

JUNI 2024
SGI – DELEGATIONEN FÖR GÖTA ÄLV

STOMMEN, LILLA EDETS KOMMUN

PM GEOTEKNIK FÖRDJUPAD STABILITETSUTREDNING

32700OPM01



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

JUNI 2024
SGI – DELEGATIONEN FÖR GÖTA ÄLV

STOMMEN, LILLA EDETS KOMMUN

PM GEOTEKNIK FÖRDJUPAD STABILITETSUTREDNING

32700OPM01

PROJEKTNR.	DOKUMENTNR.		KONTAKTPERSON SGI	DIARIENR. SGI	UPPDRAGSNR. SGI
A227180	32700OPM01		Elin Tunander	6.2-2305-0624	10383
VERSION	UTGIVNINGSDATUM	BESKRIVNING	UTARBETAD	GRANSKAD	GODKÄND
1.0	2024-06-20	PM Geoteknik	Andreas Stöllman	Charlotte Junkers	Eli Martinez Szmyt

INNEHÅLL

1	Objekt	10
2	Syfte	11
3	Underlag för undersökningen	11
3.1	Tidigare utförda undersökningar	11
3.2	Övrigt underlag	13
4	Styrande dokument	13
5	Projekteringsanvisningar	14
6	Befintliga förhållanden	15
6.1	Topografi och ytbeskaffenhet	15
6.2	Befintliga konstruktioner	16
6.3	Tidigare jordskred	19
7	Geotekniska förhållanden	20
7.1	Jordlagerförhållanden	20
7.2	Utvärdering av kvicklera	28
7.3	Hydrogeologiska förhållanden	34
8	Valda beräkningsparametrar	40
8.1	Beräkningsparametrar	40
8.2	Anisotropifunktion	47
8.3	Portrycksmodell	53
8.4	Vattenstånd i älven	57
8.5	Laster	57

9	Känslighetsanalys	57
9.1	Förändrad geometri till följd av erosion	57
9.2	Förändring i portrycksförhållanden	58
10	Åtgärder	59
10.1	Tryckbank/erosionsskydd	59
10.2	Avschaktning	60
10.3	Kalkcementpelare	60
11	Övriga förutsättningar, stabilitetsanalys	60
12	Beräkningar och resultat	62
12.1	Beräkningssektion 324250	64
12.2	Beräkningssektion 325550	66
12.3	Beräkningssektion 327500	68
12.4	Beräkningssektion 328000	69
12.5	Beräkningssektion 328900	71
13	Föreslagna åtgärder	74
14	Skredutbredning	75
15	Slutsats och rekommendationer	77

BILAGOR

Bilaga 1	Sammanställning av vald skjuvhållfasthet
Bilaga 2	Sammanställning av vald tunghet
Bilaga 3	Sammanställning av valda porttryck
Bilaga 4	Valda beräkningsparametrar
Bilaga 5	Beräkningsresultat
Bilaga 6	Val av skjuvhållfasthet
Bilaga 7	Utvärdering av kvicklera

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.

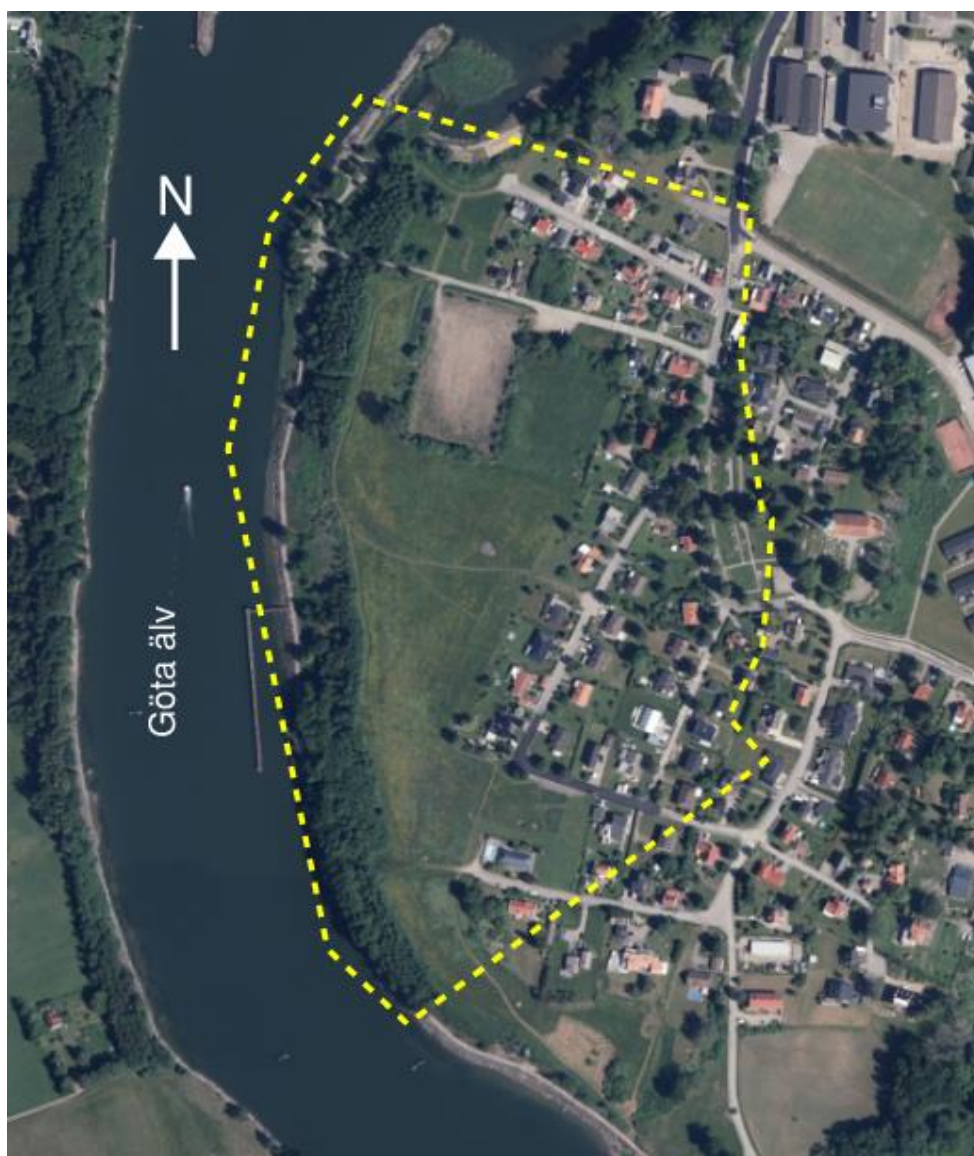
Stabilitetsutredningarna görs av geotekniska konsulter under ledning av SGI. I uppdragen ingår bland annat att presentera en bedömning av skjuvhållfastheten och att ge förslag på lämpliga stabilitetshöjande åtgärder. Utredningsresultaten ligger till grund för SGI:s fortsatta arbete med analys och beräkning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

Undersökningsområdet är beläget på östra sidan om Göta Älv och sträcker sig genom södra delen Lilla Edets tätort, se Figur 1 för översiktsbild över området. Området sträcker sig från ca km 32/300 i norr till km 33/000 i söder, enligt SGI:s längdmätning för Göta älv. För planritning med längdmätning hänvisas till MUR Geoteknik.



Figur 1 Översiktsbild, aktuellt område markerat med gul-streckad linje
(kartkälla: Lantmäteriet, 2024).

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 undersökningen

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

3.1 Utförda undersökningar

Under 2021 utförde COWI fält- och laboratorieundersökningar för en detaljerad undersökning där Stommen ingick som en del i ett större område som sträckte sig från Kraftverket i norr till Ellbo i söder. I samband med nu utförd fördjupad utredning har COWI utfört kompletterande geotekniska fält- och laboratorieundersökningar under 2022-2023. Resultaten från dessa undersökningar tillsammans med relevant underlag från den detaljerade undersökningen redovisas i:

- > Stommen, Lilla Edets kommun, 32700RA01, Markteknisk undersökningsrapport (MUR) Geoteknik, Uppdragsnummer COWI A227180, daterad 2024-06-20.

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	Datum	Beteckning på plan	Undersöknings- punkterna erhållna i format
Förhandsinformation: Laboratorieförsök Uppdrag Störningskänslighet	SGI	6.2-2103- 0248	-	21C220B	PDF
Förhandsinformation: SGI Geotekniska undersökningar i Göta älv från flotte	WSP	10345431	-	BH001- BH002	Autograf- databas/ PDF
Götaslätten, Hydrogeologisk modell	Sweco Environment AB	1312068	2016-08-11	16SW501- 16SW503	PDF
Göta älvutredningen, GÄU, 08, Lilla Edet-Alvhem	SGI	14087	2010-12-10	U080XX	Autograf- databas/ PDF
Ellbo-Stommen, fördjupad stabilitetsutredning	SGI	2-9603-149	1997-01-31	FU000XXX	Autograf- databas/ PDF
Tillbyggnad till församlingshem	K-Konsult	426-426 496	1984-04-17	84KK102C	PDF
Kv. Skolan	VIAK AB	65.8719	1974-02-05	74VI104C	PDF

3.2 Övrigt underlag

- > Grundkarta erhållen från beställaren, maj 2021.
- > Kartmaterial erhållet från berörda ledningsägare, juli 2021.
- > Batymetrisk mätning av älvbotten från 2018.
- > Del av batymetrisk mätning av älvbotten från 2020 och som nyttjas i sektion 32/800.
- > Höjddata från Lantmäteriets WCS-tjänst, nedladdad 2020.
- > Geosuite-databas med tidigare utförda undersökningspunkter erhållen från beställaren, maj 2021.
- > SGU:s kartvisare för jordskred och raviner, april 2024. Ett utsnitt över aktuellt område framgår av Figur 6.

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. Val av erforderlig säkerhetsfaktor har gjorts efter sammanställning av gynnsamma och ogynnsamma förutsättningar för stabilitetsberäkning och i samråd med beställaren SGI.

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

Lerans dränerade skjuvhållfasthetsparametrar har bedömts empiriskt till $\phi' = 30^\circ$ 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:

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

Markytan som använts i stabilitetsberäkningarna är dels framtagen utifrån resultat av inmätningar dels framtagen utifrån höjddata från Lantmäteriets WCS-tjänst. Bottennivåer i Göta älv har hämtats från batymetrisk mätning från 2018.

Stabilitetsanalysen har utförts med datorprogrammet Geostudio 2023, version 23.1.0.520.

6 Befintliga förhållanden

6.1 Topografi och ytbeskaffenhet

Utredningsområdet utgörs i västra delen av ängsmark, se Figur 2, bortsett från en grusplan i norra delen samt slänten ned mot Göta älv som till största del är trädbevuxen. Östra delen av området utgörs av enbostadshus med asfalterade lokalvägar. Området angränsar till Göta älv i väster, enbostadshus i öster, ängsmark i söder och Fuxernaskolan i norr.



Figur 2. Ängsmark i områdets västra del, fotograferat åt sydväst (COWI AB, 2021)

Markytan inom området faller generellt från öst till väst från nivåer mellan ca +11 och +20 i öster till Göta älvs nivå i väster på ca + 1. Området öster om slänten ned mot Göta älv sluttar svagt åt väster. Slänten ned mot Göta älv sluttar ställvis brant från nivån ca +9 ned till Göta älvs nivå med en lutning mellan ca 1:2 och 1:8, där de brantaste partierna återfinns i söder.

Bottennivån i Göta älv varierar i allmänhet mellan ca -3 och -10. Undervattenssläntens lutning varierar mellan ca 1:1 och 1:8.

6.2 Befintliga konstruktioner

Områdets norra och östra del är bebyggd med enbostadshus, med anslutande lokalgator.

Inom området finns flertalet markförlagda ledningar för el, tele, fiber, fjärrvärme och VA. Ledningar återfinns i huvudsak utmed gator och vägar. En större högspänningsledning från vattenkraftverket passerar söderut genom områdets ängsmark.

Längs strandlinjen har erosionsskydd i form av sprängsten lagts ut. Vid platsbesök 2021-06-10 bedömdes erosionsskyddet vara intakt utan tecken på pågående erosion, se Figur 3 och Figur 4. Dock medför begränsad siktdjup i Göta älv svårigheter att bedöma erosionsskyddets utbredning och status under vattenytan.

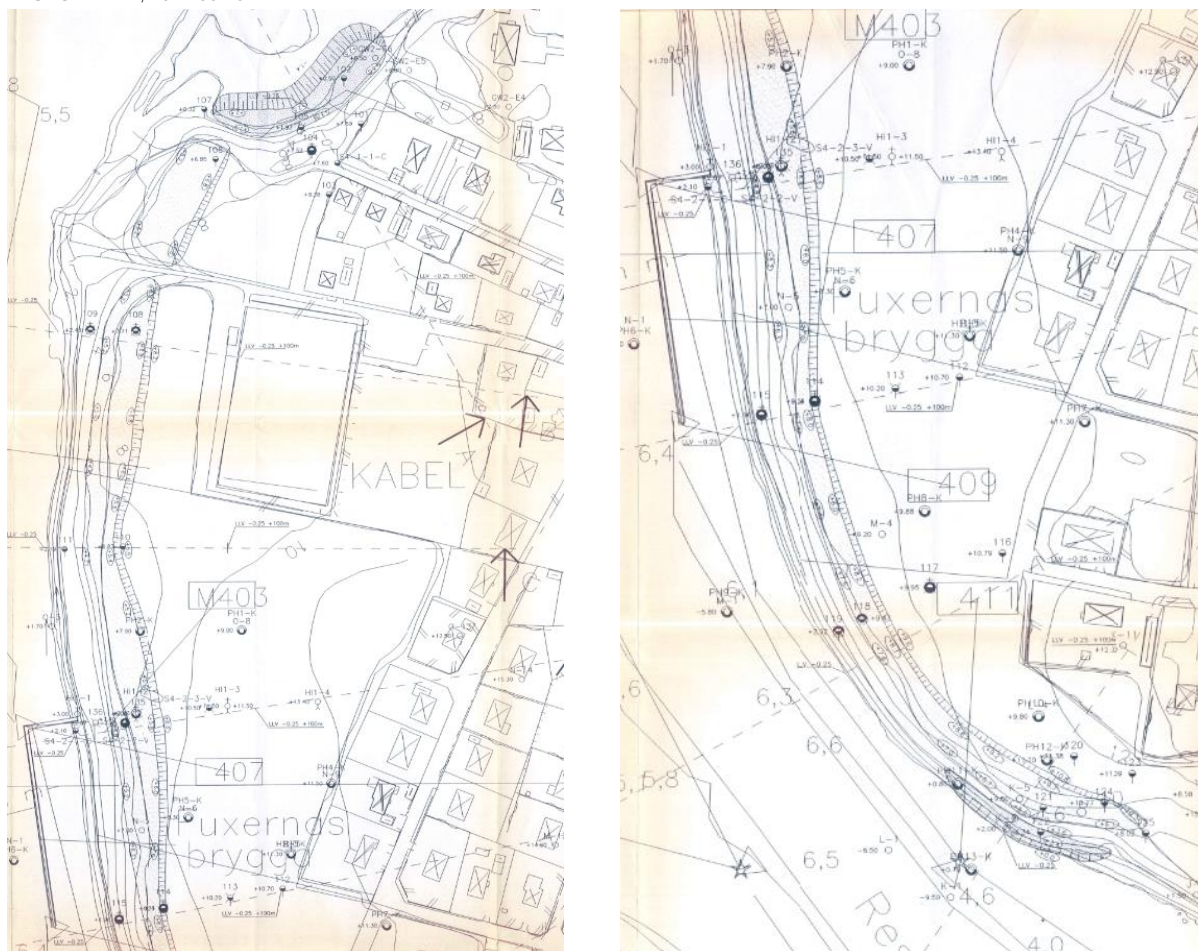


Figur 3. Erosionsskydd i norra delen av utredningsområdet, fotograferat åt nordost (COWI AB, 2021).



Figur 4. Erosionsskydd i södra delen av utredningsområdet, fotograferat åt söder (COWI AB, 2021).

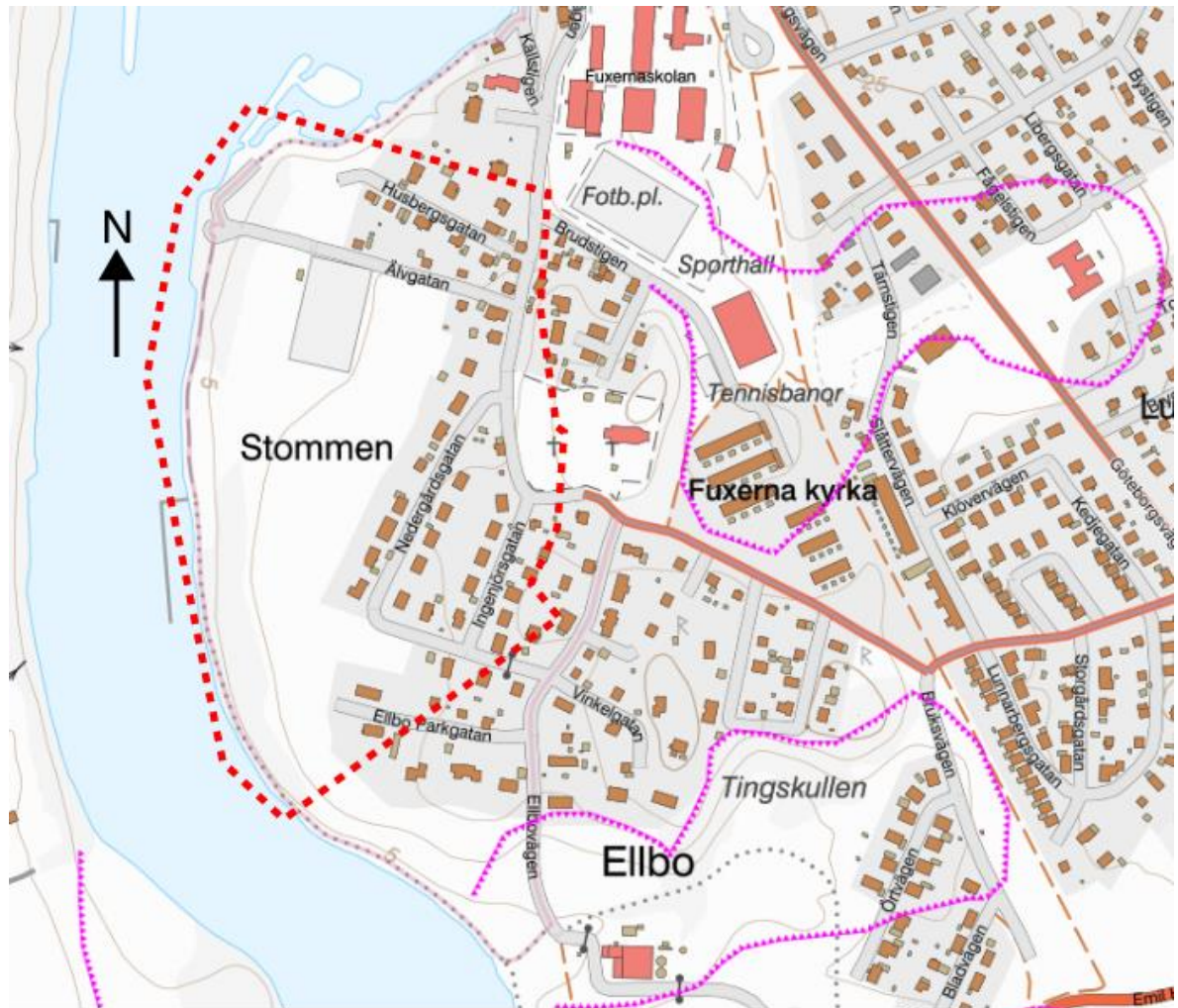
I områdets västra del har stabilitetsförbättrande åtgärder utförts i anslutning till släntkrön mot Göta älv från ca km 32/300 till ca km 33/100. Åtgärderna omfattade avlastning av släntkrön genom avschaktning samt utläggning av två tryckbankar i Göta älv, en i norr och en strax söder om aktuellt område, se Figur 5.



Figur 5 Planritning över utförda stabilitetsförbättrande åtgärder inom områdets norra del (t.v.) och inom områdets södra del (t.h.) (Stabilitetsförbättrande åtgärder, SGI 1997)

6.3 Tidigare jordskred

Enligt SGU:s kartvisare för jordskred och raviner finns det ett skredärr vid Fuxernaskolan, nordöst om utredningsområdet och vid Ellbo sydost om utredningsområdet, se Figur 6.

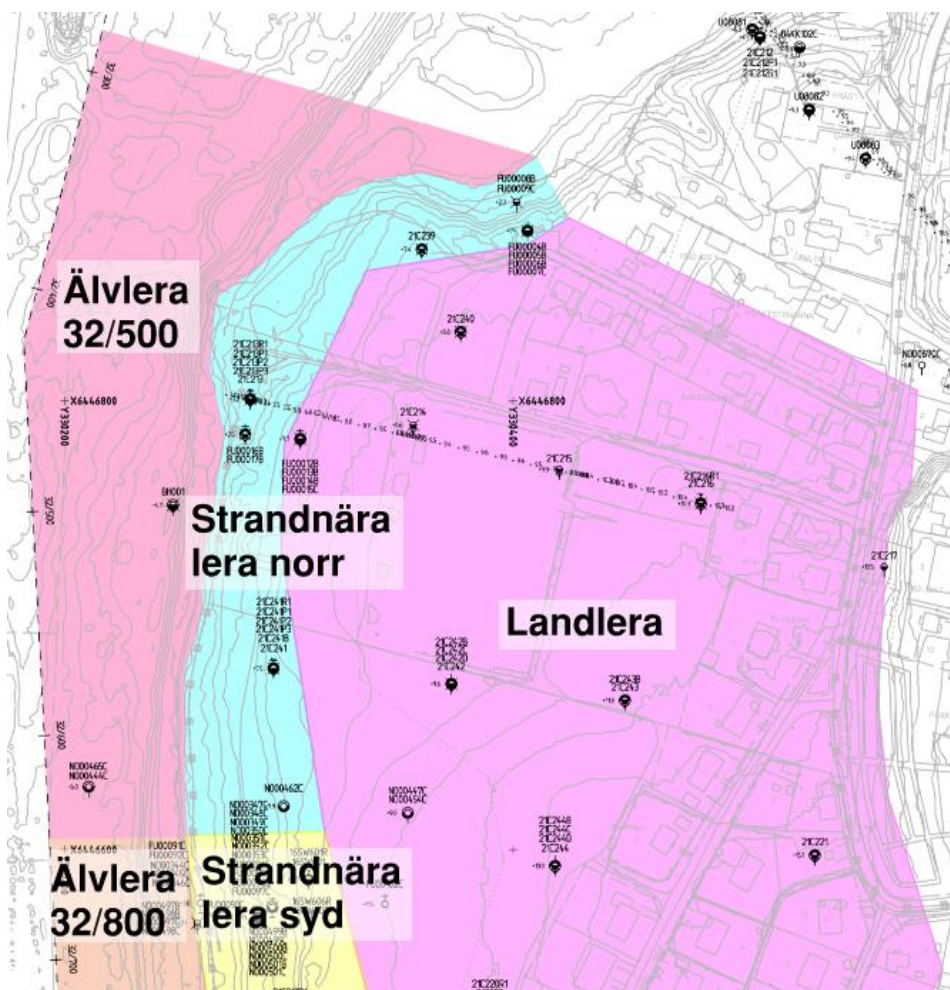


Figur 6. Utsnitt ur SGU:s kartvisare för jordskred och raviner, där tidigare jordskred och skredärr markerats med rosa. Aktuellt område är översiktligt markerat med röd-streckad linje (kartkälla: SGU).

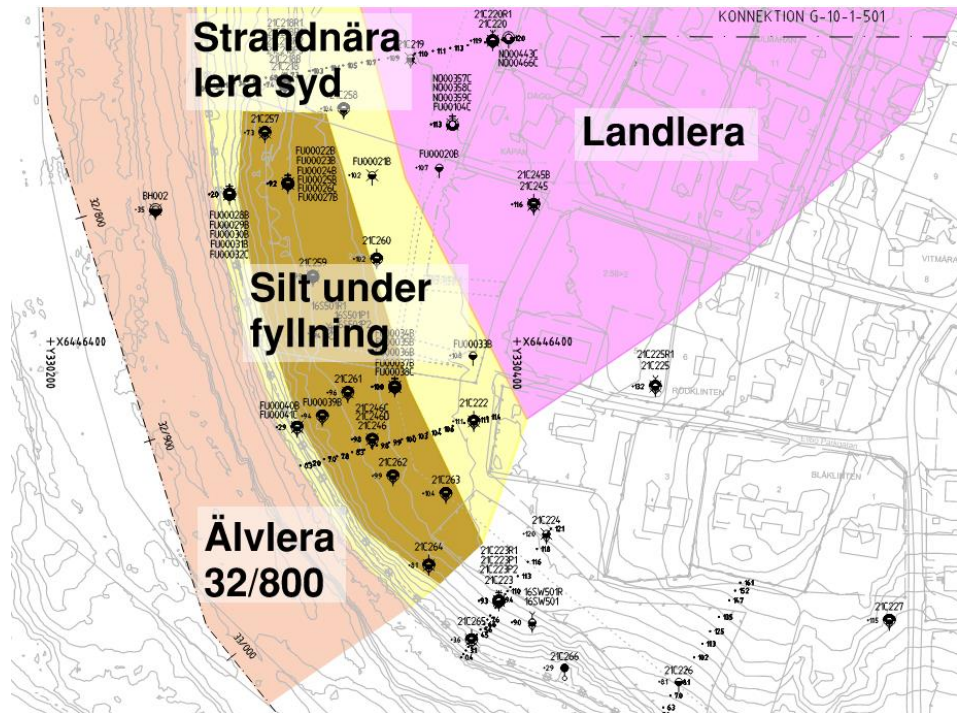
7 Geotekniska förhållanden

7.1 Jordlagerförhållanden

För denna stabilitetsutredning delas utredningsområdet in i fyra delområden för land och två delområden i älven, se Figur 7 och Figur 8. Indelningen är i huvudsak gjord utifrån jordlagrens varierande geotekniska egenskaper. Nedan beskrivs jordlagerförhållandena övergripande inom respektive delområde. För valda materialparametrar, se kapitel 8. För undersökningsresultat hänvisas till MUR Geoteknik, se kapitel 3.1.



Figur 7. Indelning av utredningsområdets norra del



Figur 8. Indelning av utredningsområdets södra del

7.1.1 Strandnära lera norr

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

Jordlagren utgörs av lera som i norr och söder överlagras av fyllning. Leran är avsatt på ett friktionsjordlager på berg alternativt direkt på berg. Nu och tidigare utförda tryck- respektive CPTU- och CPTU-R-sonderingar har stoppat mot fast botten ca 11-24,5 m under markytan. Vid utförda sonderingar har bergets överyta ej verifierats.

Fyllningen utgörs i huvudsak av en blandad sammansättning av mulljord, grus, sand, silt, torrskorpelera, lera och växtdelar. Fyllningens tjocklek uppgår till ca 0,6-2,5 m.

Leran klassificeras i allmänhet som siltig och med innehåll av siltskikt. I den södra delen av området, i undersökningspunkt 21C241, har leran även klassificerats som gyttjig. Leran har även påträffats med innehåll av skal, växtdelar, grus och sand. Förutom i arkivpunkterna längst i norr, FU00006B och FU00009C har inlagrad friktionsjord påträffats i leran på djup varierande mellan ca 8 och 17 m. Friktionsjordslagrets tjocklek har tolkats till ca 0,4-0,9 m. I den övre delen har leran en utbildad torrskorpa vars tjocklek uppgår till ca 0,7-1,0 m. Lerans mäktighet har tolkats till ca 5,5-21 m. De största tolkade mäktigheterna har påträffats i den södra delen av området och de minsta mäktigheterna har påträffats i den norra delen.

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 i huvudsak från ca 15-32 kPa närmast under torrskorpeleran till ca 34-54 kPa på 25 m djup under markytan.

Lerans densitet varierar i allmänhet mellan ca 1,55 och 1,70 t/m³. Den naturliga vattenkvoten har bestämts till ca 50–85 %. Konflytgränsen varierar i huvudsak mellan ca 50 och 75 %.

Lerans sensitivitet varierar enligt laboratorieanalyser på ostörda jordprover mellan ca 6 och 91, vilket innebär att leran är lågsensitiv till högsensitiv. Då den omrörda skjuvhållfastheten är högre än 0,4 klassificeras inte leran som kvicklera utan enbart som 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 två undersökningspunkter. Överkonsolideringsgraden varierar mellan ca 1,1 och 3,4.

Friktionsjordens egenskaper har ej undersökts.

7.1.2 Landlera

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

Jordlagren utgörs av lera som ställvis överlagras av fyllning alternativt av mulljord. I undersökningspunkt 21C216, i den nordöstra delen, överlagras leran av sand. Leran är avsatt på ett friktionsjordlager på berg alternativt direkt på berg. Nu och tidigare utförda tryck- respektive CPTU- och CPTU-R-sonderingar har stoppat mot fast botten ca 2-25 m under markytan. Vid utförda sonderingar har bergets överyta ej verifierats.

Fyllningen utgörs i huvudsak av en blandad sammansättning av mulljord, sand, silt, torrskorpelera, växtdelar och tegelrester. Fyllningens tjocklek uppgår till ca 0,2-1,4 m.

Mulljorden innehåller sand. Tjockleken uppgår till ca 0,3 m.

Sanden innehåller växtdelar och mulljordsskikt. Dess tjocklek uppgår till ca 0,4 m.

Leran har i allmänhet klassificerats som siltig eller något siltig. Silten förekommer även som inlagrade siltskikt i leran. Leran innehåller även gyttja, grus, skal och växtdelar. Förutom i undersökningspunkterna 21C215 och 21C225 har inlagrad friktionsjord påträffats i leran på djup varierande mellan ca 4 och 19 m. Friktionsjordslagrets tjocklek har tolkats till ca 0,2-0,9 m. I den övre delen har leran en utbildad torrskorpa vars tjocklek uppgår till ca 0,7-2,1 m. Lerans mäktighet har tolkats till ca 1,2-24 m. De största tolkade mäktigheterna har påträffats i den sydvästra delen av området och de minsta mäktigheterna har påträffats i den östra delen.

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 korregerade odränerade skjuvhållfasthet varierar i huvudsak från ca 12-23 kPa närmast under torrskorpeleran och ner till 8 m djup under markytan till ca 32-46 kPa på 18 m djup under markytan.

Lerans densitet varierar i allmänhet mellan ca 1,50 och 1,70 t/m³. Den naturliga vattenkvoten har bestämts till ca 40-85 %. Konflytgränsen varierar i huvudsak mellan ca 40 och 80 %.

Lerans sensitivitet varierar enligt laboratorieanalyser på ostörda jordprover mellan ca 7 och 49 ner till 4 á 8 m djup under markytan. Detta innebär att leran är lågsensitiv till högsensitiv ner till detta djup. Därunder varierar sensitiviteten mellan ca 20 och 400, 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 två undersökningspunkter. Överkonsolideringsgraden varierar mellan 1,0 och 2,4.

Friktionsjordens egenskaper har ej undersökts.

7.1.3 Strandnära lera syd

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

Jordlagren utgörs i allmänhet överst av silt som ställvis överlagras av mulljord. Silten underlagras av lera. I områdets nordöstra del i arkivpunkt 16SW601 har sand påträffats mellan mulljorden och leran. I sydost i undersökningspunkt 21C222 har ingen silt påträffats, varpå mulljorden underlagras direkt av lera. Leran är avsatt på ett friktionsjordlager på berg alternativt direkt på berg. Nu och tidigare utförda tryck- respektive CPTU- och CPTU-R-sonderingar har stoppat mot fast botten ca 16-27 m under markytan. Vid utförda sonderingar har bergets överyta ej verifierats.

Mulljorden innehåller sand. Tjockleken uppgår till ca 0,2-0,4 m.

Silten innehåller gyttja, mulljord, växtdelar, sand och lera. Siltens tjocklek uppgår till ca 0,8-4,5 m.

Sanden innehåller lera. Sandens tjocklek uppgår till ca 0,7 m.

Leran klassificeras i allmänhet som siltig i den övre delen av profilen. I den norra delen av området har leran även klassificerats som gyttjig i lerprofilens övre delar. Leran innehåller även sand, skal och växtdelar. I områdets östra del har inlagrad friktionsjord påträffats i leran på djup varierande mellan ca 8 och 21 m. Friktingsjordslagrets tjocklek har tolkats till ca 0,1-0,4 m. Lokalt i undersökningspunkt 21C222, i den södra delen av området har leran påträffats med en utbildad torrskorpa i den övre delen av profilen. Torrskorpans tjocklek uppgår till ca 0,8 m. Lerans mäktighet har tolkats till ca 14-24 m. De största tolkade mäktigheterna har påträffats i den östra delen av området och de minsta mäktigheterna har påträffats i nordväst.

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 i huvudsak från ca 16-25 kPa i den övre delen av lerprofilen till ca 34-55 kPa på 23 m djup under markytan.

Lerans densitet varierar i allmänhet mellan ca 1,60 och 1,85 t/m³. Den naturliga vattenkvoten har bestämts till ca 30–70 %. Konflytgränsen varierar i huvudsak mellan ca 35 och 75 %.

Lerans sensitivitet varierar enligt laboratorieanalyser på ostörda jordprover mellan ca 13 och 62, vilket innebär att leran är mellansensitiv till högsensitiv. Då den omrörda skjuvhållfastheten är högre än 0,4 klassificeras inte leran som kvicklera, utan enbart som 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 två undersökningspunkter. Överkonsolideringsgraden varierar mellan ca 1,4 och 2,9.

Friktionsjordens egenskaper har ej undersökts.

7.1.4 Silt under fyllning

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

Jordlagren utgörs överst av ett friktionsjordslager som har tolkats som fyllning. Ställvis har mulljord påträffats ovan fyllningen. Under fyllningen utgörs jordlagren av silt som mot djupet övergår till 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 19-28,5 m under markytan. Vid utförda sonderingar har bergets överyta ej verifierats.

Fyllningen utgörs i huvudsak av sand och silt med innehåll av mulljord, lera, gyttja och växtdelar. Fyllningens tjocklek har tolkats till ca 2,0-6,5 m.

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

Silten har enligt utförda sikt- och sedimentationsförsök klassificerats som lerig silt. Silten innehåller även sand och gyttja. Utifrån utvärdering av porttrycksparametern, Bq, från datorprogrammet Conrad bedöms siltens lerinnehåll öka mot djupet. Från ca 9-16 m under markytan tolkas den leriga silten att övergå till en siltig lera. Denna bedömning är dock mycket osäker. Vidare visar sammanställning av Bq-parametern att silten har ett möjligen odränerat beteende ($0,2 \leq Bq \leq 0,4$) ner till ca 5-10 m under markytan och därunder bedöms silten ha ett odränerat beteende ($Bq \geq 0,4$). Utvärderingen av siltens dräneringsförhållanden har utförts enligt *SGI (2023), Utredning av släntstabilitet, Utgåva 1, SGI Vägledning 8, Statens geotekniska institut, (SGI), Linköping*. Siltens hållfasthetsegenskaper bedöms därmed styras av odränerad skjuvhållfasthet. I det följande betraktas därför den leriga silten och den siltiga leran som ett jordlager och benämns silt/lera. I områdets södra del har inlagrad friktionsjord påträffats i den silten/leran på djup varierande mellan ca 17 och 21 m. Friktionsjordslagrets tjocklek har tolkats till ca 0,2 m. Siltens/lerans mäktighet uppgår till ca 15,5-23,5 m.

Siltens/lerans skjuvhållfasthet har bestämts utifrån utvärderade CPTU-R-sonderingar, vingförsök samt direkta skjuvförsök på ostörda jordprover. I delar av jordprofilen där jorden utgörs av siltig lera har skjuvhållfastheten även bestämts utifrån konförsök. Dessutom har den siltens/lerans aktiva skjuvhållfasthet bestämts med triaxialförsök. Siltens/lerans korregerade odränerade skjuvhållfasthet varierar i huvudsak från ca 30-50 kPa närmast under fyllningen till ca 45-60 kPa på 25 m djup under markytan.

Siltens/lerans densitet varierar i allmänhet mellan ca 1,65 och 1,73 t/m³. Den naturliga vattenkvoten har bestämts till ca 45–65 %. Konflytgränsen varierar i huvudsak mellan ca 50 och 60 %.

Bedömning av sensitivitet i siltjordar är mycket osäker. Nedanstående beskrivning berör den del av jordprofilen där den leriga silten bedömts ha övergått till en siltig lera, på ca 9-16 m djup under markytan. Lerans sensitivitet har bestämts vid nu och tidigare utförda laboratorieundersökningar på ostörda jordprover från tre undersökningspunkter. Lerans sensitivitet varierar enligt laboratorieanalyser på ostörda jordprover mellan ca 23 och 78, vilket innebär att leran är mellansensitiv till högsensitiv. Då den omrörda skjuvhållfastheten är högre än 0,4 klassificeras inte leran som kvick, utan enbart som högsensitiv. Förekomsten av kvicklera har även utvärderats från CPTU-R- och trycksonderingar. En detaljerad beskrivning av utvärderingen och en sammanvägd bedömning av förekomst av kvicklera redovisas i kapitel 7.2.

Siltens/lerans överkonsolideringsgrad, OCR, har bestämts med CRS-försök på ostörda jordprover i en undersökningspunkt. Överkonsolideringsgraden varierar mellan ca 1,3 och 1,5.

Friktionsjordens egenskaper har ej undersökts.

7.1.5 Älvlera 32/500

Inga undersökningspunkter har utförts inom ramen för denna fördjupade utredning. Beskrivningen av jordlagerföljd och jordlagrens egenskaper för delområde älvlera 32/500 har gjorts utifrån arkivpunkt BH001 och NO00465C belägna i sektion ca 32/500 respektive ca 32/625 enligt älvens längdmätning. Aktuella undersökningspunkter 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 16,3 m under älvbotten. Vid utförd sondering har bergets överyta ej verifierats.

Leran har påträffats med innehåll av silt, grus, skal och växtdelar. Mellan ca 6,7 och 6,9 m under älvbotten finns inlagrad friktionsjord. Lerans mäktighet har tolkats till ca 15,8 m.

Lerans skjuvhållfasthet har bestämts utifrån, utvärderad CPTU-R-sondering, vingförsök samt konförsök och direkta skjuvförsök på ostörda lerprover. Dessutom har lerans aktiva och passiva skjuvhållfasthet bestämts med triaxialförsök. Lerans korrigerade odränerade skjuvhållfasthet varierar i huvudsak från ca 2-25 kPa närmast under älvbotten till ca 30-40 kPa på 14 m djup under älvbotten.

Lerans densitet varierar i allmänhet mellan ca 1,55 och 1,8 t/m³. Den naturliga vattenkvoten har bestämts till ca 40–80 %. Konflytgränsen varierar i huvudsak mellan ca 40 och 60 %.

Lerans sensitivitet varierar enligt laboratorieanalyser på ostörda jordprover mellan ca 10 och 157, vilket innebär att leran är mellansensitiv till högsensitiv. Den omrörda skjuvhållfastheten är lägre än 0,4 och leran klassificeras därmed 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 en undersökningspunkt. Överkonsolideringsgraden varierar mellan ca 2,8 och 7,5.

Friktionsjordens egenskaper har ej undersökts.

7.1.6 Älvlera 32/800

Inga undersökningspunkter har utförts inom ramen för denna fördjupade utredning. Beskrivningen av jordlagerföljd och jordlagrens egenskaper för delområde älvlera 32/800 har gjorts utifrån arkivpunkt BH002 belägen i sektion ca 32/800 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 12,6 m under älvbotten. Vid utförd sondering har bergets överyta ej verifierats.

Leran har påträffats med innehåll av silt, gyttja och skal. Lerans mäktighet har tolkats till ca 12,5 m.

Lerans skjuvhållfasthet har bestämts utifrån, utvärderad CPTU-R-sondering, vingförsök samt konförsök och direkta skjuvförsök på ostörda lerprover. Dessutom har lerans aktiva och passiva skjuvhållfasthet bestämts med triaxialförsök. Lerans korrigerade odränerade skjuvhållfasthet varierar i huvudsak från ca 13-24 kPa närmast under älvbotten till ca 34-45 kPa på 10 m djup under älvbotten.

Lerans densitet varierar i allmänhet mellan ca 1,63 och 1,66 t/m³. Den naturliga vattenkvoten har bestämts till ca 60–70 %. Konflytgränsen varierar i huvudsak mellan ca 50 och 60 %.

Lerans sensitivitet varierar enligt laboratorieanalyser på ostörda jordprover mellan ca 58 och 90, vilket innebär att leran är högsensitiv. Eftersom den omrörda skjuvhållfastheten är högre än 0,4 klassificeras inte 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 en undersökningspunkt. Överkonsolideringsgraden varierar mellan ca 1,1 och 3,2.

Friktingsjordens 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 9 till Figur 13 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 Strandnära lera norr

Lerans sensitivitet har bestämts vid nu och tidigare utförda laboratorieundersökningar på ostörda jordprover från tre undersökningspunkter. Lerans sensitivitet varierar enligt laboratorieanalyser på ostörda jordprover mellan ca 6 och 91, vilket innebär att leran är lågsensitiv till högsensitiv. Högsensitiv lera har påträffats i arkivpunkt FU00006B, i delområdets norra del, men då sensitiviteten inte överstiger 50 klassificeras leran inte som kvick. I undersökningspunkt 21C213, i delområdets centrala del, har lerans sensitivitet bestämts till över 50 på 5, 6 respektive 8-12 m djup under markytan. Den omrörda skjuvhållfasthet har konstaterats vara lägre än 0,4 på 8-12 m djup under markytan, vilket innebär att leran klassificeras som kvicklera. I undersökningspunkt 21C241, i delområdets södra del, är sensitiviteten över 50 mellan 7 och 10 m djup, men då den omrörda skjuvhållfastheten är högre än 0,4 klassificeras inte leran som kvicklera, utan enbart som högsensitiv.

Utvärdering av mantelfriktion i utförda CPTU-R- och trycksonderingar visar på låg tillväxt mot djupet och förekomst av kvicklera i undersökningspunkt 21C213. I undersökningspunkterna 21C213 och 21C239 (i den norra delen) uppvisar CPTU-R-sonderingarna en resistivitet som är större än 5 ohm/m genom hela lerprofilen och i undersökningspunkt 21C241 är större än 5 ohm/m i den övre delen av lerprofilen och ner till 8 m djup under markytan.

7.2.2 Landlera

Lerans sensitivitet har bestämts vid nu och tidigare utförda laboratorieundersökningar på ostörda jordprover från fem undersökningspunkter. Lerans sensitivitet varierar enligt laboratorieanalyser på ostörda jordprover mellan ca 7 och 49 ner till 4 à 8 m djup under markytan. Detta innebär att leran är lågsensitiv till högsensitiv ner till detta djup. Därunder varierar sensitiviteten mellan ca 20 och 400, 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 i området.

Utvärdering av mantelfriktion i utförda CPTU-R- och trycksonderingar visar på låg tillväxt mot djupet och kvicklera i samtliga undersökningspunkter förutom 21C215, i delområdets norra del, 21C221, i den västra delen samt 21C225 i den södra delen. I samtliga undersökningspunkter uppvisar CPTU-R-sonderingarna en resistivitet som är större än 5 ohm/m genom hela lerprofilen, även i 21C215, 21C221 och 21C225, men där utvärdering av mantelfriktionen inte visar på förekomst av kvicklera.

7.2.3 Strandnära lera syd

Lerans sensitivitet har bestämts vid nu och tidigare utförda laboratorieundersökningar på ostörda jordprover från fem undersökningspunkter. Lerans sensitivitet varierar enligt laboratorieanalyser på ostörda jordprover mellan ca 13 och 62, vilket innebär att leran är mellansensitiv till högsensitiv. Högsensitiv lera har påträffats i samtliga kolvprovtagna undersökningspunkter förutom arkivpunkt NO000352C, i delområdets norra del, där leran klassificeras som mellansensitiv. Sensitivitet över 50 förekommer på 18 m djup i undersökningspunkt 21C218 och 21C218B, i delområdets centrala del, och på 10 m djup i arkivpunkt FU00031B i områdets västra del, men då den omrörda skjuvhållfastheten är högre än 0,4 klassificeras inte leran som kvicklera, utan enbart som högsensitiv.

Utvärdering av mantelfriktion i utförda CPTU-R- och trycksonderingar visar inte på förekomst av kvicklera i någon undersökningspunkt. I samtliga undersökningspunkter uppvisar dock CPTU-R-sonderingarna en resistivitet som är större än 5 ohm/m inom hela eller den övre delen av lerprofilen.

7.2.4 Silt under fyllning

Bedömning av sensitivitet i siltjordar är mycket osäker. Nedanstående beskrivning berör den del av jordprofilen där den leriga silten bedömts ha övergått till en siltig lera, på ca 9-16 m djup under markytan.

Den siltiga lerans sensitivitet har bestämts vid nu och tidigare utförda laboratorieundersökningar på ostörda jordprover från tre undersökningspunkter. Lerans sensitivitet varierar enligt laboratorieanalyser på ostörda jordprover mellan ca 23 och 78, vilket innebär att leran är mellansensitiv till högsensitiv. Högsensitiv lera har påträffats i samtliga kolvprovtagna undersökningspunkter i området. I undersökningspunkt 21C259, i delområdets centrala del, är sensitiviteten 78 på 25 m djup, men då den omrörda skjuvhållfastheten är högre än 0,4 klassificeras inte leran som kvick, utan enbart som högsensitiv.

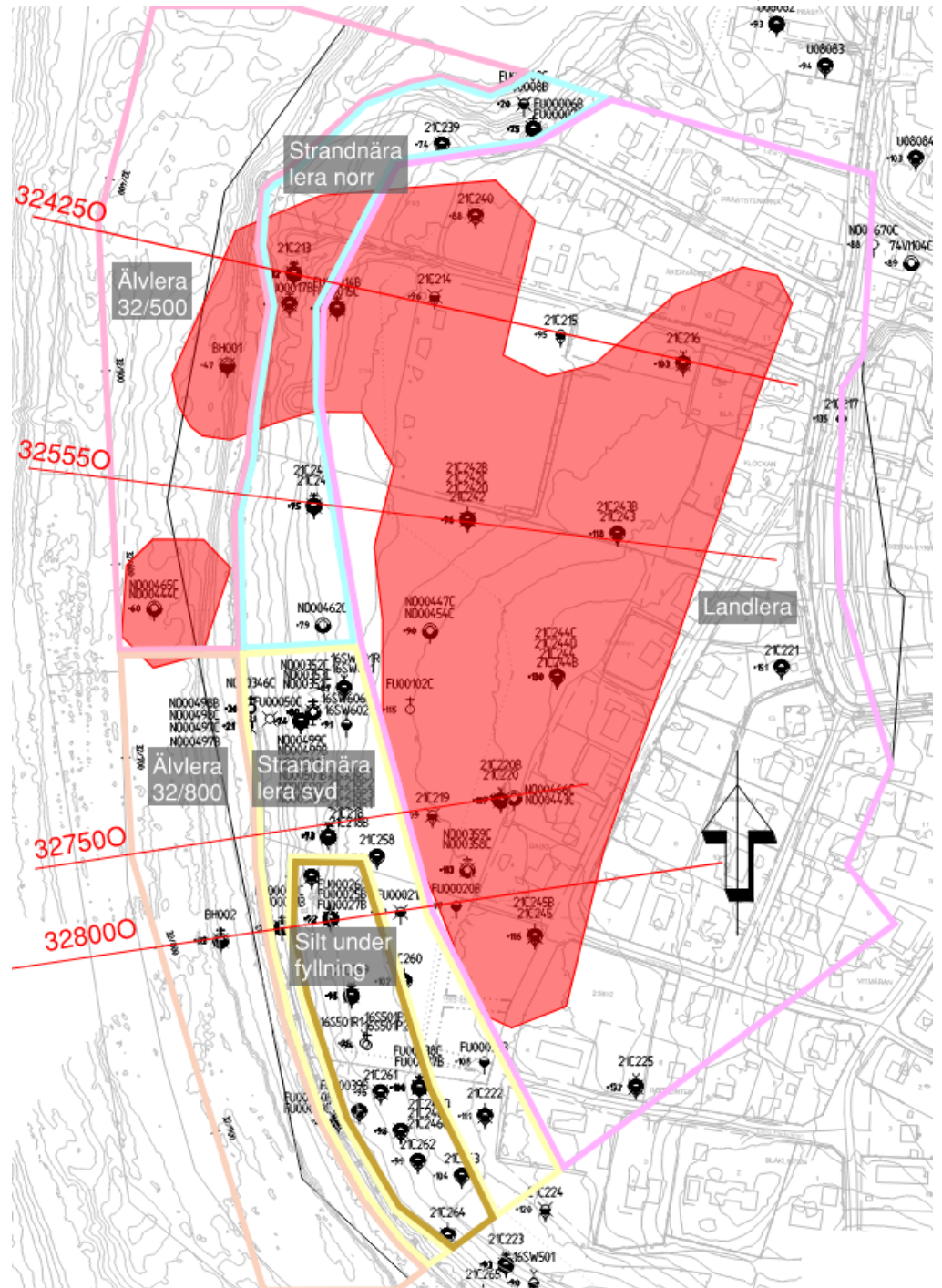
Utvärdering av mantelfriktion i utförda CPTU-R- och trycksonderingar visar inte på förekomst av kvicklera i någon undersökningspunkt. I undersökningspunkterna 21C246, 21C263 och 21C264 (i områdets södra del) uppvisar CPTU-R-sonderingarna en resistivitet som är större än 5 ohm/m genom delar av lerprofilen.

7.2.5 Älvlera 32/500

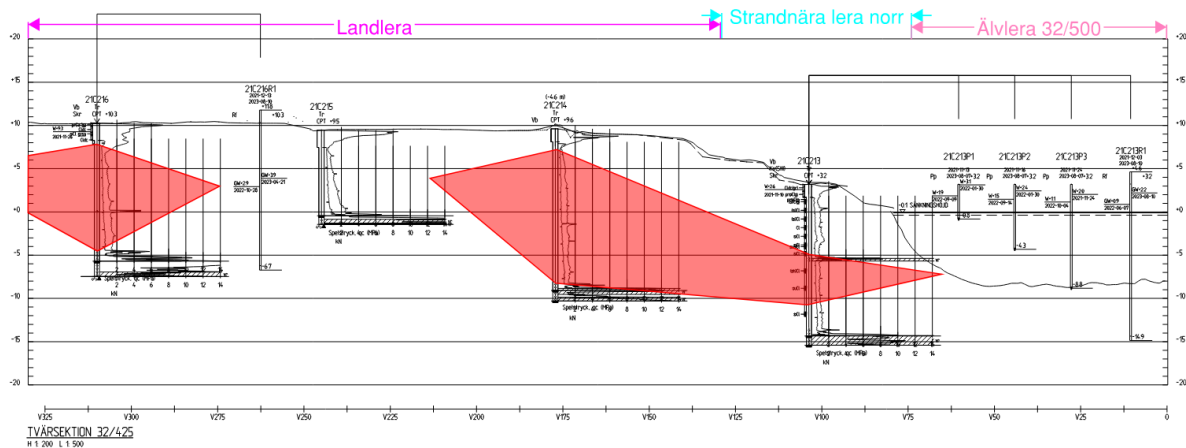
Lerans sensitivitet har bestämts vid utförda laboratorieundersökningar på ostörda jordprover från två undersökningspunkter, BH001 och NO00465C. Lerans sensitivitet varierar enligt laboratorieanalyser på ostörda jordprover mellan ca 10 och 157, vilket innebär att leran är mellansensitiv till högsensitiv. Den omrörda skjuvhållfastheten är lägre än 0,4 och leran klassificeras därmed som kvicklera. Vidare kan konstateras att kvicklera har påträffats i de båda kolvprovtagna punkterna i området.

7.2.6 Älvlera 32/800

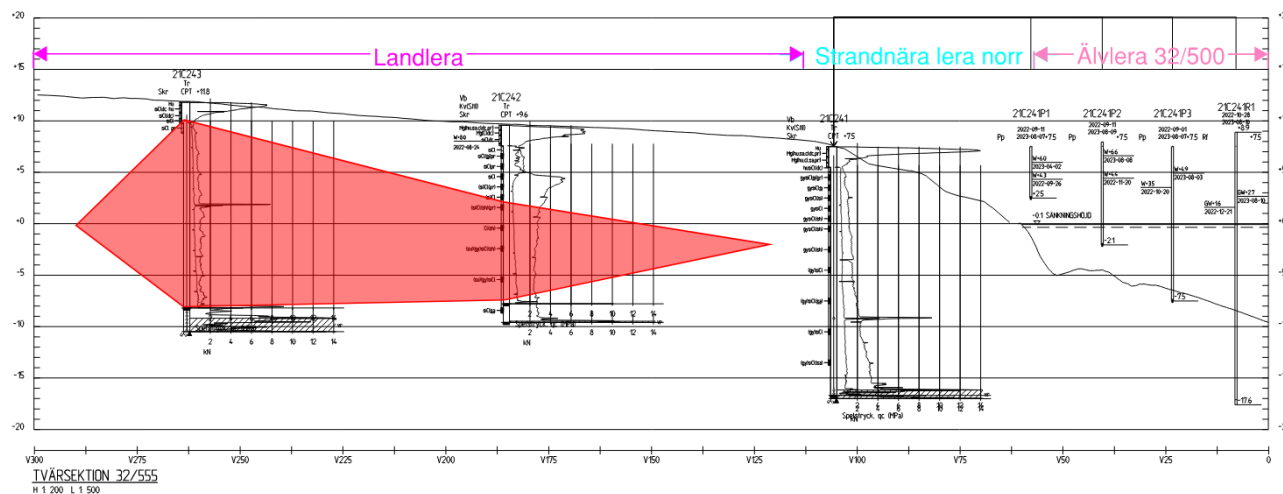
Lerans sensitivitet har bestämts vid utförda laboratorieundersökningar på ostörda jordprover från en arkivpunkt, BH002. Lerans sensitivitet varierar enligt laboratorieanalyser på ostörda jordprover mellan ca 58 och 90, vilket innebär att leran är högsensitiv. Eftersom den omrörda skjuvhållfastheten är högre än 0,4 klassificeras inte leran som kvicklera, utan enbart som högsensitiv.



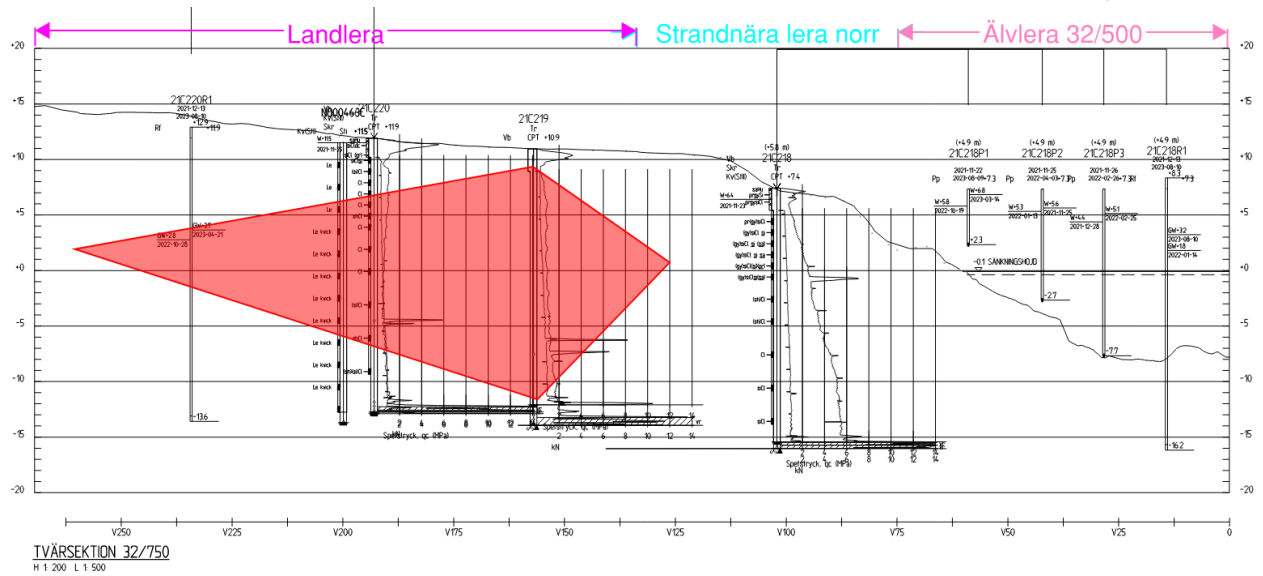
Figur 9 Bedömd förekomst av kvicklera i plan, markerat med röd polygon



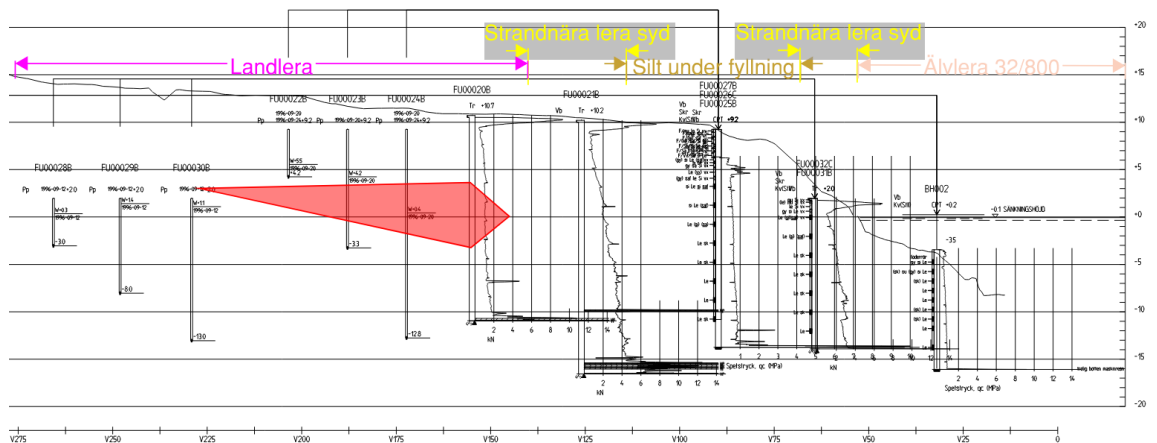
Figur 10 Bedömd förekomst av kvicklera, markerat med röd polygon i sektion 324250



Figur 11 Bedömd förekomst av kvicklera, markerat med röd polygon i sektion 3245550



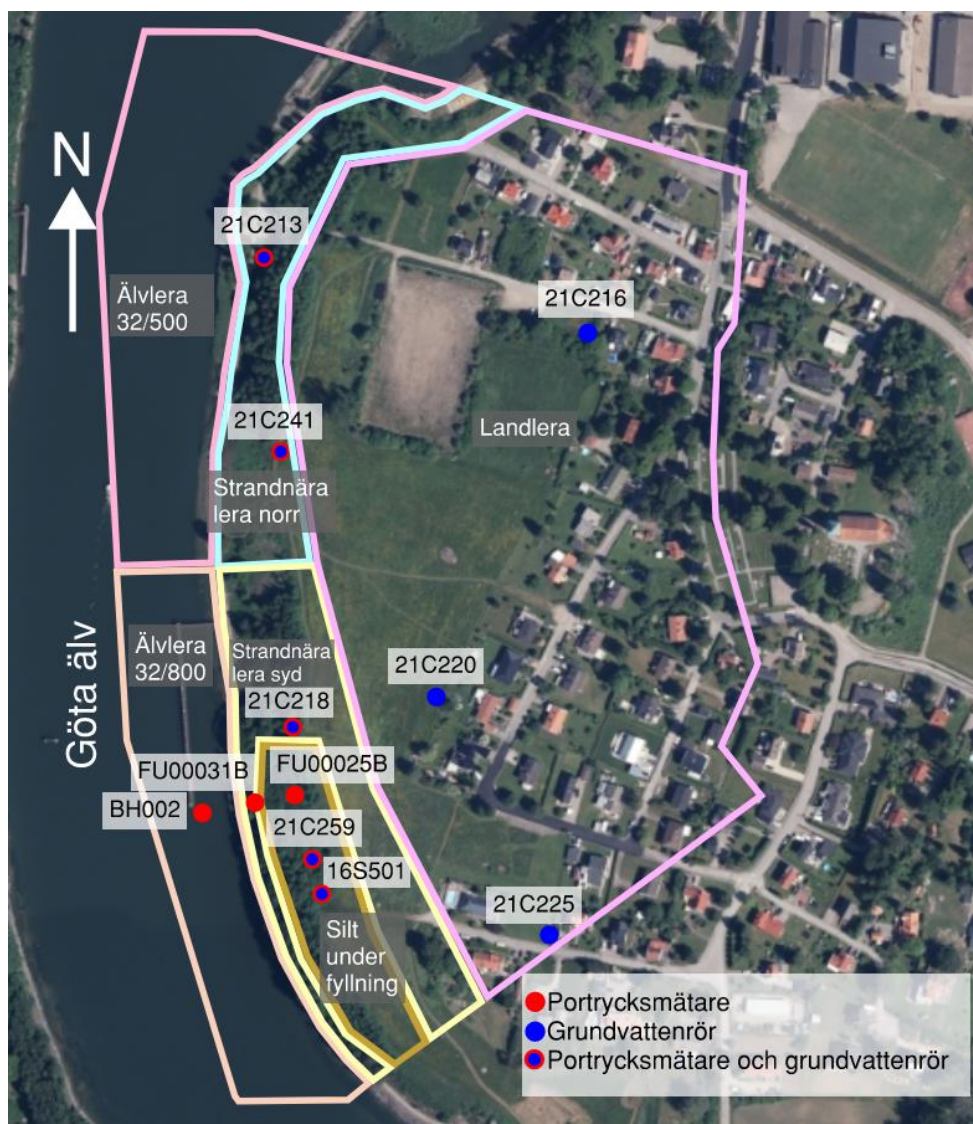
Figur 12 Bedömd förekomst av kvicklera, markerat med röd polygon i sektion 327500



Figur 13 Bedömd förekomst av kvicklera, markerat med röd polygon i sektion 328000

7.3 Hydrogeologiska förhållanden

Planlägen för nu utförda hydrogeologiska undersökningar samt tidigare utförda hydrogeologiska undersökningar som bedömts vara tillförlitliga redovisas översiktligt i Figur 14 nedan. Vattenståndsnivåer i Göta älv redovisas i kapitel 8.4.



Figur 14 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, 2024)

7.3.1 Strandnära lera norr

Hydrogeologiska undersökningar har utförts i två undersökningspunkter, 21C213 och 21C241.

I undersökningspunkt 21C213 har porttrycksspetsar installerats på tre nivåer i leran, på 4 m, 7,5 m och 12 m djup under markytan. Dessutom har ett grundvattenrör installerats i friktionsjorden under leran på 18,1 m djup under markytan. Porttrycksspetsarna har avlästs en gång per dygn under perioden november 2021 till augusti 2023. Grundvattenröret har mätts vid nio tillfällen under perioden december 2021 till augusti 2023. Porttrycksmätningarna på 4 m djup visade på en porttrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 0,1–1,3 m under befintlig markyta, vilket motsvarar nivå +1,9 till +3,1. Porttrycksmätningarna på 7,5 m djup visade på en porttrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 0,8–1,7 m under befintlig markyta, vilket motsvarar nivå +1,5 till +2,4. Porttrycksmätningarna på 12 m djup visade på en porttrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 1,1–2,0 m under befintlig markyta, vilket motsvarar nivå +1,1 till +2,0. Mätningarna i grundvattenröret visade på en trycknivå i friktionsjorden motsvarande en fri grundvattenyta ca 1,0–2,3 m under markytan, vilket motsvarar nivå +0,9 till +2,2. Porttrycksfördelningen mot djupet är således något lägre än hydrostatiskt tryck.

I punkt 21C241 har porttrycksspetsar installerats på tre nivåer i leran, på 5 m, 10 m och 15 m djup under markytan. Dessutom har ett grundvattenrör installerats i friktionsjorden under leran på 25,1 m djup under markytan. Porttrycksspetsarna har avlästs en gång per dygn under perioden september 2022 till augusti 2023. Grundvattenröret har mätts vid fem tillfällen under perioden oktober 2022 till augusti 2023. Porttrycksmätningarna på 5 m djup visade på en porttrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 1,5 till 3,2 m under befintlig markyta, vilket motsvarar nivå +4,3 till +6,0. Porttrycksmätningarna på 10 m djup visade på en porttrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 1,3 till 3,5 m under befintlig markyta, vilket motsvarar nivå +4,0 till +6,2. Porttrycksmätningar på 15 m djup visade på en porttrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 2,6 till 4,0 m under befintlig markytan, motsvarande nivå +3,5 till +4,9. Porttrycksfördelningen mot djupet är således i stort sett hydrostatisk ner till ca 15 m djup under markytan. Därunder är porttrycksfördelningen mot djupet något lägre än hydrostatiskt tryck.

7.3.2 Landlera

Hydrogeologiska undersökningar har vid geotekniska undersökningar utförts i tre undersökningspunkter, 21C216, 21C220 och 21C225.

I punkt 21C216 har ett grundvattenrör installerats i friktionsjorden under leran på 17 m djup under markytan. Grundvattenröret har mätts vid nio tillfällen under perioden december 2021 till augusti 2023. Mätningar i grundvattenröret visade på en trycknivå i friktionsjorden motsvarande en fri grundvattenyta ca 6,4–7,4 m under markytan, vilket motsvarar nivå +2,9 till +3,9.

I punkt 21C220 har ett grundvattenrör installerats i friktionsjorden under leran på 25,5 m djup under markytan. Grundvattenröret har mätts vid nio tillfällen under perioden december 2021 till augusti 2023. Mätningar i grundvattenröret visade på en trycknivå i friktionsjorden motsvarande en fri grundvattenyta ca 8,2–9,1 m under markytan, vilket motsvarar nivå +2,8 till +3,7.

I punkt 21C225 har ett grundvattenrör installerats i friktionsjorden under leran på 5,5 m djup under markytan. Grundvattenröret har mätts vid nio tillfällen under perioden december 2021 till augusti 2023. Mätningar i grundvattenröret visade på en trycknivå i friktionsjorden motsvarande en fri grundvattenyta ca 3,2–4,4 m under markytan, vilket motsvarar nivå +8,9 till +10,1.

Grundvattnets trycknivå i undersökningspunkt 21C225 är således högre än i undersökningspunkterna 21C216 och 21C220 belägna längre norr ut. Detta kan delvis bero på att friktionsjordslagret ligger på en högre nivå i undersökningspunkt 21C225. Eventuellt kan grundvattenrören sitta i olika grundvattenmagasin.

7.3.3 Strandnära lera syd

Hydrogeologiska undersökningar har vid nu och tidigare geotekniska undersökningar utförts i två undersökningspunkter, 21C218 och FU00031B.

I punkt 21C218 har portrycksspetsar installerats på tre nivåer i leran, på 5 m, 10 m och 15 m djup under markytan. Dessutom har ett grundvattenrör installerats i friktionsjorden under leran på 23,5 m djup under markytan. Portrycksspetsen på 5 m djup har avlästs en gång per dygn under perioden november 2021 till augusti 2023. Portrycksspetsen på 10 m djup har avlästs en gång per dygn under perioden november 2021 till april 2022. Därefter har uppmätta portryck ej bedömts vara representativa. Portrycksspetsen på 15 m djup har avlästs en gång per dygn under perioden november 2021 till februari 2022. Därefter har uppmätta portryck ej bedömts vara representativa. Grundvattenröret har mätts vid nio tillfällen under perioden december 2021 till augusti 2023.

Portrycksmätningarna på 5 m djup visade på en portrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 0,5–1,5 m under befintlig markyta, vilket motsvarar nivå +5,8 till +6,8. Portrycksmätningarna på 10 m djup visade på en portrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 1,7–2,0 m under befintlig markyta, vilket motsvarar nivå +5,3 till +5,6. Portrycksmätningarna på 15 m djup visade på en portrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 2,2–2,9 m under befintlig markyta, vilket motsvarar nivå +4,4 till +5,1. Mätningarna i grundvattenröret visade på en trycknivå i friktionsjorden motsvarande en fri grundvattenyta ca 4,1–5,5 m under markytan, vilket motsvarar nivå +1,8 till +3,2. Portrycksfördelningen mot djupet är således något lägre än hydrostatisk tryck. Troligtvis beror detta på att friktionsjorden under leran står i hydraulisk kontakt med Göta älv.

I punkt FU00031B har portrycksspetsar installerats på tre nivåer i leran, på 5 m, 10 m och 15 m djup under markytan. Portrycksspetsarna har avlästs en till fyra gånger under perioden september till november 1996. Portrycksmätningarna på 5 m djup under markytan visade på en portrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 1,6 m under markytan, vilket motsvarar nivå +0,3. Portrycksmätningarna på 10 m djup visade på en portrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 0,5–1,3 m under markytan, vilket motsvarar nivå +0,6 till +1,4. Portrycksmätningarna på 15 m djup visade på en portrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 0,9–1,6 m under markytan, vilket motsvarar nivå +0,3 till +1,1. Portrycksfördelningen mot djupet är således i stort sett hydrostatisk. Uppmätta trycknivåer överensstämmer med medelvattennivån i Göta älv.

7.3.4 Silt under fyllning

Hydrogeologiska undersökningar har vid nu och tidigare geotekniska undersökningar utförts i tre undersökningspunkter, 21C259, FU00025B och 16S501. I nedanstående beskrivning benämns den leriga silten och den siltiga leran som ett jordlager, silt/lera.

I punkt 21C259 har portrycksspetsar installerats på tre nivåer i leran/silten, på 5 m, 10 m och 15 m djup under markytan. Dessutom har ett grundvattenrör installerats i friktionsjorden under silten/leran på 28,7 m djup under markytan. Portrycksspetsarna på 5 respektive 10 m djup har avlästs en gång per dygn under perioden februari till augusti 2023. Portrycksspetsen på 15 djup har avlästs en gång per dygn under perioden februari till juni 2023. Därefter har uppmätta portryck ej bedömts vara representativa. Grundvattenröret har mätts vid tre tillfällen under perioden februari till augusti 2023. Portrycksmätningarna på 5 m djup visade på en portrycksnivå i silten/leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 3,3–3,7 m under befintlig markyta, vilket motsvarar nivå +5,8 till +6,2. Portrycksmätningarna på 10 m djup visade på en portrycksnivå i silten/leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 5,2–5,6 m under befintlig markyta, vilket motsvarar nivå +3,9 till +4,3. Portrycksmätningarna på 15 m djup visade på en portrycksnivå i silten/leran motsvarande en fri grundvattenyta

ca 5,2-5,7 m under befintlig markyta, vilket motsvarar nivå +3,8 till +4,2. Mätningarna i grundvattenröret visade på en trycknivå i friktionsjorden motsvarande en fri grundvattenyta ca 7,0-9,0 m under markytan, vilket motsvarar nivå +1,3 till +3,3. Portrycksfördelningen mot djupet är således lägre än hydrostatisk mellan 5 och 10 m djup. Mellan 10 och 15 m djup är portrycksfördelningen hydrostatisk. Från 15 m djup under markytan är portrycksfördelningen något lägre än hydrostatiskt tryck. Portrycksfördelningen i jordprofilens nedre del är således något lägre än hydrostatiskt tryck. Troligtvis beror detta på att friktionsjorden under silten/leran står i hydraulisk kontakt med Göta älv.

I punkt FU00025B har portrycksspetsar installerats på tre nivåer i silten/leran, på 5 m, 12 m och 22 m djup under markytan. Portrycksspetsarna har avlästs en till fem gånger under perioden september till november 1996. Portrycksmätningarna på 5 m djup under markytan visade på en portrycksnivå i silten/leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 2,2-3,7 m under markytan motsvarande nivå +5,5 till +7,0. Portrycksmätningarna på 12 m djup visade på en portrycksnivå i silten/leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 5,0-8,1 m under markytan motsvarande nivå +1,2 till +4,3. Portrycksmätningarna på 22 m djup visade på en portrycksnivå i silten/leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 8,8-10,4 m under markytan motsvarande nivå -1,2 till +0,4. Uppmätt lägsta nivå låg således lägre än nivå för lägsta lågvatten i Göta älv. Sammantaget är portrycksfördelningen mot djupet lägre än hydrostatiskt tryck. Troligtvis beror detta på att friktionsjorden under silten/leran står i hydraulisk kontakt med Göta älv.

I punkt 16S501 har portrycksspetsar installerats på en nivå i silten/leran på 15 m och 24 m under markytan. Dessutom har ett grundvattenrör installerats i friktionsjorden under silten/leran på 30 m djup under markytan. Portrycksspetsen på 15 m djup har avlästs en gång per dygn med vissa uppehåll (april 2007 till juli 2011, oktober 2012 till mars 2013, oktober 2013 till december 2015) under perioden november 2005 till februari 2016. Portrycksspetsen på 24 m djup har avlästs en gång per dygn med vissa uppehåll (april 2007 till juli 2011, november 2012 till februari 2013 och april 2013 till september 2013) under perioden november 2005 till oktober 2013. Grundvattenröret har avlästs en gång i timmen under perioden december 2015 till mars 2016. Portrycksmätningarna på 15 m djup visade på en portrycksnivå i silten/leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 5,1-7,5 m under markytan motsvarande nivå +2,0 till +4,4. Portrycksmätningarna på 24 m djup visade på en portrycksnivå i silten/leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 4,5-8,7 m under markytan motsvarande nivå +0,7 till +5,0. Mätningarna i grundvattenröret visade på en trycknivå i friktionsjorden motsvarande en fri grundvattenyta ca 6,5-7,5 m under markytan, vilket motsvarar nivå +2,0 till +3,0. Portrycksfördelningen mot djupet är således i stort sett hydrostatisk.

7.3.5 Älvlera 32/500

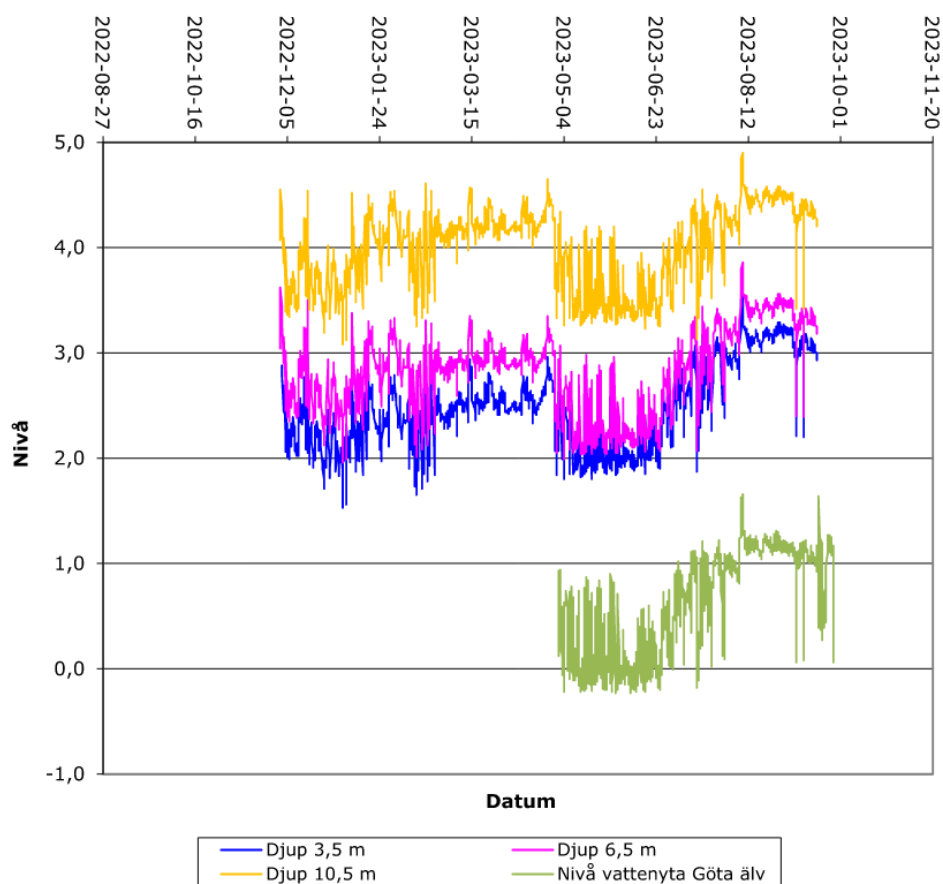
Inga hydrogeologiska undersökningar har utförts inom delområde älvlera 32/500. Dimensionerade vattenståndsnivåer för Göta älv redovisas i kapitel 8.4.

7.3.6 Älvlera 32/800

Hydrogeologiska undersökningar har vid tidigare geotekniska undersökningar utförts i en arkivpunkt, BH002.

I punkt BH002 har porttrycksspetsar installerats på tre nivåer i leran, på 3,5 m, 6,5 m och 10,5 m djup under älvbotten. Porttrycksspetsarna har avlästs fyra gånger per dygn under perioden december 2022 till augusti 2023. Porttrycksmätningarna på 3,5 m djup visade på en porttrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 5,0-7,1 m över älvbotten, vilket motsvarar nivå +1,5 till +3,6. Detta innebär en porttrycksnivå ca 0,6 till 2,7 m över medelvattenståndet i Göta älv. Porttrycksmätningarna på 6,5 m djup visade på en porttrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 5,5-7,4 m över älvbotten, vilket motsvarar nivå +2,0 till +3,9. Detta innebär en porttrycksnivå ca 1,1 till 3,0 m över medelvattenståndet i Göta älv. Porttrycksmätningarna på 10,5 m djup visade på en porttrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 6,6-8,4 m över älvbotten, vilket motsvarar nivå +3,1 till +4,9. Detta innebär en porttrycksnivå ca 2,2 till 4,0 m över medelvattenståndet i Göta älv.

Uppmätta porttryck i arkivpunkt BH002 bedöms ej vara tillförlitliga på grund av att fluktuationen är starkt korrelerad till aktuellt vattenstånd i Göta älv, se Figur 15. Dessutom är porttrycksfördelningen mot djupet betydligt större än den hydrostatiska fördelningen, vilket inte överensstämmer med porttrycksmätningarna i arkivpunkt FU00031B inom delområde strandnära lera syd.



Figur 15 Uppmätta portrycksnivåer mot tid i undersökningspunkt BH002 jämfört med vattenytans nivå i Göta älv. (blå linje är portrycksspetsen på 3,5 m djup under älvbotten, cerise linje är portrycksspetsen på 6,5 m djup under älvbotten, gul linje är portrycksspetsen på 10,5 m djup under älvbotten och grön linje är vattenytans nivå i Göta älv)

Dimensionerande 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.

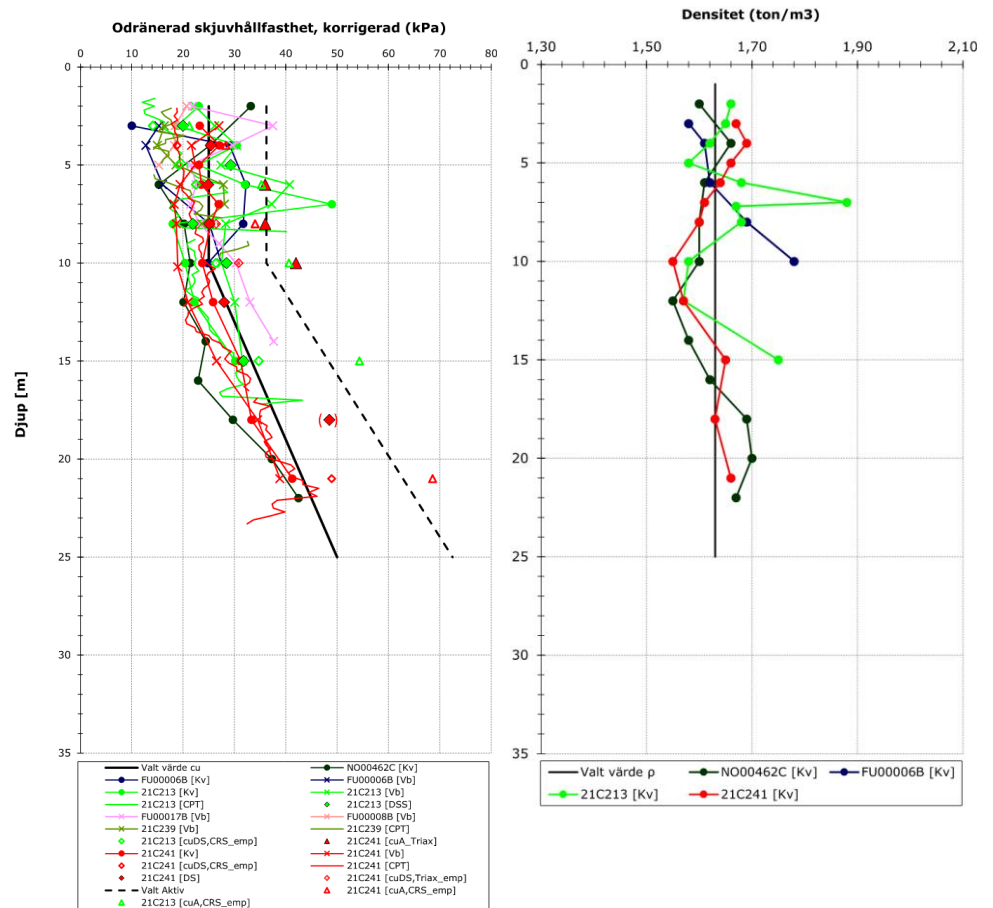
8.1 Beräkningsparametrar

Valda karakteristiska beräkningsparametrar för jordens hållfasthetsegenskaper och tunghet för respektive delområde redovisas i Bilaga 4. Valda parametrar för lerans korrigerade 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 kohasionsinterceptet $c'_k = 0,1 \cdot c_{uk}$ och $\Phi'_k = 30^\circ$.

8.1.1 Strandnära lera norr

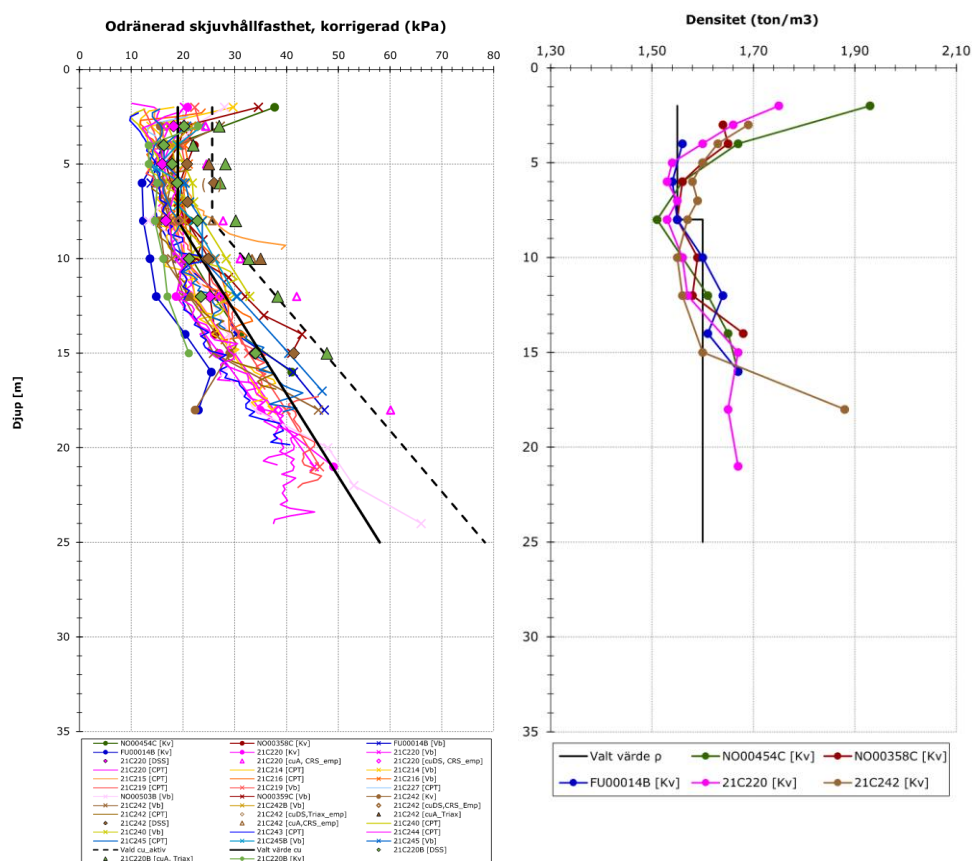
Tabeller med valda beräkningsparametrar redovisas i Bilaga 4. Vald odränerad skjuvhållfasthet och vald tunghet mot djup redovisas i diagram i Figur 16, samt i Bilaga 1 och Bilaga 2.



Figur 16 Diagram med valda värden för skjuvhållfasthet och densitet för delområde strandnära lera norr. Diagrammen redovisas i större skala i Bilaga 1 och Bilaga 2

8.1.2 Landlera

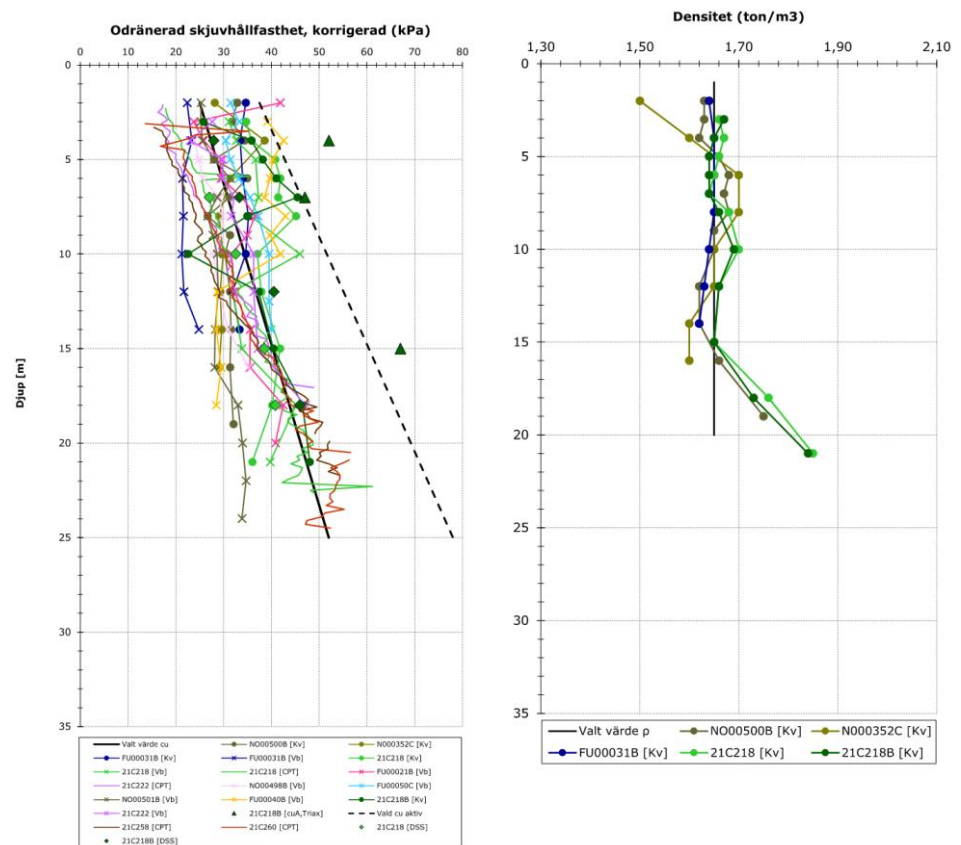
Tabeller med valda beräkningsparametrar redovisas i Bilaga 4. Vald odränerad skjuvhållfasthet och vald tunghet mot djup redovisas i diagram i Figur 17, samt i Bilaga 1 och Bilaga 2.



Figur 17 Diagram med valda värden för skjuvhållfasthet och densitet för delområde landlera. Diagrammen redovisas i större skala i Bilaga 1 och Bilaga 2

8.1.3 Strandnära lera syd

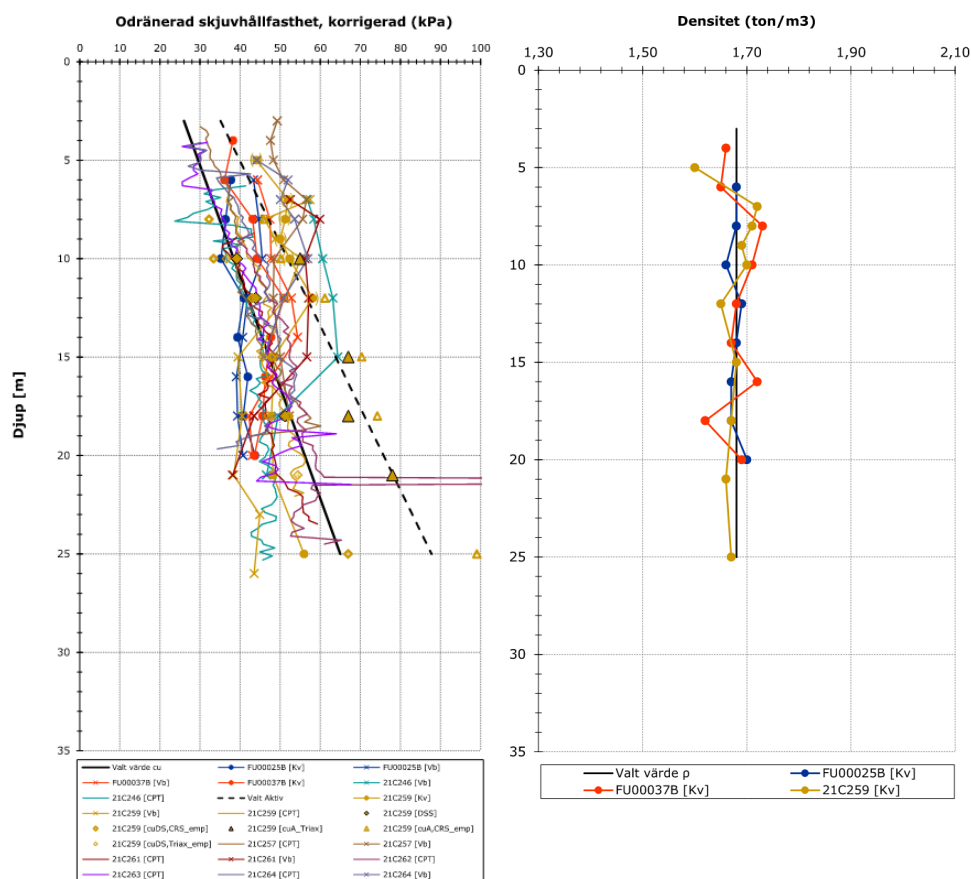
Tabeller med valda beräkningsparametrar redovisas i Bilaga 4. Vald odränerad skjuvhållfasthet och vald tunghet mot djup redovisas i diagram i Figur 18, samt i Bilaga 1 och Bilaga 2.



Figur 18 Diagram med valda värden för skjuvhållfasthet och densitet för delområde strandnära lera syd. Diagrammen redovisas i större skala i Bilaga 1 och Bilaga 2

8.1.4 Silt under fyllning

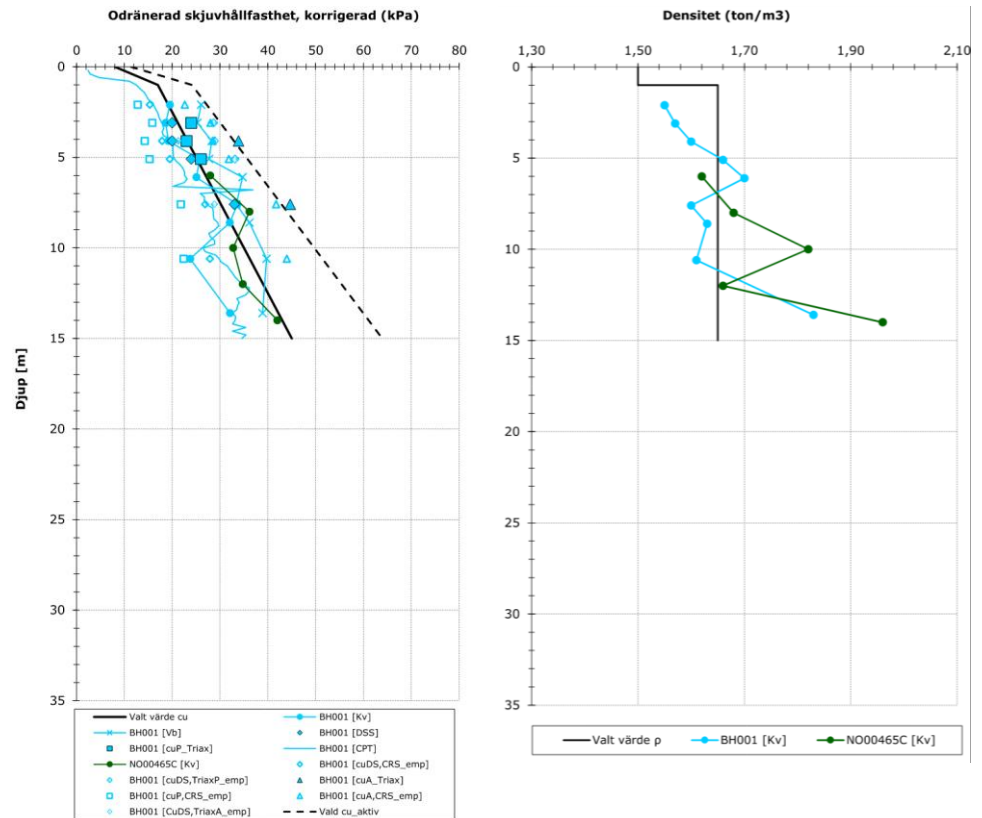
Tabeller med valda beräkningsparametrar redovisas i Bilaga 4. Vald odränerad skjuvhållfasthet och vald tunghet mot djup redovisas i diagram i Figur 19, samt i Bilaga 1 och Bilaga 2.



Figur 19 Diagram med valda värden för skjuvhållfasthet och densitet för delområde silt under fyllning. Diagrammen redovisas i större skala i Bilaga 1 och Bilaga 2

8.1.5 Älvlera 32/500

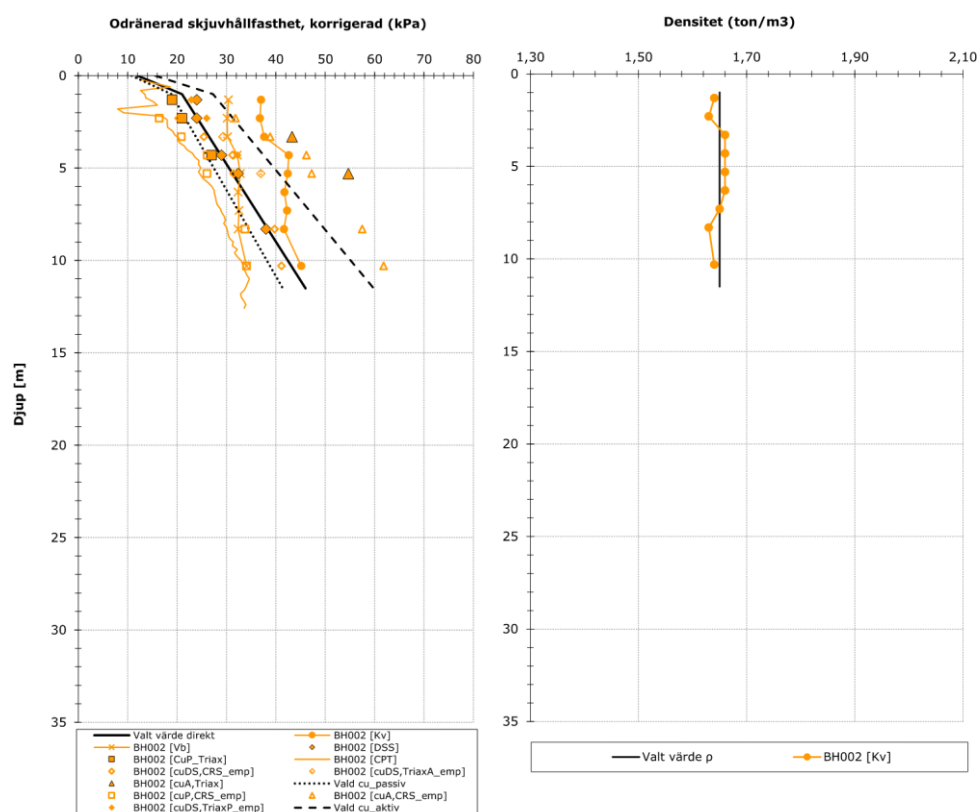
Tabeller med valda beräkningsparametrar redovisas i Bilaga 4. Vald odränerad skjuvhållfasthet och vald tunghet mot djup redovisas i diagram i Figur 20, samt i Bilaga 1 och Bilaga 2.



Figur 20 Diagram med valda värden för skjuvhållfasthet och densitet för delområde älvlera 32/500
Diagrammen redovisas i större skala i Bilaga 1 och Bilaga 2

8.1.6 Älvlera 32/800

Tabeller med valda beräkningsparametrar redovisas i Bilaga 4. Vald odränerad skjuvhållfasthet och vald tunghet mot djup redovisas i diagram i Figur 21, samt i Bilaga 1 och Bilaga 2.

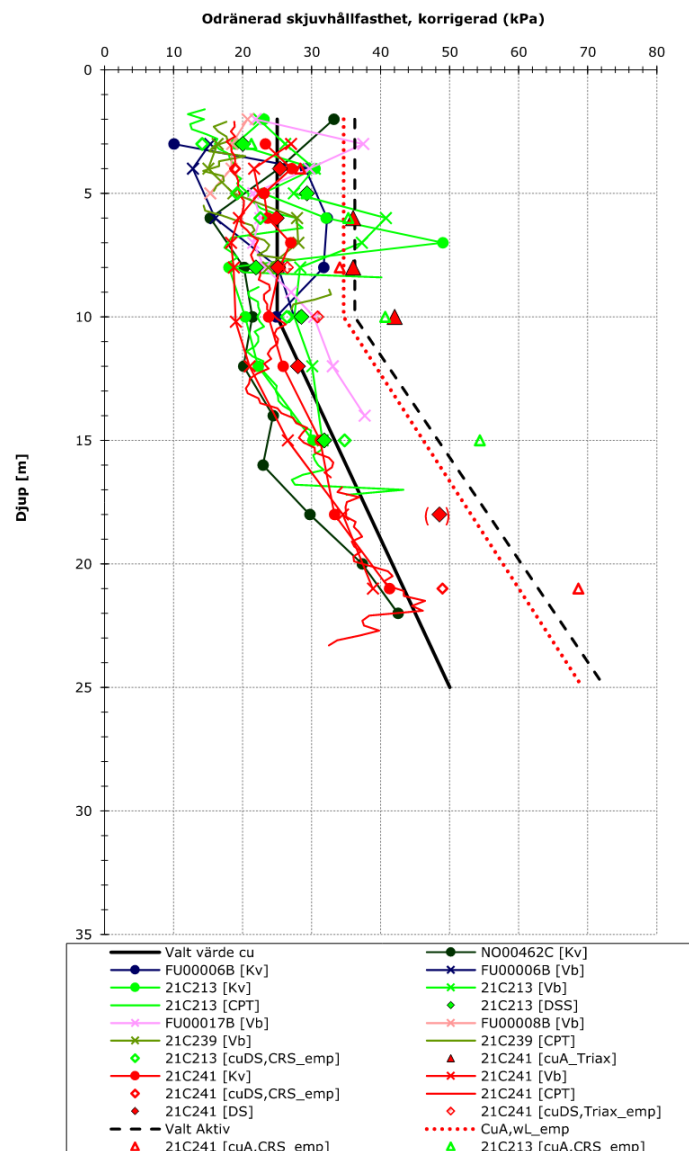


Figur 21 Diagram med valda värden för skjuvhållfasthet och densitet för delområde älvlera 32/800. Diagrammen redovisas i större skala i Bilaga 1 och Bilaga 2

8.2 Anisotropifunktion

8.2.1 Strandnära lera norr

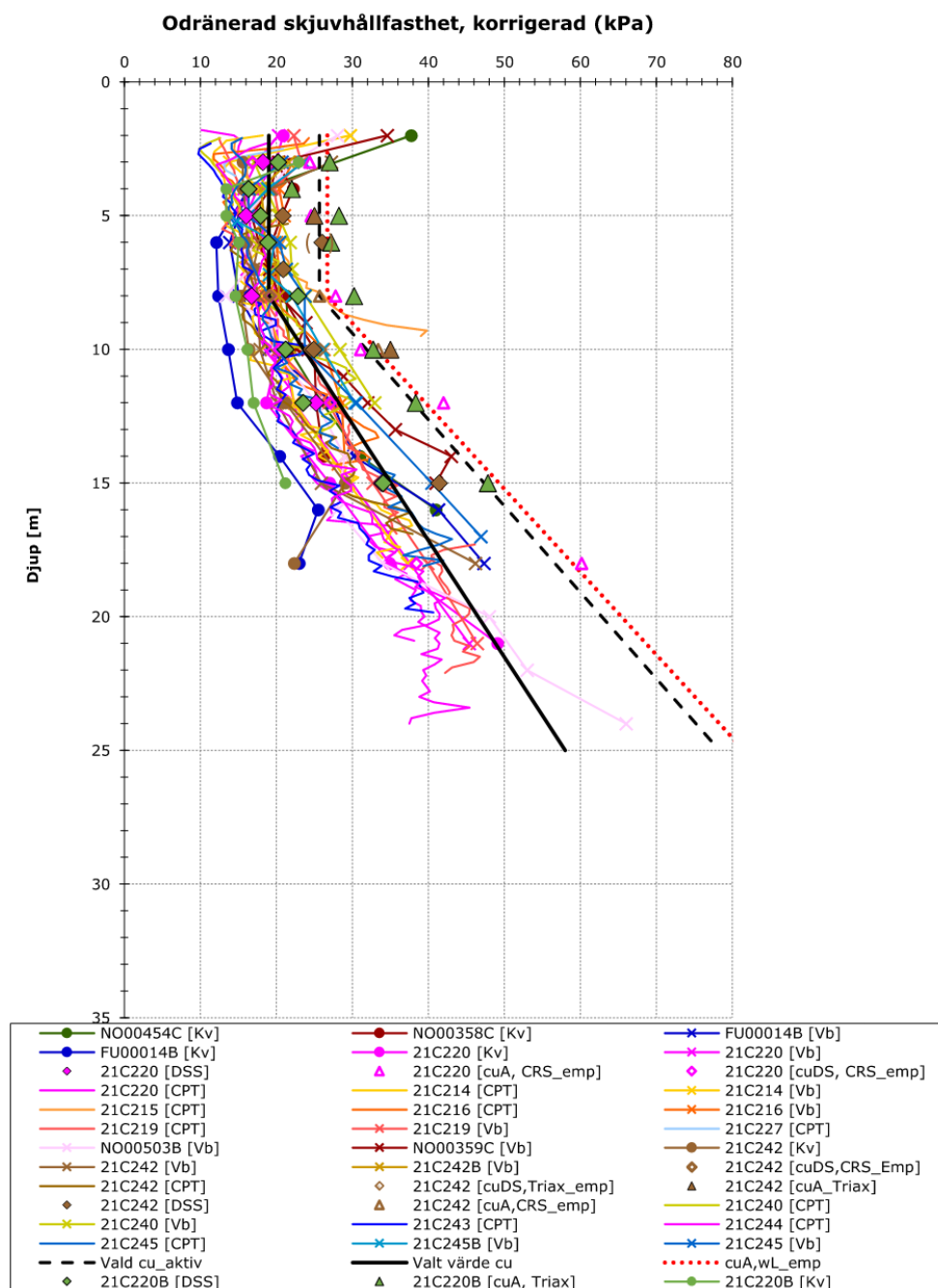
Inom delområde strandnära lera norr har aktiva triaxialförsök utförts i undersökningspunkt 21C241. Den aktiva skjuvhållfasthetsfördelningen har valts utifrån resultaten av triaxialförsöken, se Figur 22. Kvoten mellan den valda aktiva skjuvhållfastheten och den valda direkta skjuvhållfastheten uppgår till 1,45 för ett skjuvplan med lutningen $\alpha = 60^\circ$. Med hjälp av ekvationen som redovisas i kapitel 5 erhålls ett värde på vilojordstryckscoefficienten K_{0NC} på ca 0,59.



Figur 22 Vald direkt skjuvhållfasthet (heldragen svart linje) och vald aktiv skjuvhållfasthet (streckad svart linje) för delområde strandnära lera norr

8.2.2 Landlera

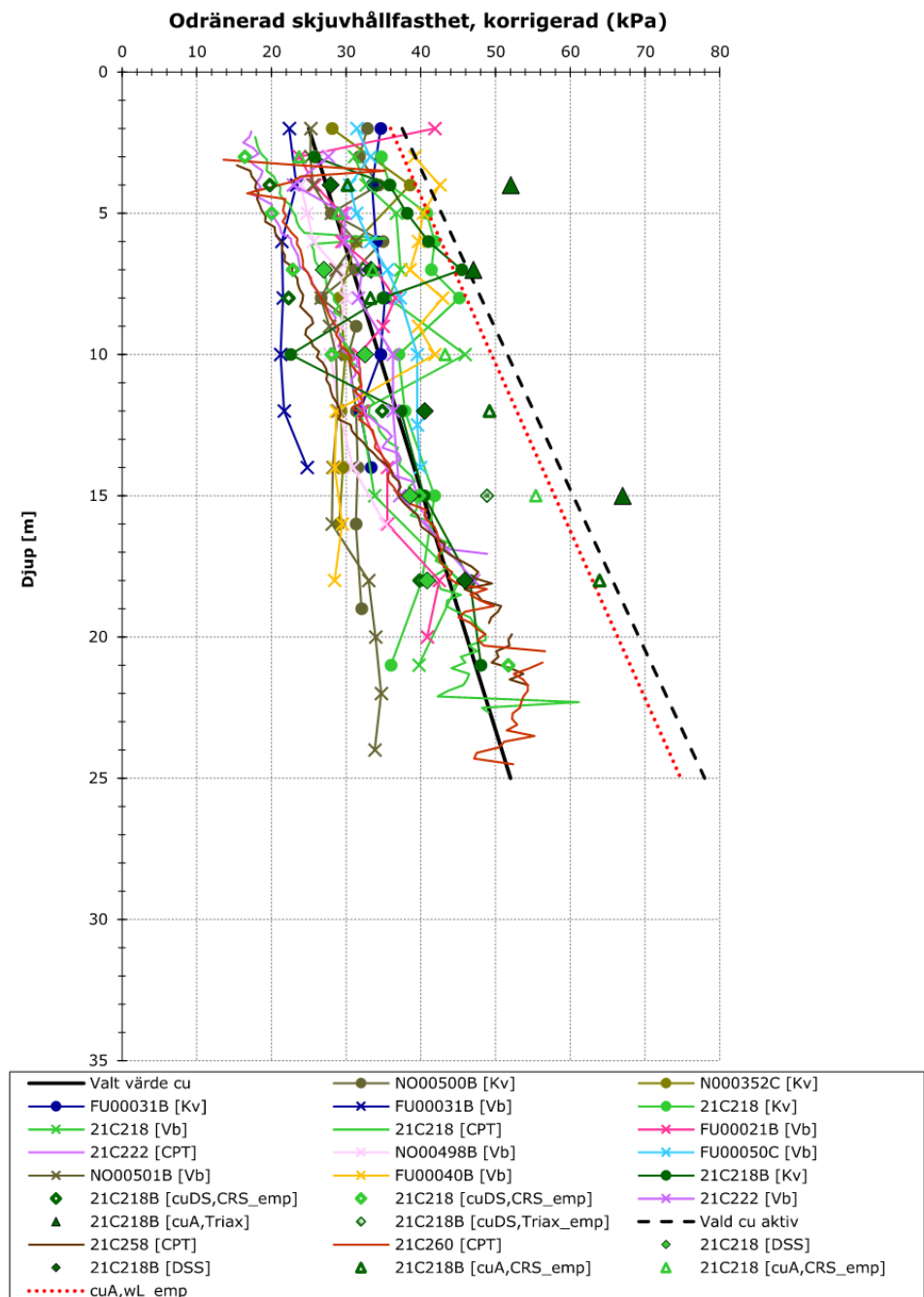
Inom delområde landlera har aktiva triaxialförsök utförts i två undersökningspunkter, 21C220B och 21C242. Den aktiva skjuvhållfasthetsfördelningen har valts utifrån resultaten av triaxialförsöken, se Figur 23. Kvoten mellan den valda aktiva skjuvhållfastheten och den valda direkta skjuvhållfastheten uppgår till 1,35 för ett skjuvplan med lutningen $\alpha = 60^\circ$. Med hjälp av ekvationen som redovisas i kapitel 5 erhålls ett värde på vilojordstryckscoefficienten K_{0NC} på ca 0,65.



Figur 23 Vald direkt skjuvhållfasthet (heldragen svart linje) och vald aktiv skjuvhållfasthet (streckad svart linje) för delområde landlera

8.2.3 Strandnära lera syd

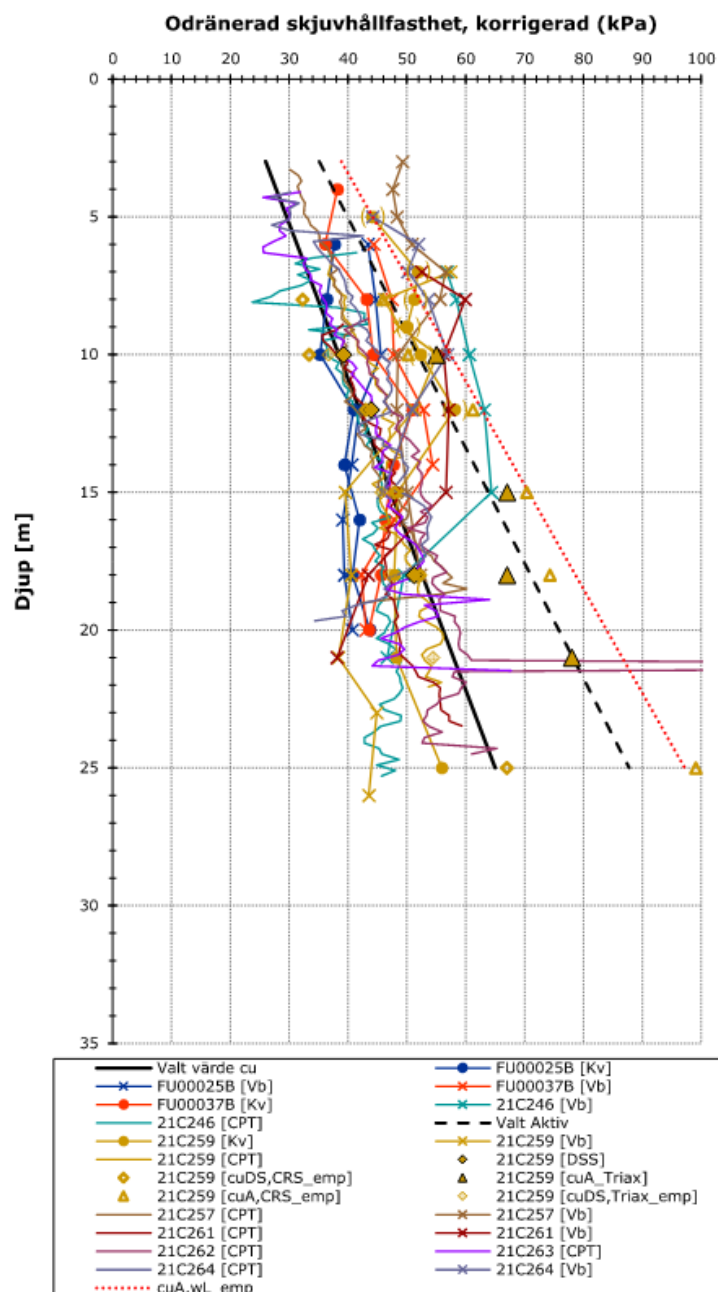
Inom delområdet strandnära lera syd har aktiva triaxialförsök utförts i undersökningspunkt 21C218B. Den aktiva skjuvhållfasthetsfördelningen har valts utifrån resultaten av triaxialförsöken, se Figur 24. Kvoten mellan den valda aktiva skjuvhållfastheten och den valda direkta skjuvhållfastheten uppgår 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 24 Vald direkt skjuvhållfasthet (heldragen svart linje) och vald aktiv skjuvhållfasthet (streckad svart linje) för delområdet strandnära lera syd

8.2.4 Silt under fyllning

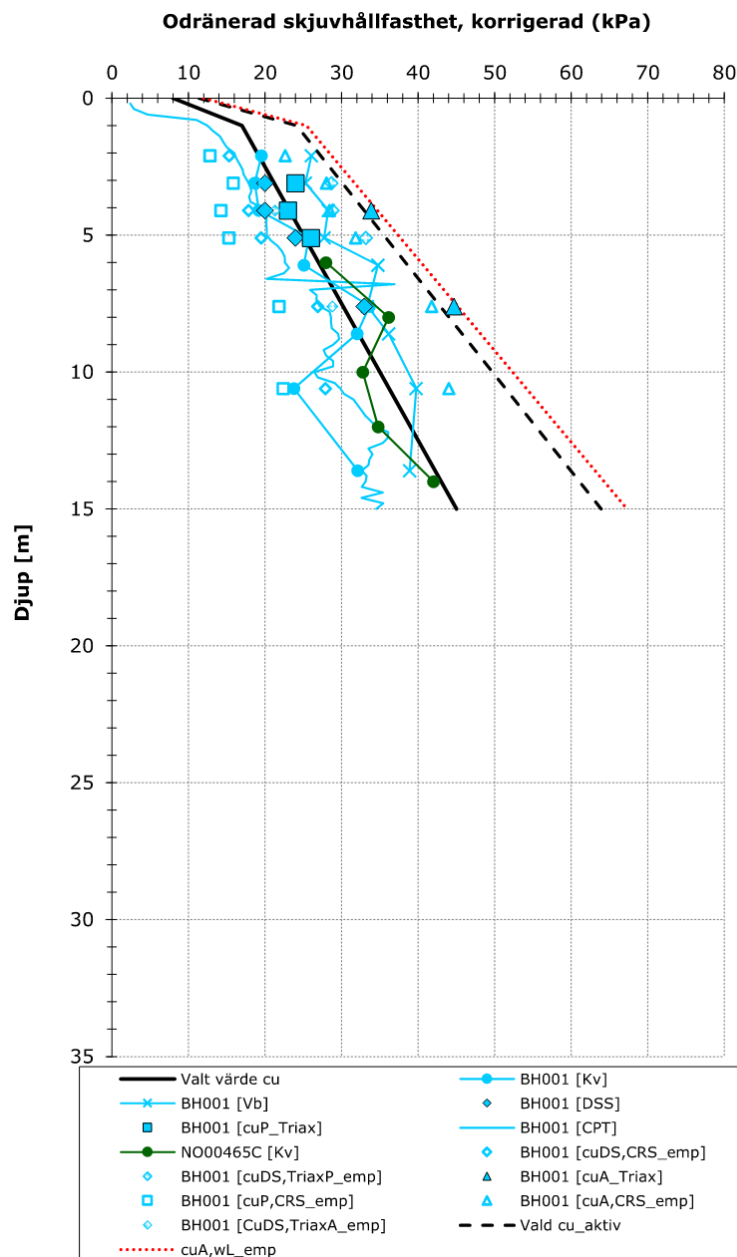
Inom delområde silt under fyllning har aktiva triaxialförsök utförts i undersökningspunkt 21C259. Den aktiva skjuvhållfasthetsfördelningen har valts utifrån resultaten av triaxialförsöken, se Figur 25. Kvoten mellan den valda aktiva skjuvhållfastheten och den valda direkta skjuvhållfastheten uppgår till 1,35 för ett skjuvplan med lutningen $\alpha = 60^\circ$. Med hjälp av ekvationen som redovisas i kapitel 5 erhålls ett värde på vilojordstryckskoeficienten K_{0NC} på ca 0,65.



Figur 25 Vald direkt skjuvhållfasthet (heldragen svart linje) och vald aktiv skjuvhållfasthet (streckad svart linje) för delområde silt under fyllning

8.2.5 Älvlera 32/500

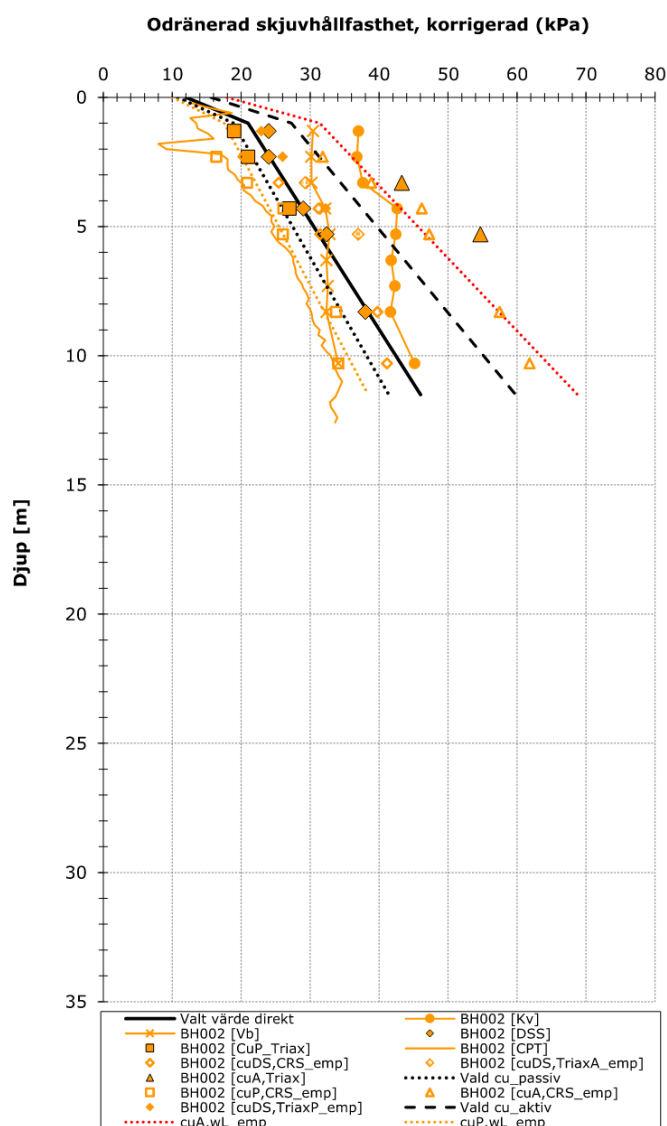
Inom delområdet älvlera 32/500 har passiva och aktiva triaxialförsök utförts i arkivpunkt BH001. På grund av att resultaten av de passiva triaxialförsöken är högre än resultaten av direkta skjuvförsöken väljs den passiva skjuvhållfasthetsfördelningen till samma som för den direkta skjuvhållfastheten. Kvoten mellan den valda passiva skjuvhållfastheten och den valda direkta skjuvhållfastheten uppgår således till 1,0. Den aktiva skjuvhållfasthetsfördelningen har valts utifrån resultaten av triaxialförsöken, se Figur 26. Kvoten mellan den valda aktiva skjuvhållfastheten och den valda direkta skjuvhållfastheten uppgår till 1,42 för ett skjuvplan med lutningen $\alpha = 60^\circ$, vilket ger ett värde på vilojordstryckskoefficienten, K_{0NC} på ca 0,61.



Figur 26 Vald direkt skjuvhållfasthet (heldragen svart linje) och vald aktiv skjuvhållfasthet (streckad svart linje) för delområdet älvlera 32/500

8.2.6 Älvlera 32/800

Inom delområde älvlera 32/800 har passiva och aktiva triaxialförsök utförts i arkivpunkt BH002. Den passiva skjuvhållfasthetsfördelningen har valts utifrån resultaten av passiva triaxialförsök, se Figur 27. Kvoten mellan den valda passiva skjuvhållfastheten och den valda direkta skjuvhållfastheten uppgår till 0,9 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 0,69. Valet av den aktiva skjuvhållfasthetsfördelningen har anpassats för att erhålla samma värde på K_{0NC} som erhålls vid valet av passiv skjuvhållfasthet. För ett värde på K_{0NC} på 0,69 erhålls en kvot mellan aktiv skjuvhållfasthet och direkt skjuvhållfasthet på 1,3. Vid jämförelse med resultaten av de aktiva triaxialförsöken kan konstateras att den valda aktiva skjuvhållfasthetsfördelningen ligger lägre än laboratorieresultaten, vilket bedöms vara ett försiktigt val.

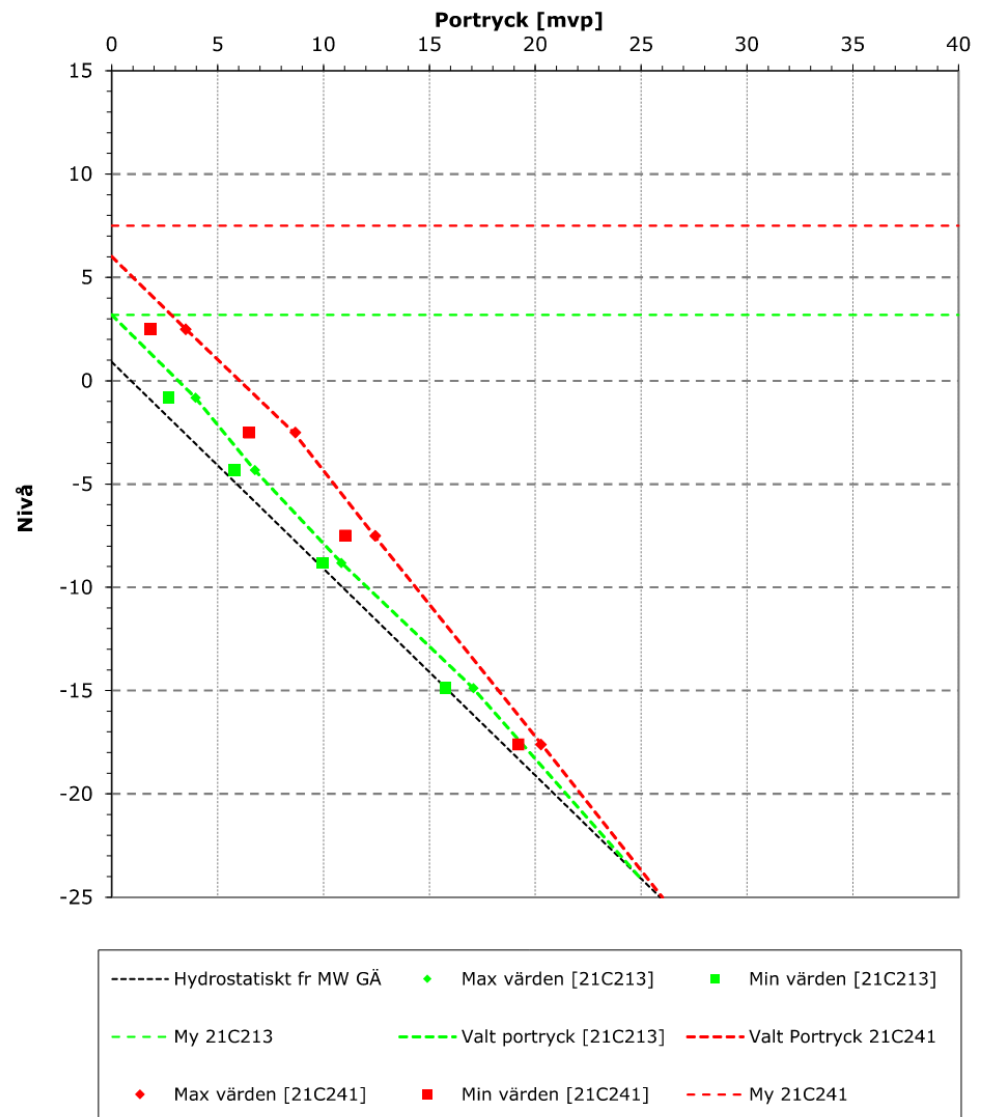


Figur 27 Vald direkt skjuvhållfasthet (heldragen svart linje), vald passiv skjuvhållfasthet (svart punktlinje) och vald aktiv skjuvhållfasthet (streckad svart linje) för delområde älvlera 32/800

8.3 Portrycksmodell

8.3.1 Strandnära lera norr

Valt portryck mot nivå för delområde strandnära lera norr redovisas i Figur 28 nedan. Portrycken har valts utifrån maximalt uppmätta portryck.

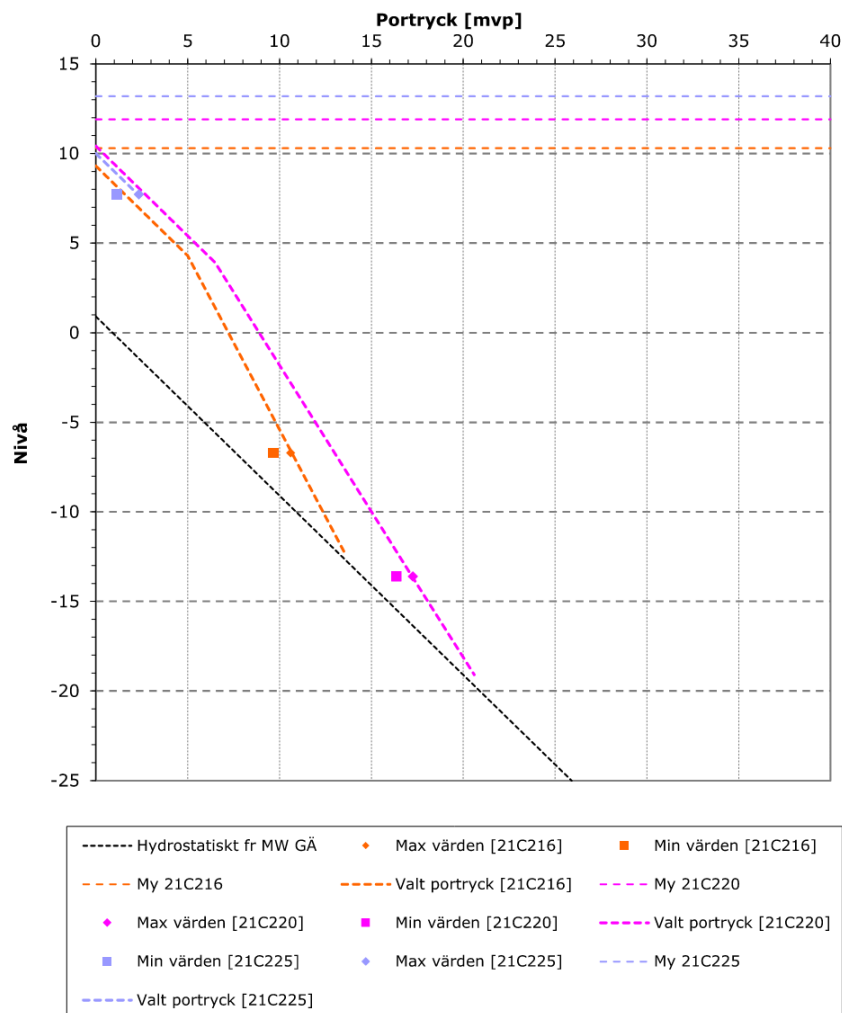


Figur 28 Valt portryck för delområde strandnära lera norr. Diagrammet redovisas även i Bilaga 3

I lerprofilens övre del och ner till ca 4-10 m under markytan följer valt portryck en hydrostatisk portryckfördelning. På större djup är portrycksökningen i huvudsak lägre än hydrostatiskt portryck, ca 8-9 kPa/m. Ställvis förekommer delar av lerprofilen där portrycksförledningen är hydrostatisk.

8.3.2 Landlera

Valt portryck mot nivå för delområde landlera redovisas i Figur 29 nedan. Portrycken har valts utifrån maximalt uppmätta portryck.

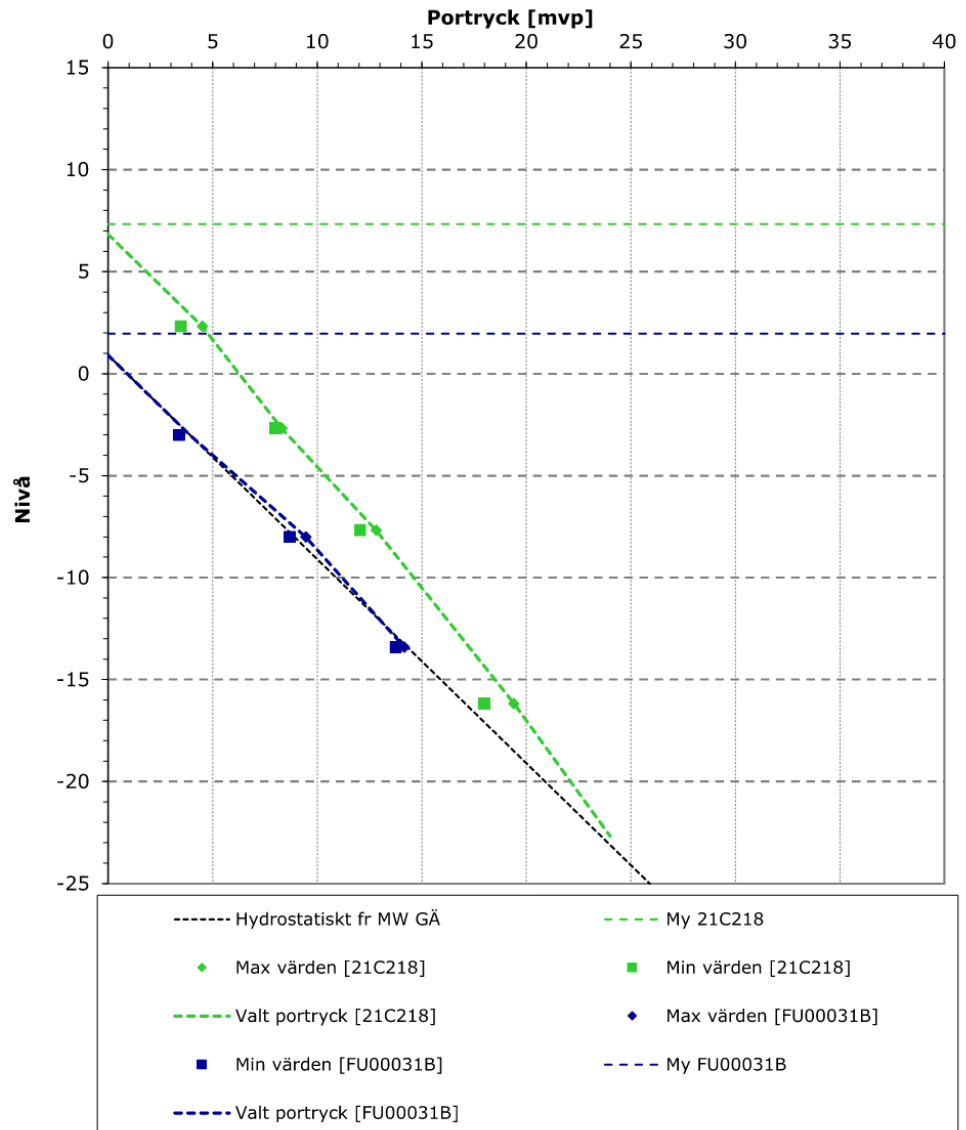


Figur 29 Valt portryck för delområde landlera. Diagrammet redovisas även i Bilaga 3

I lerprofilens övre del och ner till ca 6-8 m under markytan följer valt portryck en hydrostatisk portryckfördelning. På större djup är portrycksökningen lägre än hydrostatiskt portryck, ca 5-6 kPa/m.

8.3.3 Strandnära lera syd

Valt portryck mot nivå för delområde strandnära lera syd redovisas i Figur 30 nedan. Portrycken har valts utifrån maximalt uppmätta portryck.

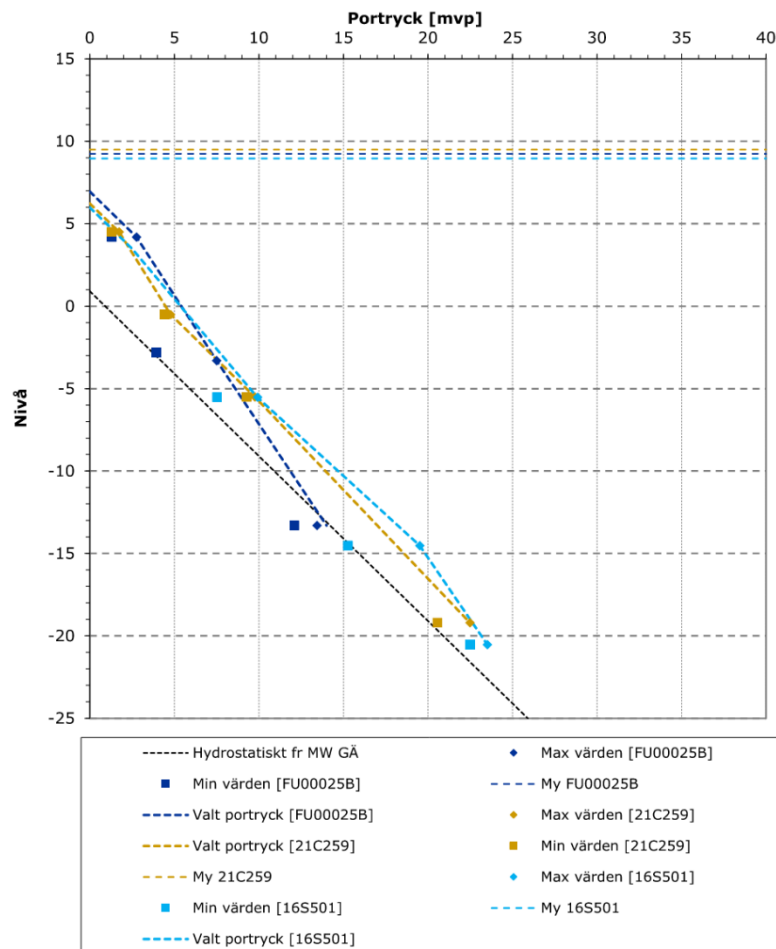


Figur 30 Valt portryck för delområde strandnära lera syd. Diagrammet redovisas även i Bilaga 3

I området närmast Göta älv följer valt portryck en i stort sett hydrostatisk portryckfördelning. Längre från älven följer valt portryck i lerprofilens övre del och ner till ca 5 m under markytan en hydrostatisk portryckfördelning. På större djup är portrycksökningen i allmänhet lägre än hydrostatiskt portryck ca 7-9 kPa/m.

8.3.4 Silt under fyllning

Valt portryck mot nivå för delområde silt under fyllning redovisas i Figur 31 nedan. Portrycken har valts utifrån maximalt uppmätta portryck.



Figur 31 Valt portryck för delområde silt under fyllning. Diagrammet redovisas även i Bilaga 3

I jordprofilens övre del och ner till ca 5-6 m under markytan följer valt portryck en hydrostatisk portryckfördelning. På större djup är portrycksökningen lägre än hydrostatiskt portryck, ca 6-9 kPa/m. Ställvis förekommer delar av jordprofilen där portrycksförledningen är hydrostatisk eller något högre, ca 10-11 kPa/m.

8.3.5 Älvlera 32/500

Dimensionerande vattenståndsnivåer för Göta älv redovisas i kapitel 8.4.

8.3.6 Älvlera 32/800

Dimensionerande vattenståndsnivåer för Göta älv redovisas i kapitel 8.4.

8.4 Vattenstånd i älven

Göta älv är reglerad och i anslutning till Stommen har SGI angivit följande dimensionerande vattenståndsnivåer, se Tabell 2. Vidare har SGI angivit att en vattenyta motsvarande nivå -0,1 ska användas i stabilitetsberäkningarna.

Tabell 2 Dimensionerande vattenstånd Göta älv

Referenspunkt	Ca längdmätning	MW	LLW	HHW
Lilla Edet Sluss 6 NVY	31/600	+0,9	-0,1	+2,2

8.5 Laster

Inom bebyggd tomtmark har en utbredd last på 10 kPa/våning tillämpats.

9 Käslighetsanalys

Käslighetsanalys har utförts för att säkerställa den valda jordmodellens robusthet och undersöka sårbarheten för förändring av områdets portrycksförhållanden och förändrad geometri till följd av erosion. Käslighetsanalyser har även utförts för att undersöka val av erforderlig säkerhetsfaktors inverkan på omfattningen av föreslagen stabilitetsförbättrande åtgärd.

9.1 Förändrad geometri till följd av erosion

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

För Stommen tillämpas främst typsektion A1 för en slänt utan undervattenshylla och med erosionsskydd i vattenbrynet, se Figur 32.



Figur 32 Typsektion för slänt utan undervattenshylla och med erosionsskydd i vattenbrynet.

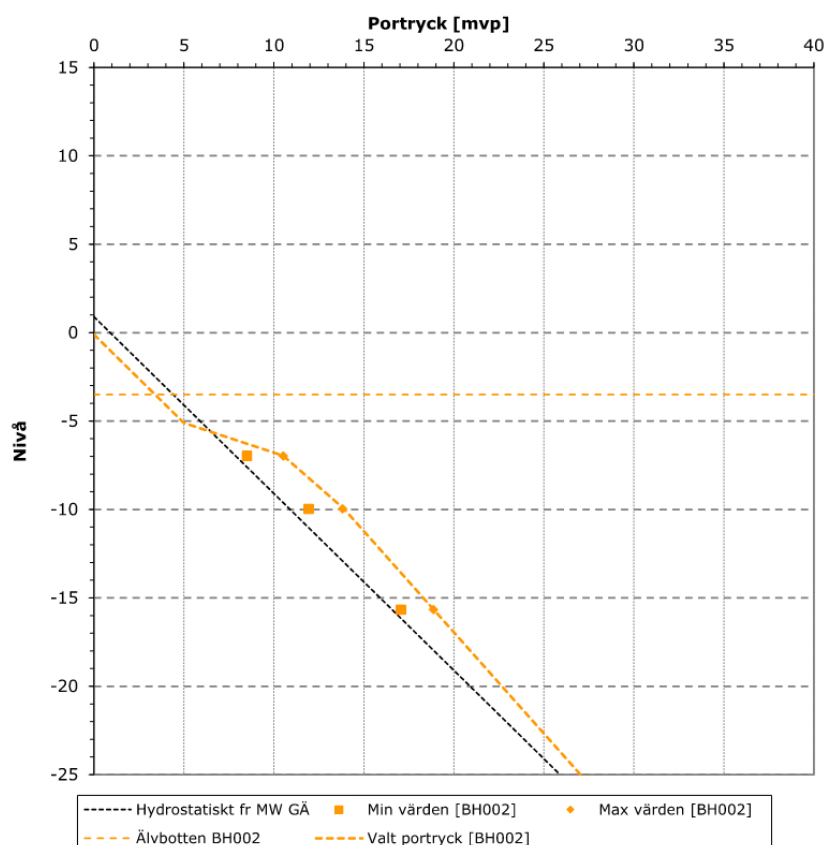
9.2 Förändring i portrycksförhållanden

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

För att hantera eventuella årstidsvariationer, framtida ökande portryckstillstånd på grund av klimatförändringen och för att kontrollera eventuella osäkerheter i gjorda val har en känslighetsanalys utförts i sektion 327500.

Känslighetsanalysen har utförts med en portrycksökning på 10 kPa.

I sektion 328000 har en känslighetsanalys utförts med ett portryck under Göta älvs botten motsvarande uppmätta maxvärden i arkivpunkt BH002. Uppmätta portryck bedöms ej vara tillförlitliga på grund av att fluktuationen är starkt korrelerad till aktuellt vattenstånd i Göta älv. Dessutom är portrycksfördelningen mot djupet betydligt större än den hydrostatiska fördelningen, vilket inte överensstämmer med portrycksmätningarna i närliggande arkivpunkt FU00031B på land. Valt portryck för känslighetsanalys i beräkningssektion 328000 redovisas i Figur 33 nedan.



Figur 33 Valt portryck för känslighetsanalys i beräkningssektion 328000.

I känslighetsanalysen har portryck under Göta älv antagits motsvarande nivån för lägsta lågvatten -0,1 ner till ca 1,5 m under älvbotten. Därunder är portryckfördelningen högre än hydrostatisk fördelning, ca 30 kPa/m för att ansluta mot maximalt uppmätt värde på nivå ca -7. Mellan nivå -7 och nivå -10 är portryckfördelningen något högre än hydrostatisk fördelning, ca 11 kPa/m. Från nivå -10 har portryckfördelningen ansatts till ca 9 kPa/m, det vill säga något lägre än hydrostatiskt tryck.

9.3 Val av erforderlig säkerhetsfaktor

Känslighetsanalyser har även utförts för att undersöka val av erforderlig säkerhetsfaktors inverkan på omfattningen av föreslagen stabilitetsförbättrande åtgärd. I sektion 328900 har känslighetsanalys utförts för där beräknad säkerhetsfaktor efter åtgärd i stället ska uppfylla $F_c \geq 1,30$ alternativt $F_{komb} \geq 1,20$, vilket motsvarar den undre gränsen av intervallet för säkerhetsfaktorn för fördjupad utredning enligt IEG Rapport 4:2010.

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

Stabilitetsberäkningarna har utförts med totalsäkerhetsanalys. I enlighet med IEG Rapport 4:2010 för befintlig bebyggelse och detaljerad utredning, ligger intervallet på erforderlig säkerhetsfaktor på $F_c \geq 1,3-1,4$ (odränerad analys) och $F_{komb} \geq 1,2-1,3$ (kombinerad analys).

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 samt att utgöra underlag för bedömning av lämpligt värde för erforderlig säkerhetsfaktor. Bedömning för aktuellt utredningsområde redovisas i Tabell 3, där de faktorer som är av störst vikt anges högst upp i tabellen.

Tabell 3. Gynnsamma och ogynnsamma förutsättningar för stabilitetsberäkningar

Förutsättningar	Gynnsamma	Ogynnsamma
Konsekvenser av skred		Risk för människoliv eller stor ekonomisk skada och/eller miljömässig skada Risk för påverkan av vattenföringen i Göta älv Risk för bakåtgripande skred Risk för omgivningspåverkan eller sekundär påverkan Kvicklera förekommer
Släntens beständighet	Inga tecken på rörelser Utlagt fungerande erosionsskydd ovan och vid vattenytan	Tidigare inträffade skred i närområdet. Erosionsskyddets kvalitet och utbredning under vattenytan är okänt
Tidigare förändringar i slänten	Göta älv är reglerad	Utlagd fyllning inom södra delen av området
Jordens egenskaper	I huvudsak homogen jord	Jordlagerföljden består av lera Inlagrade friktionsjordsskikt Hög sensitivitet och kvicklera förekommer
Analys- och beräkningsarbetets tillförlitlighet	Stort antal beräknade glidytor Känslighetsanalyser har utförts Glidyntans läge i plan har valts i den farligaste delen av slänten ur stabilitetssynpunkt Tvådimensionell analys Vald kombination av last, portryck och vattenstånd motsvarar extremvärden.	

Förutsättningar	Gynnsamma	Ogynnsamma
Fält- och laboratorieundersökningens innehåll och omfattning	Kvalificerade undersökningar (CPTU-R-sondering, vingförsök samt CRS-, direkta skjuv- och triaxialförsök på ostörda prover) har utförts.	
Släntens geometri	Markytans geometri har hämtats utifrån grundkarta tillsammans med avvägda sektioner	Lokala branta partier i slänt
Grundvatten- och portrycksförhållanden	Portrycksmätare och grundvattenrör har installerats i flertalet undersökningspunkter Långtidsobservationer finns Begränsade förväntade tryckvariationer	Prognostisering av maximala portryck har ej utförts
Ytvattenförhållanden	Göta älv är reglerad – små vattenståndvariationer Karaktäristiska vattenstånd kända	

Förutsättningarna bedöms till övervägande del vara gynnsamma. Dock bedöms att faktorer med störst vikt, avseende konsekvenser av skred, till övervägande del vara ogynnsamma. Därav har en säkerhetsfaktor mitt i intervallet för både odränerad- och kombinerad analys valts. Med hänsyn till förutsättningarna i tabellen ovan har följande säkerhetsfaktorer valts:

- > $F_c \geq 1,35$ (odränerad analys)
- > $F_{komb} \geq 1,25$ (kombinerad analys)

12 Beräkningar och resultat

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

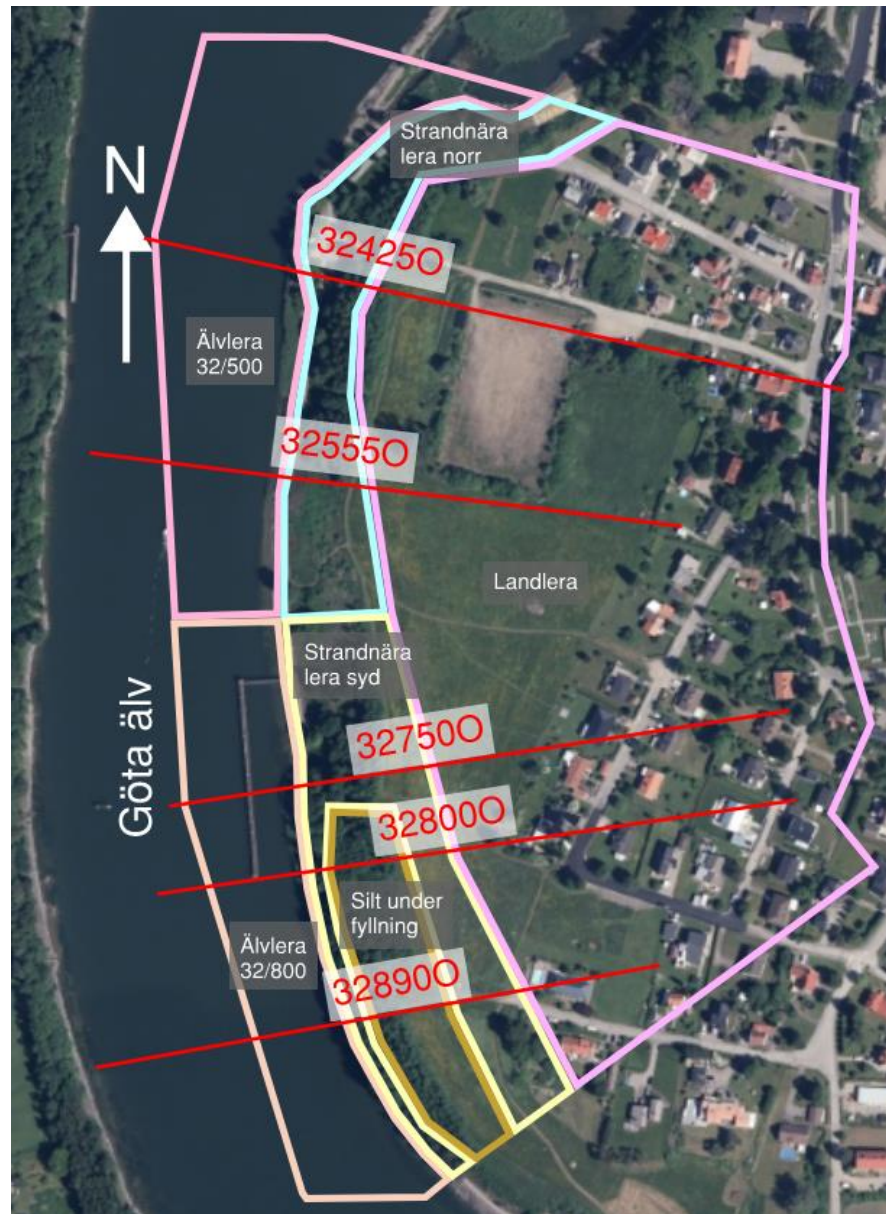
Två sektioner med planläge inom delområde älvlera 32/500, strandnära lera norr och ländlera, 324250 och 325550.

En sektion med planläge inom delområde älvlera 32/800, strandnära lera syd och landlera, 327500.

Två sektioner med planläge inom delområde älvlera 32/800, strandnära lera syd, silt under fyllning och landlera.

Samtliga sektioner har beräknats mot Göta älv.

Beräkningssektionernas läge och utbredning i plan framgår av Figur 34 nedan.



Figur 34 Redovisning av beräkningssektionernas läge och utbredning i plan markerade med röda linjer. (Kartkälla: minkarta.lantmateriet.se 2024)

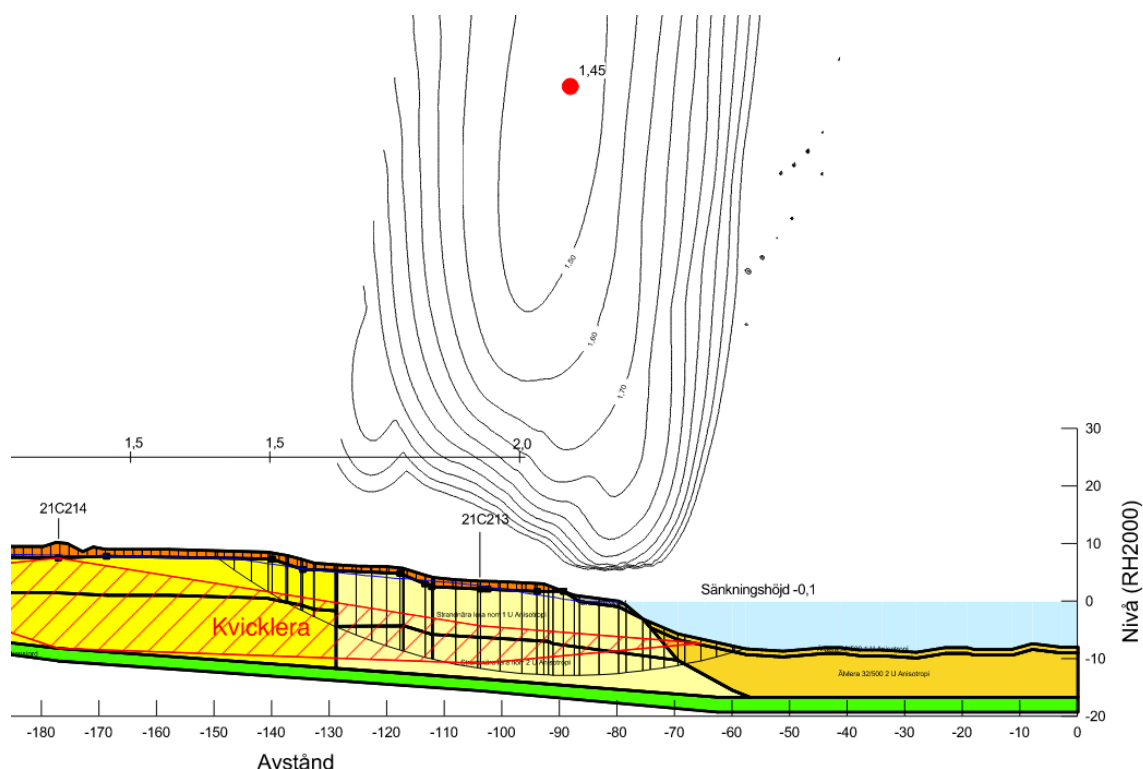
I Tabell 4- Tabell 8 nedan redovisas resultat för beräkningar med totalsäkerhetsmetoden för respektive sektion. Under respektive resultattabell ges kommentarer till beräkningsresultaten. Beräkningarna har utförts med och

utan beaktande av anisotropi. Känslighetsanalyser samt beräkningar för eventuella åtgärdsförslag har utförts med beaktande av anisotropi.

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 324250

Kritiska glidytor i sektion 324250 är relativt stora och omfattar hela slänten mot Göta älv. I Figur 35 nedan redovisas kritisk glidyta för odränerad analys.



Figur 35 Sektion 324250. Befintliga förhållanden odränerad analys med beaktande av anisotropi. Bedömd förekomst av kvicklera har markerats med röd polygon.

Tabell 4 Beräkningsresultat för stabilitetsanalys i sektion 324250, rödmarkerade värden uppfyller ej krav på erforderlig säkerhetsfaktor, $F_c \geq 1,35$ och $F_{komb} \geq 1,25$

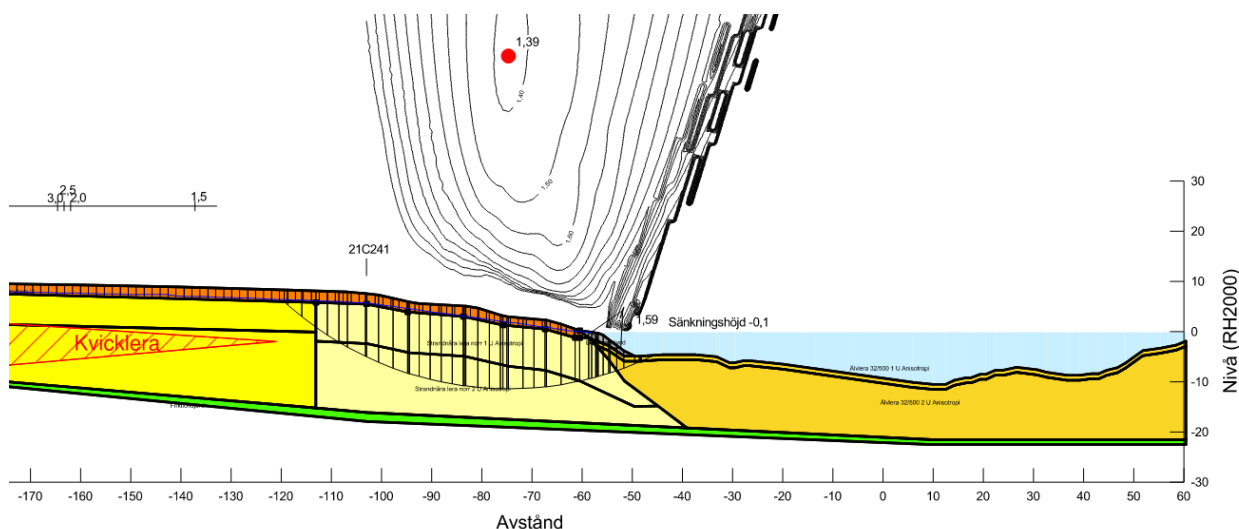
Sektion 324250, Beskrivning	Odränerad analys	Kombinerad analys	Bilaga:Sida
Befintlig sektion	1,33	1,29 (glidyta som omfattar hela slänten) 1,40 (glidyta som omfattar främre delen av slänten) 1,44 (lokal glidyta i undervattensslänt)	5:1-5:3
Befintlig sektion med beaktande av anisotropi	<u>1,45</u>	1,39 (glidyta som omfattar hela slänten) 1,44 (lokal glidyta i undervattensslänt) 1,47 (glidyta som omfattar främre delen av slänten)	5:4-5:6
Känslighetsanalys erosion: älvbotten har sänkts 1 m Med beaktande av anisotropi	1,43	1,37 (lokal glidyta i undervattensslänt) 1,37 (glidyta som omfattar hela slänten) 1,42 (glidyta som omfattar främre delen av slänten)	5:7-5:9
Känslighetsanalys erosion: älvbotten har sänkts 2 m Med beaktande av anisotropi	1,40	1,31 (lokal glidyta i undervattensslänt) 1,34 (glidyta som omfattar hela slänten) 1,38 (glidyta som omfattar främre delen av slänten)	5:10-5:12

Beräkningsresultaten för sektion 324250 visar att erforderlig säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott inte uppfylls för befintliga förhållanden utan anisotropi för odränerad analys. För kombinerad analys utan beaktande av anisotropi uppfylls erforderlig säkerhetsfaktor. Med beaktande av anisotropi uppfylls erforderlig säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott i både odränerad och kombinerad analys.

Utförd känslighetsanalys för ett framtida scenario där bottennivån i Göta älv sänks med 1 och 2 m på grund av erosion visar att beräknad säkerhetsfaktor minskar men att erforderlig säkerhetsfaktor fortfarande uppfylls för både odränerad och kombinerad analys. Aktuell sektion bedöms därmed ej vara känslig för erosion.

12.2 Beräkningssektion 325550

Kritiska glidytor i sektion 325550 är relativt stora och omfattar hela slänten mot Göta älv. I Figur 36 nedan redovisas kritisk glidyta för odränerad analys.



Figur 36 Sektion 325550. Befintliga förhållanden odränerad analys med beaktande av anisotropi. Bedömd förekomst av kvicklera har markerats med röd polygon.

Tabell 5 Beräkningsresultat för stabilitetsanalys i sektion 325550, rödmarkerade värden uppfyller ej krav på erforderlig säkerhetsfaktor, $F_c \geq 1,35$ och $F_{komb} \geq 1,25$

Sektion 325550, Beskrivning	Odränerad analys	Kombinerad analys	Bilaga:Sida
Befintlig sektion	1,26 (glidyta som omfattar hela slänten) 1,51 (lokal glidyta i undervattensslänt)	1,21 (glidyta som omfattar hela slänten) 1,30 (lokal glidyta i undervattensslänt)	5:14-5:16
Befintlig sektion med beaktande av anisotropi	1,39 (glidyta som omfattar hela slänten) 1,59 (lokal glidyta i undervattensslänt)	1,30 (lokal glidyta i undervattensslänt) 1,33 (glidyta som omfattar hela slänten)	5:17-5:19

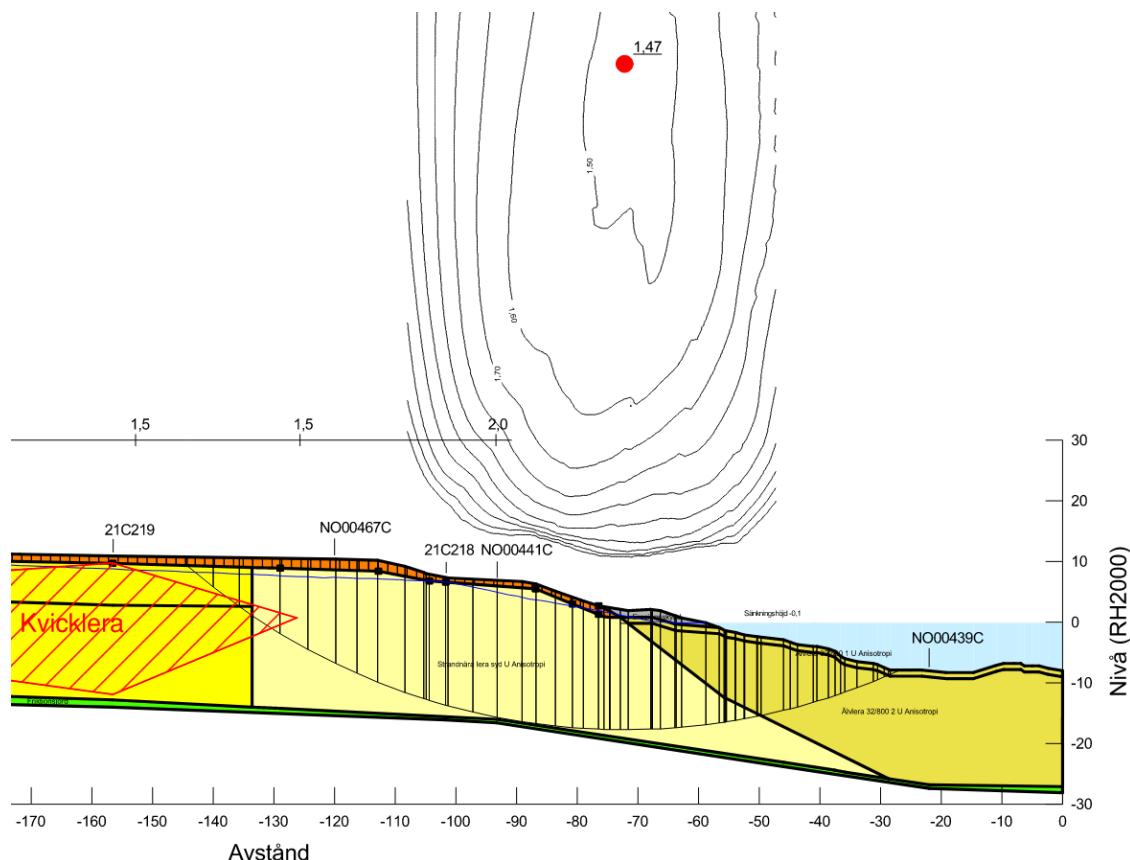
Sektion 325550, Beskrivning	Odränerad analys	Kombinerad analys	Bilaga:Sida
Känslighetsanalys erosion: älvbotten har sänkts 1 m Med beaktande av anisotropi	1,37 (glidyta som omfattar hela slänten) 1,59 (lokal glidyta i undervattensslänt)	1,30 (lokal glidyta i undervattensslänt) 1,31 (glidyta som omfattar hela slänten)	5:20-5:22
Känslighetsanalys erosion: älvbotten har sänkts 2 m Med beaktande av anisotropi	1,37 (glidyta som omfattar hela slänten) 1,59 (lokal glidyta i undervattensslänt)	1,30 (lokal glidyta i undervattensslänt) 1,31 (glidyta som omfattar hela slänten)	5:23-5:25

Beräkningsresultaten för sektion 325550 visar att erforderlig säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott inte uppfylls för befintliga förhållanden utan anisotropi för odränerad analys och kombinerad analys. Med beaktande av anisotropi uppfylls erforderlig säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott i både odränerad och kombinerad analys.

Utförd känslighetsanalys för ett framtida scenario där bottennivån i Göta älv sänks med 1 och 2 m på grund av erosion visar att beräknad säkerhetsfaktor minskar men att erforderlig säkerhetsfaktor fortfarande uppfylls för både odränerad och kombinerad analys. Aktuell sektion bedöms därmed ej vara känslig för erosion.

12.3 Beräkningssektion 327500

Kritiska glidytor i sektion 327500 är relativt stora och omfattar hela slänten mot Göta älv. I Figur 37 nedan redovisas kritisk glidyta för odränerad analys.



Figur 37 Sektion 327500. Befintliga förhållanden odränerad analys med beaktande av anisotropi. Bedömd förekomst av kvicklera har markerats med röd polygon.

Tabell 6 Beräkningsresultat för stabilitetsanalys i sektion 327500, rödmarkerade värden uppfyller ej krav på erforderlig säkerhetsfaktor, $F_c \geq 1,35$ och $F_{komb} \geq 1,25$

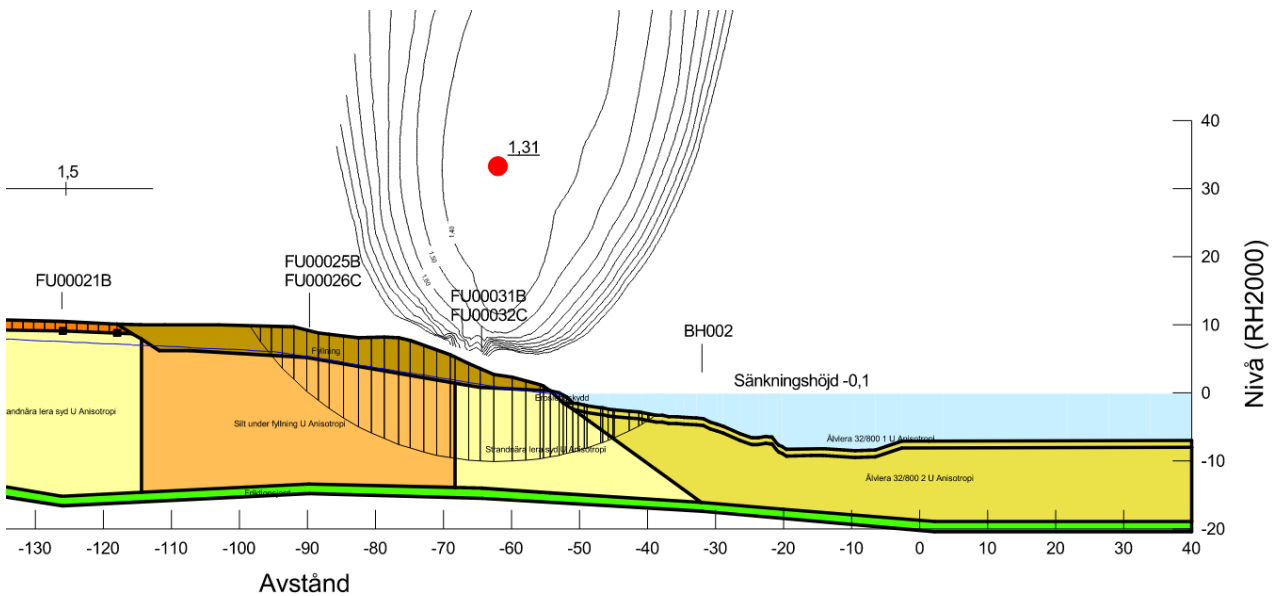
Sektion 327500, Beskrivning	Odränerad analys	Kombinerad analys	Bilaga:Sida
Befintlig sektion	1,31	1,29	5:27-5:29
Befintlig sektion med beaktande av anisotropi	1,47	1,43	5:30-5:32
Känslighetsanalys: Höjt portryck med 1 mvp Med beaktande av anisotropi	-	1,41	5:33-5:34

Beräkningsresultaten för sektion 327500 visar att erforderlig säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott inte uppfylls för befintliga förhållanden utan anisotropi för odränerad analys. För kombinerad analys utan beaktande av anisotropi uppfylls erforderlig säkerhetsfaktor. Med beaktande av anisotropi uppfylls erforderlig säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott i både odränerad och kombinerad analys.

Utförd känslighetsanalys där portrycket höjs med 10 kPa visar att beräknad säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott minskar något men att erforderlig säkerhetsfaktor fortfarande uppfylls. Aktuell sektion bedöms därmed ej vara känslig för portrycksökningar.

12.4 Beräkningssektion 328000

Kritiska glidytor i sektion 328000 är relativt stora och omfattar hela slänten mot Göta älv. I Figur 38 nedan redovisas kritisk glidyta för odränerad analys.



Figur 38 Sektion 328000. Befintliga förhållanden odränerad analys med beaktande av anisotropi.

Tabell 7 Beräkningsresultat för stabilitetsanalys i sektion 328000, rödmarkerade värden uppfyller ej krav på erforderlig säkerhetsfaktor, $F_c \geq 1,35$ och $F_{komb} \geq 1,25$

Sektion 328000, Beskrivning	Odränerad analys	Kombinerad analys	Bilaga:Sida
Befintlig sektion	1,20	1,16	5:36-5:38
Befintlig sektion med beaktande av anisotropi	1,31	1,27	5:39-5:41

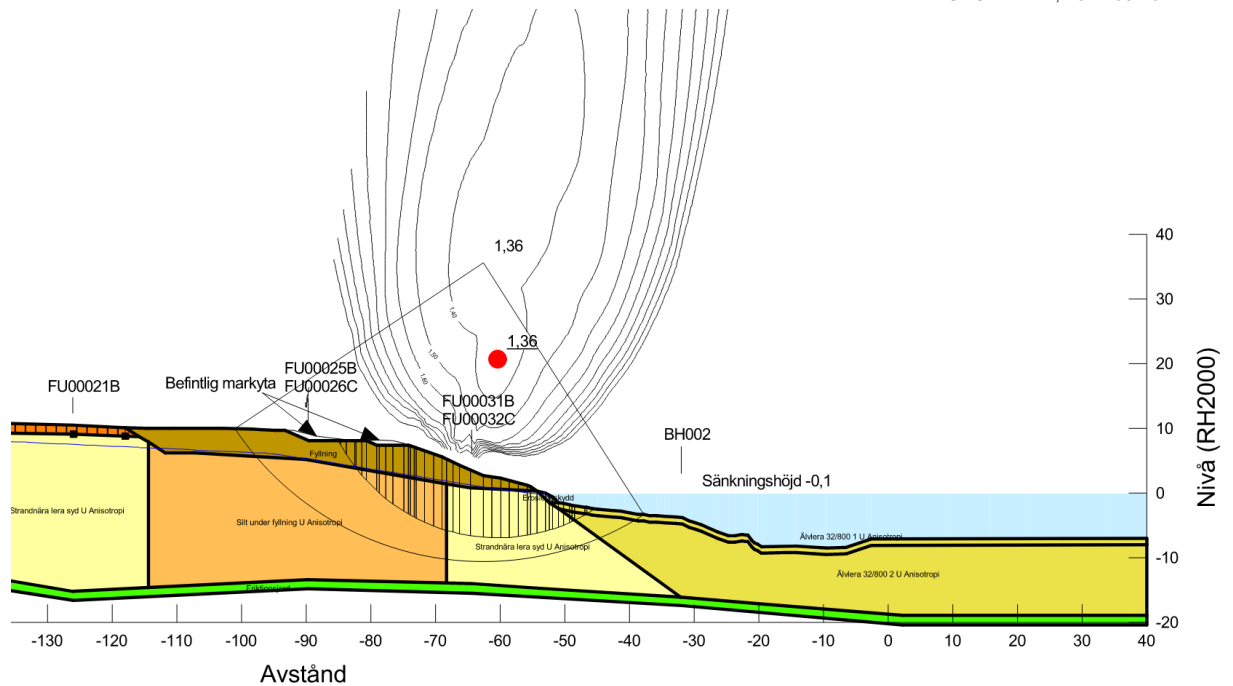
Sektion 328000, Beskrivning	Odränerad analys	Kombinerad analys	Bilaga:Sida
Känslighetsanalys: Höjt portryck under älven enligt mätresultat i BH002 Med beaktande av anisotropi	-	0,60* (glidyta i undervattensslänt) 1,03* (glidyta i främre delen av slänten)	5:42-5:43
Åtgärd: Avschaktning bakom släntrönn Med beaktande av anisotropi	<u>1,36</u>	1,31	5:44-5:46

*) Beräkningsresultaten bedöms ej vara tillförlitliga

Beräkningsresultaten för sektion 328000 visar att erforderlig säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott inte uppfylls för befintliga förhållanden utan beaktande av anisotropi för beräkning med odränerad och kombinerad analys. Med beaktande av anisotropi uppfylls erforderlig säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott med kombinerad analys men inte med odränerad analys.

Utförd känslighetsanalys där portrycket under Göta älv höjs enligt mätresultat i arkivpunkt BH002 visar att beräknad säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott minskar och att erforderlig säkerhetsfaktor inte längre uppfylls. Beräknad säkerhetsfaktor underskrider 1,0, vilket teoretiskt innebär att slänten går till brott. Vid studie av effektivspänningarna längs kritisk glidyta kan konstateras att dessa erhåller negativa värden samt att beräkningen inte konvergerar. Beräkningsresultaten bedöms således inte vara tillförlitliga.

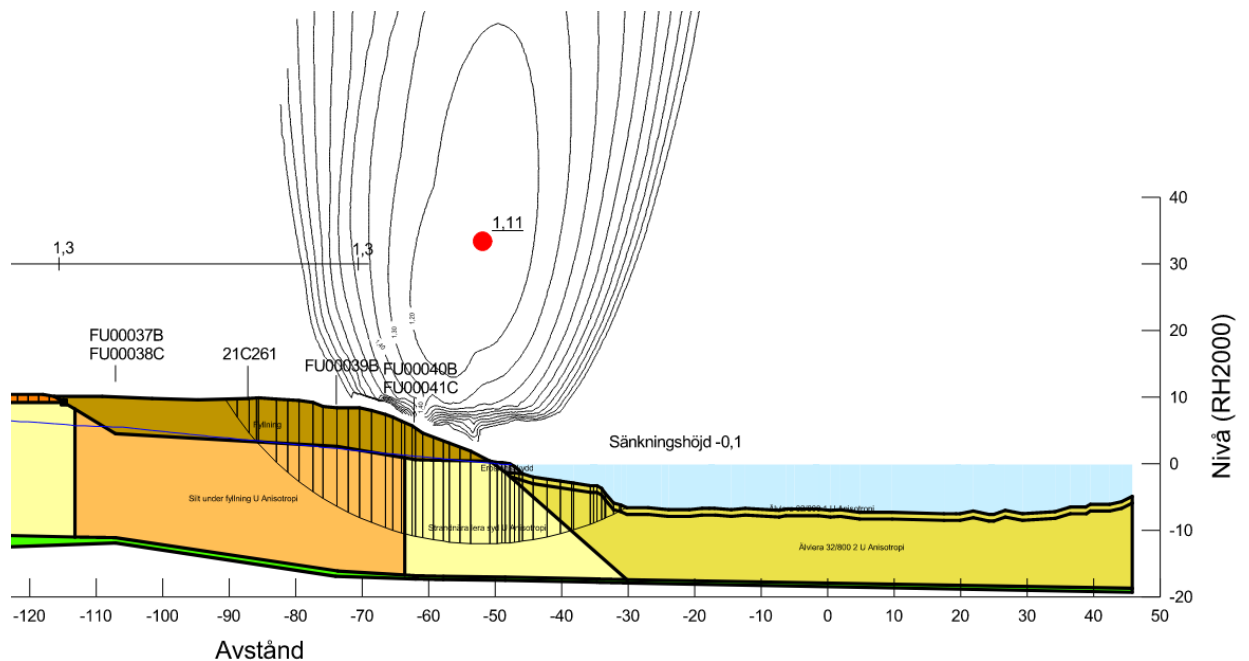
För att uppfylla erforderlig säkerhetsfaktor kan markytan bakom släntrönn lastas av genom avschaktning, se Figur 39. I aktuell sektion uppgår volymen av avschaktningen till ca 10 m³/m.



Figur 39 Sektion 328000 Åtgärd i form av avlastning av markytan bakom släntröns schaktas av. Odränerad analys med beaktande av anisotropi.

12.5 Beräkningssektion 328900

Kritiska glidytor i sektion 328900 är relativt stora och omfattar hela slänten mot Göta älv. I Figur 40 nedan redovisas kritisk glidyta för odränerad analys.



Figur 40 Sektion 328900. Befintliga förhållanden odränerad analys med beaktande av anisotropi.

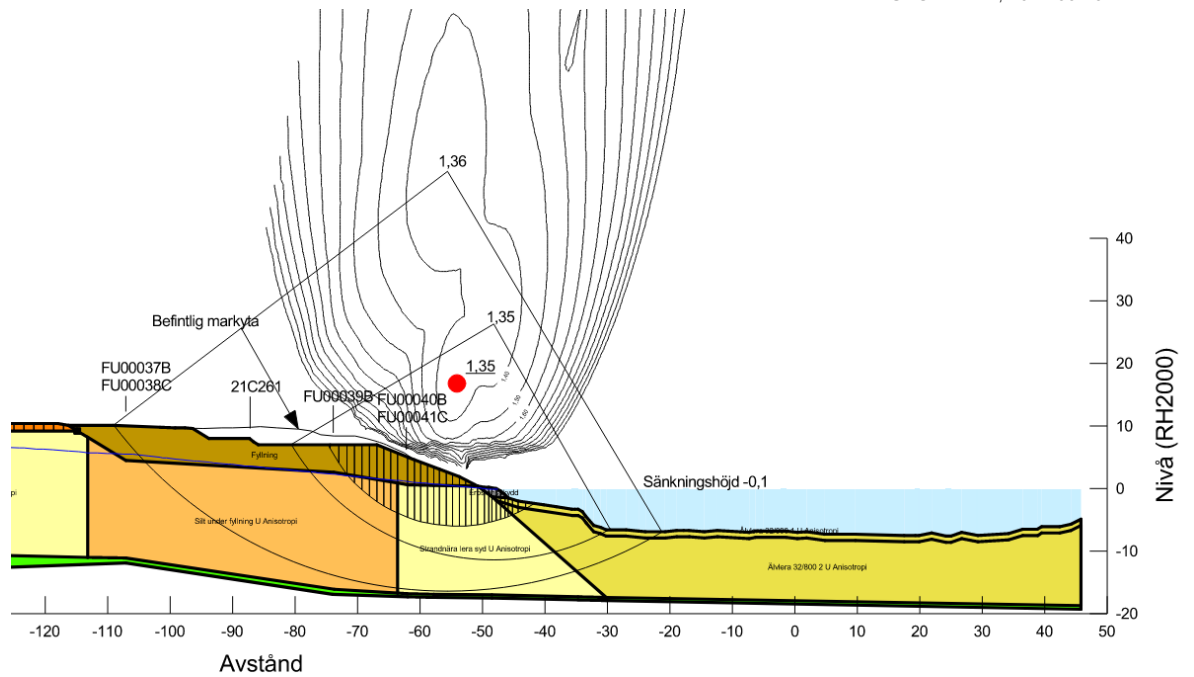
Tabell 8 Beräkningsresultat för stabilitetsanalys i sektion 328900, rödmarkerade värden uppfyller ej krav på erforderlig säkerhetsfaktor, $F_c \geq 1,35$ och $F_{komb} \geq 1,25$

Sektion 328900, Beskrivning	Odränerad analys	Kombinerad analys	Bilaga:Sida
Befintlig sektion	1,02	1,00	5:48-5:50
Befintlig sektion med beaktande av anisotropi	1,11	1,10	5:51-5:53
Åtgärd: Avschaktning bakom släntkrön Med beaktande av anisotropi	1,35	1,31	5:54-5:56
Känslighetsanalys: Åtgärd för att uppfylla $F_c \geq 1,30$ alternativt $F_{komb} \geq 1,20$	1,30	1,27	5:57-5:59

Beräkningsresultaten för sektion 328900 visar att erforderlig säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott inte uppfylls för befintliga förhållanden vare sig utan eller med beaktande av anisotropi för beräkning med odränerad och kombinerad analys.

För att uppfylla erforderlig säkerhetsfaktor kan markytan bakom släntkrön lastas av genom avschaktning, se Figur 41. I aktuell sektion uppgår volymen av avschaktningen till 56 m³/m.

Känslighetsanalysen för att undersöka förändringen av avschaktningens storlek för fallet då säkerhetsfaktorn mot stabilitetsbrott ska uppfylla, $F_c \geq 1,30$ alternativt $F_{komb} \geq 1,20$, motsvarande undre gränsen av intervallet för säkerhetsfaktorn för fördjupad utredning enligt IEG Rapport 4:2010, visar att volymen av avschaktningen minskar till 37 m³/m.

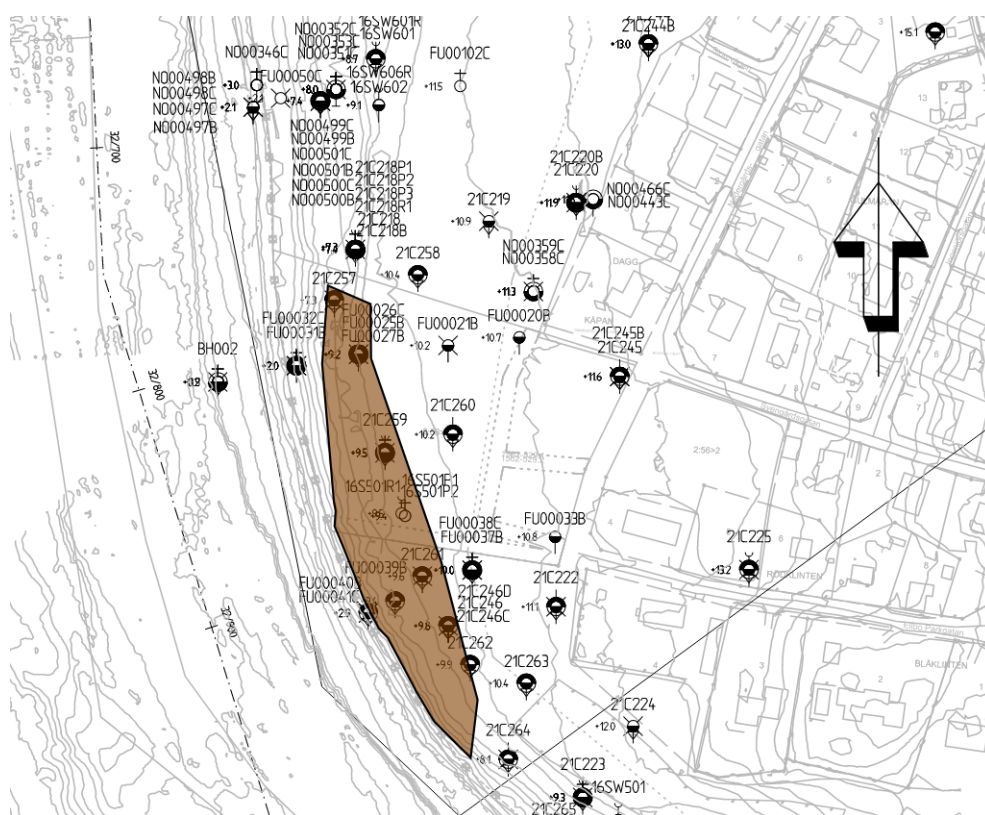


Figur 41 Sektion 328900 Åtgärd i form av avlastning av markytan bakom släntröns schaktas av. Odränerad analys med beaktande av anisotropi.

13 Föreslagna åtgärder

För att erhålla tillfredställande säkerhetsfaktor inom områdets södra del föreslås en avschaktning av befintlig slänt. Föreslagen avschaktning utförs längs en sträcka av ca 200 m och med en bredd i plan varierande mellan ca 20 och 36 m. I Figur 42 redovisas ungefärlig utbredning av föreslagen åtgärd.

Avschaktningen minskar lasten på den pådrivande sidan.

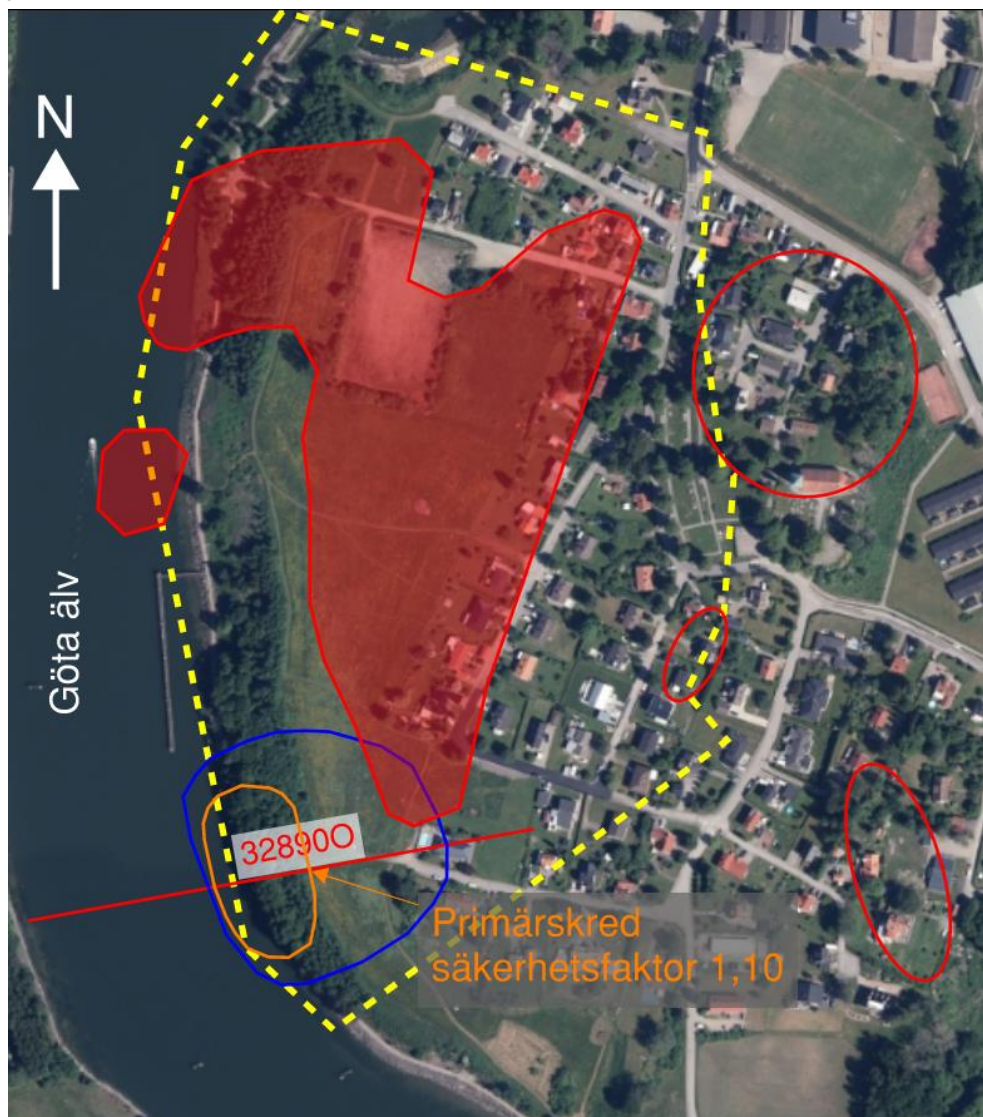


Figur 42 Ungefärlig utbredning av föreslagen åtgärd. Föreslagen avschaktning har markerats med brun polygon.

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 primärscred, uppgår till 20-60, Leran klassificeras som högsensitiv, men eftersom den omrörda skjuvhållfastheten är högre än 0,4 i alla kolvprovtagna undersökningspunkter i närområdet, klassificeras leran inte som kvicklera. Faktorn n uppgår därmed till ca 5-11. Då slänten i sektion 328900 är ca 16 m hög innebär detta en skredutbredning på ca 80-180 m från släntfot.

Därmed finns risk för att sekundära skred skär in i området med kvicklera med en sensitivitet på upp till 400 och således finns det risk att sekundära skred inte stannar förrän lösmarken övergår i fastmark eller berg i dagen. Avståndet till fastmarksområden uppgår till ca 300 m, vilket kan innebära en mycket stor omgivningspåverkan vid utbildandet av sekundära skred. I Figur 43 nedan redovisas översiktligt fastmark och berg i dagen med röd ellips, sekundär skredutbredning med blå linje och primär skredutredning med orange linje. Gul linje visar aktuellt utredningsområde. Röd polygon visar tolkat område med förekomst av kvicklera.



Figur 43 Uppskattad utbredning i plan av eventuellt primärskred (orange) och sekundärskred (blått). Berg i dagen/fastmark markeras med röda ellipser. Aktuellt utredningsområde markeras med gul linje. Tolkat område med förekomst av kvicklera markeras med röd polygon

15 Slutsats och rekommendationer

Denna fördjupade stabilitetsutredning visar att beräknad säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott för den norra och mellersta delen av området, sektion 324250, 325550 och 327500 uppfyller gällande krav för befintliga förhållanden med totalsäkerhetsmetoden. De två nordligaste sektionerna, 324250 och 325550 bedöms inte vara känsliga för erosion i av Göta älvs botten. Vidare visar beräkningarna att sektion 327500 inte är känslig för portrycksökningar i leran. För dessa sektioner föreslås ingen stabilitetsförbättrande åtgärd.

Denna fördjupade stabilitetsutredning visar att beräknad säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott i sektion 328000 och 328900 i områdets södra del, ej uppfyller gällande krav för befintliga förhållanden. Utförd känslighetsanalys i sektion 328000 där portrycket under Göta älv höjs enligt mätresultat i arkivpunkt BH002 visar att beräknad säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott minskar och att beräknad säkerhetsfaktor underskrider 1,0, vilket teoretiskt innebär att slänten går till brott. Vid studie av effektivspänningarna längs kritisk glidyta kan konstateras att dessa erhåller negativa värden samt att beräkningen inte konvergerar. Beräkningsresultaten bedöms således inte vara tillförlitliga. Föreslagen stabilitetsförbättrande åtgärd för delområdet är avschaktning för att på så vis minska lasten på den pådrivande sidan.

På grund av förekomsten av kvicklera och högsensitiv lera och risken för bakåtgripande skred med stor omgivningspåverkan rekommenderas att eventuell detaljprojektering och utförande av stabilitetsförbättrande åtgärder, utförs i Geoteknisk kategori 3 (GK3). Vilken geoteknisk kategori som slutligt ska gälla för utförandet avgörs i projekteringsskedet.