

PM GEOTEKNIK - 233000PM01

Ballsered, Lilla Edets kommun (233000)

Fördjupad stabilitetsutredning

Framställd för:

Statens geotekniska institut, SGI

Olaus Magnus väg 35
591 83 Linköping

SGI:s uppdragsnr: 10 153, Diariernr 6.2.1910-0742

Upprättad av:

Golder Associates AB

Lilla Bommen 6
411 04, Göteborg, Sverige

031-700 82 30

Golders uppdragsnr: 20360444

Datum: 2021-12-22



Förord från SGI

Regeringen har gett Statens geotekniska institut (SGI) i uppdrag att minska risken för skred i Göta älv dalen. För att effektivisera det arbetet inrättades Delegationen för Göta älv år 2018. Delegationens arbete leds och samordnas av SGI och består av representanter från Vänersborgs, Trollhättans, Lilla Edets, Ales, Kungälv och Göteborgs kommuner, Länsstyrelsen Västra Götaland, Länsstyrelsen Värmland, Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB), Sjöfartsverket, Trafikverket, Vattenfall Vattenkraft AB och SGI.

Inom ramen för Delegationens arbete genomförs detaljerade och fördjupade stabilitetsutredningar för områden som utpekats med hög- eller medelhög skredrisk i Göta älvutredningen år 2009–2011. Stabilitetsutredningarna utförs av geotekniska konsulter vars uppdrag upphandlas och leds av SGI som är delaktiga i arbetet. I konsulternas uppdrag ingår bland annat att presentera en trolig skjuvhållfasthet samt förslag på genomförbara stabilitetshöjande åtgärder.

Utredningsresultaten ligger till grund för SGI:s fortsatta analysarbete, beräkning av sannolikheten för skred samt planering av eventuella stabilitetshöjande åtgärder.

Sekretariatet till Delegation för Göta älv

Uppdragsinformation

Uppdrag	Ballsered, Fördjupad stabilitetsutredning
Plats	Ballsered, Lilla Edets kommun, Göta älvs östra sida (23300O)
Uppdragsgivare	Statens geotekniska institut, SGI
SGI:s uppdragsnummer	10 153
SGI:s diarienummer	6.2.1910-0742
Dokumentets littera	23300OPM01
Konsult	Golder Associates AB
Golders uppdragsnummer	20360444
Uppdragsledare	Malin Sundsten
Handläggare	Linus Wrede
Kvalitetsgranskning	Ola Skepp

Innehållsförteckning

1.0	UPPDRAG	1
2.0	UNDERLAG	1
2.1	Kartor, ortofoto, mätdata mm	1
2.2	Geotekniskt arkivmaterial	1
2.3	Styrdokument	2
3.0	GEOTEKNISKA UNDERSÖKNINGAR	3
3.1	Fältundersökningar	3
3.2	Laboratorieundersökningar	3
4.0	OMRÅDESBESKRIVNING	3
4.1	Geografi, markanvändning och skyddade områden	3
4.2	Topografi och batymetri	4
4.3	Erosion och erosionsskydd	4
4.4	Befintliga konstruktioner och förstärkningsåtgärder	7
5.0	GEOTEKNISKA FÖRHÅLLANDEN	8
5.1	Jordlagerföljd	8
5.2	Geotekniska egenskaper	9
6.0	HYDROGEOLOGISKA FÖRHÅLLANDEN	18
6.1	Vattennivå i vattendrag	18
6.2	Grundvattenyta och portryck	18
7.0	STABILITET	20
7.1	Allmänt	20
7.2	Erforderlig säkerhetsfaktor	20
7.3	Beräkningsförutsättningar	22
7.4	Stabilitetsanalyser för befintliga förhållanden	24
7.5	Sammanställning av stabilitetsanalyser för befintliga förhållanden	27
7.6	Känslighetsanalys	30
7.7	Skredutbredning	33
7.8	Stabilitetsförbättrande åtgärder	34
8.0	PÅVERKAN PÅ GÖTA ÄLV FRÅN SKRED I BIFLÖDEN	39
9.0	SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER	40
9.1	Fortsatt utredning och/eller åtgärder	40

BILAGOR

BILAGA A

Härledda grundparametrar inkl. valda värden.

BILAGA B

Härledd odränerad skjuvhållfasthet inkl. valda värden

BILAGA C

Utvärdering av portryck inkl. vald profil

BILAGA D

Utvärdering av kvicklera

BILAGA E

Stabilitetsberäkningar, befintliga förhållanden

BILAGA F

Stabilitetsberäkningar, åtgärdsförslag (dimensionerat med totalsäkerhetsmetoden)

BILAGA G

Stabilitetsberäkningar, åtgärdsförslag (dimensionerat med partialsäkerhetsmetoden)

BILAGA H

Påverkan på Göta älv från skred i biflöde

- Områdesgränser för utredningsområdena
- Differensanalys av Göta älvs bottennivå från SGI, 2009–2018.
- Ytgeologisk tolkning av Göta älvs botten från SGI, 2020.

2.2 Geotekniskt arkivmaterial

Inom och i nära anslutning till aktuellt område har geotekniska undersökningar och utredningar utförts tidigare. Läget på tidigare utförda undersökningspunkter redovisas tillsammans med undersökningar utförda i samband med denna utredning på planritning G-10-1-001. För fullständig redovisning av undersökningarna hänvisas till nedanstående utredningar/handlingar.

- "Göta älvutredningen, GÄU: Delområde 7, Intagan – Lilla Edet, Tekniskt PM Geoteknik, Stabilitetsberäkningar", SGI, daterad 2012-12-20 (uppdragsnr 14087).
- "Göta älvutredningen, GÄU: Delområde 7, Intagan – Lilla Edet, Markteknisk undersökningsrapport/Geoteknik", SGI, daterad 2011-05-16 (uppdragsnr 14087).
- "Väg E45 Älvängen-Stallbacka, Delen bro över Slumpån, Tekniskt PM Geoteknik", Vägverket, daterad 2008-03-03 (Objektnr 544982).
- "Väg E45 Älvängen-Stallbacka, Delen vid Torpabron, Beräknings-PM", Vägverket, daterad 2008-03-03 (Objektnr 544982).
- "Väg E45 Älvängen-Stallbacka, Delen bro över Slumpån, Rapport geoteknisk undersökning (Rgeo)", Vägverket, daterad 2008-01-11 (Objektnr 544982).
- "Göta älvutredningen, GÄU: Delområde 11, Intagan – Lilla Edet, Laboratorierapport", SGI, daterad 2010-12-30 (uppdragsnr 14098).
- "Göta älvutredningen, GÄU: Delområde 11, Intagan – Lilla Edet, Sammanfattande fältslutrapport", SGI, daterad 2010-12-24 (uppdragsnr 14098).
- "Geotekniska undersökningar i Göta älv, Norra Lilla Edet, Markteknisk undersökningsrapport/geoteknik", Sweco, daterad 2020-03-13 (uppdragsnr 19091)
- "Undrained shear strength in clay slopes – Influence of stress conditions, A model and field test study", Hjördis Löfroth, Chalmers tekniska högskola, 2008.
- "Identifying landslide preconditions in Swedis quick clays – insights from integration of surface geophysical, core sample- and downhole property measurements", Salas-Romero et al, Uppsala Universitet, 2016.
- "Geophysical characterization of areas prone to quick-clay landslides using radio-magnetotelluric and seismic methods", Wang et al, Uppsala Universitet, 2016.

2.3 Styrdokument

Föreliggande stabilitetsutredning har utförts enligt riktlinjer i följande styrdokument:

- "Tillståndsbedömning/klassificering av naturliga slänter och slänter med befintlig bebyggelse och anläggningar". Rapport 4:2010. IEG.
- "Tillämpningsdokument. EN 1997-1 Kapitel 11 och 1, Slänter och bankar". Rapport 6:2008. IEG.
- "Anvisningar för släntstabilitetsutredningar". Rapport 3:95. Skredkommissionen.

- "DGA00XST01 Riktlinjer för tekniskt arbete 5.0, Avser stabilitetsutredningar längs Göta älv", Delegationen för Göta älv, Statens geotekniska institut, SGI, Linköping, 2021-03-08.
- "DGA00XST02 Riktlinjer för dokumenthantering 3.0, Avser stabilitetsutredningar längs Göta älv", Delegationen för Göta Älv, Statens geotekniska institut, SGI, Linköping, 2020-12-10.

3.0 GEOTEKNISKA UNDERSÖKNINGAR

3.1 Fältundersökningar

Geotekniska fältundersökningar i form av trycksondering, CPTu-R-sondering, vingförsök, kolvprovtagning samt skruvprovtagning har utförts under perioden 16:e november 2020 till 4:e februari 2021 av underkonsult HA Geoteknik AB. I samband med fältundersökningarna installerades även portrycksstationer för mätning och uppföljning av portryck inom området.

Resultatet av undersökningarna redovisas i tillhörande MUR (Markteknisk undersökningsrapport /Geoteknik), 23300ORA01, med samma uppdragsnummer och datum som föreliggande PM.

3.2 Laboratorieundersökningar

Laboratorieundersökningar har utförts på ostörda prover under perioden 15:e december 2020 till 29:e april 2021 av underkonsult WSP Geolab i Göteborg. Undersökningarna omfattade rutin-, CRS-, direkta skjuv- och triaxialförsök.

Resultatet av undersökningarna redovisas i tillhörande MUR (Markteknisk undersökningsrapport /Geoteknik) med samma uppdragsnummer och datum som föreliggande PM.

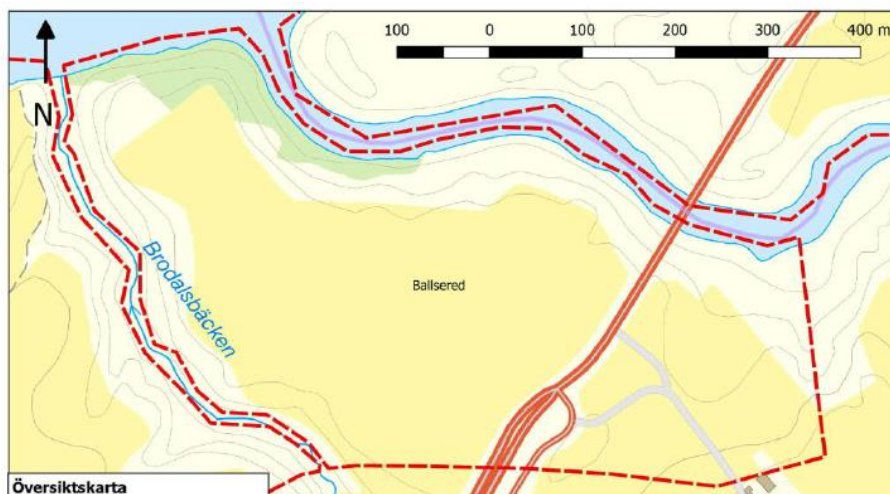
4.0 OMRÅDESBESKRIVNING

4.1 Geografi, markanvändning och skyddade områden

Utredningsområdet Ballsered är beläget ca 7 km norr om Lilla Edets tätort och ligger längs Göta älvs sydöstra sida. Området omfattar en yta på ca 25 ha, se översiktskarta i Figur 2. Området avgränsas av Göta älv och Slumpån i norr och Brodalsbäcken i väster. Mot söder och öster går områdesgränsen genom flack åkermark som genomkorsas av väg E45 i nord-sydlig riktning. Norr om Slumpån ligger delområde Jordfallet och väster om Brodalsbäcken ligger delområde Åsbräcka, vilka utreds parallellt med delområde Ballsered och redovisas i separata PM Geoteknik, Fördjupad stabilitetsutredning.

Marken inom området utgörs i stort av brukad åkermark med undantag av naturmark i form av branta slänter, beväxta med träd och buskar, ner mot samtliga vattendrag.

Stränderna längs Göta älv och Slumpån är strandskyddade 100 m från strandlinjen. Hela utredningsområdet är ett riksintresse för naturvård och friluftsliv. Öster om väg E45 finns ett område med riksintresse kulturmiljö-vård samt en fyndplats intill vägen.



Figur 2: Översiktskarta med utredningsområdet markerat med röd streckad linje.

4.2 Topografi och batymetri

Nivåerna inom området varierar från ca +24 vid åkermarken längs med väg E45 i öster till ca -7 för Göta älvs botten, vilket innebär en total nivåskillnad på drygt 30 m mot Göta älv. Marken lutar flackt fram till slänkrönet som mot samtliga vattendrag ligger på nivån ca +20 - +21. Slänfot/strandkant ligger på nivån ca +7. Slänterna ner mot Slumpån och Brodalsbäcken är generellt ca 10–15 m höga.

Brodalsbäckens vattendjup är mycket grunt, generellt ca 0,2 m fram till mynningen i Göta Älv, där bäcken vidgas och blir ca 0,5–1 m djup (enligt mätningar utförda av Golder 2021-04-30). Slumpån är ca 35–40 m bred, och upp mot 4–5 m djup.

4.3 Erosion och erosionsskydd

Hela områdets strandlinje längs Göta älv är försedd med strandskoning. Enligt Göta älvutredningen – delrapport 1, "Erosionsförhållanden i Göta älv" anlades erosionsskydd längs med i stort sett hela älven under 1960- och 1970-talet. Det finns dock ingen dokumentation om hur och mer exakt var skydden anlagts, varken i längsled eller hur långt ner i undervattensslänten som skydden lades ut. Erosionsskydden utfördes genom att sprängsten lades ut på strandbankarna.

Erosionsskyddets förekomst och utbredning har inspekterades okulärt vid platsbesök under hösten 2020. Vid inspektionen kunde bekräftas att det finns erosionsskydd i form av en sprängstensvall med en bredd på ca 2-3 m längs med Göta älvs strandlinje inom aktuellt område. Vallens bedöms ha underhållits och bedöms fortsatt ha tillfredsställande god kvalitet. Vallens utbredning och kvalitet under vattenytan har inte besiktigats.

Samma erosionsskydd sträcker sig även ca 60-70 m in i Slumpån. Vid Brodalsbäcken är erosionsskyddet endast förbipasserande, där bäckens mynning i Göta älv är något avsmalnad pga. sprängstensbanken.



Figur 3: Erosionsskydd i form av sprängstensbank längs Göta älv.

Längs Brodalsbäcken är erosionen ringa och slänterna är gräsbevuxta (Figur 4). Lokalt finns sten/grus längs bäckfåran samt på upptrampade stigar i slänten.



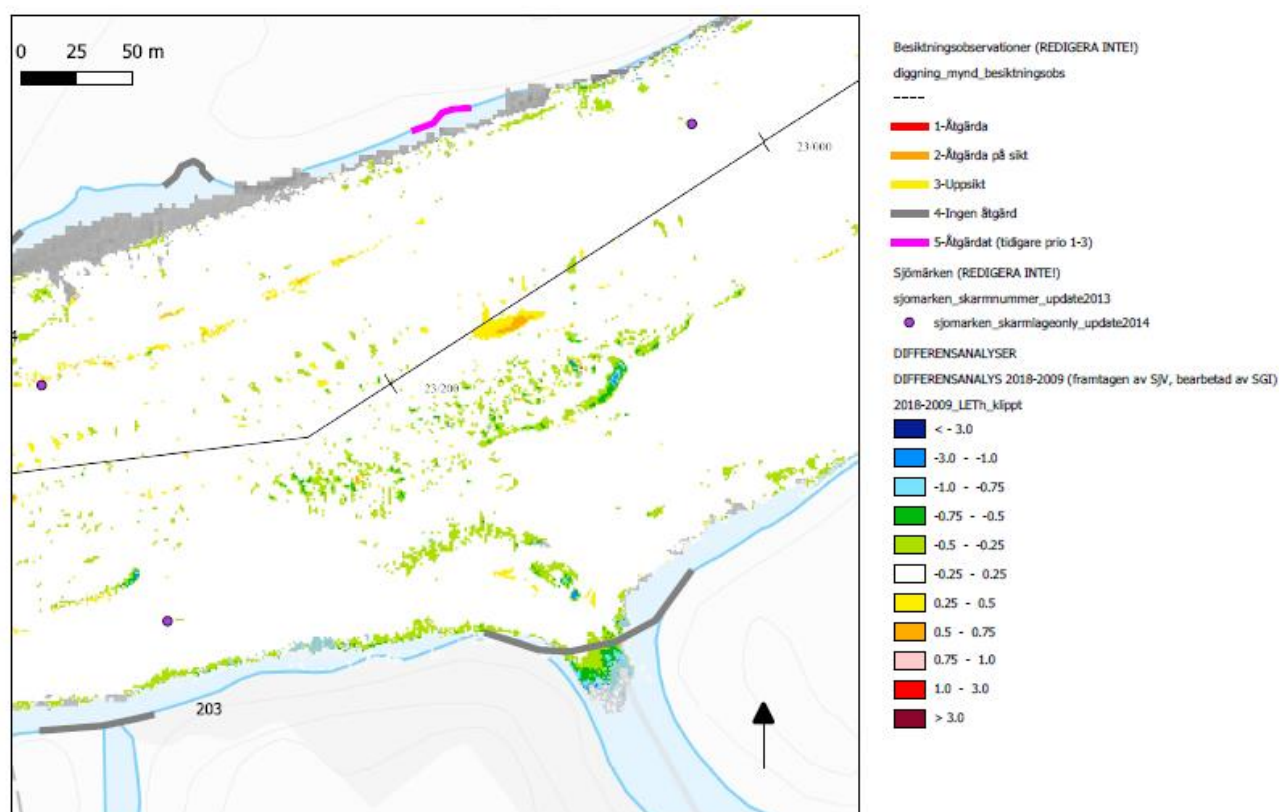
Figur 4: Brodalsbäcken.

I samband med brobygget för väg E45 över Slumpån lades erosionsskydd av sten ut längs en sträcka av ca 200 m uppströms respektive nedströms bron och på båda sidor av Slumpån (Figur 5). Erosionsaktiviteten längs Slumpån anses vara liten och strandlinjen är beväxt med vass.



Figur 5: Erosionsskydd i anslutning till bron där väg E45 korsar Slumpån.

Analys av förändringen i bottenivå längs Göta älv utfördes av SGI mellan år 2009 och 2018. Differensanalysen (Figur 6) visar på en liten förändring (ca 0,5 m) en bit ut från strandkanten inom delområde Ballsered under denna tidsperiod. Enligt då utförda besiktning av erosionsskydden erfordrades ingen åtgärd inom området.



Figur 6: Differensanalys 2009-2018, SGI.

4.4 Befintliga konstruktioner, förstärkningsåtgärder och ledningar

I samband med anläggningen av väg E45 som korsar Slumpån på bro i den östra delen av området utfördes ett antal förstärkningsåtgärder. Vägbanken i anslutning till bron grundlades, både norr och söder om vattendraget, på cellplast med full lastkompensation. För bron landfästen och brokonerna utfördes bankpålning. Väster om bron utfördes avschaktning av branta släntpartier som en stabilitetsförbättrande åtgärd. Erosionsskydd lades ut uppströms och nedströms bron, på båda sidor om Slumpån, se även kapitel 4.3.

Längs med väg E45 och längs de mindre vägarna i öster finns ledningar. Inom åkermarken finns åkerdränering.

5.0 GEOTEKNISKA FÖRHÅLLANDEN

Utvärdering av de geotekniska förhållandena baseras på nu och tidigare utförda undersökningar inom området. Nedan beskrivs de geotekniska förhållandena inom utredningsområdet.

5.1 Jordlagerföljd

Området utgörs i stort av ett sammanhängande lager lera till ett mycket stort djup (>70 m enligt borrhål 27602 från utredning E45 Torpabron) med förekomst av ett genomgående sandskikt i jordprofilen. Slänterna ner mot samtliga vattendrag, dvs Slumpån, Brodalsbäcken och Göta älv, har eroderat fram från en ursprunglig i princip plan markyta, vilket innebär att lerans egenskaper generellt är nivårelaterade samt varierar ovan respektive under skiktet.

Sandskiktet är som mäktigast i väster, där sonderingar i 20G036 visar på en mäktighet om ca 5-6 m med ovkant på nivå ca -1. Skiktet avtar i både mäktighet och lagringstäthet österut och vid 20G038 är skiktet ca 2,5 m tjockt. Ännu längre österut, vid Torpabron (20G045), är mäktigheten ca 1-1,5 m, och skiktets ovkant ligger högre, på nivå ca +4.

I den östra delen av utredningsområdet, öster om Torpabron, har nu utförda sonderingar stoppat på fastmark. Borrhål 20G047, 48 och 49 stoppade på ca nivå -2, -4 och -17, vilket vittnar om att fastmarken stiger mot öster, dvs. jorddjupet minskar successivt. Jordartskartan (Figur 7) visar på berg i dagen sydost om aktuellt utredningsområde.

Leran vilar på friktionsjord vars egenskaper inte undersökts närmare i denna utredning. Friktionslagrets mäktighet bedöms utifrån utförda sonderingar vara åtminstone någon till ett par meter innan berget tar vid.

De översta jordlagren består i huvudsak av torrskorpelera (ca 1,5-2 m mäktig), med inslag av silt och sand längst i väster (20G035 och -37) samt längst i öster (20G047 och -48). Detta överensstämmer med ytliga jordlager enligt SGU:s jordartskarta, se utsnitt i Figur 7.



Figur 7: Jordartskarta över aktuellt område (Källa: www.sgu.se)

Ytgeologisk tolkning utförd inom ramen för GÄU visar att jordlagren längs Göta älv utgörs av lera närmast strandkanten och det i mitten av älven, längs djupfåran, återfinns sandigt grus och sand, se Figur 8.



Figur 8: Ytgeologisk tolkning för Göta älv, utförd och redovisad inom ramen för GÄU (Källa: SGI).

5.2 Geotekniska egenskaper

Härledda värden för lerans grundparametrar (tunghet, vattenkvot, konflytgräns och sensitivitet) finns sammanställda i BILAGA A tillsammans med valda värden för respektive parameter.

5.2.1 Densitet, vattenkvot och konflytgräns

Lerans densitet varierar mellan ca 1,55–1,65 t/m³ över sandskiktet, där lera generellt är homogen och utan inblandning av grövre material. Under sandskiktet ökar silt- och sandinnehållet i lera och densiteten ökar till ca 1,6–1,7 t/m³.

Den naturliga vattenkvoten i lera varierar generellt mellan ca 60–80 %, men är lägre (ca 40–60 %) i anslutning till sandskiktet, där silt- och sandinnehållet i lera är högre.

Konflytgränsen varierar mellan ca 50–70 % i den övre delen av lera, men är något lägre (ca 40–60 %) i anslutning till sandskiktet. Under sandskiktet är konflytgränsen i lera högre, ca 65–80 %.

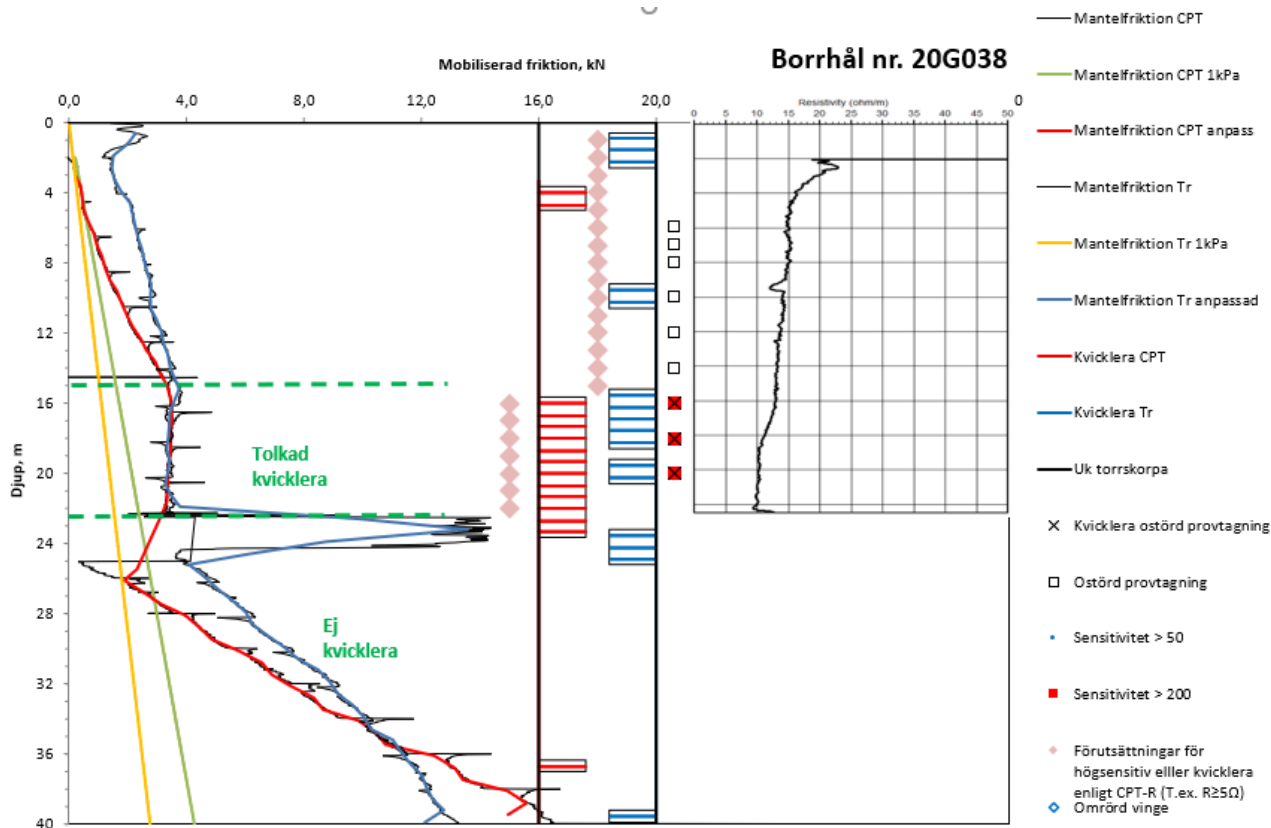
5.2.2 Sensitivitet och kvicklera

Inom ramen för tidigare utförd undersökning har lera inom det större området (GÄU delområde 7) bedömts vara mellan- till högsensitiv och lokalt kvick. Kvikclera är per definition en lera med en sensitivitet ≥ 50 som också har en odränerad skjuvhållfasthet i omrört tillstånd som är mindre än 0,4 kPa.

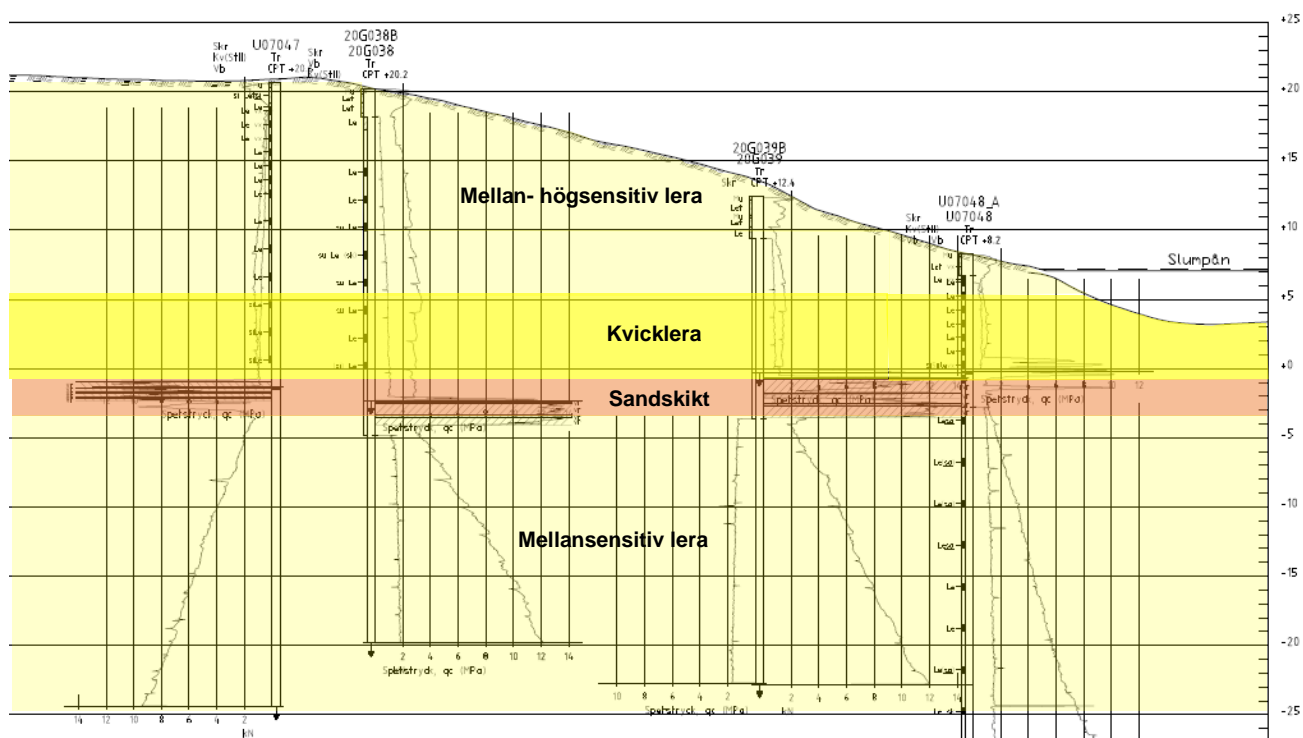
Nu utförda rutinförsök på ostörda prover visar generellt på en sensitivitet på ca 20–40 i den övre delen av lera, dvs. lera är mellan- till högsensitiv (men ej kvick) mellan nivå ca +19 till ca +10. På större djup, från nivå ca +10 ner till sandskiktet (på nivå ca +0), är lera högsensitiv med sensitivitet upp mot ca 200–550 (högsta uppnådda notering $St = 809$ i bh 20G043) och kvick. Under sandskiktet är sensitiviteten ca 25, dvs. lera klassas som mellansensitiv.

Kvikclereförekomsten har även utvärderats utifrån utförda CPTu-R- och trycksonderingar, med hjälp av ett Excel-program framtaget inom Göta älvutredningen. Generellt utvärderas dock fler nivåer som kvicklera med denna metod jämfört med resultaten från rutinförsök, vilket kan bero på grövre lager och/eller övergången då stängerna skarvats i fält. Mot bakgrund av detta har en ingenjörsmässig bedömning gjorts av utvärderad kvicklera från CPT-sonderingarna och klassificeringen jämförts med resultaten från rutinförsöken. Se exempel på utvärdering av kvicklera i Figur 9 och Figur 10. Utvärdering av kvicklera i samtliga nu utförda borrhål redovisas i BILAGA D.

Den sammanvägda bedömningen är att kvicklera förekommer inom hela området, på ca 10-12 m djup under markytan vid slänkrön och ner till sandskiktet, vars ovankant generellt ligger kring nivå ±0. Kvicklerans mäktighet är generellt ca 8-12 m, men lokalt är mäktigheten både större och mindre. Generellt minskar kvicklerans mäktighet ner mot Slumpån i nordväst. Öster om Torpabron (sektion 22850OR) är kvickleran svårare att utvärdera utifrån utförda undersökningar, men eventuellt återfinns kvicklera även på större djup, på ca nivå ca -5 till -10. Tidigare utredning för Torpabron (Vägverket, 2008) nämner också att kvicklera återfinns, förutom ovan sandskiktet, ovan friktionsjorden i botten av jordprofilen.



Figur 9: Utvärdering av kvicklera baserat på CPTu-R- och trycksondering samt rutinförsök på ostörda prover. Exempel från bh 20G038 vid slänkrön intill Slumpån.



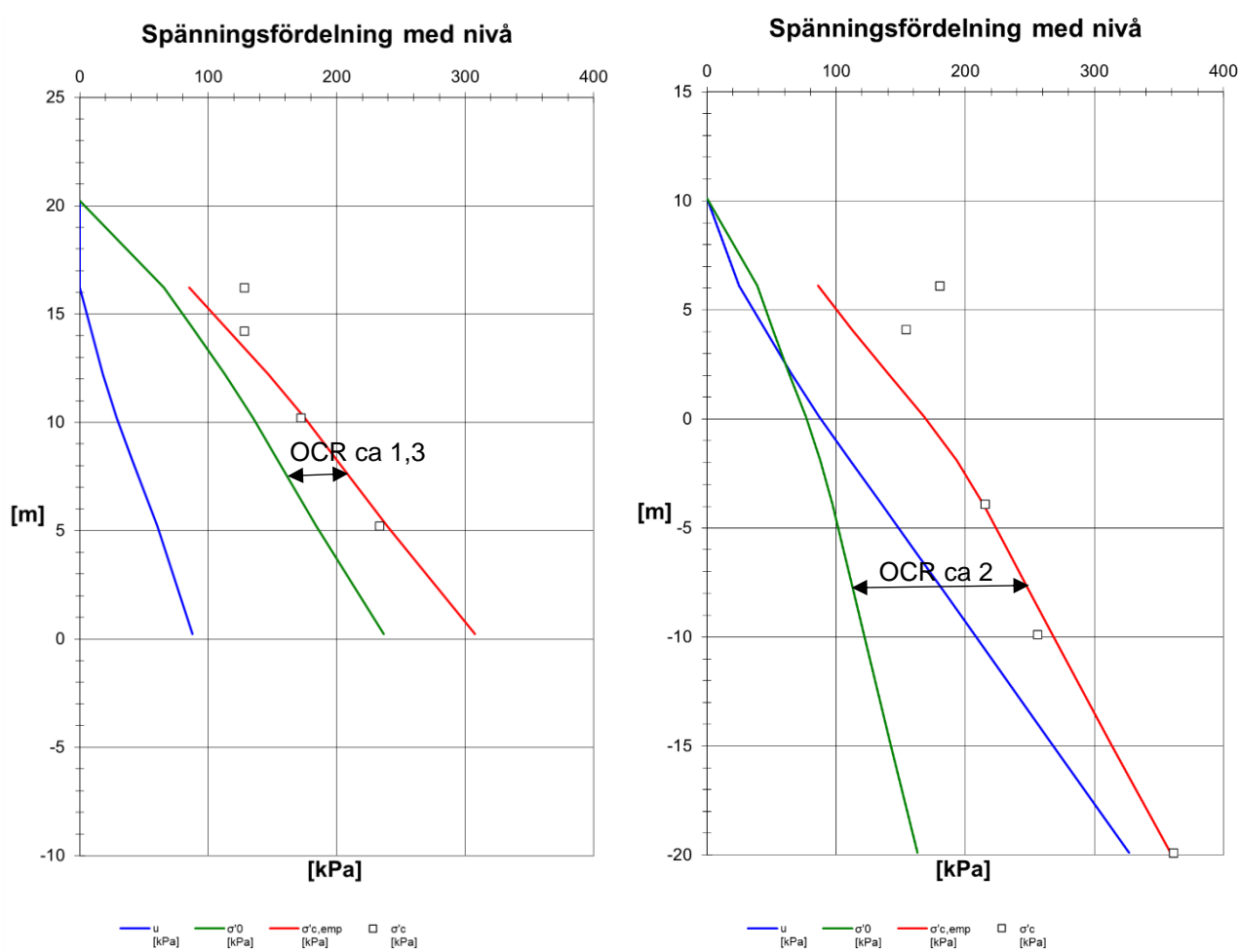
Figur 10: Tolkad utbredning av kvicklerans utbredning i sektion 23200OR, mot Slumpån.

5.2.3 Konsolideringsegenskaper

Lerans konsolideringsegenskaper har fastlagts genom CRS-försök på representativa prover, väl fördelade inom området och mot djupet.

Överkonsolideringsgraden inom området ovan släntrön är generellt ca 1,3, dvs. leran är svagt överkonsoliderad. Inom områdena för de eroderade ravinerna längs samtliga vattendrag (Slumpån, Brodalsbäcken och Göta älv) är leran mer överkonsoliderad och OCR varierar mellan ca 2-5. OCR är normalt något högre i den övre delen av leran, närmast markytan. I Figur 11 visas exempel på spänningsfördelning mot nivå, i en punkt ovan släntrön respektive i den nedre delen av slänten.

Det är sedan tidigare utförda utredningar känt att leran i slänterna längs Göta älv uppströms Lilla Edet generellt är överkonsoliderade pga. en historiskt högre liggande markyta.



Figur 11: Exempel på utvärderad överkonsolideringsgrad. T.v. bh 20G035 (släntkrön) och t.h. bh 20G043 (nedre del av slänten).

5.2.4 Odränerad skjuvhållfasthet inom landområdet

Lerans odränerade skjuvhållfasthet är baserad på nu och tidigare utförda fält- och laborieundersökningar. Fält- och laborieresultaten redovisas tillsammans med vald hållfasthet i nedanstående diagram samt i BILAGA B.

Hållfastheten har sammanställts och analyserats mot både djup och nivå, inom olika delar av området samt för olika undersökningsmetoder samt jämförts med empiriskt framtagna samband.

Den odränerade skjuvhållfastheten inom landområdet anses generellt vara nivårelaterad och konstant ner till en viss nivå under markytan för att på större djup ha en hållfasthetstillväxt. Detta överensstämmer med att slänten ner mot vattendragen eroderats från en ursprunglig i princip plan markyta. Inom större delen av utredningsområdet återfinns ett sandskikt på nivån ca ±0 - -5 och lerans egenskaper har funnits variera ovan respektive under skiktet.

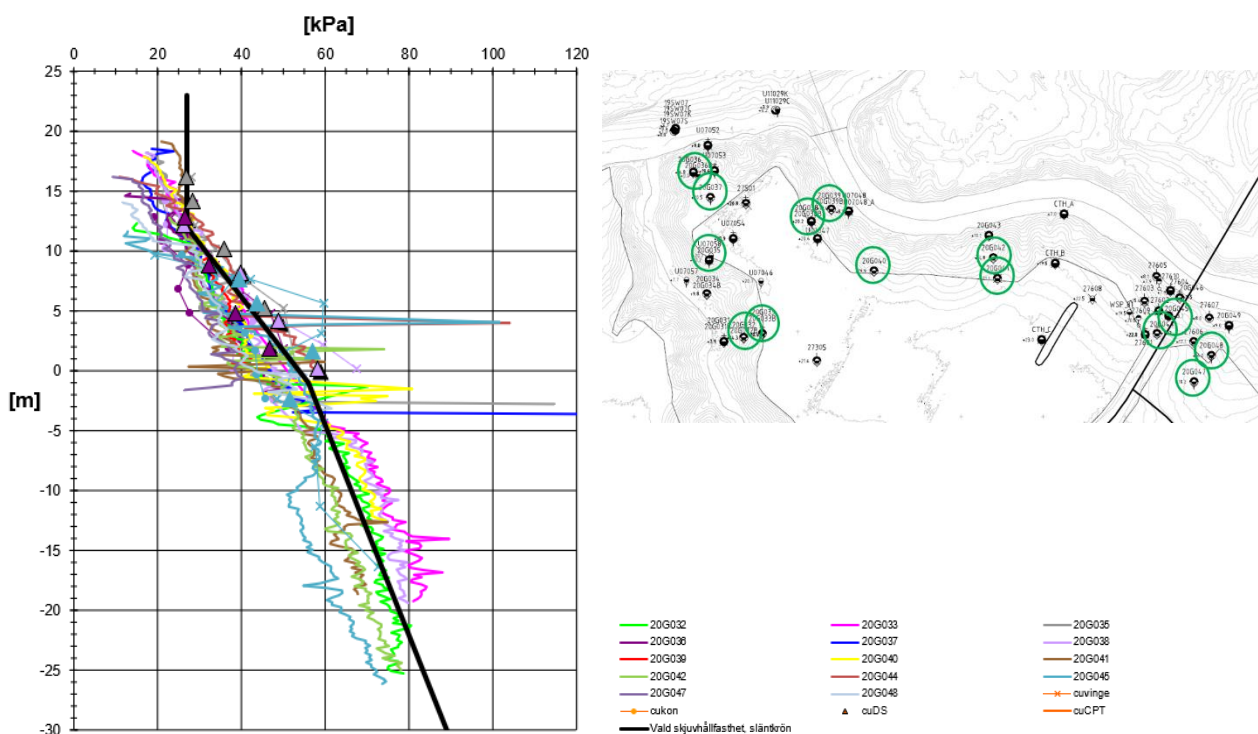
Hållfasthetsanalysen har resulterat i att en jordmodell fastlagts gälla ovan släntkrön och för den övre delen av slänterna (ca 3/4) ner mot vattendragen och en annan jordmodell för området närmast strandkanten, dvs. för den nedre delen av slänten (ca 1/4) och slänftot.

5.2.4.1 Ovan slänkrön och övre del av slänt

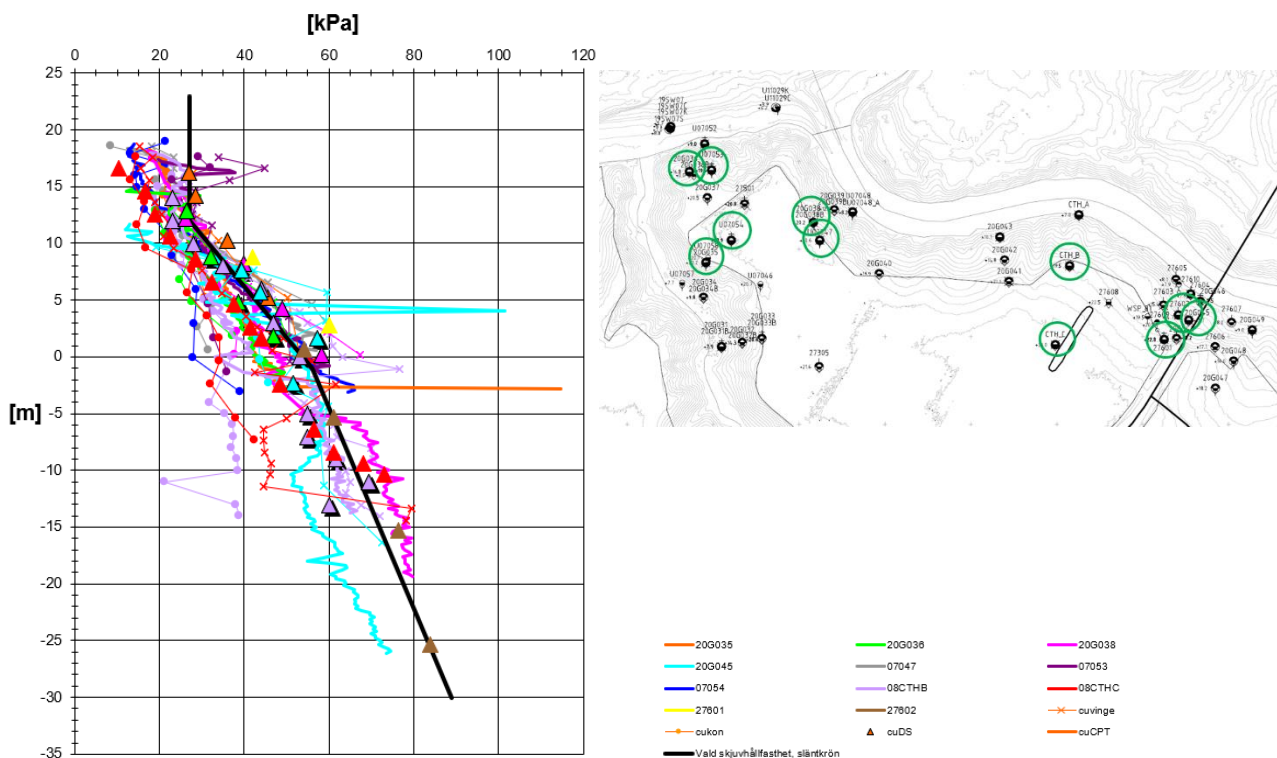
En karakteristisk hållfasthetsprofil har tagits fram för den övre delen av slänten, där resultaten från främst direkta skjuvförsök och därefter vingförsök generellt värderats högre än konförsök och CPT-sondering. Samtliga undersökningar uppvisar dock god överensstämmelse, både när det gäller nivå och ökning/tillväxt mot djupet, se Figur 12, Figur 13 och Figur 14.

I Figur 12 redovisas borrhållslägen och resultat från nu utförda geotekniska undersökningar i fält och på laboratorium (Golder, 2020/2021). I Figur 13 redovisas en sammanställning av resultat från nu och tidigare utförda kvalificerade borrhål (med bl. a ostörd provtagning och avancerade laboratorieförsök) samt lägen.

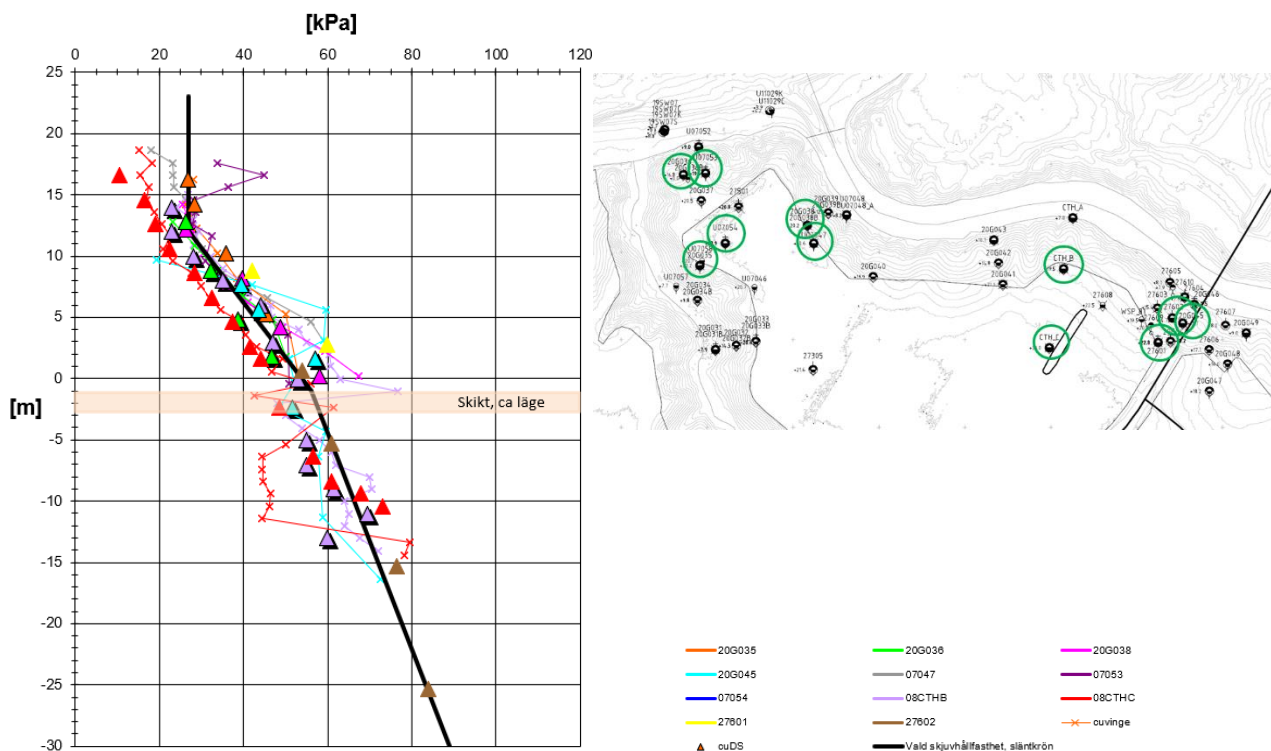
Den odränerade skjuvhållfastheten i det övre lerlagret (inkl. torrskorpeleran) har utvärderats vara konstant ca 27 kPa ner till nivån ca +13. Under leran med konstant hållfasthet ökar hållfastheten med ca 2,2 kPa/m ner till sandskiktet. Under sandskiktet är hållfasthetstillväxten i leran ca 1,1 kPa/m till stort djup.



Figur 12: Odränerad skjuvhållfasthet, ovan slänkrön och övre del av slänt. Sammanställning av resultat från vingförsök, CPT-sonderingar, konförsök och direkta skjuvförsök, från nu utförda undersökningar (Golder 2020/2021) med placering enligt gröna ringar i kartbild.



Figur 13: Odränerad skjuvhållfasthet, ovan slänkrön och övre del av slänt. Sammanställning av resultat från vingförsök, CPT-sonderingar, konförsök och direkta från nu och tidigare utförda kvalificerade borrhål med placering enligt gröna ringar i kartbild.



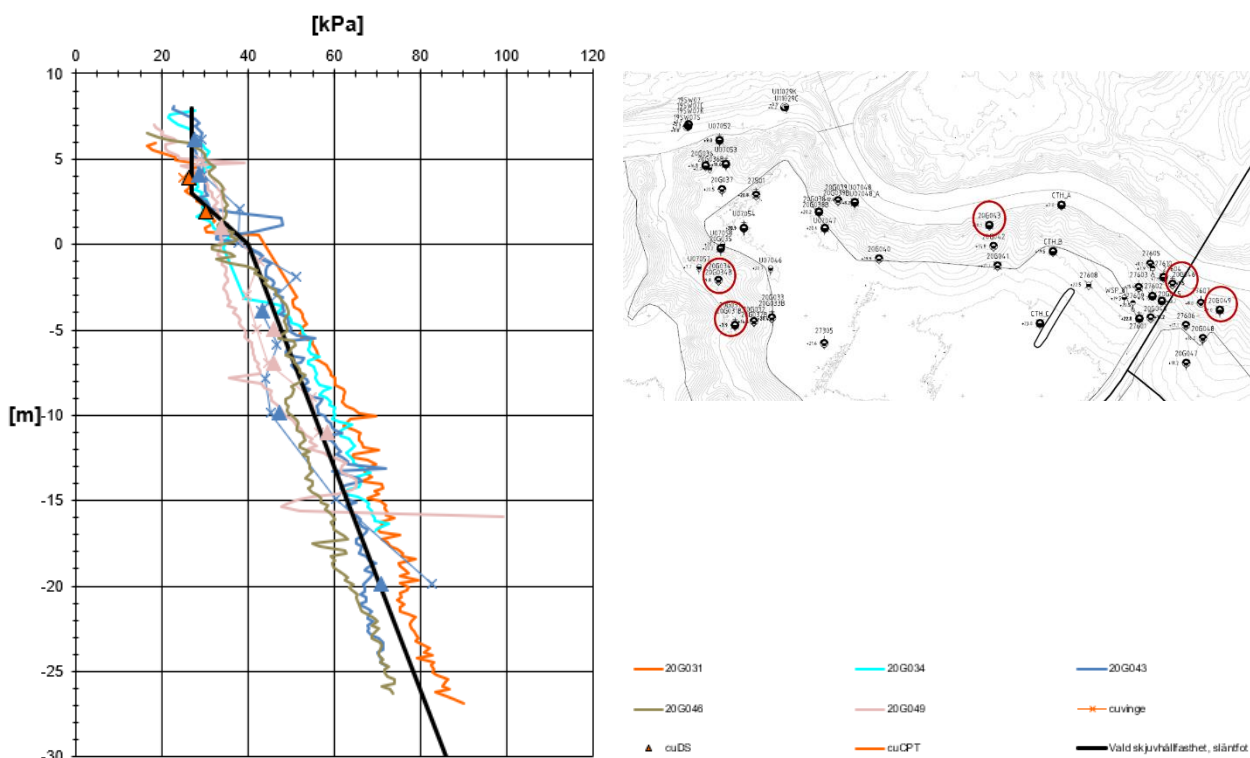
Figur 14: Odränerad skjuvhållfasthet, ovan slänkrön och övre del av slänt. Sammanställning av resultat vingförsök och direkta skjuvförsök från nu och tidigare utförda kvalificerade borrhål med placering enligt gröna ringar i kartbild.

5.2.4.2 Släntfot, nedre delen av slänten intill strandkant

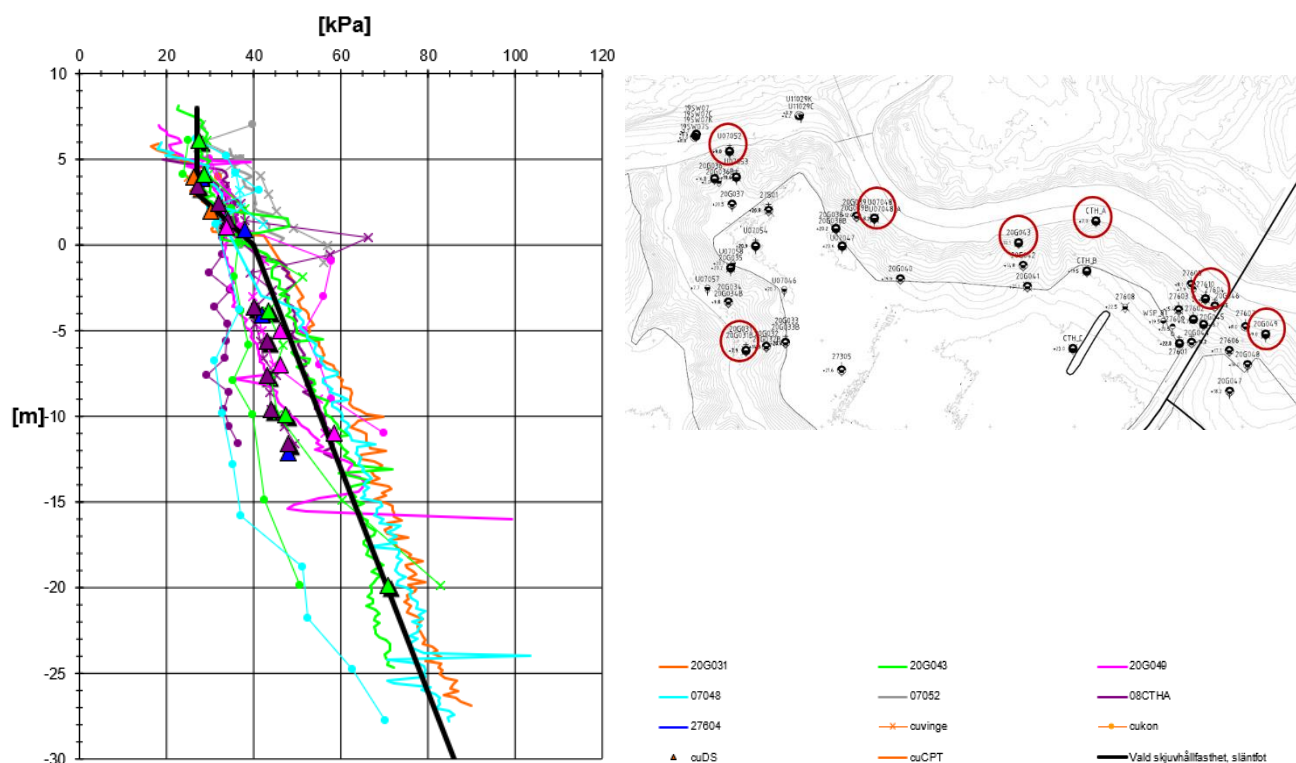
Även i den nedre delen av slänten har ett relativt stort geotekniskt underlag funnits att tillgå och försöken har sammanställts och analyserats utifrån olika kriterier (nya/tidigare försök, olika fält- och laboratoriemetoder etc.). I Figur 15 redovisas borrhållslägen och resultat från nu utförda geotekniska undersökningar i fält och på laboratorium (Golder, 2020/2021). I Figur 16 redovisas en sammanställning av resultat från nu och tidigare utförda kvalificerade borrhål (med bl. a ostörd provtagning och avancerade laboratorieförsök) samt lägen.

En karakteristisk hållfasthetsprofil för den nedre delen slänten har tagits fram där resultaten från nu utförda fältförsök och avancerade laboratorieförsök värderats högre än konförsök och tidigare utförda laboratorieförsök, framförallt under sandskiktet. Konförsök tenderar generellt att uppvisa lägre odränerad skjuvhållfasthet än övriga metoder, särskilt på större djup, vilket också bekräftats genom metodstudie inom föreliggande utredning. Dessutom kan i det aktuella fallet sandskiktet orsakat en störning av de ostörda proverna. Tidigare utförda laboratorieförsök (CTH, 2008 och GÄU, 2008) avviker mot djupet, under sandskiktet, från nu utförda försök och kan också eventuellt vara störda. Merparten av nu och tidigare utförda undersökningar uppvisar dock relativt god överensstämmelse, både när det gäller nivå och ökning/tillväxt mot djupet, se Figur 15 och Figur 16.

Den odränerade skjuvhållfastheten i det övre lerlagret (inkl. torrskorpeleran) har utvärderats vara konstant ca 27 kPa ner till nivån ca +3. Under leran med konstant hållfasthet ökar hållfastheten med ca 4,3 kPa/m till sandskiktet. Under sandskiktet är hållfasthetstillväxten i leran ca 1,5 kPa/m till stort djup.



Figur 15: Odränerad skjuvhållfasthet, nedre del av slänt och släntfot. Sammanställning av resultat från vingförsök, CPT-sonderingar och direkta skjuvförsök, från nu utförda undersökningar (Golder 2020/2021) med placering enligt röda ringar i kartbild.



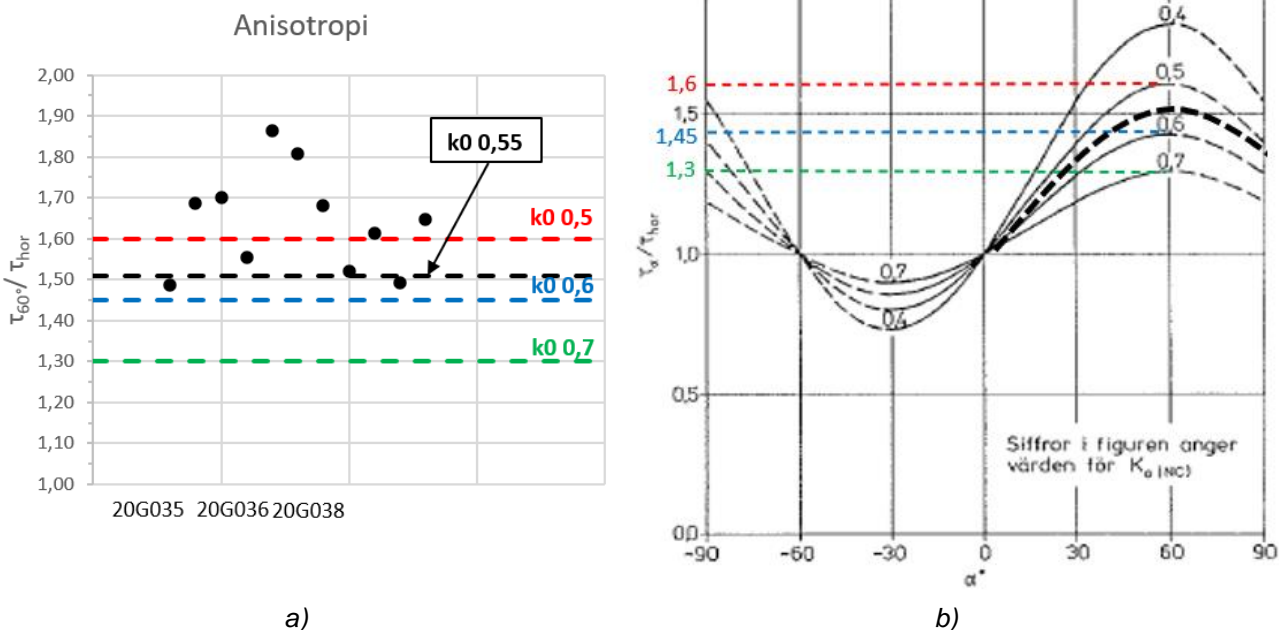
Figur 16: Odränerad skjuvhållfasthet, nedre del av slänt och släntfot. Sammanställning av resultat från vingförsök, CPT-sonderingar, konförsök och direkta skjuvförsök, från nu och tidigare utförda kvalificerade borrhål med placering enligt röda ringar i kartbild.

5.2.5 Hållfasthetsanisotropi

Anisotropieffekter kan spela en relativt stor roll för stabiliteten i branta slänter, där aktivzonen är mycket större än passivzonen. Inom aktuellt utredningsområde är detta fallet för samtliga slänter mot Göta älv, Slumpån och Brodalsbäcken.

Nu utförda aktiva odränerade triaxialförsök på leran inom landområdet visar att skjuvhållfastheten vid ett aktivt brott är ca 50–85 % högre än vid direkt skjuvning (Figur 17), vilket bekräftar att hållfasthetsanisotropi kan tillgodoräknas i leran inom hela området. Analys av utförda triaxialförsök inom olika delar av området (bh 20G035, 20G036 och 20G038) samt på olika djup under markytan visar att graden av anisotropi är ungefär densamma inom hela området och genom hela jordprofilen. Tidigare utförda triaxialförsök inom andra delar av området, i anslutning till Slumpån (Vägverket, Beräknings-PM, 2008), visar på samma grad av anisotropi. Även empirisk utvärdering av anisotropin utifrån lerans konflytgräns stöder samma anisotropifunktion.

Vid stabilitetsberäkningarna inom utredningsområde Ballsered har hållfasthetsanisotropi tillgodoräknats som motsvarar anisotropifunktionen $K_{0NC}=0,55$ (enligt Figur 24 i Skredkommissionens rapport 3:95). Detta betyder i praktiken att i glidyornas aktivzon, beroende på skjuvytans lutning mot horisontalplanet, erhålls en förhöjning av den odränerade skjuvhållfastheten med ca 0–50 % (sinusformad funktion beroende på skjuvplanets lutning (Figur 17)). I glidyornas passivzon erhålls däremot en reducering av skjuvhållfastheten med ca 0–20 %. Effekten av anisotropi blir därmed större ju brantare slänten och glidytan är. Beaktande av hållfasthetsanisotropi i leran ger för aktuella slänter ett positivt bidrag (ökning) till säkerhetsfaktorn mot stabilitetsbrott.

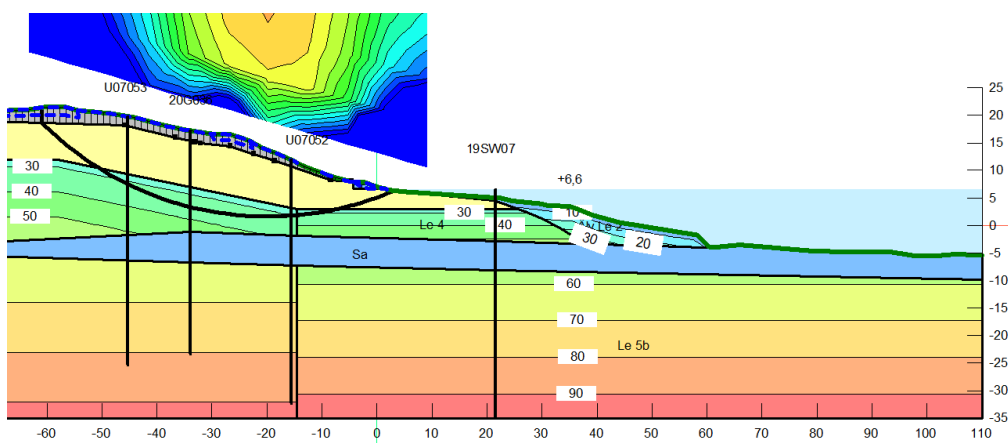


Figur 17 a) Förhållande mellan aktiv och direkt skjuvhållfasthet från utförda triaxial- respektive direkta skjuvförsök på ostörda prover från Ballsered och b) Uppskattning av odränerad skjuvhållfasthet i olika skjuvplan med ledning av $K_{0(NC)}$ (Källa: "Anvisningar för släntstabilitetsutredningar", Skredkommissionen, Rapport 3:95).

5.2.6 Odränerad skjuvhållfasthet under älven

Lerans skjuvhållfasthet under älvbotten har inte undersökts inom ramen för föreliggande utredning utan baseras på tidigare värden från Göta älvutredningen och modelleras enligt SGI:s styrdokument.

I beräkningarna ansätts älvlerans hållfasthet omedelbart under älvbotten till 3 kPa och ökar linjärt mot det värde som motsvarar den hållfasthet som råder på land (Figur 18). Inverkan från avlastningen av älvfåran är antagen till det djup under älvbotten som motsvaras av vattendjupet (utifrån medelvattennivån) i respektive tvärsnitt.



Figur 18: Modellerad skjuvhållfasthet under älven, sektion 233000 mot Göta älv.

I anslutning till område Ballsered har två borrhål tidigare utförts från flote vid Göta älvs strandkant (19SW07 och U11029). Undersökningarna visar generellt på en odränerad hållfasthet i leran i strandzonen ovan sandskiktet på ca 20-40 kPa, dvs. något högre än vald hållfasthet. Detta innebär att empiriskt ansatt

hållfasthet enligt ovan är på säkra sidan. Vidare innebär släntens geometri och jordlagerföljd att älvlerans hållfasthet inte påverkar glidytorerna med lägst säkerhetsfaktor mot brott inom aktuellt område.

5.2.7 Dränerad skjuvhållfasthet

Den dränerande skjuvhållfastheten har valts enligt SGI:s styrdokument "Riktlinjer för tekniskt arbete" till $\Phi' = 30^\circ$ och att $c' = 0,1 \times c_u$.

6.0 HYDROGEOLOGISKA FÖRHÅLLANDEN

6.1 Vattennivå i vattendrag

Nivån i Göta älv är bl. a reglerad vid Lilla Edets sluss, ca längdmätning 31/600. Då fallhöjden mellan Trollhättan och Lilla Edets sluss är liten kan samma vattenstånd antas gälla från en sluss och uppströms till nästa. Detta innebär att för delområde Ballsered, ca längdmätning 23/300, gäller samma vattenstånd som för Lilla Edet Sluss 6 ÖVY (övre vattenyta). Enligt Tabell 6.1 i Styrdokument DGA00XST01 (SGI, 2021) är HHW +7,5, MW +7,2 och LLW +6,6.

Vattennivån i de yttre delarna av Slumpån och Brodalsbäcken bedöms variera med vattenståndet i Göta älv enligt ovan.

6.2 Grundvattenyta och portryck

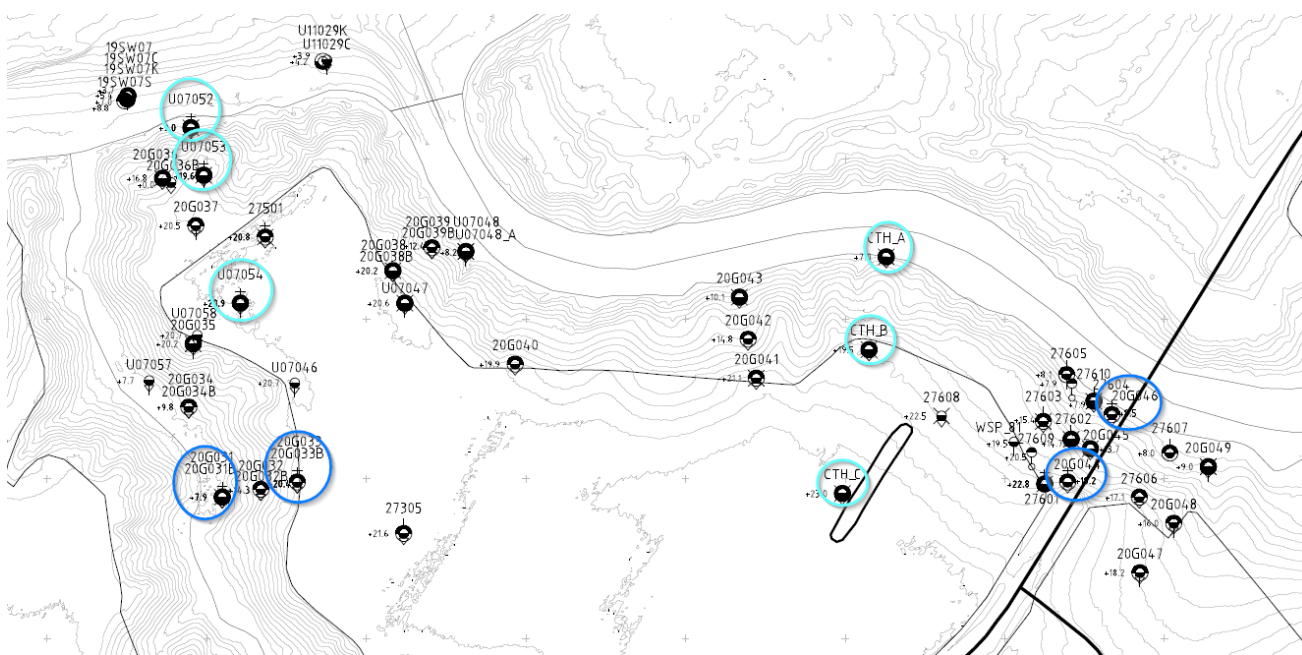
Inom ramen för aktuell utredning har portrycksspetsar med elektriska PVT-mätare med minne installerats i en punkt (20G044) och BAT-spetsar för manuell mätning installerats i tre punkter (20G031, 20G033 och 20G046), se lägen i Figur 19. I tidigare utredningar (SGI/CTH, 2008 och GÄU, 2012) har portrycket mätts i sex punkter placerade i sektioner mot Göta älv respektive Slumpån, se Figur 19. Tidigare portrycksstationer finns inte kvar för fortsatt mätning, men dokumenterade mätserier har nyttjats för utvärdering av portrycket inom området. Nu och tidigare installerade portrycksspetsar är belägna både ovanför och under sandskiktet. Portrycket i leran inom aktuellt område har mätts under perioderna februari-juni 2021, maj-september 2010 och maj 2000 och resultaten bedöms vara representativa och täcka in årstidsvariationer och eventuell förändring med tiden.

Nu utförda mätningar visar på hydrostatiskt portryck de översta ca 5 m motsvarande en vattenyta på ca 0-0,5 m djup under markytan vid släntfot och ca 1 m djup under markytan vid släntrön. Någon fri vattenyta har vid fältundersökningarna generellt inte kunnat uppmätas i öppna skruvhål då de noterats vara torra till ca 3 m djup, vilket troligen beror på att leran är tät och det tar lång tid innan någon fri vattenyta ställer in sig.

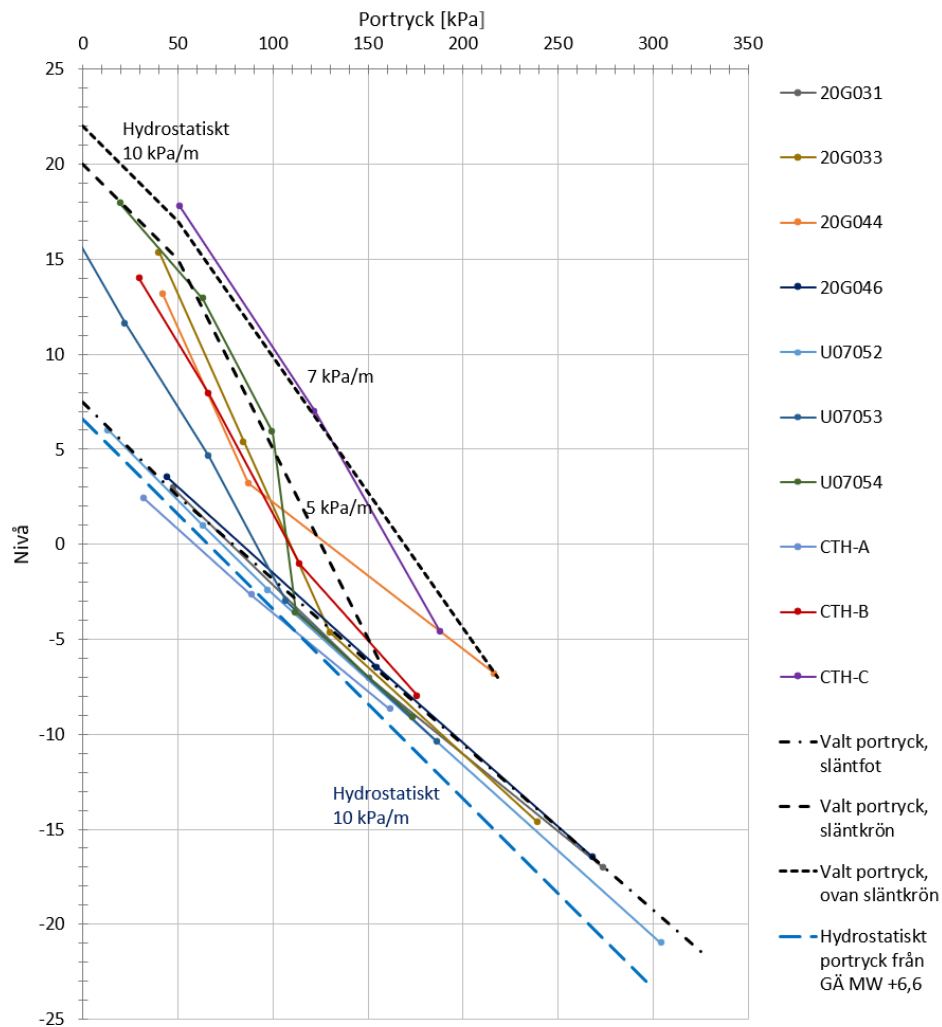
Portrycksmätningarna visar att sandskiktet (generellt beläget på nivån ca ± 0 - -5) dränerar den ovanliggande leran och portrycket ökar mindre än hydrostatiskt (Figur 20). Centralt i området (CTH-C) är portryckstillväxten ovan skiktet ca 7 kPa/m, men närmare släntrönen mot samtliga vattendrag är portryckets tillväxt mot djupet ännu något lägre, ca 5 kPa/m. I anslutning till skiktets ovkant, på nivån ca ± 0 , är portrycket ca 160 kPa en bit bakom släntrön, ca 110 kPa i slänterna och ca 60-70 kPa vid släntfot.

Under sandskiktet ökar portrycket mer än hydrostatiskt mot djupet, ca 11,5 kPa/m. På nivån -15 är portrycket ca 250 kPa.

Uppmätt och valt portryck för olika delar av slänterna redovisas i Figur 20 och BILAGA C.



Figur 19: Portrycksstationer i Ballsered. Nu installerade och mätta stationer är markerade med blå ring och tidigare stationer är markerade med turkos ring.



Figur 20: Portryck Ballsered, uppmätt och valt portryck i olika delar av slänten.

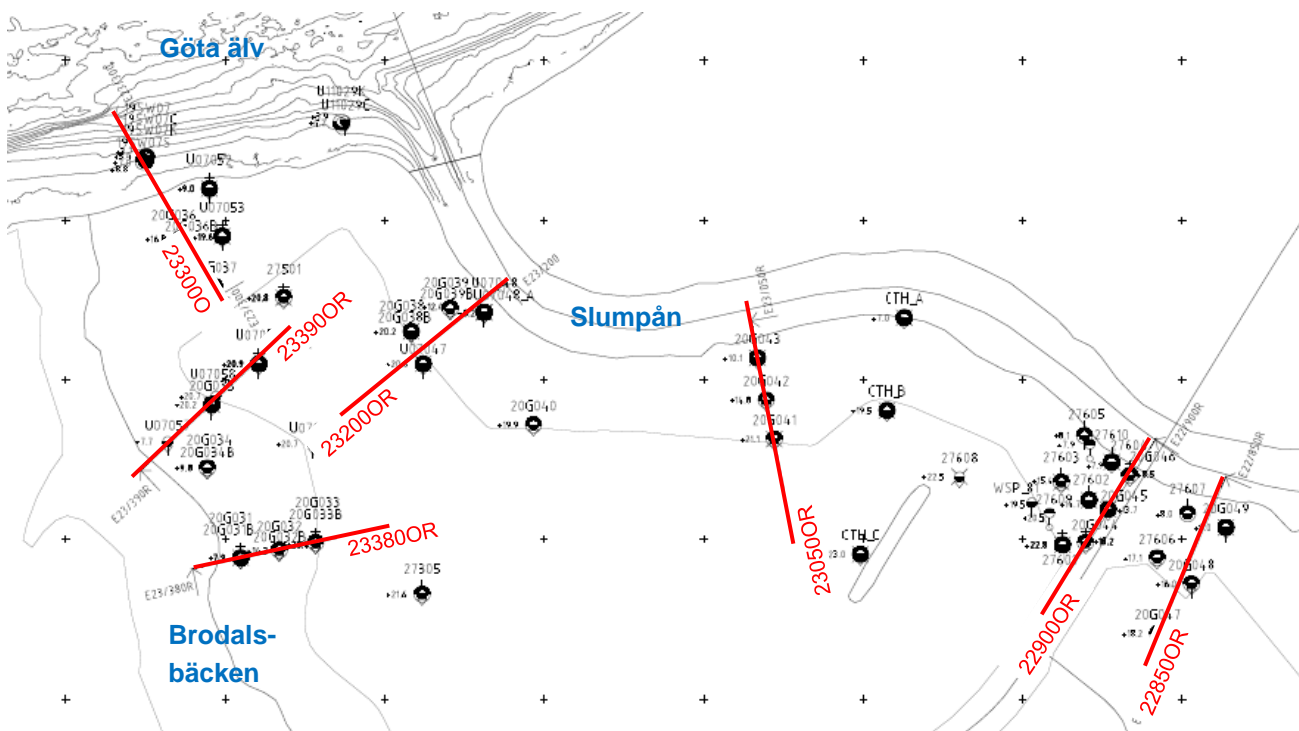
7.0 STABILITET

7.1 Allmänt

Stabiliteten inom området har analyserats för befintliga förhållanden i sju representativa sektioner med sektionslägen enligt Figur 21. Av dessa sektioner har 3 st. tidigare analyserats inom ramen för Göta älvutredningen (sektion 23390OR, 23300O och 23200OR). Vägverket (2008) och SGI (2008) har tidigare analyserat ett antal sektioner längs Slumpån. Nu analyserade sektioner 22900OR och 22850OR ligger nära Vägverkets tidigare analyserade sektioner.

Beräkningssektionernas lägen har valts ut utifrån variationerna i geometri, batymetri och geotekniska förutsättningar inom området för att på så sätt täcka in och kunna bedöma stabilitetsförhållandena inom hela området. Sektionerna har placerats i representativa delar av slänterna mot de tre olika vattendragen och beräknade säkerhetsfaktorer bedöms gälla även mellan sektionerna.

Stabilitetsanalyserna har utförts som kombinerad och odränerad analys med totalsäkerhetsmetoden och partialkoefficientmetoden med beräkningsprogrammet Slope/W (Geostudio 2018 R2). Redovisade säkerhetsfaktorer avser Morgenstern-Price metod för cirkulärcylindriska glidytor.



Figur 21: Plan med sektionslägen och -benämningar. Benämningarna utgår ifrån längdmätning i Göta älv. Ändelse R står för ravin och ingår i sektionensnamnen för biflödena till Göta älv.

7.2 Erforderlig säkerhetsfaktor

7.2.1 Totalsäkerhetsmetoden

Stabilitetsutredningen har utförts enligt Skredkommissionens anvisningar, Rapport 3:95, samt IEG rapport 4:2010 där erforderlig säkerhetsfaktor gäller för Fördjupad stabilitetsutredning för markområden med markanvändningen "Befintlig bebyggelse och anläggning". Enligt ovanstående gäller därmed följande rekommendation på säkerhetsfaktorn mot brott utifrån rådande förutsättningar:

Tabell 1: Rekommenderad säkerhetsfaktor för befintlig bebyggelse och anläggning och fördjupad utredning enligt Tabell 4.2 i Rapport IEG 4:2010, totalsäkerhetsmetoden.

F_c	$\geq 1,4-1,3$
F_{komb}	$\geq 1,3-1,2$

Säkerhetsrekommendationen utgörs således av ett "spann" mellan olika nivåer på erforderlig säkerhetsfaktor. Vilket krav på erforderlig säkerhetsfaktor som råder inom ett projekt bestäms av ett stort antal faktorer som betecknas som "gynnsamma" eller "ogynnsamma". Exempel på en ogynnsam faktor är t.ex. förekomst av kvicklera, stora konsekvenser av ett skred, pågående erosion eller ett begränsat antal geotekniska undersökningar etc.

Inom det aktuella området utgörs marken generellt av lera med låg odränerad skjuvhållfasthet. Leran är mellan- till högsensitiv och kvick i anslutning till sandskiktet. Det geotekniska underlaget är stort och spridningen hos lerans egenskaper är relativt liten. Konsekvenserna av ett eventuellt skred bedöms vara begränsade då det inom landområdet inte finns någon bebyggelse eller anläggning som kan beröras, utan endast natur- och betesmark. Stabiliteten för väg E45 inklusive bron över Slumpån är i tidigare utförda utredningar kontrollerad mot krav enligt TK Geo och säkerställd av Trafikverket. Ett skred skulle dock kunna innebära uppträckning av massor samt grumling i Göta älv, vilket kan påverka sjöfart, vattenförsörjning och naturvärden. Det finns idag inga tecken på rörelser i slänterna. Det finns tre vattendrag inom området, men risken för erosion bedöms vara liten då Göta älv är erosionskyddad med sprängstensbank och erosionen längs Slumpån och Brodalsbäcken är mycket begränsad.

Med utgångspunkt från de förutsättningar (både yttre och geotekniska) som råder inom det aktuella området enligt sammanfattning ovan så rekommenderas följande säkerhetskrav:

Tabell 2: Säkerhetsrekommendation för föreliggande fördjupade stabilitetsutredning utifrån gynnsamma respektive ogynnsamma faktorer, totalsäkerhetsmetoden.

F_c	$\geq 1,35$
F_{komb}	$\geq 1,25$

Enligt SGI:s gällande styrdokument (DGA00XST01 Riktlinjer för tekniskt arbete 5.0) gäller dock för fördjupad stabilitetsutredning generellt kraven på säkerhetsfaktor F_{tot} från den övre gränsen i intervallen i Tabell 1, se Tabell 3, vilka använts i föreliggande utredning.

Tabell 3: Gällande säkerhetsrekommendation för föreliggande fördjupade stabilitetsutredning, totalsäkerhetsmetoden.

F_c	$\geq 1,4$
F_{komb}	$\geq 1,3$

7.2.2 Partialkoefficientmetoden

Samtliga sektioner analyserade för befintliga förhållanden beräknas även med partialkoefficientmetoden enligt Eurocode. Säkerhetsklass 3, SK3, används vid förekomst av kvicklera i området. Kraven på säkerhetsfaktorn F_{EN} för att en slänt ska anses vara stabil är enligt SGI:s styrdokument och IEG Rapport 6:2008 $F_{EN} \geq 1,1$ för SK3, såväl vid odränerad som kombinerad analys.

Om erforderlig säkerhetsfaktor inte uppnås med totalsäkerhetsmetoden i en fördjupad stabilitetsutredning så ska ett översiktligt åtgärdsförslag tas fram. Åtgärdsförslaget ska utformas så att totalstabiliteten för aktuell slänt uppfyller gällande krav på säkerhetsfaktorer enligt totalsäkerhetsmetoden, se Tabell 3. Framtaget förslag ska även beräknas och redovisas med partialsäkerhet (F_{EN}). Eventuella nyskapade schaktslänter ska uppfylla ställda krav enligt partialsäkerhetsmetoden, dvs. $F_{EN} \geq 1,1$.

7.3 Beräkningsförutsättningar

7.3.1 Utformning och geometri

Som underlag till utförda stabilitetsberäkningar för utredningsområdet har Lantmäteriets nationella höjddatamodell (1 m grid) samt fastighetskartan använts.

Modell över älvens bottenpografi kommer från batymetrisk sjömätning 2018 (Clinton), och Slumpåns batymetri kommer från ekolodning i Slumpån (Marin Mätteknik AB, 2006). Brodalsbäckens bottenprofil är mycket grund, och kontrollmättes i ett par sektioner av Golder 2021.

7.3.2 Materialegenskaper

Materialegenskaper samt jordlagrens mäktighet har utvärderats från nu utförda geotekniska undersökningar tillsammans med tidigare utförda fältundersökningar. I nedanstående tabeller redovisas de materialparametrar som använts vid stabilitetsberäkningarna för respektive sektion. Valda materialparametrar redovisas också på respektive stabilitetsberäkning i BILAGA E -BILAGA G.

Tabell 4: Valda materialegenskaper för stabilitetsberäkningar i samtliga sektioner.

Jordlager	Bedömda materialegenskaper	Värde
Torrskorpelera	Tunghet, Odränerad skjuvhållfasthet, T_{fu}	17,5 kN/m ³ 27 kPa
Sand	Tunghet, γ Friktionsvinkel, ϕ'	19 kN/m ³ 35°
Lera 1	Tunghet, γ Odränerad skjuvhållfasthet, T_{fu}	16,1 kN/m ³ 27 kPa
Lera 2	Tunghet, γ Odränerad skjuvhållfasthet, T_{fu}	16,1 kN/m ³ 27 + 2,2·z* kPa
Lera 3	Tunghet, γ Odränerad skjuvhållfasthet, T_{fu}	16,5 kN/m ³ X + 1,1·z*** kPa
Lera 4	Tunghet, γ Odränerad skjuvhållfasthet, T_{fu}	16,1 kN/m ³ 27 + 4,3·z** kPa
Lera 5	Tunghet, γ Odränerad skjuvhållfasthet, T_{fu}	16,5 kN/m ³ X + 1,5·z*** kPa
Älv Lera	Tunghet, γ Odränerad skjuvhållfasthet, T_{fu}	16,1 kN/m ³ 3 + 6,62·z* kPa

X motsvarar värdet på skjuvhållfastheten i föregående lerlagers botten i respektive sektion, se Tabell 5.

* z avser djup räknat från jordlagrets ovkant.

** z avser djup räknat från nivån +3.

*** z avser djup räknat från nivåer redovisade i Tabell 5 för respektive sektion.

Tabell 5: Specifika värden på materialegenskaper på Lera 3 och 5, för respektive sektion.

Sektion	Lera 3		Lera 5	
	Startvärde	Ökning efter nivå	Startvärde	Ökning efter nivå
233000	60,5 kPa	-5,3	55 kPa	-7,3
233800R	56,5 kPa	-3	40,5 kPa	-3
233900R	69 kPa	-4	47 kPa	-4
232000R	56,5 kPa	-2,5	38,5 kPa	0
230500R	52,5 kPa	+0	32 kPa	-0,2
229000R	48 kPa	+3,8	27 kPa	+3
228500R	33,5 kPa	+8,6	41,5 kPa	+5,7

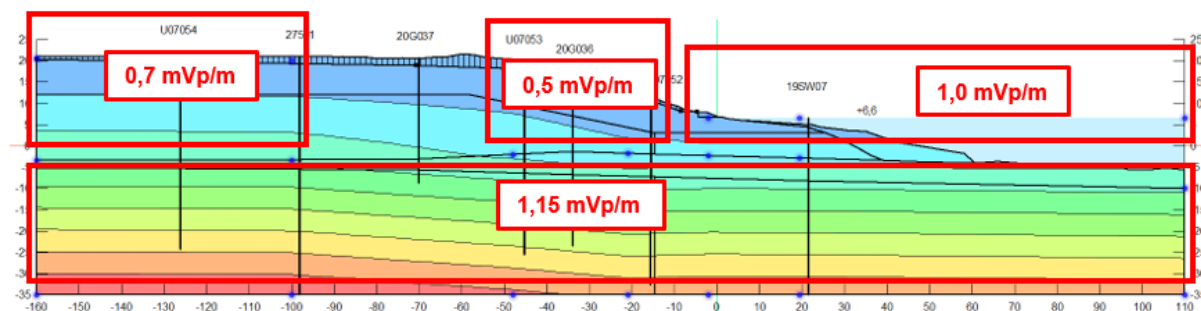
7.3.3 Laster

Marklaster ansätts generellt i de fall där de befinner sig i aktivzonen, d v s i den pådrivande delen, av glidyterna.

Inom aktuellt område finns inga byggnader eller andra anläggningar som utgör en belastning i stabilitetsberäkningarna. Väg E45 som korsar Slumpån på bro i den östra delen av området är grundlagd på cellplast (full lastkompensation) och bankpålning och utgör ingen belastning på slänterna.

7.3.4 Grundvatten och portryck

I beräkningarna har grundvattenytan generellt ansatts ligga på ca 0,5-1 m djup under markytan och portrycket har ovan skiktet ansatts öka med 5-7 kPa/m, dvs. mindre än hydrostatiskt, i enlighet med utförda portrycksmätningar (kapitel 6.2). Under sandskiktet har portrycket ansatts öka med 11,5 kPa/m mot djupet. Valt portryck är konservativt då det representerar den högst uppmätta nolltrycknivån respektive portryckstillväxten mot djupet, se Figur 20. Portrycket är modellerat med diskreta punkter (spatial function) i Slope.



Figur 22: Portrycksmodell. Angivna siffror visar portrycksökning i meter vattenpelare (mvp mot djupet).

7.3.5 Vattennivå

För samtliga vattendrag, dvs. Göta älv, Slumpån och Brodalsbäcken, tillämpas dimensionerande vattenstånd för Lilla Edet Sluss 6 ÖVY enligt styrdokument DGA00XST01 (Version 5.0, SGI, 2021). I beräkningarna har LLW (+6,6) ansatts då vattnets mothållande effekt då är som lägst, vilket därmed utgör det mest ogynnsamma lastfallet med avseende på stabiliteten.

7.4 Stabilitetsanalyser för befintliga förhållanden

Stabiliteten för befintliga förhållanden har analyserats för sju sektioner inom aktuellt område. Tre av sektionerna är sedan tidigare analyserade inom ramen för Göta älvutredningen, men har nu uppdaterats med aktuell geometri, batymetri och geotekniska förutsättningar baserat på utförda undersökningar.

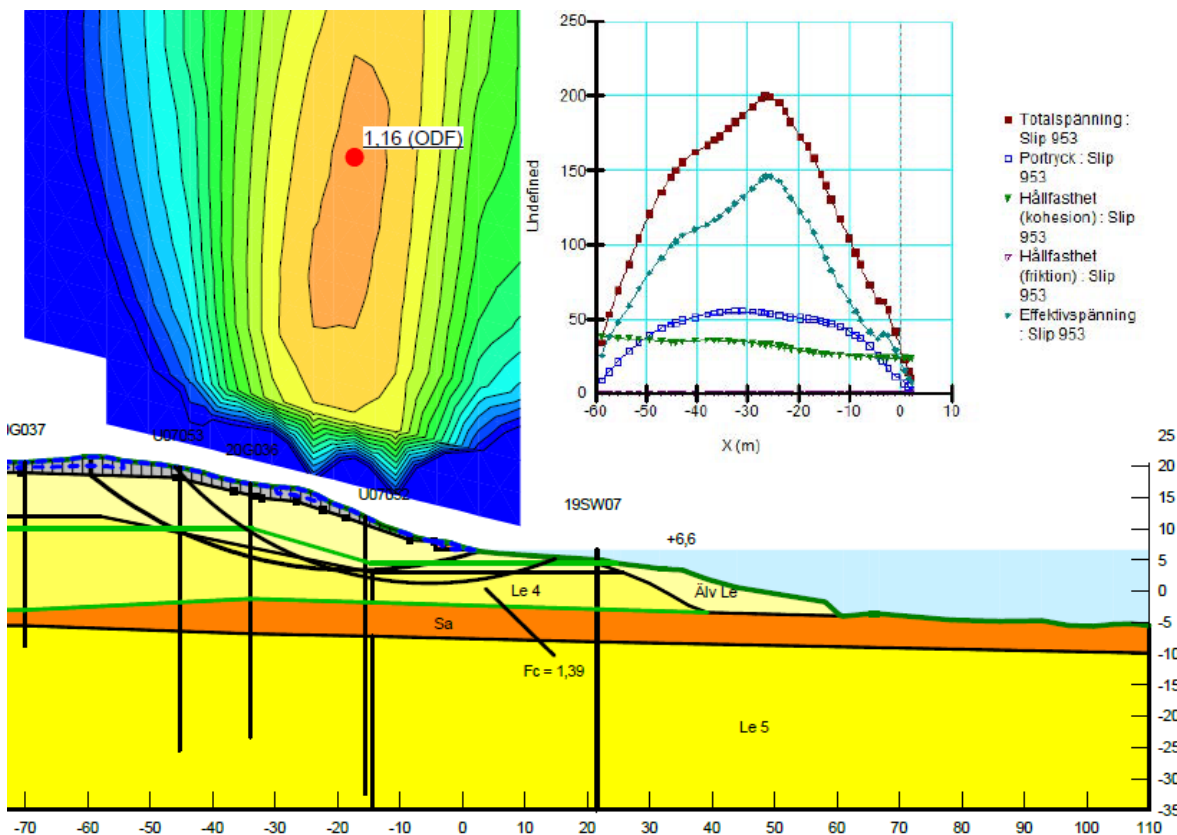
I följande kapitel beskrivs resultaten av de stabilitetsanalyser som utförts inom ramen för föreliggande fördjupade stabilitetsutredning. Samtliga beräkningar för befintliga förhållanden redovisas i sin helhet i BILAGA E.

7.4.1 Göta älv

Stabiliteten mot Göta älv har kontrollerats i en, för hela släntavsnittet mot Göta älv, representativ sektion (23300) som även tidigare analyserats i Göta älvutredningen. Slänten ner mot vattendraget är trädbeväxt och längs strandkanten löper ett erosionskydd av sprängsten. Ovan släntkrön återfinns åkermark.

Nu utförda stabilitetsanalyser visar att stabilitetsförhållandena inte är tillfredsställande goda för befintliga förhållanden, på en fördjupad utredningsnivå, enligt krav ställda i kapitel 7.2.1.

Aktuell sektion har en beräknad lägsta säkerhetsfaktor på ca $F_c=1,15$ mot odränerat brott, och ca $F_{komb}=1,1$ i kombinerad analys. Glidyten med lägst beräknad säkerhetsfaktor mot brott har en utbredning på ca 60 m från strandkant, och ett djup på ca 15-20 m (Figur 23). Den odränerade skjuvhållfastheten är styrande längs ca 80 % av den kombinerade glidyten. Längre glidytor, som går ner i undervattensslänten mot Göta älv, har säkerhetsfaktor ca $F_c = 1,3-1,5$ respektive $F_{komb} = 1,2-1,5$. Glidytor som går ner under sandskiktet har $F_c > F_{komb} > 1,6$.



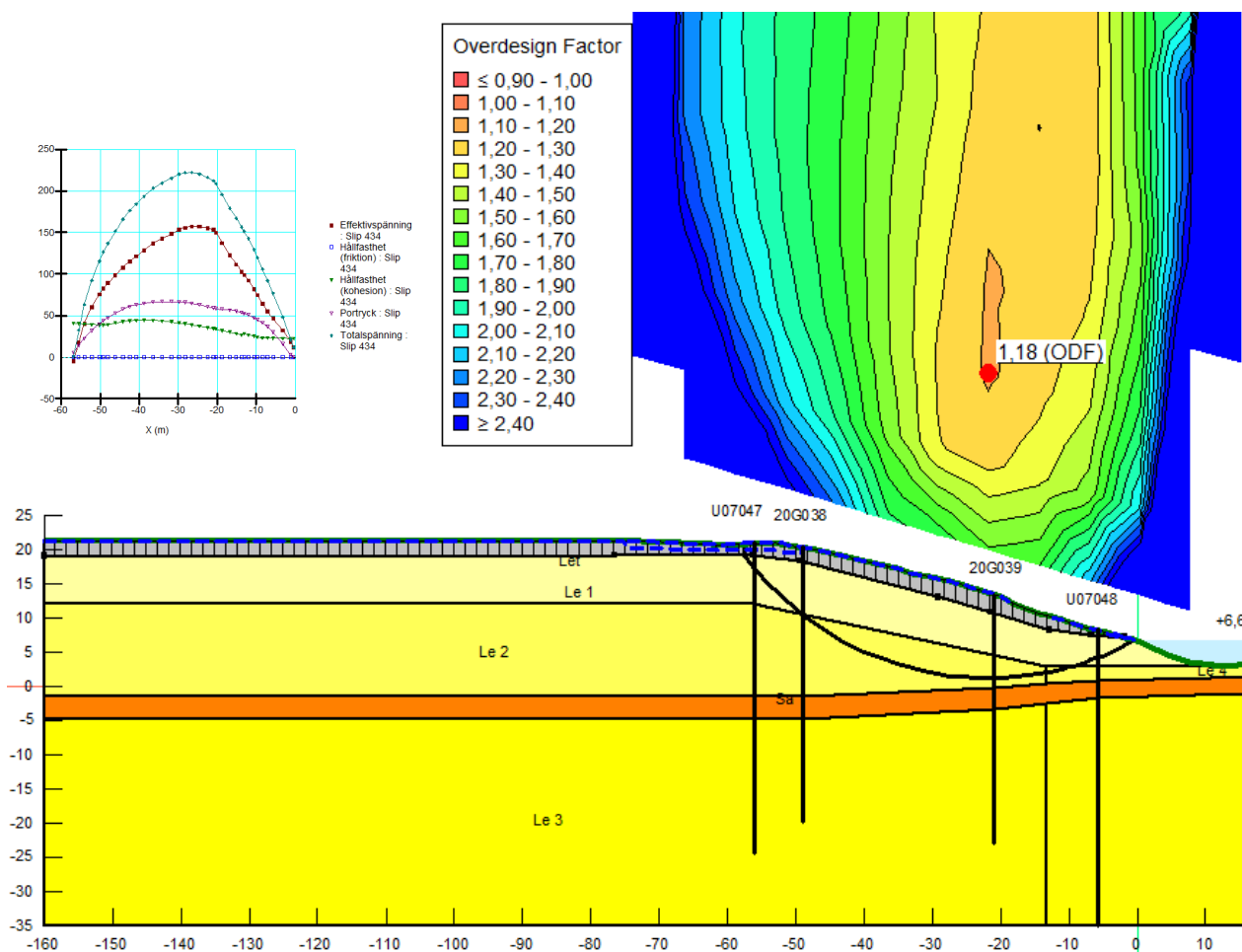
Figur 23: Sektion 233000, mot Göta älv, odränerad analys.

Nu beräknade säkerhetsfaktorer är ca 20 % högre än tidigare beräknade i GÄU ($F_c = F_{komb} = \text{ca } 0,9-0,95$), vilket till största del beror på att anisotropieffekter i leran har fastlagts och tillgodoräknats, men även uppdaterad och förfinad jordmodell (med bl. a högre hållfasthet) samt portrycksmodell påverkar resultatet.

7.4.2 Slumpån

Stabiliteten mot Slumpåns sydvästra sida har kontrollerats i fyra sektioner, varav en (23200OR, närmast Göta älv) tidigare analyserats i Göta älvutredningen. Liksom för sektionen mot Göta älv, utgörs markytan främst av åker- och naturmark. Väg E45 korsar Slumpån via Torpabron, nära beläget sektion 22900OR.

För sektion 23200OR längst i väster, dvs. närmast Göta älv, visar utförda analyser att stabilitetsförhållandena inte är tillfredsställande goda för befintliga förhållanden på en fördjupad utredningsnivå, enligt ställda krav i kapitel 7.2.1. Sektion 23200OR har en beräknad säkerhetsfaktor på ca $F_c=1,2$ i odränerad analys respektive ca $F_{komb}=1,1$ i kombinerad analys. Glidyterna har en utbredning på ca 50-60 m från strandkant och ett djup på mellan 10-20 m (Figur 24).



Figur 24: Sektion 23200OR, mot Slumpån, odränerad analys.

Säkerhetsfaktorerna är ca 10-15 % högre jämfört med tidigare analyser i GÄU ($F_c = \text{ca } 1,05$ och $F_{komb} = \text{ca } 1,0$), vilket beror på tillgodosedd anisotropi samt reviderad jord- och portrycksmodell.

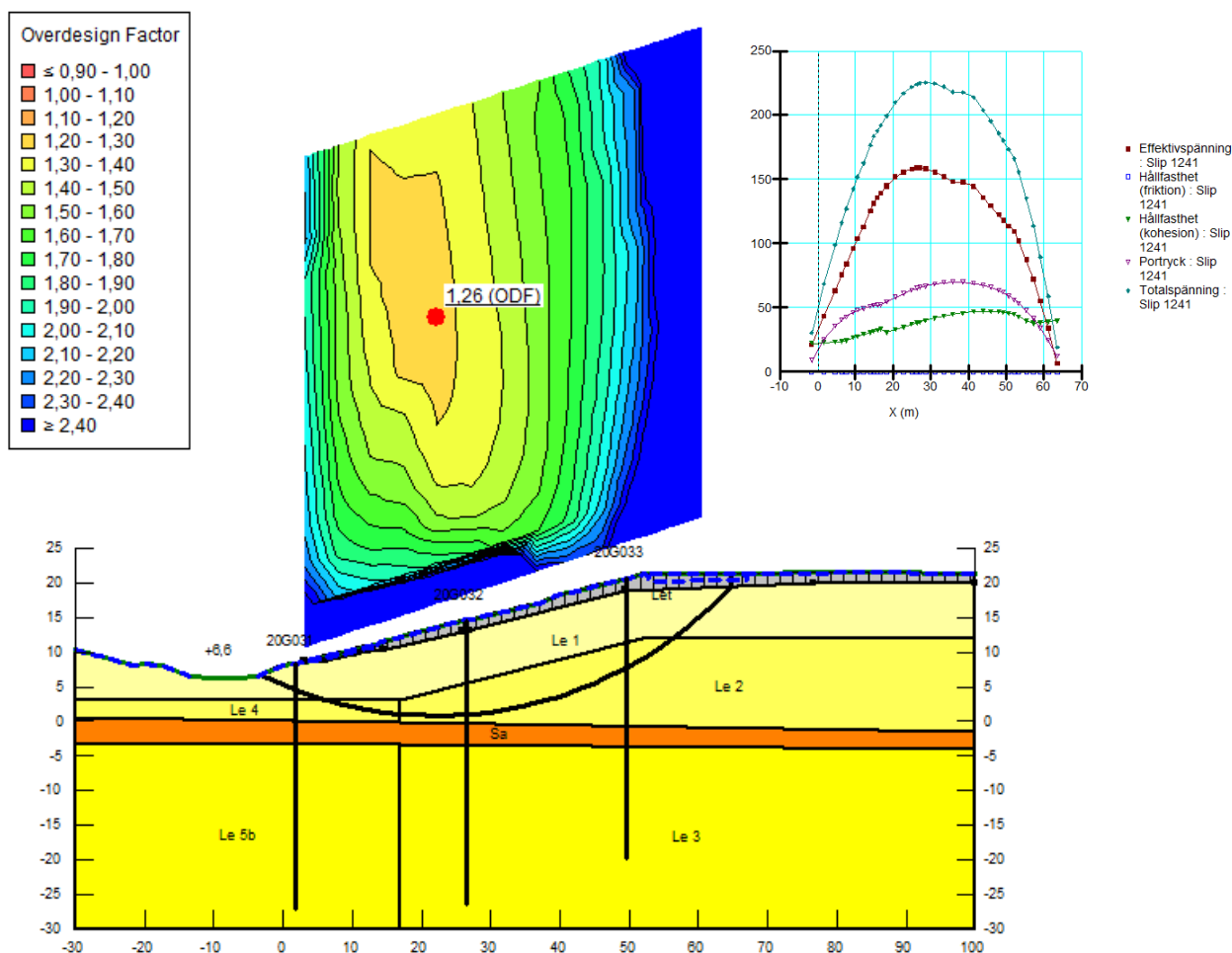
Övriga sektioner längs Slumpån inom utredningsområdet, dvs. längre österut, uppnår rekommenderad säkerhetsnivå. Lägsta beräknade säkerhetsfaktorer mot stabilitetsbrott är ca $F_c=1,4-1,7$ respektive $F_{komb}=1,3-1,6$, där säkerhetsfaktorerna generellt ökar längre österut, vilket beror på att slänthöjden avtar och slänterna är något flackare jämfört med närmare Göta älv.

7.4.3 Brodalsbäcken

Stabiliteten mot Brodalsbäckens nordöstra sida har kontrollerats i två sektioner, varav en (23390OR, närmast Göta älv) tidigare analyserats i Göta älvutredningen, under namnet E23/400N. Även inom detta delområde utgörs markytan främst av åker- och naturmark.

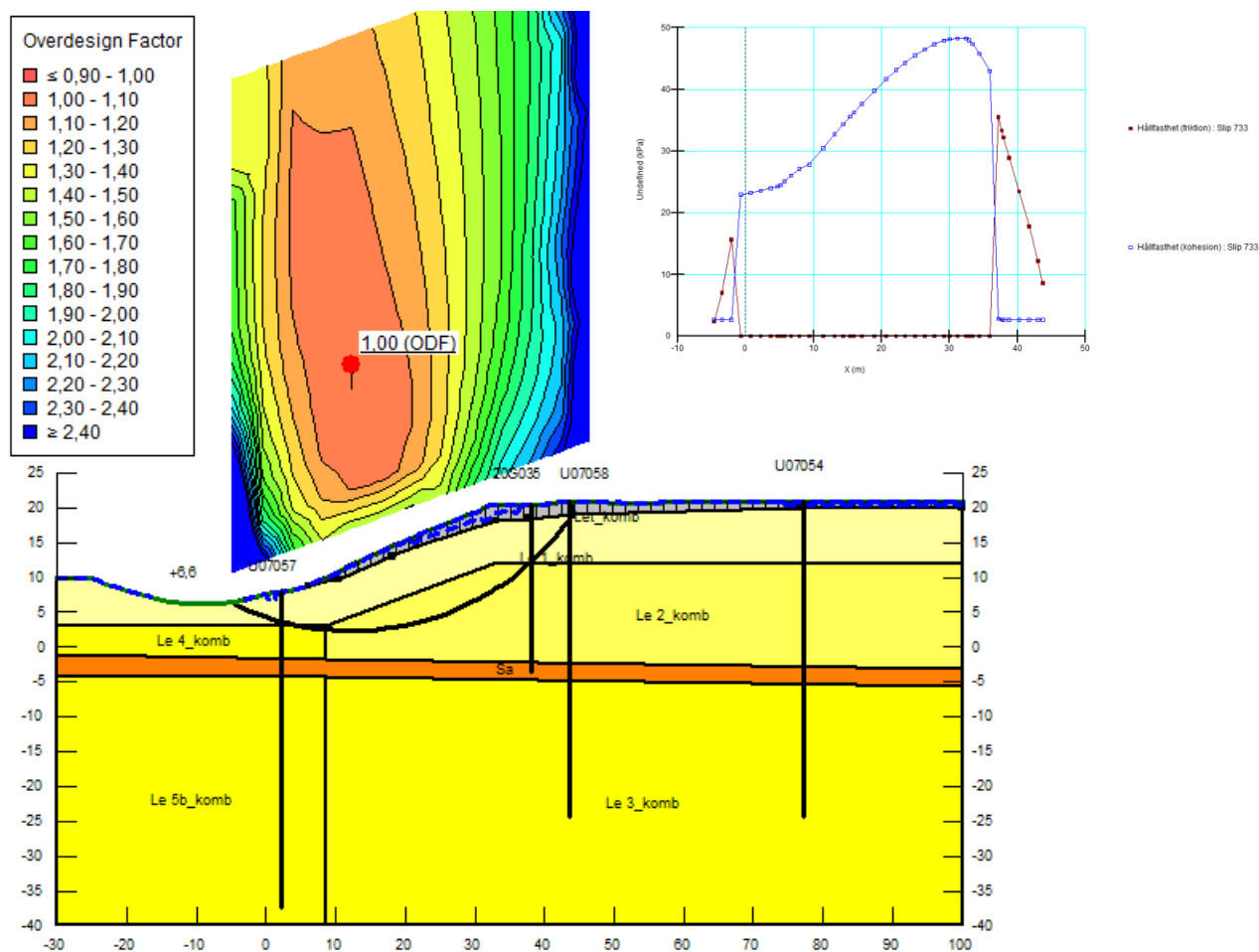
Nu utförda stabilitetsanalyser visar att stabilitetsförhållandena inte är tillfredsställande för befintliga förhållanden, på en fördjupad utredningsnivå enligt krav ställda i kapitel 7.2.1.

Sektion 23380OR har en beräknad säkerhet mot odränerat brott på ca $F_c=1,25$, och mot kombinerat brott på ca $F_{komb}=1,15$. Glidyrtorna har en ungefärlig utbredning om ca 70 m och ett djup på ca 15-20 m, (Figur 25).



Figur 25: Sektion 23380OR, mot Brodalsbäcken, odränerad analys

Sektion 23390OR har en släntgeometri som är något brantare än sektion 23380OR, vilket medför en lägre beräknad säkerhet. Mot odränerat brott är säkerhetsfaktorn ca $F_c=1,1$, och mot kombinerat brott mycket låg, ca $F_{komb}=1,0$. Glidyrtornas utbredning är ca 50 m och deras djup ca 15 m, (Figur 26). För glidyrtorna med lägst säkerhetsfaktor mot brott är den odränerade skjuvhållfastheten dimensionerande längs ca 75 % av glidyrtan och den dränerade skjuvhållfastheten längs ca 25 % i den kombinerade analysen, se diagram i Figur 26. Nu beräknade säkerhetsfaktorer för slänterna mot Brodalsbäcken är något högre (ca 5-10 %) än tidigare beräknade säkerhetsfaktorer i GÄU.



Figur 26: Sektion 23390OR, mot Brodalsbäcken, kombinerad analys.

7.5 Sammanställning av stabilitetsanalyser för befintliga förhållanden

Utförda beräkningssektioner är placerade med syfte att täcka in och representera stabilitetsförhållandena för de befintliga slänterna inom det aktuella området. I Tabell 6 redovisas lägsta säkerhetsfaktorer mot brott enligt totalsäkerhetsmetoden i utförda stabilitetsanalyser för befintliga förhållanden. Stabilitetsanalyserna redovisas i sin helhet i BILAGA E.

Samtliga sektioner har även analyserats med partialsäkerhetsmetoden och beräknade lägsta säkerhetsfaktorer mot brott, F_{EN} , för befintliga förhållanden redovisas i Tabell 7. Då kraven är högre ställda i partialsäkerhetsmetoden än i totalsäkerhetsmetoden innebär det att fler sektioner inte uppfyller ställda krav.

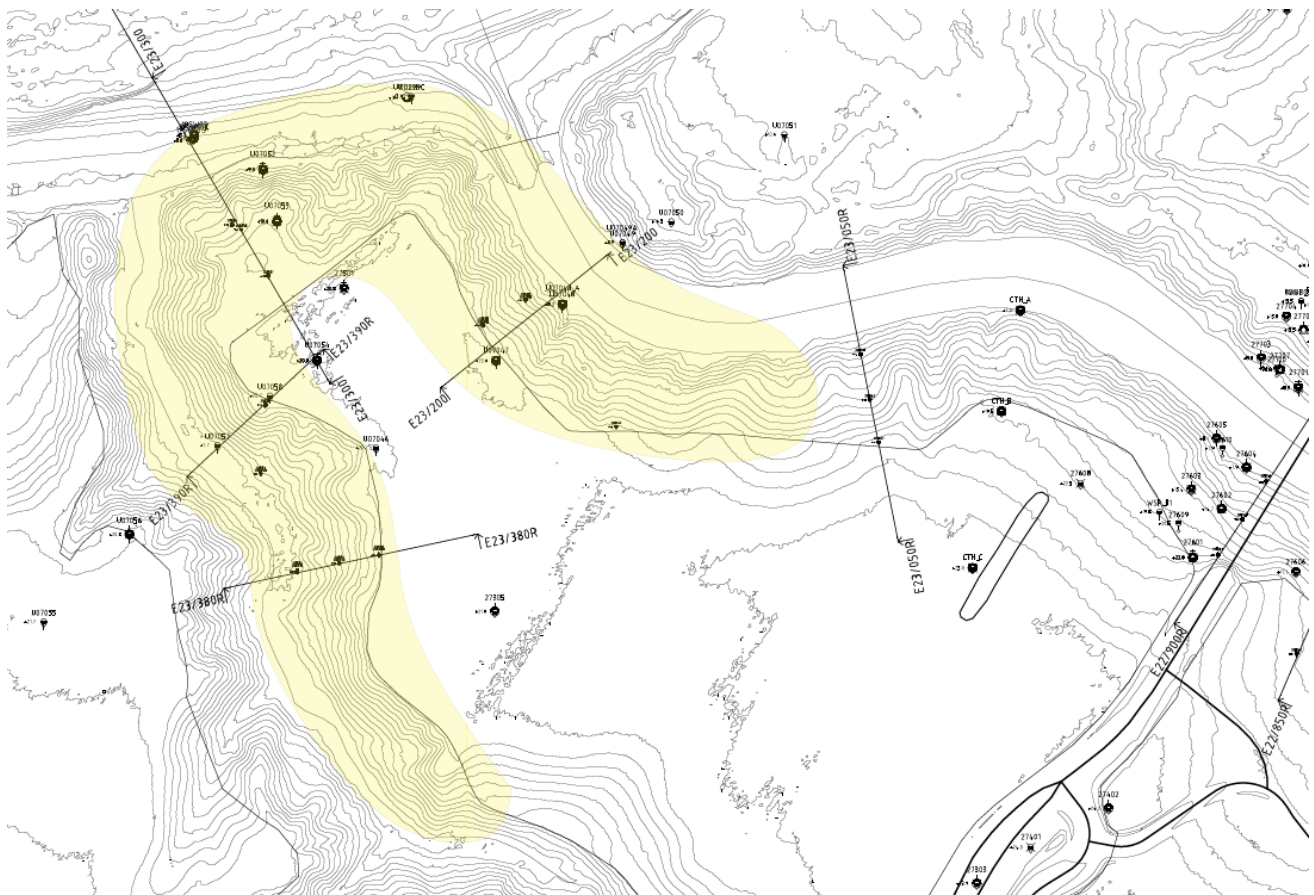
Utförda stabilitetsberäkningar visar att säkerhetsfaktorn mot brott i delar av området inte uppfyller stabilitetsrekommendationerna för en fördjupad stabilitetsutredning enligt IEG Rapport 4:2010. Säkerhetsfaktorn mot brott är för merparten av de kontrollerade sektionerna i den västra delen av området, dvs. mycket låg. I östra delen av området nära Torpabron uppfyller kontrollerade sektioner säkerhetskraven. De områden som inte bedöms ha tillfredsställande god stabilitet enligt ställda krav för totalsäkerhetsmetoden, $F_c > 1,4$ respektive $F_{komb} > 1,3$, har skrafferats i Figur 27.

Tabell 6: Säkerhetsfaktor mot brott enligt totalsäkerhetsmetoden i analyserade beräkningssektioner. Fet text innebär att rekommenderad säkerhetsnivå för stabiliteten, enligt ställda krav enligt IEG Rapport 4:2010, inte är uppfylld.

Totalsäkerhet, F_{tot}		
Vattendrag - Sektion	Odränerad analys, ca F_c	Kombinerad analys, ca F_{komb}
Göta älv		
23300O	1,15	1,1
Brodalsbäcken		
23380OR	1,25	1,15
23390OR	1,1	1,0
Slumpån		
23200OR	1,2	1,1
23050OR	1,4	1,35
22900OR	1,4	1,35
22850OR	1,8	1,65

Tabell 7: Säkerhetsfaktor mot brott enligt partialsäkerhetsmetoden i analyserade beräkningssektioner. Fet text innebär att rekommenderad säkerhetsnivå för stabiliteten, enligt ställda krav enligt SGI:s styrdokument och IEG Rapport 6:2008, inte är uppfylld.

Partialsäkerhet, F_{EN}		
Vattendrag - Sektion	Odränerad analys, ca F_c	Kombinerad analys, ca F_{komb}
Göta älv		
23300O	0,75	0,75
Brodalsbäcken		
23380OR	0,85	0,8
23390OR	0,75	0,7
Slumpån		
23200OR	0,8	0,75
23050OR	0,95	0,9
22900OR	0,95	0,9
22850OR	1,2	1,1



Figur 27: Översiktskarta med markerat område (gul skuggning) inom vilket stabiliteten inte uppfyller säkerhetsrekommendationerna enligt IEG Rapport 4:2010 för befintliga förhållanden och aktuell utredningsnivå.

7.6 Känslighetsanalys

I en geoteknisk stabilitetsberäkning finns det ett antal indata som påverkar säkerhetsfaktorn mot brott. Det finns därför alltid en viss osäkerhet i de resultat som erhålls vid en stabilitetsanalys vilket ska beaktas vid värdering och hantering av resultatet. För att få en bild av hur olika parametrar inverkar på resultatet av stabilitetsanalyserna kan en känslighetsanalys utföras för de ingående parametrarna i den geotekniska modellen. Känslighetsanalysen utgör ett stöd i bedömningen av olika parametrar. Det finns större anledning att skaffa ett bra underlag för att bestämma en parameter som har stor inverkan på säkerhetsfaktorn mot brott. En känslighetsanalys kan t.ex. svara på om det finns anledning att vidare utreda parametrar som är något osäkra.

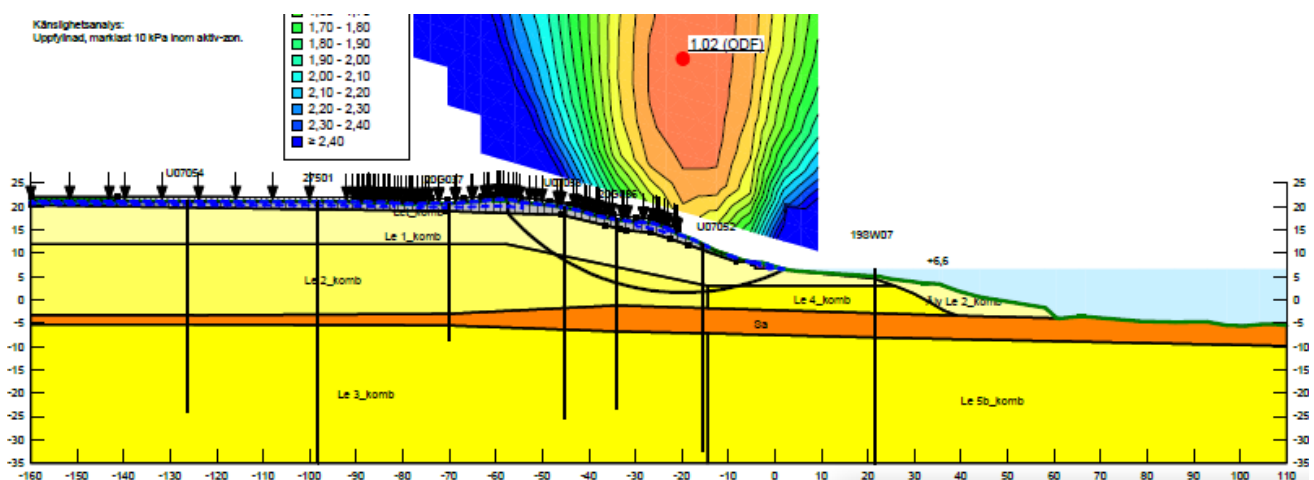
I föreliggande fördjupade stabilitetsutredning har känslighetsanalyser utförts med avseende på utbredd marklast på 10 kPa (uppfyllnad), förhöjda portrycksnivåer, 2 m erosion samt en kombination av förhöjt portryck och erosion. Vidare har utbredningen av eventuella följdskred med anledning av förekomsten av kvicklera studerats.

Känslighetsanalyser har utförts i de sektioner där ovan nämnda parametrar har bedömts kunna ha påverkan på framtida stabilitetsförhållanden. Det innebär att samtliga känslighetsanalyser utförts för sektionen mot Göta älv (23300O). Erosion i slänterna längs Slumpån och Brodalsbäcken anses vara ringa till obefintlig, se kapitel 4.3, och slänterna mot dessa vattendrag har därför inte analyserats vidare med avseende på erosion vid släntfot. Slänterna har ett heltäckande vegetationstäckes vilket förhindrar ytvattenerosion vid krön och de övre delarna av slänterna. För slänterna mot Slumpån och Brodalsbäcken har känslighetsanalys avseende förhöjt portryck och tillkommande marklast utförts i de sektioner där säkerhetsfaktorn mot stabilitetsbrott är lägst, dvs. närmast Göta älv (sektion 23200OR och 23390OR).

7.6.1 Marklast

För aktuellt område finns ingen detaljplan och känslighetsanalys har utförts för marknivåjustering (uppfyllnad med ca 0,5 m jord) motsvarande en utbredd last på 10 kPa där en sådan är ogynnsam, dvs. i aktivzonen.

Enligt utförda känslighetsanalyser minskar lägsta säkerhetsfaktorn mot brott med ca 5-7 % då en utbredd last på 10 kPa påförs. Utförda beräkningar är utförda väl på säkra sidan då den utbredda lasten påförs inom hela aktivzonen, dvs. även en bit ner i slänten, vilket inte bedöms vara ett troligt scenario för eventuell utfyllnad.



Figur 28: Känslighetsanalys m.a.p. påförd marklast i sektion 23300O, mot Göta älv, kombinerad analys.

7.6.2 Förhöjt portryck

Maximala trycknivåer har modellerats enligt styrdokument DGA00XST01 och en teoretisk maximal portrycksprofil har tagits fram för aktuella jordlager.

Nolltrycknivån har redan för befintliga förhållanden ansatts ligga högt i jordprofilen, på ca 0,5-1 m djup under markytan ovanför släntrönet samt ner i slänten. Torrskorpelera förekommer inom hela området och är generellt ca 1,5-2 m mäktig, uppsprucken och med inslag av silt och sand, vilket innebär att en ännu högre förekommande grundvattenyta inte är möjligt. Vid slänftot ansluter nolltrycknivån till vattennivån i vattendraget. I leran strax ovanför sandskiktet har portrycket i känslighetsanalysen ansatts 10 kPa högre än dimensionerande portryck för befintliga förhållanden, vilket innebär en högre portryckstillväxt i leran ovan skiktet. Ifall portrycket istället hade ansatts hydrostatiskt hade höjningen med 10 kPa i botten av lerlagret inneburit en höjning av grundvattenytan på 1 m (dvs nolltrycknivå i markytan eller 0,5 m ovanför, artesiskt). Ansatt portryck innebär också att trycknivån i sandskiktet motsvarar ungefär samma värde som ett hydrostatiskt tryck från HHW i Göta älv (+7,5).

Portrycket i lerans ovkant under skiktet har ansatts ligga på samma nivå som portrycket i leran strax ovanför skiktet. På ca 55 m djup under markytan vid släntrönet (nivå ca -35) har portrycket i känslighetsanalysen ansatts vara 15 kPa högre än dimensionerande portryck för befintliga förhållanden, vilket innebär en högre portryckstillväxt mot djupet.

Utförda känslighetsanalyser visar att säkerhetsfaktorn mot stabilitetsbrott inte är känslig för portryckshöjningar, då det är den odränerade skjuvhållfastheten som är dimensionerande för stabilitetssituationen i området. Säkerhetsfaktorn i odränerad analys påverkas inte alls och säkerhetsfaktorn i kombinerad analys minskar marginellt, med ca 1 %. Situationen är densamma för slänterna mot samtliga vattendrag inom området.

Förklaringen till att ett förhöjt portryck knappast påverkar stabilitetsförhållandena inom det aktuella området är att den odränerade skjuvhållfastheten i leran mot djupet i jordprofilen är avsevärt mycket lägre än den dränerade hållfastheten. Det innebär att även om portrycket höjs med 10-15 kPa så kommer inte den dränerade hållfastheten att bli styrande för stabiliteten. Närmast markytan, dvs. i glidytnas båda ändar, är den dränerade skjuvhållfastheten styrande i den kombinerade analysen, se t ex grafen i Figur 26. I den övre delen av jordprofilen är portrycket dock redan i de ursprungliga beräkningarna för befintliga förhållanden högt ansatt genom en nolltrycknivå nära markytan.

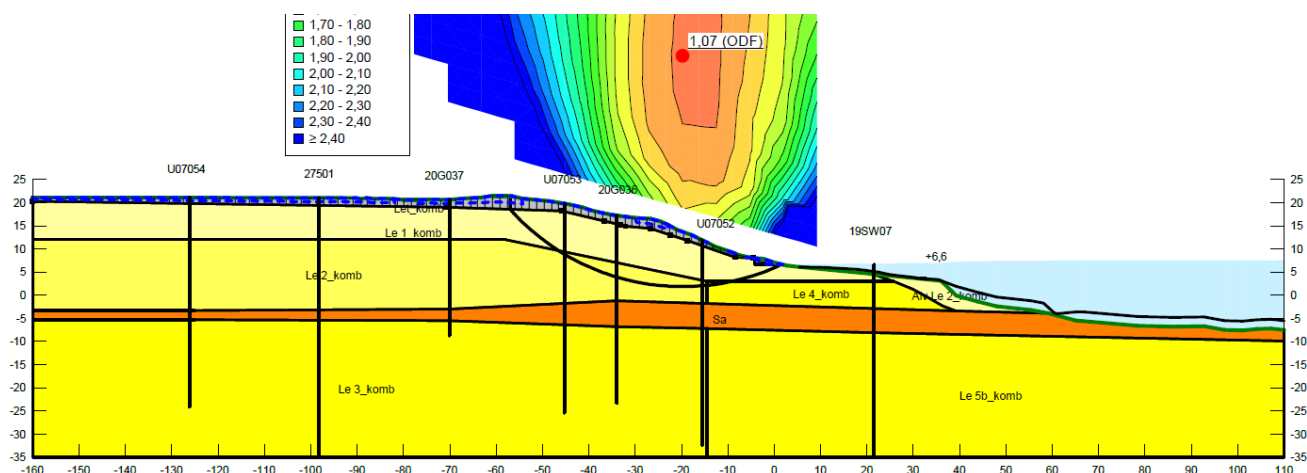
7.6.3 Förändrad geometri genom erosion

Känsligheten för erosion av slänter och botten under farleden i Göta älv har studerats för ett fall där de ursprungliga marknivåerna sänkts med 2 m och genom anpassning till befintliga nivåer. Känslighetsanalysen är utförd i sektion 23300O där erosionen modellerats enligt styrdokument DGA00XST01 med geometriska förändringar enligt typsektion B1-1 (slänt med undervattenshylla och med erosionsskydd).

Utförd analys visar dock att säkerhetsfaktorn inte påverkas av erosion i den aktuella sektionen mot Göta älv, eftersom glidyterna med lägst säkerhetsfaktor går högre upp i slänten, dvs. inte når ner i den del av farleden som kan påverkas av erosion, se Figur 29. De djupare glidyterna, som går ner under sandskiktet och ut i farleden, har avsevärt mycket högre säkerhetsfaktor.

7.6.4 Förhöjt portryck i kombination med erosion

I det fall förhöjt portryck enligt kapitel 0 sammanfaller med 2 m erosion enligt kapitel 7.6.3 så minskar säkerhetsfaktorn för slänten mot Göta älv (23300O) med ca 1 % i den kombinerade analysen och är oförändrad i odränerad analys, dvs. samma utfall som i analysen med enbart förhöjt portryck (Figur 29).



Figur 29: Känslighetsanalys m.a.p. förhöjt portryck i kombination med 2 m erosion. Sektion 233000 mot Göta älv.

7.6.5 Sammanställning av utförda känslighetsanalyser

Känslighetsanalyser har utförts i valda sektioner för att analysera inverkan av tillkommande marklast, förhöjt portryck, erosion samt en kombination av förhöjt portryck och erosion. I Tabell 8 redovisas lägsta säkerhetsfaktorer mot brott för utförda känslighetsanalyser i sektioner mot Göta älv, Brodalsbäcken och Slumpån, samt procentuell förändring av säkerhetsfaktorn jämfört med ursprunglig beräkning

Utförda känslighetsanalyser visar att det i princip endast är fallet med tillkommande marklast som påverkar stabilitetsförhållandena negativt och innebär ca 5-7 % lägre säkerhetsfaktor, jämfört med befintliga förhållanden. Situationen är densamma för slänterna ner mot samtliga vattendrag, dvs. såväl Göta älv som biflödena Brodalsbäcken och Slumpån.

Tabell 8: Säkerhetsfaktorns variation beroende på känslighetsanalys. Faktiska värden samt procentuell förändring mot ursprunglig säkerhetsfaktor.

Vattendrag - sektion - känslighetsanalys	F_c	Procentuell förändring	F_{komb}	Procentuell förändring
Göta älv – 233000				
Ursprunglig beräkning	1,16	-	1,08	-
Uppfyllnad, marklast 10 kPa	1,08	-7 %	1,02	-6 %
Förhöjt portryck	1,16	0 %	1,07	-1 %
Erosion 2 m	1,16	0 %	1,08	0 %
Förhöjt portryck + erosion 2 m	1,16	0 %	1,07	-1 %
Brodalsbäcken – 233900R				
Ursprunglig beräkning	1,11	-	1,00	-
Uppfyllnad, marklast 10 kPa	1,03	-7 %	0,95	-5 %
Förhöjt portryck	1,11	0 %	0,99	-1 %
Slumpån – 232000R				
Ursprunglig beräkning	1,18	-	1,10	-
Uppfyllnad, marklast 10 kPa	1,10	-7 %	1,04	-5 %
Förhöjt portryck	1,18	0 %	1,09	-1 %

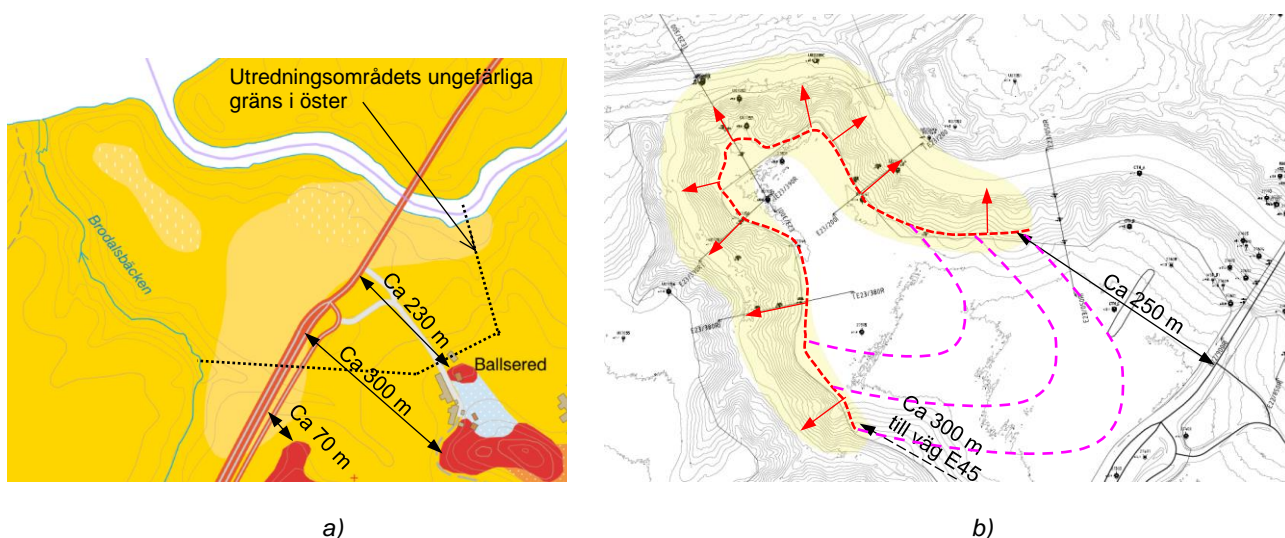
7.7 Skredutbredning

För bedömning av skredutbredning i kvicklera används en metod där utsträckningen bakåt beror av slänthöjden och sensitiviteten inom den jordvolym som berörs av ett initialt skred. För initiala glidytor vid eller under strandlinjen, beräknas en vidare utsträckning bakåt med hjälp av en faktor n gånger slänthöjden, där n är en funktion av sensitiviteten hos leran inom den jordvolym som berörs av initialskedet. Metoden beskrivs i SGI Varia 638; "Modifiering av metoder använda inom Göta älvutredningen" (kap. 5.3.3).

Kvicklera förekommer inom hela utredningsområdet. Bedömning av utbredning av potentiella bakåtgripande följskred har utförts för de fyra beräkningssektioner som för befintliga förhållanden har för låga säkerhetsfaktorer mot stabilitetsbrott, se resultat i Tabell 9 nedan. För kvickleror med sensitivitet högre än ca 200 räknas enligt metoden med att ett initialscred som når dessa partier kommer att sprida sig inom hela området med extrem kvicklera, vilket i aktuellt fall innebär ända fram till omgivande fastmark.

Tabell 9: Sektioner med bedömd utbredning av följskred m.a.p. kvicklera.

Vattendrag - Sektion	Slänthöjd (m)	Utbredning av glidyta med lägst säkerhetsfaktor (m)	Sensitivitet, max (-)	Faktor n	Bedömd utbredning följskred (m)
Göta älv					
23300O	13	60	502 (20G036)	>15	Till fastmark
Brodalsbäcken					
23380OR	13	65	517 (20G031)	>15	Till fastmark
23390OR	13	50	313 (20G035)	>15	Till fastmark
Slumpån					
23200OR	14	55	>596 (20G038)	>15	Till fastmark



Figur 30: Underlag för bedömning av tänkbar skredutbredning i form av jordartskarta samt plan över område med otillfredsställande stabilitet med avstånd till väg E45 samt fastmark och bedömd skredriktning för initialscred (röda pilar) och bedömd skredutbredning av följskred (magentafärgade streck).

I anslutning till aktuellt utredningsområde återfinns fastmark ca 70-300 m sydost om väg E45 (Figur 30a). Mot bakgrund av områdets karaktär med raviner i tre riktningar så bedöms dock eventuell sekundär skred-

utbredning påverkas positivt av 3D-effekter, dvs bli mindre än teoretiskt beräknat ovan. Gränsen för otillfredsställande stabilitet ligger ca 250-300 m nordväst om väg E45 och bedömningen är att sekundära skred inte når ända fram till väg E45.

7.8 Stabilitetsförbättrande åtgärder

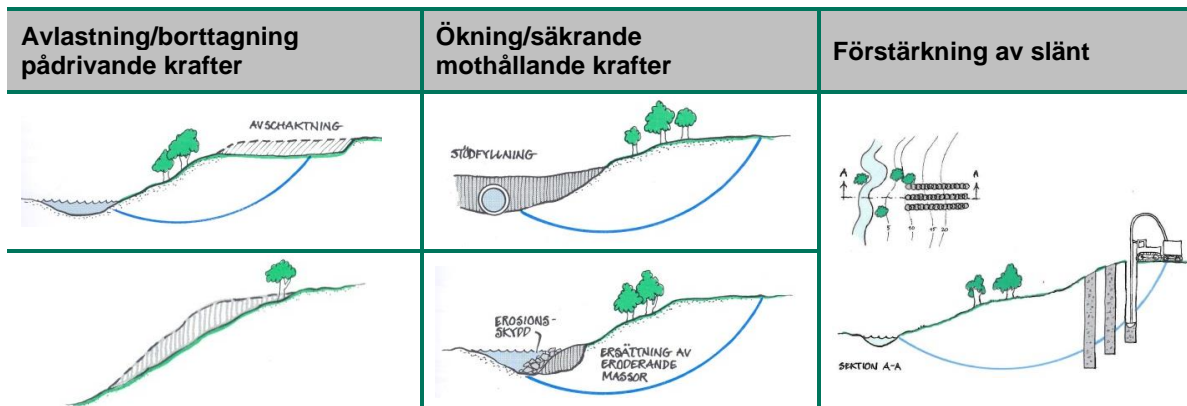
I följande kapitel beskrivs resultaten av de stabilitetsanalyser som utförts för stabilitetsförbättrande åtgärder inom ramen för föreliggande fördjupade stabilitetsutredning. Samtliga beräkningar redovisas i sin helhet i BILAGA F och BILAGA G. Stabilitetsanalyser för åtgärdsförslagen har utförts med både totalsäkerhets- och partialsäkerhetsmetoden enligt gällande styrdokument.

Åtgärdsförslagen dimensioneras så att totalstabiliteten för aktuella slänter uppfyller ställda krav enligt totalsäkerhetsmetoden (Tabell 3) men så att eventuella nyskapade schaktslänter samtidigt uppfyller ställda krav enligt partialsäkerhetsmetoden ($F_{EN} \geq 1,1$).

7.8.1 Alternativa stabilitetsförbättrande åtgärder

För att förbättra stabiliteten för aktuella slänter och erhålla en säkerhetsfaktor mot brott som uppfyller rekommenderad säkerhetsnivå finns olika alternativ/möjligheter till åtgärd. Lämplig åtgärd kan variera och beror bl. a på slänternas geometri, eventuell bebyggelse på släntkrönet och typ av naturområde samt vattendrag. Generellt innebär stabilitetsförbättrande åtgärder antingen att de pådrivande krafterna minskas (t ex avschaktning, utflackning) eller att de mothållande krafterna ökas (t ex stödfyllning, erosions-skydd) eller att hållfastheten hos jorden längs glidyten förstärks (t ex med KC-pelare).

I nedanstående figur visas principutseende på åtgärd genom avlastning, motfyllning respektive förstärkning av en slänt.



Figur 31: Principutseende för tänkbara stabilitetsförbättrande åtgärdsalternativ (Källa: Skredkommissionen, Rapport 3:95. "Anvisningar för släntstabilitetsutredningar – Information").

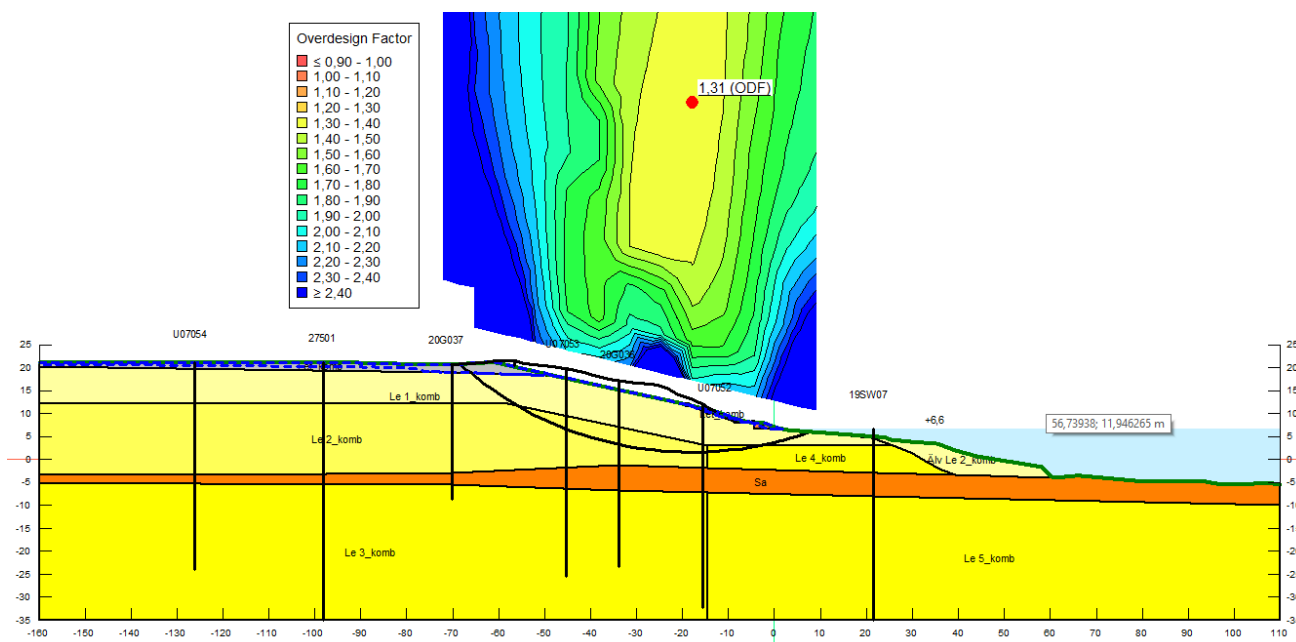
7.8.2 Lämpliga stabilitetsförbättrande åtgärder för aktuella slänter

De aktuella slänterna mot Göta älv, Brodalsbäcken och Slumpån är likartade, med en brant slänt närmast vattendraget och relativt flackt sluttande mark ovan släntkrön. Markanvändningen ovan släntkrön är åker-, betes- eller naturmark. Det finns ingen bebyggelse eller anläggning att beakta i närheten av aktuella slänter. Längs Göta älv finns ett erosions-skydd i form av en sprängstensbank, vilken bedöms vara i gott skick. Erosionen längs Brodalsbäcken och Slumpån bedöms vara ringa/obefintlig.

Sammantaget bedöms avschaktning på släntkrön vara den lämpligaste åtgärden för aktuella slänter, då området är lättillgängligt, markanvändningen inte bedöms påverkas och arbete i vattenområde kan undvikas. I några fall innebär dock släntgeometrin att avschaktning även erfordras en bit ner i slänten, vilket kommer att medföra en betydande röjning/avverkning av befintlig vegetation. I samband med detaljprojektering av

åtgärderna bör olika intressen i form av bl. a naturvärden på land respektive i vatten samt markanvändning vägas mot varandra och åtgärden optimeras.

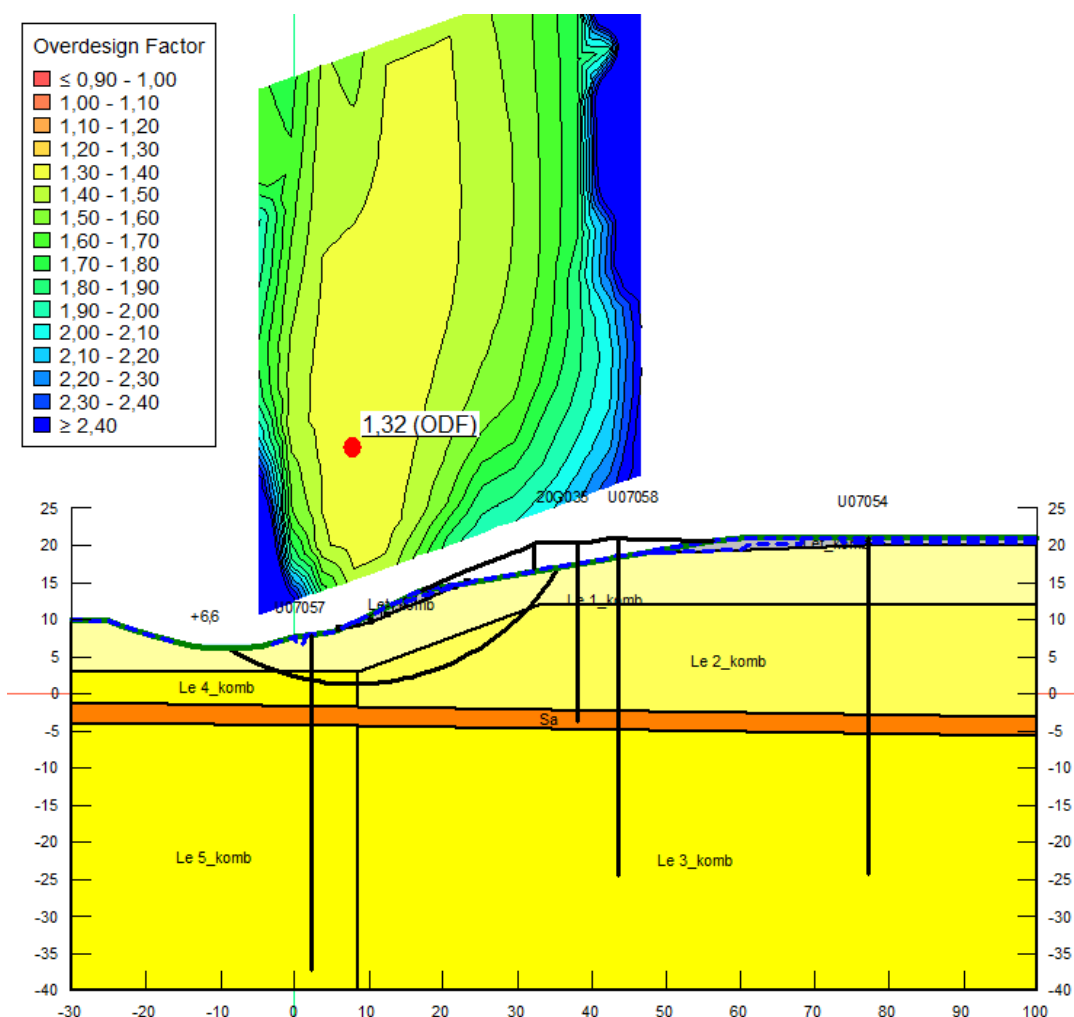
Utförda stabilitetsanalyser i sektionen mot Göta älv (23300O) visar att det för att uppfylla ställda krav enligt totalsäkerhetsmetoden erfordras en ca 50 m bred avschaktning längs krönet ner mot älven, se Figur 32. Schaktens medeldjup är ca 1,5-2 m och åtgärden bedöms erfordras längs hela den aktuella sträckan, dvs. mellan Brodalsbäcken och Slumpån, ca 150 m. Samtliga stabilitetsberäkningar för åtgärdsförslaget dimensionerat med totalsäkerhetsmetoden återfinns i BILAGA F.



Figur 32: Exempel på stabilitetsförbättrande åtgärd i form av avschaktning av släntkrön inom åkermark, sektion 23300O, mot Göta älv. Totalsäkerhetsmetoden, kombinerad analys.

För slänten mot Brodalsbäcken erfordras en ca 30-40 m bred avschaktning längs krönet. Närmast Göta älv (sektion 23390OR) erfordras ca 3,5 m avschaktning vid krönet och längre söderut (sektion 23380OR) ca 2 m djup schakt. Totalt erfordras åtgärd i form av t ex avschaktning längs en ca 250 m lång sträcka av Brodalsbäcken för att uppnå ställda krav på säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott.

Även i riktning mot Slumpån visar utförda beräkningar i sektion 23200OR att avschaktningen behöver vara ca 2 m djup vid släntkrön och ca 45 m bred. Aktuell sträcka att åtgärda längs Slumpån är ca 150 m.

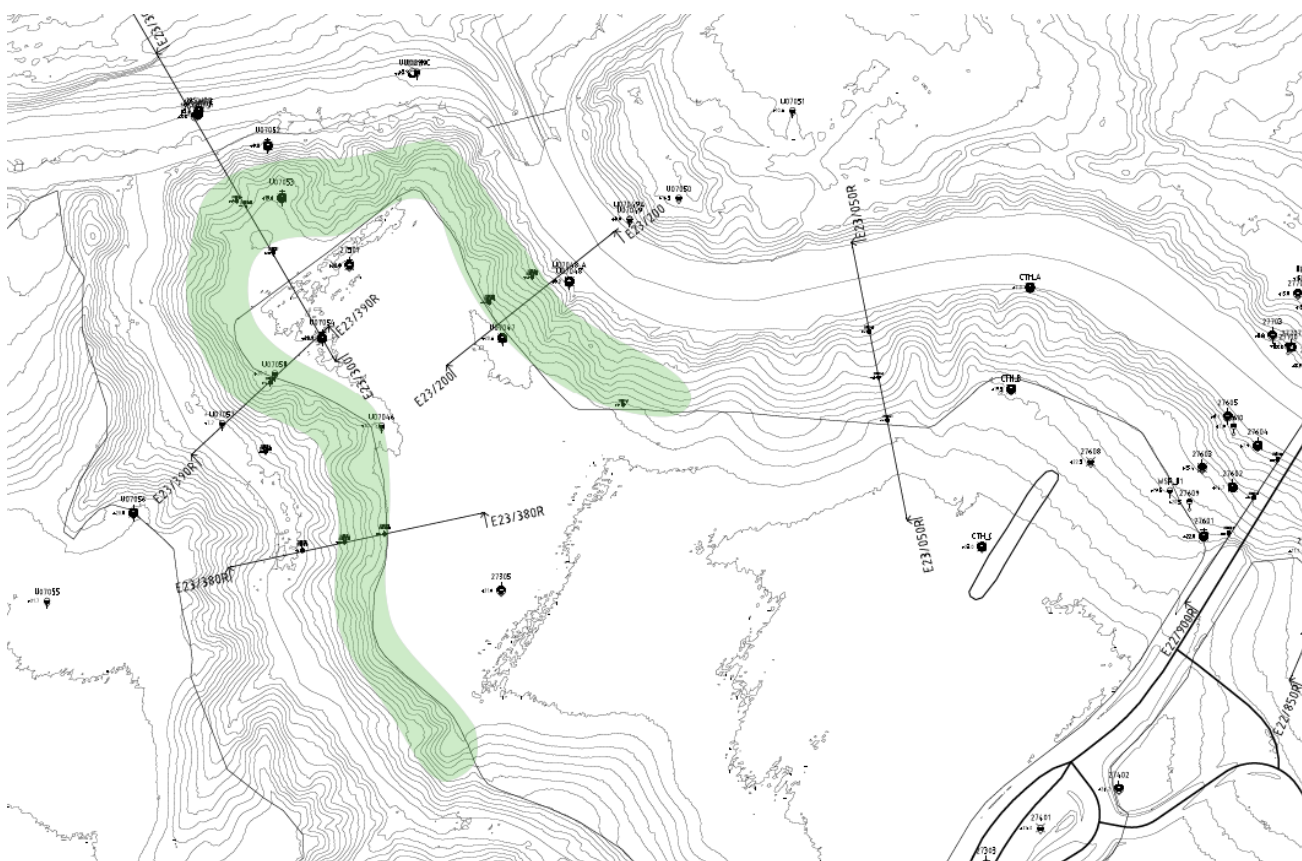


Figur 33: Exempel på stabilitetsförbättrande åtgärd i form av avschaktning av släntkrön inom natur/åkermark, sektion 23390OR, mot Brodalsbäcken. Totalsäkerhetsmetoden, kombinerad analys.

7.8.3 Sammanfattning av stabilitetsförbättrande åtgärdsförslag

För att uppnå ställt krav på säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott enligt totalsäkerhetsmetoden erfordras åtgärd inom delar av aktuellt utredningsområde. Rekommendationen är att avschaktning ovan släntkrön och i den övre delen av slänten utförs med ungefärlig total utbredning enligt Figur 34. Erforderligt schaktdjup är generellt ca 2 m i anslutning till släntkrön och minskar successivt på större avstånd bakom släntkrön samt längre ner i slänten (se exempel i Figur 33). Totalt bedöms avschaktning erfordras inom en yta på ca 25 000 m² och schaktvolymer uppskattas preliminärt till ca 45 000-50 000 m³. Merparten av schakten kommer att utgöras av lera med densitet ca 1,6 ton/m³, vilket innebär att ca 75 000 ton massor kommer att behöva transporteras bort. Med tung lastbil med släp innebär det i storleksordningen 2500 transporter. Stabilitetsberäkningar för åtgärdsförslaget dimensionerat med totalsäkerhetsmetoden återfinns i BILAGA F.

Ifall hela åtgärden i form av åtgärden dimensioneras så att hela slänten ska uppfylla nybyggnadskravet enligt IEG rapport 4:2008 erfordras det ungefär dubbelt så stor avschaktningsvolymer, schaktvolymer ca 100 000 m³. Stabilitetsberäkningar för avschaktning där slänten i sin helhet uppfyller säkerhetsnivå $F_{EN} > 1,1$ redovisas i BILAGA G.



Figur 34: Översiktskarta med ungefärligt område (grön skuggning) inom vilket stabilitetsförbättrande åtgärd i form av avschaktning erfordras.

7.8.4 Klimatkalkyl för stabilitetsförbättrande åtgärdsförslag

Utförandet av föreslagen stabilitetsförbättrande åtgärd i form av avschaktning bedöms medföra följande miljöbelastande moment:

- Detaljprojektering av åtgärd (ca 300 h kontorsarbete)
- Platsbesök/besiktning (resa med miljöklassad bil Göteborg – Ballsered t o r, ca 2 x 70 km)
- Mätarbete Ballsered (resa med miljöklassad bil Göteborg - Ballsered t o r, ca 2 x 70 km)
- Transport till fysiska möten med beställare, med spårvagn eller cykel (förutsatt i Göteborg)
- Schakt (ca 47 000 m³, motsvarande ca 75 000 ton)
- Transport av massor (förutsatt återanvändning inom Lilla Edets kommun, ca 2500 x 20 km)

För bestämning av antalet koldioxidekvivalenter som föreslagen åtgärd medför har uppgifter nyttjas från SGFs hemsida "Carbon footprint" (<http://www.sgfmark.se/faktorer>). I

Tabell 10 återfinns en översiktlig klimatkalkyl för föreslagna stabilitetsförbättrande åtgärder i form av avschaktning. Summan landar på ca 90 ton koldioxidemission.

Tabell 10: Klimatkalkyl för föreslagna stabilitetsförbättrande åtgärder i form av avschaktning.

Arbetsmoment	Mängd	Emissionsfaktor	Summa
Kontorsarbete (svensk elmix)	300 h	3 g/h	900 g
Platsbesök/mät, 2 tillfällen (personbil)	280 km	107 g/km	25 680 g
Schakt av massor (normal; 85 ton/timme)	75 000 ton	600 g/ton	45 000 000 g
Transport av massor (lastbil, tung med släp, kapacitet 30 ton per last)	50 000 km	910 g/km	45 500 000 g
TOTALT:			90 526 580 g

8.0 PÅVERKAN PÅ GÖTA ÄLV FRÅN SKRED I BIFLÖDEN

Inom ramen för föreliggande fördjupade stabilitetsutredning har en utredning av påverkan på Göta älv från skred i biflöden utförts, se BILAGA H. Utredningen har omfattat en översiktlig analys av grumling/förorening och dess eventuella påverkan på t ex vattenförsörjning, naturvärden och fartygstrafik. Information från utvalda VA-verk, litteraturstudier (bl a Agnesbergsskredet) och analys av biflodenas karaktär (geometri, flöde, avrinningsområde etc.) och slänternas stabilitetsförhållanden (inkl. skredvolym, -utbredning etc.) har sammanställts och analyserats.

Längs Göta älv finns ca 25 biflöden, där merparten har ett avsevärt mycket mindre flöde (mindre än 2 ‰) än flödet i huvudvattendraget Göta älv. Brodalsbäcken är ett av dessa mindre biflöden. Ett fåtal biflöden, bl a Slumpån, är något större, med flöden på ca 0,5-1,5 ‰ av flödet i Göta älv. Såvitt är det enda betydligt större biflödet, med ett flöde på ca 13 ‰ av Göta älvs flöde, och bör hanteras separat avseende stabilitetsförhållanden och grumlingspåverkan på Göta älv.

Biflodenas storlek (flöde), teoretisk skredvolym och -utbredning samt utspädningseffekten innebär generellt att grumlingen i Göta älv från ett potentiellt skred i ett biflöde blir väldigt liten. En jämförande studie av det tidigare inträffade Agnesbergsskredet (i Göta älv) visar att ett motsvarande skred i ett biflöde till älven skulle medföra slamhalter på ca 1 ‰ till 1 ‰ av de halter som uppmättes efter Agnesbergsskredet. Detta bedöms generellt vara under gränsen till vad som kan/bör utredas vidare, dvs. risken för grumlingspåverkan av Göta älv pga skred i biflöden är mycket liten.

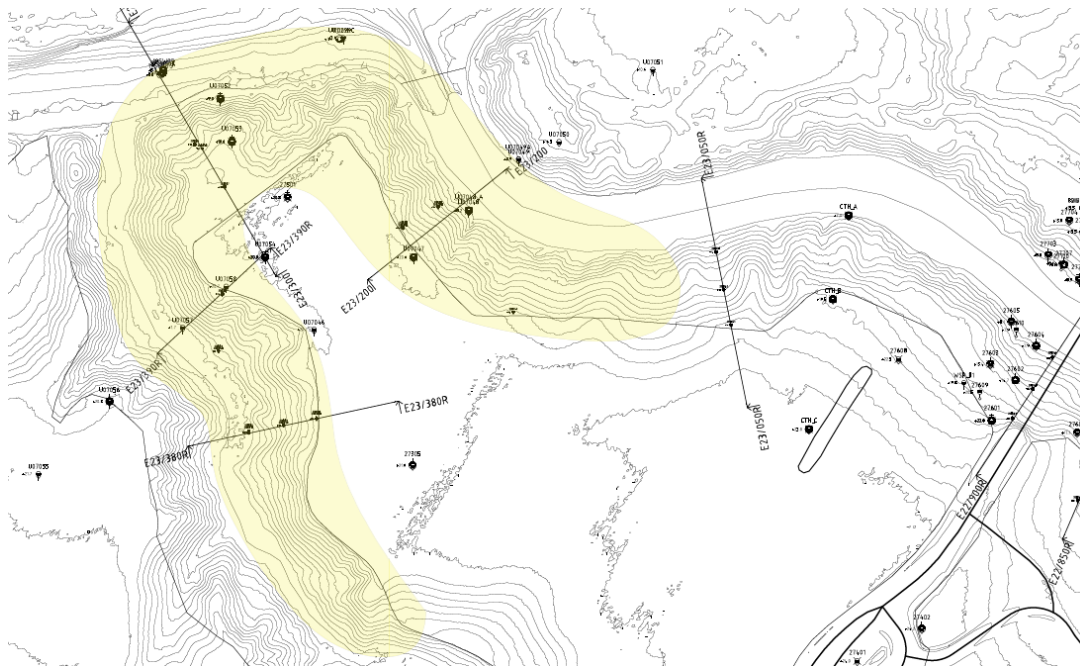
I rapporten i BILAGA H finns även en sammanställning av information från ett flertal VA-verk längs älven, vilken bl a visar att grumling inte är den avgörande parametern för dricksvattenkvaliteten, utan främst mikrobiologiska föroreningar (t ex från avlopp och gödsel).

Effekten av skred på naturvärden kan vara både positiv och negativ och beror på vilket naturvärde som står i fokus för aktuellt biflöde och/eller delsträcka av Göta älv.

Sammantaget bedöms det inte finnas anledning att utöka områdesgränserna, dvs. studera stabilitetsförhållandena längre uppströms biflodena än den sträcka som ändå inkluderas med avseende på bl a tänkbar skredutbredning vinkelrätt Göta älv.

9.0 SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER

Föreliggande fördjupade stabilitetsutredning visar att stabiliteten för delar av det aktuella området, Ballsered, inte uppfyller gällande rekommendationer enligt IEG Rapport 4:2010 för denna typ av markområde och aktuell utredningsnivå. Glidytorna i riktning mot Göta älv har som lägst säkerhetsfaktor ca $F_c = F_{komb} = 1,1$. Säkerhetsfaktorerna för slänterna i riktning mot Brodalsbäcken och Slumpån är också låga i den västra delen av området, dvs. närmast Göta älv, och varierar mellan ca $F_c = 1,1 - 1,25$ respektive $F_{komb} = 1,0 - 1,15$. Längre österut är slänterna lägre och flackare och stabiliteten tillfredsställande god mot de båda vattendragen. De områden som inte bedöms ha tillfredsställande god stabilitet är skuggade med gul färg i Figur 35.



Figur 35: Översiktskarta med markerat område (gul skuggning) inom vilket stabiliteten inte uppfyller säkerhetsrekommendationerna enligt IEG Rapport 4:2010 för befintliga förhållanden och aktuell utredningsnivå.

Eventuella skred i Brodalsbäcken eller Slumpån bedöms främst påverka naturvärdena i själva biflödena genom grumling/övertäckning. Naturvärden, vattenförsörjning och/eller fartygstrafiken i/på Göta älv bedöms inte påverkas i nämnvärd omfattning.

Föreliggande fördjupade stabilitetsutredning baseras på de idag rådande förutsättningarna inom aktuellt område. I samband med all förändring av områdena såsom nybyggnation, schaktning, ändrade dräneringsförutsättningar, lastförändringar, upplag etc. skall stabilitetssituationen beaktas.

9.1 Fortsatt utredning och/eller åtgärder

På översiktskartan i Figur 35 visas de markområden inom vilka säkerhetsfaktorn mot brott ej uppfyller rekommenderad säkerhetsnivå enligt föreliggande fördjupade stabilitetsutredning. Ett inledande översiktligt åtgärdsförslag i form av avschaktning av släntrön och övre delen av slänten ner mot samtliga vattendrag har tagits fram, se Figur 34.

Dimensionering av de översiktliga åtgärdsförslagen har gjorts enligt totalsäkerhetsmetoden med krav på $F_c > 1,4$ respektive $F_{komb} > 1,3$. Aktuellt område utgörs av åker- och naturmark. Med undantag av Göta älv, där såväl sjöfart som vattenförsörjning skulle kunna påverkas av ett framtida skred, så är intressena inom området begränsade. Eventuella skred i biflödena Slumpån och Brodalsbäcken bedöms i stort sett inte påverka Göta älv negativt.

Signatursida


Golder Associates AB



Linus Wrede
Handläggare Geoteknik



Malin Sundsten
Uppdragsledare Geoteknik



Ola Skepp
Kvalitetsgranskning

LW/MS/OS

Org.nr 556326-2418
VAT.no SE556326241801
Styrelsens säte: Stockholm

[https://golderassociates.sharepoint.com/sites/133494/project files/5 technical work/9_rapporter/ballsered/pm/23300opm01.docx](https://golderassociates.sharepoint.com/sites/133494/project%20files/5%20technical%20work/9_rapporter/ballsered/pm/23300opm01.docx)

BILAGA A

Härledda grundparametrar inkl. valda värden.

BILAGA B

Härledd odränerad skjuvhållfasthet inkl. valda värden

BILAGA C

Utvärdering av portryck inkl. vald profil

BILAGA D

Utvärdering av kvicklera

BILAGA E

**Stabilitetsberäkningar, befintliga
förhållanden**

BILAGA F

Stabilitetsberäkningar,
åtgärdsförslag (dimensionerat
med totalsäkerhetsmetoden)

BILAGA G

Stabilitetsberäkningar,
åtgärdsförslag (dimensionerat
med partialsäkerhetsmetoden)

BILAGA H

**Påverkan på Göta älv från skred i
biflöde**



golder.com