

JANUARI 2024
SGI – DELEGATIONEN FÖR GÖTA ÄLV

TORNA DAL, LILLA EDETS KOMMUN

PM GEOTEKNIK FÖRDJUPAD STABILITETSUTREDNING

30800VPM01



COWI

ADRESS COWI AB
Vikingsgatan 3
Box 12076
402 41 Göteborg
Sverige

TEL 010 850 10 00
FAX 010 850 10 10
WWW cowi.se

JANUARI 2024
SGI – DELEGATIONEN FÖR GÖTA ÄLV

TORNA DAL, LILLA EDETS KOMMUN

PM GEOTEKNIK FÖRDJUPAD STABILITETSUTREDNING

30800VPM01

PROJEKTNR.

A244820

DOKUMENTNR.

30800VPM01

KONTAKTPERSON SGI

Jimmy Aradi

DIARIENR. SGI

6.2-2205-0491

UPPDRAGSNR. SGI

10292

VERSION

1.0

UTGIVNINGSDATUM

2024-01-19

BESKRIVNING

PM Geoteknik

UTARBETAD

Andreas Stöllman

GRANSKAD

Charlotte Junkers

GODKÄND

Eli Martinez Szmyt

INNEHÅLL

1	Objekt	10
2	Syfte	10
3	Underlag för utredningen	11
3.1	Tidigare utförda undersökningar	11
3.2	Övrigt underlag	12
4	Styrande dokument	12
5	Projekteringsanvisningar	13
6	Befintliga förhållanden	15
6.1	Topografi och ytbeskaffenhet	15
6.2	Befintliga konstruktioner	18
6.3	Tidigare jordskred	22
7	Geotekniska förhållanden	23
7.1	Jordlagerförhållanden	23
7.2	Utvärdering av kvicklera	31
7.3	Hydrogeologiska förhållanden	38
8	Valda beräkningsparametrar	46
8.1	Beräkningsparametrar	46
8.2	Anisotropifunktion	55
8.3	Portrycksmodell	64
8.4	Vattenstånd i Göta älv	69
8.5	Laster	69

9	Känslighetsanalys	69
9.1	Förändrad geometri till följd av erosion	70
9.2	Belastning på markytan	70
9.3	Förändring av portrycksförhållanden	71
9.4	Dränerade parametrar	71
9.5	Beaktande av empirisk beräknad ansiotropi	72
9.6	Jorddjup och jordlagerföljd	72
10	Åtgärder	73
10.1	Tryckbank/erosionsskydd	73
10.2	Avschaktning	73
10.3	Kalkcementpelare	74
11	Övriga förutsättningar, stabilitetsanalys	74
12	Beräkningar och resultat	77
12.1	Beräkningssektion 30600V	79
12.2	Beräkningssektion 30665V	81
12.3	Beräkningssektion 30760R - skredärr	83
12.4	Beräkningssektion 30870V	84
12.5	Beräkningssektion 30990V	86
12.6	Beräkningssektion 31020V	88
12.7	Beräkningssektion 31030R – Strömsbäcken	93
12.8	Beräkningssektion 31075R – Strömsbäcken	94
12.9	Beräkningssektion 31110R – Strömsbäcken	95
12.10	Beräkningssektion 31120R – Strömsbäcken	96
12.11	Beräkningssektion 31125R – Strömsbäcken	97
12.12	Beräkningssektion 31130R – Strömsbäcken	99
12.13	Beräkningssektion 31135R – Strömsbäcken	100
12.14	Beräkningssektion 31145R – Strömsbäcken	102
12.15	Beräkningssektion 31150V	104

13	Föreslagna åtgärder	106
14	Skredutbredning	107
15	Slutsats och rekommendationer	109

BILAGOR

Bilaga 1	Sammanställning av valda värden för odränerad skjuvhållfasthet
Bilaga 2	Sammanställning av valda värden för tunghet
Bilaga 3	Sammanställning av porttryck
Bilaga 4	Valda beräkningsparametrar
Bilaga 5	Beräkningsresultat
Bilaga 6	Val av skjuvhållfasthet
Bilaga 7	Utvärdering av kvicklera, CPTU-R- och trycksondering

Förord

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.

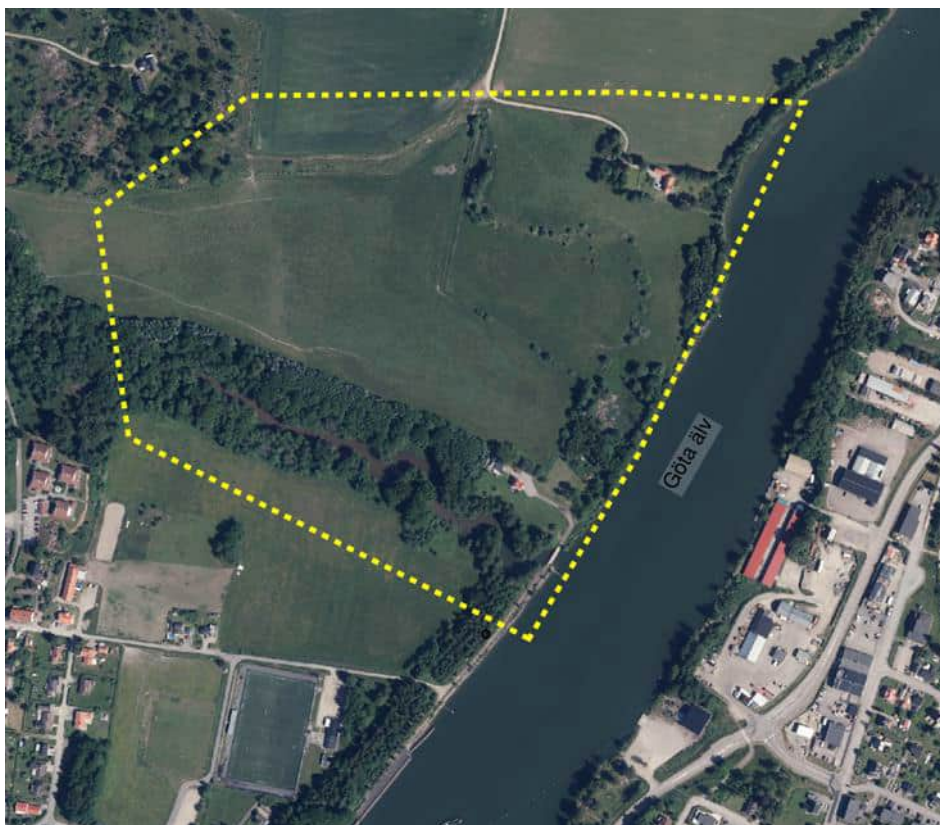
Stabilitetsutredningarna görs av geotekniska konsulter under ledning av SGI. I uppdragen ingår bland annat att presentera en bedömning av skjuvhållfastheten och att ge förslag på lämpliga stabilitetshöjande åtgärder. Utredningsresultaten ligger till grund för SGI:s fortsatta arbete med analys och beräkning 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 Objekt

På uppdrag av Statens geotekniska institut (SGI) har COWI AB utfört en fördjupad stabilitetsutredning vid Torna dal i Lilla Edets kommun.

Undersökningsområdet är beläget på västra sidan om Göta älv i höjd med de norra delarna av Lilla Edets tätort. Området ligger mellan Kungälvsvägen och Göta älv, se Figur 1. Området sträcker sig från km 30/550 i norr till km 31/150 i söder enligt Göta älvs längdmätning. För planritning med längdmätning hänvisas till MUR Geoteknik.



Figur 1 Översiktsbild, aktuellt område markerat med gul linje
(kartkälla: minkarta.lantmateriet.se 2023)

2 Syfte

Utredningen omfattar en fördjupad geoteknisk utredning, enligt IEG:s Rapport 4:2010. Syftet med den fördjupade stabilitetsutredningen är att klargöra områdets befintliga stabilitetsförhållanden, utreda behov av eventuella stabilitetsförbättrande åtgärder samt att översiktligt utreda omfattningen av en eventuell åtgärd.

3 Underlag för utredningen

Som underlag till denna utredning har nya- och tidigare geotekniska undersökningar nyttjats tillsammans med inmätning av markyta och batymetrisk mätning av Göta älvs botten, se kapitel 3.1 och kapitel 3.2 för detaljerad sammanställning.

3.1 Tidigare utförda undersökningar

Geotekniska fält- och laboratorieundersökningar har utförts av COWI AB under 2022-2023. Resultaten från dessa undersökningar redovisas i:

- > Torna dal, Lilla Edet kommun, 30800VRA01, Markteknisk undersökningsrapport (MUR) Geoteknik, Uppdragsnummer COWI A244820, daterad 2024-01-19.

Inom aktuellt område har geotekniska undersökningar utförts tidigare. I Tabell 1 nedan redovisas en förteckning över tidigare utförda undersökningar, vilka nyttjats i utredningsarbetet.

Tabell 1 Tidigare utförda undersökningar

Uppdrag	Utförd av	Uppdrags-nummer	Beteckning i plan	Datum	Undersöknings-punkterna erhållet i format:
Förhandsinformation: SGI Geotekniska under-sökningar i Göta älv från flotte (Östra Berg)	WSP	10345431	22S803	-	Autograf-databas/PDF
Förhandsinformation: Slussarna i Trollhätte kanal	WSP	10326082	22W871	-	Autograf-databas/PDF
Västra älvstranden Fördjupad utredning, Norra delområdet	Ramböll	61461253085-03	R121XX	2013-12-10	PDF
Fördjupad stabilitetsutredning Ryk 3:11	Ramböll	614661145055	1106A11 1106A12 1106A13 1106A14	2011-10-10	Autograf-databas/PDF
Göta älvutredningen delområde 4	SGI	14084	U04094-U04103	2011-03-31	Autograf-databas/PDF

Uppdrag	Utförd av	Uppdrags- nummer	Beteckning i plan	Datum	Undersöknings- punkterna erhållet i format:
Göta älvutredningen delområde 5	SGI	14084	U05208- U05213	2010-04-15	Autograf- databas/PDF
Trollhätte kanalverk	Scandiaconsult	391719-01	Ej digitaliserade	1991-12-11	PDF
Ström 2:18 m.fl.	Göteborgs Förorter	36202182230	84GF141/ 7510AXX	1984-06-15	Autograf- databas/PDF
Vårdbyggnad på Ström	Göteborgs Förorter	36202030230	7510AXX	1975-10-21	Autograf- databas/PDF

3.2 Övrigt underlag

- > Grundkarta erhållen från beställaren, augusti 2022
- > Kartmaterial erhållet från berörda ledningsägare, augusti 2022
- > Batymetrisk mätning av älvbotten från 2018
- > Höjddata från Lantmäteriets WCS-tjänst, erhållen från beställaren, mars 2023
- > Geosuite-databas med tidigare utförda undersökningspunkter erhållen från beställaren, juni 2022.
- > Lodning av Strömsbäckens östra delar, utförd av WSP inom Projekt Slussarna i Trollhätte kanal i juni 2022
- > SGU:s kartvisare för jordskred och raviner, februari 2023. Ett utsnitt över aktuellt område framgår av Figur 14.

4 Styrande dokument

Som underlag till denna utredning har nedanstående styrande dokument använts.

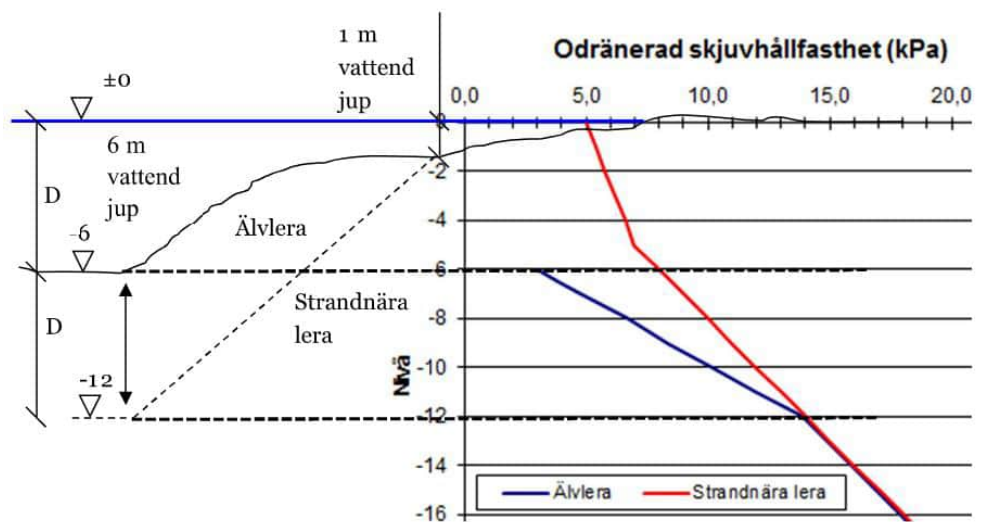
- > IEG Rapport 4:2010, Tillståndsbedömning/klassificering av naturliga slänter och slänter med befintlig bebyggelse och anläggningar. Vägledning för tillämpning av Skredkommissionens rapporter 3:95 och 2:96 (delar av).

5 Projekteringsanvisningar

Stabilitetsberäkningar har utförts med totalsäkerhetsmetoden. Erforderliga säkerhetsfaktorer mot stabilitetsbrott för totalsäkerhetsmetoden krävs i IEG Rapport 4:2010. Enligt direktiv från beställaren, SGI ska beräknad säkerhetsfaktor (F_{tot}) med totalsäkerhetsmetoden överstiga $F_c = 1,4$ för odränerad analys och $F_{komb} = 1,3$ för kombinerad analys. Erforderliga säkerhetsfaktorer för uppdraget motsvarar därmed den övre gränsen av intervallet som anges i IEG Rapport 4:2010.

För Torna dal har vald skjuvhållfasthet bestämts genom en ingenjörsmässig bedömning där stor tyngdpunkt har lagts på utförda avancerande laboratorieanalyser, i form av direkta skjuvförsök och triaxialförsök.

Inom de delar där undersökningar under Göta älv saknas har skjuvhållfastheten för leran under älvbotten bestämts enligt metodik framtagen av beställaren, SGI. I beräkningarna har älvlerans hållfasthet, omedelbart under älvbotten, ansatts till 3 kPa med linjär ökning mot det värde som motsvarar den hållfasthet som råder på land, se Figur 2. I figuren redovisas ett exempel med vattendjup i älven på 6 m.



Figur 2 Skjuvhållfasthetens antagna förändring under Göta älv enligt metodik framtagen av SGI

Lerans dränerade skjuvhållfasthetsparametrar har bedömts empiriskt till $\varphi' = 30^\circ$ och $c' = 0,1 \times c_u$ enligt IEG Rapport 4:2010.

Nyttjande av anisotropi har verifierats med aktiva triaxialförsök i enlighet med IEG Rapport 4:2010. Förhållandet mellan skjuvhållfastheten i det horisontella skjuvplanet och ett skjuvplan med lutningen α , har beräknats enligt:

$$\frac{\tau_{\alpha}}{\tau_{hor}} = \frac{K_{0(NC)} + (1 - K_{0(NC)}) \cdot \sin^2(\alpha + 30^{\circ})}{0,25 + 0,75 \cdot K_{0(NC)}}$$

eller genom empiri enligt förhållandet, $K_{0(NC)} = 0,31 + 0,71(w_L - 0,2)$

Markytan som använts i stabilitetsberäkningarna är i huvudsak framtagen med höjddata från Lantmäteriets WCS-tjänst tillsammans med resultat av lidarskanning av Strömsbäcken. Bottennivåer i Göta älv har hämtats från batymetrisk mätning från 2018. I samband med nu utförd utredning utfördes kompletterande lodning i Strömsbäckens västra delar.

Stabilitetsanalysen har utförts med datorprogrammet Geostudio 2020, version 10.2.2.20559, med totalsäkerhetsmetoden för samtliga beräkningsfall.

6 Befintliga förhållanden

6.1 Topografi och ytbeskaffenhet

Undersökningsområdet utgörs till största delen av åker- och betesmark. I områdets mellersta delar finns ett våtmarksområde närmast Göta älv. I den södra delen av området rinner Strömsbäcken mot sydost i riktning mot Göta älv. Kring Strömsbäcken och längs med strandkanten vid Göta älv växer träd och buskar. Inom området finns två bebyggda tomter, en i norr och en i söder. Till tomterna går grusbelagda vägar. Strax väster om bostadshuset på tomten i norr finns ett parti med berg i dagen, se Figur 3.



Figur 3 Parti med berg i dagen i anslutning till bostadshuset i norr. Foto taget mot väst daterat 2022-08-23.

Inom undersökningsområdets norra delar varierar markytans nivå i huvudsak från ca +18 i väst till ca +7 närmast älven. I väst är markytan relativt flack med svag lutning mot Göta älv. I öst, närmast Göta älv, ökar släntlutningen gradvis och uppgår till som mest ca 1:3,5. Bottennivåerna i Göta älv varierar mellan ca -9 och -7. Höjdskillnaden mot markytans nivå bakom släntrönen är ca 14-27 m. Undervattenssläntens lutning varierar i allmänhet mellan ca 1:1,5 och 1:2. Lokalt förekommer slänter med lutning 1:1,2.

I undersökningsområdets mellersta delar finns en slänt som i huvudsak löper i öst-västlig riktning, Figur 4. Släntens lutning uppgår till ca 1:3,5-1:9. Slänten har troligtvis uppkommit i samband med ett tidigare inträffat skred. I norr, bakom släntkrön, varierar markytans nivåer mellan ca +15 och +19. Söder om slänten utgörs området av ett låglänt parti där markytans nivåer varierar från ca +8 närmast Göta älv till ca +10 ca 300 m från strandlinjen se Figur 5. Längre västerut stiger markytan mot ett höjdparti med berg i dagen, Strömskullen se Figur 6. I norra delen har slänten ner mot Göta älv lutning ca 1:6-1:8. Inom det låglänta partiet i söder finns inte någon större höjdskillnad mot älven och därmed finns inte heller någon slänt. Bottennivåerna i Göta älv varierar från ca -4 á -7 i norr till -4 á -10 i söder. Höjdskillnaden mot markytans nivå bakom släntkrön är ca 15-25 m i norr och ca 13-18 m i söder. Undervattenssläntens lutning varierar i allmänhet mellan ca 1:1 och 1:3 i norr respektive mellan ca 1:1,3 och 1:1,7 i söder.



Figur 4 Slänt i den mellersta delen av området. Foto taget mot norr daterat 2022-08-23.



Figur 5 Låglänt parti inom den mellersta delen av området. I bakgrunden ses Strömskullen till vänster och slänten efter tidigare inträffat skred till höger. Foto taget mot väst daterat 2022-08-23.



Figur 6 Strömskullen strax väster om undersökningsområdet. Foto taget mot väst daterat 2022-08-23.

I den södra delen av utredningsområdet meandrar Strömsbäcken i väst-östlig riktning i en ca 5-13 m djup ravinbildning. Markytan bakom ravinens släntkrön ligger i den västra delen, på nivå ca +13 till +21. I öst, närmast Strömsbäckens utlopp faller markytan, norr och söder om ravinen, till nivåer varierande från ca +10 till +13 vid släntkrön mot Göta älv. Slänten ner mot Göta älv har lutning ca 1:4,5-1:10.



Figur 7 Betesmark inom området söder om Strömsbäcken. Foto taget mot öst med älven bakom främre trädridån, daterat 2022-08-23.

Enligt utförd lodning varierar bottennivån i de östra delarna av Strömsbäcken mellan +3 och +6. Släntlutningen i ravinens östra delar uppgår i allmänhet till ca 1:2,5 eller flackare. Enligt utförd lodning i Strömsbäckens västra delar varierar bottennivån mellan ca +6,5 och +8,5. Släntlutningen i ravinens västra delar uppgår i allmänhet till ca 1:2 eller flackare. Lokalt förekommer släntlutningar som är brantare än 1:1,5. Bottennivåerna i Göta älv varierar mellan ca -10 och -15. Höjdskillnaden mot markytans nivå bakom släntkrön är ca 20-27 m. Undervattenssläntens lutning varierar i huvudsak mellan ca 1:1 och 1:1,5. Vid Strömsbäckens utlopp finns en ca 8-26 m bred undervattenshylla där älvbotten ligger på nivå ca -1 till +2. Slänten från undervattenshyllan ned mot älvbotten har en lutning som i allmänhet varierar mellan ca 1:1 och 1:2 men som ställvis är brantare än 1:1.

6.2 Befintliga konstruktioner

Inom områdets norra och södra del finns två bostadshus. Det norra bostadshuset ligger ca 60 m från Göta älvs strandlinje och det södra ca 90 m från Göta älvs strandlinje. Det södra bostadshuset ligger även ca 40 m norr om Strömsbäckens strandlinje. Infartsvägen till det södra bostadshuset passerar Strömsbäckens utlopp i Göta älv via en pålad betongbro, se Figur 8.



Figur 8 Betongbro över Strömsbäcken. Foto taget mot norr, daterat 2022-08-23

Inom området finns markförlagda el- och teleledningar. Inom den norra delen av området finns en luftledning som enligt uppgift ska vara tagen ur bruk.

Längs Göta älvs strandlinje har erosionsskydd i form av sprängsten lagts ut, se Figur 9 och Figur 10. Vid platsbesök 2022-08-23 bedömdes erosionsskyddet vara intakt utan tecken på pågående erosion. Dock medför begränsad sikt i Göta älv svårigheter att bedöma erosionsskyddets utbredning och kondition under vattenytan.



Figur 9 Utlagt erosionsskydd i strandkanten mot Göta älv. Fotot taget mot norr, daterat 2022-08-23



Figur 10 Utlagt erosionsskydd i strandkanten mot Göta älv. Fotot taget mot söder, daterat 2022-08-23

Vid platsbesök 2022-08-23 och 2023-04-14 kunde inte något erosionsskydd observeras längs Strömsbäckens norra och södra strandlinje, se Figur 11 och Figur 12. Exponerade trädrötter i strandkanten tyder på viss pågående erosion.

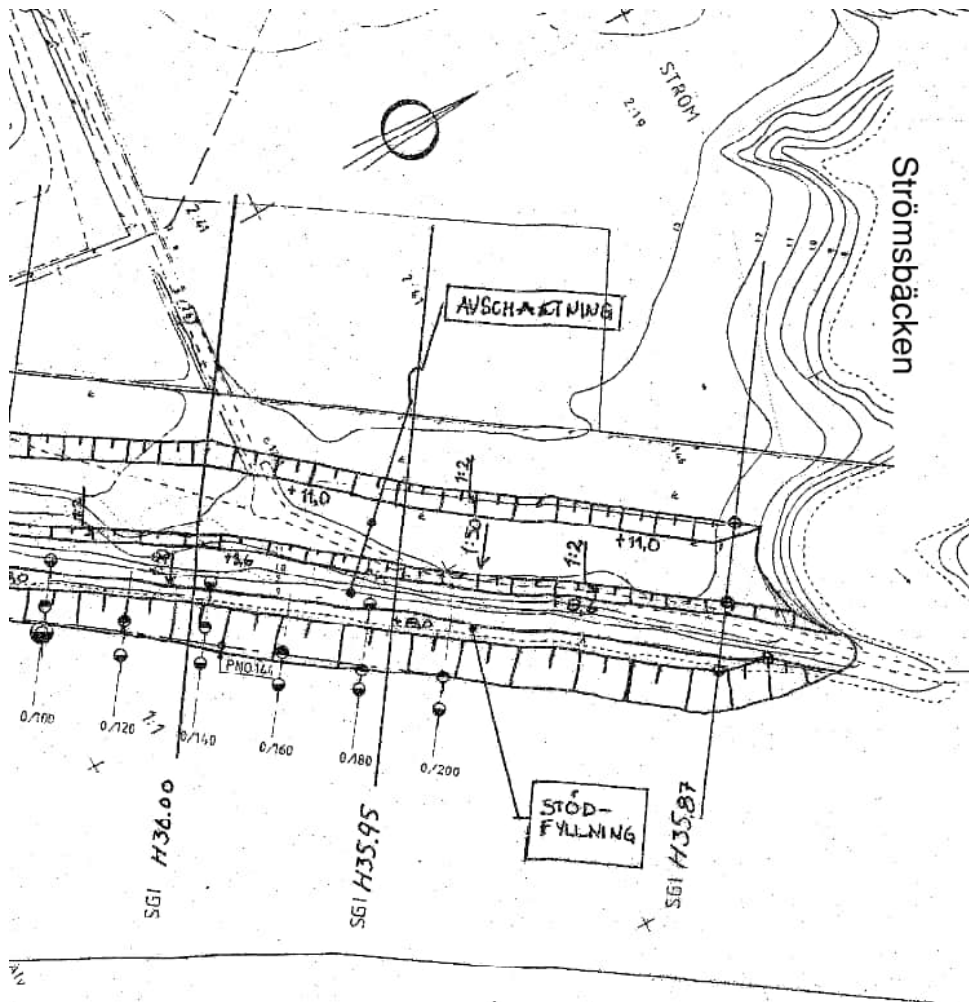


Figur 11 Strömsbäckens södra strandkant. Fotot taget mot söder, daterat 2022-08-23



Figur 12 Strömsbäckens norra strandkant. Fotot taget mot nordväst, daterat 2023-04-14

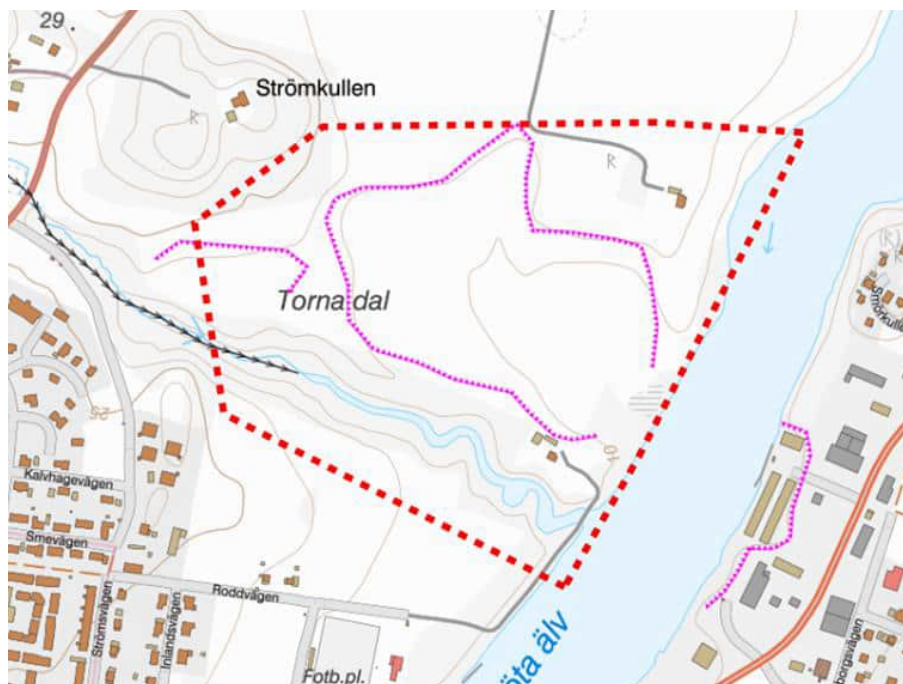
I området söder om Strömsbäcken har stabilitetsförbättrande åtgärder utförts i slänten mot Göta älv från ca km 31/100 och ca 470 m söderut. Åtgärden omfattade avlastning bakom slänkrön genom avschaktning samt utläggning av stödfyllning i slänten ner mot och i Göta älv, se Figur 13 nedan.



Figur 13 Planritning över utförd stabilitetsförbättrande åtgärd söder om Strömsbäcken i form av avschaktning och stödfyllning (Scandiaconsult 1991)

6.3 Tidigare jordskred

Enligt SGU:s digitala kartvisare finns spår av två tidigare jordskred inom utredningsområdet, se Figur 14.

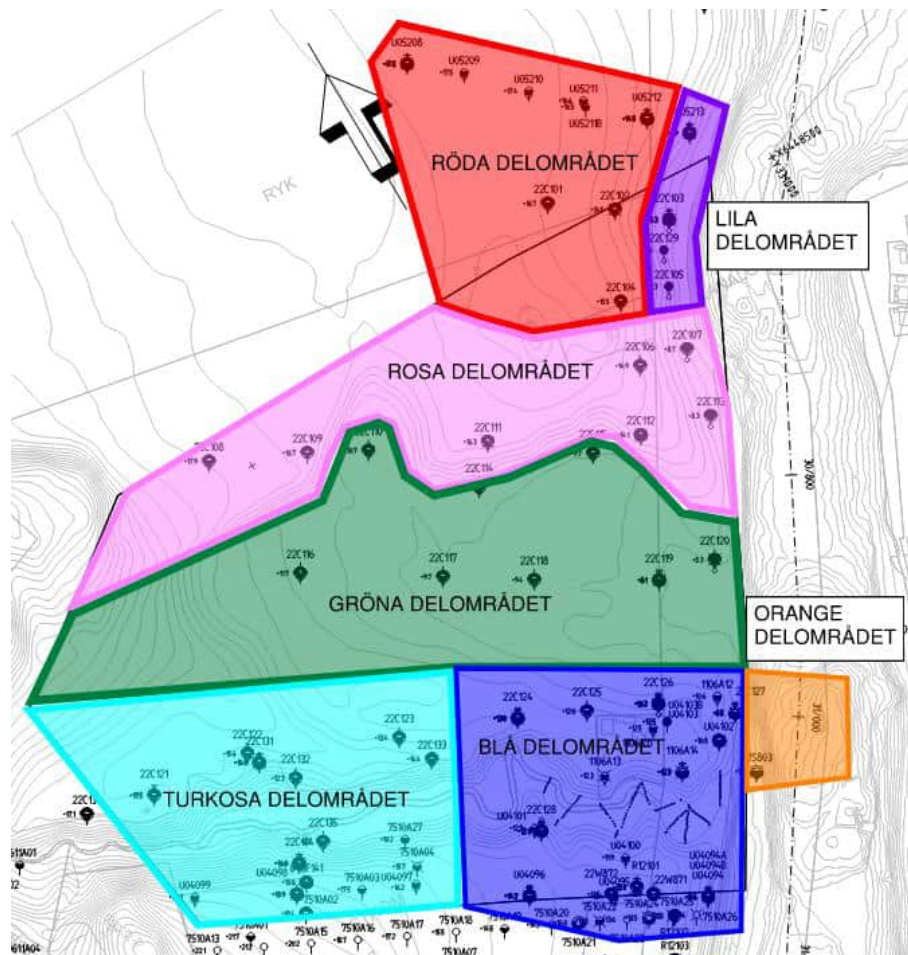


Figur 14 Utsnitt ur SGU:s kartvisare för jordskred och raviner, där tidigare jordskred och skredärr markerats med rosa. Aktuellt område är översiktligt markerat med röd-streckad linje (kartkälla: SGU).

7 Geotekniska förhållanden

7.1 Jordlagerförhållanden

I nedanstående beskrivning och för denna stabilitetsutredning delas utredningsområdet in i sex delområden för land och ett delområde i älven, se Figur 15. Nedan beskrivs jordlagerförhållanden övergripande inom respektive delområde. För valda materialparametrar, se kapitel 8. För undersökningsresultat hänvisas till MUR Geoteknik, se kapitel 3.1.



Figur 15 Indelning av utredningsområdet

7.1.1 Röda delområdet

Beskrivningen har gjorts utifrån nu utförda undersökningspunkter. Relevant information från inventerade arkivpunkter har inarbetats i beskrivningen.

Jordlagren utgörs överst av mulljord. Under mulljorden utgörs jordlagren av lera. Leran är avsatt på ett friktionsjordslager på berg alternativt direkt på berg. Nu och tidigare utförda tryck-respektive CPTU- och CPTU-R-sonderingar har stoppat mot fast botten ca 7-19 m under markytan. Vid utförda sonderingar har bergets överyta ej verifierats.

Mulljordens tjocklek har uppmätts till ca 0,3-0,5 m.

Leran innehåller silt och klassificeras i den södra delen av området som siltig lera eller med innehåll av siltskikt i lerprofilens övre del. Lokalt innehåller leran växtdelar. I den övre delen har leran en utbildad torrskorpa vars tjocklek uppgår till ca 1,0-1,8 m. Lerans mäktighet har tolkats till ca 6-18 m. De största tolkade lermäktigheterna har påträffats i den norra delen av området och i sydost har de minsta mäktigheterna påträffats.

Lerans skjuvhållfasthet har bestämts utifrån utvärderade CPTU-R-sonderingar, vingförsök respektive konförsök på ostörda lerprover. Lerans korrigerade odränerade skjuvhållfasthet varierar i allmänhet från ca 10-25 kPa på nivå +15 till ca 25-35 kPa på nivå +5.

Lerans densitet varierar i allmänhet mellan ca 1,48 och 1,62 t/m³. Den naturliga vattenkvoten har bestämts till ca 65-100 %. Konflytgränsen varierar i huvudsak mellan ca 60 och 80 %.

Lerans sensitivitet varierar enligt laboratorieanalyser på ostörda jordprover i allmänhet mellan ca 20 och 45, vilket innebär att leran är mellan- till högsensitiv. Förekomsten av kvicklera har även utvärderats från CPTU-R- och trycksonderingar. En detaljerad beskrivning av utvärderingen och en sammanvägd bedömning av kvickleraförekomst redovisas i kapitel 7.2.

Friktionsjordens egenskaper har ej undersökts.

7.1.2 Lila delområdet

Beskrivningen har gjorts utifrån nu utförda undersökningspunkter. Relevant information från inventerade arkivpunkter har inarbetats i beskrivningen.

Jordlagren utgörs överst av mulljord alternativt silt. De övre jordlagren underlagras av lera som är avsatt på ett friktionsjordslager på berg alternativt direkt på berg. Vid utförda jord-bergsonderingar har berg påträffats på ca 1,7-13,6 m djup under markytan. Nu och tidigare utförda tryck-respektive CPTU- och CPTU-R-sonderingar har stoppat mot block eller fast botten ca 0,4–12,4 m under markytan.

Mulljordens tjocklek har uppmätts till ca 0,1 m.

Silten innehåller mulljord, lera och sand. Mäktigheten har uppmätts till 1,3 m.

Leran innehåller gyttja, silt, växtdelar och skalrester. I den övre delen har leran en utbildad torrskorpa vars tjocklek uppgår till ca 0,5-1,0 m. Inom de norra och mellersta delarna av området uppgår lerans tolkade mäktighet till ca 7-10,5 m. Mot söder minskar mäktigheten och i undersökningspunkt 22C105 har ingen lera påträffats.

Lerans skjuvhållfasthet har bestämts utifrån, utvärderade CPTU-R-sonderingar, vingförsök samt konförsök och direkta skjuvförsök på ostörda lerprover. Dessutom har lerans aktiva skjuvhållfasthet bestämts med triaxialförsök i samband med denna fördjupade utredning. Lerans korrigerade odränerade skjuvhållfasthet varierar från ca 10–30 kPa.

Lerans densitet varierar i huvudsak mellan ca 1,55 och 1,65 t/m³. Den naturliga vattenkvoten har bestämts till ca 65–85 %. Konflytgränsen varierar i allmänhet mellan ca 40 och 85 %.

Lerans sensitivitet varierar enligt laboratorieanalyser på ostörda jordprover mellan ca 17 och 62 i lerans övre del och ner till nivå +1. Leran inom denna del av lerprofilen klassificeras som mellan- till högsensitiv, men eftersom den omrörda skjuvhållfastheten är högre än 0,4 klassificeras leran inte som kvicklera. Därunder varierar sensitiviteten mellan 150 och 250, vilket innebär att leran är högsensitiv. Den omrörda skjuvhållfastheten är lägre än 0,4 och leran klassificeras därmed som kvicklera. Förekomsten av kvicklera har även utvärderats från CPTU-R- och trycksonderingar. En detaljerad beskrivning av utvärderingen och en sammanvägd bedömning av kvickleraförekomst redovisas i kapitel 7.2.

Lerans överkonsolideringsgrad, OCR, har bestämts med CRS-försök på ostörda lerprover i två undersökningspunkter i samband med nu och tidigare utförda undersökningar. Överkonsolideringsgraden varierar mellan ca 2,4 och 4,5.

Friktionsjordens egenskaper har ej undersökts.

7.1.3 Rosa delområdet

Beskrivningen har gjorts utifrån nu utförda undersökningspunkter. Inga tidigare utförda undersökningar har återfunnits i samband med arkivinventeringen.

Jordlagren utgörs överst av mulljord. Under mulljorden utgörs jordlagren av lera. Leran är avsatt på ett friktionsjordslager på berg alternativt direkt på berg. Vid utförda jord-bergsonderingar inom delområdets östra del har berg påträffats på ca 4-5 m djup under markytan. Utförda tryck-respektive CPTU-R-sonderingar har stoppat mot fast botten eller block ca 1,8–8,3 m under markytan.

Mulljorden har lokalt konstaterats innehålla lera och silt. Tjockleken uppgår till ca 0,2–0,4 m.

Leran klassificeras i allmänhet som siltig lera eller med innehåll av siltskikt i den övre delen. Lokalt innehåller leran även skalrester, växtdelar, grus och sand. I den övre delen har leran en utbildad torrskorpa vars tjocklek uppgår till ca 1,1–2,1 m. Lerans mäktighet har tolkats till ca 1,6–7,1 m. De största tolkade lermäktigheterna har påträffats i den östra delen av området, strax bakom släntkrön mot Göta älv. Även de minsta mäktigheterna har påträffats i områdets östra del strax bakom strandlinjen vid Göta älv.

Lerans skjuvhållfasthet har bestämts utifrån utvärderade CPTU-R-sonderingar, vingförsök samt konförsök och direkta skjuvförsök på ostörda lerprover. Lerans korregerade odränerade skjuvhållfasthet varierar i huvudsak från ca 13–22 kPa närmast under torrskorpan och ner till nivå +10 till ca 25–35 kPa på nivå +7.

Lerans densitet varierar i allmänhet mellan ca 1,53 och 1,65 t/m³. Den naturliga vattenkvoten har bestämts till ca 60–85 %. Konflytgränsen varierar i huvudsak mellan ca 55 och 75 %.

Lerans sensitivitet har vid utförda laboratorieundersökningar på ostörda jordprover bestämts till ca 20–47. Leran är mellansensitiv till högsensitiv. Förekomsten av kvicklera har även utvärderats från CPTU-R- och trycksonderingar. En detaljerad beskrivning av utvärderingen och en sammanvägd bedömning av kvickleraförekomst redovisas i kapitel 7.2.

Lerans överkonsolideringsgrad, OCR, har bestämts med CRS-försök på ostörda lerprover i en undersökningspunkt. Överkonsolideringsgraden varierar mellan 2 och 2,6.

Friktionsjordens egenskaper har ej undersökts.

7.1.4 Gröna delområdet

Beskrivningen har gjorts utifrån nu utförda undersökningspunkter. Inga tidigare utförda undersökningar har återfunnits i samband med arkivinventeringen.

Jordlagren utgörs överst av mulljord. Under mulljorden utgörs jordlagren av lera. Lokalt i den östra delen av området har silt påträffats mellan mulljorden och lera. Lera är avsatt på ett friktionsjordslager på berg alternativt direkt på berg. Vid utförd jord-bergsondering inom delområdets östra del har berg påträffats på ca 6,6 m djup under markytan. Utförda tryck- respektive CPTU-R-sonderingar har stoppat mot fast botten eller block ca 4,3–16 m under markytan.

Mulljorden innehåller grus och lera. Tjockleken uppgår till ca 0,2–0,4 m.

Silten innehåller sand och lera. Dess mäktighet har uppmätts till 1,1 m.

Lera klassificeras i allmänhet som siltig lera eller med innehåll av siltskikt. Lera har även påträffats med innehåll av skalrester, växtdelar, grus och sand. Ställvis i den västra och den centrala delen av området har inlagrad friktionsjord påträffats i lera. I undersökningspunkt 22C116 förekommer friktionsjordslagret på ca 5,3–5,5 m djup och i 22C118 förekommer friktionsjordslagret på ca 7,4–7,6 m djup under markytan. I den övre delen har lera en utbildad torrskorpa vars tjocklek uppgår till ca 0,6–2,0 m. Lerans mäktighet har tolkats till ca 1,9–11,3 m.

Lerans skjuvhållfasthet har bestämts utifrån utvärderade CPTU-R-sonderingar, vingförsök samt konförsök och direkta skjuvförsök på ostörda lerprover. Lerans korrigerade odränerade skjuvhållfasthet varierar i huvudsak från ca 8–20 kPa närmast under torrskorpan och ner till 6 m under markytan till ca 25–30 kPa på 10 m djup under befintlig markyta.

Lerans densitet varierar i allmänhet mellan ca 1,5 och 1,8 t/m³. Den naturliga vattenkvoten har bestämts till ca 45–95 %. Konflytgränsen varierar i huvudsak mellan ca 40 och 75 %.

Lerans sensitivitet varierar enligt laboratorieanalyser på ostörda jordprover i allmänhet mellan ca 11 och 49, vilket innebär att lera är mellansensitiv till högsensitiv. På 5 m djup under markytan i undersökningspunkt 22C119 har sensitiviteten bestämts till 67 och den omrörda skjuvhållfastheten har bestämts till 0,24. Detta innebär att lera klassificeras som kvick på det aktuella provtagningsdjupet. Förekomsten av kvicklera har även utvärderats från CPTU-R- och trycksonderingar. En detaljerad beskrivning av utvärderingen och en sammanvägd bedömning av kvickleraförekomst redovisas i kapitel 7.2.

Lerans överkonsolideringsgrad, OCR, har bestämts med CRS-försök på ostörda lerprover i en undersökningspunkt. Överkonsolideringsgraden varierar mellan ca 1,5 och 1,6.

Friktionsjordens egenskaper har ej undersökts.

7.1.5 Blå delområdet

Beskrivningen har gjorts utifrån nu utförda undersökningspunkter. Relevant information från inventerade arkivpunkter har inarbetats i beskrivningen.

Jordlagren utgörs av lera som ställvis överlagras av mulljord. I undersökningspunkt 22C128, strax söder om Strömsbäcken, överlagras leran lokalt av silt och i den östra delen, i anslutning till Göta älv, utgörs jordlagren överst av fyllning. Leran är avsatt på ett friktionsjordslager på berg alternativt direkt på berg. Nu och tidigare utförda tryck-respektive CPTU- och CPTU-R-sonderingar har stoppat mot fast botten ca 14-26 m under markytan. Vid utförda sonderingar har bergets överyta ej verifierats.

Mulljorden innehåller sand och lera. Tjockleken uppgår till ca 0,2-0,3 m.

Silt innehåller sand, lera och växtrester. Siltens tjocklek har uppmätts till ca 1 m.

Leran klassificeras i allmänhet som siltig lera eller med innehåll av siltskikt. I den övre delen av leran förekommer ställvis lager av gyttjig lerig silt med en tjocklek av 0,3 m. Leran har även påträffats med innehåll av skalrester, växtdelar, grus och sand. I norr respektive i söder har inlagrad friktionsjord ställvis påträffats i leran på djup varierande mellan ca 14 och 20 m. Friktionsjordslagrets tjocklek har tolkats till ca 0,1-0,6 m. I den övre delen har leran en utbildad torrskorpa vars tjocklek uppgår till ca 0,8-2,0 m. Lerans mäktighet har tolkats till ca 12,5-24 m. Strax söder om aktuellt utredningsområde har lerans mäktighet tolkats till ca 27 m.

Lerans skjuvhållfasthet har bestämts utifrån, utvärderade CPTU-R-sonderingar, vingförsök samt konförsök och direkta skjuvförsök på ostörda lerprover. Dessutom har lerans aktiva skjuvhållfasthet bestämts med triaxialförsök i samband med nu och tidigare utförda undersökningspunkter. Lerans korrigerade odränerade skjuvhållfasthet varierar i huvudsak från ca 15-30 kPa närmast under torrskorpan och ner till nivå +0 till ca 30-45 kPa på nivå -8.

Lerans densitet varierar i allmänhet mellan ca 1,55 och 1,85 t/m³. Den naturliga vattenkvoten har bestämts till ca 40-85 %. Konflytgränsen varierar i huvudsak mellan ca 40 och 75 %.

Lerans sensitivitet varierar enligt laboratorieanalyser på ostörda jordprover i allmänhet mellan ca 11 och 49 ner till nivå +7. Detta innebär att leran är mellansensitiv till högsensitiv. Därunder varierar sensitiviteten mellan 20 och 300, vilket innebär att leran är mellansensitiv till högsensitiv. Den omrörda skjuvhållfastheten är lägre än 0,4 och leran klassificeras därmed som kvicklera. Förekomsten av kvicklera har även utvärderats från CPTU-R- och trycksonderingar. En detaljerad beskrivning av utvärderingen och en sammanvägd bedömning av kvickleraförekomst redovisas i kapitel 7.2.

Lerans överkonsolideringsgrad, OCR, har bestämts med CRS-försök på ostörda lerprover i nio undersökningspunkter i samband med nu och tidigare utförda undersökningar. Överkonsolideringsgraden varierar mellan ca 1,0 och 4,5.

Friktionsjordens egenskaper har ej undersökts.

7.1.6 Turkosa delområdet

Beskrivningen har gjorts utifrån nu utförda undersökningspunkter. Relevant information från inventerade arkivpunkter har inarbetats i beskrivningen.

Jordlagren utgörs överst av mulljord alternativt silt. De övre jordlagren underlagras av lera som är avsatt på ett friktionsjordslager på berg alternativt direkt på berg. Nu och tidigare utförda tryck- respektive CPTU- och CPTU-R-sonderingar har stoppat mot fast botten ca 5,7-20,8 m under markytan. Vid utförda sonderingar har bergets överyta ej verifierats.

Mulljorden innehåller sand, silt och lera. Tjockleken uppgår till ca 0,2–1,2 m.

Silt innehåller mulljord, sand och lera. Siltens tjocklek har uppmätts till ca 0,2-0,3 m.

Leran klassificeras i allmänhet som siltg lera eller med innehåll av siltskikt. Leran innehåller även gyttja och sand och växtdelar. I undersökningspunkt 22C131 och 22C134 övergår leran mot djupet till lerig silt. Norr om Strömsbäcken har inlagrad friktionsjord påträffats i leran på djup varierande mellan ca 6,5 och 13,5 m. Även i undersökningspunkt 22C134 söder om Strömsbäcken har inlagrad friktionsjord påträffats på 10,7-11,7 m djup under markytan. Dess tjocklek har tolkats till ca 1,0 m. I den övre delen har leran en utbildad torrskorpa vars tjocklek uppgår till ca 0,6-2,7 m. Lerans mäktighet har tolkats till ca 4,5-18,4 m. De minsta tolkade lermäktigheterna har påträffats i den västra delen av området, strax bakom släntkrön mot Strömsbäcken. De största mäktigheterna har påträffats i områdets östra del strax bakom släntkrön mot Strömsbäcken.

Lerans skjuvhållfasthet har bestämts utifrån, utvärderade CPTU-R-sonderingar, vingförsök samt konförsök och direkta skjuvförsök på ostörda lerprover. Dessutom har lerans aktiva skjuvhållfasthet bestämts med triaxialförsök i samband med nu utförda undersökningspunkter. I delområdet sydvästra del varierar lerans korregerade odränerade skjuvhållfasthet i huvudsak från ca 15-30 kPa närmast under torrskorpan till ca 20-40 kPa på 8 m djup under markytan. I delområdets nordöstra del varierar lerans korregerade odränerade skjuvhållfasthet i huvudsak från ca 10-20 kPa närmast under torrskorpan till ca 30-50 kPa på 15 m djup under markytan.

Lerans densitet varierar i allmänhet mellan ca 1,5 och 1,7 t/m³. Den naturliga vattenkvoten har bestämts till ca 50–95 %. Konflytgränsen varierar i huvudsak mellan ca 45 och 80 %.

Lerans sensitivitet varierar enligt laboratorieanalyser på ostörda jordprover i allmänhet mellan ca 10 och 60 ner till 9 m djup under markytan. Detta innebär att leran är mellansensitiv till högsensitiv ner till detta djup. Leran klassificeras dock inte som kvick då den omrörda skjuvhållfastheten inte understiger 0,4 kPa för något provtagningsdjup. På större djup varierar sensitiviteten mellan ca 36 och 394, vilket innebär att leran är högsensitiv och eftersom den omrörda skjuvhållfastheten är lägre än 0,4 klassificeras leran som kvicklera. En detaljerad beskrivning av utvärderingen och en sammanvägd bedömning av kvickleraförekomst redovisas i kapitel 7.2.

Lerans överkonsolideringsgrad, OCR, har bestämts med CRS-försök på ostörda lerprover i tre undersökningspunkter i samband med nu och tidigare utförda undersökningar. Överkonsolideringsgraden varierar mellan ca 1,2 och 4,5.

Friktionsjordens egenskaper har ej undersökts.

7.1.7 Orange delområdet – Göta älv

Inga undersökningspunkter har utförts inom ramen för denna fördjupade utredning. Beskrivningen av jordlagerföljd och jordlagrens egenskaper för det orange delområdet har gjorts utifrån arkivpunkt 22S803 belägen i sektion ca 31/050 enligt älvens längdmätning. Aktuell undersökningspunkt har utförts från flotte.

Jordlagren under älvbotten utgörs av lera. Leran är avsatt på berg alternativt på friktionsjordslager på berg. Utförd CPTU-sondering har stoppat mot fast botten ca 9,3 m under älvbotten. Vid utförd sondering har bergets överyta ej verifierats.

Leran innehåller siltskikt i den övre delen av profilen. Mellan ca 3,8 och 5,3 m under älvbotten finns inlagrad friktionsjord. Lerans mäktighet har tolkats till ca 8,7 m.

Lerans skjuvhållfasthet har bestämts utifrån, utvärderad CPTU-R-sondering, vingförsök samt konförsök och direkta skjuvförsök på ostörda lerprover.

Dessutom har lerans passiva skjuvhållfasthet bestämts med triaxialförsök. Lerans korregerade odränerade skjuvhållfasthet varierar i huvudsak från ca 7-28 kPa närmast under älvbotten till ca 24-27 kPa på 7-9 m djup under älvbotten.

I den övre delen av profilen varierar lerans densitet mellan ca 1,6 och 1,7 t/m³. Den naturliga vattenkvoten har bestämts till ca 65-75 %. Konflytgränsen varierar i huvudsak mellan ca 40 och 50 %.

Lerans sensitivitet varierar enligt laboratorieanalyser på ostörda jordprover mellan ca 151 och 167, vilket innebär att leran är högsensitiv, och eftersom den omrörda skjuvhållfastheten är lägre än 0,4 klassificeras leran som kvicklera. En detaljerad beskrivning av utvärderingen och en sammanvägd bedömning av kvickleraförekomst redovisas i kapitel 7.2.

Lerans överkonsolideringsgrad, OCR, har bestämts med CRS-försök på ostörda lerprover i aktuell arkivpunkt. Överkonsolideringsgraden varierar mellan ca 1,2 och 4,5.

Friktionsjordens egenskaper har ej undersökts.

7.2 Utvärdering av kvicklera

Förekomst av kvicklera har utvärderats från ostörd provtagning tillsammans med CPTU-R- och trycksonderingar. Beskrivningen är uppdelad för respektive delområde. Bedömd förekomst av kvicklera i plan och sektion redovisas i Figur 16 till Figur 22 under kapitel 7.2.6. Utvärdering av kvicklera, CPTU-R- och trycksondering tillsammans med resultat från laboratorieundersökningar för respektive undersökningspunkt redovisas i Bilaga 7.

7.2.1 Röda delområdet

Lerans sensitivitet har bestämts vid tidigare utförda laboratorieundersökningar på ostörda jordprover från två undersökningspunkter. Förekomsten av kvicklera har även utvärderats från nu utförda CPTU-R- och trycksonderingar.

Lerans sensitivitet varierar enligt laboratorieanalyser på ostörda jordprover i allmänhet mellan ca 20 och 45, vilket innebär att leran är mellan- till högsensitiv.

Utvärdering av mantelfriktion i nu utförda CPTU-R- och trycksonderingar visar på låg tillväxt från ca 3 m djup under markytan och förekomst av kvicklera i undersökningspunkt 22C104, inom den sydöstra delen av delområdet. CPTU-R sonderingarna redovisar en uppmätt resistivitet som är större än 5 ohm/m genom hela lerprofilen i samtliga undersökningspunkter inom delområdet.

7.2.2 Lila delområdet

Lerans sensitivitet har bestämts vid nu och tidigare utförda laboratorieundersökningar på ostörda jordprover från två undersökningspunkter. Förekomsten av kvicklera har även utvärderats från nu utförda CPTU-R- och trycksonderingar.

Lerans sensitivitet varierar enligt laboratorieanalyser på ostörda jordprover mellan ca 17 och 62 i lerans övre del och ner till nivå +1. Leran inom denna del av lerprofilen klassificeras som mellan- till högsensitiv, men eftersom den omrörda skjuvhållfastheten är högre än 0,4 klassificeras leran inte som kvicklera. Därunder visar laboratorieresultat i undersökningspunkt 22C103, inom den mellersta delen av delområdet, att sensitiviteten varierar mellan ca 150 och 250 vilket innebär att leran är högsensitiv. Den omrörda skjuvhållfastheten är lägre än 0,4 och leran klassificeras därmed som kvicklera.

Utvärdering av mantelfriktion i nu utförd CPTU-R- och trycksondering visar på låg tillväxt och förekomst av kvicklera i undersökningspunkt 22C103. CPTU-R sonderingarna redovisar en uppmätt resistivitet som är större än 5 ohm/m genom hela lerprofilen.

7.2.3 Rosa delområdet

Lerans sensitivitet har bestämts vid nu utförda laboratorieundersökningar på ostörda jordprover från en undersökningspunkt. Förekomsten av kvicklera har även utvärderats från nu utförda CPTU-R- och trycksonderingar.

Lerans sensitivitet har vid utförda laboratorieundersökningar på ostörda jordprover i undersökningspunkt 22C112 bestämts till ca 20–47. Leran är mellansensitiv till högsensitiv.

Utvärdering av mantelfriktion i nu utförd CPTU-R- och trycksondering i undersökningspunkt 22C112 visar på låg tillväxt mot djupet och indikerar således på förekomst av kvicklera, vilket dock ej bekräftas av laboratorieresultaten i samma undersökningspunkt. I övriga delar av området bedöms utvärderad mantelfriktion från CPTU-R- respektive trycksonderingar inte visa på förekomst av kvicklera förutom i enstaka skikt. CPTU-R sonderingarna redovisar en uppmätt resistivitet som är större än 5 ohm/m genom hela lerprofilen i samtliga undersökningspunkter inom delområdet.

7.2.4 Gröna delområdet

Lerans sensitivitet har bestämts vid nu utförda laboratorieundersökningar på ostörda jordprover från en undersökningspunkt. Förekomsten av kvicklera har även utvärderats från nu utförda CPTU-R- och trycksonderingar.

Lerans sensitivitet varierar enligt laboratorieanalyser på ostörda jordprover i allmänhet mellan ca 11 och 49, vilket innebär att leran är mellansensitiv till högsensitiv. På 5 m djup under markytan i undersökningspunkt 22C119 har sensitiviteten bestämts till 67 och den omrörda skjuvhållfastheten har bestämts till 0,24. Detta innebär att leran klassificeras som kvick på det aktuella provtagningsdjupet.

Utvärdering av mantelfriktion i nu utförda CPTU-R- och trycksonderingar visar på låg tillväxt mot djupet och förekomst av kvicklera i den södra och östra delen av delområdet. CPTU-R-sonderingarna redovisar en uppmätt resistivitet som är större än 5 ohm/m genom hela lerprofilen i samtliga undersökningspunkter inom delområdet.

7.2.5 Blå delområdet

Lerans sensitivitet har bestämts vid nu och tidigare utförda laboratorieundersökningar på ostörda jordprover från elva undersökningspunkter. Lerans sensitivitet varierar enligt laboratorieanalyser på ostörda jordprover i allmänhet mellan ca 11 och 49 ner till nivå +7. Detta innebär att leran är mellansensitiv till högsensitiv ner till denna nivå. Därunder varierar sensitiviteten mellan ca 20 och 300, vilket innebär att leran är mellansensitiv till högsensitiv. Den omrörda skjuvhållfastheten är lägre än 0,4 och leran klassificeras därmed som kvicklera. Vidare kan konstateras att kvicklera har påträffats i samtliga kolvprovtagna punkter inom området. I undersökningspunkt 22C127 i områdets östra del uppgår sensitiviteten på nivå -6 till 64. Den omrörda skjuvhållfastheten uppgår till 0,4 vilket innebär att leran precis uppfyller kriterierna för att klassificeras som kvicklera. För övriga provtagningsnivåer i den aktuella punkten har ingen kvicklera konstaterats.

Utvärdering av mantelfriktion i nu utförda CPTU-R- och trycksonderingar visar låg tillväxt mot djupet och förekomst av kvicklera i samtliga undersökningspunkter. I undersökningspunkterna 22C127 och 22C128 redovisar CPTU-R-sonderingarna en uppmätt resistivitet som är större än 5 ohm/m genom hela lerprofilen. I undersökningspunkterna 22C124, 22C125 och 22C126 uppvisar CPTU-R-sonderingarna en resistivitet som är lägre än 5 ohm/m inom delare av lerprofilen. Samtidigt visar utvärderad mantelfriktion från CPTU-R- och trycksonderingarna generellt på låg tillväxt mot djupet för dessa lerlager.

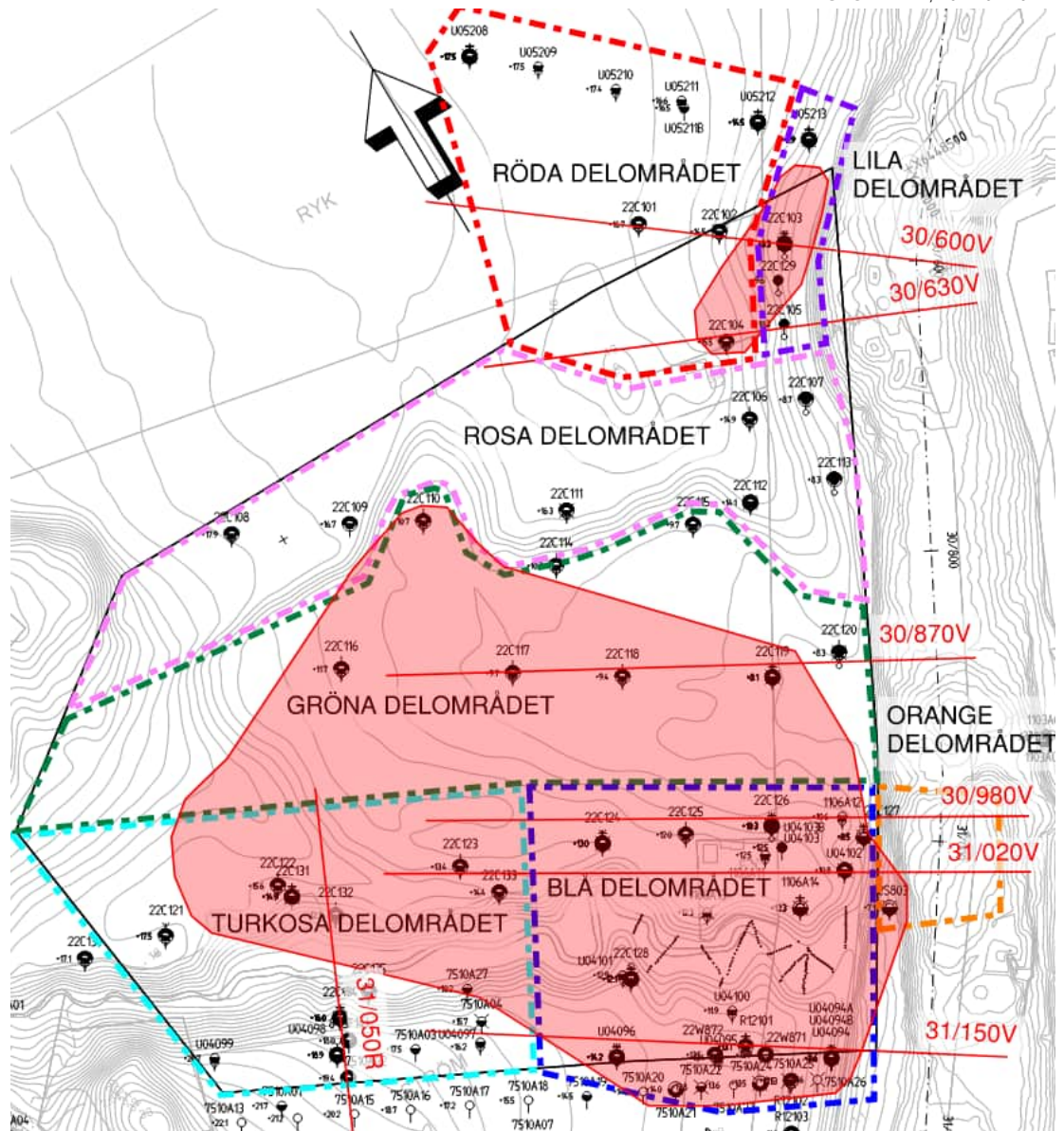
7.2.6 Turkosa delområdet

Lerans sensitivitet har bestämts vid nu och tidigare utförda laboratorieundersökningar på ostörda jordprover från fyra undersökningspunkter. Lerans sensitivitet varierar enligt laboratorieanalyser på ostörda jordprover i allmänhet mellan ca 10 och 60 ner till 9 m djup under markytan. Detta innebär att leran är mellansensitiv till högsensitiv ner till detta djup. Leran klassificeras dock inte som kvick då den omrörda skjuvhållfastheten inte understiger 0,4 kPa för något provtagningsdjup. På större djup varierar sensitiviteten mellan ca 36 och 394, vilket innebär att leran är högsensitiv och eftersom den omrörda skjuvhållfastheten är lägre än 0,4 klassificeras leran som kvicklera. Kvickleran har påträffats i kolvprovtagen punkt norr om Strömsbäcken.

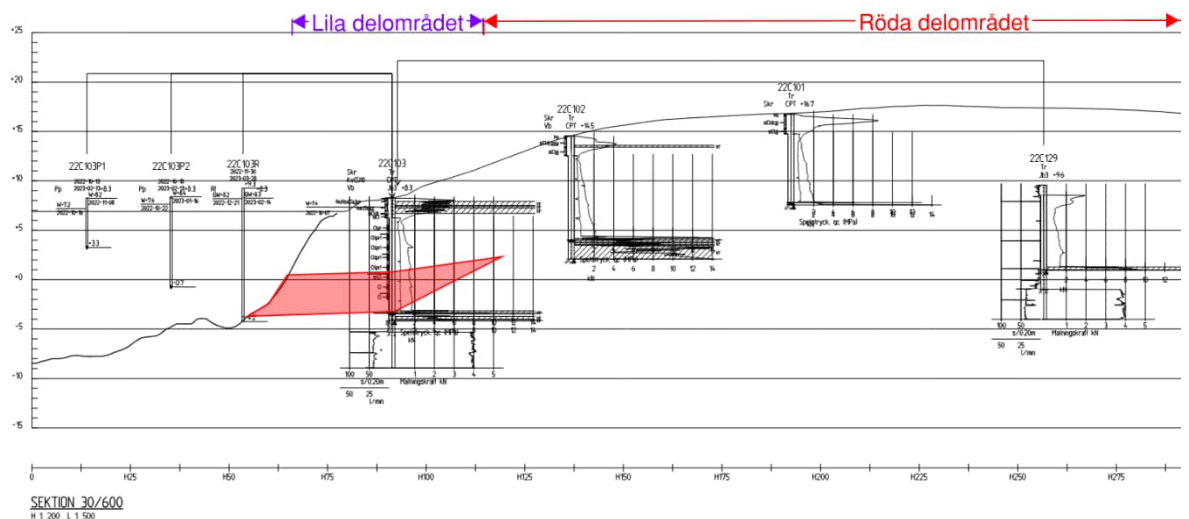
Utvärdering av mantelfriktion i nu utförda CPTU-R- och trycksonderingar visar på låg tillväxt mot djupet och förekomst av kvicklera i den nordöstra delen av delområdet. CPTU-R-sonderingarna redovisar en uppmätt resistivitet som är större än 5 ohm/m genom hela lerprofilen i samtliga undersökningspunkter inom delområdet.

7.2.7 Orange delområdet – Göta älv

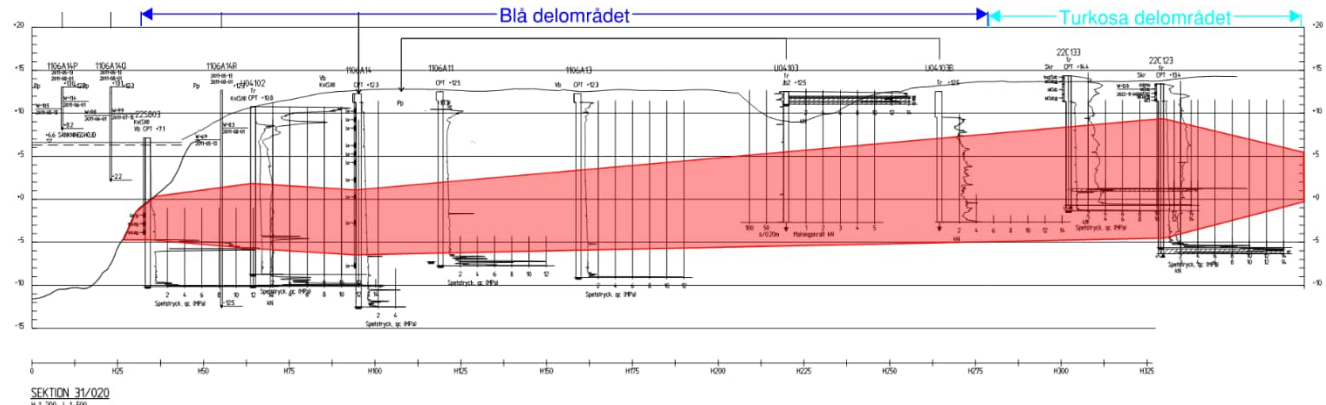
Lerans sensitivitet har bestämts vid utförda laboratorieundersökningar på ostörda jordprover från en arkivpunkt 22S803. Lerans sensitivitet varierar mellan ca 151 och 167, vilket innebär att leran är högsensitiv. Den omrörda skjuvhållfastheten är lägre än 0,4 och leran klassificeras därmed som kvicklera.



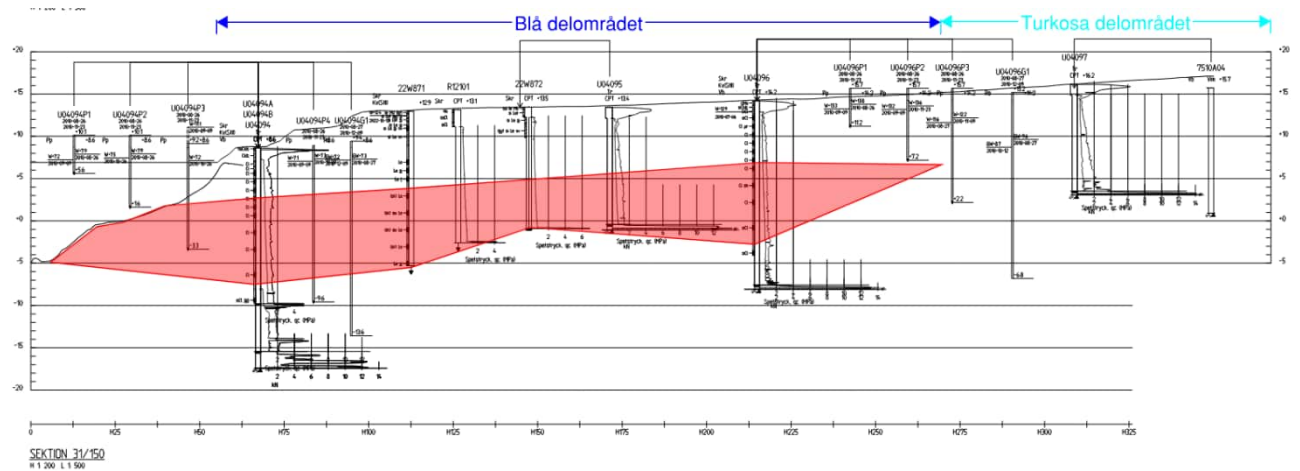
Figur 16 Bedömd förekomst av kvicklera i plan, markerat med röd ifylld polygon.



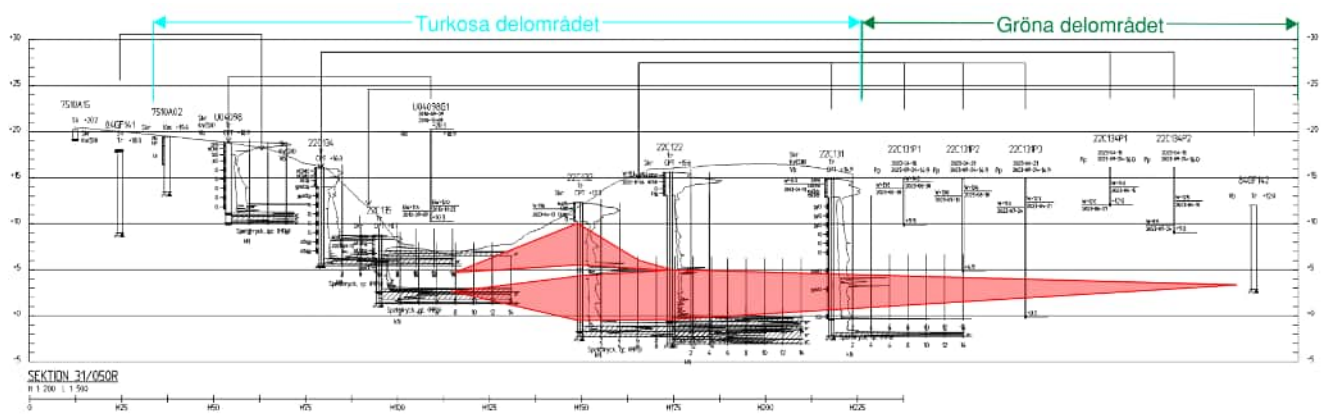
Figur 17 Bedömd förekomst av kvicklera, markerat med röd polygon, i sektion 30600V



Figur 21 Bedömd förekomst av kvicklera, markerat med röd polygon, i sektion 31/020V



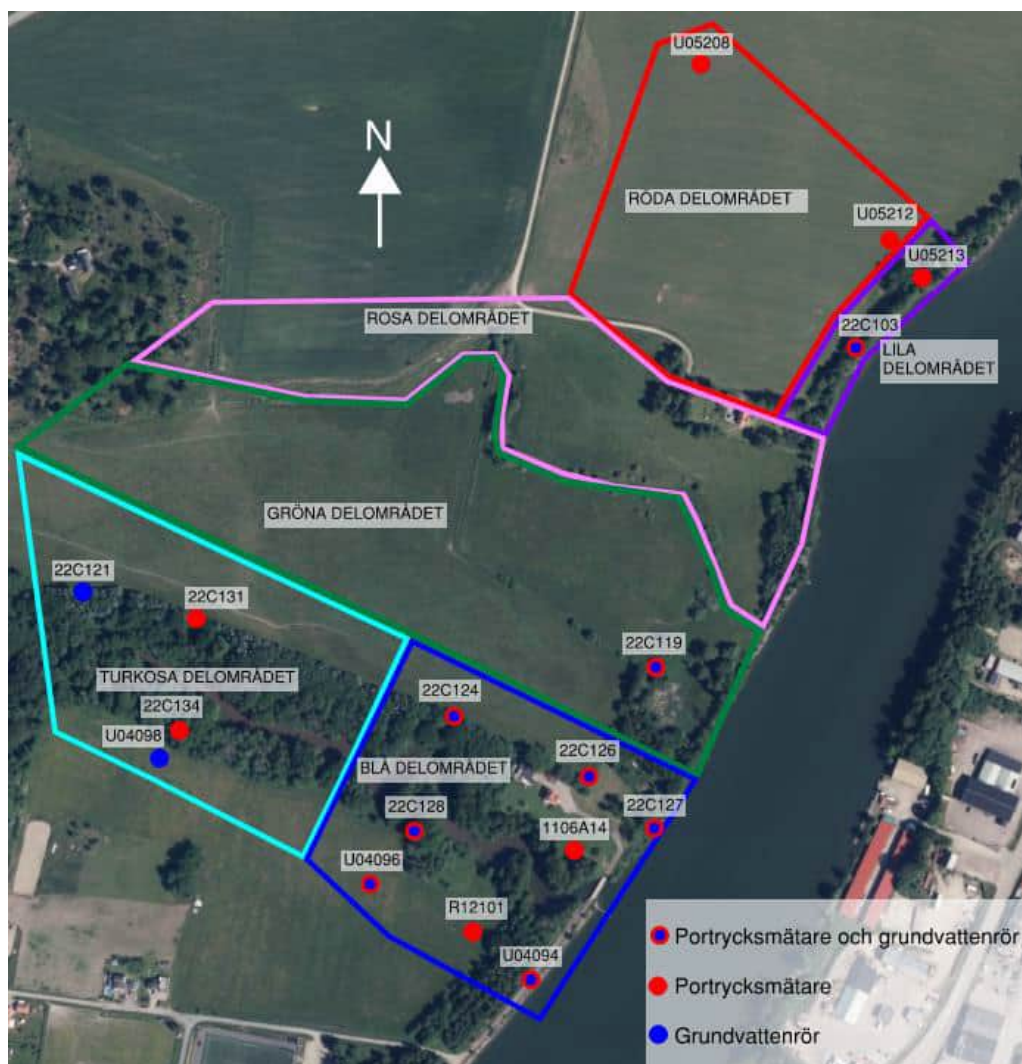
Figur 22 Bedömd förekomst av kvicklera, markerat med röd polygon, i sektion 31/150V



Figur 23 Bedömd förekomst av kvicklera, markerat med röd polygon, i sektion 31/050R

7.3 Hydrogeologiska förhållanden

Planlägen för nu och tidigare utförda hydrogeologiska undersökningar redovisas översiktligt i Figur 24 nedan. Vattenståndsnivåer för Göta älv redovisas i kapitel 8.4.



Figur 24 Utförda hydrogeologiska undersökningar inom utredningsområdet.

Undersökningspunkter med portrycksmätare och grundvattenrör har markerats med röd/blå punkt, undersökningspunkter med portrycksmätare har markerats med röd punkt och undersökningspunkter med grundvattenrör har markerats med blå punkt (kartkälla: minkarta.lantmateriet.se 2023).

7.3.1 Röda delområdet

Inga nya undersökningspunkter har utförts inom ramen för den fördjupade utredningen. Beskrivningen är gjord utifrån inventerade arkivpunkter, U05208 och U05212.

I arkivpunkt U05208 har porttrycksspetsar installerats på tre nivåer i leran, på 3 m, 7 m och 14,3 m djup under markytan. Porttrycksspetsarna har avlästs två gånger under perioden juli till augusti 2010. Porttrycksmätningarna på 3 m djup visade på en porttrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 1,5-2,1 m under befintlig markyta vilket motsvarar nivå +15,5 till +16,1. Mätningarna på 7 m djup visade på en porttrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 1,6-2,1 m under markytan vilket motsvarar nivå +15,5 till +16,0. Mätningarna på 14,3 m djup visade på en porttrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 5,7-5,9 m under markytan vilket motsvarar nivå +11,7 till +11,9. Porttrycksfördelningen mot djupet är således lägre än hydrostatiskt tryck. Troligtvis beror detta på att friktionsjorden under leran har hydraulisk kontakt med Göta älv.

I arkivpunkt U05212 har porttrycksspetsar installerats på tre nivåer i leran, på 3 m, 7 m och 9,2 m djup under markytan. Porttrycksspetsarna har avlästs en till två gånger under perioden juli till augusti 2010. Porttrycksmätningarna på 3 m djup visade på en porttrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 2,7 m under befintlig markyta vilket motsvarar nivå +11,8. Mätningarna på 7 m djup visade på en porttrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 3,9-4,0 m under markytan vilket motsvarar nivå +10,5 till +10,6. Mätningarna på 9,2 m djup visade på en porttrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 5,0-5,1 m under markytan vilket motsvarar nivå +9,4 till +9,5. Porttrycksfördelningen mot djupet är således lägre än hydrostatiskt tryck. Troligtvis beror detta på att friktionsjorden under leran har hydraulisk kontakt med Göta älv.

7.3.2 Lila delområdet

Hydrogeologiska undersökningar har vid nu och tidigare geotekniska undersökningar utförts i två undersökningspunkter, 22C103 och U05213.

I undersökningspunkt 22C103 har porttrycksspetsar installerats på två nivåer i leran, på 5 m och på 9 m djup under markytan. Dessutom har ett grundvattenrör installerats i friktionsjorden under leran på 12,5 m djup under markytan. Porttrycksspetsarna har loggat värden en gång per dygn och stabiliserade värden har uppmätts under perioden oktober 2022 till september 2023. Under samma period har grundvattenröret avlästs vid åtta tillfällen. Porttrycksmätningarna på 5 m djup visade på en porttrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 0–1,0 m under befintlig markyta vilket motsvarar nivå +7,2 till +8,2. Mätningarna på 9 m djup visade på en porttrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta från ca 0,1 m över till ca 0,6 m under markytan vilket motsvarar nivå +7,6 till +8,4. Mätningen i grundvattenröret visade på en trycknivå i friktionsjorden motsvarande en fri grundvattenyta ca 0–0,1 m under markytan vilket motsvarar nivå +8,1 till +8,2. Porttrycksfördelningen mot djupet motsvarar hydrostatiskt tryck. Uppmätta trycknivåer överensstämmer med medelvattennivån i Göta älv.

I arkivpunkt U05213 har porttrycksspetsar installerats på tre nivåer i leran, på 3 m, 6 m och 8,6 m djup under markytan. Porttrycksspetsarna har avlästs två gånger under perioden juli till augusti 2010. Porttrycksmätningarna på 3 m djup visade på en porttrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 1,3–1,4 m under befintlig markyta vilket motsvarar nivå +8,5 till +8,6. Mätningarna på 6 m djup visade på en porttrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 1,7–1,8 m under markytan vilket motsvarar nivå +8,1 till +8,2. Mätningarna på 8,6 m djup visade på en porttrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 2,1–2,3 m under markytan vilket motsvarar nivå +7,6 till +7,8. Porttrycksfördelningen mot djupet är således något lägre än hydrostatiskt tryck. Troligtvis beror detta på att friktionsjorden under leran har hydraulisk kontakt med Göta älv.

7.3.3 Rosa delområdet

Inom delområdet har inga hydrogeologiska undersökningar utförts vare sig vid nu eller tidigare geotekniska undersökningar.

7.3.4 Gröna delområdet

Hydrogeologiska undersökningar har utförts i en undersökningspunkt, 22C119.

I punkt 21C119 har porttryckspetsar installerats på två nivåer i leran, på 4 m och på 8 m djup under befintlig markyta. Dessutom har ett grundvattenrör installerats i friktionsjorden under leran på 12 m djup under befintlig markyta. Porttryckspetsarna har loggat värden en gång per dygn och stabiliserade värden har uppmätts under perioden november 2022 till september 2023. Under samma period har grundvattenröret avlästs vid åtta tillfällen. Mätningarna på 4 m djup visar på en porttrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 0,3-0,8 m under markytan vilket motsvarar nivå +7,3 till +7,8. Mätningarna på 8 m djup visar på en porttrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 0,3-0,8 m under markytan vilket motsvarar nivå +7,3 till +7,8. Mätningarna i grundvattenröret visar på en trycknivå i friktionsjorden motsvarande en fri grundvattenyta ca 0-0,9 m över befintlig markyta vilket motsvarar nivå +8,1 till +9,0. Porttrycksfördelningen mot djupet motsvarar hydrostatiskt tryck i leran och överensstämmer även med medelvattennivån i Göta älv. Uppmätta trycknivåer i grundvattenröret visar högre värden än medelvattennivån i Göta älv.

7.3.5 Blå delområdet

Hydrogeologiska undersökningar har utförts i åtta undersökningspunkter, 22C124, 22C126, 22C127 och 22C128 samt arkivpunkterna U04094, U04096, R12101 och 1106A14.

I punkt 22C124 har porttryckspetsar installerats på tre nivåer i leran, på 5 m, 10 m och på 14 m djup under befintlig markyta. Dessutom har ett grundvattenrör installerats i friktionsjorden under leran på 21,3 m djup under befintlig markyta. Porttryckspetsarna har loggat värden en gång per dygn och stabiliserade värden har uppmätts under perioden november 2022 till september 2023. Under samma period har grundvattenröret avlästs vid åtta tillfällen. Mätningarna på 5 m djup visar på en porttrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 0,5-1,7 m under markytan vilket motsvarar nivå +11,3 till +12,5. Mätningarna på 10 m djup visar på en porttrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 1,8-2,6 m under markytan vilket motsvarar nivå +10,3 till +11,1. Mätningarna på 14 m djup visar på en porttrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 2,3-2,9 m under markytan vilket motsvarar nivå +10,0 till +10,6. Mätningarna i grundvattenröret visar på en trycknivå i friktionsjorden motsvarande en fri grundvattenyta ca 2,6-3,0 m under befintlig markyta vilket motsvarar nivå +9,9 till +10,3. Porttrycksfördelningen mot djupet är således lägre än hydrostatiskt tryck. Uppmätta trycknivåer i grundvattenröret ligger högre än medelvattennivån i Göta älv.

I punkt 22C126 har porttryckspetsar installerats på tre nivåer i leran, på 5 m, 10 m och på 15 m djup under befintlig markyta. Dessutom har ett grundvattenrör installerats i friktionsjorden under leran på 19,2 m djup under befintlig markyta. Porttryckspetsarna har loggat värden en gång per dygn och stabiliserade värden har uppmätts under perioden november 2022 till september 2023. Under samma period har grundvattenröret avlästs vid åtta tillfällen. Mätningarna på 5 m djup visar på en porttrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta från ca 0,6 m under till 0,1 m över markytan vilket motsvarar nivå +9,6 till +10,3. Mätningarna på 10 m djup visar på en porttrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 0,7-0,9 m under markytan vilket motsvarar nivå +9,1 till +9,3. Mätningarna på 15 m djup visar på en porttrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 2,9-3,1 m under markytan vilket motsvarar nivå +7,1 till +7,3. Mätningarna i grundvattenröret visar på en trycknivå i friktionsjorden motsvarande en fri grundvattenyta ca 1,4-1,7 m under befintlig markyta vilket motsvarar nivå +8,6 till +8,9. Porttrycksfördelningen mot djupet är således lägre än hydrostatiskt tryck. Uppmätta trycknivåer på 15 m djup ligger lägre än registrerade tryck i porttryckspetsarna ovanför respektive grundvattenröret nedanför, och motsvarar medelvattennivån i Göta älv. Möjligtvis kan de lägre porttrycksnivåerna bero på ett inlagrat friktionsjordsskikt som återfinns på ca 14 m och som eventuellt har hydraulisk kontakt med Göta älv. Uppmätta trycknivåer i grundvattenröret ligger högre än medelvattennivån i Göta älv.

I punkt 22C127 har porttryckspetsar installerats på två nivåer i leran, på 6 m och på 12 m djup under befintlig markyta. Dessutom har ett grundvattenrör installerats i friktionsjorden under leran på 17,1 m djup under befintlig markyta. Porttryckspetsarna har loggat värden en gång per dygn och stabiliserade värden har uppmätts under perioden oktober 2022 till september 2023. Under perioden november 2022 till april 2023 har grundvattenröret avlästs vid sju tillfällen. Mätningarna på 6 m djup visar på en porttrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 1,1-1,4 m under markytan vilket motsvarar nivå +7,1 till +7,4. Mätningarna på 12 m djup visar på en porttrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 0,9-1,2 m under markytan vilket motsvarar nivå +7,3 till +7,6. Mätningarna i grundvattenröret visar på en trycknivå i friktionsjorden motsvarande en fri grundvattenyta ca 0,9-1,0 m under befintlig markyta vilket motsvarar nivå +7,5 till +7,6. Porttrycksfördelningen mot djupet motsvarar hydrostatiskt tryck. Uppmätta trycknivåer överensstämmer med medelvattennivån i Göta älv.

I punkt 22C128 har porttryckspetsar installerats på tre nivåer i leran, på 5 m, 10 m och på 14 m djup under befintlig markyta. Dessutom har ett grundvattenrör installerats i friktionsjorden under leran på 17,4 m djup under befintlig markyta. Porttryckspetsarna har loggat värden en gång per dygn och stabiliserade värden har uppmätts under perioden oktober 2022 till september 2023. Under perioden november 2022 till maj 2023 har grundvattenröret avlästs vid åtta tillfällen.

Mätningarna på 5 m djup visar på en portrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 1,6-4,2 m under markytan vilket motsvarar nivå +7,9 till +10,5. Mätningarna på 10 m djup visar på en portrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 2,2-3,6 m under markytan vilket motsvarar nivå +8,5 till +9,9. Mätningarna på 14 m djup visar på en portrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 2,1-2,8 m under markytan vilket motsvarar nivå +9,3 till +10,0. Mätningarna i grundvattenröret visar på en trycknivå i friktionsjorden motsvarande en fri grundvattenyta ca 1,9-2,5 m under befintlig markyta vilket motsvarar nivå +9,6 till +10,2. Portrycksfördelningen mot djupet är således något högre än hydrostatiskt tryck. Uppmätta trycknivåer i grundvattenröret ligger högre än medelvattennivån i Göta älv.

I arkivpunkt R12101 har portrycksspetsar installerats på tre nivåer i leran, på 3 m, 7 m och 13 m djup under markytan. Portrycksspetsarna har avlästs sju gånger under perioden februari till maj 2013. I samband med nu utförd undersökning har representativa värden avlästs sex gånger under perioden juni 2022 till februari 2023. Portrycksmätningarna på 3 m djup visade på en portrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 0,3-1,2 m under befintlig markyta vilket motsvarar nivå +11,9 till +12,8. Mätningarna på 7 m djup visade på en portrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 0,6-1,4 m under markytan vilket motsvarar nivå +11,8 till +12,6. Mätningarna på 13 m djup visade på en portrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 2,9-4,0 m under markytan vilket motsvarar nivå +9,1 till +10,2. Portrycksfördelningen mot djupet är således lägre än hydrostatiskt tryck. Troligtvis beror detta på att friktionsjorden under leran har hydraulisk kontakt med Göta älv.

I arkivpunkt U04094 har portrycksspetsar installerats på fyra nivåer i leran, på 3 m, 7 m, 12 m och 18,2 m djup under markytan. Dessutom har ett grundvattenrör installerats i friktionsjorden under leran på 22,2 m djup under befintlig markyta. Portrycksspetsarna och grundvattenröret har avlästs sju gånger under perioden augusti till november 2010. Portrycksmätningarna på 3 m djup visade på en portrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 0,7-1,4 m under befintlig markyta vilket motsvarar nivå +7,2 till +7,9. Mätningarna på 7 m djup visade på en portrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 0,7-1,2 m under markytan vilket motsvarar nivå +7,5 till +8,0. Mätningarna på 12 m djup visade på en portrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 0,6-1,5 m under markytan vilket motsvarar nivå +7,1 till +8,0. Mätningarna på 18,2 m djup visade på en portrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 1,3-1,6 m under markytan vilket motsvarar nivå +7,1 till +7,4. Mätningarna i grundvattenröret visade på en trycknivå i friktionsjorden motsvarande en fri grundvattenyta ca 1,3-1,4 m under befintlig markyta vilket motsvarar nivå +7,2 till +7,3. Portrycksfördelningen mot djupet motsvarar hydrostatiskt tryck. Uppmätta trycknivåer överensstämmer med medelvattennivån i Göta älv.

I arkivpunkt U04096 har porttrycksspetsar installerats på tre nivåer i leran, på 3 m, 7 m och 12 m djup under markytan. Dessutom har ett grundvattenrör installerats i friktionsjorden under leran på 21 m djup under befintlig markyta. Porttrycksspetsarna och grundvattenröret har avlästs sju gånger under perioden augusti till december 2010. Porttrycksmätningarna på 3 m djup visade på en porttrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 0,4–0,9 m under befintlig markyta vilket motsvarar nivå +13,3 till +13,8. Mätningarna på 7 m djup visade på en porttrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 0,6–1,0 m under markytan vilket motsvarar nivå +13,2 till +13,6. Mätningarna på 12 m djup visade på en porttrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 2,0–2,6 m under markytan vilket motsvarar nivå +11,6 till +12,2. Mätningarna i grundvattenröret visade på en trycknivå i friktionsjorden motsvarande en fri grundvattenyta ca 4,6–5,5 m under befintlig markytan vilket motsvarar nivå +8,7 till +9,6. Porttrycksfördelningen mot djupet är således lägre än hydrostatiskt tryck. Troligtvis beror detta på att friktionsjorden under leran har hydraulisk kontakt med Göta älv.

I arkivpunkt 1106A14 har porttrycksspetsar installerats på två nivåer i leran, på 4 m och 10 m djup under markytan. Dessutom har ett grundvattenrör installerats i friktionsjorden under leran på 24,7 m djup under befintlig markyta. Porttrycksspetsarna har avlästs fem gånger under perioden maj till augusti 2010. Under samma period har grundvattenröret avlästs vid sex tillfällen. Porttrycksmätningarna på 4 m djup visade på en porttrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 0,9–1,8 m under befintlig markyta vilket motsvarar nivå +10,5 till +11,4. Mätningarna på 10 m djup visade på en porttrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 2,3–2,5 m under markytan vilket motsvarar nivå +9,7 till +9,9. Mätningarna i grundvattenröret visade på en trycknivå i friktionsjorden motsvarande en fri grundvattenyta ca 4,0–5,4 m under befintlig markytan vilket motsvarar nivå +6,9 till +8,3. Porttrycksfördelningen mot djupet är således lägre än hydrostatiskt tryck. Troligtvis beror detta på att friktionsjorden under leran har hydraulisk kontakt med Göta älv.

7.3.6 Turkosa delområdet

Hydrogeologiska undersökningar har utförts i fyra undersökningspunkter, 22C121, 22C131 och 22C134 samt i arkivpunkten U04098.

I punkt 22C121 har ett grundvattenrör installerats i friktionsjorden under leran på 17 m djup under befintlig markyta. Grundvattenröret har avlästs vid åtta tillfällen under perioden november 2022 till september 2023. Mätningarna i grundvattenröret visar på en trycknivå i friktionsjorden motsvarande en fri grundvattenyta ca 7,1-7,8 m under befintlig markyta vilket motsvarar nivå +9,7 till +10,4. Uppmätta trycknivåer i grundvattenröret ligger högre än medelvattennivån i Göta älv.

I punkt 22C131 har porttryckspetsar installerats på tre nivåer i leran, på 5 m, 10 m och på 15 m djup under befintlig markyta. Porttrycksspetsarna har loggat värden en gång per dygn och stabiliserade värden har uppmätts under perioden april till september 2023. Mätningarna på 5 m djup visar på en porttrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 0,3-1,0 under markytan vilket motsvarar nivå +13,8 till +14,5. Mätningarna på 10 m djup visar på en porttrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 1,3-1,9 m under markytan vilket motsvarar nivå +13,0 till +13,6. Mätningarna på 15 m djup visar på en porttrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 2,5-3,0 m under markytan vilket motsvarar nivå +11,8 till +12,3. Porttrycksfördelningen mot djupet är således något lägre än hydrostatiskt tryck.

I punkt 22C134 har porttryckspetsar installerats på två nivåer i leran, på 4 m och på 7 m djup under befintlig markyta. Porttrycksspetsarna har loggat värden en gång per dygn och stabiliserade värden har uppmätts under perioden april till september 2023. Mätningarna på 4 m djup visar på en porttrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 2,0-4,0 under markytan vilket motsvarar nivå +12,0 till +14,0. Från 2023-06-26 och fram till sista mättillfället 2023-09-25 har grundvattenytan legat lägre än porttrycksmätaren på 4 m djup varpå mätaren har registrerat negativa värden. Mätningarna på 7 m djup visar på en porttrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 3,6-6,2 m under markytan vilket motsvarar nivå +9,9 till +12,5. Porttrycksfördelningen mot djupet är således lägre än hydrostatiskt tryck.

7.3.7 Orange delområdet – Göta älv

Vattenståndsnivåer för Göta älv redovisas i kapitel 8.4.

8 Valda beräkningsparametrar

För en detaljerad redovisning av geotekniska jordparametrar samt motiv till valda beräkningsparametrar se Bilaga 6 - Val av skjuvhållfasthet.

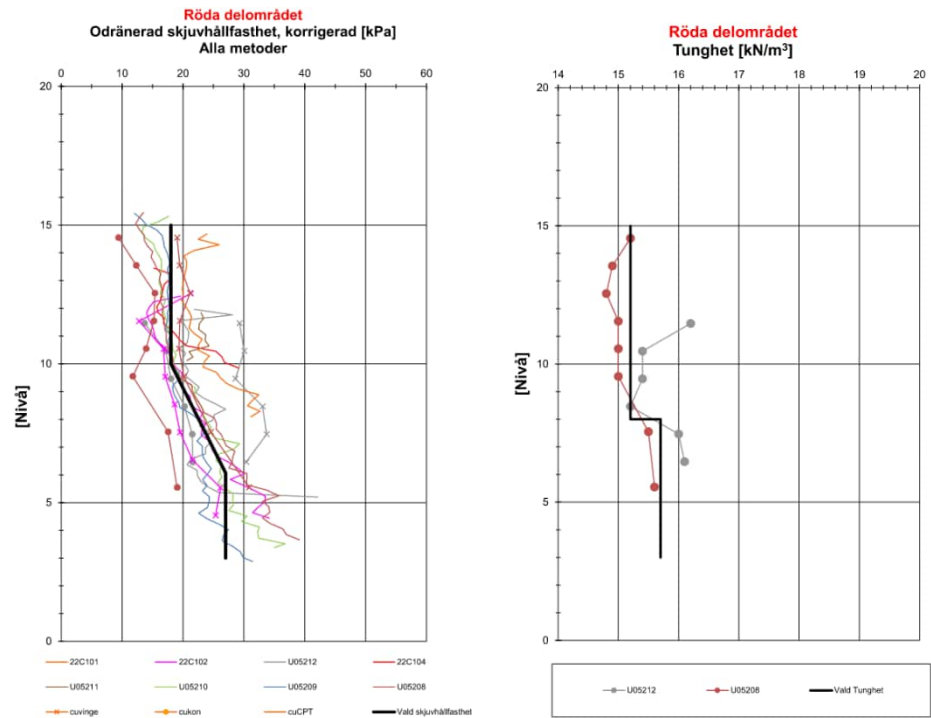
8.1 Beräkningsparametrar

Valda karakteristiska beräkningsparametrar för jordens hållfasthetsegenskaper och tunghet för respektive delområde redovisas i Bilaga 4. Valda parametrar för lerans korregerade odränerade skjuvhållfasthet och densitet redovisas även i diagram i Bilaga 1 och Bilaga 2. För dokumentation och beskrivning av vald skjuvhållfasthet, se Bilaga 6.

Lerans dränerade skjuvhållfasthet har uppskattats empiriskt med kohesionsinterceptet $c'_k = 0,1 * c_{uk}$ och $\Phi'_k = 30^\circ$.

8.1.1 Röda delområdet

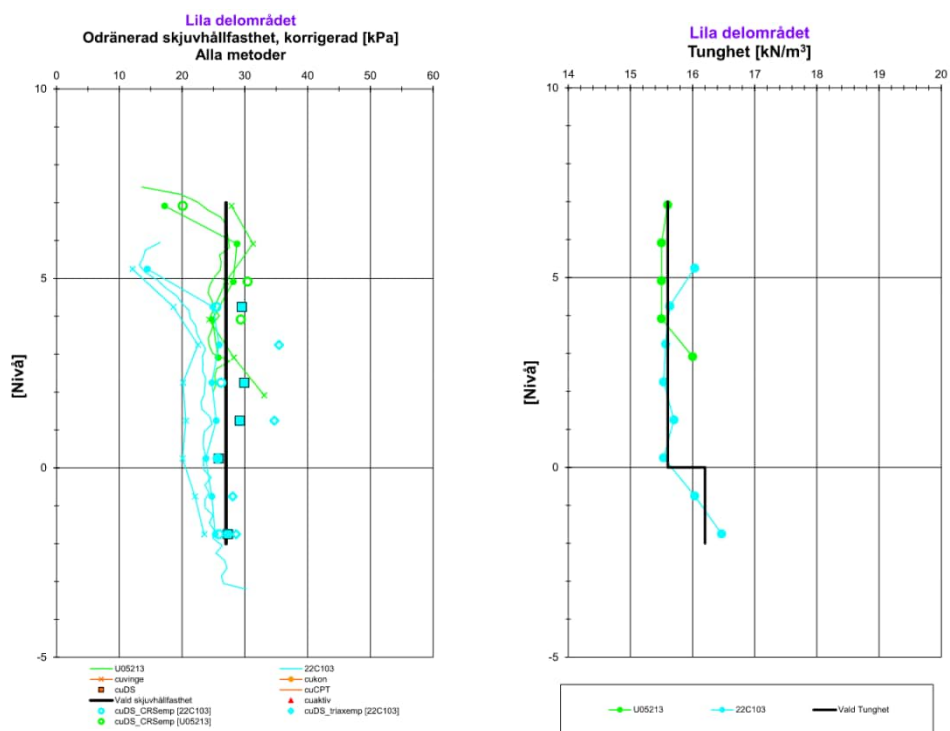
Tabeller med valda beräkningsparametrar redovisas i Bilaga 4. Vald odränerad skjuvhållfasthet och vald tunghet mot nivå redovisas i diagram i Figur 25, samt i Bilaga 1 och Bilaga 2.



Figur 25 Diagram med valda värden för skjuvhållfasthet och tunghet för det röda delområdet. Diagrammen redovisas i större skala i Bilaga 1 och Bilaga 2

8.1.2 Lila delområdet

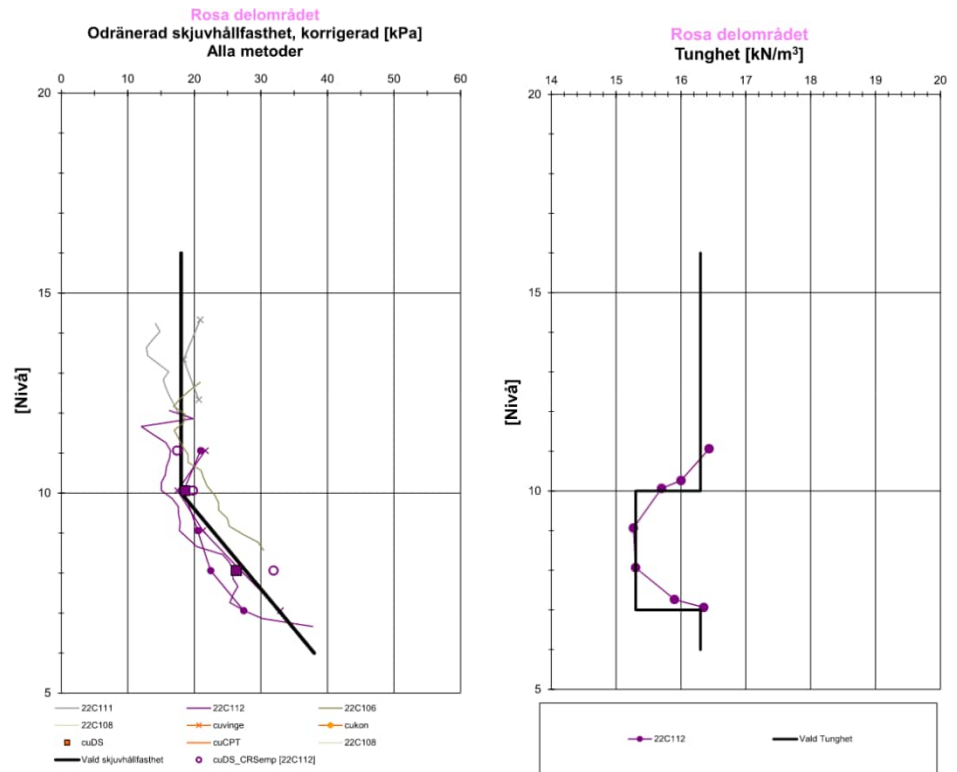
Tabeller med valda beräkningsparametrar redovisas i Bilaga 4. Vald odränerad skjuvhållfasthet och vald tunghet mot nivå redovisas i diagram i Figur 26, samt i Bilaga 1 och Bilaga 2.



Figur 26 Diagram med valda värden för skjuvhållfasthet och tunghet för det lila delområdet.
Diagrammen redovisas i större skala i Bilaga 1 och Bilaga 2

8.1.3 Rosa delområdet

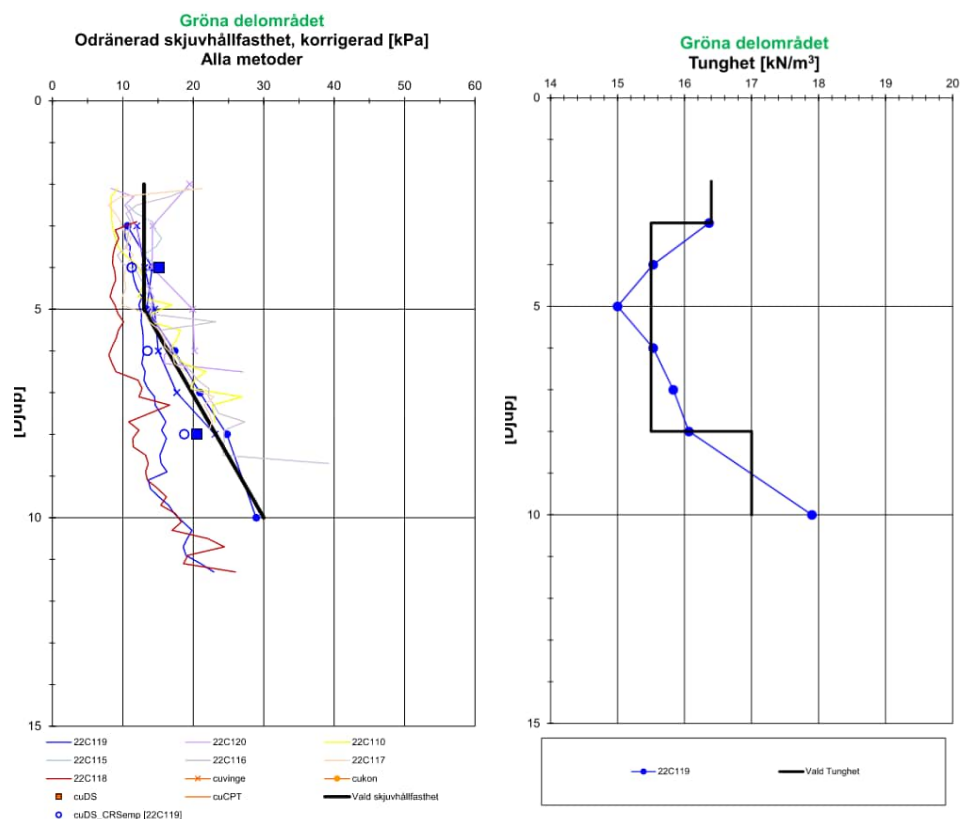
Tabeller med valda beräkningsparametrar redovisas i Bilaga 4. Vald odränerad skjuvhållfasthet och vald tunghet mot nivå redovisas i diagram i Figur 27 samt i Bilaga 1 och Bilaga 2.



Figur 27 Diagram med valda värden för skjuvhållfasthet och tunghet för rosa delområdet.
Diagrammen redovisas i större skala i Bilaga 1 och Bilaga 2

8.1.4 Gröna delområdet

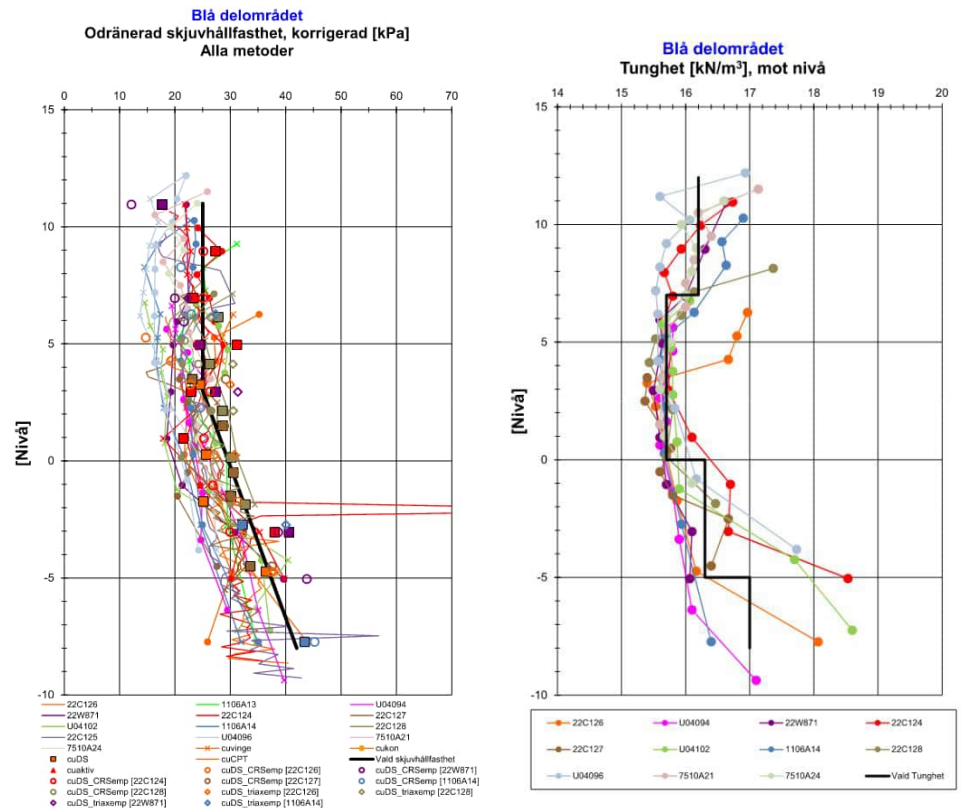
Tabeller med valda jordmaterialparametrar redovisas i Bilaga 4. Vald odränerad skjuvhållfasthet och vald tunghet mot djup redovisas i diagram i Figur 28 samt i Bilaga 1 och Bilaga 2.



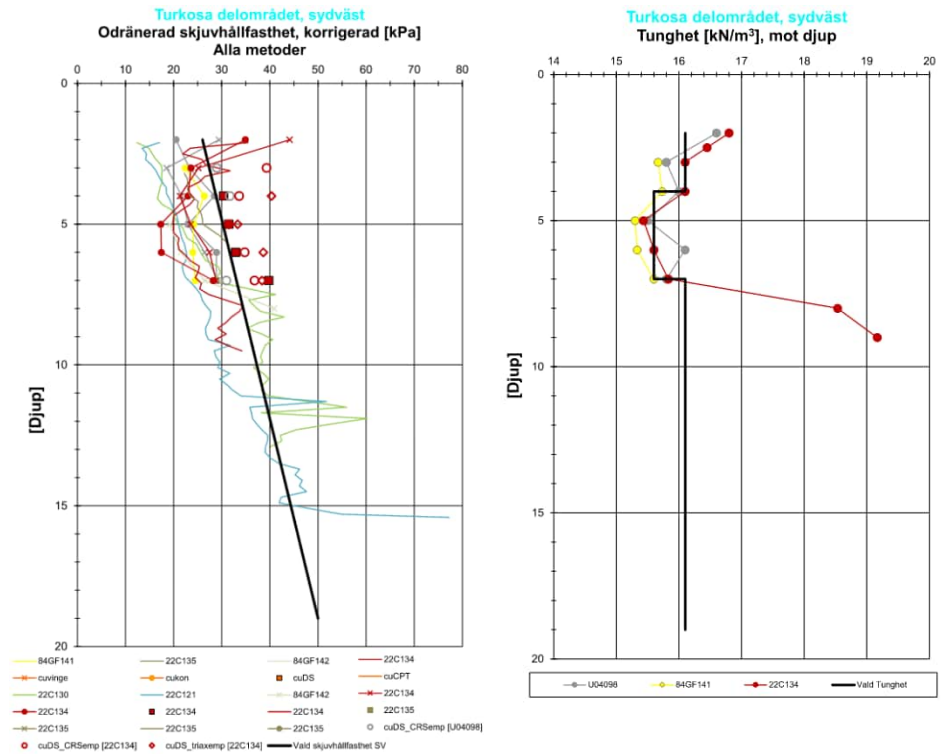
Figur 28 Diagram med valda värden för skjuvhållfasthet och tunghet för det gröna delområdet.
Diagrammen redovisas i större skala i Bilaga 1 och Bilaga 2

8.1.5 Blå delområdet

Tabeller med valda jordmaterialparametrar redovisas i Bilaga 4. Vald odränerad skjuvhållfasthet och vald tunghet mot nivå redovisas i diagram i Figur 29 samt i Bilaga 1 och Bilaga 2.

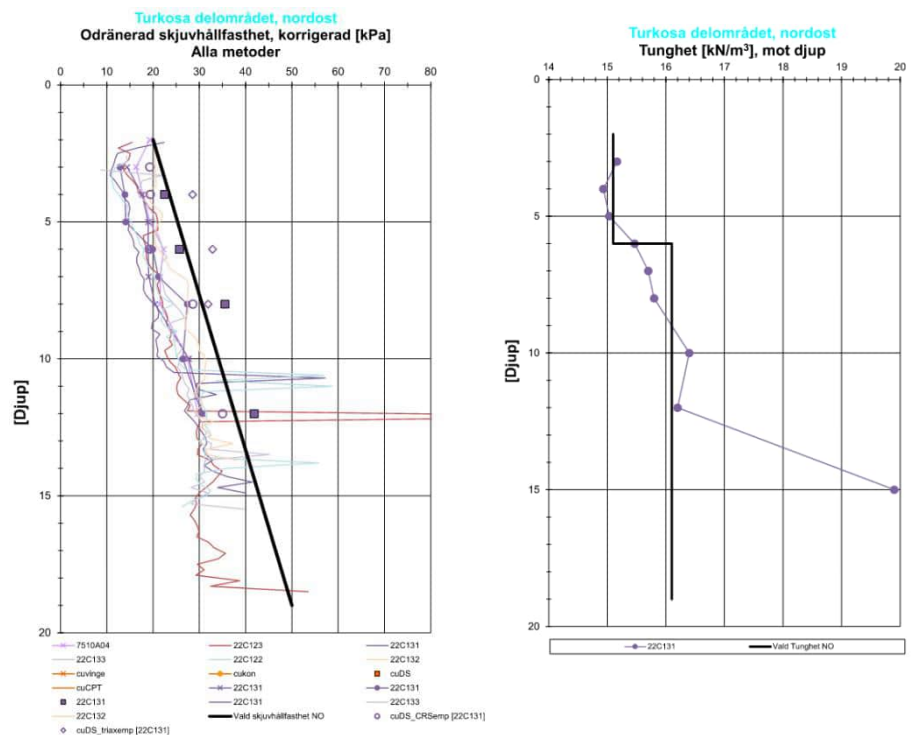


Figur 29 Diagram med valda värden för skjuvhållfasthet och tunghet för det blå delområdet. Diagrammen redovisas i större skala i Bilaga 1 och Bilaga 2



Figur 31 Diagram med valda värden för skjuvhållfasthet och tunghet för turkosa delområdet sydväst. Diagrammen redovisas i större skala i Bilaga 1 och Bilaga 2

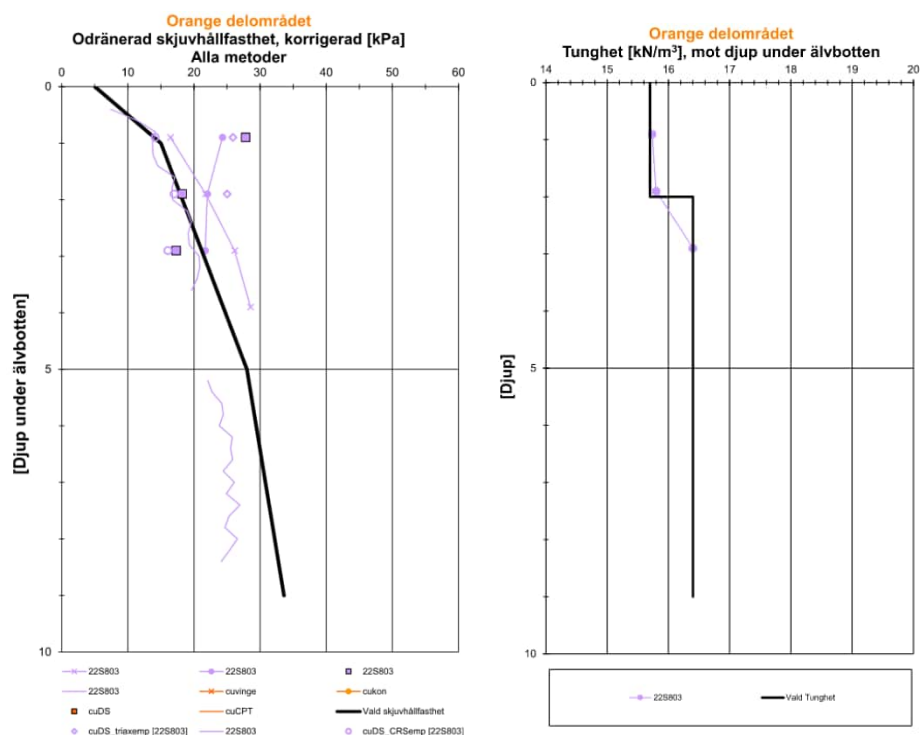
Vald odränerad skjuvhållfasthet och vald tunghet mot djup för det turkosa delområdet nordost redovisas i diagram i Figur 32 samt i Bilaga 1 och Bilaga 2.



Figur 32 Diagram med valda värden för skjuvhållfasthet och tunghet för turkosa delområdet nordost. Diagrammen redovisas i större skala i Bilaga 1 och Bilaga 2

8.1.7 Orange delområdet – Göta älv

Tabeller med valda jordmaterialparametrar redovisas i Bilaga 4. Vald odränerad skjuvhållfasthet och vald tunghet mot djup under älvbotten redovisas i diagram i Figur 33 samt i Bilaga 1 och Bilaga 2.

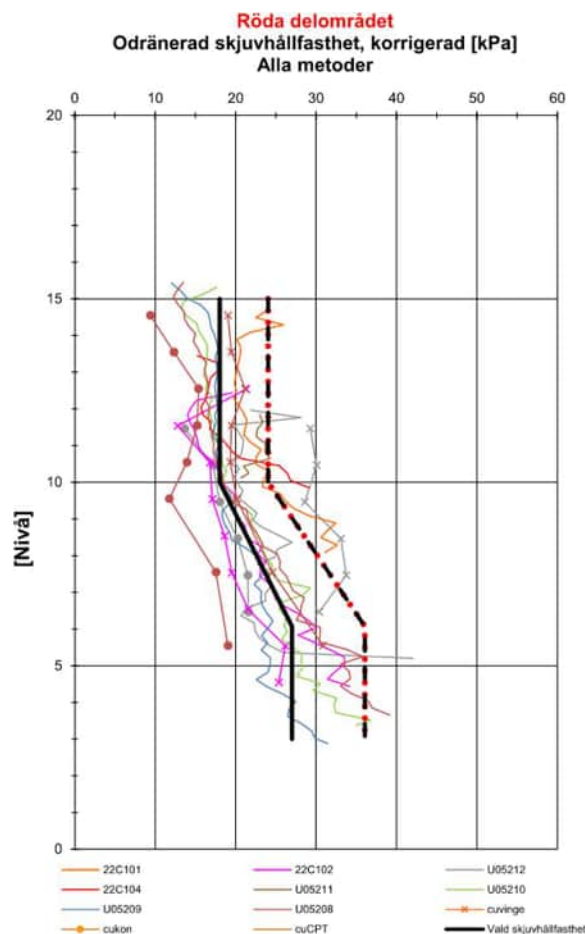


Figur 33 Diagram med valda värden för skjuvhållfasthet och tunghet för orange delområdet. Diagrammen redovisas i större skala i Bilaga 1 och Bilaga 2

8.2 Anisotropifunktion

8.2.1 Röda delområdet

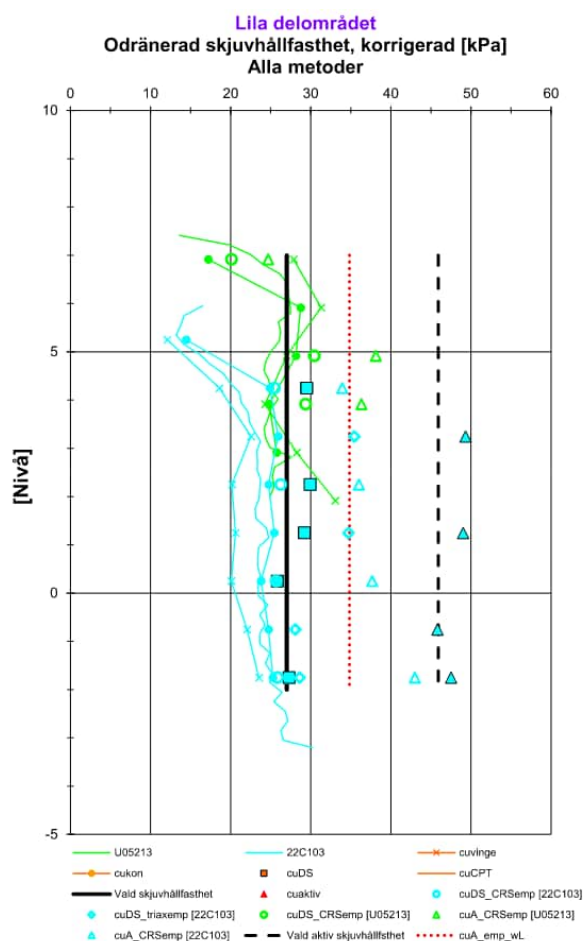
Inom det röda delområdet har inga triaxialförsök utförts. Den aktiva skjuvhållfasthet har i stället valts utifrån ett empiriskt beräknat värde på K_{0NC} som bestämts med hjälp av konflytgränsen, se Figur 34. Konflytgränsen har valts till 70 % genom hela lerprofilen, vilket ger ett värde på K_{0NC} som är lika med ca 0,67. Med hjälp av ekvationen som redovisas i kapitel 5 erhålls kvoten mellan den aktiva skjuvhållfastheten och den direkta skjuvhållfastheten till 1,34 för ett skjuvplan med lutningen $\alpha = 60^\circ$. Denna kvot är således lägre än kvoten mellan aktiv och direkt skjuvhållfasthet som utvärderats inom det närliggande lila området där triaxialförsök utförts (1,7). Vidare är den empiriskt beräknade aktiva skjuvhållfastheten lägre än den som valts utifrån triaxialförsöken för det lila området. Vald aktiv skjuvhållfasthet inom det röda delområdet bedöms således vara ett konservativt val.



Figur 34 Vald direkt och aktiv skjuvhållfasthet för det röda delområdet

8.2.2 Lila delområdet

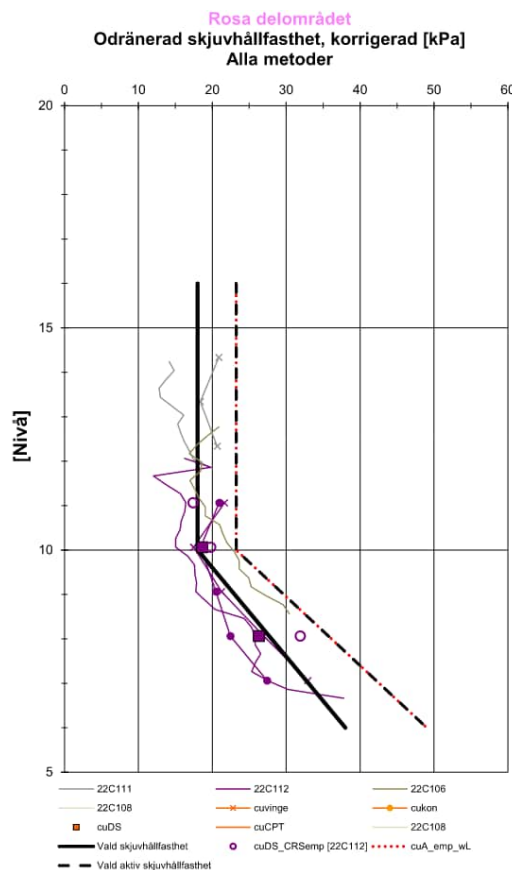
Inom det lila delområdet har triaxialförsök utförts i undersökningspunkt 22C103. Den aktiva skjuvhållfasthetsfördelningen har valts utifrån resultaten av triaxialförsöken, se Figur 35. Kvoten mellan den valda aktiva skjuvhållfastheten och den valda direkta skjuvhållfastheten uppgår till 1,7 för ett skjuvplan med lutningen $\alpha = 60^\circ$. Med hjälp av ekvationen som redovisas i kapitel 5 erhålls ett värde på vilojordstryckskoefficienten K_{0NC} på ca 0,45.



Figur 35 Vald direkt och aktiv skjuvhållfasthet för det lila delområdet

8.2.3 Rosa delområdet

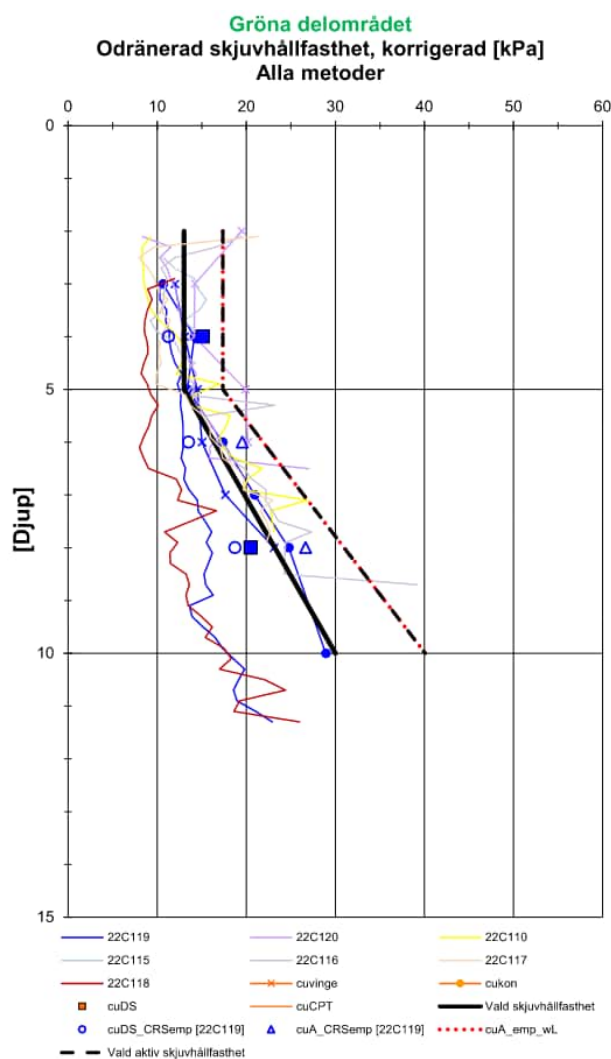
Inom det rosa delområdet har inga triaxialförsök utförts. Den aktiva skjuvhållfasthet har i stället valts utifrån ett empiriskt beräknat värde på K_{ONC} som bestämts med hjälp av konflytgränsen, se Figur 36. Konflytgränsen har valts till 75 % genom hela lerprofilen, vilket ger ett värde på K_{ONC} som är lika med ca 0,70. Med hjälp av ekvationen som redovisas i kapitel 5 erhålls kvoten mellan den aktiva skjuvhållfastheten och den direkta skjuvhållfastheten till 1,29 för ett skjuvplan med lutningen $\alpha = 60^\circ$. Denna kvot är således lägre än kvoten mellan aktiv och direkt skjuvhållfasthet som utvärderats inom de delområden där triaxialförsök har utförts (1,7 i det lila området och 1,5 i det blå området). Vidare är den empiriskt beräknade aktiva skjuvhållfastheten lägre än den som valts utifrån triaxialförsöken för dessa områden. Vald aktiv skjuvhållfasthet inom det rosa delområdet bedöms således vara ett konservativt val.



Figur 36 Vald direkt och aktiv skjuvhållfasthet för det rosa delområdet

8.2.4 Gröna delområdet

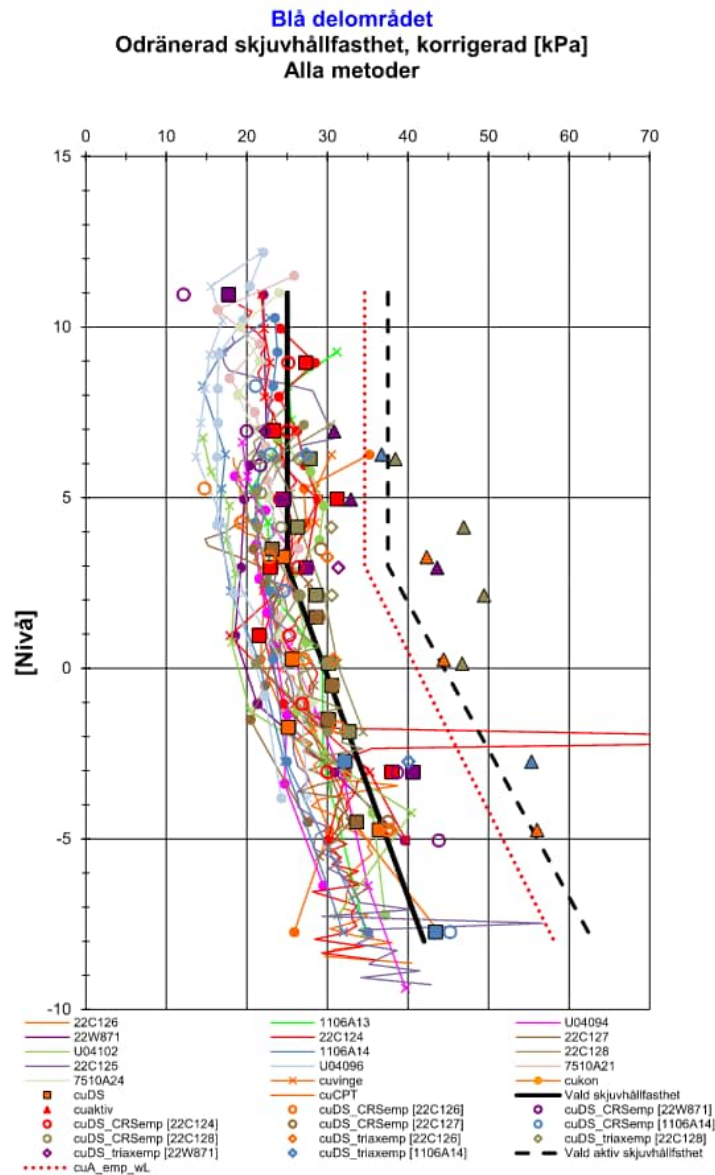
Inom det gröna delområdet har inga triaxialförsök utförts. Den aktiva skjuvhållfasthet har i stället valts utifrån ett empiriskt beräknat värde på K_{0NC} som bestämts med hjälp av konflytgränsen, se Figur 37. Konflytgränsen har valts till 70 % genom hela lerprofilen, vilket ger ett värde på K_{0NC} som är lika med ca 0,67. Med hjälp av ekvationen som redovisas i kapitel 5 erhålls kvoten mellan den aktiva skjuvhållfastheten och den direkta skjuvhållfastheten till 1,33 för ett skjuvplan med lutningen $\alpha = 60^\circ$. Denna kvot är således lägre än kvoten mellan aktiv och direkt skjuvhållfasthet som utvärderats inom de delområden där triaxialförsök har utförts (1,7 i det lila området och 1,5 i det blå området). Vidare är den empiriskt beräknade aktiva skjuvhållfastheten lägre än den som valts utifrån triaxialförsöken för dessa områden. Vald aktiv skjuvhållfasthet inom det gröna delområdet bedöms således vara ett konservativt val.



Figur 37 Vald direkt och aktiv skjuvhållfasthet för det gröna delområdet

8.2.5 Blå delområdet

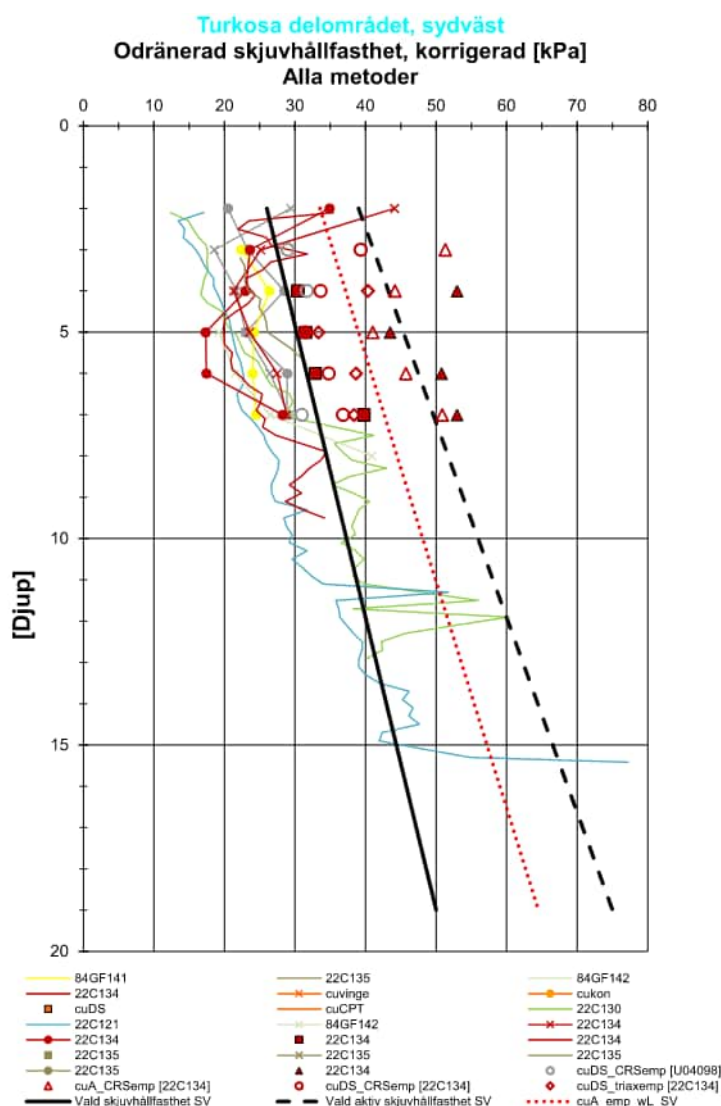
Inom det blå delområdet har triaxialförsök utförts i två undersökningspunkter 22C126 och 22C128 samt i två arkivpunkter, 22W871, 1106A14. Den aktiva skjuvhållfasthetsfördelningen har valts utifrån resultaten av triaxialförsöken, se Figur 38. Kvoten mellan den valda aktiva skjuvhållfastheten och den valda direkta skjuvhållfastheten uppgår till 1,5 för ett skjuvplan med lutningen $\alpha = 60^\circ$. Med hjälp av ekvationen som redovisas i kapitel 5 erhålls ett värde på vilojordstryckskoefficienten K_{0NC} på ca 0,56.



Figur 38 Vald direkt och aktiv skjuvhållfasthet för det blå delområdet

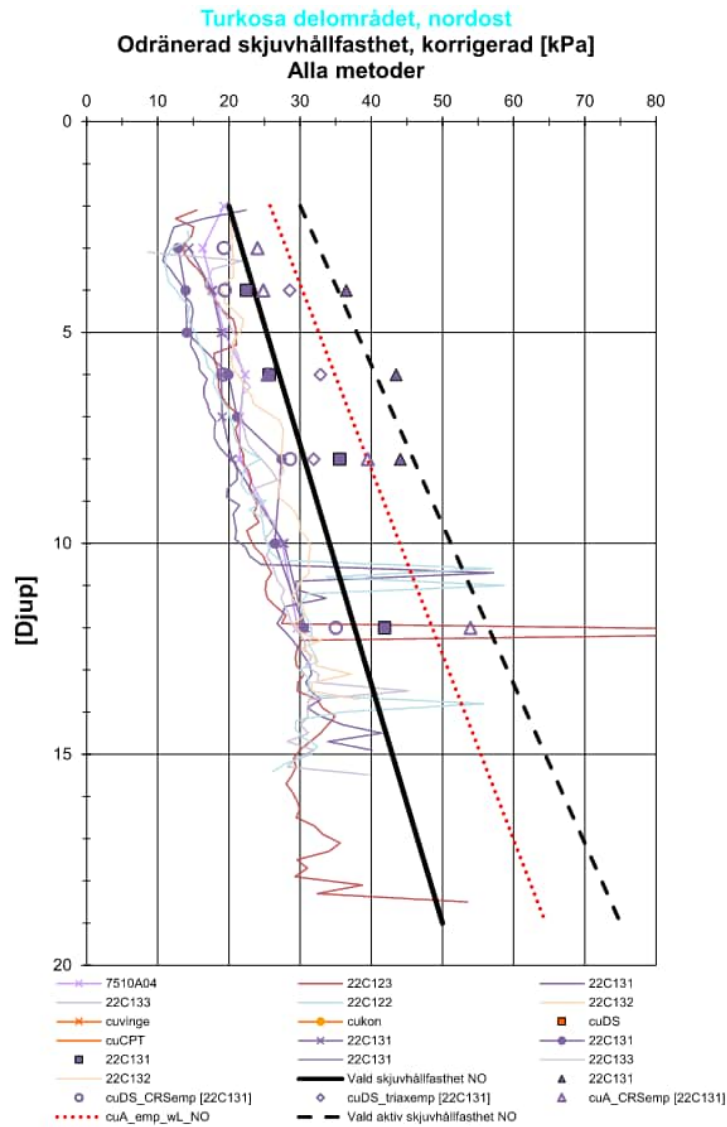
8.2.6 Turkosa delområdet

Inom det turkosa delområdet sydväst har triaxialförsök utförts i undersökningspunkt 22C134. Den aktiva skjuvhållfasthetsfördelningen har valts utifrån resultaten av triaxialförsöken, se Figur 39. Kvoten mellan den valda aktiva skjuvhållfastheten och den valda direkta skjuvhållfastheten uppgår till 1,5 för ett skjuvplan med lutningen $\alpha = 60^\circ$. Med hjälp av ekvationen som redovisas i kapitel 5 erhålls ett värde på vilojordstryckskoefficienten K_{0NC} på ca 0,56.



Figur 39 Vald direkt och aktiv skjuvhållfasthet för det turkosa delområdet sydväst

Inom det turkosa delområdet nordost har triaxialförsök utförts i undersökningspunkt 22C131. Den aktiva skjuvhållfasthetsfördelningen har valts utifrån resultaten av triaxialförsöken, se Figur 40. Kvoten mellan den valda aktiva skjuvhållfastheten och den valda direkta skjuvhållfastheten uppgår till 1,5 för ett skjuvplan med lutningen $\alpha = 60^\circ$. Med hjälp av ekvationen som redovisas i kapitel 5 erhålls ett värde på vilojordstryckskoefficienten K_{0NC} på ca 0,56.

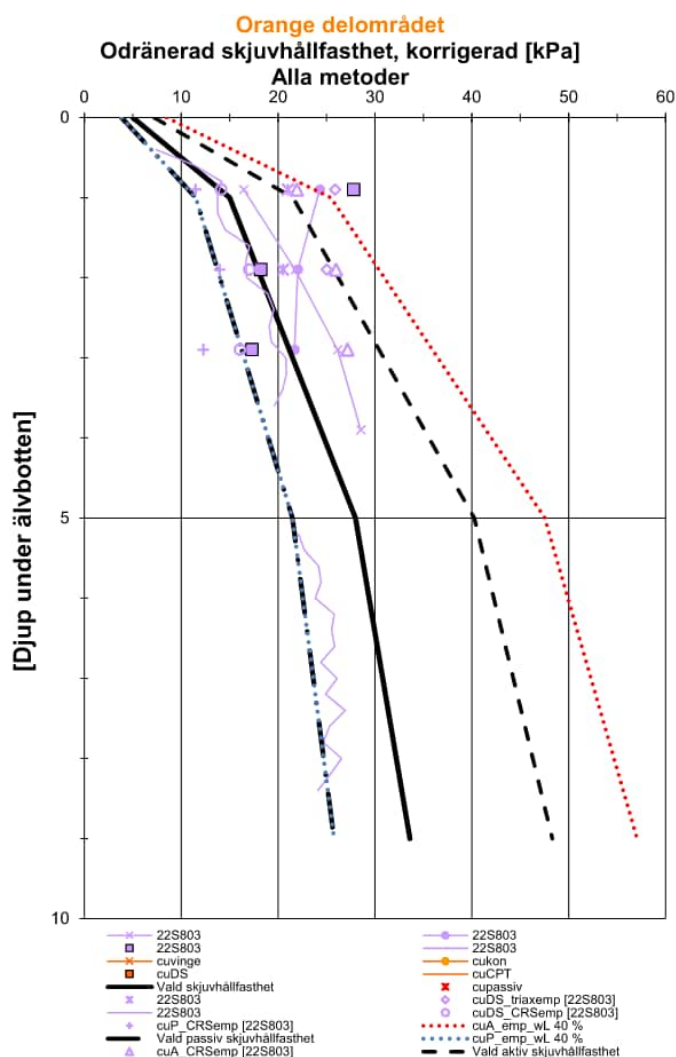


Figur 40 Vald direkt och aktiv skjuvhållfasthet för det turkosa delområdet nordost

8.2.7 Orange delområdet – Göta älv

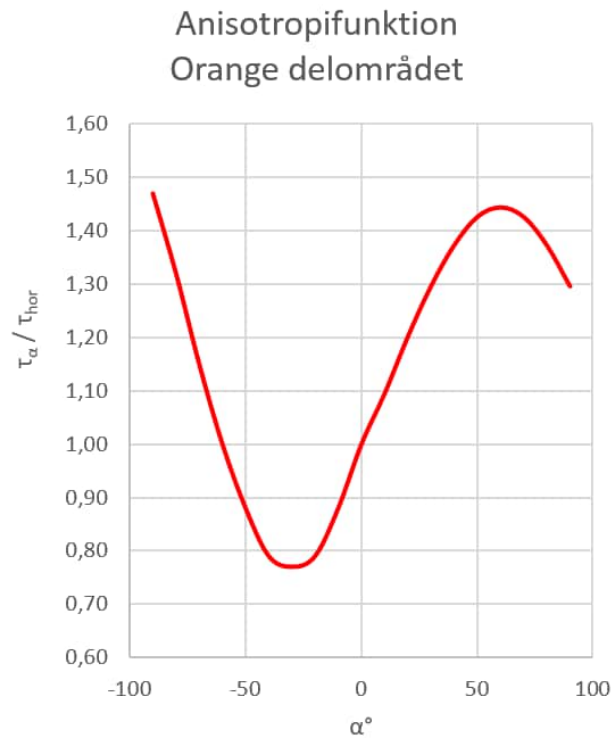
Inom det orange delområdet har passiva triaxialförsök utförts i en arkivpunkt, 22S803. Med hänsyn till att resultaten av de passiva triaxialförsöken delvis är högre än resultaten av direkta skjuvförsöken, har den passiva skjuvhållfasthetsfördelningen valts utifrån empiriskt beräknade värden från CRS-försök. Detta bedöms vara ett försiktigt val. Kvoten mellan den valda passiva skjuvhållfastheten och den valda direkta skjuvhållfastheten uppgår till 0,77 för ett skjuvplan med lutningen $\alpha = -30^\circ$. Med hjälp av ekvationen som redovisas i kapitel 5 erhålls ett värde på vilojordstryckskoefficienten K_{0NC} på ca 0,45.

Då inga aktiva triaxialförsök har utförts inom det röda delområdet har den aktiva skjuvhållfasthetsfördelning har valts utifrån empiriskt beräknade värden från CRS-försök. Kvoten mellan den valda aktiva skjuvhållfastheten och den valda direkta skjuvhållfastheten uppgår till 1,44 för ett skjuvplan med lutningen $\alpha = 60^\circ$. Med hjälp av ekvationen som redovisas i kapitel 5 erhålls ett värde på vilojordstryckskoefficienten ca 0,59.



Figur 41 Vald direkt och aktiv skjuvhållfasthet för det orange delområdet

Då den valda anisotropifunktionen för aktuellt delområde utgörs av två sammankopplade funktioner beräknade med olika värden på K_{0NC} och med brytpunkt i $\alpha=0^\circ$ redovisas funktionen i Figur 42 nedan.



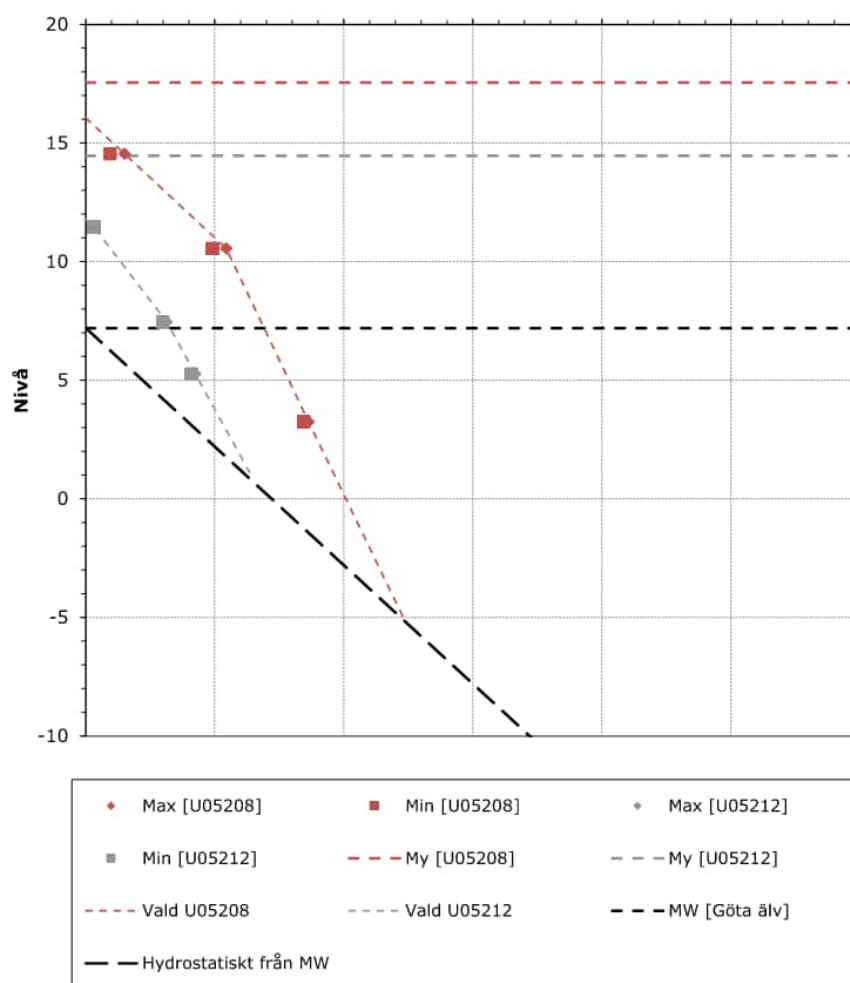
Figur 42 Vald anisotropifunktion, orange delområdet

8.3 Portrycksmodell

Grundvatten- och portrycksmätningar inom utredningsområdet visar att portrycken i området närmast Göta älv följer en hydrostatisk portrycksfördelning som i hög utsträckning korresponderar med Göta älvs medelvattennivå. Inom områden längre från Göta älv har uppmätt portrycksfördelning generellt konstaterats vara lägre än hydrostatisk portrycksfördelning. Resultaten av portrycksmätningarna redovisas uppdelat för respektive delområde. Portrycksdiagrammen redovisas även i Bilaga 3. Portrycksmodellen har valts från mätresultat till och med den 17:e april 2023.

8.3.1 Röda delområdet

Valt portryck mot nivå för det röda delområdet redovisas i Figur 43 nedan. Portrycken har valts utifrån maximalt uppmätta portryck.

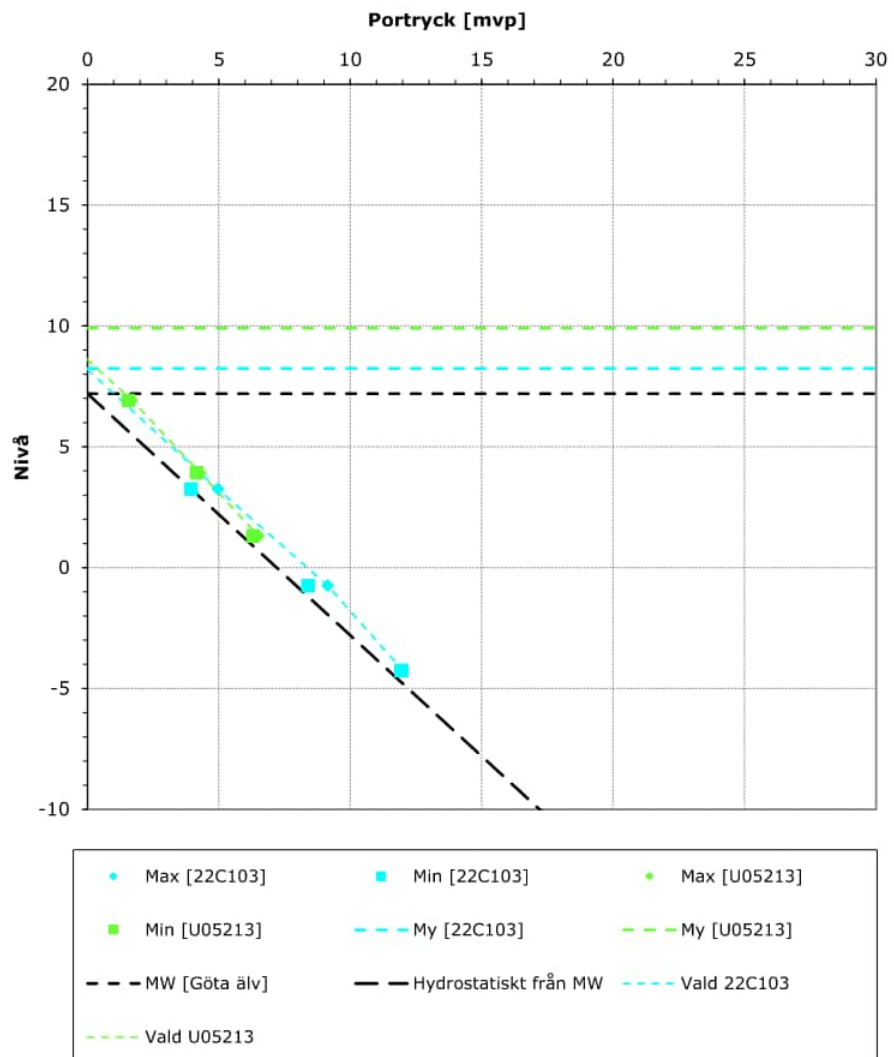


Figur 43 Valt portryck inom det röda delområdet. Diagrammet redovisas även i Bilaga 3

Längst i nordväst följer valt portryck i lerprofilens övre del och ner till ca 7 m under markytan en hydrostatisk portryckfördelning. På större djup är portrycksökningen lägre än hydrostatiskt portryck, ca 4-5 kPa/m. Vid delområdets östra gräns, är vald portrycksfördelning lägre än hydrostatiskt portryck genom hela lerprofilen, ca 0,5-0,7 kPa/m.

8.3.2 Lila delområdet

Valt portryck mot nivå för det lila delområdet redovisas i Figur 44 nedan. Portrycken har valts utifrån maximalt uppmätta portryck.



Figur 44 Valt portryck inom det lila delområdet. Diagrammet redovisas även i Bilaga 3

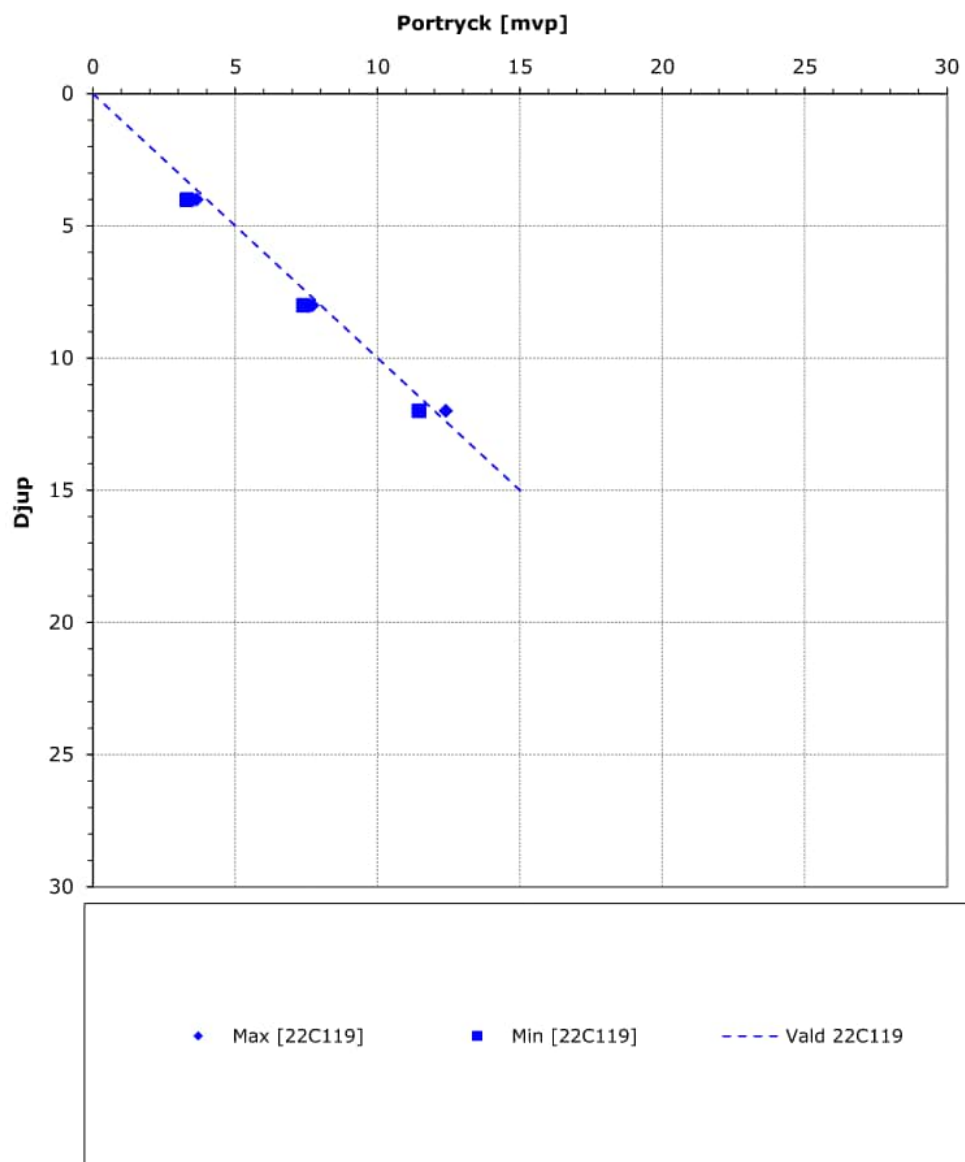
I lerprofilens övre del och ner till ca 3-5 m under markytan följer valt portryck en hydrostatisk portryckfördelning. På större djup är portrycksökningen lägre än hydrostatiskt portryck, ca 8-9 kPa/m.

8.3.3 Rosa delområdet

Inom det rosa delområdet har inga hydrogeologiska undersökningar utförts. I stabilitetsberäkningarna har grundvattenytan förutsatts ligga i nivå med underkant torrskorpelera. Portryckfördelningen mot djupet har antagits vara hydrostatisk.

8.3.4 Gröna delområdet

Valt portryck mot djup för det gröna delområdet redovisas i Figur 45 nedan.

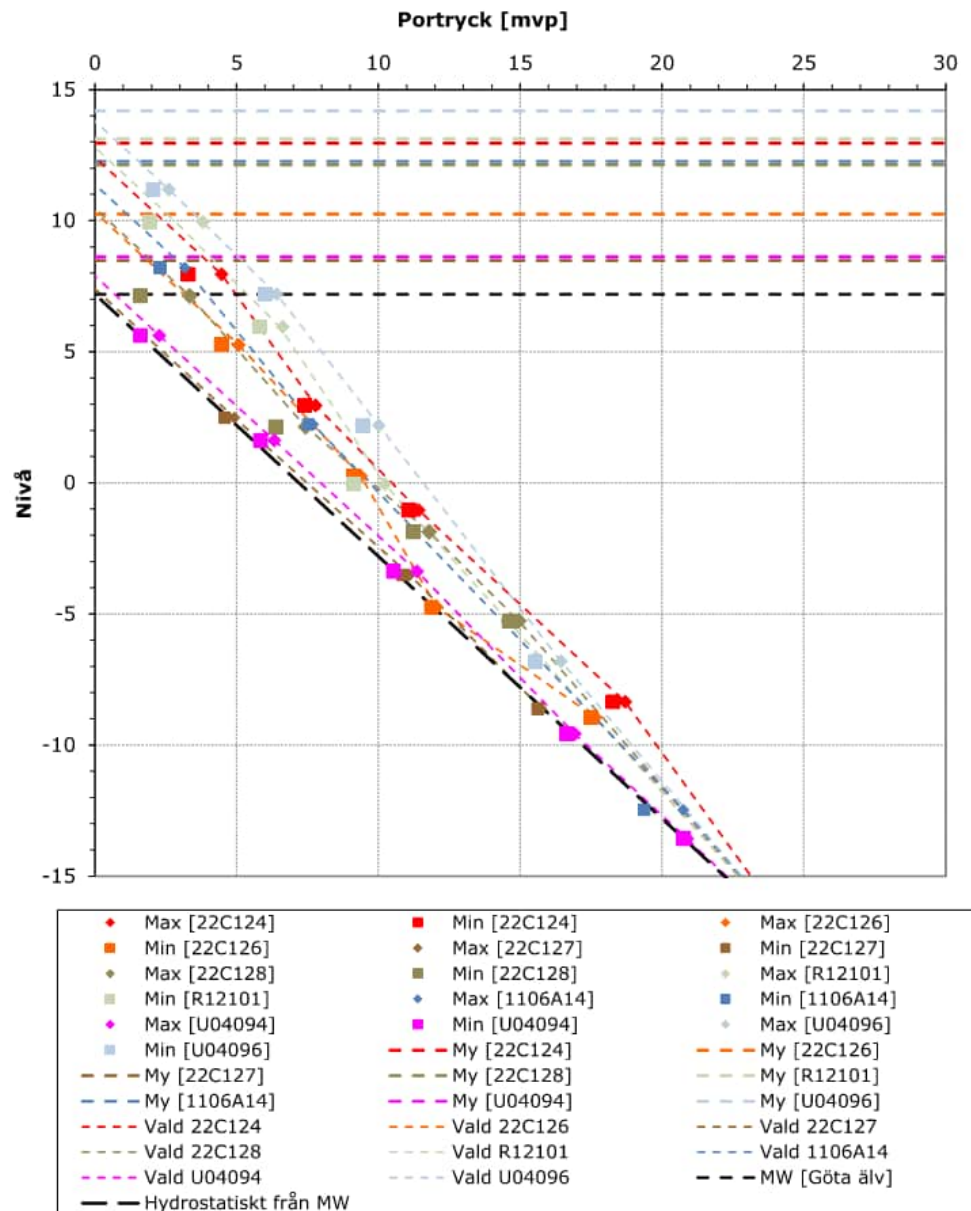


Figur 45 Valt portryck inom det gröna delområdet. Diagrammet redovisas även i Bilaga 3

Valt portryck motsvarar en grundvattenyta som ligger i nivå med markytan. Portryckfördelningen mot djupet är hydrostatisk genom hela lerprofilen.

8.3.5 Blå delområdet

Valt portryck mot nivå för det blå delområdet redovisas i Figur 46 nedan. Portrycken har valts utifrån maximalt uppmätta portryck.

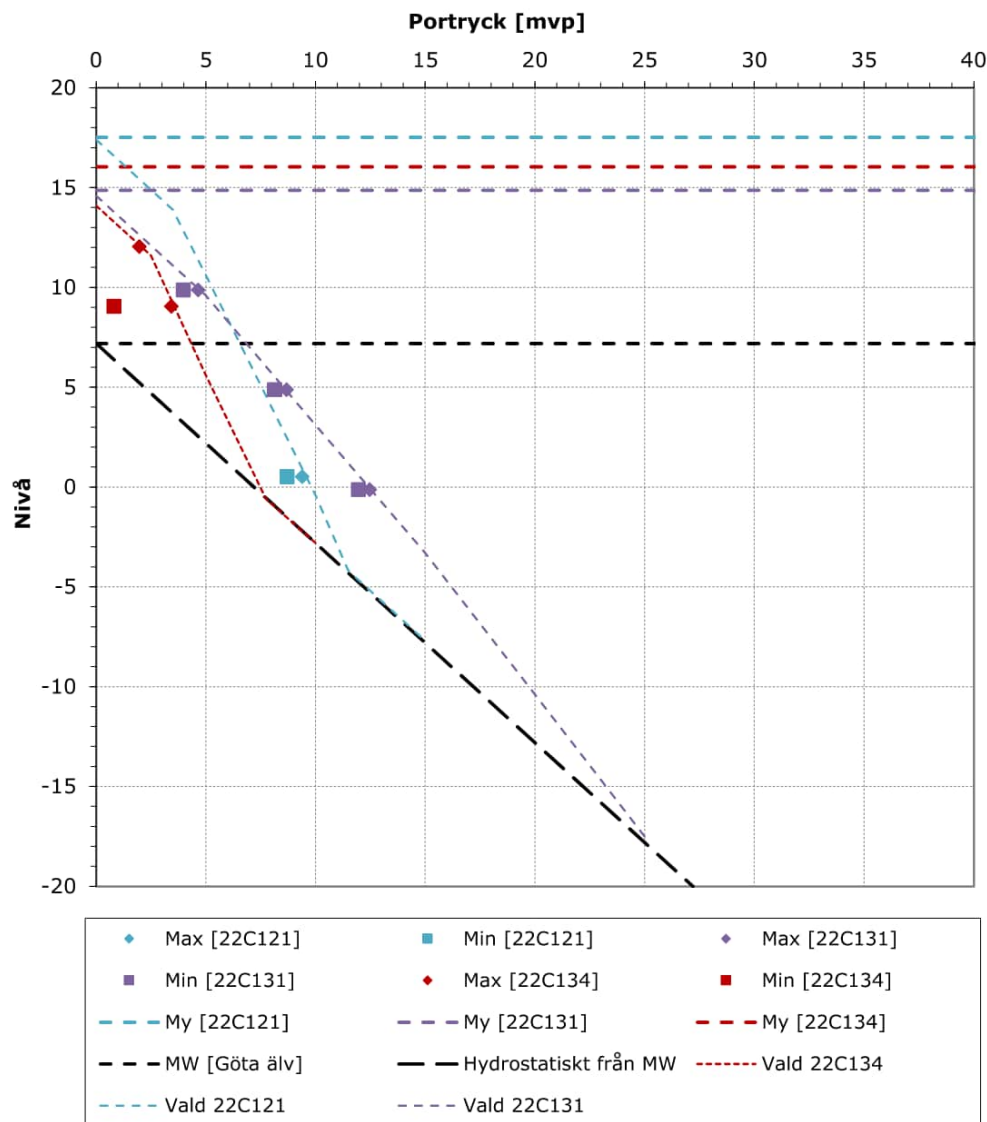


Figur 46 Valt portryck inom det blå delområdet. Diagrammet redovisas även i Bilaga 3

I området närmast Göta älv följer valt portryck en hydrostatisk portryckfördelning. Längre från älven följer valt portryck i lerprofilens övre del och ner till ca 3-6 m under markytan en hydrostatisk portryckfördelning. På större djup är portrycksökningen i allmänhet lägre än hydrostatiskt portryck ca 6-9 kPa/m. Ställvis förekommer delar av lerprofilen där portrycksförledningen är hydrostatisk eller något högre, ca 10-11 kPa/m.

8.3.6 Turkosa delområdet

Valt portryck mot nivå för det turkosa delområdet redovisas i Figur 47 nedan. Portrycken har valts utifrån maximalt uppmätta portryck.



Figur 47 Valt portryck inom det turkosa delområdet. Diagrammet redovisas även i Bilaga 3

På norra sidan om Strömsbäcken, strax bakom släntkrön följer valt portryck i lerprofilens övre del och ner till ca 5 m under markytan en hydrostatisk portryckfördelning. På större djup är portrycksökningen lägre än hydrostatiskt portryck, ca 4-8 kPa/m. På södra sidan om Strömsbäcken, strax bakom släntkrön följer valt portryck i lerprofilens övre del och ner till 4 m under markytan en hydrostatisk portryckfördelning. På större djup är portrycksökningen lägre än hydrostatiskt portryck, ca 4 kPa/m.

8.3.7 Orange delområdet

Vattenståndsnivåer för Göta älv redovisas i kapitel 8.4.

8.4 Vattenstånd i Göta älv

Göta älv är reglerad och i anslutning till Torna dal har SGI angivit följande vattenståndsnivåer, se Tabell 2. Vidare har SGI angivit att en vattenyta motsvarande lägsta lågvatten, LLW på nivå +6,6 ska användas i stabilitetsberäkningarna.

Tabell 2 Vattenstånd Göta älv

Referenspunkt	Ca längdmätning	MW	LLW	HHW
Lilla Edet Sluss 6 ÖVY	31/600	+7,2	+6,6	+7,5

8.5 Laster

Inom området finns enbart mindre infartsvägar till befintliga bostadshus. I aktuella sektioner 31020V och 31150V har inga trafiklaster beaktats. Inverkan av laster på markytan har i stället beaktats inom utförda känslighetsanalyser, se kapitel 9.2.

För byggnader har 10 kPa/våning tillämpats.

9 Känslighetsanalys

Känslighetsanalys har utförts för att säkerställa den valda jordmodellens robusthet och undersöka sårbarheten för förändring av områdets porttrycksförhållanden, förändrad geometri till följd av erosion samt förändring av belastning på markytan. Vidare har känslighetsanalys utförts för att undersöka dränerade parametrars påverkan på beräknad säkerhetsfaktor. Känslighetsanalyser har även utförts för att undersöka beräkningsmodellernas ansatta jordlagerföljd och jorddjup inverkan på beräkningsresultaten. För beräkningssektioner belägna inom delområden där hållfasthetsanisotropi har verifierats med triaxialförsök har känslighetsanalyserna utförts med beaktande av anisotropi. För sektioner belägna inom delområden där inga triaxialförsök utförts har känslighetsanalyserna utförts utan tillgodoräknande av anisotropieffekter. Effekten av empiriskt uppskattad hållfasthetsanisotropi utifrån konflytgränsen, har i stället beaktats i separat känslighetsanalys.

9.1 Förändrad geometri till följd av erosion

Känslighetsanalys har utförts med hänsyn till förändrad geometri av Göta älvs botten på grund av erosion till följd av strömmande vatten eller fartygstrafik. Känslighetsanalysen har utförts genom att befintlig älvbotten har sänkts med 1 och 2 m enligt typsektion framtagna och tillhandahållna av beställaren, SGI.

För Torna dal tillämpas främst typsektion A1 för en slänt utan undervattenshylla och med erosionsskydd i vattenbrynet, se Figur 48.



Figur 48 Typsektion för slänt utan undervattenshylla och med erosionsskydd i vattenbrynet.

I sektion 30870V har beräkning utförts med bottennivåerna i 30920V, där det finns en lokal fördjupning i älvbotten. Skillnaden mellan bottennivåerna i de två sektionerna är ca 5 m.

9.2 Belastning på markytan

Aktuellt utredningsområde är inte detaljplanelagt.

I sektion 30870V har beräkning utförts med ökad belastning på markytan inom våtmarksområdet närmast Göta älv på 20 respektive 40 kPa för att motsvara en uppfyllning av markytan med 1 respektive 2 m tunga massor. De utbredda lasterna har beaktats i både odränerad och kombinerad analys.

I sektion 31020V har markytan mellan fastigheten RYK 3:11 och Göta älv belastas med en utbredd last om 10 kPa. I sektion 31150V har markytan bakom släntrön mot Göta älv belastas med en utbredd last om 10 kPa respektive 20 kPa. I sektion 31130R har markytan bakom släntrön mot Strömsbäcken belastats med 10 kPa. De utbredda lasterna har beaktats i både odränerad och kombinerad analys.

9.3 Förändring av portrycksförhållanden

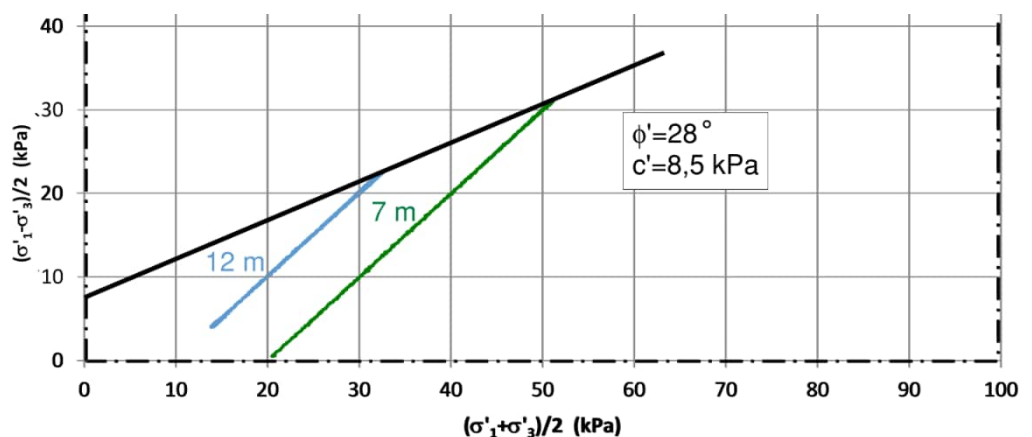
Stabilitetsanalysen har utförts med vals portryckfördelning utifrån maximalt uppmätta portrycks- respektive grundvattennivåer.

För att hantera eventuella årstidsvariationer, framtida ökande portryckstillstånd på grund av klimatförändringar och för att kontrollera eventuella osäkerheter i gjorda val har en känslighetsanalys utförts i sektion 31020V och 31135R. Känslighetsanalysen har utförts med en portrycksökning på 10 kPa.

Gällande långtidsperspektivet och framtida klimatförändringar ses främst längre perioder av torka eller plötsliga skyfall som möjliga företeelser. Vid långa perioder av torka kommer portrycksnivåerna minska och förbättra stabilitetsförhållandena. Vid plötsliga skyfall kommer den stora vattenmängden troligtvis rinna på markytan eller ner i Göta älv och inte påverka portrycksnivåerna i högre grad. Störst risk för stabilitetsbrott är när marken är helt vattenmättad i slänkrön (till exempel efter ett skyfall), men där Göta älvs vattenyta ändå skulle vara i nivå med lägsta lågvatten, LLW, motsvarande nivå +6,6. Detta värsta scenario har beaktats i stabilitetsberäkningarna i samband med känslighetsanalysen.

9.4 Dränerade parametrar

Inom projektet Slussarna i Trollhätte kanal, se Tabell 1, har två dränerade triaxialförsök utförts i arkivpunkt 22W871. Utifrån resultaten av triaxialförsöken har dränerade parametrar, c' och ϕ' utvärderats. Utvärderingen framgår av Figur 49.



Figur 49 Utvärdering av friktionsvinkel och kohesionsintercept utifrån dränerade triaxialförsök i arkivpunkt 22W871

Känslighetsanalyser med dränerade parametrar utvärderade från dränerade triaxialförsök har utförts i sektion 31020V.

9.5 Beaktande av empirisk beräknad anisotropi

För sektioner belägna inom delområden där inga triaxialförsök utförts har den aktiva skjuvhållfastheten beräknats empiriskt utifrån valda direkta skjuvhållfasthet med nyttjande av konflytgränsen genom ekvationen som redovisas i Figur 50.

$$\frac{\tau_{\alpha}}{\tau_{hor}} \approx \frac{K_{0(NC)} + (1 - K_{0(NC)}) \sin^2(\alpha + 30^\circ)}{0,25 + 0,75 K_{0(NC)}}$$

Figur 50 Förhållandet mellan odränerad skjuvhållfasthet i skjuvplanet med lutningen α och skjuvhållfastheten i det horisontella skjuvplanet (Skredkommissionen rapport 3:95)

där

$$K_{0NC} = 0,31 + 0,71 (w_L - 0,2)$$

9.6 Jorddjup och jordlagerföljd

I arkivpunkt 22S803 utförd från flotte i Göta älv återfinns ett friktionsjordlager mellan ca 3,8 och 5,3 m under älvbotten. Stabilitetsberäkningarna i sektion 31020V har utförts utan hänsyn till den inlagrade friktionsjorden då detta bedöms vara på säkra sidan. För att undersöka friktionsjordslagrets inverkan på beräknad säkerhetsfaktor har en känslighetsanalys utförts där friktionsjordslaget har beaktats.

I arkivpunkt 7510A27 har nivå för lerans underkant tolkats till ca +5. I närliggande punkter väster om aktuell arkivpunkt, 84GF142 och 22C135 har nivå för lerans underkant tolkats till ca +3. För att minska inverkan av en eventuell lokalt mindre lermäktighet har nivån för lerans underkant i läget för arkivpunkt 7510A27 ansatts till +3 i beräkningssektion 31120R. Valet bedöms vara på säkra sidan. I sektion 31120R har en känslighetsanalys utförts där nivån för lerans underkant satts till nivå +5 enligt sonderingsresultat i arkivpunkt 7510A27.

10 Åtgärder

Eventuella stabilitetsförbättrande åtgärder kan övergripande delas in i tre kategorier, ökning av lasten på den mothållande sidan, sänkning av lasten på den pådrivande sidan och höjning av jordens sammanlagda hållfasthet. Åtgärderna kan även kombineras med varandra för att uppnå en så optimal lösning som möjligt eller exempelvis på grund av utrymmesbrist i plan och sektion.

10.1 Tryckbank/erosionsskydd

Tryckbank innebär att nya massor läggs på den mothållande sidan. Beroende av behovet av tryckbankens storlek kan det handla om ett erosionsskydd eller en större utfyllnad.

Fördelen med tryckbank är att det är en robust åtgärd som kräver mycket lite underhåll och är lämplig om massöverskott föreligger (billiga massor). Som erosionsskydd motverkar åtgärden dessutom att ytterligare jord eroderas bort under erosionsskyddet. Nackdelen med tryckbank/erosionsskydd är att det innebär en utfyllnad i Göta älv och att utfyllda massor kan innebära ökad erosion uppströms eller nedströms från tryckbanken/erosionsskyddet. Utläggning av tryckbank i älven minskar älvens våta area och därmed möjlig kraftproduktion.

10.2 Avschaktning

Avschaktning innebär att befintliga jordmassor schaktas bort på den pådrivande sidan. Avschaktningen kan utföras till exempel genom att befintlig slänt flackas ut eller att slänten läggs i terrasser. Avschaktningens utseende varierar beroende på släntens utseende och begränsningar från befintligheter.

Fördelen med avschaktning är att det är en robust åtgärd som kräver mycket lite underhåll och är en relativt billig åtgärd. Nackdelen med avschaktning är ofta ett större ingrepp i naturmiljön med röjning av vegetation. Avschaktning under vatten kan leda till grumling.

10.3 Kalkcementpelare

Kalkcementpelare innebär att områdets sammanlagda hållfasthetsparametrar höjs genom att pelare installeras där kalk och cement blandas med befintlig lera.

Kalkcementpelare nyttjas när avschaktning och/eller tryckbank inte är genomförbara eller tillräckliga av olika anledningar. Kalkcementpelare är en dyrare åtgärd än både avschaktning och tryckbank men innebär oftast att områdets topografi kan återställas till ursprungsutseendet. Dock bedöms metoden ha betydligt större miljöpåverkan avseende koldioxidutsläpp än avschaktning respektive tryckbank.

11 Övriga förutsättningar, stabilitetsanalys

En bedömning av områdets gynnsamma och ogynnsamma förutsättningar för stabilitetsberäkningar har utförts enligt IEG Rapport 4:2010 och syftar till att vara del av förståelsen för rådande stabilitetsförhållanden inom området. Bedömningen redovisas i Tabell 3.

Tabell 3 Gynnsamma och ogynnsamma förutsättningar för stabilitetsberäkningar

Förutsättningar	Gynnsamma	Ogynnsamma
Konsekvenser av skred		Risk för människoliv och ekonomisk skada Risk för bakåtgripande skred Förekomst av kvicklera Risk för påverkan på vattenföringen i Göta älv
Släntens beständighet	Fungerande erosionsskydd längs hela strandlinjen mot Göta älv. Göta älv är reglerad Busk- och trädvegetation längs strandkanten mot Göta älv och i kring Strömsbäckens ravin	Risk för ytvattenerosion vid Strömsbäcken, inget erosionsskydd, delvis meandrande bäckfåra

Förutsättningar	Gynnsamma	Ogynnsamma
Förändringar i slänten	Stabilitetsförbättrande åtgärd utförd i Göta älv söder om Strömsbäckens utlopp	Tidigare spår av jordskred, dock troligtvis inte i nutid. Ingen nyexploatering planerad
Jordens egenskaper	Relativt liten spridning i hållfasthetsegenskaper Homogen jord, inga sammanhängande skikt	Jordlagerföljden består av lera Förekomst av kvicklera
Analys- och beräkningsarbetets tillförlitlighet	Stort antal beräknade glidytor Känslighetsanalys utförd Tvådimensionell analys I allmänhet stora glidytor i odränerad analys	Mindre glidytor i kombinerad analys
Fältundersökningens innehåll och omfattning	CPTU-R-sonderingar är utförda Kvalificerade undersökningar (CPTU-sondering, vingförsök och ostörd provtagning) har utförts.	Inga närliggande undersökningspunkter i Göta älv
Laboratorieundersökningens innehåll och omfattning	Upptagna prover har klassificerats i laboratorium Kvalificerade laboratorieanalyser är utförda i flertalet punkter, CRS-försök, direkta skjuvförsök och triaxialförsök	
Släntens geometri	Markytans geometri är hämtad utifrån höjddata tillsammans med avvägda sektioner Batymetriska mätningar av Göta älvs botten har utförts Strömsbäckens botten är lodad	Lokalt branta undervattensslänter förekommer.

Förutsättningar	Gynnsamma	Ogynnsamma
Grundvatten- och portrycksförhållanden	Långtidsobservationer finns Automatiskt loggande portrycksmätare är installerade Portrycksmätare är installerade i flertalet undersökningspunkter Konservativ bedömning från utförda mätningar Liten variation i uppmätta portryck Känslighetsanalys är utförd i en sektion för förhöjda portrycksnivåer.	Prognostisering av maximala portryck har ej utförts
Ytvattenförhållanden	Karaktäristiska vattenstånd i Göta älv är kända Göta älv är reglerad	Karaktäristiska vattenstånd i Strömsbäcken är okända

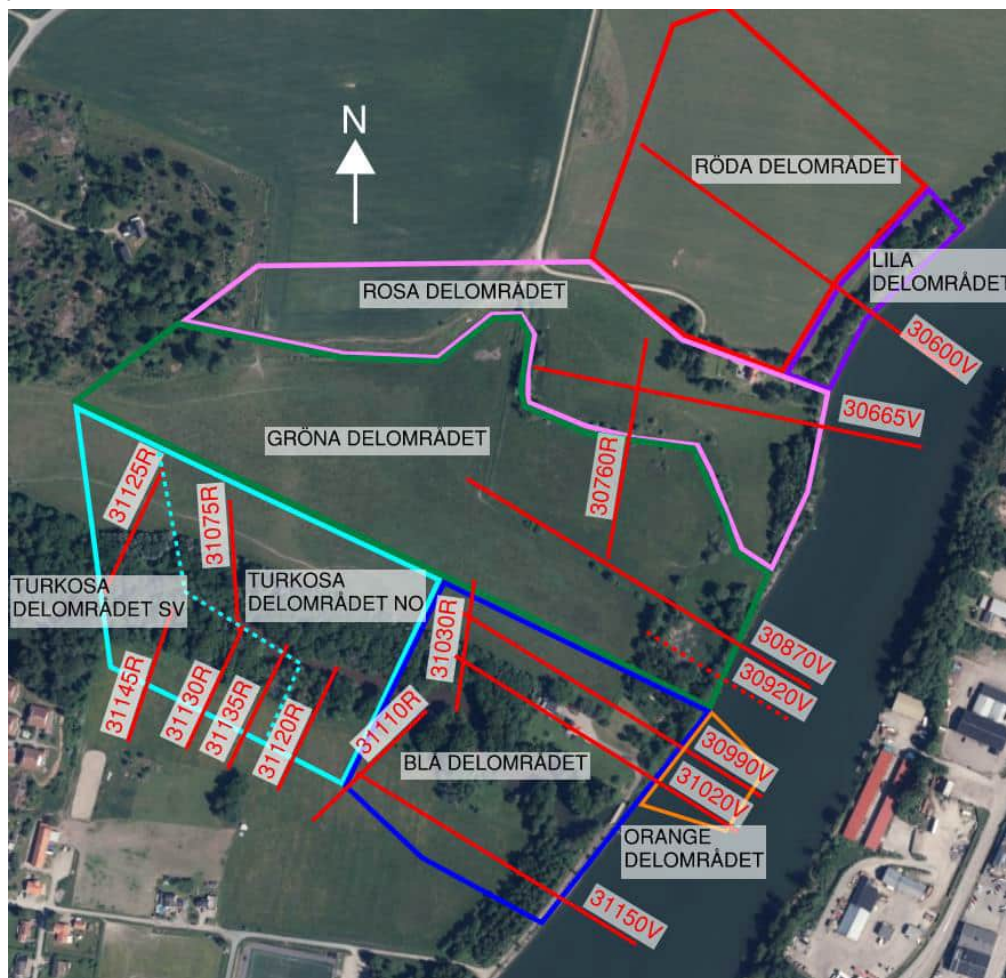
Förutsättningarna bedöms till övervägande del vara gynnsamma, men eftersom det finns kvicklera inom området finns därmed risk för bakåtgripande skred med stor omgivningspåverkan.

12 Beräkningar och resultat

Säkerheten mot stabilitetsbrott har kontrollerats i totalt 15 sektioner fördelade över aktuellt område enligt följande:

- > en sektion med planläge inom det röda och det lila delområdet, 30600V, beräknad mot Göta älv
- > en sektion med planläge inom det rosa delområdet, 30665V, beräknad mot Göta älv
- > en sektion med planläge inom det rosa och det gröna delområdet, 30760R, beräknad tvärs slänten vid befintligt skredärr
- > en sektion med planläge inom det gröna delområdet, 30870V, beräknad mot Göta älv, samt en känslighetsanalys där Göta älvs bottengeometri har hämtats från 30920V
- > fem sektioner med planläge inom det blå delområdet, varav tre sektioner, 30990V, 31020V och 31150V har beräknats mot Göta älv och två sektioner 31030R och 31110R har beräknats mot Strömsbäcken
- > sex sektioner med planläge inom det turkosa området, varav två sektioner, 31075R och 31120R har beräknats med jordmodellen för det nordöstra delområdet, och fyra sektioner, 31125R, 31130R 31135R och 31145R har beräknats med jordmodellen för det sydvästra delområdet. Samtliga sektioner har beräknats mot Strömsbäcken.

Beräkningssektionernas läge och utbredning i plan framgår av Figur 51 nedan.



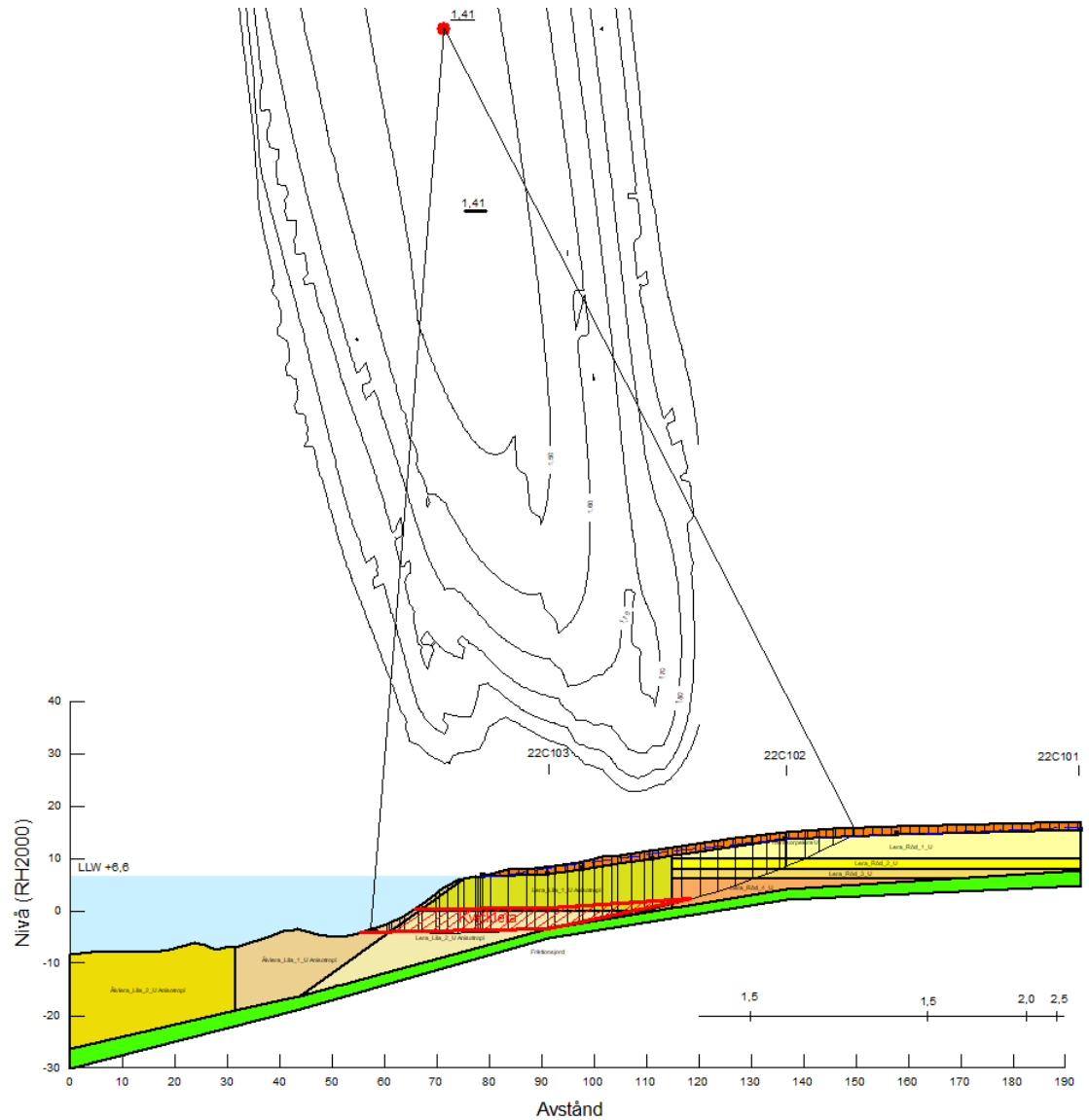
Figur 51 Redovisning av beräkningssektionernas läge och utbredning i plan markerade med röda linjer. Sektion 30920V vars bottengeometri nyttjats i känslighetsanalysen för sektion 30870V har markerats med röstreckad linje. (Kartkälla: minkarta.lantmateriet.se 2023)

I Tabell 4 - Tabell 18 nedan redovisas resultat för beräkningar med totalsäkerhetsmetoden för respektive sektion. Under respektive resultattabell ges kommentarer till beräkningsresultaten. I de områden där triaxialförsök utförts har beräkningar för befintliga förhållanden utförts med och utan beaktande av anisotropi. Även känslighetsanalyser samt beräkningar för eventuella åtgärdsförslag har utförts med beaktande av anisotropi. För sektioner belägna inom delområden där inga triaxialförsök utförts har känslighetsanalyser utförts utan tillgodoräknande av anisotropieffekter. Effekten av empiriskt uppskattad hållfasthetsanisotropi utifrån konflytgränsen, har i stället beaktats i separat känslighetsanalys. Beräkningsresultaten redovisas även i Bilaga 5.

För samtliga sektioner redovisas en figur med en representativ glidyta från beräkningarna. Även för de sektioner där en stabilitetsförbättrande åtgärd har beräknats redovisas en figur där föreslagen åtgärd framgår. I underliggande tabell är resultat från aktuell beräkning **understruken och fetmarkerad**.

12.1 Beräkningssektion 30600V

Kritiska glidytor i sektion 30820V är relativt stora och omfattar hela slänten mot Göta älv. I Figur 52 nedan redovisas kritisk glidyta för odränerad analys.



Figur 52 Sektion 30600V. Befintliga förhållanden, odränerad analys med beaktande av anisotropi i det lila delområdet. Bedömd förekomst av kvicklera har markerats med röd polygon

Tabell 4 Beräkningsresultat för stabilitetsanalys i sektion 30600V, rödmarkerade värden uppfyller ej krav på erforderlig säkerhetsfaktor, $F_c \geq 1,4$ och $F_{komb} \geq 1,3$

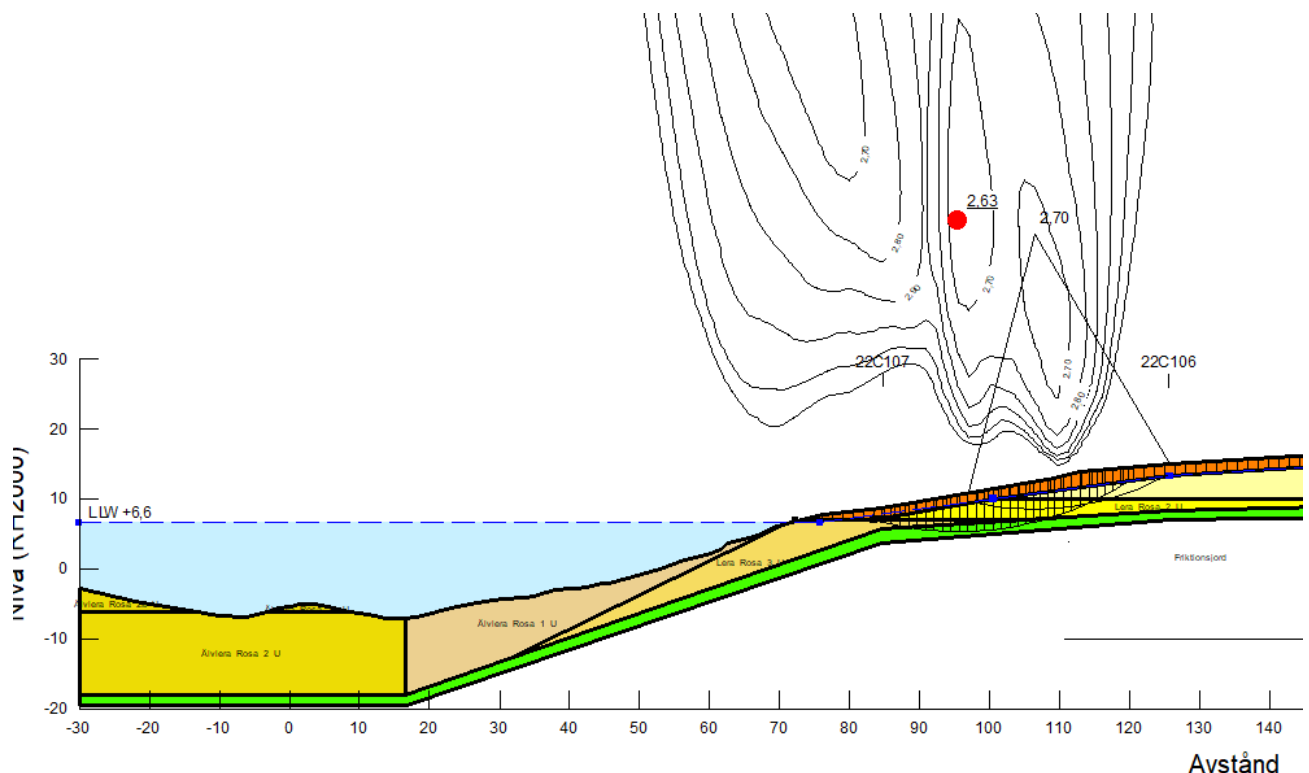
Sektion 30600V, Beskrivning	Odränerad analys	Kombinerad analys	Bilaga:Sida
Befintlig sektion	1,33	1,27	5:1-5:3
Befintlig sektion med beaktande av anisotropi i det lila delområdet	<u>1,41</u>	1,35 (lokal glidyta i undervattensslänt) 1,37 (glidyta som omfattar hela slänten) 1,43 (glidyta som omfattar stor del av slänten)	5:4-5:6
Känslighetsanalys: Befintlig sektion med beaktande av anisotropi i det lila delområdet och empiriskt beräknad anisotropi det röda delområdet	1,48	1,35 (lokal glidyta i undervattensslänt) 1,43 (glidyta som omfattar stor del av slänten) 1,44 (glidyta som omfattar hela slänten)	5:7-5:9
Känslighetsanalys erosion: älvbotten har sänkts 2 m Med beaktande av anisotropi i det lila delområdet	1,40	1,34	5:10-5:12

Beräkningsresultaten för sektion 30600V visar att erforderlig säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott inte uppfylls för befintliga förhållanden utan anisotropi för beräkning med odränerad analys och kombinerad analys. Med beaktande av anisotropi inom det lila delområdet uppfylls erforderlig säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott i både odränerad och kombinerad analys.

För känslighetsanalysen med tillgodoräknande av empiriskt beräknad anisotropi inom det röda delområdet ökar beräknad säkerhetsfaktor med ca 0,07 i odränerad analys. För kombinerad analys utgörs kritisk glidyta av ett dränerat brott och påverkas därmed inte av tillgodoräknad anisotropi. För större glidytor där den odränerade skjuvhållfastheten är styrande i högre utsträckning ökar beräknad säkerhetsfaktor. Utförd känslighetsanalys för ett framtida scenario där bottennivån i Göta älv sänks med 2 m på grund av erosion visar att beräknad säkerhetsfaktor minskar marginellt och att erforderlig säkerhetsfaktor fortfarande uppfylls för odränerad analys. Vidare visar känslighetsanalysen att beräknad säkerhetsfaktor i kombinerad analys minskar för den kritiska glidyten men att erforderlig säkerhetsfaktor uppfylls. Beräkningssektionen bedöms således inte vara känslig för erosion.

12.2 Beräkningssektion 30665V

Kritiska glidytor i sektion 30665V är övergripande medelstora och omfattar främst den främre delen av slänten mot Göta älv. I Figur 53 nedan redovisas kritisk glidyta för odränerad analys samt geometrier och säkerhetsfaktorer för större glidytor.



Figur 53 Sektion 30665V. Befintliga förhållanden, odränerad analys. I sektionen bedöms ingen kvicklera förekomma

Tabell 5 Beräkningsresultat för stabilitetsanalys i sektion km 30665V rödmarkerade värden uppfyller ej krav på erforderlig säkerhetsfaktor, $F_c \geq 1,4$ och $F_{komb} \geq 1,3$

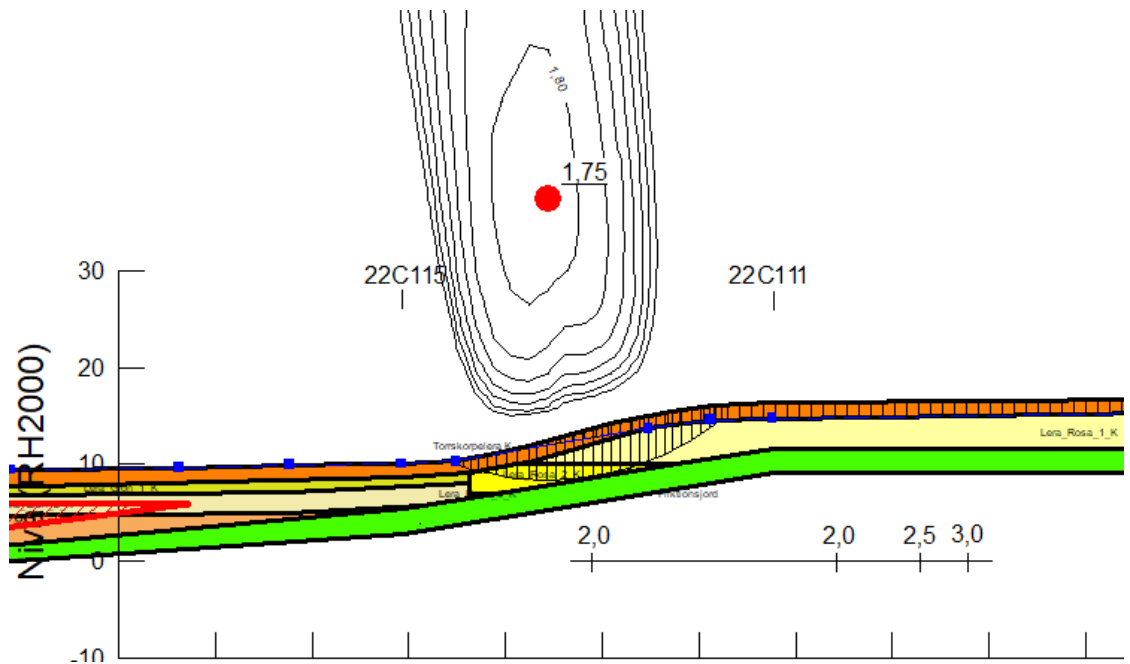
Sektion 30665V, Beskrivning	Odränerad analys	Kombinerad analys	Bilaga:Sida
Befintlig sektion	<u>2,63</u>	2,11	5:14-5:16
Känslighetsanalys: Befintlig sektion med beaktande av empiriskt beräknad anisotropi	2,66	2,11	5:17-5:19

Beräkningsresultaten för sektion 30665V visar att erforderlig säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott uppfylls för befintliga förhållanden i både odränerad och kombinerad analys utan beaktande av anisotropi.

För känslighetsanalysen med tillgodoräknande av empiriskt beräknad anisotropi ökar beräknad säkerhetsfaktor marginellt i odränerad analys, vilket bedöms bero på att delar av kritisk glidyta går genom friktionsjord. För kombinerad analys utgörs kritisk glidyta av ett dränerat brott och påverkas därmed inte av anisotropi.

12.3 Beräkningssektion 30760R - skredärr

Kritiska glidytor i sektion 30760R omfattar stora delar slänten. I Figur 54 nedan redovisas en representativ glidyta.



Figur 54 Sektion 30760R. Befintliga förhållanden, kombinerad analys. Bedömd förekomst av kvicklera har markerats med röd polygon

Tabell 6 Beräkningsresultat för stabilitetsanalys i sektion km 30760V, rödmarkerade värden uppfyller ej krav på erforderlig säkerhetsfaktor, $F_c \geq 1,4$ och $F_{komb} \geq 1,3$

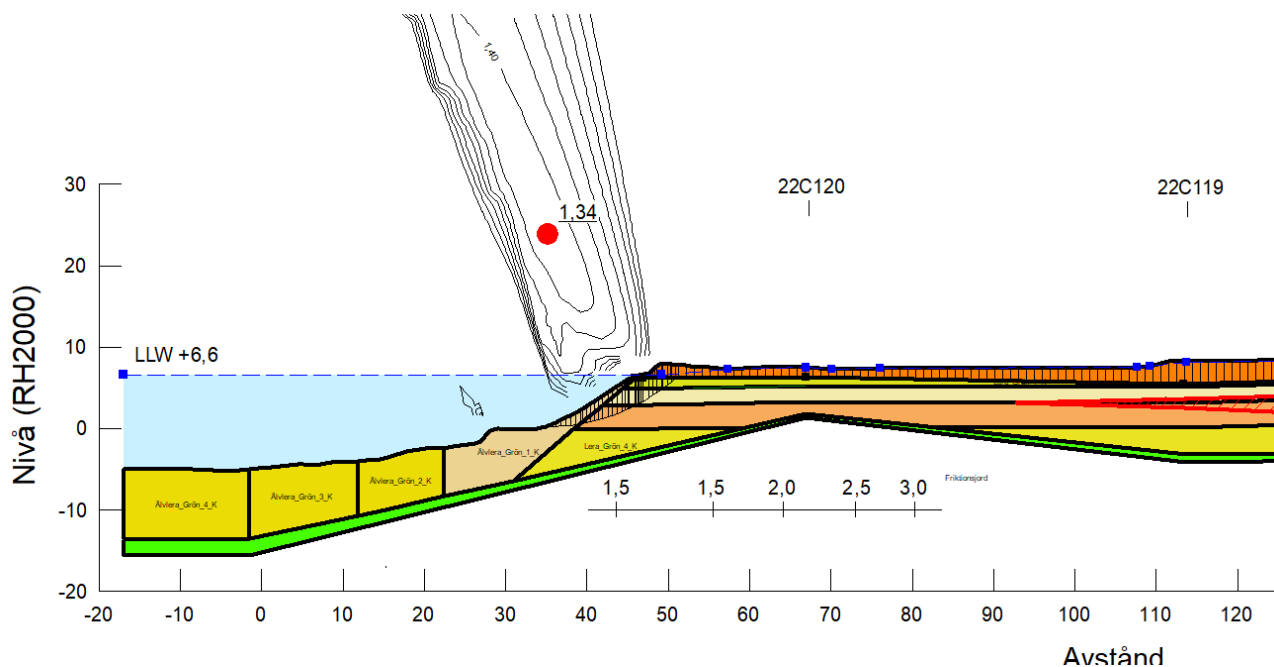
Sektion 30760V, Beskrivning	Odränerad analys	Kombinerad analys	Bilaga:Sida
Befintlig sektion	1,99	<u>1,75</u>	5:21-5:23
Känslighetsanalys: Befintlig sektion med beaktande av empiriskt beräknad anisotropi	2,05	1,79	5:24-5:26

Beräkningsresultaten för sektion 30760R visar att erforderlig säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott uppfylls för befintliga förhållanden i både odränerad och kombinerad analys utan beaktande av anisotropi.

För känslighetsanalysen med tillgodoräknande av empiriskt beräknad anisotropi ökar beräknad säkerhetsfaktor både i odränerad och kombinerad analys.

12.4 Beräkningssektion 30870V

Kritiska glidytor i sektion 30870V omfattar den övre delen av slänten mot Göta älv. I Figur 55 nedan redovisas en representativ glidyta.



Figur 55 Sektion 30870V. Befintliga förhållanden, kombinerad analys. Bedömd förekomst av kvicklera har markerats med röd polygon

Tabell 7 Beräkningsresultat för stabilitetsanalys i sektion km 30870V, rödmarkerade värden uppfyller ej krav på erforderlig säkerhetsfaktor, $F_c \geq 1,4$ och $F_{komb} \geq 1,3$

Sektion 30870V, Beskrivning	Odränerad analys	Kombinerad analys	Bilaga:Sida
Befintlig sektion	1,67	1,34	5:28-5:30
Känslighetsanalys: Befintlig sektion med beaktande av empiriskt beräknad anisotropi	1,87	1,35	5:31-5:33
Känslighetsanalys: Utbredd last om 20 kPa inom våtmarksområde närmast Göta älv	1,48	1,32	5:34-5:36
Känslighetsanalys: Utbredd last om 40 kPa inom våtmarksområde närmast Göta älv	1,17	1,14	5:37-5:39

Sektion 30870V, Beskrivning	Odränerad analys	Kombinerad analys	Bilaga:Sida
Känslighetsanalys: Nyttjade bottennivåer för djuphåla i 30920V	1,67 1,92 (Glidyta påverkad av känslighets- analys)	1,22 (lokal glidyta i undervattensslänt) 1,35 (Glidyta påverkad av känslighetsanalys)	5:40-5:42

Beräkningsresultaten för sektion 30870V visar att erforderlig säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott uppfylls för befintliga förhållanden i både odränerad och kombinerad analys utan beaktande av anisotropi.

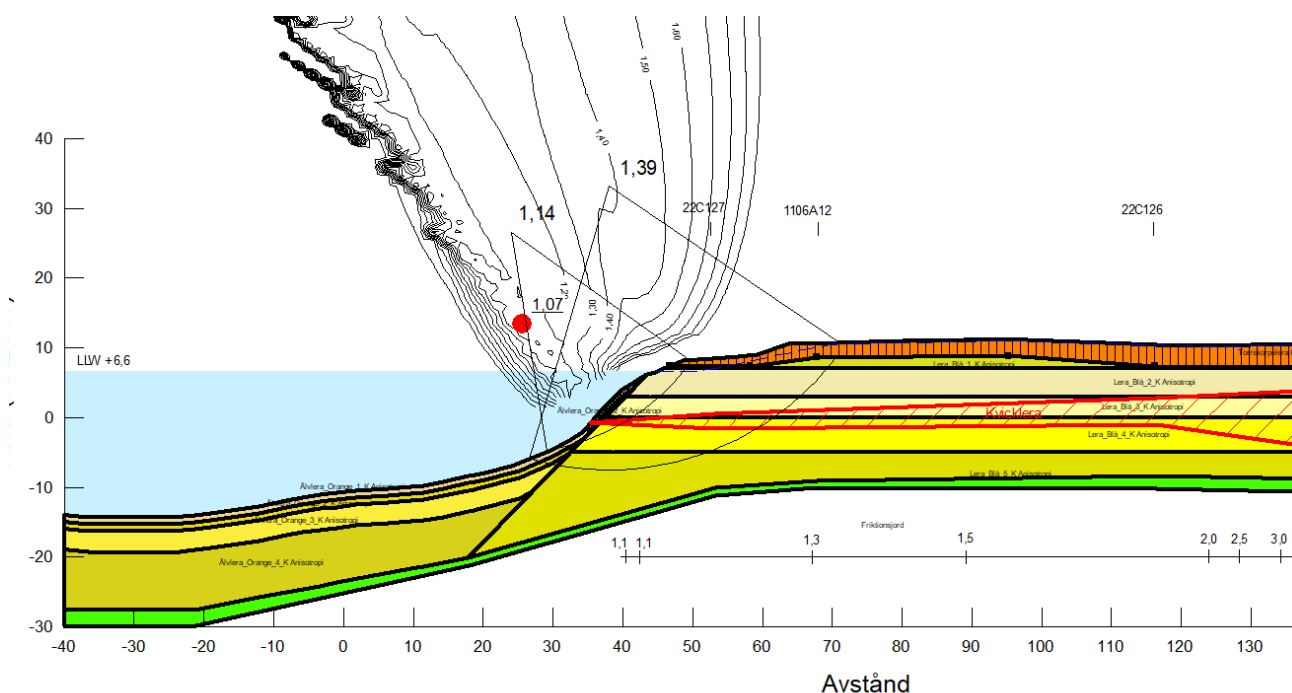
För känslighetsanalysen med tillgodoräknande av empiriskt beräknad anisotropi ökar beräknad säkerhetsfaktor med 0,2 i odränerad analys. I kombinerad analys ökar beräknad säkerhetsfaktor enbart marginellt vilket bedöms bero på att kritisk glidyta till största delen utgörs av ett dränerat brott och påverkas därmed inte av tillgodoräknad anisotropi.

Utförd känslighetsanalys med utbredd last om 20 kPa inom våtmarksområdet närmast Göta älv visar att beräknad säkerhetsfaktor minskar, men att den fortfarande uppfyller gällande krav. För känslighetsanalysen med en utbredd last om 40 kPa inom våtmarksområdet, uppfyller beräknad säkerhetsfaktor inte längre gällande krav men att den fortsatt är större än 1,0. Mot bakgrund av ovanstående bedöms slänten vara måttligt känslig för lastökningar inom området närmast Göta älv.

Utförda känslighetsanalyser för ett framtida scenario där bottennivån i Göta älv sänks med ca 5 m motsvarande bottennivån i sektion 30920V, visar att kritisk glidyta är opåverkad i odränerad analys. I kombinerad analys uppkommer lokala glidytor i den branta undervattensslänten med beräknad säkerhetsfaktor som inte uppfyller kraven men som fortsatt är större än 1,0. För större glidytor från land uppfylls erforderlig säkerhetsfaktor. Beräkningssektionen bedöms således inte vara speciellt känslig för erosion.

12.5 Beräkningssektion 30990V

Kritiska glidytor i sektion 30990V beräknade med kombinerad analys är små och omfattar undervattensslänten. Kritiska glidytor beräknade med odränerad analys är relativt stora och omfattar hela slänten. I Figur 56 nedan redovisas en representativ glidyta.

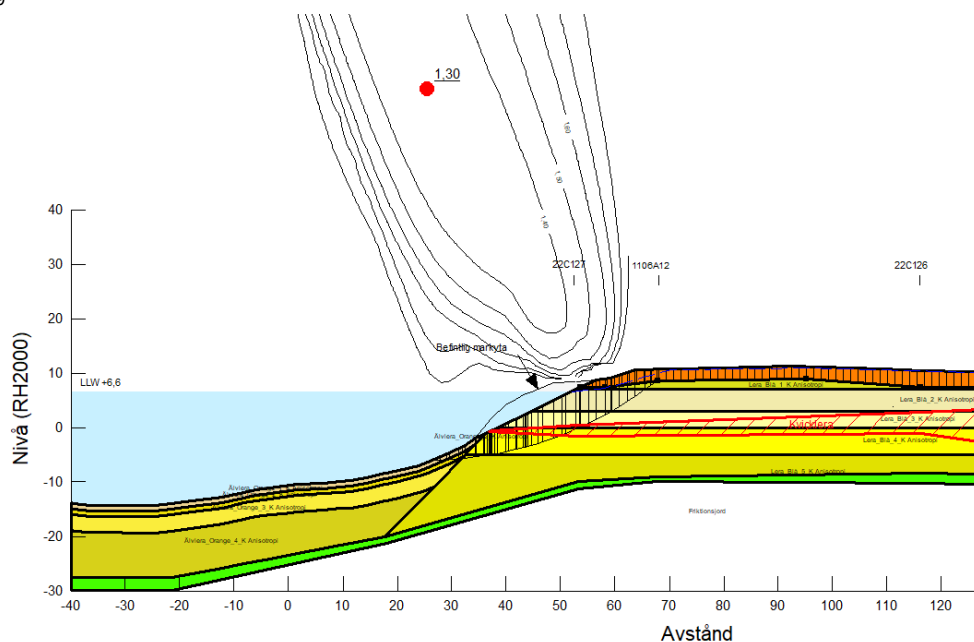


Tabell 8 Beräkningsresultat för stabilitetsanalys i sektion km 30990V, rödmarkerade värden uppfyller ej krav på erforderlig säkerhetsfaktor, $F_c \geq 1,4$ och $F_{komb} \geq 1,3$

Sektion 30990V Beskrivning	Odränerad analys	Kombinerad analys	Bilaga:Sida
Befintlig sektion	1,39	1,07 (lokal glidyta i under- vattenslänt) 1,14 (glidyta som omfattar övre delen slänten) 1,28 (global glidyta)	5:44-5:46
Befintlig sektion med beaktande av anisotropi	1,60	1,07 (lokal glidyta i under- vattenslänt) 1,14 (glidyta som omfattar övre delen slänten) 1,39 (global glidyta)	5:47-5:49
Förstärkt sektion: Avlastning genom utfläckning av slänt mot och i Göta älv Med beaktande av anisotropi	1,65	1,30	5:50-5:52

Beräkningsresultaten för sektion 30990V visar att erforderlig säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott inte uppfylls för befintliga förhållanden utan anisotropi för beräkning med kombinerad analys. För glidytor med odränerad analys ligger beräknad säkerhetsfaktor strax under erforderlig säkerhetsfaktor. Med beaktande av anisotropi uppfylls erforderlig säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott i odränerad analys, men säkerhetsfaktorn i kombinerad analys är oförändrad för mindre glidytor. Detta bedöms bero på att de kritiska glidyterna utgörs av ett dränerat brott och påverkas därmed inte av tillgodoräknad anisotropi.

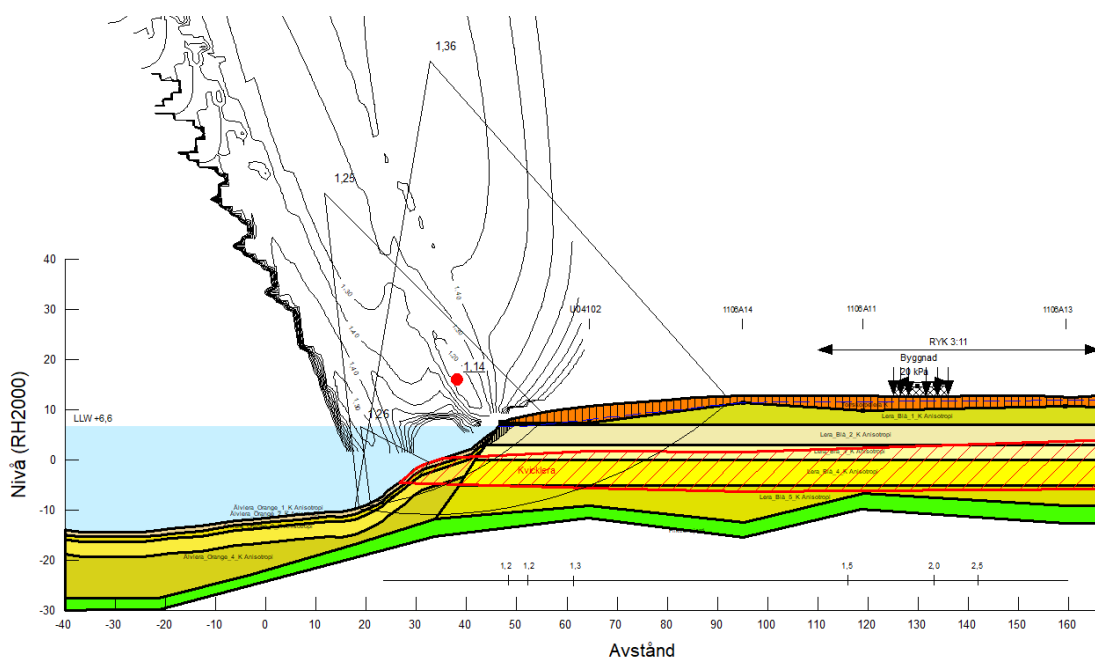
För att uppfylla erforderlig säkerhetsfaktor kan slänten mot och i Göta älv fläckas ut, se Figur 57.



Figur 57 Sektion 30990V. Förstärkt sektion, avlastning genom utflackning av slänt mot och i Göta älv, kombinerad analys med beaktande av anisotropi. Bedömd förekomst av kvicklera har markerats med röd polygon

12.6 Beräkningssektion 31020V

Kritiska glidytor i sektion 31020V beräknade med kombinerad analys är små och omfattar primärt undervattensslänten. Kritiska glidytor beräknade med odränerad analys är relativt stora och omfattar hela slänten. I Figur 58 nedan redovisas en representativ glidyta.



Figur 58 Sektion 31020V. Befintliga förhållanden, kombinerad analys med beaktande av anisotropi. Bedömd förekomst av kvicklera har markerats med röd polygon

Tabell 9 Beräkningsresultat för stabilitetsanalys i sektion km 31020V, rödmarkerade värden uppfyller ej krav på erforderlig säkerhetsfaktor, $F_c \geq 1,4$ och $F_{komb} \geq 1,3$

Sektion 31020V Beskrivning	Odränerad analys	Kombinerad analys	Bilaga:Sida
Befintlig sektion	1,20	1,14 (lokal glidyta vid släntkrön) 1,18 (global glidyta) 1,25 (glidyta i undervattensslänt) 1,26 (lokal glidyta i nedre delen av undervattensslänt)	5:54-5:56
Befintlig sektion med beaktande av anisotropi	1,40	1,14 (lokal glidyta vid släntkrön) 1,25 (glidyta i undervattensslänt) 1,26 (lokal glidyta i nedre delen av undervattensslänt) 1,36 (global glidyta)	5:57-5:59
Känslighetsanalys: Befintlig sektion, höjt porttryck med 10 kPa Med beaktande av anisotropi	-	0,95 (lokal glidyta vid släntkrön) 1,09 (glidyta i undervattensslänt) 1,21 (lokal glidyta i undre delen av undervattensslänt) 1,33 (global glidyta)	5:60-5:61

Sektion 31020V Beskrivning	Odränerad analys	Kombinerad analys	Bilaga:Sida
Känslighetsanalys: Utbredd last om 10 kPa mellan fastigheten RYK 3:11 och Göta älv Med beaktande av anisotropi	1,31	1,14 (lokal glidyta vid släntkrön) 1,24 (glidyta i undervattensslänt) 1,26 (lokal glidyta i undre delen av undervattensslänt) 1,28 (global glidyta)	5:62-5:64
Känslighetsanalys: Dränerade parametrar enligt utvärderade triaxialförsök Med beaktande av anisotropi	-	1,26 (lokal glidyta i undre delen av undervattensslänt) 1,37 (global glidyta) 1,38 (glidyta i undervattensslänt) 1,52 (lokal glidyta vid släntkrön)	5:65-5:66
Känslighetsanalys: Friktionsjordslager i arkivpunkt 22S803	1,40	1,14 (lokal glidyta vid släntkrön) 1,23 (lokal glidyta i nedre delen av undervattensslänt) 1,25 (glidyta i undervattensslänt) 1,35 (global glidyta)	5:67-5:69
Känslighetsanalys erosion: älvbotten har sänkts 1 m Med beaktande av anisotropi	1,39	1,08 (lokal glidyta vid släntkrön) 1,19 (glidyta i undervattensslänt) 1,28 (lokal glidyta i nedre delen av undervattensslänt) 1,34 (global glidyta)	5:70-5:72

Sektion 31020V Beskrivning	Odränerad analys	Kombinerad analys	Bilaga:Sida
Känslighetsanalys erosion: älvbotten har sänkts 2 m Med beaktande av anisotropi	1,38	0,99 (lokal glidyta vid släntkrön) 1,14 (glidyta i undervattensslänt) 1,32 (lokal glidyta i nedre delen av undervattensslänt) 1,32 (global glidyta)	5:73-5:75
Förstärkt sektion: Avlastning genom utflackning av slänt mot och i Göta älv i kombination med tryckbank i älven Med beaktande av anisotropi	1,43	1,30 (lokal glidyta vid släntkrön) 1,33 (lokal glidyta i nedre delen av undervattensslänt) 1,36 (glidyta i undervattensslänt) 1,39 (global glidyta)	5:76-5:78

Beräkningsresultaten för sektion 31020V visar att erforderlig säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott inte uppfylls för befintliga förhållanden utan anisotropi för beräkning med odränerad och kombinerad analys. Med beaktande av anisotropi uppfylls erforderlig säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott i odränerad analys men säkerhetsfaktorn i kombinerad analys är oförändrad för mindre glidytor. Detta bedöms bero på att de kritiska glidyterna utgörs av ett dränerat brott och påverkas därmed inte av tillgodoräknad anisotropi.

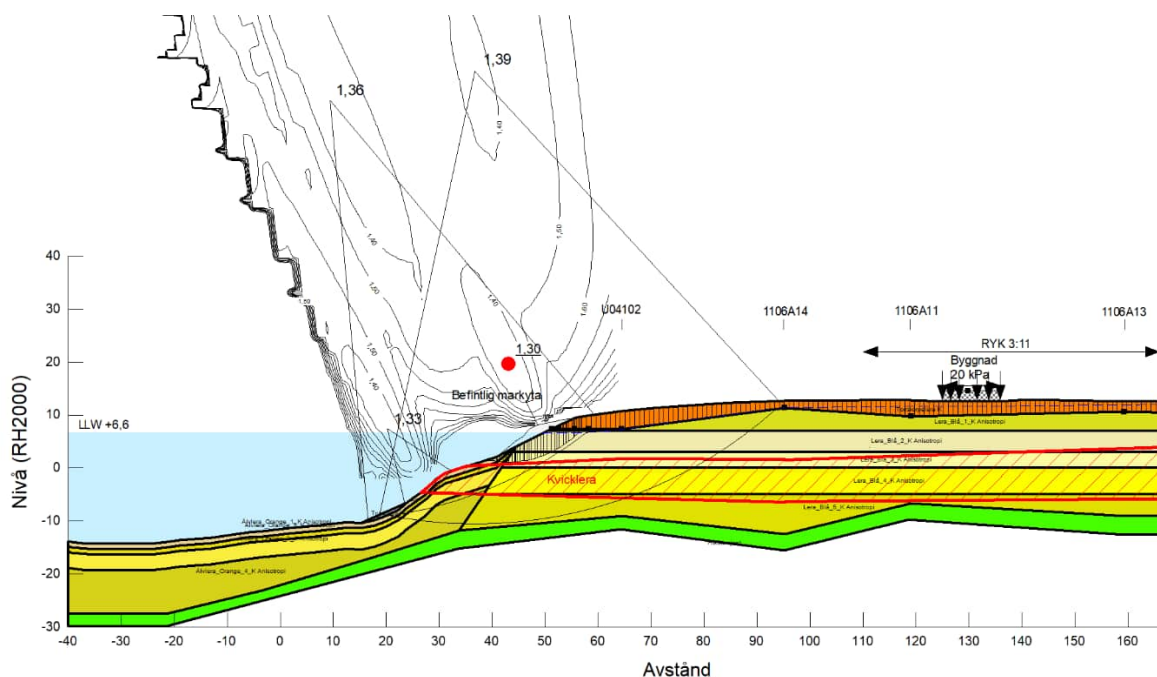
Utförd känslighetsanalys där portrycket höjs med 10 kPa visar att beräknad säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott minskar och underskrider 1,0 för lokala glidytor vid släntkrön, vilket teoretiskt innebär att slänten går till brott. För större glidytor minskar beräknad säkerhetsfaktor marginellt. Beräkningssektionen bedöms således vara känslig för portrycksökningar framför allt i närheten av släntkrön.

Utförd känslighetsanalys med en utbredd last om 10 kPa mellan fastigheten RYK 3:11 och Göta älv visar att beräknad säkerhetsfaktor i odränerad analys minskar, och att erforderlig säkerhetsfaktor inte längre uppfylls. För mindre glidytor minskar beräknad säkerhetsfaktor marginellt i kombinerad analys. Beräkningssektionen bedöms inte vara måttligt känslig för belastningsökningar på markytan bakom släntkrön.

Känslighetsanalysen där ett friktionsjordlager modelleras i arkivpunkt 22S803 visar att kritisk glidyta i odränerad respektive kombinerad analys inte påverkas.

Känslighetsanalyser för ett framtida scenario där bottenivån i Göta älv sänks med 1 m på grund av erosion visar att beräknad säkerhetsfaktor minskar något men att den fortfarande är större än 1,0. Känslighetsanalysen där bottenivån i Göta älv sänks med 2 m visar att beräknad säkerhetsfaktor minskar och underskrider 1,0, vilket teoretiskt innebär att slänten går till brott. Beräkningssektionen bedöms vara känslig för erosion.

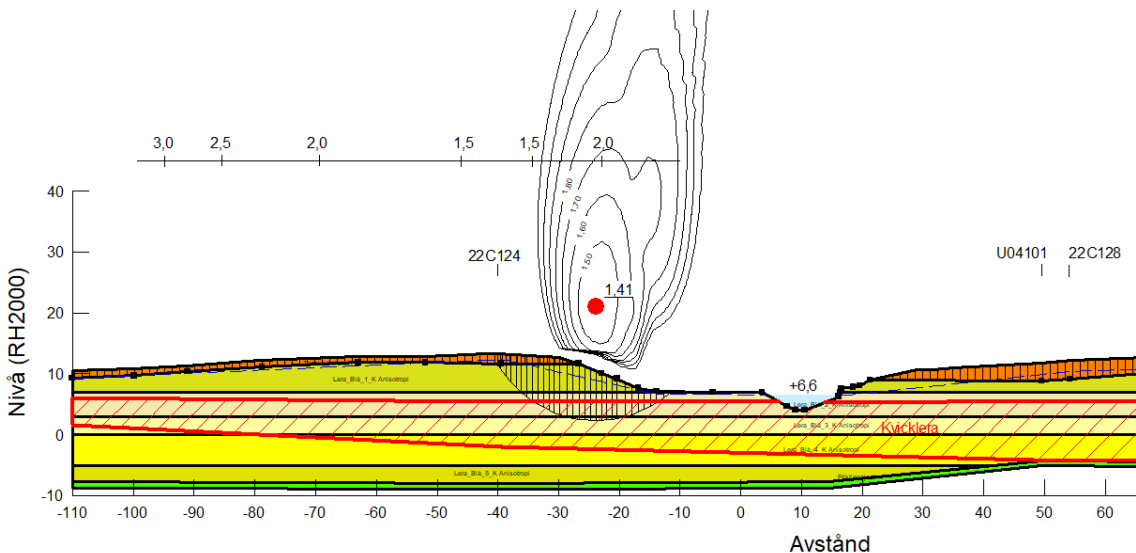
För att uppfylla erforderlig säkerhetsfaktor kan slänten mot och i Göta älv fläckas ut i kombination med att en tryckbank läggs ut på älvbotten, se Figur 59.



Figur 59 Sektion 31020V. Förstärkt sektion, avlastning genom utflackning slänt mot Göta älv samt tryckbank i älven, kombinerad analys med beaktande av anisotropi. Bedömd förekomst av kvicklara har markerats med röd polygon

12.7 Beräkningssektion 31030R – Strömsbäcken

Kritiska glidytor i sektion 31030R är relativt stora och omfattar hela slänten ner mot bäckravinen. I Figur 60 nedan redovisas en representativ glidyta.



Figur 60 Sektion 31030R. Befintliga förhållanden, kombinerad analys med beaktande av anisotropi. Bedömd förekomst av kvicklera har markerats med röd polygon

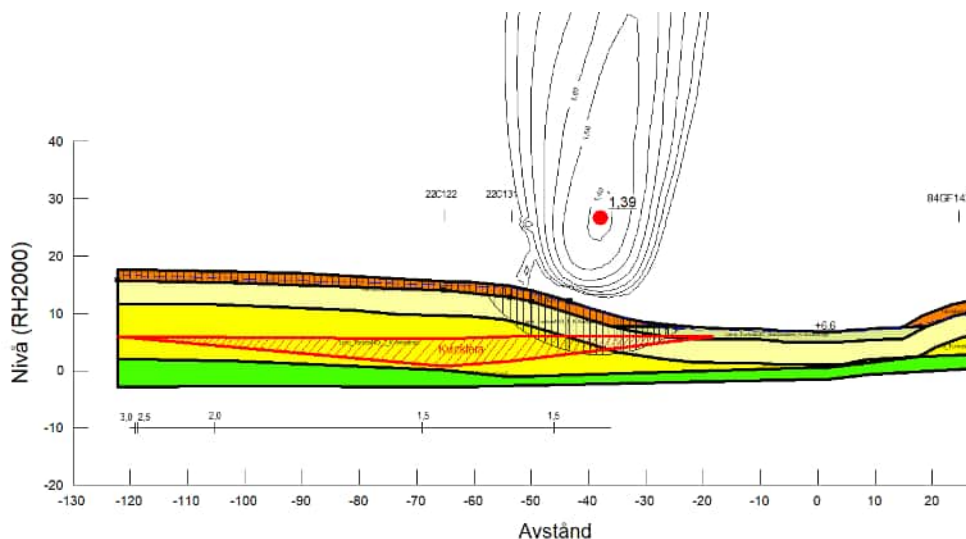
Tabell 10 Beräkningsresultat för stabilitetsanalys i sektion km 31030R, rödmarkerade värden uppfyller ej krav på erforderlig säkerhetsfaktor, $F_c \geq 1,4$ och $F_{komb} \geq 1,3$

Sektion 31030R Beskrivning	Odränerad analys	Kombinerad analys	Bilaga:Sida
Befintlig sektion	1,54	1,36	5:80-5:82
Befintlig sektion med beaktande av anisotropi	1,73	<u>1,41</u>	5:83-5:85

Beräkningsresultaten för sektion 31030R visar att erforderlig säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott uppfylls för befintliga förhållanden i både odränerad och kombinerad analys med respektive utan beaktande av anisotropi.

12.8 Beräkningssektion 31075R – Strömsbäcken

Kritiska glidytor i sektion 31075R är relativt stora och omfattar hela slänten ner mot bäckravinen. I Figur 61 nedan redovisas en representativ glidyta.



Figur 61 Sektion 31075R. Befintliga förhållanden, kombinerad analys med beaktande av anisotropi. Bedömd förekomst av kvicklera har markerats med röd polygon

Tabell 11 Beräkningsresultat för stabilitetsanalys i sektion km 31075R, rödmarkerade värden uppfyller ej krav på erforderlig säkerhetsfaktor, $F_c \geq 1,4$ och $F_{komb} \geq 1,3$

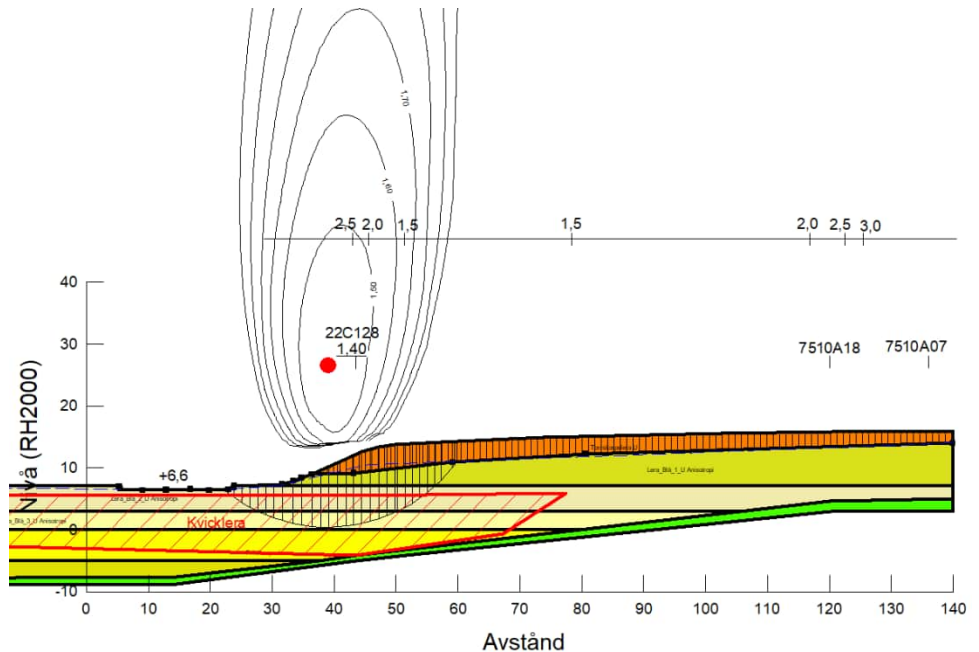
Sektion 31075R Beskrivning	Odränerad analys	Kombinerad analys	Bilaga:Sida
Befintlig sektion	1,56	1,40	5:87-5:89
Befintlig sektion med beaktande av anisotropi	1,76	<u>1,39</u>	5:90-5:92

Beräkningsresultaten för sektion 31075R visar att erforderlig säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott uppfylls för befintliga förhållanden i både odränerad och kombinerad analys med respektive utan beaktande av anisotropi.

Beräknad säkerhetsfaktor i kombinerad analys minskar vid beaktande av anisotropi. Detta beror på att brottet glidytons aktivzon styrs av dränerade parametrar medan brottet längs glidytons passivzon styrs av odränerade parametrar.

12.9 Beräkningssektion 31110R – Strömsbäcken

Kritiska glidytor i sektion 31110R är relativt stora och omfattar hela slänten ner mot bäckravinen. I Figur 62 nedan redovisas en representativ glidyta.



Figur 62 Sektion 31110R. Befintliga förhållanden, odränerad analys med beaktande av anisotropi. Bedömd förekomst av kvicklera har markerats med röd polygon

Tabell 12 Beräkningsresultat för stabilitetsanalys i sektion km 31110R, rödmarkerade värden uppfyller ej krav på erforderlig säkerhetsfaktor, $F_c \geq 1,4$ och $F_{komb} \geq 1,3$

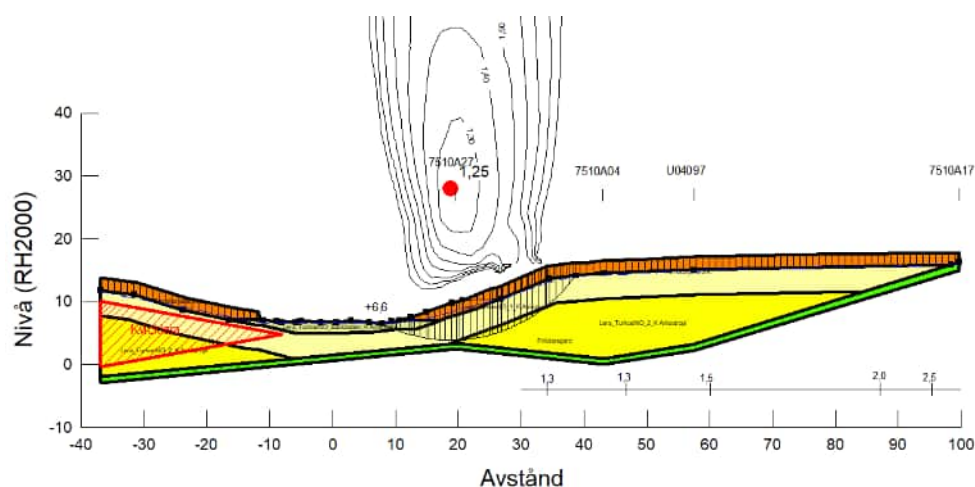
Sektion 31110R Beskrivning	Odränerad analys	Kombinerad analys	Bilaga:Sida
Befintlig sektion	1,27	1,21	5:94-5:96
Befintlig sektion med beaktande av anisotropi	<u>1,40</u>	1,32	5:97-5:99
Känslighetsanalys erosion: älvbotten har sänkts 0,5 m Med beaktande av anisotropi	1,38	1,30	5:100-5:102

Beräkningsresultaten för sektion 31110R visar att erforderlig säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott inte uppfylls för befintliga förhållanden utan anisotropi för beräkning med odränerad analys och kombinerad analys. Med beaktande av anisotropi uppfylls erforderlig säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott i både odränerad och kombinerad analys.

Känslighetsanalyser för ett framtida scenario där bottennivån i Strömsbäcken sänks med 0,5 m på grund av erosion visar att beräknad säkerhetsfaktor minskar något men att den fortfarande uppfyller kraven i kombinerad analys. För odränerad analys ligger beräkningsresultatet strax under erforderlig säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott. Beräkningssektionen bedöms inte vara speciellt känslig för erosion.

12.10 Beräkningssektion 31120R – Strömsbäcken

Kritiska glidytor i sektion 31120R är relativt stora och omfattar hela slänten ner mot bäckravinen. I Figur 63 nedan redovisas en representativ glidyta.



Figur 63 Sektion 31120R. Befintliga förhållanden, kombinerad analys med beaktande av anisotropi. Bedömd förekomst av kvicklera har markerats med röd polygon

Tabell 13 Beräkningsresultat för stabilitetsanalys i sektion km 31120R, rödmarkerade värden uppfyller ej krav på erforderlig säkerhetsfaktor, $F_c \geq 1,4$ och $F_{komb} \geq 1,3$

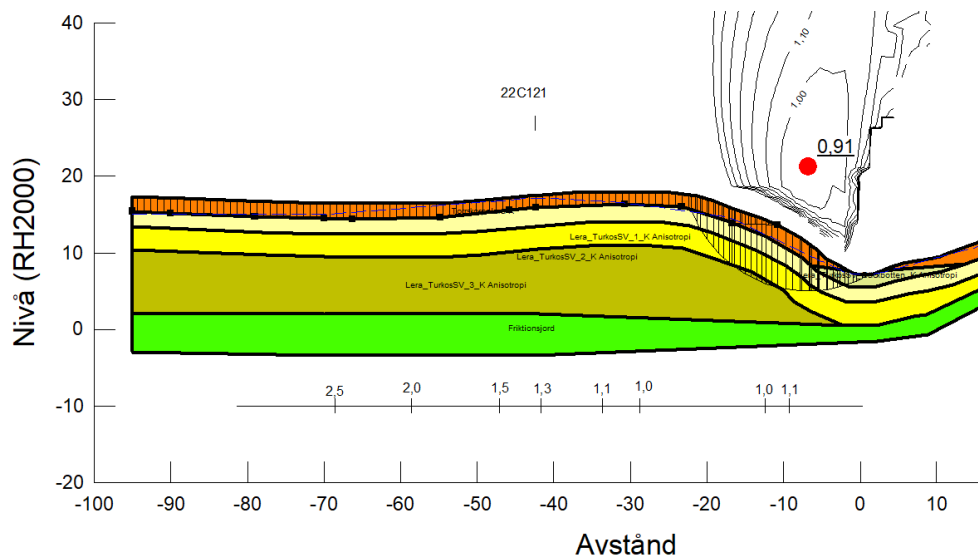
Sektion 31120R Beskrivning	Odränerad analys	Kombinerad analys	Bilaga:Sida
Befintlig sektion	1,24	1,16	5:104-5:106
Befintlig sektion med beaktande av anisotropi	1,43	<u>1,25</u>	5:107-5:109
Känslighetsanalys: Minskat lerdjup enligt arkivpunkt 7510A27	1,53	1,33	5:110-5:112

Beräkningsresultaten för sektion 31120R visar att erforderlig säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott inte uppfylls för befintliga förhållanden utan anisotropi för beräkning i kombinerad respektive odränerad analys. Med beaktande av anisotropi är beräknad säkerhetsfaktor i kombinerad analys strax under erforderliga krav. I odränerad analys uppfylls erforderlig säkerhetsfaktor både med beaktande av anisotropi.

Utförd känslighetsanalys där lerdjupet har minskats i enlighet med sonderingsresultat i 7510A27 visar att beräknad säkerhetsfaktor i kombinerad analys ökar och uppfyller därmed gällande krav.

12.11 Beräkningssektion 31125R – Strömsbäcken

Kritiska glidytor i sektion 31125R är relativt stora och omfattar hela slänten ner mot bäckravinen. I Figur 64 nedan redovisas en representativ glidyta.



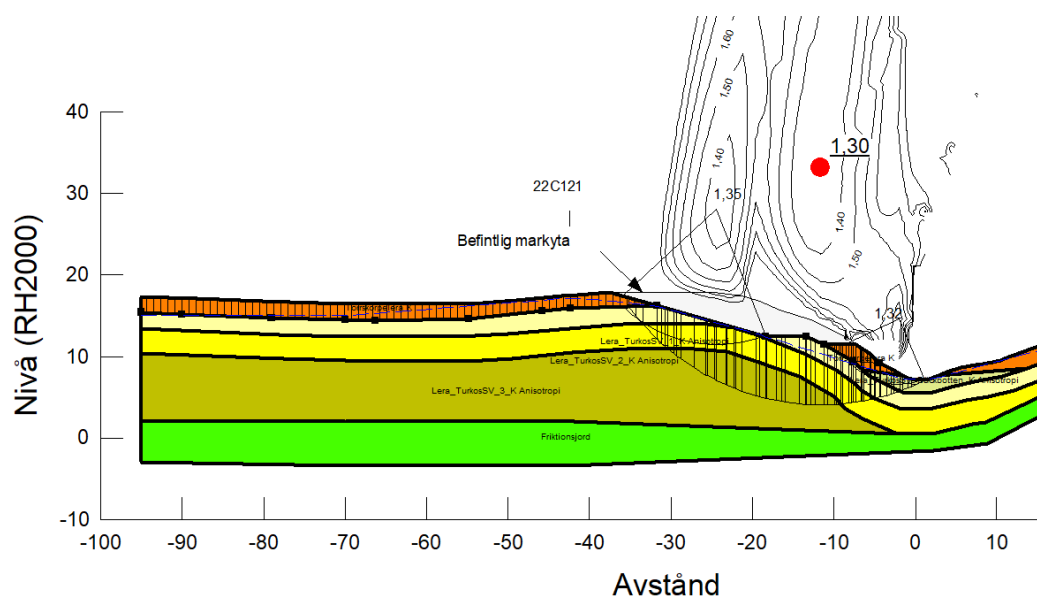
Figur 64 Sektion 31125R. Befintliga förhållanden, kombinerad analys med beaktande av anisotropi. I sektionen bedöms ingen kvicklera förekomma

Tabell 14 Beräkningsresultat för stabilitetsanalys i sektion km 31125R, rödmarkerade värden uppfyller ej krav på erforderlig säkerhetsfaktor, $F_c \geq 1,4$ och $F_{komb} \geq 1,3$

Sektion 31125R Beskrivning	Odränerad analys	Kombinerad analys	Bilaga:Sida
Befintlig sektion	1,17	0,89	5:114-5:116
Befintlig sektion med beaktande av anisotropi	1,40	<u>0,91</u>	5:117-5:119
Förstärkt sektion: Avlastning genom utflackning av slänt mot Strömsbäcken Med beaktande av anisotropi	1,89	<u>1,30</u>	5:120-5:122

Beräkningsresultaten för sektion 31125V visar att erforderlig säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott inte uppfylls för befintliga förhållanden utan anisotropi för beräkning med odränerad och kombinerad analys. Med beaktande av anisotropi uppfylls erforderlig säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott i odränerad analys men inte i kombinerad analys. Beräknade säkerhetsfaktorer i kombinerad analys bedöms vara för låga med hänsyn till att ett skred ej har utbildats i slänten. Teoretiskt borde säkerhetsfaktorn mot stabilitetsbrott vara större än 1,0.

För att uppfylla erforderlig säkerhetsfaktor kan slänten mot Strömsbäcken
fläckas ut, se Figur 65.



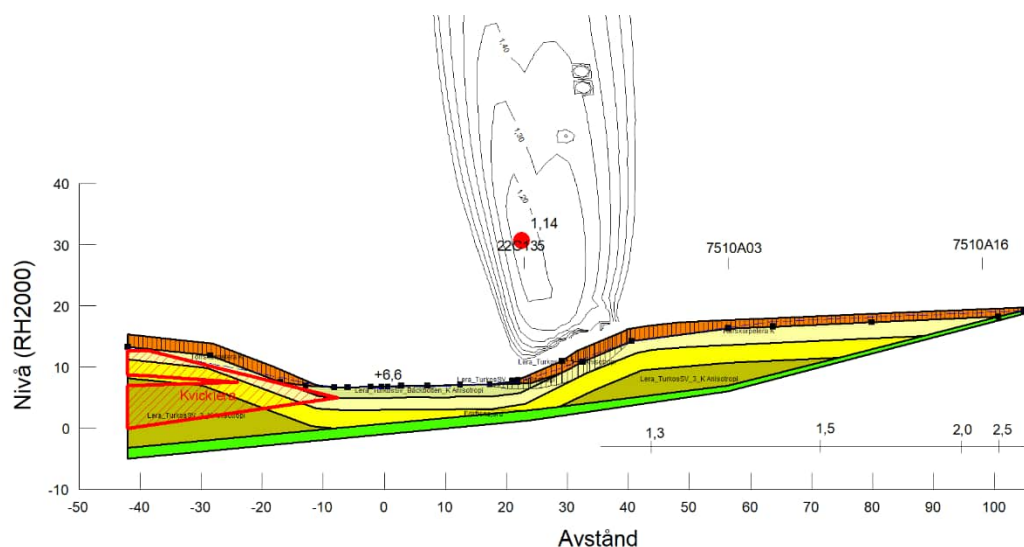
Figur 65 Sektion 31125R. Förstärkt sektion, avlastning genom utflackning slänt mot Strömsbäcken, kombinerad analys med beaktande av anisotropi.

Beräkningsresultaten för sektion 31130R visar att erforderlig säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott inte uppfylls för befintliga förhållanden utan anisotropi för beräkning i kombinerad analys. Med beaktande av anisotropi är beräknad säkerhetsfaktor i kombinerad analys strax under erforderliga krav. I odränerad analys uppfylls erforderlig säkerhetsfaktor både med och utan beaktande av anisotropi.

Utförd känslighetsanalys med en utbredd last om 10 kPa bakom släntkrön inom fastigheten STRÖM 2:19 visar att beräknad säkerhetsfaktor minskar något i odränerad analys, men att den kritiska glidyten är oförändrad i kombinerad analys. Beräkningssektionen bedöms inte vara speciellt känslig för belastningsökningar på markytan bakom släntkrön.

12.13 Beräkningssektion 31135R – Strömsbäcken

Kritiska glidytor i sektion 31135R beräknade med kombinerad analys är relativt små och omfattar främre delen av slänten ner mot bäckravinen. Kritiska glidytor med odränerad analys är relativt stora och omfattar hela slänten. I Figur 67 nedan redovisas en representativ glidyta.



Figur 67 Sektion 31135R. Befintliga förhållanden, kombinerad analys med beaktande av anisotropi. Bedömd förekomst av kvicklara har markerats med röd polygon

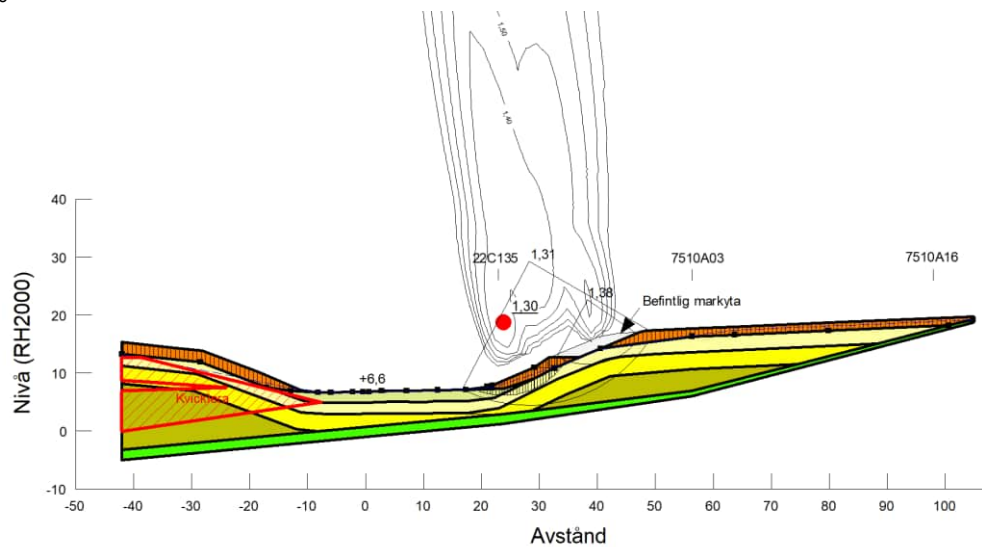
Tabell 16 Beräkningsresultat för stabilitetsanalys i sektion km 31135R, rödmarkerade värden uppfyller ej krav på erforderlig säkerhetsfaktor, $F_c \geq 1,4$ och $F_{komb} \geq 1,3$

Sektion 31135R Beskrivning	Odränerad analys	Kombinerad analys	Bilaga:Sida
Befintlig sektion	1,28	1,13	5:134-5:136
Befintlig sektion med beaktande av anisotropi	1,50	1,14	5:137-5:139
Känslighetsanalys: Höjt portryck med 10 kPa i slänten mot Strömsbäcken Med beaktande av anisotropi	-	0,89	5:140-5:141
Förstärkt sektion: Avlastning genom utflackning av slänt mot Strömsbäcken Med beaktande av anisotropi	1,70	1,30	5:142-5:144

Beräkningsresultaten för sektion 31135V visar att erforderlig säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott inte uppfylls för befintliga förhållanden utan anisotropi för beräkning med odränerad och kombinerad analys. Med beaktande av anisotropi uppfylls erforderlig säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott i odränerad analys men inte i kombinerad analys.

Utförd känslighetsanalys där portrycket höjs med 10 kPa visar att beräknad säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott minskar och underskrider 1,0, vilket teoretiskt innebär att slänten går till brott. Beräkningssektionen bedöms således vara känslig för portrycksökningar.

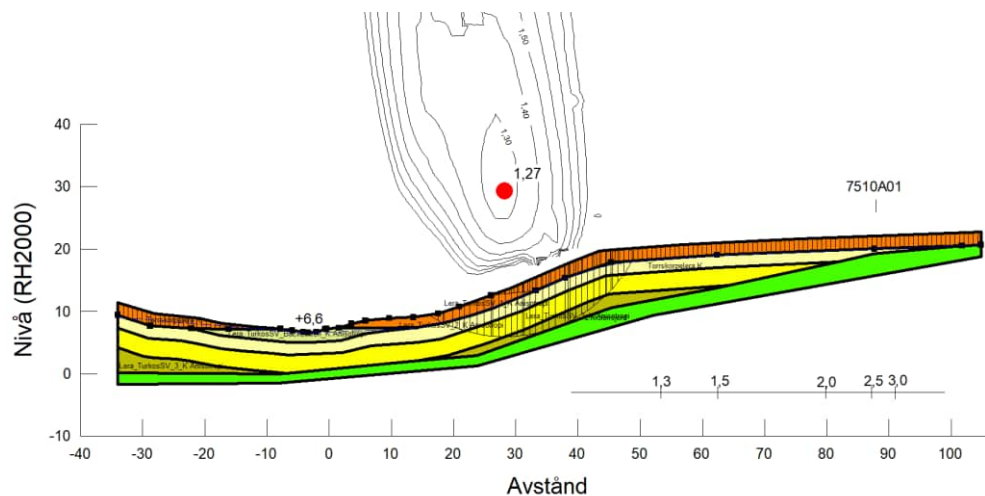
För att uppfylla erforderlig säkerhetsfaktor kan slänten mot Strömsbäcken flackas ut, se Figur 68.



Figur 68 Sektion 31135R. Förstärkt sektion, avlastning genom utflackning av slänt mot Strömsbäcken, kombinerad analys med beaktande av anisotropi.

12.14 Beräkningssektion 31145R – Strömsbäcken

Kritiska glidytor i sektion 31145R är relativt stora och omfattar hela slänten ner mot bäckravinen. I Figur 69 nedan redovisas en representativ glidyta.



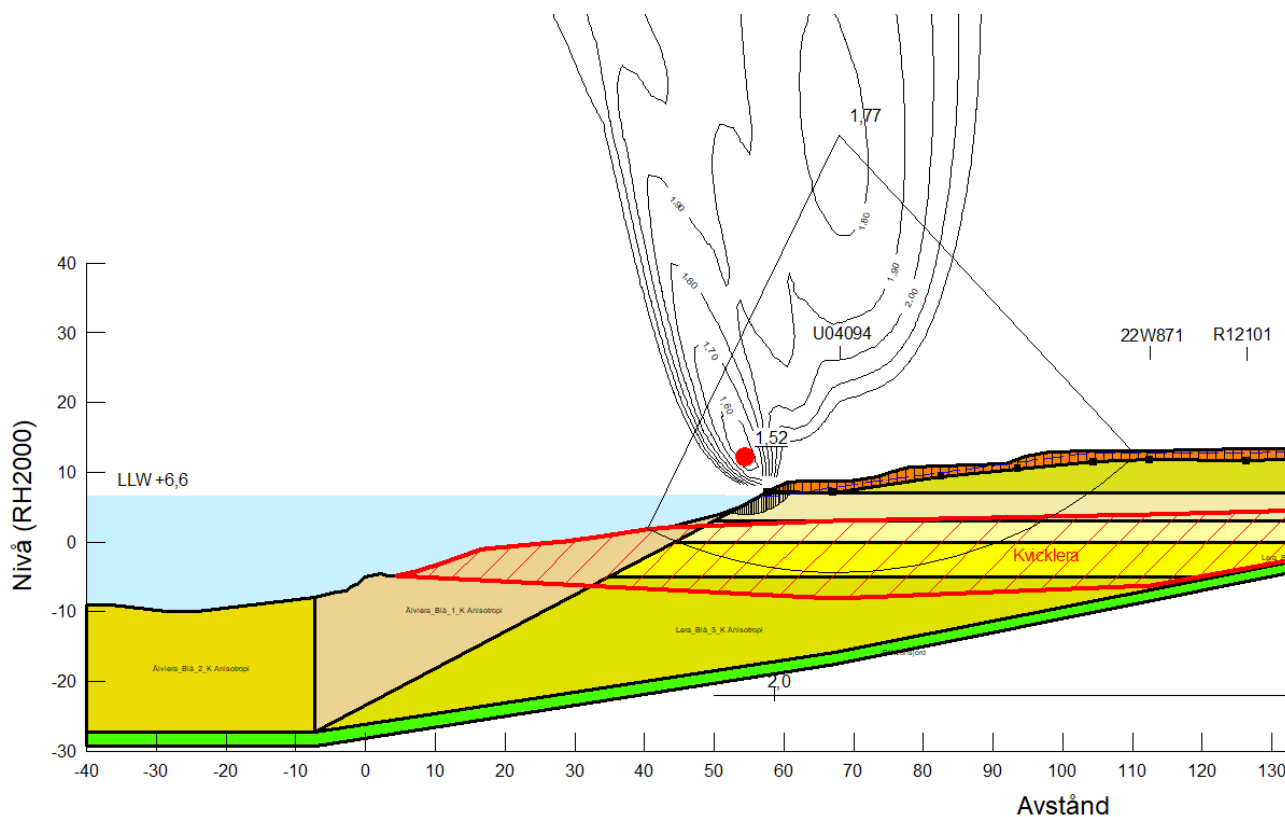
Figur 69 Sektion 31145R. Befintliga förhållanden, kombinerad analys med beaktande av anisotropi. I sektionen bedöms ingen kvicklera förekomma

Tabell 17 Beräkningsresultat för stabilitetsanalys i sektion km 31145R, rödmarkerade värden uppfyller ej krav på erforderlig säkerhetsfaktor, $F_c \geq 1,4$ och $F_{komb} \geq 1,3$

Sektion 31145R Beskrivning	Odränerad analys	Kombinerad analys	Bilaga:Sida
Befintlig sektion	1,29	1,19	5:146-5:148
Befintlig sektion med beaktande av anisotropi	1,51	<u>1,27</u>	5:149-5:151

Beräkningsresultaten för sektion 31145R visar att erforderlig säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott inte uppfylls för befintliga förhållanden utan anisotropi för beräkning i kombinerad analys. Med beaktande av anisotropi är beräknad säkerhetsfaktor i kombinerad analys strax under erforderliga krav. I odränerad analys uppfylls erforderlig säkerhetsfaktor både med och utan beaktande av anisotropi.

Kritiska glidytor i sektion 31150V beräknade med kombinerad analys är små och omfattar slänten strax framför släntkrön mot Göta älv. Kritiska glidytor beräknade med odränerad analys är relativt stora och omfattar hela slänten. I Figur 70 nedan redovisas en representativ glidyta.



Figur 70 Sektion 31150V. Befintligen förhållanden, kombinerad analys med beaktande av anisotropi. Bedömd förekomst av kvicklara har markerats med röd polygon

Tabell 18 Beräkningsresultat för stabilitetsanalys i sektion km 31150V, rödmarkerade värden uppfyller ej krav på erforderlig säkerhetsfaktor, $F_c \geq 1,4$ och $F_{komb} \geq 1,3$

Sektion 31150V Beskrivning	Odränerad analys	Kombinerad analys	Bilaga:Sida
Befintlig sektion	1,74	1,52 (lokal glidyta vid släntkrön) 1,66 (global glidyta)	5:153-5:155
Befintlig sektion med beaktande av anisotropi	1,90	<u>1,52</u> (lokal glidyta vid släntkrön) <u>1,77</u> (global glidyta)	5:156-5:158
Känslighetsanalys: Utbredd last om 10 kPa Med beaktande av anisotropi	1,73	1,46 (lokal glidyta vid släntkrön) 1,64 (global glidyta)	5:159-5:161
Känslighetsanalys: Utbredd last om 20 kPa Med beaktande av anisotropi	1,58	1,39 (lokal glidyta vid släntkrön) 1,52 (global glidyta)	5:162-5:164
Känslighetsanalys erosion: älvbotten har sänkts 2 m Med beaktande av anisotropi	1,86	1,39 (lokal glidyta vid släntkrön) 1,72 (global glidyta)	5:165-5:167

Beräkningsresultaten för sektion 31150V visar att erforderlig säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott uppfylls för befintliga förhållanden i både odränerad och kombinerad analys med respektive utan beaktande av anisotropi.

Utförd känslighetsanalys med utbredd last om 10 kPa fram till släntkrön, visar att beräknad säkerhetsfaktor minskar, men att erforderlig säkerhetsfaktor för odränerad respektive kombinerad analys fortfarande uppfylls. Motsvarande känslighetsanalys med utbredd last om 20 kPa, visar att beräknad säkerhetsfaktor minskar, men att erforderlig säkerhetsfaktor för odränerad respektive kombinerad analys uppfylls även i detta fall. Beräkningssektionen bedöms således inte vara känsligt för belastningsökningar på markytan bakom släntkrön.

Känslighetsanalyser för ett framtida scenario där bottennivån i Göta älv sänks med 2 m på grund av erosion visar att beräknad säkerhetsfaktor minskar men att erforderlig säkerhetsfaktor för odränerad respektive kombinerad analys fortfarande uppfylls. Beräkningssektionen bedöms inte vara känslig för erosion.

13 Föreslagna åtgärder

För att erhålla tillfredställande säkerhetsfaktor inom området strax norr om Strömsbäckens utlopp i Göta älv föreslås avschaktning av befintlig slänt att utföras i kombination med utläggning av tryckbank i älven. Föreslagen avschaktning utförs längs en sträcka av ca 90 m och med en bredd i plan varierande mellan ca 15 och 22 m. Föreslagen tryckbank utförs längs en sträcka av ca 45 m och med en bredd av ca 9 m. I Figur 71 redovisas ungefärlig utbredning av föreslagna åtgärder i plan.

För att erhålla tillfredställande säkerhetsfaktor inom den västra delen av Strömsbäckens ravin föreslås avschaktning av befintliga slänter att utföras. Föreslagen avschaktning på Strömsbäckens norra sida utförs längs en sträcka av ca 100 m och med en bredd i plan om ca 30 m. På södra sidan om Strömsbäcken föreslås en avschaktning längs en sträcka av ca 60 och med en bredd i plan om ca 16 m. I Figur 71 redovisas ungefärlig utbredning av föreslagna åtgärder i plan.

Avschaktning minskar lasten på den pådrivande sidan medan en tryckbank ökar lasten på den mothållande sidan.

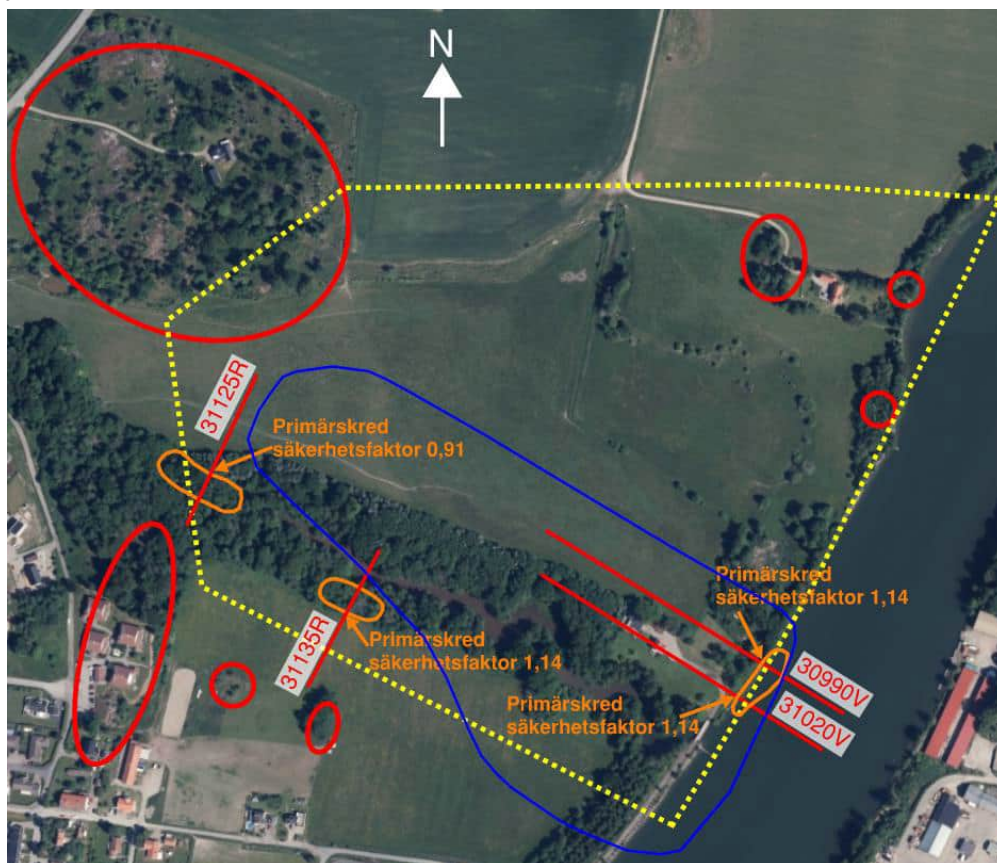


Figur 71 Ungefärlig utbredning av föreslagna åtgärder. Föreslagen avschaktning markeras med bruna polygoner och föreslagen tryckbank i Göta älv markeras med en beige polygon

14 Skredutbredning

Förekomst av kvicklera och högsensitiv lera innebär risk för bakåtgripande skred om ett initialt skred skulle inträffa. En bedömning av skredutbredning för sekundära skred har utförts enligt SGI Varia 638 (2012) och SGI GÄU-delrapport 32 (2011). Sensitiviteten inom området närmast bedömt primärskredet, strax norr om Strömsbäcken utlopp i Göta älv, uppgår till 25-160. I undersökningspunkt 22C124, cirka 200 m västerut har sensitiviteten bestämts till ca 240. Även inom området söder om Strömsbäcken har sensitiviteten konstaterats vara över 200 i kolvprovtagna undersökningspunkter. Dessutom har sensitiviteten i utförd undersökningspunkt i Göta älv, 22S803 bestämts till ca 150-170. Därmed finns risk för att sekundära skred inte stannar förrän lösmarken övergår i fastmark eller berg i dagen. I Figur 72 nedan redovisas översiktligt fastmark och berg i dagen med röd cirkel, sekundär skredutbredning med blå linje och primär skredutredning med orange linje. Gul linje visar aktuellt utredningsområde.

Avståndet till fastmarksområden uppgår till ca 0,5 km, vilket innebär en mycket stor omgivningpåverkan vid utbildandet av sekundära skred.



Figur 72 Uppskattad utbredning i plan av eventuella primärskred (orange) och sekundärskred (blått). Berg i dagen/fastmark markeras med röda ellipser. Aktuellt utredningsområde markeras med gul linje (Kartkälla: minkarta.lantmateriet.se 2023)

15 Slutsats och rekommendationer

Stabilitetsutredning med totalsäkerhetsmetoden baseras på grundtanken att ju mer information som finns inom ett område, desto lägre krav erfordras på beräknad säkerhetsfaktor. I IEG Rapport 4:2010 anges säkerhetsfaktorer, för olika utredningsskeden, som ett intervall där gynnsamma och ogynnsamma förhållanden vägs ihop till en objektspecifik säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott. Erforderlig säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott för denna utredning motsvarar den övre gränsen av intervallet.

Denna fördjupade stabilitetsutredning visar att beräknad säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott, för den norra och mellersta delen av området, km 30600V, km 30665V och km 30760R, 30870V samt längst i söder, km 31150V, uppfyller gällande krav för befintliga förhållanden med totalsäkerhetsmetoden. Området bedöms inte vara speciellt känsligt för erosion av Göta älvs botten. Dock visar beräkningarna att våtmarksområdet i anslutning till Göta älv är måttligt känsligt för lastökningar. Vidare visar utförda beräkningar att beräknad säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott för den östra delen av Strömsbäckens ravin, 31030R och 31110R, uppfyller gällande krav. Även inom delar av bäckravinsens västra del 31075R, 31145R, 31130R och 31120R, uppfyller beräknad säkerhetsfaktor gällande krav. För dessa sektioner föreslås ingen stabilitetsförbättrande åtgärd.

Denna fördjupade stabilitetsutredning visar att beräknad säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott i km 30990V och 31020V i anslutning till Göta älv, ej uppfyller gällande krav för befintliga förhållanden. Området bedöms vara känsligt för förändringar av portrycksförhållanden framför allt i närheten av släntrösk. Dessutom bedöms området vara känsligt för erosion av Göta älvs botten. Föreslagen stabilitetsförbättrande åtgärd för delområdet är avschaktning för att på så vis minska lasten på den pådrivande sidan i kombination med utläggning av tryckbank i älven som ökar lasten på den mothållande sidan och som även kan fungera som erosionsskydd.

Vidare visar stabilitetsutredningen att beräknad säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott i Strömsbäckens västra del, km 31125R och 31135R ej uppfyller gällande krav för befintliga förhållanden. Området bedöms vara känsligt för förändringar av portrycksförhållanden. Föreslagen stabilitetsförbättrande åtgärd för delområdet är avschaktning för att på så vis minska lasten på den pådrivande sidan.

Innan de stabilitetsförbättrande åtgärderna detaljprojekteras rekommenderas att SGI, i samband med planerade sannolikhetsberäkningar och skredriskbedömning, värderar erforderlig säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott eftersom gynnsamma och ogynnsamma förhållanden visar att en lägre säkerhetsfaktor troligtvis skulle kunna nyttjats.

På grund av förekomst av kvicklera och risken för bakåtgripande skred med stor omgivningspåverkan rekommenderas att eventuell detaljprojektering och utförande av stabilitetsförbättrande åtgärder, utförs i Geoteknisk kategori 3 (GK3).