

### 6.2.1 Tunghet

Val av tunghet redovisas tillsammans med sammanställningar av jordlagerparametrar i bilaga 1. Tre olika val av tungheten har gjort: ett val för tvärravinen, ett val för Göta älv och ett val inom övriga delar av undersökningsområdet.

### 6.2.2 Skjuvhållfasthet och friktionsvinkel

Sammanställningar med valda skjuvhållfastheter redovisas i bilaga 2. Då tydliga variationer i skjuvhållfastheten har iakttagits inom olika delar av det undersökta området, har en uppdelning gjorts i tre olika delområden, där erhållna skjuvhållfastheter inom respektive delområde bedöms vara likartade. Områdesindelningen redovisas på ritning G501.

Värden från utförda skjuvförsök ligger generellt högre än Cpt-sonderingar och vingförsök. Vingförsöken ligger generellt lågt i förhållande till övriga värden. Med hänsyn till de direkta skjuvförsöken har skjuvhållfasthetsvalen i huvudsak lagts i överkant av Cpt-sonderingarna.



Den friktionsjord som överlagrar leran består i huvudsak av silt. Med stöd av erfarenhetsvärden för silt har en friktionsvinkel på 32° valts för beräkningarna.

### 6.2.3 Portryck

Valda portryck framgår av bilaga 5 och motsvarar i stort sett högsta uppmätta värden. Portrycksfördelningen redovisas även i beräkningssektionerna i bilaga 8, se exempelvis bilaga 8:5.

En känslighetsanalys för förhöjda portryck har utförts i två av beräkningssektionerna, se Tabell 6. Vid känslighetsanalysen har portrycken höjts med ca 10 kPa i hela portrycksprofilen. Valt portryck vid känslighetsanalysen redovisas för aktuella undersökningspunkter i bilaga 5.

### 6.2.4 Vattenstånd, Göta älv

Dimensionerande vattenstånd för Göta älv har erhållits från dokument DGA00XST01, se kapitel 3, och redovisas i Tabell 4. Vattennivåerna är angivna i höjdsystem RH2000.

**Tabell 4, Dimensionerande vattenstånd, Göta älv**

Tillstånd	Vattennivå
Övre vattenyta, dämmningshöjd	+7.6
Medelvattenyta	+7.5
Nedre vattenyta, sänkningshöjd	+6.6

Vid beräkningarna har vattennivån för nedre vattenyta använts.

### 6.2.5 Laster

Vid beräkningarna har inga tillkommande laster på markytan vid eller i närheten av släntkrön medräknats eftersom området består av åkermark.

### 6.2.6 Anisotropi

Beräkningar med hänsyn till anisotropi har utförts i samtliga 6 beräkningssektioner, se Tabell 7 nedan. Beräkningssektionerna redovisas i bilaga 10.

Med ledning av utförda triaxial-försök i närbelägna områden och empiriska utvärderingar har faktorn för aktiv skjuvhållfasthet valts till 1.2 och för passiv skjuvhållfasthet till 0.9. Valen bedöms vara på säkra sidan.

### 6.2.7 Erosion i Göta älv

En känslighetsanalys med avseende på erosion i undervattensslänten har utförts i en av beräkningssektionerna, enligt riktlinjer och typsektioner angivna i DGA00XST01, se kapitel 3. Typsektioner B1-2 bedöms vara de sektioner som geometriskt ligger närmast aktuell sektion. Riktlinjen innebär att ca 2 m av botten i slänkfoten eroderar bort och att slänstabiliteten kontrolleras för den nya geometrin. Beräkningssektionen redovisas i bilaga 9 och beräknade säkerhetsfaktorer redovisas i Tabell 6.

### 6.3 Beräkningar

Beräknade säkerhetsfaktorer för befintliga förhållanden redovisas i Tabell 5. I tabell 6 beräknas släntstabiliteten med avseende på förhöjda portryck och erosion. I tabell 7 ges som en jämförelse släntstabilitetsberäkningar för befintliga förhållanden utan anisotropi. I tabell 8 ges förslag på släntstabilitetsförbättrande åtgärder beräknade med anisotropi.

Åtgärderna i Göta älv omfattar dels ett erosionskydd /tryckbank för att säkerställa den branta undervattensslänten dels avschaktning på släntkrön.

För tvärravinen har två olika möjligheter studerats för att förstärka området. Det redovisade alternativet på ritning G505 är en avlastningsschakt och en utfläckning av slänten. En annan möjlighet för att bevara åkermark är att höja bäckbotten, vilket bedöms kunna utföras då fallet i bäckbotten bedöms kunna medge en höjning. Bäckan är egentligen ett dike som troligen går torrt delar av året. Likartade projekt har utförts i Lilla Edets kommun vid Åby, söder om Ström.

**Tabell 5, Beräknade säkerhetsfaktorer, befintliga förhållanden med anisotropi.**

Sektion\Analys	F <sub>c</sub>	F <sub>komb</sub>
Sektion 26/351, befintliga förhållanden	1.98	1.7
Sektion 26/351, undervattenslänt, befintliga förhållanden	2.08	1.14
Sektion 26/742, befintliga förhållanden	1.22	1.18
Sektion 26/742, undervattenslänt, befintliga förhållanden	2.02	1.03
Sektion 26/948, befintliga förhållanden	1.46	1.41
Sektion 26/948, undervattenslänt, befintliga förhållanden	2.44	1.74
Sektion 27/081, befintliga förhållanden	1.36	1.27
Sektion 27/081, undervattenslänt, befintliga förhållanden	1.77	1.05
Sektion 27/218, befintliga förhållanden	1.21	1.18
Sektion 27/218, undervattenslänt, befintliga förhållanden	2.40	1.24
Sektion 0/213, befintliga förhållanden	1.17	1.09
Sektion 0/418, befintliga förhållanden	1.35	1.22

**Tabell 6, Beräknade säkerhetsfaktorer, känslighetsanalys med anisotropi.**

Sektion\Analys	F <sub>c</sub>	F <sub>komb</sub>
Sektion 27/218, förhöjda portryck	1.21	1.17
Sektion 27/218, förhöjda portryck, undervattenslänt	2.40	1.23
Sektion 0/418, förhöjda portryck	1.35	1.15
Sektion 27/218, erosion	1.17	1.14
Sektion 27/218, erosion, undervattenslänt	2.23	1.30

**Tabell 7, Beräknade säkerhetsfaktorer, utan anisotropi**

Sektion\Analys	F <sub>c</sub>	F <sub>komb</sub>
Sektion 27/218, befintliga förhållanden, utan anisotropi	1.14	1.11
Sektion 27/218, undervattenslänt, befintliga förhållanden, utan anisotropi	2.22	1.24
Sektion 0/418, befintliga förhållanden, utan anisotropi	1.26	1.18

**Tabell 8, Beräknade säkerhetsfaktorer, åtgärdsförslag med anisotropi.**

Sektion\Analys	F <sub>c</sub>	F <sub>komb</sub>
Sektion 26/351	2.06	1.79
Sektion 26/351, undervattenslänt	2.20	1.63
Sektion 26/742	1.35	1.32
Sektion 26/742, undervattenslänt	2.19	1.50
Sektion 27/081	1.38	1.32
Sektion 27/081, undervattenslänt	1.84	1.26
Sektion 27/218	1.36	1.31
Sektion 27/218, undervattenslänt	2.47	1.55
Sektion 0/213, åtgärd 1, höja bäckbotten	1.47	1.26
Sektion 0/213, åtgärd 2, global glidyta	1.40	1.25
Sektion 0/213, åtgärd 2, lokal glidyta	1.88	1.27
Sektion 0/418, åtgärd 1, höja bäckbotten	1.40	1.25
Sektion 0/418, åtgärd 2, global glidyta	1.52	1.25
Sektion 0/418, åtgärd 2, lokal glidyta	1.75	1.32

## 6.4 Resultat och slutsats

Släntstabiliteten bedöms vara otillfredsställande för befintliga förhållanden i söder och norr om det befintliga reningsverket samt i tvärravinen. Norr om reningsverket är det främst undervattensslänten i älven som har otillfredsställande släntstabilitet men även större glidytor är delvis otillfredsställande. Söder om reningsverket är det en kombination av undervattensslänten och större glidytor som är otillfredsställande. Tvärravinen uppvisar otillfredsställande släntstabilitet i hela sträckningen.

För att släntstabiliteten ska bli tillfredsställande krävs släntstabilitetsförbättrande åtgärder både för tvärravinen, slänterna mot Göta älv samt för undervattensslänterna i älven.

### 6.4.1 Känslighetsanalys portryck

Känslighetsanalysen med avseende på portryck visar att en höjning av portrycket med 10 kPa i princip inte påverkar beräknade säkerhetsfaktorer i sektion 27/218 ut mot älven. I tvärravinen i sektion 0/418 minskar säkerhetsfaktorn med mellan ca 0 till ca 6 % vid ett förhöjt portryck.

#### 6.4.2 Känslighetsanalys erosion

Känslighetsanalysen för erosion i undervattensslänten visar att beräknade säkerhetsfaktorer minskar med ca 3-4 % för de större glidytor som påverkar slänten på land. Vid utförda beräkningar av glidytor enbart i undervattensslänten påverkas inte säkerhetsfaktorn negativt av erosionen, vilket beror på den förändrade geometrin och hur den är uppritad i erosionsmodellen.

#### 6.4.3 Anisotropi

Vid beräkningar där hänsyn tagits till anisotropi har generellt en ökning av säkerhetsfaktorn med ca 2-8 % erhållits. För ett par beräkningar påvisas dock ingen ökning alls.

#### 6.4.4 Primär- och sekundärskred

Eftersom förutsättningar för kvicklera finns inom stora delar av utredningsområdet samt att släntstabiliteten har bedömts som otillfredsställande bedöms det finnas förutsättningar för bakåtgripande skred. En bedömning av utbredningen för primär- och sekundärskred har utförts och redovisas på ritning G504.

Primärskreds begränsningen markerar den bakre gränsen mellan otillfredsställande och tillfredsställande släntstabilitet, dvs gränsen där beräknad säkerhetsfaktor är 1.35 respektive 1.25, beroende på vilken analysmetod som är mest ogynnsam. Mellan beräkningssektionerna har en interpolering gjorts, med viss hänsyn till områdets topografi.

Lerans sensitivitet varierar kraftigt inom området. Eftersom förutsättningar för kvicklera finns inom stora delar av området, bland annat både väster och öster om det delområde där kvicklera saknas, bedöms förutsättningar för bakåtgripande skred finnas inom hela utredningsområdet.

Sekundärskreds begränsningen har bedömts utifrån en tänkt skredslänt med lutning 1:15 från älvens botten upp till lerlagrets överkant. I den övre friktionsjorden har en skredslänt med lutning 1:3 valts. Bedömningen är gjord med ledning av den metod som är beskriven i GÄU delrapport 32, se kapitel 3. Extrem kvicklera förekommer inom undersökningsområdet men bedöms inte förekomma i sådan omfattning att den bör styra bedömningen av utbredningen av sekundära skred. I områdets nordvästra del begränsas skredutbredningen av fastmark.

#### 6.4.5 Erosion

Erosionsskydd finns, som tidigare beskrivet, längs strandlinjen vid Göta älv, men saknas bland annat vid utlopp för åkerdräneringar och i tvärravinen.

Vid platsbesök noterades erosion på flera ställen inom undersökningsområdet, vilket redovisas på ritning G502 och i bilaga 13. Även om erosionsskyddet i strandlinjen mot älven bedöms som intakt kan fortsatt erosion i slänterna och i tvärravinen lokalt försämra släntstabiliteten ytterligare framöver. Även erosion i undervattensslänterna kan successivt försämra släntstabiliteten mot älven enligt känslighetsanalysen.

#### 6.4.6 Åtgärdsförslag

Sex sektioner har beräknats för att illustrera möjliga åtgärder inom områden med låg säkerhet; två i tvärravinen och fyra mot Göta älv. För att visa hur stora åtgärderna kan bli har sektioner med låga beräknade säkerhetsfaktor för befintliga förhållanden valts. Beräkningarna redovisas i Tabell 8 och i bilaga 11. I bilagan redovisas även åtgärdsförslagets geometri i sektion.

Åtgärderna är dimensionerade för förhöjda portryck motsvarande portrycken vid känslighetsanalysen. Eftersom det antagna högre portrycket har marginell betydelse för åtgärdens storlek känns det omotiverat att inte dimensionera för det högre portrycket. Variationerna i uppmätta portryck är små varvid prognoser för höga portryck inte är motiverat att utföra. Vi vet av erfarenhet att ett prognosticerat värde hamnar något över högsta uppmätta värden då variationen i portrycken är små. Förslag på åtgärder innefattar avschaktning av släntröner, tryckbank i släntröner och utfläckning av slänt. Nedan i Tabell 9 redovisas uppskattade mängder för förstärkningar redovisade på planritning G505. Vid detaljprojektering kan mängder komma att ändras.

Släntröner i tvärravinen står generellt för brant. Åtgärder i tvärravinen kombineras med fördel med ett erosionsskydd då inget erosionsskydd finns i den delen av området i dagsläget.

Åtgärder i älven för att förbättra släntstabiliteten för undervattensslänten kan utföras som avschaktningar eller tryckbank. Vilka åtgärder som är lämpliga med hänsyn till fartygstrafik, genomförbarhet, kostnad m.m. får utredas närmare vid detaljprojektering. Vattenhastigheten har tillhandahållits av SGI och beräknas vara under 1 m/s på de ställen där undervattensslänten står brant. En minimitjocklek av erosionsskyddens tjocklek beräknas bli ca 0,5 m. Vi har i ritning G505 redovisat erosionsskydd/tryckbank på de ställen där undervattensslänten står brant. På övriga delar av sträckan har vi ej bedömt att erosionsskydd erfordras utan där krävs istället en uppföljning av pågående erosion så att erosionen inte flyttar på sig och då orsakar otillfredsställande släntstabilitet.

Enligt vår bedömning är det ofta svårt att lägga ut ett erosionsskydd på rätt ställe vid de relativt stora vattendjup som råder. Eventuellt kan man behöva bygga upp ett erosionsskydd/tryckbank från "botten" för att få stöd för utläggningen av fyllningarna. Det finns även en risk med fyllningsarbetet som mycket väl kan starta ett skredförlopp. Vi har dock begränsad erfarenhet av liknande arbeten i strömmande vatten och har svårt att värdera risken.

**Tabell 9. Uppskattade mängder från planritning G505**

Åtgärd	Mängder
Avschakt	16 000 m <sup>3</sup>
Fyllning	1 500 m <sup>3</sup>
Erosionsskydd	33 000 m <sup>3</sup>