

Åkerström norra, Göta älv

Fördjupad stabilitetsutredning

Dokumenttyp:

Geotekniskt PM

Dokumentnummer:

14600VPM01

Diarienummer/Uppdragsnummer SGI:

6.2-2205-0440/10317



Ändringsförteckning

Ver	Datum	Ändringsbeskrivning	Granskad	Godkänd av

Kund Statens geotekniska institut

Uppdrag Åkerström norra
Uppdragsnummer Sweco 30046482
Uppdragsledare AnnLouise Elliot
Upprättad av Daniel Björn / Henrik Falch
Datum 2023-06-30
Granskad av (datum) Jonas Lersten (2023-05-30)

Dokumentreferens BD
\\sweco.se\se\got01\projekt\22321\30046482_åkerström_norra\000\3_genomforande\35_arbetsmaterial\geoteknik\pm\14600vpm01.docx

Innehållsförteckning

1	Uppdrag	6
1.1	Syfte	6
1.2	Styrande dokument	7
1.3	Underlag	7
2	Utförda undersökningar	7
3	Undersökningsområde	8
3.1	Delområdesindelning	8
4	Topografi och markbeskaffenhet	9
4.1	Delområde Norr (14/200–14/425)	9
4.2	Delområde Centralt (14/425–14/700)	9
4.3	Delområde Söder (14/700–15/000)	10
5	Geotekniska förhållanden	10
5.1	Norr (14/221V, 14/336V, 14/420VR)	11
5.2	Centralt (14/420VR, 14/450V, 14/531V, 14/600V, 14/671V)	11
5.3	Söder (14/735V, 14/828VR, 14/869V, 14/917VR)	12
5.4	Strand	12
5.5	Lerans anisotropa egenskaper	13
6	Hydrogeologiska förhållanden	16
6.1	Vattennivå Göta älv	16
6.2	Hydrogeologiska zoner	16
6.3	Portrycksprofil, Norr	17
6.4	Portrycksprofil, Centralt	19
6.5	Portrycksprofil, Söder	21
7	Kartering av kvicklera	22
8	Kartering erosionsskydd	23
9	Stabilitetsberäkningar	24
9.1	Krav på säkerhetsfaktor	24
9.2	Valda parametrar	25
9.2.1	Valda materialparametrar, Strand	26
9.2.2	Valda materialparametrar, Norr	27
9.2.3	Valda materialparametrar, Centralt	28
9.2.4	Valda materialparametrar, Söder	28
9.3	Valda portryck	29
9.3.1	Valda portryck, Norr	29
9.3.2	Valda portryck, Centralt	29
9.3.3	Valda portryck, Söder	30
9.4	Beräkningsresultat	31
9.4.1	Beräkningsresultat, Norr	31
9.4.2	Beräkningsresultat, Centralt	32
9.4.3	Beräkningsresultat, Söder	33
10	Utvärdering primära- och sekundära skred	34
11	Känslighetsanalys	34
11.1	Ökade portryck	34
11.2	Erosion	36
12	Åtgärdsförslag	37

13	Sammanfattning	39
14	Fortsatta arbeten	40

Bilagor:

<i>Beteckning</i>		<i>Datum</i>	<i>Rev. datum</i>	<i>Sidor</i>
Bilaga 1	Valda värden	2023-06-30		6
Bilaga 2	Utvärdering tolkad kvicklera	2023-06-30		33
Bilaga 3	Hydrogeologiska förhållanden	2023-06-30		13
Bilaga 4	Utvärdering av erforderlig säkerhetsfaktor	2023-06-30		4
Bilaga 5	Stabilitetsberäkningar, Befintliga förhållanden	2023-06-30		111
Bilaga 6	Stabilitetsberäkningar, Känslighetsanalys portryck	2023-06-30		53
Bilaga 7	Stabilitetsberäkningar, Känslighetsanalys erosion	2023-06-30		25
Bilaga 8	Stabilitetsberäkningar, Åtgärder	2023-06-30		49

Ritningar:

<i>Beteckning</i>	<i>Typ</i>	<i>Skala/Format</i>	<i>Datum</i>
G-10-1-003	Plan: Delområdesindelning och beräkningssektioner	1:1250 / A1	2023-06-30
G-10-1-004	Plan: Tolkad kvicklera och skredutbredning	1:1250 / A1	2023-06-30
G-10-1-005	Plan: Omfattning åtgärder	1:1250 / A1	2023-06-30

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.

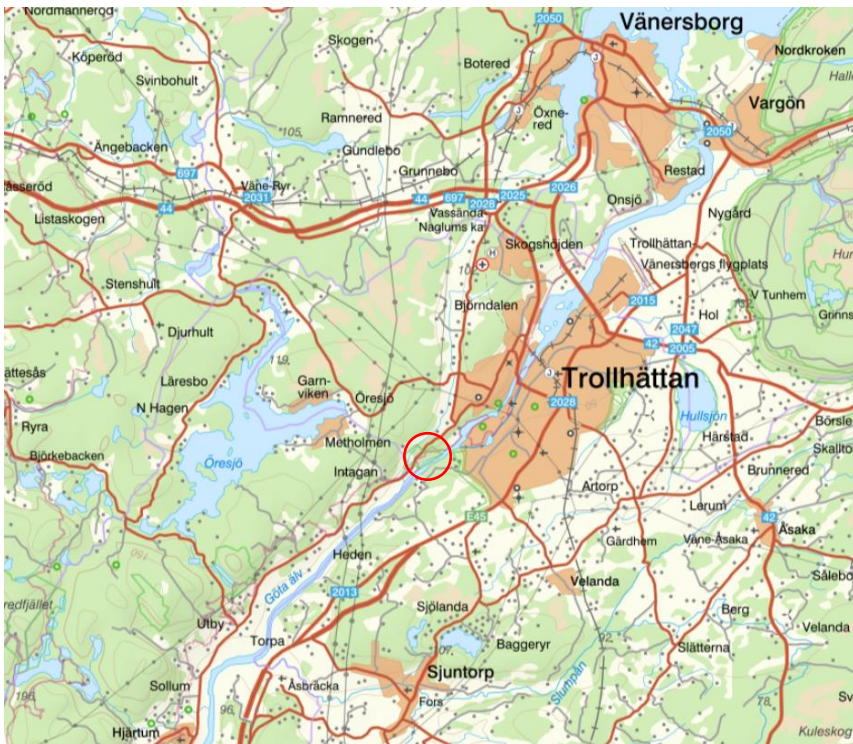
Stabilitetsutredningarna görs av geotekniska konsulter under ledning av SGI. I uppdragen ingår bland annat att presentera en bedömning av skjuvhållfastheten och att ge förslag på lämpliga stabilitetshöjande åtgärder. Utredningsresultaten ligger till grund för SGI:s fortsatta arbete med analys och beräkning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

Statens geotekniska institut, Sekretariatet för Göta älv

1 Uppdrag

På uppdrag av SGI har Sweco utfört fördjupad stabilitetsutredning inom området Åkerström norra i Trollhättans kommun, se Figur 1. Området ligger söder om Trollhättan tätort längs Göta älvs västra strand inom Åkerströms naturreservat. Området var tidigare del i delområde 5 i Göta älvutredningen.

Uppdraget omfattar kompletterande fält- och laboratorieundersökningar, stabilitetsberäkningar för befintliga förhållanden och för eventuella förstärkningsåtgärder samt kartering av utbredningen av kvicklera.



Figur 1: Kartbild med aktuell plats markerat i rött, Lantmäteriets karttjänst (2023)

1.1 Syfte

Detta PM har till syfte att redovisa geotekniska förhållanden, förutsättningar och antaganden samt resultat av utförda stabilitetsberäkningar. Målet med utredningen är att klargöra om stabiliteten för befintliga förhållanden är tillfredställande eller om stabilitetshöjande åtgärder erfordras i området.

Därtill utgör utredningen underlag för SGI:s sannolikhetsberäkningar och skredriskbedömningar för uppdatering av skredriskkartan över Göta älv.

1.2 Styrande dokument

Utredningen har utförts enligt riktlinjer i följande styrande dokument:

- Delegationen för Göta älv 2019, DGA00XST01 Riktlinjer för tekniskt arbete, Avser stabilitetsutredningar längs Göta älv, Statens geotekniska institut, SGI, Linköping, 2022-04-29.
- Delegationen för Göta Älv 2019, DGA00XST02 Riktlinjer för dokumenthantering, Avser stabilitetsutredningar längs Göta älv, Statens geotekniska institut, SGI, Linköping, 2022-04-29.
- Skredkommissionen rapport 3:95.
- IEG rapport 4:2010 Tillståndsbedömning/klassificering av naturliga slänter.

1.3 Underlag

Följande underlag har tillhandahållits av SGI vilka har använts som underlag för utredningen:

- Göta älvutredningen (GÄU) Delområde 5 Intagan - Ström, Markteknisk undersökningsrapport/Geoteknik, Daterad 2011-08-31. Diarienummer: 6-1010-0027. Dokumentnummer: 05RA004.
- Göta älvutredningen (GÄU) Delområde 5 Intagan - Ström, Teknisk PM Geoteknik, Stabilitetsberäkningar. Daterad 2012-12-20. Diarienummer: 6-1001-0027. Dokumentnummer: 05PM001.
- Göta älvutredningen GÄU Delområde 11, Delsträckan Intagan - Ström (delområde 5 på land). Försöksrapport/Fält, Dateras 2010-12-10, Diarienummer: 6 1001-0040. Dokumentnummer: 11RA004.
- Göta älvutredningen - delrapport 32. Hantering av kvicklereförekomst vid stabilitetsbedömning för Göta älv – Riktlinjer. Linköping 2011.
- Befintliga undersökningsdata i digitalt format från Göta älvutredningen, delområde 5 och 11.
- Bottentopografi från batymetrisk data, sjömätning Göta Älv år 2020 med 1 meters grid i tif-format.
- Höjddata från Lantmäteriets WCS-tjänst år 2022 med 1 meters grid i tif-format.
- Väglinje avseende längdmätning för Göta älv i dwg-format.
- Excelmallar erhållna av SGI för sammanställning av lab. – och fältdata, val av skjuvhållfasthetsfördelning och utvärdering kvicklera CPT och Tr.

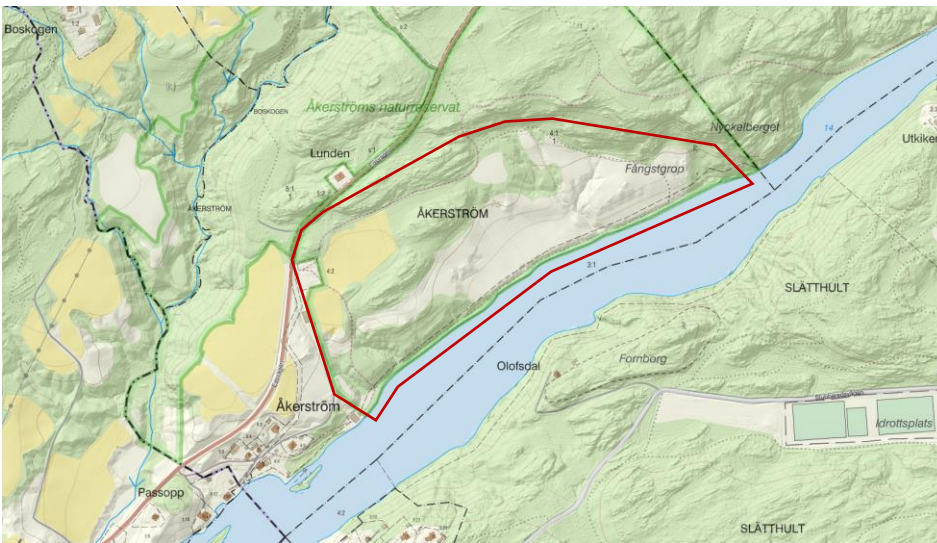
2 Utförda undersökningar

Utförda fält- och laboratorieundersökningar har utförts av Sweco respektive SGI under perioden oktober till december 2022. Resultaten från undersökningarna presenteras i Markteknisk undersökningsrapport, geoteknik (MUR/Geo) med dokumentnummer 14600VRA01.

3 Undersökningsområde

Aktuellt område är beläget i Trollhättans kommun inom Åkerströms naturreservat på västra sidan av Göta älv, mellan km 14/200 och km 15/000 enligt längdmätningen från Göta älvutredningen. Området begränsas av Edsvägens gamla sträckning genom Åkerström i sydväst. I norr avgränsas området av en bergslutning som går från Edsvägen i väst till Nyckelberget i öst, se Figur 2.

Aktuellt området utgörs mestadels av betesmark och skogsmark som idag nyttjas som kohage. Inom området finns partier med berg i dagen. Området genomkorsas av tre större bäckraviner.



Figur 2: Kartbild med utredningsområdet ungefärligt inringat i rött, Lantmäteriets karttjänst (2023).

3.1 Delområdesindelning

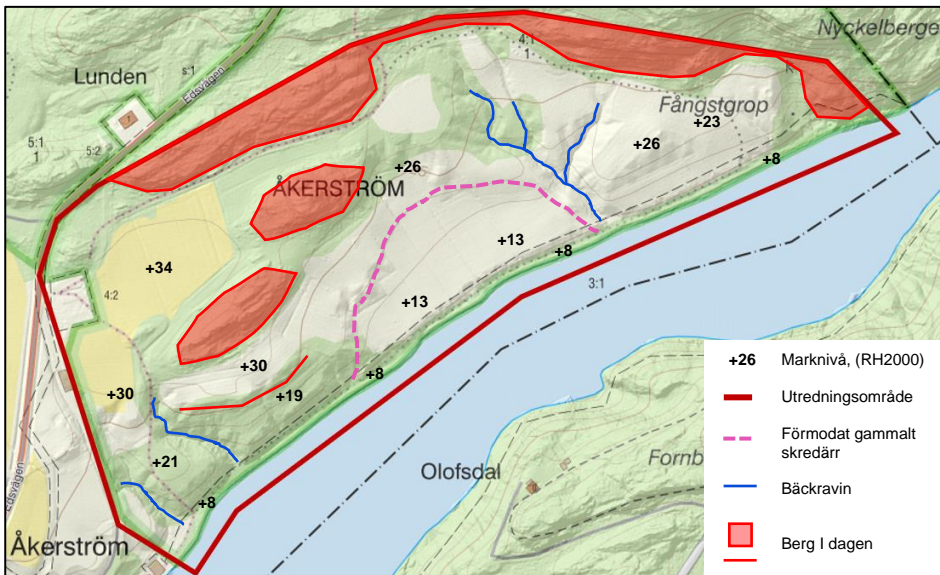
Området har delats in i fyra delområden baserat på geotekniska förhållanden och topografisk karaktär. Dessa områden är följande:

- Norr (km 14/200–14/425)
- Centralt (km 14/425–14/700)
- Söder (km 14/700–15/000)
- (Strand)

Delområde Norr och Centralt skiljs åt av den norra ravinen som mynnar ut i älven vid ca km 14/420. Delområde centralt karakteriseras av ett förmodat gammalt skredärr medan delområde Söder ligger i nära anslutning till mycket berg i dagen och genomkorsas av två raviner. Delområde Strand innefattar det låglänta området närmast älven samt älvbotten vilket särskiljs i rapporten från övriga endast vid materialparametersammanställningen på grund av avvikande parametrar på leran. Se ritning G-10-1-003 för redovisning av områdesindelningen i plan.

4 Topografi och markbeskaffenhet

Marknivåer inom området varierar generellt från +8 vid älvstranden till +35 vid höjdområdet i nordväst (RH2000). Undantag är två större bergknallar i områdets västra delar samt berg längs områdets norra gräns, där marknivåerna är högre. Se Figur 3 för en illustration av områdets topografiska karaktär.



Figur 3: Kartbild från lantmäteriet (2023) visande marknivåns variation inom området samt utbredning av raviner och berg i dagen.

4.1 Delområde Norr (14/200–14/425)

Delområde Norr innefattar området nordöst om den nordligaste bäckravinen. Marken består mestadels av gles skog och betesmark. Vid strandlinjen finns ett erosionsskydd bestående av block som sträcker sig omkring 5–8 meter inåt land.

Terrängen sluttar inledningsvis svagt nedåt från nordväst, ca 1:10 från nivå +26 till +22. Inom ca 60 meter från strandlinjen blir terrängen brantare med lutningar som brantast 1:1,5 ner till erosionsskyddet vid älvstranden där marknivån är omkring +8. Slänten ner mot ravinen vid delområdets södra gräns har en lutning på ca 1:1–1:2,5.

Älvbotten sluttar generellt ca 1:2,5–1:4 ner till sin djupaste del belägen på nivå ca -7.

4.2 Delområde Centralt (14/425–14/700)

Delområde Centralt som utgörs mestadels av ett gammalt skredärr, se Figur 3, begränsas av den norra bäckravinen i nordöst och av bergknallarna i nordväst och väst. Området består mestadels av betesmark med enstaka träd. Vid strandlinjen finns ett erosionsskydd bestående av block som sträcker sig omkring 5–8 meter inåt land.

Inom området sluttar terrängen generellt 1:5 till 1:10 från nivå ca +26 i nordväst till ca +13 på krönet omkring 20 meter från älven. Härifrån blir slänten sedan brantare ner till älven, där marknivån är ca +8, med lutning på 1:1,5 som

brantast. Slänten mot ravinen vid delområdets norra gräns har en lutning på ca 1:1,5–1:2.

Älvbotten har en hylla och sluttar generellt inledningsvis flackt från strandlinjen (ca 12 m) med lutning ca 1:10–1:30. Därefter sluttar älvbotten brantare med lutning på ca 1:3 ner till sin djupaste del belägen på nivå ca -10.

4.3 Delområde Söder (14/700–15/000)

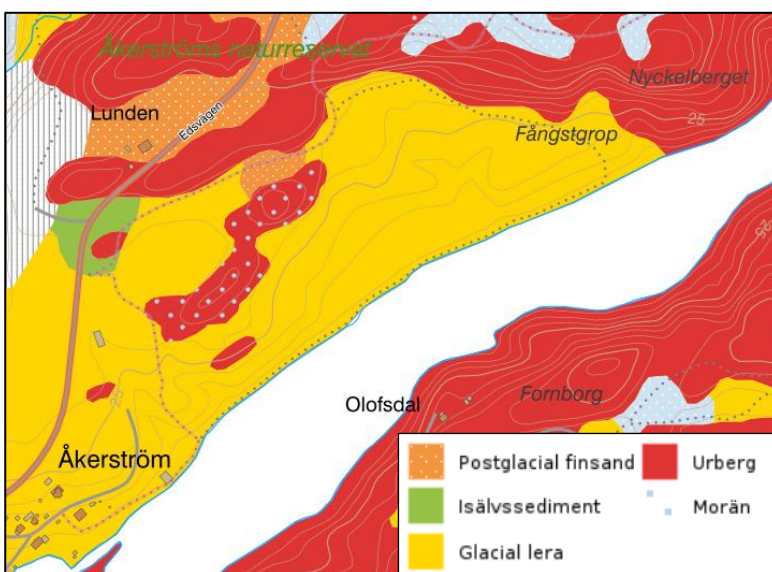
Delområde Söder innefattar området syd och sydöst om den södra bergknallen. Marken består mestadels av skog med mindre öppnare partier med betesmark. Vid strandlinjen finns ett erosionsskydd bestående av block som sträcker sig omkring 5–8 meter inåt land.

Mellan den södra bergknallen och älven sluttar terrängen ca 1:2, från nivå +32 neråt till +8 nere vid älvstranden. Väster om den södra bergknallen är markytan förhållandevis flack kring nivå +31 till +34. Härifrån sluttar marken ner med lutning ca 1:3 till en platå belägen mellan de sydvästra bäckravinerna där marknivån är omkring +21. Från denna platå sluttar terrängen brantare igen med lutning ca 1:2 ner mot älvstranden där nivån är ca +8. Slänterna mot ravinerna inom delområdet sluttar generellt brant med lutningar på 1:1,5–1:2.

Älvbotten sluttar generellt inledningsvis brant från strandlinjen (ca 10 m) med lutning ca 1:1,5–1:2. Därefter sluttar älvbotten flackare med en lutning på ca 1:10 ner till sin djupaste del belägen på nivå ca -2.

5 Geotekniska förhållanden

Undersökningsområdet består mestadels av lermark. Inom området finns flertalet platser med berg i dagen, främst två större bergshöjder i undersökningsområdets sydvästra halva samt sammanhängande berg längs undersökningsområdets norra gräns. Se Figur 4 för jordartsförhållandena enligt SGU:s jordartskarta. Delvis består även älvbotten av berg i dagen, framför allt i områdets södra delar, se ritning G-10-1-003.



Figur 4: Jordartskarta, SGU:s karttjänst (2023).

Generellt utgörs jordlagerföljden inom området av följande:

- Mulljord.
- Torrskorpelera.
- Lera.
- Friktionsjord.
- Berg.

Torrskorpelera har generellt inom området en mäktighet på 2–6 m och är som störst vid släntrönet. Vid älvstranden och i botten på ravinerna har torrskorpan en mindre mäktighet på 0–1 m.

Lerans mäktighet varierar inom området mellan 0–32 meter, med en generell ökning från nordväst till sydöst.

Egenskaper och mäktighet på **friktionsjorden** under leran har ej utvärderats då samtliga sonderingar stannat i friktionsjorden.

Bergnivån har ej undersökts inom ramen för detta uppdrag.

5.1 Norr (14/221V, 14/336V, 14/420VR)

I delområde Norr är torrskorpelera siltig och har mestadels en mäktighet på ca 3–6 meter där den är som störst vid släntrönet ca 70 meter från älvstranden.

Leran är något sulfidhaltig och har en mäktighet som sträcker sig ifrån 0 meter i nordväst, varifrån den ökar mot älven till ca 15–32 meter vid gränsen till delområde Strand.

Skjuvhållfastheten för leran ökar mot djupet och varierar mellan 28–62 kPa. Tungheten är uppmätt till 16,7–17,9 kN/m³. Lerans vattenkvot och konflytgräns är uppmätt till mellan 46–60 % respektive 35–49 %. Leran är högsensitiv med uppmätt sensitivitet på 49–396 och bedöms som kvick från ca 10 meters djup. Leran är överkonsoliderad genom hela jordprofilen med värden på OCR som varierar mellan 1,2–2,0, utan någon förändringstrend med avseende på djup.

5.2 Centralt (14/420VR, 14/450V, 14/531V, 14/600V, 14/671V)

I delområde Centralt är torrskorpelera siltig och har mestadels en mäktighet på ca 1–3 meter.

Leran är något sulfidhaltig och har en mäktighet som sträcker sig ifrån 0 meter i nordväst, varifrån den ökar mot älven till ca 10–21 meter vid gränsen till delområde Strand. Längs gränsen mot delområde Strand ökar lermäktigheten från sydväst till nordost.

Skjuvhållfastheten för leran ökar mot djupet och varierar mellan 27–57 kPa. Tungheten är uppmätt till 16,4–17,8 kN/m³. Lerans vattenkvot och konflytgräns är uppmätt till mellan 49–63 % respektive 38–54 %. Leran är högsensitiv med uppmätt sensitivitet på 26–166 och bedöms som kvick från ca 2 meter djup i delområdets centrala delar och från ca 10 meters djup i norr och söder. Kvikleran sträcker sig ca 65 meter in från älven i norr och ca 110 meter in i söder. Leran är överkonsoliderad genom hela jordprofilen med värden på OCR som varierar mellan 2,3–5,0.

5.3 Söder (14/735V, 14/828VR, 14/869V, 14/917VR)

I delområde Söder är torrskorpeleran siltig och har mestadels en mäktighet på ca 2,5–3 meter med undantag av botten på ravinerna där mäktigheten är mindre än 1 meter.

Leran är något sulfidhaltig och har en mäktighet som sträcker sig ifrån 0 meter i anslutning till områdena med berg i dagen, till ca 12 meter vid krönet för slänten ned mot älven ca 40 meter från älvens strandlinje.

Skjuvhållfastheten för leran ökar mot djupet och varierar mellan 32–59 kPa. Tungheten är uppmätt till 16,8–17,9 kN/m³. Lerans vattenkvot och konflytgräns är uppmätt till mellan 43–60 % respektive 44–56 %. Leran är mestadels högsensitiv med uppmätt sensitivitet på 26–62 som endast bedöms som kvick i ett tunt skikt i anslutning till bottenfriktionen. Leran är överkonsoliderad genom hela jordprofilen med värden på OCR som varierar mellan 2,2–3,7, utan någon förändringstrend med avseende på djup.

5.4 Strand

I delområde Strand är torrskorpeleran siltig och har mestadels en mäktighet på ca 0–1 meter.

Leran är något sulfidhaltig och har en mäktighet som varierar mellan 0–32 meter. Generellt ökar mäktigheten från söder till norr längs älvens strandlinje. Från strandlinjen och ut i älven minskar lermäktigheterna snabbt. I höjd med delområde Söder (ca km 14/700–14/900) återfinns berg i älven ca 10–40 meter ut från strandlinjen. I höjd med delområdena Centralt och Norr återfinns berg i älven ca 70–100 meter ut från strandlinjen.

Skjuvhållfastheten för leran ökar mot djupet och varierar mellan 25–85 kPa. Tungheten är uppmätt till 16,5–18,5 kN/m³. Lerans vattenkvot och konflytgräns är uppmätt till mellan 38–63 % respektive 38–58 %. Leran är mestadels högsensitiv med uppmätt sensitivitet på 10–567. Leran bedöms ej som kvick i höjd med delområde Söder (ca km 14/700–14/900), dock förekommer sensitivitet på över 50 men den omrörda skjuvhållfastheten är över 0,4 kPa. Leran bedöms som kvick i höjd med delområdena Centralt och Norr i anslutning till bottenfriktionen. Kvikklara förekommer i jordprofilen på följande djup:

- km 14/220: 11 till 17 meter.
- km 14/330: 25 till 32 meter.
- km 14/450: 2 till 16 meter.
- km 14/600: 3 till 9 meter.

Leran är överkonsoliderad genom hela jordprofilen med värden på OCR som varierar mellan 2,8–15, och är minskande med djupet.

5.5 Lerans anisotropa egenskaper

Lerans anisotropa egenskaper har utvärderats för att kunna tillgodoräknas i stabilitetsberäkningarna. Som underlag för utvärderingen har triaxialförsök utförts i 4 olika punkter, på totalt 13 nivåer, fördelat på 10 odränerade aktiva försök och 3 odränerade passiva försök.

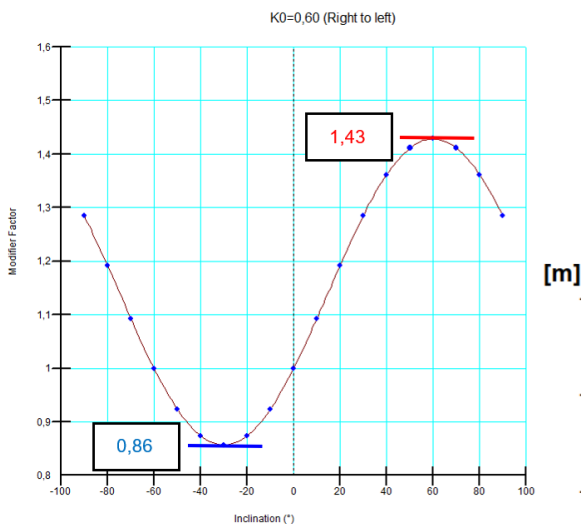
De aktiva försöken har utförts på punkter i anslutning till släntkrön och de passiva försöken har utförts i en punkt vid släntfot intill strandlinjen. En sammanställning av utförda försök kan ses i Tabell 1.

Anisotropieffekten har utvärderats enligt Skredkommissionen Rapport 3:95 som kvoten mellan skjuvhållfastheten (τ_α) vid skjuvning mot en viss vinkel (α°) mot horisontalplanet, och skjuvhållfastheten (τ_{hor}) vid skjuvning mot horisontalplanet ($\alpha=0^\circ$).

Aktiva och passiva triaxialförsök antas ge den maximala och minimala skjuvhållfastheten som motsvarar skjuvhållfastheten vid skjuvning 60° ($\tau_{\alpha=60^\circ}$) respektive -30° ($\tau_{\alpha=-30^\circ}$) mot horisontalplanet.

Den valda skjuvhållfastheten antas ge en skjuvhållfasthet som motsvarar skjuvhållfastheten mot horisontalplanet (τ_{hor}) ($\alpha=0^\circ$).

Från utvärderad anisotropieffekt (τ_α/τ_{hor}) har förhållandet mellan horisontal- och vertikalspänning (K_0) utvärderats enligt Skredkommissionen Rapport 3:95 tabell 5:1. I stabilitetsberäkningarna ökas således skjuvhållfastheten i aktivzonen och minskas i passivzonen beroende på glidyta lutning, se Figur 5 för exempel vid $K_0=0,6$.

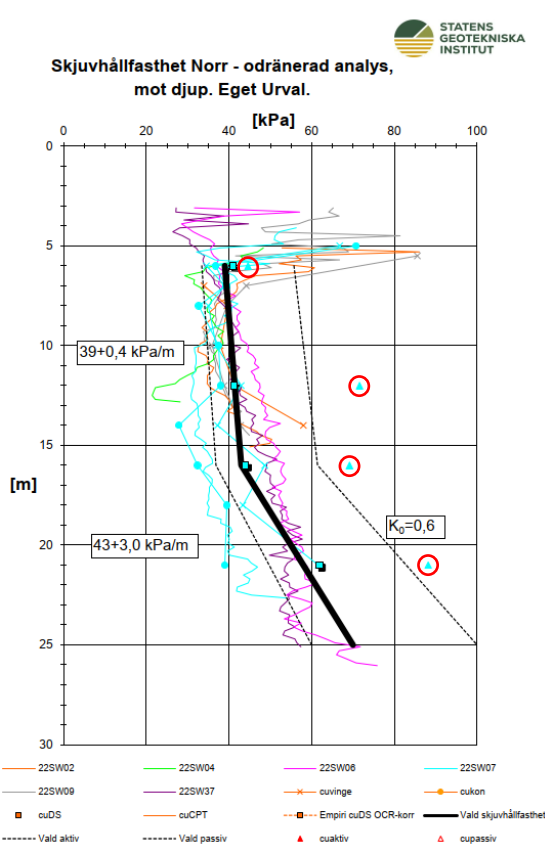
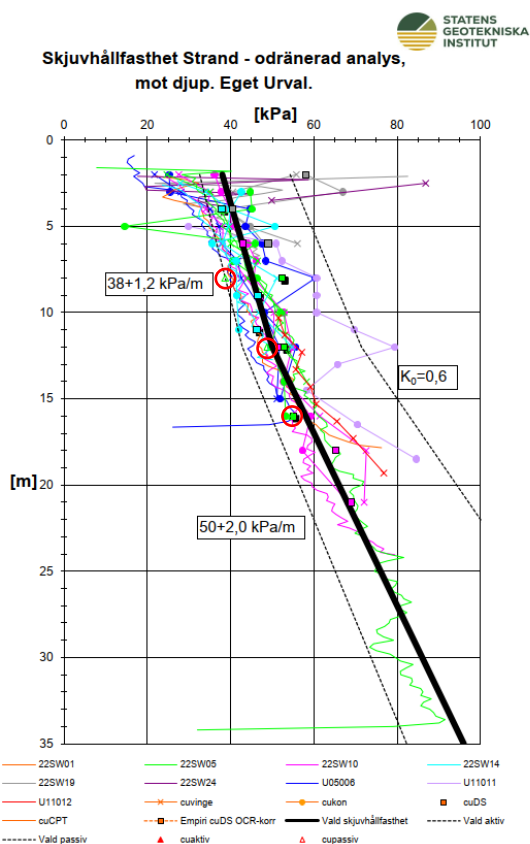


Figur 5: Diagram visande förändring av skjuvhållfasthet till följd av anisotropi vid $K_0=0,6$.

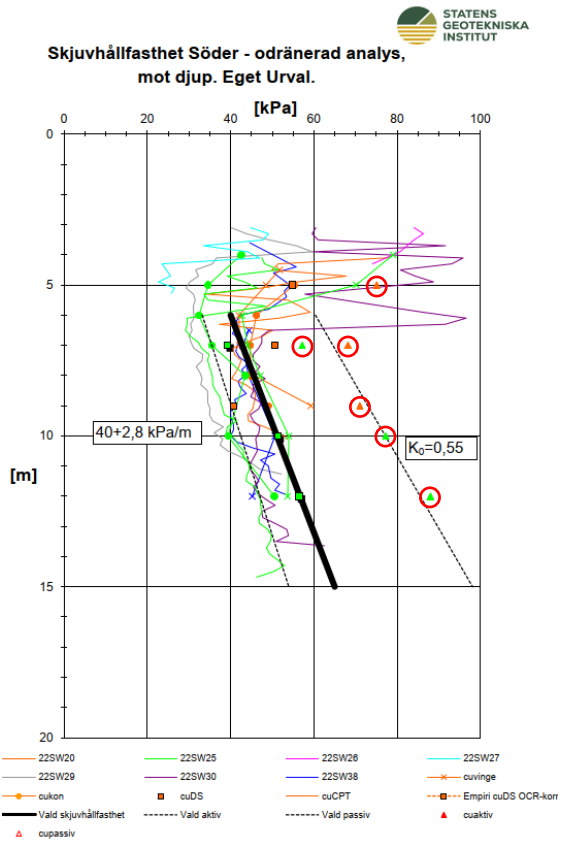
Anisotropieffekten och motsvarande K_0 redovisas i Tabell 1. För en sammanställning av skjuvhållfasthet se Figur 6 och Figur 7, samt Bilaga 1.

Tabell 1: Sammanställning av utförda triaxialförsök samt resulterande anisotropieffekt och K_0 .

Område	Borrhål	Djup (m)	Skjuvhållfasthet från aktiva triaxialförsök, $\tau_{\alpha=60^\circ}$ (*passiva, $\tau_{\alpha=-30^\circ}$), [kPa]	Vald skjuvhållfasthet, τ_{hor} , [kPa]	Anisotropieffekt, $\tau_{\alpha=60^\circ} / \tau_{hor}$ (passiv, $\tau_{\alpha=-30^\circ} / \tau_{hor}$)	K_0
Strand	22SW05	8	38,7*	45,2	0,86	0,60
Strand	22SW05	12	48,7*	50,0	0,97	0,90
Strand	22SW05	16	54,8*	58,0	0,94	0,81
Norr	22SW07	6	44,6	38,0	1,17	0,80
Norr	22SW07	12	71,6	40,4	1,77	0,42
Norr	22SW07	16	69,2	43,0	1,61	0,50
Norr	22SW07	21	88,2	58,0	1,52	0,54
Söder	22SW20	5	75,1	40,0	1,88	0,38
Söder	22SW20	7	68,2	42,8	1,59	0,50
Söder	22SW20	9	71,0	48,3	1,47	0,57
Söder	22SW25	7	57,2	42,8	1,34	0,66
Söder	22SW25	10	77,2	51,1	1,51	0,55
Söder	22SW25	12	88,0	56,6	1,55	0,52



Figur 6: Skjuvhållfasthet för delområde Strand och Norr med resultat från passiva- respektive aktiva triaxialförsök markerat i rött.



Figur 7: Skjuvhållfasthet för delområde Söder med resultat från aktiva triaxialförsök markerat i rött

I strandområdet är extremvärdena för anisotropieffekten (passivzonen), -3 % till -14 %, där effekten är avtagande mot djupet. I område Norr är extremvärdena för anisotropieffekten (aktivzonen) 17 % till 77 % utan tydlig trend avseende förändring mot djup. I område Söder är extremvärdena för anisotropieffekten 35 % till 88 % utan tydlig trend avseende förändring mot djup. I delområde Centralt har inga triaxialförsök utförts då slänten här är mer långsträckt och varpå anisotropieffekten har mindre effekt på glidytor.

6 Hydrogeologiska förhållanden

6.1 Vattennivå Göta älv

Vattenståndet i Göta älv i höjd med området regleras av slussarna i Lilla Edet där dämningshöjden i älven norr om slussarna har nivån +7,6 (HHW) och sänkningshöjden +6,6 (LLW). Medelvattennivån (MW) i Göta älv är i området +7,5.

6.2 Hydrogeologiska zoner

I området görs bedömningen att det inte finns någon sammanhängande övre akvifer och att regnvatten huvudsakligen ger avrinning på markytan. Torrskorpan är överst mycket fast och det har inte varit möjligt att utföra CPTu-R-sonderingar direkt från markytan. Sonderingar har påbörjats i den nedre delen av torrskorpan och portrycket byggs upp vilket visar på att den är tät. Vid djupa skruvar genom torrskorpan har inget vatten påträffats, vilket också visar på att den är tät. Hade det funnits en övre akvifär eller att torrskorpan varit uppsprucken med vattenfyllda sprickor hade vatten förekommit vid skruvprovtagning (fältundersökningarna utfördes delvis vid kraftig nederbörd).

Leran utgör en akvitard där mestadels hydrodynamisk portrycksfördelningen (ej hydrostatiskt) mot djupet råder. Bottenfriktionen utgör en undre akvifär där grundvattentrycket bedöms styras av infiltration vid höjdparter med berg i dagen och utflöde i anslutning till berg i älvbotten. Dock är förhållanden huvudsakligen hydrodynamiska på grund av ojämvt mellan infiltration och utflöde.

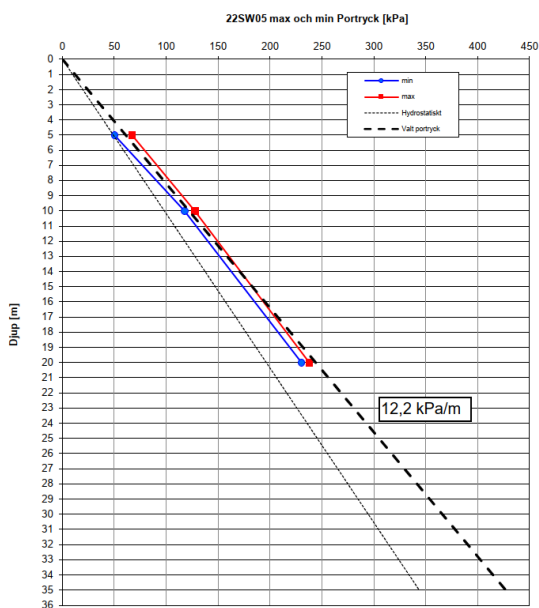
Portrycksmätningarna visar att förändringar i portrycket huvudsakligen sker från botten och beror på att grundvattentrycket i bottenfriktionen förändras, vilket är rimligt då det i stora delar av området råder övertryck i lerprofilen. Detta syns tydligast genom att förändringen av portryck är störst på de djupaste nivåerna. För genomslag högre upp i lerprofilen krävs längre perioder med mycket eller lite nederbörd. Vidare syns att förändringen sker uppe från höjdparterna då genomslaget på de djupa nivåerna är betydligt större högt upp i sektionerna än vid strandlinjen. När portrycket styrs från bottenfriktionen och lermäktigheterna är stora har lerprofilens mittre och högre del en tendens att ligga nära maximala portryck. Detta beror på att genomslaget av portryck är modulberoende och en höjning av portrycket styrs av avlastningsmodulen (högre än M_0) och en avsänkning av pålastningsmodulen. Då pålastningsmodulen är avsevärt lägre än avlastningsmodulen ökar portryck betydligt snabbare än det avtar vilket ger höga portryck på större avstånd från bottenfriktionen.

6.3 Portrycksprofil, Norr

I delområdet Norr finns följande portrycksstationer installerade:

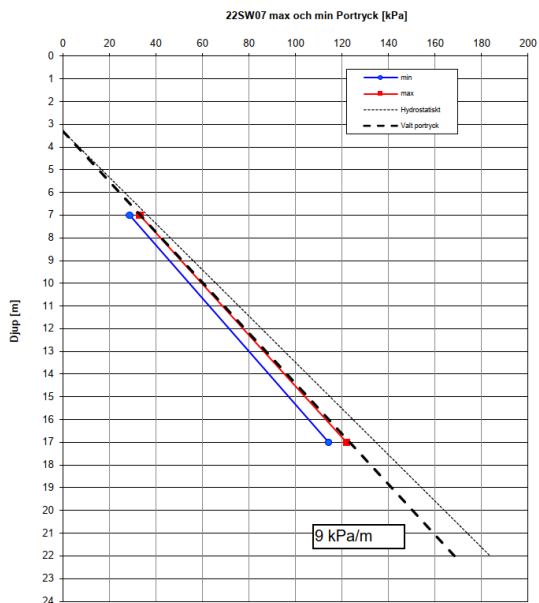
- Vid stranden (22SW05): grundvattenyta i markytan med jämn portrycksökning mot djupet med ca 12 kPa/m.
- Vid släntrön, ca 80 meter från älven (22SW07): grundvattenyta på 3 meters djup med jämn portrycksökning mot djupet med ca 9 kPa/m.

Vid stranden bedöms grundvattenytan sammanfalla med älvens nivå. Mot djupet har i lerprofilen ett porövertryck uppmätts på ca 12 kPa/m. I bottenfriktionen motsvarar det ett övertryck på 8–9 meter över markytan (ca nivå +16), se Figur 8.



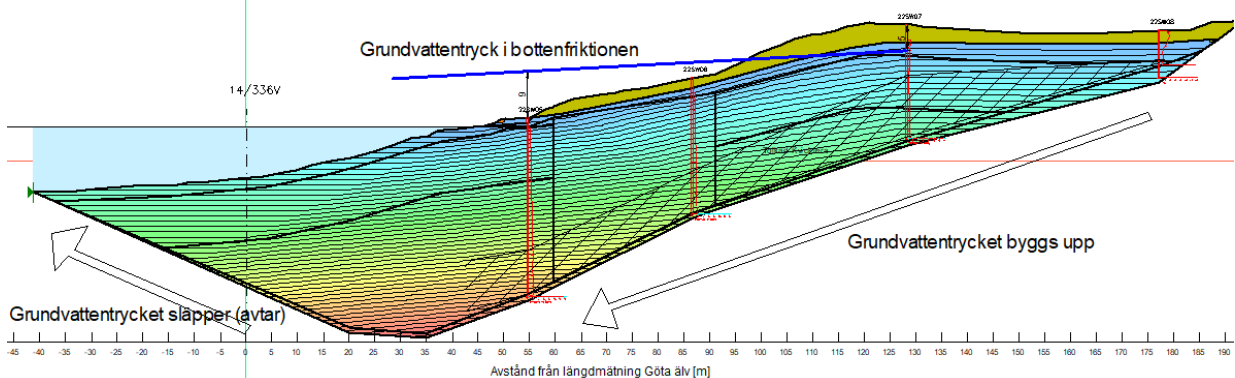
Figur 8: Portrycksprofil för 22SW05.

Vid portrycksstationen belägen vid släntrön, ca 18 m högre upp, ligger grundvattenytan ca 3 meter under markytan. Högsta uppmätta portrycksökningen genom leran är här något lägre än hydrostatisk (9 kPa/m), se Figur 9. I bottenfriktionen motsvarar det ett undertryck på 5–6 meter under markytan (ca nivå +20). Att portrycket är lägre än hydrostatiskt bedöms bero på att portrycksstationen är installerad på en kulle. Sannolikt är grundvattentrycket i bottenfriktionen samma i sidled där markytan är lägre och där motsvarar hydrostatiskt tryck eller till och med ett övertryck.



Figur 9: Portrycksprofil för 22SW07.

Utmed delområdets norra sida finns ett höjdparti med berg i dagen där undre akvifären (bottenfriktionen) bedöms stå i kontakt med markytan och infiltration sker. Bottenfriktionen lutar brant ner mot älven och grundvattentrycket byggs upp. Grundvattentrycket släpper sedan längre ut i älven men lermäktigheten är stor vid strandlinjen varför trycket byggs upp mer än det släpper vilket ger upphov till övertryck. Grundvattentrycket i bottenfriktionen minskar jämnt ut mot Göta älv men minskar mindre än släntens lutning vilket ger ett stort övertryck vid släntfoten, se Figur 10. Jämförelse mellan portryck och nederbördsdata visar att genomslaget av portryck i jordprofilen är långsam och relativt små förändringar uppstår.



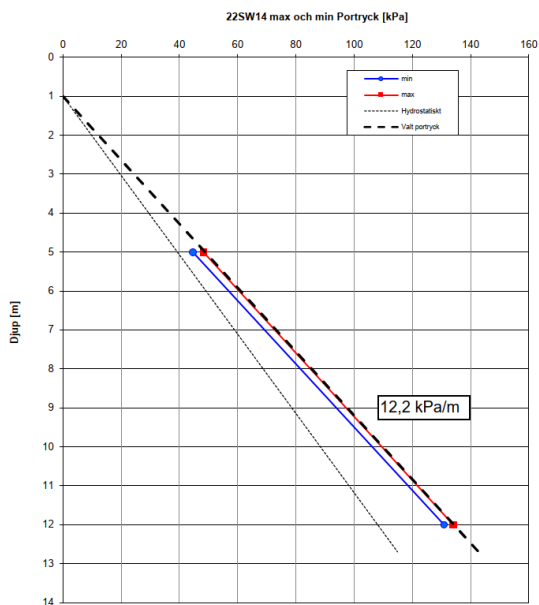
Figur 10: Portrycksfördelning i sektion 14/336V med grundvattentryck i bottenfriktionen (blå linje).

6.4 Portrycksprofil, Centralt

I delområde Centralt finns följande portrycksstationer installerade:

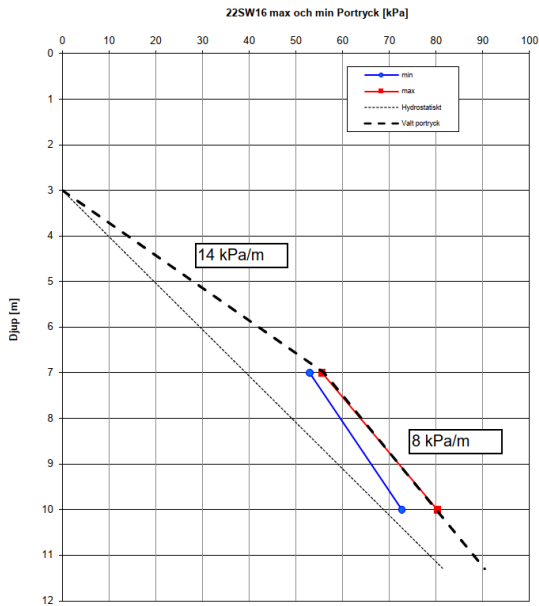
- Vid stranden (22SW14): grundvattenyta på 1 meters djup med jämn portrycksökning med djupet på ca 12 kPa/m.
- Släntrön (22SW33): grundvattenyta på 1 m djup (nivå +11,5 meter) med hydrostatisk portrycksökning med djupet (10 kPa/m).
- Ca 80 meter från älven (22SW16): grundvattenyta på 3 meters djup med portrycksökning med djupet på ca 14 kPa/m ner till 8 meters djup följt av 8 kPa/m.

Vid stranden bedöms grundvattenytan sammanfalla med älvens nivå. På djupet genom leran har dock ett porövertryck uppmätts (ca 12 kPa/m). I bottenfriktionen motsvarar det ett övertryck på ca 2 meter över markytan (ca nivå +10), se Figur 11.



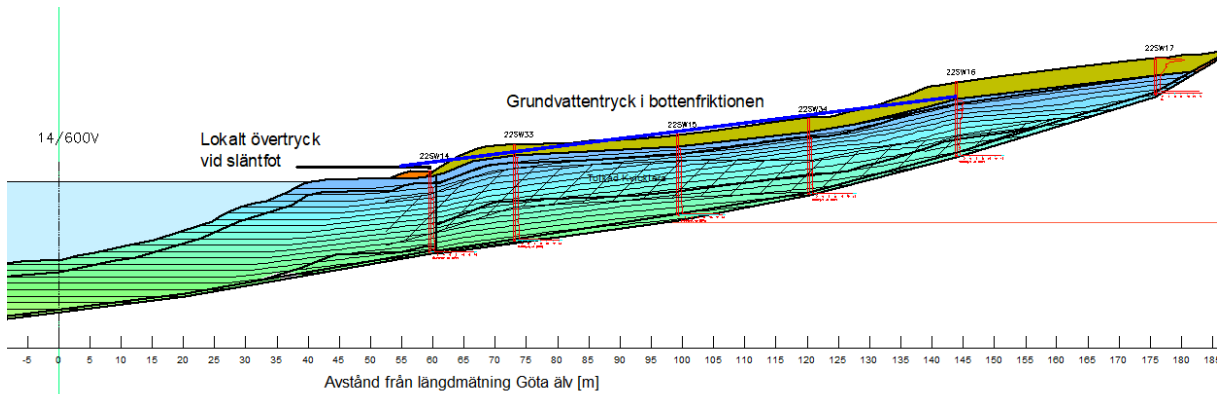
Figur 11: Portrycksprofil för 22SW14.

Vid portrycksstationen belägen ca 80 m inåt land, ca 14 meter högre upp, ligger grundvattenytan ca 3 meter under markytan vilket bedöms sammanfalla med underkant torrskorpan. Portrycksförhållandena för högsta uppmätta värden genom leran är här hydrodynamiska med en portrycksökning på 14 kPa/m ner till 8 meters djup, och därefter 8 kPa/m ner till bottenfriktionen, se Figur 12. I bottenfriktionen motsvarar det ett övertryck på ca 2 meter under markytan (ca nivå +20). Ytligt övertryck är ovanligt men bedöms bero på att trycket ökar från botten och sedan inte slår igenom i hela profilen. Detta innebär att övertrycket ytligt beror på en avsänkning mot ytan i förhållandet till trycket i bottenfriktionen.



Figur 12: Portryckprofil för 22SW16.

Utmed delområdets nordvästra sida finns ett höjdparti med berg i dagen där undre akvifären (bottenfriktionen) bedöms stå i kontakt med markytan och infiltration sker. Bottenfriktionen lutar ner mot älven och grundvattentrycket byggs upp. Grundvattentrycket i bottenfriktionen minskar jämnt ut mot Göta älv men den nedre delen av slänten innan erosionsskyddet är brant vilket ger ett lokalt övertryck vid släntfoten, se Figur 13. Jämförelse mellan portryck och nederbördsdata visar att genomslaget av portryck i jordprofilen är långsam och relativt små förändringar uppstår.



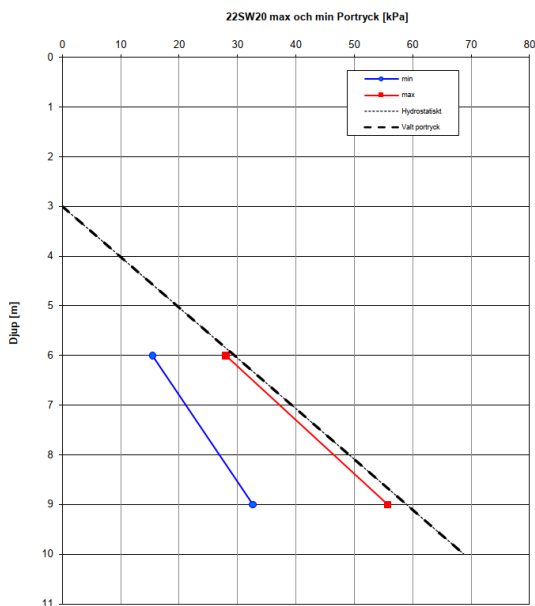
Figur 13: Portrycksfördelning i sektion 14/600V med grundvattentryck i bottenfriktionen (blå linje).

6.5 Portrycksprofil, Söder

I delområde Söder finns följande portrycksstationer installerade:

- I sektion 14/735V, ca 30 meter från älven (22SW20): grundvattenyta på ca 3 meters djup med hydrostatisk portrycksökning med djupet, se Figur 14.
- I sektion 14/869V, ca 55 meter från älven (22SW25): grundvattenyta på ca 3 meters djup med hydrostatisk portrycksökning med djupet ner till 8 meters djup, därefter portryckssänkning med 5 kPa/m, se Figur 15. Ett grundvattenrör i bottenfriktionen har vid mätningar varit torrt och maximalt visat på grundvattentryck på 8 kPa.

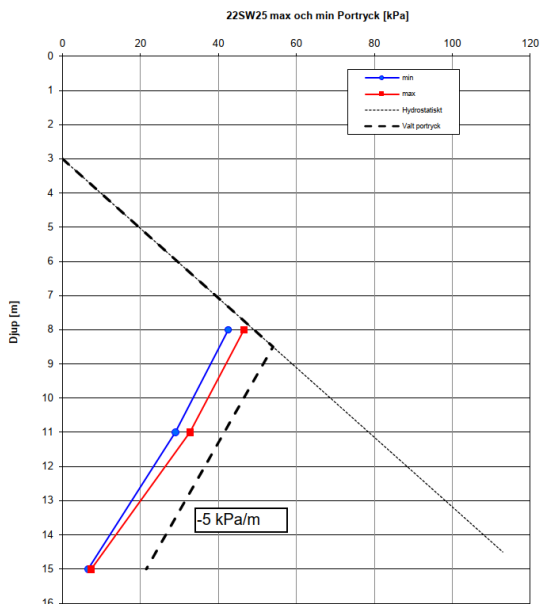
Vid sektion 14/735V bedöms grundvattenytan sammanfalla med älvens nivå i strandområdet och med underkant torrskorpan (2–3 meter djup) inåt land. Portrycksökningen genom leran är vid maximalt uppmätta portryck hydrostatisk. Grundvattentrycket i bottenfriktionen bedöms här som hydrodynamiska med infiltration vid närliggande berg i dagen ca 50 m från älvstranden. Bottenfriktionen bedöms ha kontakt med älven via områdena med berg i älven ca 25 meter ut från strandlinjen. Bottenfriktionen har en brant lutning från berg i dagen och grundvattentrycket byggs upp snabbt vid nederbörd men avtar också snabbt mot den lägre grundvattentrycksnivå i älven vid perioder utan nederbörd. Förändringen av portrycket sker tydligt från botten.



Figur 14: Portrycksprofil för 22SW20.

Vid sektion 14/869V, belägen mellan de två ravinerna i områdets sydvästra del, bedöms grundvattenytan sammanfalla med älvens nivå i strandområdet och underkant torrskorpan (2–3 meter djup) inåt land. Baserat på högst uppmätta värden bedöms förändringen av portrycket genom leran vara hydrostatisk ner till ca 8 m djup och därefter minskande med 5 kPa/m ner till bottenfriktionen där den är 8 kPa vilket innebär ett stort undertryck i förhållande till grundvattenytan vid underkant torrskorpa. Trycket i bottenfriktionen har under hela mätperioden sänkts av till att i stort motsvarande Göta älvs vattenyta. Bedömningen görs dock att portrycksförändringarna huvudsakligen beror på trycket i

bottenfriktionen vilket skulle innebära att trycket kan öka betydligt i bottenfriktionen jämfört med uppmätta värden.



Figur 15: Portrycksprofil för 22SW25.

7 Kartering av kvicklera

Kartering av kvicklera har utförts enligt SGI:s Excel-verktyg "Utvärderingsark kvicklera CPT och Tr". Där utvärderas förekomst av kvicklera baserat på laborationsförsök på ostörda prover, utförda vingförsök samt registrerad resistivitet och empiriska samband avseende mantelfriktion vid utförda CPTu-R-sonderingar. Resistivitetmätning med CPTu-R visar inte på förekomst av kvicklera utan visar endast på om förutsättningar för uppkomst av kvicklera finns.

Tolkningen av kvicklera från CPTu-R-sonderingarna visar på god samstämmighet med ostörd provtagning, se Bilaga 2. I den södra delen av området och yttligt i den norra delen förekommer ostörd provtagning med uppmätt sensitivitet över 50 men där den omrörda skjuvhållfastheten är högre än 0,4 kPa. Tolkningen av kvicklera från CPTu-R-sonderingarna för dessa delar visar inte heller på att det är kvicklera. Resistivitetmätningarna i området visar att det finns förutsättning för högsensitiv- eller kvicklera när resistivitet är högre än 5 ohm/m. Omrörda vingförsök underskattar sensitiviteten, dock stämmer trenden huvudsakligen väl överens med utvärderingen från CPTu-R-sonderingarna och ostörd provtagning. I detta område förekommer kvicklera när de omrörda vingförsöken har en högre sensitivitet än ca 20.

Det samlade underlaget visar att det inom området finns ett större område med tolkad kvicklera. Den tolkade kvickleran återfinns i ett sammanhängande lager där avslutet ut i älven i den norra delen av området är osäkert (se ritning G-10-1-004). Kwickleran finns i lerprofilens undre del med djup som varierar mellan 2 och 34 meter med en mäktighet på 1 till 15 meter. Den tolkade kvicklerans utbredning redovisas i sektion i respektive stabilitetsberäkning (se Bilagor 5 till 8).

8 Kartering erosionsskydd

Erosionsskydd finns utlagt längs älvens strandlinje inom hela området. Erosionsskyddet är utlagt som en bank med ett mindre dike innanför, där banken idag används som en del av en vandringsled.

Huvudsakligen utgörs erosionsskyddet av block med en diameter på upp till 1 meter, men innehåller även grus och sand. Stor del av erosionsskyddet är på stranden gräsbevuxet, se Figur 16. Bankens krön har mätts in med GPS och utbredningen i plan redovisas på ritning G-10-1-003. Erosionsskyddet har en totalbredd på land på ca 5–8 meter. Utbredningen under vattenytan är inte närmare undersökt men återfinns så långt ut i vattnet man kan se (minst 5 meter). Tjockleken på erosionsskyddet är inte fastställd men bedöms minst vara 1 meter vilket motsvarar den största kornstorleken.

Kvaliteten på erosionsskyddet bedöms generellt som god. Ytterligare undersökningar krävs för att fastställa erosionsskyddets mäktighet och utbredning under vattenytan.

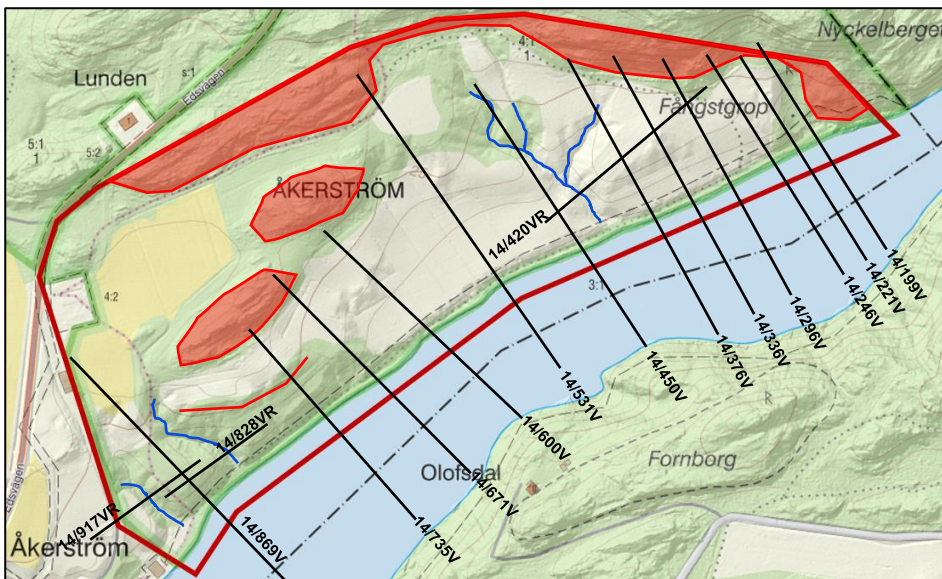


Figur 16: Foto erosionsskydd, vy uppströms.

9 Stabilitetsberäkningar

Stabilitetsberäkningar har för befintliga förhållanden utförts enligt IEG Rapport 4:2010 "Tillståndsbedömning/klassificering av naturliga slänter och slänter med befintlig bebyggelse och anläggningar". Beräkningarna är fördelade på 15 sektioner, se Figur 17, utförda med odränerad- och kombinerad analys enligt totalsäkerhetsmetoden.

Stabilitetsberäkningarna är utförda med programmet Geostudio SLOPE/W 2022.1, version 11.4.2.250.



Figur 17: Översiktssbild över beräknade sektioner.

9.1 Krav på säkerhetsfaktor

Stabilitetsutredningen uppfyller nivån fördjupad utredning och då gäller följande krav på totalsäkerhetsfaktor enligt tabell 4.2 i IEG rapport 4:2010:

$$F_c \geq 1,4 - 1,3$$

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

Inom ovanstående intervall bedöms erforderlig säkerhetsfaktor utifrån gynnsamma och ogynnsamma förhållandena utifrån faktorer enligt tabell 4.1a-e i IEG Rapport 4:2010. Är förhållandena övervägande gynnsamma kan således en lägre säkerhetsfaktor väljas inom angivet intervall än vid ogynnsamma förhållanden.

Utförda utvärderingar av relevanta faktorer vid val av erforderlig säkerhetsfaktor framgår av Bilaga 4.

Sammantaget har mycket geotekniska undersökningar och avancerade lab-försök utförts vilket normalt sett gör att erforderlig säkerhetsfaktor kan väljas lägre inom angivet intervall. Dock förekommer kvicklera i stora delar av området vilket gör att även mindre skred kan utlösa stora sekundära skred med stora konsekvenser. Därför är vald erforderlig säkerhetsfaktor i mitten av intervallet:

$$F_c \geq 1,35$$

$$F_{\text{komb}} \geq 1,25$$

9.2 Valda parametrar

Vid sammanställning av jordmodell har jordparametrarnas förhållande mot djup och nivå analyserats, där djup gav en bättre samstämmighet. Därför har parameterval mot djupet använts vid beräkningarna. Generellt är samstämmigheten mellan parametrar framtagna med olika metoder god även om viss spridning finns på sina håll. Vid val av skjuvhållfasthet har störst vikt lagts vid direkta skjuvförsök och vingförsök, i området överensstämmer dock även vingförsök och konförsök bra. En sammanställning av härledda värden samt valda värden redovisas i Bilaga 1.

Lerans anisotropi har beaktats i samtliga beräkningar.

En sammanställning av valda parametrar som använts vid samtliga delområden redovisas i Tabell 2.

Tabell 2: Sammanställning av valda materialparametrar för samtliga delområden.

Jordlager	Materialegenskaper	Valda värden
Torrskorpelera	Tunghet, γ Effektiv tunghet under GW, γ' Odränerad skjuvhållfasthet, c_u Inre friktionsvinkel, ϕ' Kohesionsintercept, c'	17 kN/m ³ 7 kN/m ³ 60 kPa 30 grader 6 kPa
Erosionsskydd	Tunghet, γ Effektiv tunghet under GW, γ' Frikationsvinkel	18 kN/m ³ 10 kN/m ³ 42 grader
Friktionsjord	Tunghet, γ Effektiv tunghet under GW, γ' Frikationsvinkel	18 kN/m ³ 10 kN/m ³ 38 grader

Torrskorpan är överst mycket fast och det har inte varit möjligt att utföra CPTu-R-sonderingar direkt från markytan. Sonderingar har påbörjats i den nedre delen av torrskorpan och portrycket byggs upp vilket visar på att den är tät. Vid djupa skruvar genom torrskorpan har inget vatten påträffats, vilket visar att den är tät. Hade det funnits en övre akvifär eller att den varit uppsprucken med vattenfyllda sprickor hade vatten förekommit vid skruvprovtagning (fältundersökningarna utfördes delvis vid kraftig nederbörd). Fältpersonalen gjorde bedömningen att torrskorpan är som en mycket fast lera och inte har traditionell torrskorpekaraktär. Viket innebär att den ytliga leran kanske inte skulle benämnas som torrskorpa.

Kontrollberäkning har gjorts utan torrskorpa och låtit den underlagrande leran gå upp till markytan vilket har gett en obetydlig minskning av säkerhetsfaktor beroende på anisotropin (i sektion 14/336V).

Kontrollberäkning har även utförts med torrskorpan uppsprucken och till hälften fylld med vatten samt gett torrskorpan dränerade parametrar vilket har påverkat den odränerade analysen men påverkat den kombinerade analysen i lite utsträckning (minskar med 3-hundradelar i sektion 14/336).

9.2.1 Valda materialparametrar, Strand

För sammanställning av valda materialparametrar för delområde Strand, se Tabell 3.

Tabell 3: Sammanställning av valda materialparametrar för delområdet Strand.

Jordlager	Materialegenskaper	Valda värden
Lera 01 (strand)	Tunghet, γ Effektiv tunghet under GW, γ' Odränerad skjuvhållfasthet, c_u Inre friktionsvinkel, ϕ' Kohesionsintercept, c' Anisotropi, K_0 (passivzon)	17 kN/m ³ 7 kN/m ³ 38 kPa 30 grader 3,8 kPa 0,6
Lera 02 (strand) (från ca 2 meters djup)	Tunghet, γ Effektiv tunghet under GW, γ' Odränerad skjuvhållfasthet, c_u Inre friktionsvinkel, ϕ' Kohesionsintercept, c' Anisotropi, K_0 (passivzon)	17 kN/m ³ 7 kN/m ³ 38+1,2d kPa 30 grader 3,8+0,12d kPa 0,6
Lera 03 (strand) (från ca 12 meters djup)	Tunghet, γ Effektiv tunghet under GW, γ' Odränerad skjuvhållfasthet, c_u Inre friktionsvinkel, ϕ' Kohesionsintercept, c' Anisotropi, K_0 (passivzon)	17 kN/m ³ 7 kN/m ³ 50+2d kPa 30 grader 5+0,2 kPa 0,6

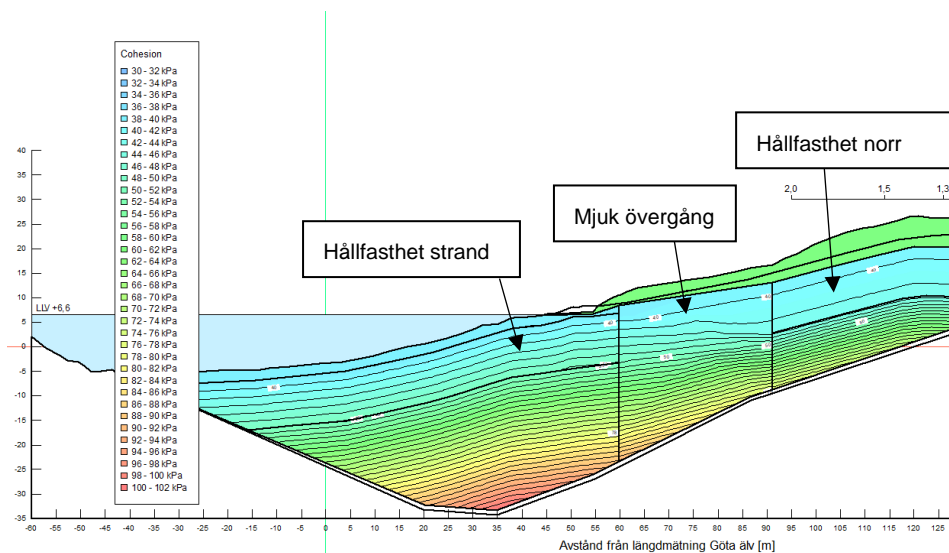
9.2.2 Valda materialparametrar, Norr

För sammanställning av valda materialparametrar för delområde Norr, se Tabell 4.

Tabell 4: Sammanställning av valda materialparametrar för delområdet Norr.

Jordlager	Materialegenskaper	Valda värden
Lera 04 (norr)	Tunghet, γ Effektiv tunghet under GW, γ' Odränerad skjuvhållfasthet, c_u Inre friktionsvinkel, ϕ' Kohesionsintercept, c' Anisotropi, K_0	17 kN/m ³ 7 kN/m ³ 39 kPa 30 grader 3,9 kPa 0,6
Lera 05 (norr) (från ca 6 meters djup)	Tunghet, γ Effektiv tunghet under GW, γ' Odränerad skjuvhållfasthet, c_u Inre friktionsvinkel, ϕ' Kohesionsintercept, c' Anisotropi, K_0	17 kN/m ³ 7 kN/m ³ 39+0,4d kPa 30 grader 3,9+0,04d kPa 0,6
Lera 06 (norr) (från ca 16 meters djup)	Tunghet, γ Effektiv tunghet under GW, γ' Odränerad skjuvhållfasthet, c_u Inre friktionsvinkel, ϕ' Kohesionsintercept, c' Anisotropi, K_0	17 kN/m ³ 7 kN/m ³ 43+3d kPa 30 grader 4,3+0,3 kPa 0,6

I den norra delen skiljer sig den odränerade hållfastheten mellan delområdena norr och strand, varför en mjuk övergång har gjorts i en zon på ca 30 meter, se Figur 18.



Figur 18: Utdrag från beräkningarna som visar den mjuka övergången av odränerad skjuvhållfasthet mellan delområdena Norr och Strand.

9.2.3 Valda materialparametrar, Centralt

För sammanställning av valda materialparametrar för delområde Centralt, se Tabell 5.

Tabell 5: Sammanställning av valda materialparametrar för delområdet Centralt.

Jordlager	Materialegenskaper	Valda värden
Lera 07 (centralt)	Tunghet, γ Effektiv tunghet under GW, γ' Odränerad skjuvhållfasthet, c_u Inre friktionsvinkel, ϕ' Kohesionsintercept, c' Anisotropi, K_0	17 kN/m ³ 7 kN/m ³ 35 kPa 30 grader 3,5 kPa -
Lera 08 (centralt) (från ca 3 meters djup)	Tunghet, γ Effektiv tunghet under GW, γ' Odränerad skjuvhållfasthet, c_u Inre friktionsvinkel, ϕ' Kohesionsintercept, c' Anisotropi, K_0	17 kN/m ³ 7 kN/m ³ 35+0,8d kPa 30 grader 3,5+0,08d kPa -
Lera 09 (centralt) (från ca 9 meters djup)	Tunghet, γ Effektiv tunghet under GW, γ' Odränerad skjuvhållfasthet, c_u Inre friktionsvinkel, ϕ' Kohesionsintercept, c' Anisotropi, K_0	17 kN/m ³ 7 kN/m ³ 40+2,5d kPa 30 grader 4+0,25d kPa -

9.2.4 Valda materialparametrar, Söder

För sammanställning av valda materialparametrar för delområde Söder, se Tabell 6.

Tabell 6: Sammanställning av valde materialparametrar för delområdet Söder.

Jordlager	Materialegenskaper	Valda värden
Lera 10 (söder)	Tunghet, γ Effektiv tunghet under GW, γ' Odränerad skjuvhållfasthet, c_u Inre friktionsvinkel, ϕ' Kohesionsintercept, c' Anisotropi, K_0	17 kN/m ³ 7 kN/m ³ 40 kPa 30 grader 4 kPa 0,55
Lera 11 (söder) (från ca 6 meters djup)	Tunghet, γ Effektiv tunghet under GW, γ' Odränerad skjuvhållfasthet, c_u Inre friktionsvinkel, ϕ' Kohesionsintercept, c' Anisotropi, K_0	17 kN/m ³ 7 kN/m ³ 40+2,8d kPa 30 grader 4+0,28d kPa 0,55

9.3 Valda portryck

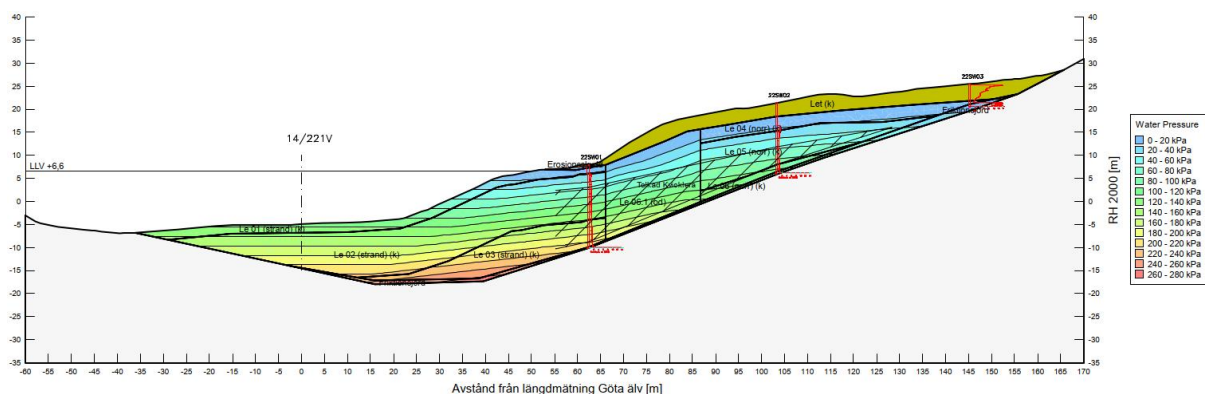
I anslutning till älven har en fri vattennivå antagits till +6,6, vilket representerar sänkingsgränsen vid Lilla Edets kraftverk, med en hydrostatisk portrycksökning under älvbotten. Resultatet av utvärderade portrycksförhållanden redovisas i sin helhet i Bilaga 3.

9.3.1 Valda portryck, Norr

Generellt inom delområdet antas grundvattenytan sammanfalla med underkant torrskorpa. Undantaget är kring sektion 14/336V där grundvattenytan antas ligga något högre än underkant torrskorpa eftersom torrskorpan är mäktigare här än i delområdet i övrigt.

I strandlinjen vid älven väljs grundvattenytan så att den sammanfaller med markytan med en ökning av portrycket mot djupet med 12,2 kPa/m. En diagonal linje har dragits från markytan vid strandlinjen ut mot älven på djupet där portrycket övergår från förhållandena som råder i strandlinjen till de hydrostatiska förhållanden som antas råda under älvbotten.

Inåt land är ökningen mot djupet mindre och vid slänkrönet är ökningen mot djupet 9 kPa/m. Denna portrycksprofil antas gälla i hela området bakom slänkrönet. Se Figur 19 för utdrag från beräkningarna där använd portryckmodell redovisas.



Figur 19: Portrycksmodell för stabilitetsberäkningarna för sektion 14/221V.

9.3.2 Valda portryck, Centralt

Generellt inom delområdet antas grundvattenytan sammanfalla med underkant torrskorpa.

I strandlinjen vid älven väljs grundvattenytan till att sammanfalla med markytan med en ökning av portrycket med djupet med 12,2 kPa/m. En diagonal linje har dragits från markytan vid strandlinjen ut mot älven på djupet där portrycket övergår från förhållandet som råder i strandlinjen till de hydrostatiska förhållanden som antas råda under älvbotten.

Inåt land antas portrycket övergå till att motsvara portrycksprofilen vid 22SW16 för sektion 14/531V och 14/600V. Portrycket ökar där i den övre delen med 14 kPa/m, för att där under övergå till 8 kPa/m vid ca 7,5 meters djup. För sektion 14/450V och 14/671V antas portrycket övergå till hydrostatiska förhållanden inåt land vilket motiveras av att dessa sektioner har kraftigt

9.4 Beräkningsresultat

Nedan följer en sammanställning av resultaten från utförda beräkningar för befintliga förhållanden för respektive delområde. Beräkningsresultaten i sin helhet redovisas i Bilaga 5.

9.4.1 Beräkningsresultat, Norr

En sammanställning av resultaten från utförda beräkningar för delområde Norr redovisas i Tabell 7.

Tabell 7: Sammanställning av resultaten från stabilitetsberäkningar utförda för delområde Norr.

Sektion/Fall	Beskrivning	Säkerhetsfaktor
14199VKTB01	Kombinerad analys. Anisotropi: $K_0=0,6$. Mjuk övergång mellan norr och strand. Sidosektion till 14/221.	1,31
14199VUTB01	Odränerad analys. Anisotropi: $K_0=0,6$. Mjuk övergång mellan norr och strand. Sidosektion till 14/221.	1,73
14221VKTB01	Kombinerad analys. Anisotropi: $K_0=0,6$. Mjuk övergång mellan norr och strand.	1,08
14221VUTB01	Odränerad analys. Anisotropi: $K_0=0,6$. Mjuk övergång mellan norr och strand.	1,27
14246VKTB01	Kombinerad analys. Anisotropi: $K_0=0,6$. Mjuk övergång mellan norr och strand. Sidosektion till 14/221.	1,30
14246VUTB01	Odränerad analys. Anisotropi: $K_0=0,6$. Mjuk övergång mellan norr och strand. Sidosektion till 14/221.	1,60
14296VKTB01	Kombinerad analys. Anisotropi: $K_0=0,6$. Mjuk övergång mellan norr och strand. Sidosektion till 14/336.	1,45
14296VUTB01	Odränerad analys. Anisotropi: $K_0=0,6$. Mjuk övergång mellan norr och strand. Sidosektion till 14/336.	1,68
14336VKTB01	Kombinerad analys. Anisotropi: $K_0=0,6$. Mjuk övergång mellan norr och strand.	1,13
14336VUTB01	Odränerad analys. Anisotropi: $K_0=0,6$. Mjuk övergång mellan norr och strand.	1,26
14376VKTB01	Kombinerad analys. Anisotropi: $K_0=0,6$. Mjuk övergång mellan norr och strand. Sidosektion till 14/336.	1,30
14376VUTB01	Odränerad analys. Anisotropi: $K_0=0,6$. Mjuk övergång mellan norr och strand. Sidosektion till 14/336.	1,41
14420VRKTB02	Kombinerad analys. Anisotropi: $K_0=0,6$. Norra ravinslätten.	1,09
14420VRUTB02	Odränerad analys. Anisotropi: $K_0=0,6$. Norra ravinslätten.	1,54

Erforderlig säkerhetsfaktor uppnås inte i sektionerna 14/221V, 14/336V och 14/420VR för befintliga förhållanden. I huvudsak är det den kombinerade analysen som ger lägst säkerhetsfaktorer i förhållande till säkerhetskraven, vilket innebär att portrycksförhållandena och dränerade parametrar är styrande för säkerheten i delområde Norr.

I anslutning till sektionerna 14/221V och 14/336V har sidosektioner beräknats då sektionerna valts utifrån sämsta möjliga geometri som är mycket lokalt begränsad. Då sidosektionerna uppnår erforderlig säkerhetsfaktor blir området i plan som bedöms som osäkert kraftigt begränsat, se ritning G-10-1-004 för bedömd skredutbredning.

För samtliga sektioner som ej uppnår erforderlig säkerhetsfaktor skär den kritiska glidyten lera som tolkats som kvicklera. Det innebär att vid ett skred kan mer omfattande sekundära skred utlösas, se kap 10.

9.4.2 Beräkningsresultat, Centralt

En sammanställning av resultaten från utförda beräkningar för delområde Centralt redovisas i Tabell 8.

Tabell 8: Sammanställning av resultaten från stabilitetsberäkningar utförda för delområde Centralt.

Sektion/Fall	Beskrivning	Säkerhetsfaktor
14420VRKTB01	Kombinerad analys. Utan anisotropi. Södra ravinslätten.	1,35
14420VRUTB01	Odränerad analys. Utan anisotropi. Södra ravinslätten.	1,92
14450VKTB01	Kombinerad analys. Anisotropi: $K_0=0,6$ (endast strand).	1,77
14450VUTB01	Odränerad analys. Anisotropi: $K_0=0,6$ (endast strand).	2,01
14531VKTB01	Kombinerad analys. Anisotropi: $K_0=0,6$ (endast strand).	1,76
14531VUTB01	Odränerad analys. Anisotropi: $K_0=0,6$ (endast strand).	2,12
14600VKTB01	Kombinerad analys. Anisotropi: $K_0=0,6$ (endast strand).	1,81
14600VUTB01	Odränerad analys. Anisotropi: $K_0=0,6$ (endast strand).	2,05
14671VKTB01	Kombinerad analys. Anisotropi: $K_0=0,6$ (endast strand).	1,17
14671VUTB01	Odränerad analys. Anisotropi: $K_0=0,6$ (endast strand).	1,39

Av beräknade sektioner i delområde Centralt är det endast sektion 14/671V som inte uppnår erforderlig säkerhetsfaktor för befintliga förhållanden. Det ska dock beaktas att sektion 14/671V ligger precis på gränsen mellan delområdena Centralt och Södra. När sektionen har getts parametrar enligt delområde Centralt är den odränerad skjuvhållfastheten lägre och utan anisotropieffekt i aktivzonen, till skillnad från delområde Söder. Detta gör att framräknad säkerhetsfaktor bedöms vara underskattad.

Kritiska glidyten skär lera som tolkats som kvicklera. Detta innebär att vid ett skred kan mer omfattande sekundära skred utlösas, se kap 10.

9.4.3 Beräkningsresultat, Söder

En sammanställning av resultaten från utförda beräkningar för delområde Söder redovisas i Tabell 9.

Tabell 9: Sammanställning av resultaten från stabilitetsberäkningar utförda för delområde Söder.

Sektion/Fall	Beskrivning	Säkerhetsfaktor
14735VKT01	Kombinerad analys. Anisotropi: $K_0=0,6$ (strand), $K_0=0,55$ (söder).	1,16
14735VUT01	Odränerad analys. Anisotropi: $K_0=0,6$ (strand), $K_0=0,55$ (söder).	1,62
14735VKT02	Kombinerad analys. Anisotropi: $K_0=0,6$ (strand), $K_0=0,55$ (söder). Utan bottenfriktion.	1,16
14735VUT02	Odränerad analys. Anisotropi: $K_0=0,6$ (strand), $K_0=0,55$ (söder). Utan bottenfriktion.	1,82
14828VRKT02	Kombinerad analys. Anisotropi: $K_0=0,55$. Norra ravinslätten.	1,56
14828VRUT02	Odränerad analys. Anisotropi: $K_0=0,55$. Norra ravinslätten.	2,40
14828VRKT01	Kombinerad analys. Anisotropi: $K_0=0,55$. Södra ravinslätten.	1,22
14828VRUT01	Odränerad analys. Anisotropi: $K_0=0,55$. Södra ravinslätten.	2,22
14869VKT01	Kombinerad analys. Anisotropi: $K_0=0,6$ (strand), $K_0=0,55$ (söder).	1,39
14869VUT01	Odränerad analys. Anisotropi: $K_0=0,6$ (strand), $K_0=0,55$ (söder).	1,83
14917VRKT02	Kombinerad analys. Anisotropi: $K_0=0,55$. Norra ravinslätten.	1,37
14917VRUT02	Odränerad analys. Anisotropi: $K_0=0,55$. Norra ravinslätten.	2,25
14917VRKT01	Kombinerad analys. Anisotropi: $K_0=0,55$. Södra ravinslätten.	1,71
14917VRUT01	Odränerad analys. Anisotropi: $K_0=0,55$. Södra ravinslätten.	2,64

Av beräknade sektioner i delområde Söder uppnås inte erforderlig säkerhetsfaktor i sektion 14/735V och 14/828VR. Det är enbart den kombinerade analysen som inte uppfyller säkerhetskraven.

Kritiska glidyten för sektion 14/735V skär lera som tolkats som kvicklera och 14/828VR tangerar tolkad kvicklera. Det innebär att vid ett skred kan mer omfattande sekundära skred utlösas se kap 10.

10 Utvärdering primära- och sekundära skred

Utvärdering av primär skredutbredning omfattar utbredningen av de största glidyterna som inte uppfyller ställda stabilitetskrav och grundas på resultat från både kombinerad analys ($F < 1,25$) och odränerad analys ($F < 1,35$), se ritning G-10-1-004.

Sekundär skredutbredning har utvärderats enligt Metodik 1 i bilaga till Göta älvutredningen - delrapport 32 (2011). Metodiken bygger på att en begränsningslinje dras bakåt från släntfoten för det primära skredet. Begränsningslinjen har en lutning på 1:n där n är beroende av sensitiviteten i leran. För högre sensitivitet än 100 dras begränsningslinjen med lutning 1:15 och vid högre sensitivitet än 200 bedöms hela kvicklereområdet inkluderas i de sekundära skreden.

Samtliga beräknade primära skred går genom kvicklera där sekundära skred bedöms följa underkant kvicklera bort från Göta älv. Detta då lutningen av underkant kvicklera är större än 1:15, som skulle vara lutningen på begränsningslinjen enligt ovan nämnda metodik. I den norra delen av området bedöms även framåtgripande skred kunna uppstå i kvicklera till älvbottens plana del. Den sekundära skredutbredningen i sidled baseras på lutning ca 1:15 i kvickleran. I den norra delen bedöms sekundära skred sluta vid ravinen i längdmätning 14/420. I den södra delen är kvicklerans mäktighet liten varför sekundära skred bedöms begränsas i sidled. Det kan dock inte uteslutas att skred i kvickleran orsakar sekundära skred i hela området med kvicklera. Se ritning G-10-1-004 för utbredning av sekundära skred i plan.

11 Känslighetsanalys

För att undersöka hur säkerheten mot skred påverkas av ökade portrycksnivåer och erosion har känslighetsanalyser utförts.

11.1 Ökade portryck

Enligt "Riktlinjer för tekniskt arbete" ska en känslighetsanalys avseende förhöjda portryck om 10 kPa utföras genom hela lerlagret. Av de sektioner där beräkningar utförts för befintliga förhållanden har 10 valts ut för känslighetsanalys avseende portrycksökning.

Portrycksökningen modellerades genom att, där det var möjligt, lyfta hela portrycksprofilen inklusive grundvattenytan 1 meter i höjd, vilket motsvarar en ökning genom hela portrycksprofilen med ca 10 kPa. Om detta innebär att grundvattenytan hamnade ovan markytan höjdes i stället portrycket i jorden nära markytan med 10 kPa med oförändrad grundvattenyta.

En sammanställning av resultaten från känslighetsanalysen redovisas i Tabell 10, där även förändring jämfört med säkerhetsfaktorn för motsvarande glidyta vid befintliga förhållanden anges. Beräkningsresultaten redovisas i sin helhet i Bilaga 6.

Tabell 10: Sammanställning av resultaten från känslighetsanalys avseende höjda portryck.

Sektion/Fall	Beskrivning	Säkerhetsfaktor	Befintliga förhållanden	Förändring (%)
14221VKTK01	Kombinerad analys. Ökning av portryck med 10 kPa.	1,01	1,09	-7,3
14221VUTK01	Odränerad analys. Ökning av portryck med 10 kPa.	1,27	1,27	0
14336VKTK01	Kombinerad analys. Ökning av portryck med 10 kPa.	1,11	1,13	-1,8
14336VUTK01	Odränerad analys. Ökning av portryck med 10 kPa.	1,26	1,26	0
14420VRKTK02	Kombinerad analys. Norra ravinslätten. Ökning av portryck med 10 kPa.	0,92	1,11	-17,1
14420VRUTK02	Odränerad analys. Norra ravinslätten. Ökning av portryck med 10 kPa.	1,54	1,54	0
14420VRKTK01	Kombinerad analys. Södra ravinslätten. Ökning av portryck med 10 kPa.	1,13	1,35	-16,3
14420VRUTK01	Odränerad analys. Södra ravinslätten. Ökning av portryck med 10 kPa.	1,92	1,92	0
14450VKTK01	Kombinerad analys. Ökning av portryck med 10 kPa.	1,67	1,77	-5,6
14450VUTK01	Odränerad analys. Ökning av portryck med 10 kPa.	1,99	2,06	-3,4
14600VKTK01	Kombinerad analys. Ökning av portryck med 10 kPa.	1,57	1,96	-19,9
14600VUTK01	Odränerad analys. Ökning av portryck med 10 kPa.	2,05	2,05	0
14671VKTK01	Kombinerad analys. Ökning av portryck med 10 kPa.	1,11	1,17	-5,1
14671VUTK01	Odränerad analys. Ökning av portryck med 10 kPa.	1,39	1,39	0
14735VKTK01	Kombinerad analys. Ökning av portryck med 10 kPa.	1,03	1,16	-11,2
14735VUTK01	Odränerad analys. Ökning av portryck med 10 kPa.	1,47	1,62	-9,3
14828VRKTK02	Kombinerad analys. Norra ravinslätten. Ökning av portryck med 10 kPa.	1,38	1,57	-12,1
14828VRUTK02	Odränerad analys. Norra ravinslätten. Ökning av portryck med 10 kPa.	2,40	2,40	0
14828VRKTK01	Kombinerad analys. Södra ravinslätten. Ökning av portryck med 10 kPa.	1,10	1,22	-9,8
14828VRUTK01	Odränerad analys. Södra ravinslätten. Ökning av portryck med 10 kPa.	2,22	2,22	0
14869VKTK01	Kombinerad analys. Ökning av portryck med 10 kPa.	1,32	1,41	-6,4
14869VUTK01	Odränerad analys. Ökning av portryck med 10 kPa.	1,83	1,83	0
14917VRKTK02	Kombinerad analys. Norra ravinslätten. Ökning av portryck med 10 kPa.	1,27	1,37	-7,3
14917VRUTK02	Odränerad analys. Norra ravinslätten. Ökning av portryck med 10 kPa.	2,25	2,25	0
14917VRKTK01	Kombinerad analys. Södra ravinslätten. Ökning av portryck med 10 kPa.	1,55	1,72	-9,9
14917VRUTK01	Odränerad analys. Södra ravinslätten. Ökning av portryck med 10 kPa.	2,64	2,64	0

Känslighetsanalysen visar att en ökning av porttrycket i jorden på 10 kPa ger översiktligt en sänkning av säkerhetsfaktorn med 5–20% vid kombinerad analys medan det för de flesta glidytor inte har någon påverkan vid odränerad analys. Undantaget till detta är sektion 14/450V och 14/735V där även odränerad analys gav en sänkning av säkerhetsfaktorn, men att de med marginal klarar säkerhetskravet. Påverkan beror på att den kritiska glidytan i sektionerna delvis går under leran i friktionsjorden vilket ger ett delvis dränerat brott även vid odränerad analys.

En sektion, 14/420VR (södra sidan), som uppfyller kraven vid befintliga förhållanden uppnår inte erforderlig säkerhetsfaktor vid känslighetsanalysen.

11.2 Erosion

Av de sektioner där beräkningar utförts för befintliga förhållanden har 6 valts ut för känslighetsanalys avseende förändringar i geometri av älvbotten till följd av erosion.

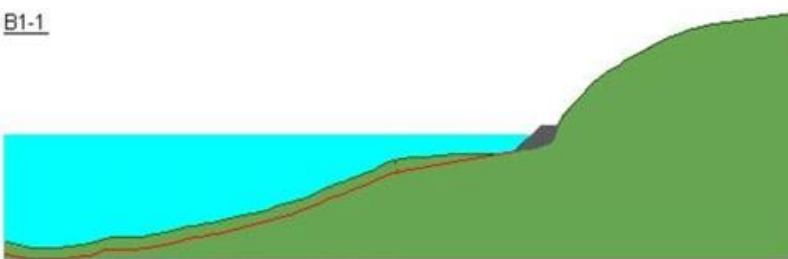
Känslighetsanalysen har utförts enligt "Riktlinjer för tekniskt arbete 6.0, DGA00XST01" där 4 olika modeller ges som alternativ för tänkbar geometrisk förändring beroende på om erosionsskydd finns och om det finns en undervattenshylla i anslutning till strandlinjen. För aktuella befintliga förhållande bedöms modell A1 och B1-1 som mest tillämpbara där en erosion motsvarande 2 meter sänkning av älvbotten modellerats, se Figur 22 och Figur 23.



Exempel från sträckan Lilla Edet-Bohus

Figur 22: Typsektion A1 avseende geometriförändring genom erosion enligt DGA00XST01, "Riktlinjer för tekniskt arbete".

B1-1



Exempel från sträckan Trollhättan - Lilla Edet

Figur 23 Typsektion B1-1 avseende geometriförändring genom erosion enligt DGA00XST01, "Riktlinjer för tekniskt arbete".

En sammanställning av resultaten från känslighetsanalysen redovisas i Tabell 11. Beräkningsresultaten redovisas i sin helhet i Bilaga 7.

Tabell 11: Sammanställning av resultaten från känslighetsanalysen avseende erosion.

Sektion/Fall	Beskrivning	Säkerhetsfaktor	Befintliga förhållanden	Förändring (%)
14221VKTE01	Kombinerad analys. 2 m erosion av älvbotten (fall A1).	1,06	1,10	-3,6
14221VUTE01	Odränerad analys. 2 m erosion av älvbotten (fall A1).	1,23	1,27	-3,1
14336VKTE01	Kombinerad analys. 2 m erosion av älvbotten (fall A1).	1,12	1,14	-1,8
14336VUTE01	Odränerad analys. 2 m erosion av älvbotten (fall A1).	1,25	1,27	-1,6
14450VKTE01	Kombinerad analys. 2 m erosion av älvbotten (fall B1-1).	1,65	1,77	-6,8
14450VUTE01	Odränerad analys. 2 m erosion av älvbotten (fall B1-1).	1,93	2,01	-4,0
14600VKTE01	Kombinerad analys. 2 m erosion av älvbotten (fall B1-1).	1,62	1,82	-11,0
14600VUTE01	Odränerad analys. 2 m erosion av älvbotten (fall B1-1).	2,00	2,05	-2,4
14671VKTE01	Kombinerad analys. 2 m erosion av älvbotten (fall A1).	1,15	1,20	-4,2
14671VUTE01	Odränerad analys. 2 m erosion av älvbotten (fall A1).	1,37	1,39	-1,4
14735VKTE01	Kombinerad analys. 2 m erosion av älvbotten (fall A1).	1,12	1,23	-8,9
14735VUTE01	Odränerad analys. 2 m erosion av älvbotten (fall A1).	1,50	1,68	-10,7

Känslighetsanalysen visar att en ändring av geometrin motsvarande 2 meter erosion av älvbotten ger en sänkning av säkerhetsfaktorn med ca 1,5–11%.

Ingen av beräkningar som uppnår erforderlig säkerhetsfaktor vid befintliga förhållanden hamnar under kraven vid känslighetsanalysen.

12 Åtgärdsförslag

Inom Åkerström begränsas möjligheterna för genomförande av åtgärder av att området utgörs av ett naturreservat. Detta har dock inte tagits hänsyn till vid framtagande av lämpliga åtgärder inom ramen för denna rapport.

Möjliga åtgärder som behandlats tidigare inom Göta älvutredningen är avschaktning, stödfyllning samt utökande av erosionskydd. För denna utredning har åtgärder med avschaktning och utökande av erosionskydd/tryckbank undersökts med omfattning så att ställda säkerhetskrav uppfylls. De olika åtgärdsmetoderna har behandlats individuellt, varvid inga beräkningar är utförda för kombinationer av flera åtgärder. För omfattning av åtgärderna i plan och sektion se ritning G-10-1-005 respektive Bilaga 8.

Beräkningar med åtgärder har utförts för samtliga sektioner där erforderlig säkerhetsfaktor ej uppnåtts vid befintliga förhållanden.

En sammanställning av resultaten från beräkningar med åtgärder redovisas i Tabell 12. Beräkningsresultaten redovisas i sin helhet i Bilaga 8.

Tabell 12: Sammanställning av beräkningsresultaten med åtgärder.

Sektion/Fall	Beskrivning	Säkerhetsfaktor
14221VKTA01	Kombinerad analys. Anisotropi: $K_0=0,6$. Mjuk övergång mellan norr och strand. Erosionsskydd med medelmåktighet ca 3 m.	1,25
14221VUTA01	Odränerad analys. Anisotropi: $K_0=0,6$. Mjuk övergång mellan norr och strand. Erosionsskydd med medelmåktighet ca 3 m.	1,34
14221VKTA02	Kombinerad analys. Anisotropi: $K_0=0,6$. Mjuk övergång mellan norr och strand. Avschaktning med medeldjup ca 2 m.	1,26
14221VUTA02	Odränerad analys. Anisotropi: $K_0=0,6$. Mjuk övergång mellan norr och strand. Avschaktning med medeldjup ca 2 m.	1,51
14336VKTA01	Kombinerad analys. Anisotropi: $K_0=0,6$. Mjuk övergång mellan norr och strand. Erosionsskydd med medelmåktighet ca 3 m.	1,25
14336VUTA01	Odränerad analys. Anisotropi: $K_0=0,6$. Mjuk övergång mellan norr och strand. Erosionsskydd med medelmåktighet ca 3 m.	1,34
14336VKTA02	Kombinerad analys. Anisotropi: $K_0=0,6$. Mjuk övergång mellan norr och strand. Avschaktning med medeldjup ca 1,5 m.	1,25
14336VUTA02	Odränerad analys. Anisotropi: $K_0=0,6$. Mjuk övergång mellan norr och strand. Avschaktning med medeldjup ca 1,5 m.	1,38
14671VKTA01	Kombinerad analys. Anisotropi: $K_0=0,6$ (endast strand). Erosionsskydd med medelmåktighet ca 1 m.	1,26
14671VUTA01	Odränerad analys. Anisotropi: $K_0=0,6$ (endast strand). Erosionsskydd med medelmåktighet ca 1 m.	1,43
14671VKTA02	Kombinerad analys. Anisotropi: $K_0=0,6$ (endast strand). Avschaktning med medeldjup ca 1 m.	1,25
14671VUTA02	Odränerad analys. Anisotropi: $K_0=0,6$ (endast strand). Avschaktning med medeldjup ca 1 m.	1,52
14735VKTA01	Kombinerad analys. Anisotropi: $K_0=0,6$ (strand), $K_0=0,55$ (söder). Erosionsskydd med medelmåktighet ca 0,5 m.	1,25
14735VUTA01	Odränerad analys. Anisotropi: $K_0=0,6$ (strand), $K_0=0,55$ (söder). Erosionsskydd med medelmåktighet ca 0,5 m.	1,63
14735VKTA02	Odränerad analys. Anisotropi: $K_0=0,6$ (strand), $K_0=0,55$ (söder). Avschaktning med medeldjup ca 2,5 m.	1,26
14735VUTA02	Odränerad analys. Anisotropi: $K_0=0,6$ (strand), $K_0=0,55$ (söder). Avschaktning med medeldjup ca 2,5 m.	1,54
14828VRKTA01	Kombinerad analys. Anisotropi: $K_0=0,55$. Södra ravinslätten. Erosionsskydd med medelmåktighet ca 0,3 m.	1,26
14828VRUTA01	Odränerad analys. Anisotropi: $K_0=0,55$. Södra ravinslätten. Erosionsskydd med medelmåktighet ca 0,3 m.	2,23
14828VRKTA02	Kombinerad analys. Anisotropi: $K_0=0,55$. Södra ravinslätten. Avschaktning med medeldjup ca 1 m.	1,39
14828VRUTA02	Odränerad analys. Anisotropi: $K_0=0,55$. Södra ravinslätten. Avschaktning med medeldjup ca 1 m.	2,25

Åtgärdsberäkningarna visar att det bästa åtgärdsalternativet för att öka säkerheterna i delområde Norr är avschaktning vid slänkrön. Erosionsskydd/tryckbank kräver betydande uppfyllnad vid slänfot och behöver utföras långt ut i Göta älv, vilket innebär ett betydligt större ingrepp i naturreservatet än avschaktning. I den södra delen av området samt i ravinerna bedöms den bästa åtgärden för att öka säkerheten vara att utöka/anlägga erosionsskydd/tryckbank vid slänfot eftersom alternativet bedöms ge ett betydligt mindre ingrepp i naturreservatet än avschaktning av slänkrön.

13 Sammanfattning

Erforderlig säkerhetsfaktor, $F_C \geq 1,35$ och $F_{komb} \geq 1,25$, uppnås i alla beräknade sektioner förutom 14/221V, 14/336V, 14/420VR (norra slänten), 14/671V, 14/735V och 14/828VR (södra slänten).

Genomgående är det den kombinerade analysen som ger lägst säkerhetsfaktorer i förhållande till säkerhetskraven. Hög hållfasthet och branta slänter tillsammans med höga portryck har gjort att skillnaden mellan kombinerad- och odräneradanalys är betydligt större än vad som är vanligt förekommande. Grundvattentryck i bottenfriktionen och portrycksförhållandena är styrande för säkerheten tillsammans med dränerade parametrar.

Samtliga sektioner som ej uppnår erforderlig säkerhetsfaktor går genom lera som tolkats som kvicklera, vilket innebär att vid händelse av skred kan sekundära skred utlösas vars utbredning bedöms kunna nå fram till bergsområdena som ligger längs området norra gräns, upp till 140 meter från älvens strandlinje, samt till bergskammen i södra delarna av området, se ritning G-10-1-004.

Vid utförda känslighetsanalyser avseende portryck och erosion fås en minskning av säkerhetsfaktorn på 5–20 % respektive 1,5–11 %. Alla beräkningssektioner som uppfyller kraven vid befintliga förhållanden uppfyller även kraven vid känslighetsanalyserna.

Åtgärder i form av avschaktning och utökat erosionsskydd/tryckbank har övervägts där avschaktning anses som lämpligast i norra delarna av området medan utökat erosionsskydd anses som lämpligast i söder och ravinerna. Detta motiveras av att dessa åtgärder ger minsta möjliga ingrepp i naturreservatet. Åtgärder har undersökts separat med enbart avschaktning alternativt enbart erosionsskydd/tryckbank. Åtgärderna har getts en omfattning så att ställda stabilitetskrav uppfylls.

14 Fortsatta arbeten

Genomgående är det den kombinerade analysen som inte uppfyller ställda stabilitetskrav till följd av höga portryck och dränerade parametrar. Det innebär att jordlagrens dränerade parametrar har stor påverkan för resultatet, vilka skulle kunna detaljstuderas vidare.

Vid utvärdering av dränerade parametrar från odränerad triaxialförsök bedöms den inre friktionsvinkeln för leran i området vara högre än 30 grader alternativt är kohesionsintercepten högre. Bedömningen görs att antingen den inre friktionsvinkeln eller kohesionsintercepten ökar med djupet. Viket i området skulle få stor inverkan (positivt) då stor del av kritiska glidytor har dränerade parametrar vid kombinerad analys även till större djup än normalt (upp till ca 15 meters djup). Då utvärdering från odränerade triaxialförsök är osäkra och förhållandet mellan inre friktionsvinkel och kohesionsintercept inte har gett några tydliga resultat har värden enligt praxis använts (30 grader och $0,1 \times C_u$). För tillförlitliga dränerade parametrar skulle därför dränerade triaxialförsök kunna utföras.

Ytterligare utredning och beräkningar med avseende på sannolikhet för skred föreslås för att åtgärder ska kunna minimeras i naturreservatet. Viket kan göras genom en kombination av beaktande av procentuellförbättring och minskad sannolikhet för skred.

För bättre grundvatten- och portrycksunderlag bör mätningar utföras under en längre tid för att få bättre uppfattning om extremvärden. Då portrycksförändringar bedöms ske från bottenfriktionen kan för vissa delar av området högre portryck uppstå än de uppmätta under utredningsperioden i den nedre delen av jordprofilen. Utvecklad känslighetsanalys föreslås således för portrycksförändringar i akvifären i bottenfriktionen specifikt.