

Åkerström norra, Göta älv

Fördjupad stabilitetsutredning, komplettering

Dokumenttyp:

Geotekniskt Notat

Dokumentnummer:

14600VPM02

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	Ann-Louise Elliot
Upprättad av	Daniel Björn
Datum	2024-05-17
Granskad av (datum)	Ann-Louise Elliot (2024-05-15)
Dokumentreferens	BD \\sweco.se\se\got01\projekt\22321\30046482_åkerström_norra\000\3_genomforande\35_arbetsmaterial\geoteknik\notat kompletteringar\notat_komplettering dränerade försök_2.docx

Innehållsförteckning

1	Uppdrag	4
1.1	Syfte	5
1.2	Styrande dokument	5
2	Utförda undersökningar	5
3	Utvärdering dränerade parametrar	5
4	Stabilitetsberäkningar	8
4.1	Valda parametrar	8
4.1.1	Valda parametrar, 14/221 och 14/336.....	9
4.1.2	Valda parametrar, 14/735.....	10
4.2	Beräkningsresultat.....	11
5	Åtgärder	11
6	Slutsats.....	12

Bilagor:

<i>Beteckning</i>		<i>Datum</i>	<i>Rev. datum</i>	<i>Sidor</i>
Bilaga 1	Stabilitetsberäkningar, Befintliga förhållanden	2024-05-17		10
Bilaga 2	Stabilitetsberäkningar, Åtgärder	2024-05-17		8
Bilaga 3	Utvärdering triaxialförsök, dränerade parametrar	2024-05-17		4

Ritningar:

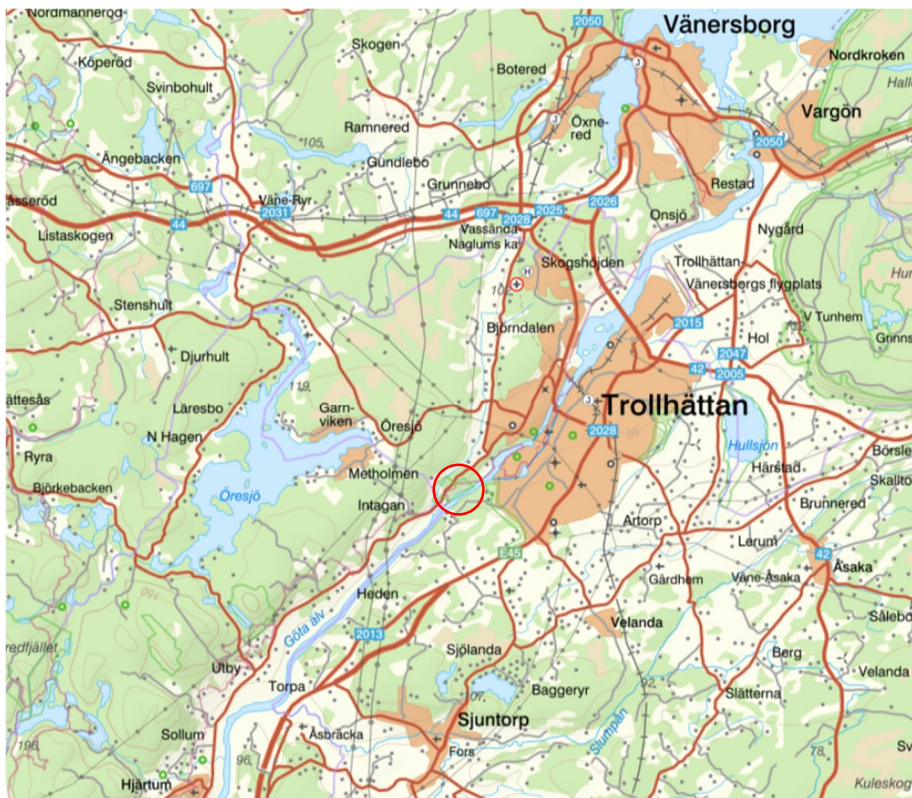
<i>Beteckning</i>	<i>Typ</i>	<i>Skala/Format</i>	<i>Datum</i>
G-10-1-006	Plan: Delområdesindelning och beräkningssektioner	1:1250 / A1	2024-05-17
G-10-1-007	Plan: Tolkad kvicklera och skredutbredning	1:1250 / A1	2024-05-17
G-10-1-008	Plan: Omfattning åtgärder	1:1250 / A1	2024-05-17

1 Uppdrag

På uppdrag av SGI har Sweco Sverige AB tidigare 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 är del i delområde 5 i Göta älvutredningen.

Den tidigare utredningen, som redovisas i handling 14600VPM01, visade att den kombinerade analysen huvudsakligen var dimensionerande för stabiliteten i området och i vissa sektioner var de kritiska glidytor till stor del dränerade. Därför har nu utredningen kompletterats med ytterligare fält- och laboratorieundersökningar för att i mer detalj utreda lerans dränerade egenskaper. Därefter kontrolleras tidigare beräknade sektioner för att utreda hur de nya dränerade parametrarna hos leran påverkar stabilitetsförhållandena vid befintliga förhållanden och för tidigare översiktligt framtagna förstärkningsåtgärder.

Föreliggande notat berör endast kompletteringen av tidigare utredning. För mer information om undersökningsområdet och tidigare utförd utredning, se geotekniskt PM, dokumentnummer 14600VPM01.



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

1.1 Syfte

Syftet med detta notat kan delas in i följande delar:

- att redovisa de kompletterade undersökningsresultaten för lerans dränerade parametrar.
- att redovisa nya resultat för stabilitetsberäkningar för befintliga förhållanden och för föreslagna åtgärder, med justerade dränerade parametrar efter resultat från de kompletterande dränerade triaxialförsöken.
- att justera jordmodellens indelning i anslutning till sektion 14/671 utifrån nya undersökningsresultat
- att utföra kompletterande beräkningar i sektion 14/671 utifrån justerad indelning av jordmodell och nya parametrar.

1.2 Styrande dokument

Utvärderingen av lerans dränerade parametrar samt appliceringen av dessa i stabilitetsberäkningarna har utförts enligt följande:

- Larsson, R. (1981). Drained behaviour of Swedish clays. Rapport No. 12, Statens geotekniska institut, Linköping.
- SGF, (2012). Triaxialförsök – en vägledning. SGF rapport 2:2012. Sveriges geotekniska förening, Linköping.
- Holmén, M. (2014). Dränerade triaxialförsök med låga startspänningar. Teknisk notis 2014:2. Statens geotekniska institut, Linköping.

I övrigt har utredningen följt samma styrande dokument som tidigare PM, se geotekniskt PM, dokumentnummer 14600VPM01.

2 Utförda undersökningar

Kompletterande fältundersökningar har utförts av Sweco under perioden oktober till november 2023. Kompletterande laboratorieundersökningar har utförts av SGI under perioden oktober till december 2023.

Fältundersökningarna innefattade främst kolvprovtagning samt ving-försök och CPT-sondering. Laboratorieundersökningarna innefattade huvudsakligen dränerade triaxialförsök som föregicks av rutinundersökningar och crs-försök.

Undersökningarna är utförda i sektion 14/336, 14/671 och 14/735, med en undersökningspunkt i varje sektion.

Resultaten från undersökningarna presenteras i Markteknisk undersökningsrapport, geoteknik (MUR/Geo) med dokumentnummer 14600VRA01.

3 Utvärdering dränerade parametrar

I den fördjupade stabilitetsutredningen, se geotekniskt PM med dokumentnummer 14600VPM01, visade resultaten att de dränerade parametrarna hade stor inverkan på resultaten av stabilitetsberäkningarna. Inverkan blev ("ovanligt") stor på grund av hög odränerad skjuvhållfasthet och portryck som är högre än hydrostatiskt. I sektion 14/336V (22SW07) var dränerade parametrar dimensionerade till ett djup av ca 15 meter (vid

kombinerad analys). I sektion 14/735V (22SW20) var dränerade parametrar dimensionerade för ca 80 % av glidyten (vid kombinerad analys).

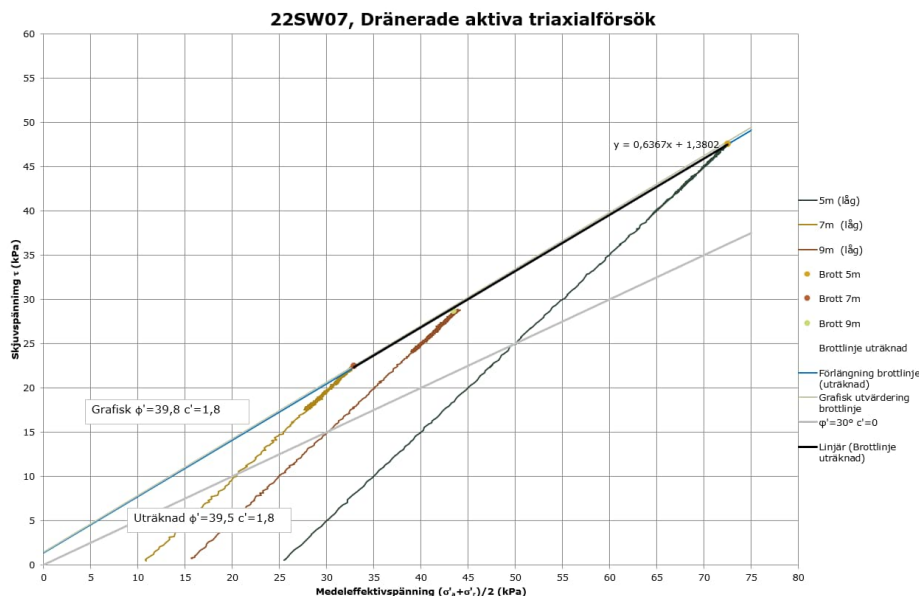
Generellt ansätts lerans dränerade parametrar genom ett samband utifrån den odränerade hållfastheten och empiriska erfarenheter. Kohesionsinterceptet är då enligt praxis $0,1 \cdot c_u$ och den effektiva inre friktionsvinkeln 30° .

Enligt Larsson R. (1981) kan högre friktionsvinkel förekomma vid låga spänningar samt där spänningarna ej överskrider $0,8 \cdot \sigma'_c$. Detta var ett motiv till att kompletteringar utfördes där de dränerande parametrarna undersöktes ytterligare med dränerade aktiva triaxialförsök.

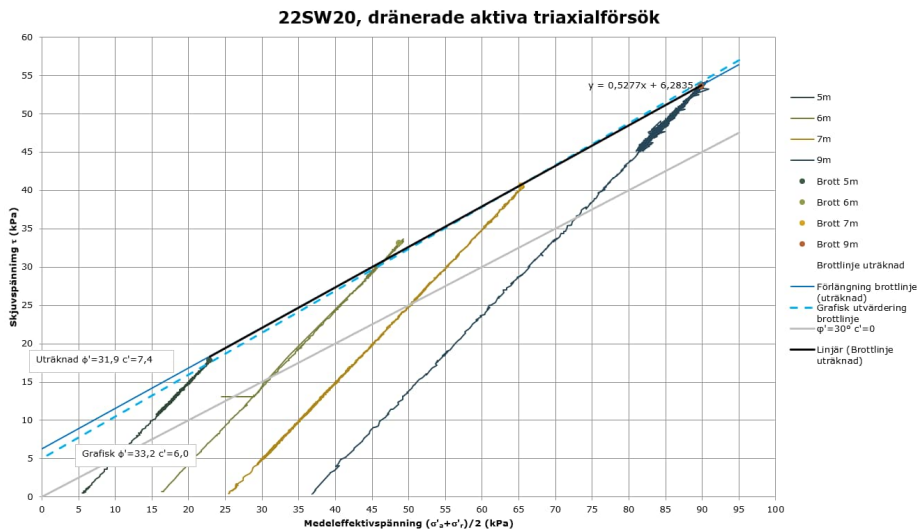
De dränerade triaxialförsöken har utvärderats enligt SGF Rapport 2:2012 och SGI Teknisk notis 2:2014, enligt tre olika förfaranden. Utförandet av de dränerade triaxialförsöken bestämdes i samråd med SGI:s geotekniklaboratorium.

Sju dränerade triaxialförsök utfördes. Inledningsvis konsoliderades leran till 80% av förkonsolideringstrycket (σ'_c), följt av avlastning till en låg spänningsnivå (i förhållande till in-situ spänningar). Därefter startades försöken och kördes tills provet gick till brott. Brottspänningen redovisas i ett spänningsvägsdiagram där utvärdering av inre friktionsvinkel och kohesionsintercept har gjorts grafiskt samt från en matematiskt uträknade trendlinje från brottpunkterna, där de lägre värdena valts ut för kompletterande beräkningar (Grafisk utvärdering från effektiva spänningsvägar, enligt SGF Rapport 2:2012).

I undersökningpunkt 22SW07 gav grafisk utvärdering en inre friktionsvinkel på $39,8^\circ$ och ett kohesionsintercept på 1,8 kPa medan en matematisk uträkning gav en inre friktionsvinkel på $39,5^\circ$ och ett kohesionsintercept på 1,8 kPa, se Figur 2. I undersökningpunkt 22SW20 gav grafisk utvärdering en inre friktionsvinkel på $33,2^\circ$ och ett kohesionsintercept på 6,0 kPa medan en matematisk uträkning gav en inre friktionsvinkel på $31,9^\circ$ och ett kohesionsintercept på 7,4 kPa, se Figur 3. För samtliga resultat och utvärderingar av triaxialförsöken i punkt 22SW07 och 22SW20, se Bilaga 3.



Figur 2: Spänningsvägsdiagram visande utförda dränerade triaxialförsök i punkt 22SW07 startade från låg spänning samt grafisk utvärdering och uträknad inre friktionsvinkel och kohesionsintercept (grå linje är en referenslinje för inre friktionsvinkel, 30° och kohesionsintercept, 0 kPa).



Figur 3: Spänningvägsdiagram visande utförda dränerade triaxialförsök i punkt 22SW20 startade från låg spänning samt grafisk utvärdering och uträknad inre friktionsvinkel och kohesionsintercept (grå linje är en referenslinje för inre friktionsvinkel, 30° och kohesionsintercept, 0 kPa).

I spänningvägsdiagrammen ovan i $t-s'$ -planet betecknas lutningen på brottlinjen α och skärningen med x-axel (interceptet) d . Sambandet med brottlinjen i Mohr-planet med lutningen ϕ' och kohesionsinterceptet c' erhålls enligt:

$$\sin \phi' = \tan \alpha$$

$$c' = \frac{d}{\sqrt{1 - \tan^2 \alpha}}$$

I undersökningspunkt 22SW07 utfördes även tre försök som först konsoliderades till 80% av förkonsolideringstrycket (σ'_c) följt av avlastning till in-situ spänningar innan försöken startades. Dessa försök nådde dock inte upp till brottlinjen. Två försök kördes även med konstant medeleffektivspänning från in-situ spänningar efter att först konsoliderats till 80% av förkonsolideringstrycket (σ'_c). Inte heller dessa försök nådde upp till brottlinjen, se Bilaga 3. Dessa resultat gjorde att samtliga försök i undersökningspunkt 22SW20 kördes från låga spänningar.

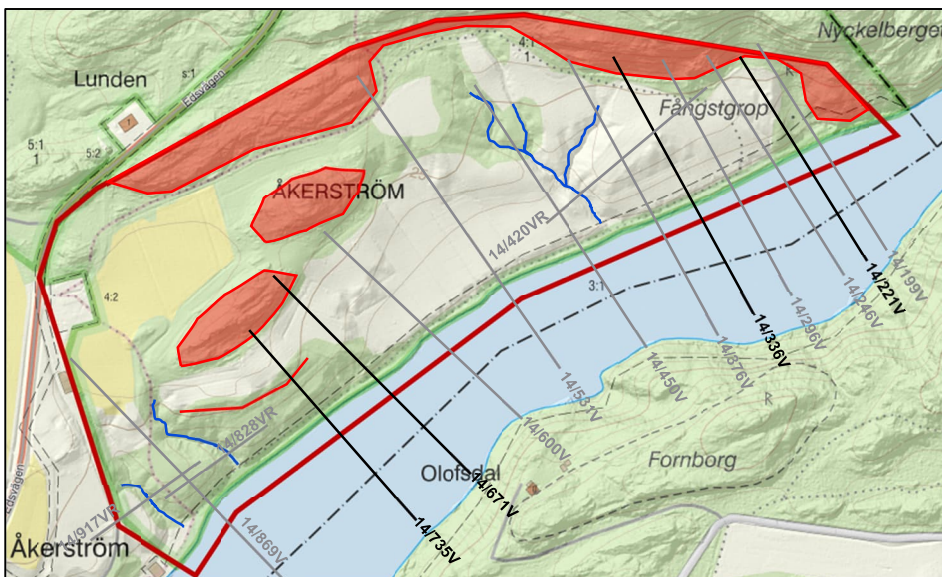
4 Stabilitetsberäkningar

Stabilitetsberäkningarna har utförts enligt IEG Rapport 4:2010 "Tillståndsbedömning/klassificering av naturliga slänter och slänter med befintlig bebyggelse och anläggningar". Beräkningarna är fördelade på 4 sektioner, se Figur 4, utförda med kombinerad analys enligt totalsäkerhetsmetoden.

Stabilitetsberäkningarna är utförda med programmet Geostudio SLOPE/W 2023.1.2, version 23.1.2.11.

Sektionerna där kompletterande beräkningar utförts är 14/221, 14/336, 14/671 och 14/735, se Figur 4.

Endast ingående parametrar som utifrån aktuell utvärdering av lerans dränerade parametrar avviker från valda parametrar som anges i tidigare PM, redovisas i denna rapport. För övriga beräkningsförutsättningar såsom val av säkerhetsfaktor, portrycksförhållanden mm, hänvisas till tidigare PM.



Figur 4: Översiktsbild över beräknade sektioner i området. Nu beräknade sektioner markerade i svart.

4.1 Valda parametrar

Vid val av värden på ingående materialparametrar har samma värden använts som vid tidigare PM, med undantag av lerans dränerade parametrar.

För sektion 14/671 har materialparametrar från delområde Söder använts, till skillnad från i tidigare PM, där värden från delområde Centralt användes. Motiveringen till detta är att efter kompletterande CPT-sonderingar och vingförsök bedömdes sektionen ha bättre samstämmighet med jordmodellen för delområde Söder. Med hänsyn till resultaten av beräkningarna av sektionen med dessa nya parametrar har inga nya värden på lerans dränerade parametrar har applicerats för sektion 14/671, se kap 4.2.

Ingående parametrar för jordlagren som förändrats redovisas nedan. För parametrar på jordlager som inte justerats med nya dränerade parametrar hänvisas till tidigare PM, dokumentnummer 14600VPM01.

4.1.1 Valda parametrar, 14/221 och 14/336

För sammanställning av valda materialparametrar för sektion 14/221 och 14/336 i delområde Norr, se Tabell 1.

Tabell 1: Sammanställning av valda materialparametrar för delområdet Norr där förändrade värden har fet stil.

<i>Jordlager</i>	<i>Materialegenskaper</i>	<i>Valda värden</i>
Lera 01 (strand) (i höjd med delområde Norr)	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 39,5 grader 1,8 kPa 0,6
Lera 02 (strand) (från ca 2 meters djup) (i höjd med delområde Norr)	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 39,5 grader 1,8+0,12d kPa 0,6
Lera 03 (strand) (från ca 12 meters djup) (i höjd med delområde Norr)	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 39,5 grader 2,35+0,2d kPa 0,6
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 39,5 grader 1,8 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 39,5 grader 1,8+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 39,5 grader 2+0,3d kPa 0,6

4.1.2 Valda parametrar, 14/735

För sammanställning av valda materialparametrar för sektion 14/735 i delområde Söder, se Tabell 2.

Tabell 2: Sammanställning av valda materialparametrar för delområdet Söder där förändrade värden har fet stil.

<i>Jordlager</i>	<i>Materialegenskaper</i>	<i>Valda värden</i>
Lera 01 (strand) <i>(i höjd med delområde Söder)</i>	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 33,2 grader 6 kPa 0,6
Lera 02 (strand) <i>(från ca 2 meters djup)</i> <i>(i höjd med delområde Söder)</i>	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 33,2 grader 6+0,12d kPa 0,6
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 33,2 grader 6 kPa 0,55
Lera 11 (söder) <i>(från ca 6 meters djup)</i>	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 33,2 grader 6+0,28d kPa 0,55

4.2 Beräkningsresultat

Nedan följer en sammanställning av resultaten från de kompletterande beräkningar som utförts för befintliga förhållanden. Beräkningsresultaten i sin helhet redovisas i Bilaga 1.

Tabell 3: Sammanställning av resultaten från stabilitetsberäkningarna. Röd text visar ej uppnådd erforderlig säkerhetsfaktor. Inom parentes är framräknade säkerhetsfaktorer i tidigare PM.

Sektion/Fall	Beskrivning	Säkerhetsfaktor
14221VKTB02	Kombinerad analys. Anisotropi: $K_0=0,6$. Mjuk övergång mellan norr och strand. Med nya dränerade parametrar.	1,15 (1,08)
14336VKTB02	Kombinerad analys. Anisotropi: $K_0=0,6$. Mjuk övergång mellan norr och strand. Med nya dränerade parametrar.	1,16 (1,13)
14671VKTB02	Kombinerad analys. Anisotropi: $K_0=0,6$ (strand), $K_0=0,55$ (söder). Med parametrar tillhörande delområde söder (utan nya dränerade parametrar).	1,30 (1,17)
14671VUTB02	Odränerad analys. Anisotropi: $K_0=0,6$ (strand), $K_0=0,55$ (söder). Med parametrar tillhörande delområde söder.	1,84 (1,39)
14735VKTB03	Kombinerad analys. Anisotropi: $K_0=0,6$ (strand), $K_0=0,55$ (söder). Med nya dränerade parametrar.	1,30 (1,16)

Att flytta delområdestillhörighet för sektion 14/671 ger en ökning av säkerhetsfaktorn med 11% för kombinerad analys och 32% för odränerad analys jämfört med tidigare beräkningar. Det innebär att sektionen nu uppnår erforderlig säkerhet. Som ett resultat av att erforderlig säkerhet nu uppnås har denna sektion inte beräknats med nya dränerade parametrar.

I sektion 14/735 fås, efter applicering av nya dränerade parametrar, en ökning av säkerhetsfaktorn med 12% jämfört med tidigare beräkningar. Sektionen uppnår därmed nu erforderlig säkerhet. Inga förstärkningsåtgärder erfordras utgående från de nya resultaten i den södra delen av området.

I sektion 14/221 och 14/336 fås en marginell ökning av säkerhetsfaktorn med 6% respektive 3% med nya dränerade parametrar, jämfört med tidigare beräkningar. Detta innebär det att sektionerna likt tidigare beräkningar inte uppnår erforderlig säkerhet. Förstärkningsåtgärder erfordras fortsatt i den norra delen av området för att erforderlig säkerhet ska uppnås.

5 Åtgärder

Föreslagna åtgärder är avschaktning och erosionsskydd/tryckbank, se tidigare PM.

Beräkningar har i den norra delen utförts i sektion 14/221 och 14/336 med nya dränerade parametrar för samma utformning som i tidigare PM.

En sammanställning av resultaten från beräkningar med åtgärder redovisas i Tabell 4. Beräkningsresultaten redovisas i sin helhet i Bilaga 2.

Tabell 4: Sammanställning av beräkningsresultaten med åtgärder. Beräkningsresultat från tidigare utredning redovisas inom parentes.

Sektion/Fall	Beskrivning	Säkerhetsfaktor
14221VKTA03	Kombinerad analys. Anisotropi: $K_a=0,6$. Mjuk övergång mellan norr och strand. Erosionsskydd med medelmåktighet ca 3 m.	1,28 (1,25)
14221VKTA04	Kombinerad analys. Anisotropi: $K_a=0,6$. Mjuk övergång mellan norr och strand. Avschaktning med medeldjup ca 2 m.	1,38 (1,26)
14336VKTA03	Kombinerad analys. Anisotropi: $K_a=0,6$. Mjuk övergång mellan norr och strand. Erosionsskydd med medelmåktighet ca 3 m.	1,27 (1,25)
14336VKTA04	Kombinerad analys. Anisotropi: $K_a=0,6$. Mjuk övergång mellan norr och strand. Avschaktning med medeldjup ca 1,5 m.	1,28 (1,25)

Åtgärdsberäkningarna visar att endast mindre öknings av säkerhetsfaktorn fås med nya dränerade parametrar i norra delarna av området, sektion 14/221 och sektion 14/336. Ökningen av säkerhetsfaktorn är något större vid förstärkning genom avschaktning än med erosionsskydd.

6 Slutsats

De kompletterande undersökningar i sektion 14/671 bekräftar att sektionen tillhör delområde Söder och erforderlig säkerhetsfaktor uppnås för befintliga förhållanden (utan nya dränerade parametrar). I sektionen erfordras därmed inte längre några förstärkningsåtgärder.

Resultat från de kompletterande undersökningarna bedöms ge korrekta resultat från de dränerade aktiva triaxialförsöken som startades från låg spänning enligt SGI Teknisk notis 2:2014.

I norr valdes efter försöken de dränerade parametrarna till $\phi' = 39,5^\circ$ och $c' = 1,8$ kPa och i söder till $\phi' = 33,2^\circ$ och $c' = 6,0$ kPa.

Kompletteringen har lett fram till att något högre dränerade hållfasthetsparametrar för leran har kunnat tillgodoräknas. Vid beräkningar i sektion 14/735 gav det en höjning av säkerhetsfaktorn med 12% jämfört med tidigare beräkningar. Säkerhetsfaktorn blev då 1,30 vid kombinerad analys vilket innebär att sektionen nu uppnår erforderlig säkerhetsfaktor. I sektion 14/221 och 14/336 resulterade de nya beräkningarna i en mindre ökning av säkerhetsfaktorn med 6% respektive 3% (1,15 respektive 1,16). Dessa sektioner i norr uppnår således inte erforderlig säkerhetsfaktor, även efter att de dränerade parametrarna har kunnat ökas. Endast mindre öknings av säkerhetsfaktorn erhöles vid beräkningar med åtgärder.

I sektion 14/221 och 14/336 kan noteras att övergångszonen mellan delområdena strand och norr beräknats som odränerad även vid kombinerad analys med nya dränerade parametrar. Motiveringen till detta är att den odränerade delen av den kritiska glidyten sträcker sig bortom övergångszonen och därmed inte påverkar den kombinerade analysen.

I söder där stor procentuell del av glidyten är dränerad vid kombinerad analys fås betydligt större förändring av säkerhetsfaktor jämfört med i norr där glidyten är dränerad till ett stort djup. När glidyten är dränerad till ett stort djup sker övergången till odränerat vid något mindre djup och förändringen av säkerhetsfaktorn blir liten. Om glidyten har en stor procentuell andel som är dränerad beror det sannolikt på att den begränsas mot djupet genom att den

går i anslutning till fast botten. Då får de dränerade parametrarna större inverkan då den odränerade hållfastheten fortfarande är betydligt högre.

Någon känslighetsanalys om en högre inre friktionsvinkel eller ett högre kohesionsintercept har störst inverkan på säkerhetsfaktor har inte utförts inom ramen för detta notat.

För samtliga dränerade triaxialförsök som SGI geotekniklaboratorium har utfört utmed Göta älv (som sekretariatet för Göta älv varit beställare av) fås att medelvärdet för den inre friktionsvinkel ligger över 30° och att kohesionsintercept ligger över $0,1 \cdot c_u$. Resultaten har dock inte redovisats i någon sammanställd rapport, men information från labbet visar att det inte finns någon tydlig samstämmighet hur mycket högre värdena kan antas vara.

När den kombinerade analysen är dimensionerande och betydligt lägre än den odränerade analysen, bör en känslighetsanalys med förändrade (höjda) värden för de dränerade parametrarna utföras för att bedöma om det är aktuellt att utföra dränerade triaxialförsök.