

PM GEOTEKNIK – 27600VPM11

## Brattorpsån, Lilla Edets kommun (27600V)

*Fördjupad Stabilitetsutredning*

Framställd för:

**Statens geotekniska institut, SGI**

Olaus Magnus väg 35  
591 83 Linköping

SGI:s uppdragsnr: 19144A

Upprättad av:

**Golder Associates AB**

Lilla Bommen 6  
411 04, Göteborg, Sverige  
031-700 82 30

Golders uppdragsnr: 20145345

Datum: 2021-12-10



## 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	Brattorpsån, Fördjupad stabilitetsutredning
Plats	Brattorpsån, Lilla Edets kommun, Göta älvs västra sida
Uppdragsgivare	Statens geotekniska institut, SGI
SGI:s uppdragsnummer	19144A
Dokumentets littera	27600VPM11
Konsult	Golder Associates AB
Golders uppdragsnummer	20145345
Uppdragsledare	Malin Sundsten
Handläggare	Linus Wrede
Kvalitetsgranskning	Ola Skepp

# Innehållsförteckning

<b>1.0</b>	<b>UPPDRAG</b>	<b>1</b>
<b>2.0</b>	<b>UNDERLAG</b>	<b>2</b>
2.1	Kartor, ortofoto, mätdata mm.	2
2.2	Geotekniskt arkivmaterial	2
2.3	Styrdokument	3
<b>3.0</b>	<b>UTFÖRDA UNDERSÖKNINGAR OCH BESIKTNING</b>	<b>3</b>
3.1	Geotekniska fältundersökningar	3
3.2	Geotekniska laboratorieundersökningar	3
3.3	Besiktningar	3
<b>4.0</b>	<b>OMRÅDESBESKRIVNING</b>	<b>4</b>
4.1	Geografi, markanvändning och skyddade områden	4
4.2	Topografi och batymetri	6
4.3	Erosionsskydd	7
4.4	Erosionsförhållanden	10
4.5	Befintliga anläggningar och förstärkningsåtgärder	14
<b>5.0</b>	<b>GEOTEKNISKA FÖRHÅLLANDEN</b>	<b>16</b>
5.1	Jordlagerföljd	16
5.2	Geotekniska egenskaper	17
<b>6.0</b>	<b>HYDROGEOLOGISKA FÖRHÅLLANDEN</b>	<b>34</b>
6.1	Vattennivå i vattendrag	34
6.2	Grundvattenyta och portryck	34
<b>7.0</b>	<b>STABILITET</b>	<b>35</b>
7.1	Allmänt	35
7.2	Erforderlig säkerhetsfaktor	36
7.3	Beräkningsförutsättningar	37
7.4	Stabilitetsanalyser för befintliga förhållanden	39
7.5	Sammanställning av utförda stabilitetsanalyser för befintliga förhållanden	44
7.6	Känslighetsanalys	45
7.7	Skredutbredning	50
7.8	Stabilitetsförbättrande åtgärder	52
<b>8.0</b>	<b>SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER</b>	<b>58</b>
8.1	Fortsatt utredning och åtgärder	59

## 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

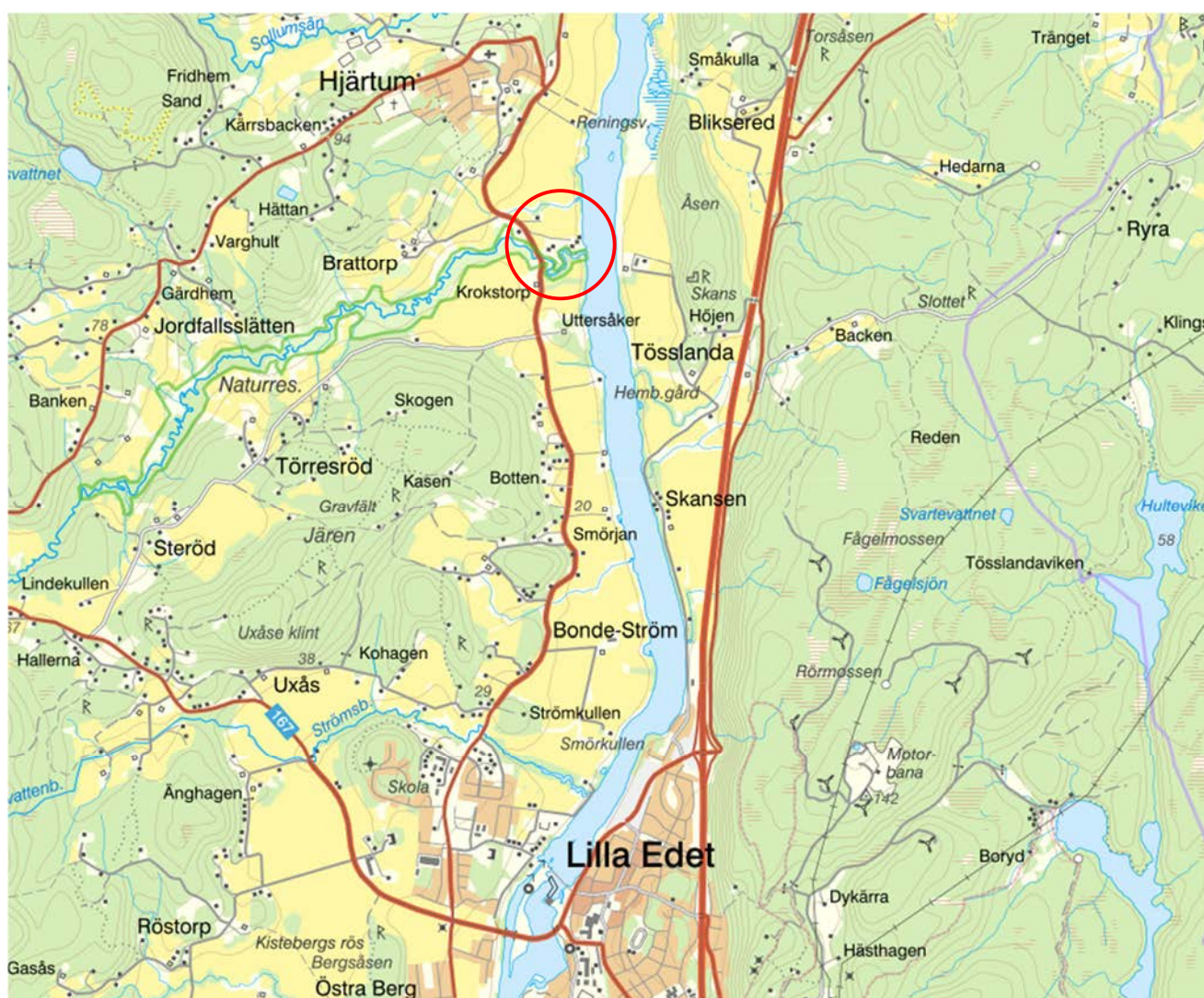
### BILAGA F

Stabilitetsberäkningar, åtgärdsförslag

## 1.0 UPPDRAG

På uppdrag av Statens geotekniska institut, SGI, har Golder Associates AB (Golder) utfört en fördjupad stabilitetsutredning vid Brattorpsån, belägen på Göta Älvs västra sida strax söder om Hjärtum i Lilla Edets kommun (Figur 1). Uppdraget utgör en del i arbetet med Delegationen för Göta Älv och syftar till att utreda och minska risken för ras och skred i området. Konsekvensen av ett skred kan vara skador på vattenförsörjning, bebyggelse och viktiga samhällsfunktioner i området.

Underlag och resultat från den tidigare utförda detaljerade stabilitetsutredningen (Golder, 2020) har inarbetats i nu utförd utredning. Föreliggande PM Geoteknik för Fördjupad stabilitetsutredning ersätter därmed tidigare PM Geoteknik för den detaljerade utredningen.



Figur 1: Översiktskarta med aktuellt undersökningsområde markerat med röd ring (Källa: Lantmäteriet öppen data).

## 2.0 UNDERLAG

### 2.1 Kartor, ortofoto, mätdata mm

Som underlag för planering av den geotekniska undersökningen har nedanstående underlagsmaterial nyttjats. Aktuellt koordinatsystem är SWEREF 99 TM och höjdsystem RH 2000.

- SGU:s jordartskarta ([www.sgu.se](http://www.sgu.se)).
- Batymetrisk data från sjömätning Göta Älv 2018 (Clinton). ESRI FGDB, 1 m grid, SWE99 TM, RH 2000.
- "GSD-Fastighetskartan vektor" med tillägg "Planer, Bestämmelser och Rättigheter", Lantmäteriet. Daterad 2019-10-28.
- Nationell höjddatamodell, 1 m grid, Lantmäteriet. Daterad 2019-10-24.
- Övrigt CAD- och GIS-material från SGI med tidigare utredda sektioner, områdesgränser, väglinjer etc.
- Okulärbesiktning och inmätning av erosionskydd från älven, SGI, 2010 (kartdatabas: [gis.swedgeo.se](http://gis.swedgeo.se))

### 2.2 Geotekniskt arkivmaterial

På uppdrag av SGI utfördes en detaljerad stabilitetsutredning samt kontrollbesiktning av aktuellt område under år 2020. Undersökningsområdet har tidigare undersökts i samband med Göta älvutredningen (SGI, år 2009-2011) och är beläget inom det större område som benämns GÄU delområde 5.

Geotekniskt arkivmaterial från dessa utredningar har inarbetats och utgjort underlag för nu utförd fördjupade stabilitetsutredning. För fullständig redovisning av undersökningarna hänvisas till nedanstående utredningar/handlingar:

- *"Hjärtum 2:22, Lilla Edets kommun, Fördjupad stabilitetsutredning, 26500VRA03 Markteknisk undersökningsrapport/Geoteknik"*. Bohusgeo AB, uppdragsnr 20042, daterad 2020-12-08.
- *"Kontrollbesiktning Brattorpsån, Lilla Edets kommun. Okulär besiktning av slänter och strandkant. PM Geoteknik"*, Golder Associates AB, Golders uppdragsnr 19133793, SGI:s uppdragsnr 19144, daterad 2020-05-14.
- *"Brattorpsån, Lilla Edets kommun (27600V). Detaljerad Stabilitetsutredning. PM Geoteknik,"*, Golder Associates AB, Golders uppdragsnr 19133793, SGI:s uppdragsnr 19144, daterad 2020-04-08.
- *"Brattorpsån, Lilla Edets kommun (27600V), Detaljerad Stabilitetsutredning. Markteknisk undersökningsrapport/Geoteknik (MUR/GEO)."*, Golder Associates AB, Golders uppdragsnr 19133793, SGI:s uppdragsnr 19144, daterad 2020-04-08.
- *"Göta älvutredningen, GÄU: Delområde 5, Intagan – Ström. Teknisk PM Geoteknik, Stabilitetsberäkningar."*, SGI, diarienum: 6-1001-0027, daterad: 2012-12-20.
- *"Erosionsförhållanden i Göta älv. GÄU – delrapport 1"*, SGI, 2011 (uppdragsnr 14091).
- *"Väg 2025. Breddning av bro. Bro över Brattorpsån i Lilla Edet, Västra Götalands län. Bygghandling, Ritningar"*. Vägverket, Vectura, datering 2010-03-01, rev Relationshandling/Avvägning 2011-02-11/2013-11-04.
- *"Väg 2025, bro över Brattorpsån V Brattorp. RGeo (Rapport Geoteknik). Arbetsmaterial 2008-12-15"*. Vägverket Konsult, Arbetsmaterial daterat 2008-12-15.

## 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, Avser stabilitetsutredningar längs Göta älv"*, Version 3.0, Delegationen för Göta älv, Statens geotekniska institut, SGI, Linköping, 2020-03-25.
- *"DGA00XST02 Riktlinjer för dokumenthantering, Avser stabilitetsutredningar längs Göta älv"*, Version 2.2. Delegationen för Göta Älv, Statens geotekniska institut, SGI, Linköping, 2020-03-25.

## 3.0 UTFÖRDA UNDERSÖKNINGAR OCH BESIKTNING

### 3.1 Geotekniska fältundersökningar

Geotekniska fältundersökningar i form av trycksondering, CPT, vingförsök, kolvprovtagning samt skruvprovtagning har utförts under augusti-september 2020 av underkonsult HA Geoteknik AB. I samband med fältundersökningarna installerades även portrycksstationer för mätning och uppföljning av portryck inom området. Med anledning av att delar av området, längs Brattorpsån, är klassat som Natura 2000-område söktes och erhöles dispens för att utföra undersökningar vid släntfot. Dispensen innebar villkor kring körväg, tid för utförande samt borttagning av utrustning.

En kompletterande fältinsats utfördes i månadsskiftet april-maj 2021 av Ingefors Geoteknik AB. Geotekniska fältundersökningar i form av CPT-, vingförsök, kolvprovtagning samt skruvprovtagning utfördes i två borrhål.

Resultatet av samtliga nu utförda fältundersökningar redovisas i tillhörande MUR (Markteknisk undersökningsrapport /Geoteknik), 27600VRA11, med samma uppdragsnummer och datum som föreliggande PM.

### 3.2 Geotekniska laboratorieundersökningar

Laboratorieundersökningar har utförts på ostörda prover under perioden augusti 2020 till januari 2021 samt under maj till juli 2021 av underkonsult WSP Geolab i Göteborg. Undersökningarna omfattade rutin-, CRS-, direkta skjuv- och triaxialförsök.

Resultatet av laboratorieundersökningarna redovisas i tillhörande MUR (Markteknisk undersökningsrapport/ Geoteknik), 27600VRA11, med samma uppdragsnummer och datum som föreliggande PM.

## 3.3 Besiktningar

### 3.3.1 Brattorpsåns slänter och strandkant

Baserat på resultatet från den tidigare utförda detaljerade stabilitetsutredningen, med konstaterad ej tillfredsställande stabilitet inom delar av området samt bitvis väldigt låg säkerhetsfaktor mot brott (ca  $F=1,0$ ) i några sektioner (27490V och 27590V), så utfördes en kontrollbesiktning i slutet av april 2020. Slänter och strandkant längs Brattorpsån besiktigades och fotodokumenterades och resultatet finns redovisat i separat rapport ("PM Geoteknik. Kontrollbesiktning Brattorpsån, Golder, 2020), samt finns sammanfattat i kapitel 4.3.

### 3.3.2 Sprickor i uthus inom fastighet Hjärtums-Brattorp 1:7

Under våren 2020 framkom via berörd fastighetsägare (Hjärtums-Brattorp 1:7) att sprickor sedan ett antal år tillbaka hade observerats i ett uthus beläget på släntrån i anslutning till sektion 27490V. Besiktning och fotodokumentation av uthuset och sprickorna beskrivs i kapitel 4.5.2.

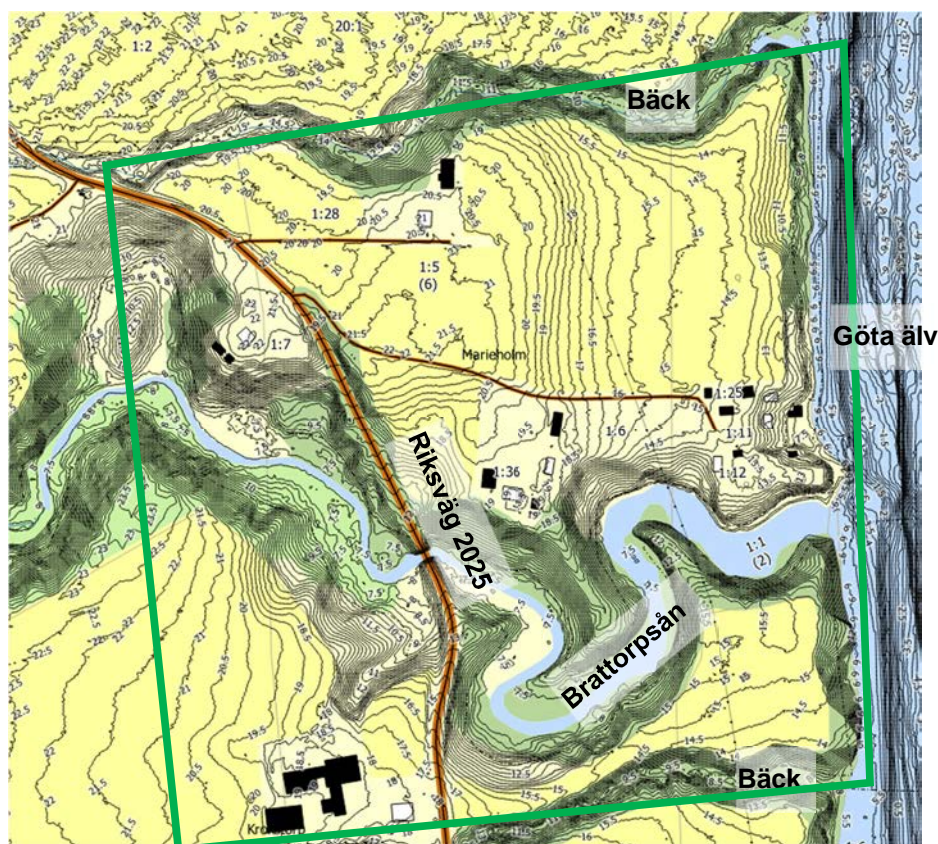
## 4.0 OMRÅDESBESKRIVNING

### 4.1 Geografi, markanvändning och skyddade områden

Undersökningsområdet vid Brattorpsån är beläget söder om Hjärtum, ca 4 km norr om Lilla Edets tätort och sträcker sig ca 500 m längs Göta älvs västra sida. Området omfattar en yta på drygt 24 ha (ca 500 m \* 500 m), se översiktskarta i Figur 2. Området avgränsas av två mindre bäckar med tillhörande raviner i norr och söder.

Brattorpsån meandrar sig genom området från väster mot öster och har genom årtusendena skurit sig ned genom leran och bildat en djup ravin. Brattorpsån med ravin är ett naturreservat samt idag klassad som Natura 2000-område enligt habitatdirektivet (Figur 3).

Riksväg 2025 går genom den västra delen av området, parallellt med älven, och korsar Brattorpsån över bro. Markanvändningen utgörs till största del av åkermark, utöver en del bostadshus och komplementbyggnader (Figur 4). Det finns en forn lämning (boplats) inom åkern norr om Brattorpsån (Figur 3). Fornlämningen är inte synlig ovan mark. Det finns ett flertal luftledningar som genomkorsar området, utöver markförlagda ledningar för el, vatten etc.



Figur 2: Översiktskarta med undersökningsområdet markerat i grönt.



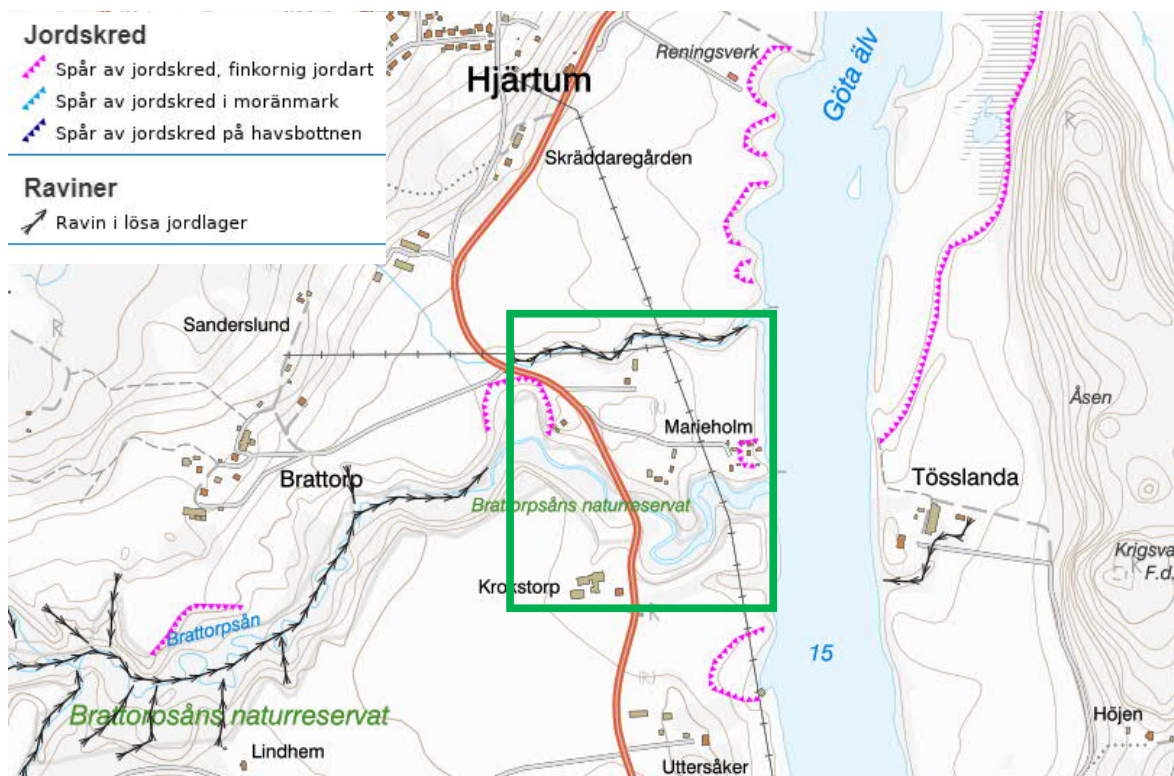


Figur 3: Kartor med utbredning av a) naturreservat/Natura 2000-område (källa: gis.swedgeo) samt b) fornlämning i form av boplatz (källa: Riksantikvarieämbetets Fornsök, [app.raa.se/open/fornsok/](http://app.raa.se/open/fornsok/)) t.h.



Figur 4: Åkermark och trädriddå längs Göta älvs strandkant. Till höger i bild skimtar grusväg och byggnader i form av stuga och uthus. En luftledning korsar åkern i nord-sydlig riktning. Fotoriktning mot öster. Datum 2019-11-27.

Inom aktuell del av Göta äldalen med topografi som karaktäriseras av höga erosionskadade strandbrinkar och ravinbildningar finns tydliga ärr efter större och mindre skred (Figur 5).



Figur 5: Raviner och spår av inträffade skred kring aktuellt område. Grön ram visar utredningsområdet. (källa: SGU kartvisare "jordskred och raviner")

## 4.2 Topografi och batymetri

Områdets topografi karaktäriseras av en svagt lutande markyta ner mot älven, från nivån ca +22 i väster till ca +15 på släntkrönet intill älven. Närmast älven finns en ca 15-20 m bred platå på ungefär samma nivå som vattenytan, ca +7,5. Slätten mellan platån och släntkrönet är ca 8 m hög (lutning ca 1:3-1:2). Brattorpsån och ytterligare två mindre vattendrag har skurit sig ner och bildat raviner som går från väster mot öster.

Brattorpsåns ravin uppvisar samma branta slänter (lutning ca 1:3-1:2) med slänthöjder som ökar från ca 8 m intill älven i öster till ca 15 m i den västra delen av området där markytan ligger på en högre nivå. I väster återfinns generellt ett brett svämplan i botten av ravinen och marken på båda sidor åfåran är relativt flack medan de branta slänterna i öster sluttar direkt ner i åfåran.

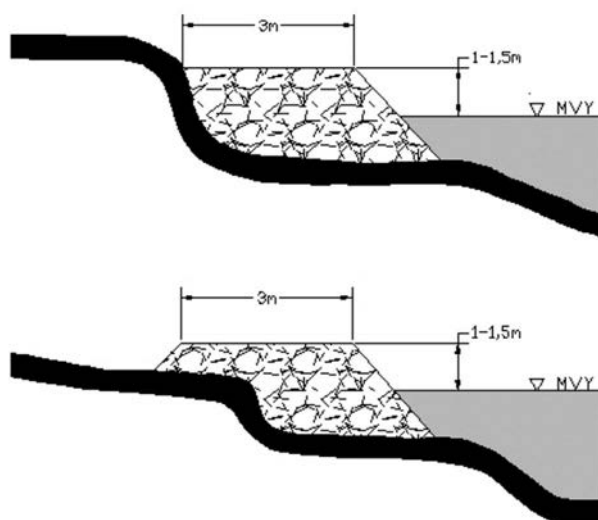
Bottengeometrin i älven utgörs närmast strandkanten i väster av en relativt brant undervattensslänt, lutning ca 1:3-1:1,5, se Figur 6. Älvens botten ligger på nivån ca -10 och djupfåran/fåror har en total bredd på ca 40 m. Nivåskillnaden mellan den västra strandbrinkens släntkrön och älvbotten uppgår inom området till ca 25 m (från nivå +15 vid släntkrön till nivå -10 vid älvbotten). Slätten upp mot den östra strandkanten är längre och flackare.



Figur 6: Typsektion med land- och bottengeometrin tvärs Göta älv och landområdet i väster. Vy i älvens flödesriktning.

### 4.3 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 har dock inte återfunnits någon 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, se schematisk planerad utformning i Figur 7.



Figur 7: Schematisk bild över de planerade erosionsskydden längs Göta älv som anlagts under 1970-talet (Källa: Figur 5-2 ur Göta älvutredningen – delrapport 1, "Erosionsförhållanden i Göta älv")

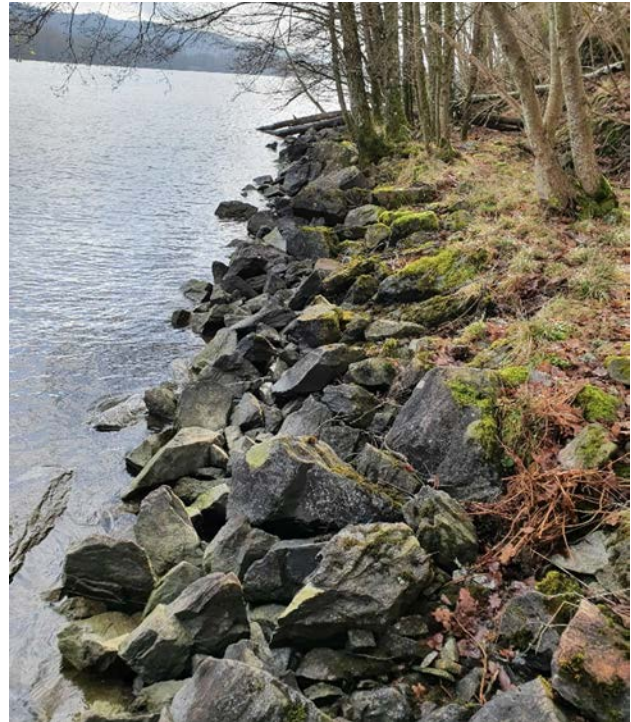
År 2010 inspekterade SGI erosionsskydden från älven genom okulärbesiktning och inmätning. Resultaten finns redovisade i SGI:s kartdatabas ([gis.swedgeo.se](http://gis.swedgeo.se)) och ett utsnitt över aktuellt utredningsområde visas i Figur 11. Kartbilden har kompletterats med observationer av erosionsskydd från nu utförda besiktningar (Golder, 2020) och information från Trafikverket/Vectura, 2011.

Erosionsskyddets förekomst och utbredning har inspekterades okulärt vid platsbesök i samband med den detaljerade utredningen (Golder, 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, se Figur 8. Vallen bedöms ha underhållits och ha fortsatt tillfredsställande kvalitet, men dess utbredning och status under vattenytan är okänd.

Sprängstensvallen är indragen ca 100 meter längs den norra sidan av Brattorpsåns utlopp, och ca 50 meter på den södra sidan, se Figur 11. Vid de mindre vattendragen/bäckarna i norr och söder har sprängstensvallen också dragits in längs eller delvis över bäckarnas utlopp, se Figur 9.



a)

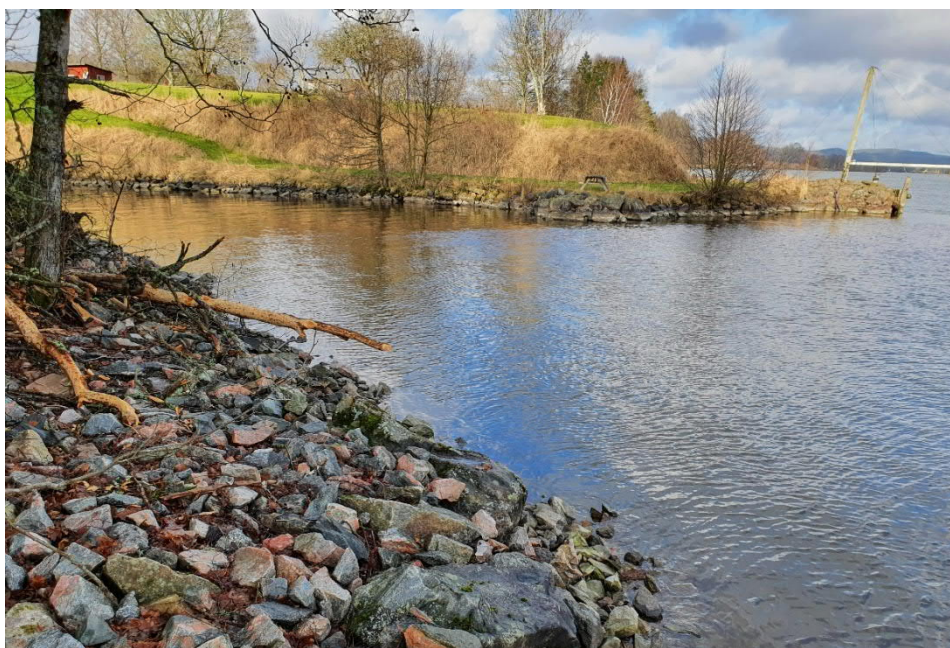


b)

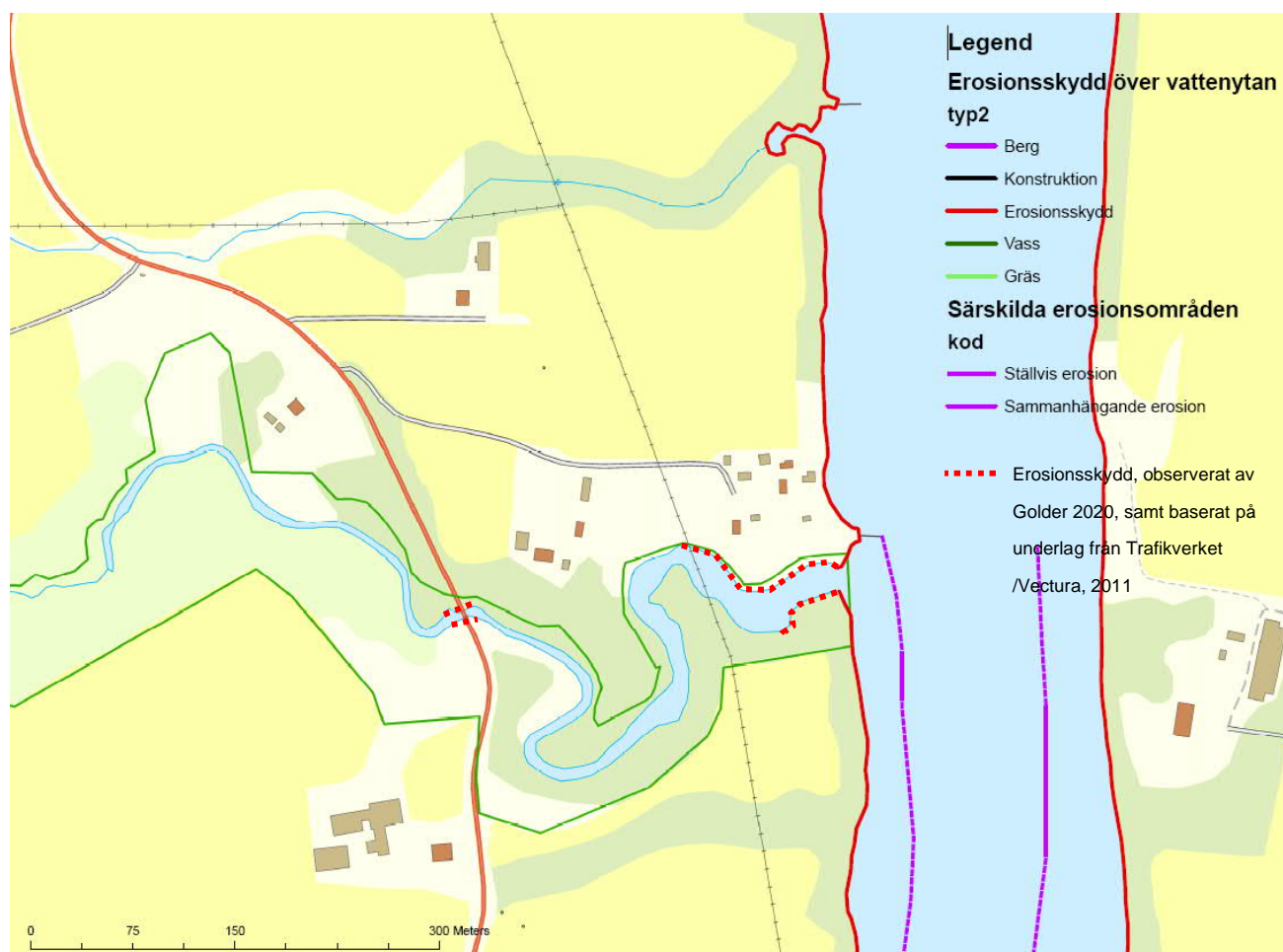
Figur 8: Erosionsskydd i form av sprängstensbank längs Göta älv; a) älvens strandkant norr om Brattorpsåns utlopp (fotoriktning mot norr, 2019-11-27) och b) älvkanten söder om Brattorpsåns utlopp (fotoriktning mot söder, 2020-02-14).



Figur 9: Erosionsskydd/sprängstensvall tvärs den norra bäckens utlopp i Göta älv. Fotoriktning mot norr, 2019-11-27.



Figur 10: Erosionsskydd i anslutning till Brattorpsåns utlopp i Göta älv. Fotoriktning mot norr, 2020-02-14.



Figur 11: Resultat av SGI:s inspektion av erosion och erosionsskydd (2010) (källa: gis.swedgeo.se). Röd heldragen linje visar befintligt erosionsskydd längs älven. Röd prickad linje visar ungefärlig utbredning av erosionsskydd längs Brattorpsån, baserat på okulär besiktning utförd av Golder 2020-02-14 samt underlag från Trafikverket/Vectura, 2011.

## 4.4 Erosionsförhållanden

### 4.4.1 Brattorpsån

Väster om erosionsskyddens upphörande i Brattorpsån kan lokalt betydande erosion urskiljas i åns ytterkurvor. I Figur 12 visas foto på erosion längs åns södra strandkant. Flertalet träd är lutande eller nedfallna och ytor med bar jord återfinns i nedre delen av slänten.



Figur 12: Pågående erosion längs Brattorpsåns södra strandkant, ca 50-100 m väster om utloppet i Göta älv. Fotoriktning mot söder, 2019-11-27.

Närmare väg 2025 samt väster om densamma är den synliga erosionen längs Brattorpsån mycket begränsad. Vattendraget är i denna del av området smalt, ca 5–6 m, och omges generellt av ett brett svämplan, dvs. lågt markområde beväxt med vass/gräs se exempel i Figur 13 som visar området närmast Brattorpsån nedanför/söder om sektion 27590V (Hjärtums-Brattorp 1:36).

I läget för bron för väg 2025 över Brattorpsån är åfårans botten erosionsskyddad och det finns även ett erosionsskydd (ca 0,5 m samkross 0-200 mm) utlagt nordost om bron (Figur 19).

Vid besiktning av Brattorpsåns slänter i april 2020 noterades att slänten i anslutning till sektion 27490V (Hjärtums-Brattorp 1:7) är brant och i den övre delen observerades mindre partier med bar jord och ev. tidigare skredärr, men inga tecken på pågående markrörelser. Den låga strandkanten inom svämplanet är ursköljd, men erosionens omfattning bedöms vara mycket begränsad (Figur 14).



Figur 13 Del av Brattorpsån med ett brett vass- och gräsbeväxt svämplan på båda sidor åfåran. Fotot är taget nedanför/söder om slänten i sektion 27590V. Till höger i bild skymtar vägbron och till vänster den röda ladugården i den sydvästra delen av utredningsområdet. Fotoriktning mot sydväst, 2020-04-28.



Figur 14 Brattorpsåns strandkant i anslutning till sektion 27490V (Hjärtums-Brattorp 1:7). Fotoriktning mot väster, datum 2020-04-28.

I Figur 15 har Brattorpsåns karaktär och erosionsförhållanden översiktligt redovisats i plan.



Figur 15 Flygfoto med kommentarer om Brattorpsåns karaktär och erosionsförhållanden. Källa flygfoto: Lantmäteriet.se



#### 4.4.2 Mindre vattendrag i norr och söder

Flödet, och därmed även erosionen, bedöms vara begränsat i de båda mindre vattendragen längs utredningsområdets norra respektive södra gräns, för lägen se Figur 15. I väster är vattendragen i princip igenväxta med vass/gräs. Erosionsindikationer i form av lutande träd och vid några platser barmark påträffades lokalt i anslutning till utloppen i Göta Älv (Figur 9 och Figur 16).



Figur 16 Det södra vattendragets utlopp i Göta älv, med erosionsskydd/sprängstensvall längs älven. Begränsat flöde och erosion, men lokalt bar jord och nedfallna träd i öster. Fotoriktning mot söder, 2019-11-27.



Figur 17 Det norra vattendraget är i princip igenväxt i väster. Foto a) visar vattendraget närmast väg 2025 och foto b) visar slänten från åkern och ner mot vattendraget längre österut. Fotoriktning mot öster, 2019-11-27.

## 4.5 Befintliga anläggningar och förstärkningsåtgärder

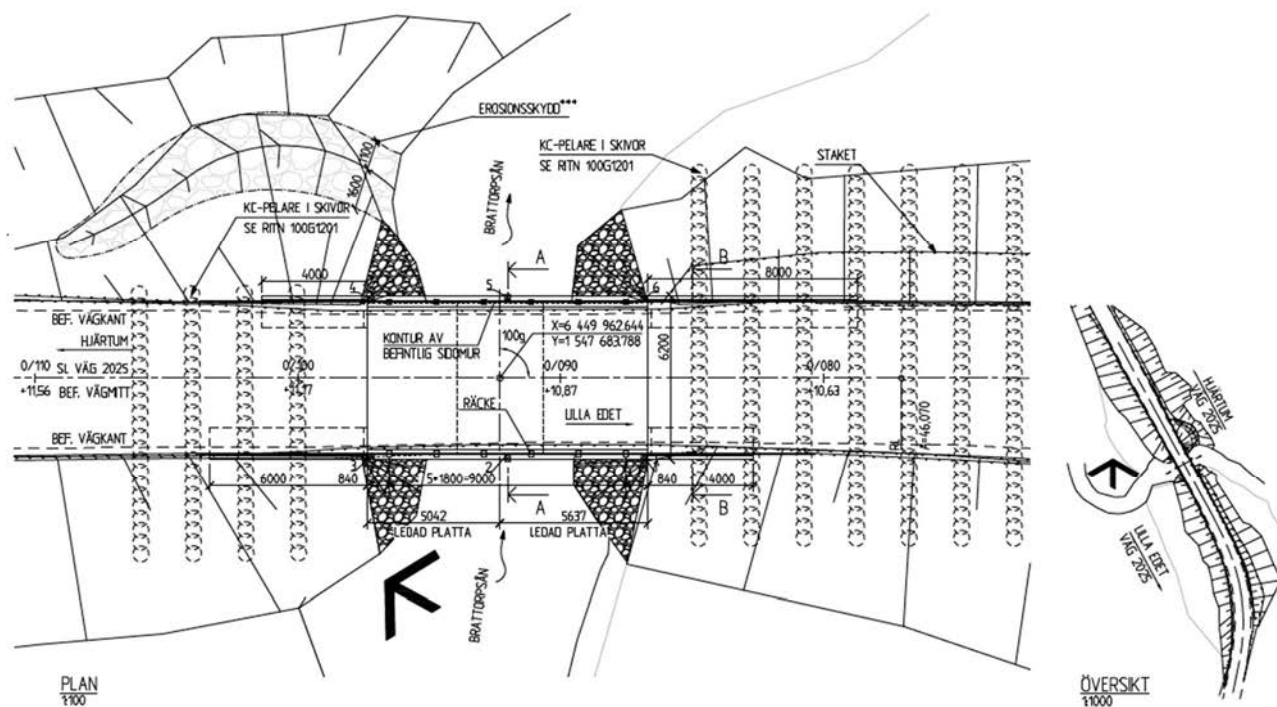
### 4.5.1 Väg 2025 och bro

Kungälvsvägen (väg 2025) löper i nord-sydlig riktning genom området och passerar Brattorpsån via en vägbro. Bron breddades år 2010 och i samband med detta installerades kalkcementpelare i skivor för anslutningsbankarna norr och söder om bron, se Figur 19. Kalkcementpelarnas längd varierar mellan ca 7-10 m. Den ursprungliga bron var grundlagd på rustbädd och stenmur. Konerna ner mot ån är stenkädda.

Vid Golders besiktning i april 2020 observerades inga sprickor i vägbanan. Från bronns båda sidor kunde inga synliga skador observeras i anslutning till brofästena norr respektive söder om ån.



Figur 18 Väg 2025 med bro över Brattorpsån. Fotoriktning mot norr. Datum 2020-04-28.



Figur 19 Bro för väg 2025 över Brattorpsån. Plan och översikt från ritning 141K2021, Relationshandling, Vectura, 2011.

## 4.5.2 Byggnader

Inom området finns ett antal bostadshus samt komplementbyggnader. Bostadshusen är generellt enplans- eller 1,5-planshus och komplementbyggnadernas storlek och status varierar stort, från små skjul/uthus till större ladugårdsbyggnader. Grundläggningen är generellt okänd. I ett fall har källare observerats.

### 4.5.2.1 Uthus med tillbyggnad inom fastighet Hjärtums-Brattorp 1:7

Inom fastighet Hjärtums-Brattorp 1:7 finns ett flertal uthus nära släntrönet ner mot Brattorpsån, se Figur 22. Fastighetsägaren har sedan år 2013 observerat sprickor i golv och vägg mellan ett gammalt uthus och en tillbyggnad och fotodokumenterat byggnaderna/sprickorna regelbundet. Inom ramen för nu utförd utredning har okulär besiktning av byggnaderna och omgivande mark utförts och sprickorna kontrollmätts vid ett flertal tillfällen under år 2020 (Figur 21 och Figur 22).

Sprickorna har uppstått mellan uthuset och den mindre tillbyggnaden, se röd respektive blå markering i Figur 22. Tillbyggnadens sydvästra fasad ligger endast ca 1 m från släntrönet. Sprickorna i byggnaden har inte noterats öka i storlek mellan år 2013 och 2020. Inga marksprickor har observerats utanför byggnaden och/eller i slätten. Bedömningen är att sprickorna har uppkommit pga. varierande och ev. bristfällig grundläggning, vilket medfört differenssättningar mellan byggnadens olika delar. Sprickorna bedöms inte vara orsakade av stabilitetsproblem.



Figur 20 Läge för uthus med tillbyggnad där sprickor observerats, inom fastighet Hjärtums-Brattorp 1:7 (i anslutning till sektion 27490V).



Figur 21 Spricka i vägg mellan uthus och tillbyggnad (Hjärtums-Brattorp 1:7). Datum 2020-06-26.



Figur 22 Spricka i golv och grund mellan uthus och tillbyggnad (Hjärtums-Brattorp 1:7). Datum 2020-09-03.

### 4.5.3 Ledningar

Inom området finns markförlagda elledningar, dels längs väg 2025 och anslutande mindre väg inom området, men också tvärs Brattorpsån, fastighet Hjärtums-Brattorp 1:36 och åkern i områdets nordöstra del.

En luftburen elledning löper i nordsydlig riktning genom området och tvärs över den stora åkern i nordväst. Även längs det norra mindre vattendraget löper en luftburen elledning i väst-östlig riktning.

Inom fastigheterna Hjärtums-Brattorp 1:7 och Krokstorp 1:4 finns jordvärmeslingor installerade inom mark strax väster om väg 2025. Vidare finns vattenledningar samt fiber indraget till vissa fastigheter.

## 5.0 GEOTEKNISKA FÖRHÅLLANDEN

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

### 5.1 Jordlagerföljd

Området i stort utgörs generellt av ett sammanhängande lager siltig lera till stort djup. Lerans mäktighet varierar enligt utförda sonderingar mellan ca 20 m i söder till ca 45 m vid Brattorpsån (bh U05176) för att norr om ån öka ytterligare och överstiga 45 m. I väster avtar dock djupet till fast botten och i anslutning till Brattorpsån (bh 20GO09) är lerdjupet endast ca 5 m.

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.

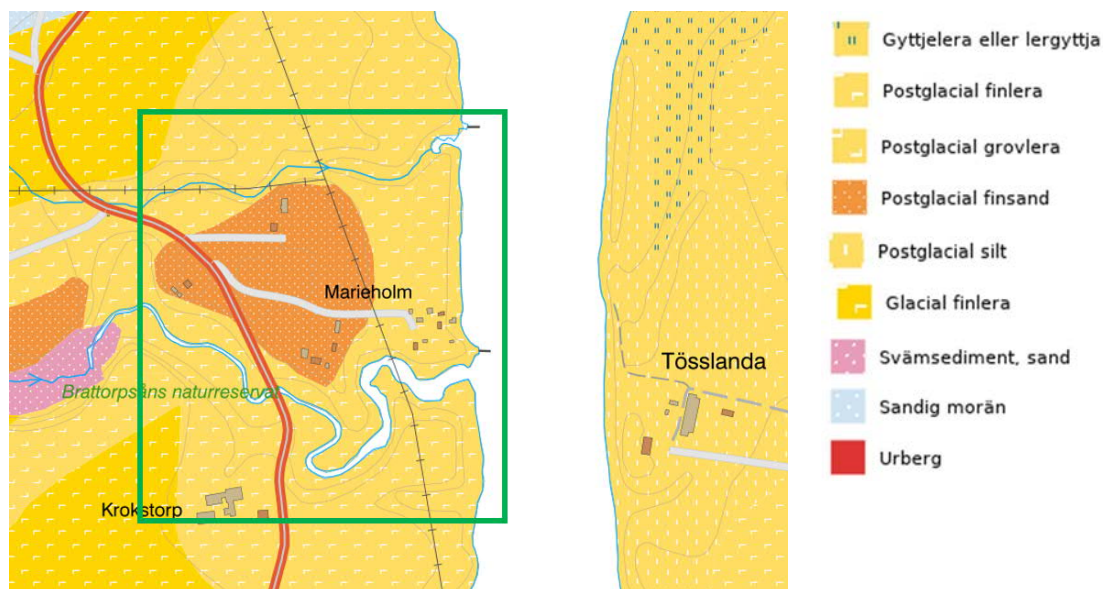
I områdets nordöstra del, norr om Brattorpsån, utbreder sig ett område med svämsediment bestående av finsand, silt och till viss del sand med en mäktighet på upp till som mest ca 5-6 m ovanpå leran.

Svämsedimenten återfinns även generellt i de övre jordlagren genomgående inom området. Norr om Brattorpsån, kring området med grövre och mäktigare svämsediment, utgörs den övre delen av jordprofilen generellt av ca 1-2 m sand/finsand/silt ovan skiktad lera/silt. Även genomgående i lerprofilen förekommer siltskikt/siltkörtlar. Närmare Göta älv är övre delen av jordprofilen gyttjig. Söder om Brattorpsån utgörs de översta ca 5-6 m av gyttjig/lerig/ finsandig silt ovan siltig lera.

I den västra delen av undersökningsområdet återfinns ett ca 1 m mäktigt dränerade sandskikt på nivån ca +3 till +4. Nu utförda sonderingar på slänkrön i denna del av området har nått fast botten på drygt 30 m djup

(nivå ca -7,5). I läget för Brattorpsån har berg påträffats något ytligare/högre (på nivå ca  $\pm 0$  till +3) och djupet till fast botten vid släntfot är endast ca 5-7 m (borrpunkt 2OGO09).

De översta jordlagren framgår översiktligt av nedanstående utsnitt av jordartskartan i Figur 23.



Figur 23: Jordartskarta över aktuellt område.

## 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.

Slänterna ner mot samtliga vattendrag bedöms i stort ha eroderats ner från en ursprunglig i princip plan markyta, vilket innebär att lerans egenskaper generellt anses vara nivårelaterade. Sammanställningarna av lerans grundparametrar mot nivå respektive djup är dock inte helt entydiga och i några fall tycks resultaten lokalt stämma bättre överens mot djup än nivå, vilket troligen kan förklaras av komplexiteten i området (varierande geologisk historia i form av konsolidering, erosion, skred etc.).

### 5.2.1 Densitet, vattenkvot och konflytgräns

Lerans densitet varierar generellt mellan ca 1,55–1,7 t/m<sup>3</sup>, men i lager där silt och/eller sandinnehållet är stort uppgår densiteten till ca 1,7–1,8 t/m<sup>3</sup>.

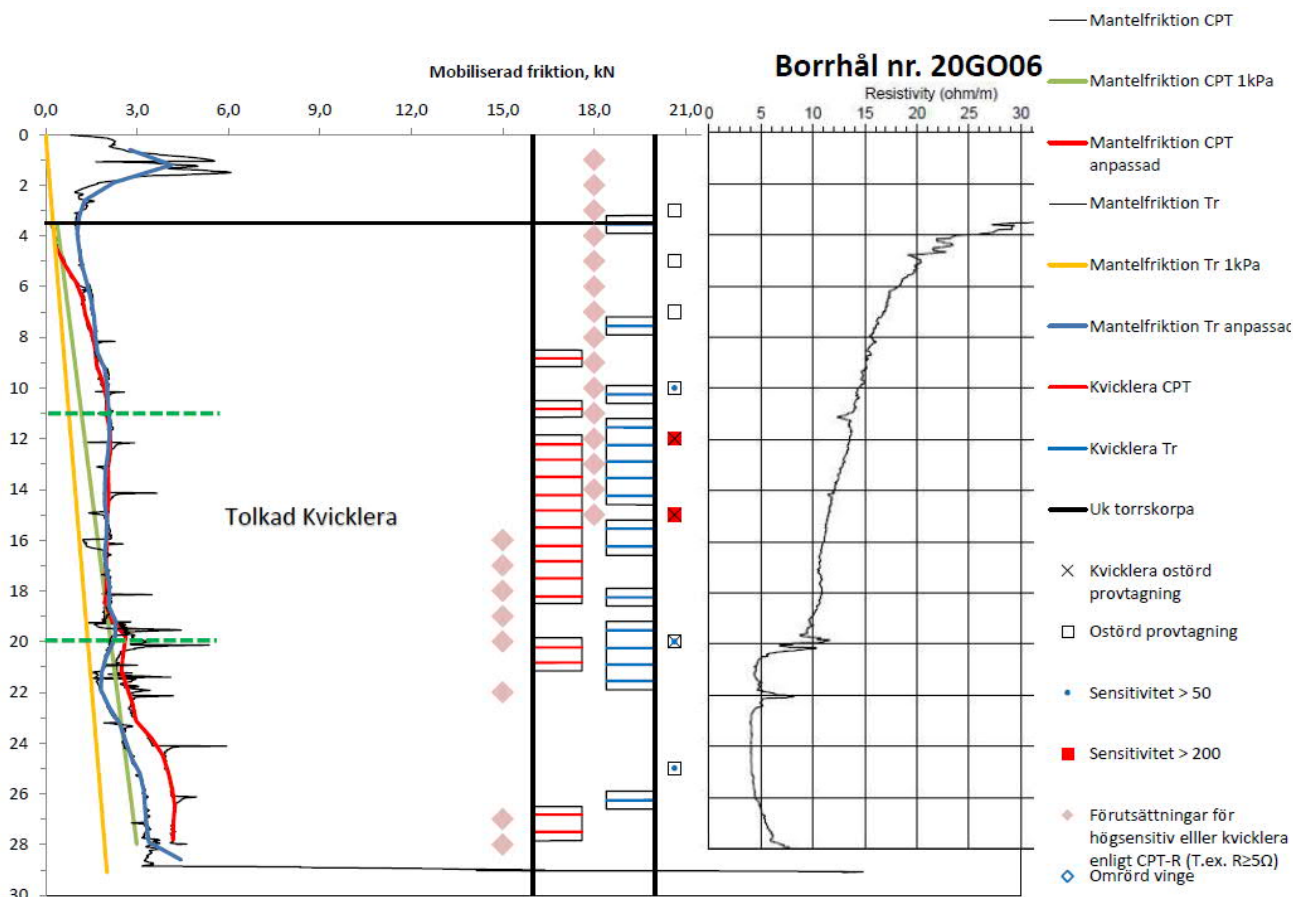
Den naturliga vattenkvoten varierar mellan ca 60–80 %, men är lägre (ca 40-60 %) där silt- och/eller sandinnehållet är stort.

Konflytgränsen varierar mellan ca 40–60 % i den övre siltiga/sandiga leran ner till nivån ca +2, men är något högre (ca 60-80 %) under denna nivå inom den östra delen av området. I den västra delen av utredningsområdet har kolvprovtagningar visat på en konflytgräns mellan ca 40–60% genomgående i profilen.

### 5.2.2 Sensitivitet och kvicklera

Inom ramen för tidigare utförd undersökning har leran inom det större området (GÄU delområde 5) bedömts vara mellan- till högsensitiv och lokalt kvick. Kvicklera är per definition en lera med en sensitivitet  $\geq 50$  som också har en odränerad skjuvhållfasthet i omrört tillstånd som är mindre än 0,4 kPa.

Kvicklereförekomsten och dess utbredning har dels utvärderats från rutinförsök på kolvprover i laboratorium och dels från utförda CPTu-R-sonderingar och trycksonderingar, med hjälp av ett Excel-program framtaget inom Göta älvutredningen, se BILAGA D. Generellt tolkas dock fler nivåer som kvicklera med denna metod jämfört med resultaten från rutinförsök, vilket delvis kan tänkas bero på effekter från utförandet i fält (såsom grövre jordlager och/eller övergångar vid skarvning av sonderingsstänger). 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 24.

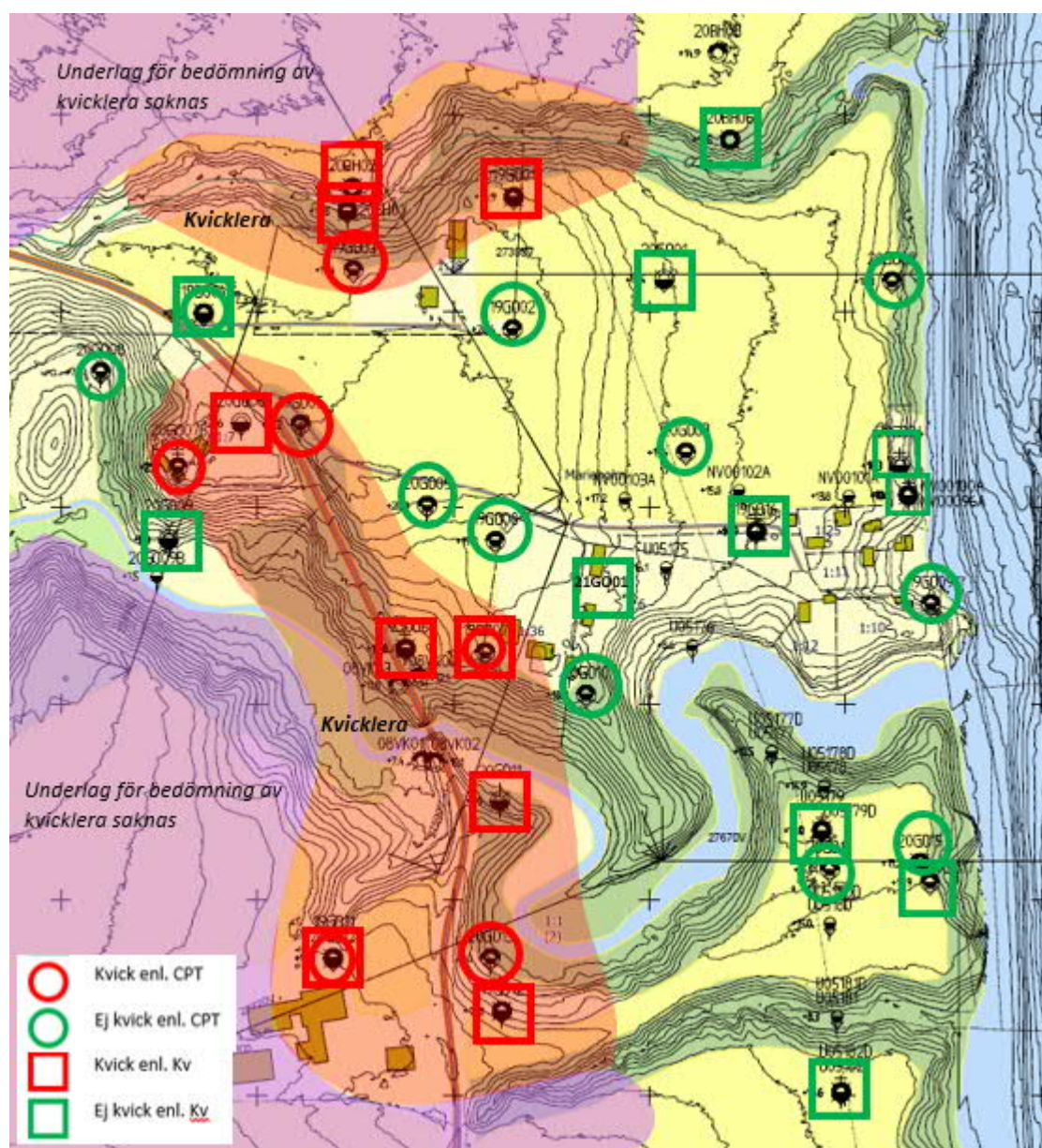


Figur 24 Utvärdering av kvicklera baserat på CPTu-R och tryckförsök samt rutinförsök på ostörda prover. Exempel från bh 20GO06 på släntrön norr om Brattorpsån, i utredningsområdets nordvästra del.

Norr om aktuellt utredningsområde finns längs med Göta älvs strandkant undersökningar (Bohusgeo, 2021) som inte visar på kvicklera, förrän ca 800 m norr om det mindre vattendraget (utredningsområde Brattorpsåns norra gräns) där kvicklera har noterats på stort djup (ca 30 m under markytan). Ca 100 m söder om nu aktuellt områdes södra gräns (mindre vattendrag) har kvicklera noterats nära älven. Längre västerut saknas generellt underlag avseende kvicklera, både norr och söder om nu aktuellt utredningsområde.

Den sammanvägda bedömningen är att kvicklera förekommer inom delar av utredningsområdet, främst i anslutning till den inre delen av Brattorpsåns ravin och längs det mindre norra vattendraget. Inom de högre liggande landområdena och på ca 200-300 m avstånd från Göta älv har kvicklera inte noterats i utförda undersökningar. Översiktligt bedömd utbredning av kvicklera i plan redovisas i Figur 25.

I väster är kvicklerans mäktighet ca 10 m och återfinns ovan friktionsjordsskiktet. I den sydvästra delen av området har kvicklera noterats genom hela jordprofilen, från ca 5 m djup under markytan och ner till dess att sonderingen avbrutits på ca 30 m djup. I anslutning till det norra vattendraget har kvicklera noterats på ca 5-20 m djup under markytan.



Figur 25: Bedömning av kvicklerans utbredning i plan visas med röd skuggning. Avgränsningen av kvicklerans utbredning mot nordväst och sydväst är osäker då det inte funnits några undersökningar att tillgå utanför aktuellt utredningsområde (lila skuggning).

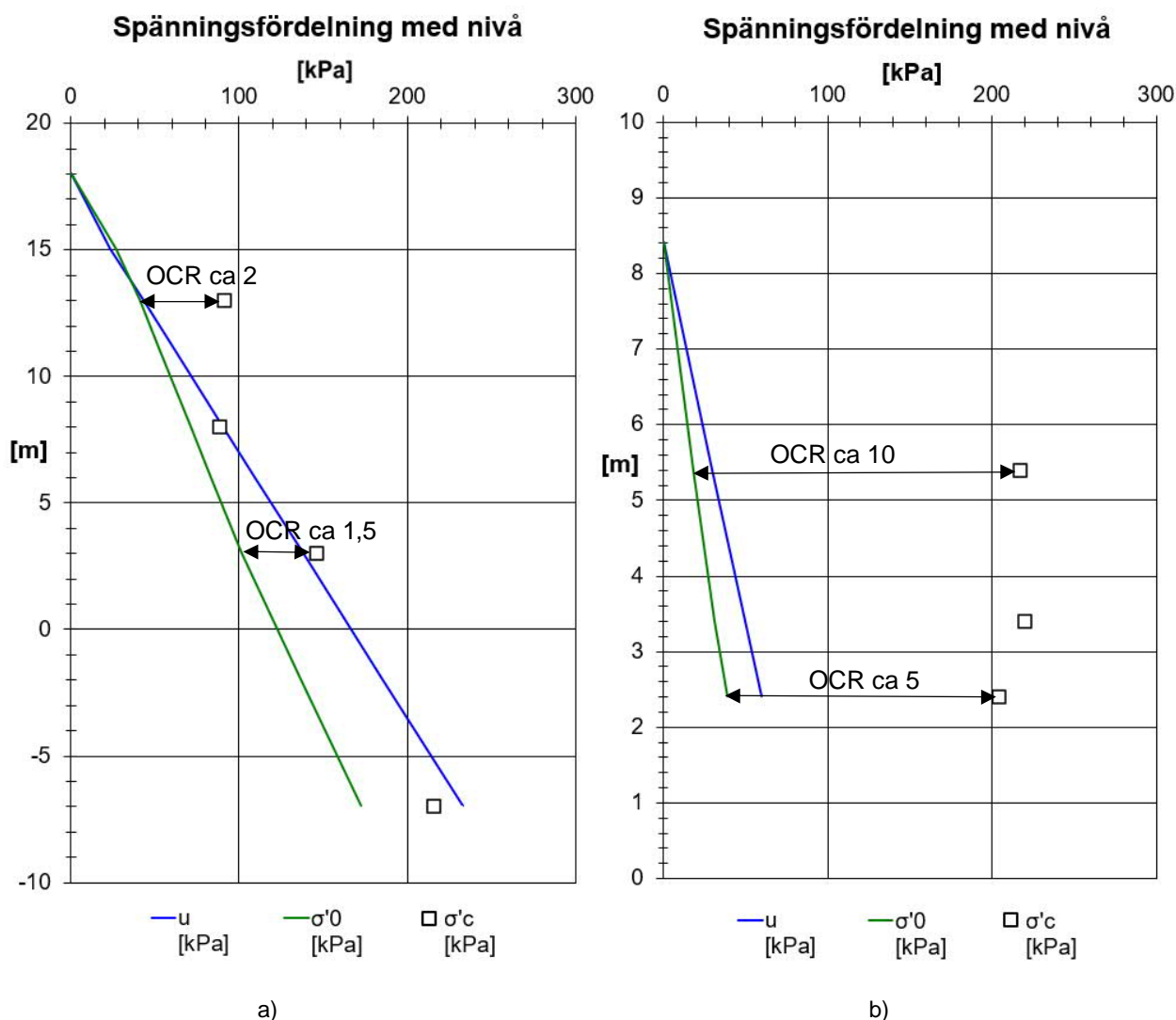
### 5.2.3 Konsolideringsegenskaper

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

Lerans konsolideringsegenskaper har fastlagts genom CRS-försök på representativa prover, väl fördelade inom området och mot djupet. Överkonsolideringsgraden inom området ovan släntkrön varierar generellt mellan ca 1,2–1,7 mot djupet, dvs. leran är lätt överkonsoliderad. OCR är normal något högre (ca 2-3) i den övre delen av leran, närmast markytan.

Inom områdena för de eroderade ravinerna längs vattendragen är leran mer överkonsoliderad och OCR är högre för leran vid slänkfot, t ex har OCR på ca 5-10 noterats i BH 20GO09 i den västra delen av området.

I Figur 26 visas exempel på spänningsfördelning mot nivå, i en punkt ovan släntrön (Bh 20GO12) och en vid släntfot (Bh 20GO09).



Figur 26: Exempel på utvärderad överkonsolideringsgrad i a) Bh 20GO12 (släntrön) och b) Bh 20GO09 (släntfot).

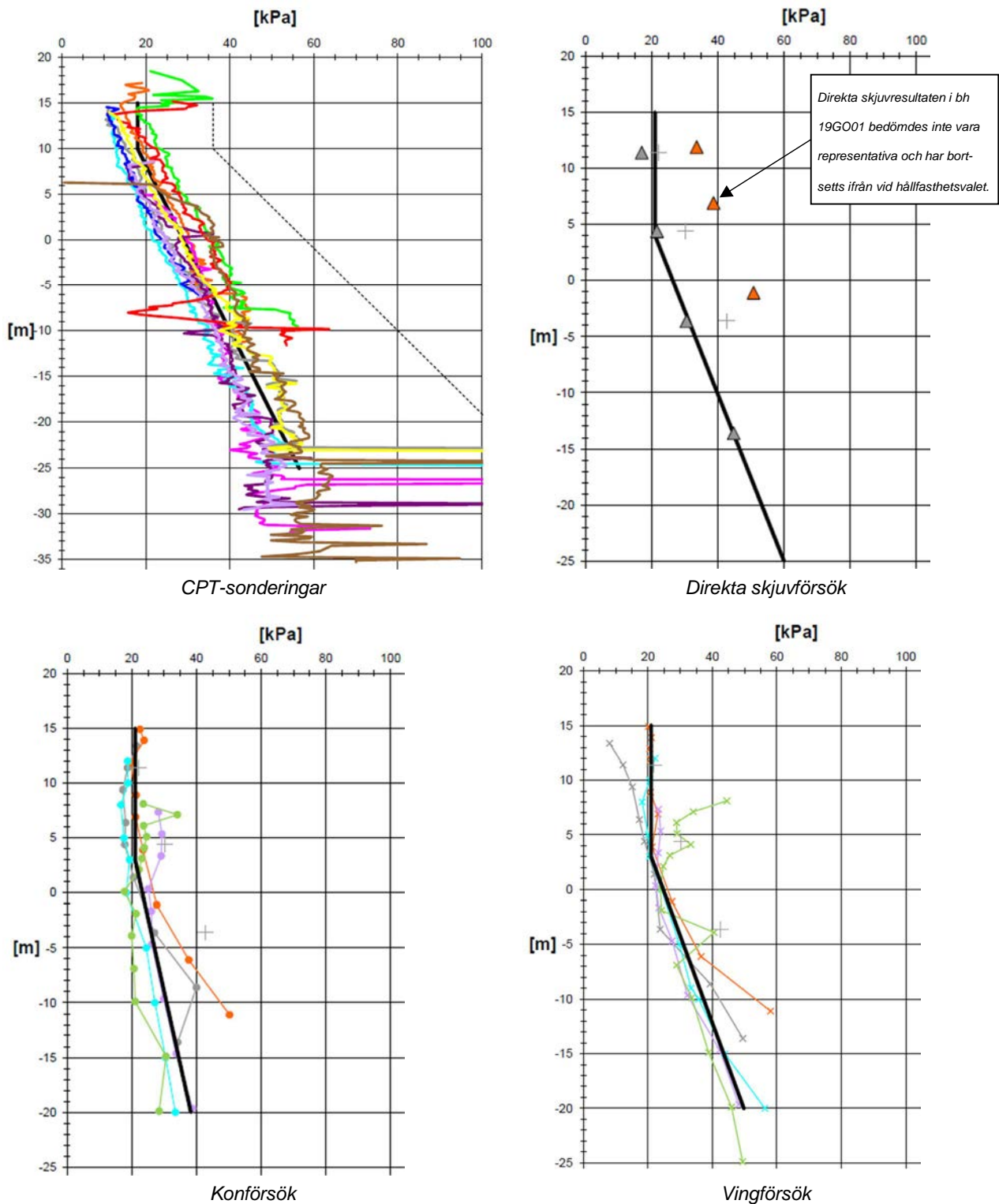
#### 5.2.4 Odränerad skjuvhållfasthet inom landområdet

Lerans odränerade skjuvhållfasthet är baserad på nu och tidigare utförda fält- och laboratorieundersökningar. Hållfastheten har sammanställts och analyserats mot både djup och nivå, inom olika delar av området och för olika undersökningsmetoder samt jämförts med empiriskt framtagna samband. Fält- och laboratorieresultaten redovisas tillsammans med vald hållfasthet i diagram nedan samt i BILAGA B.

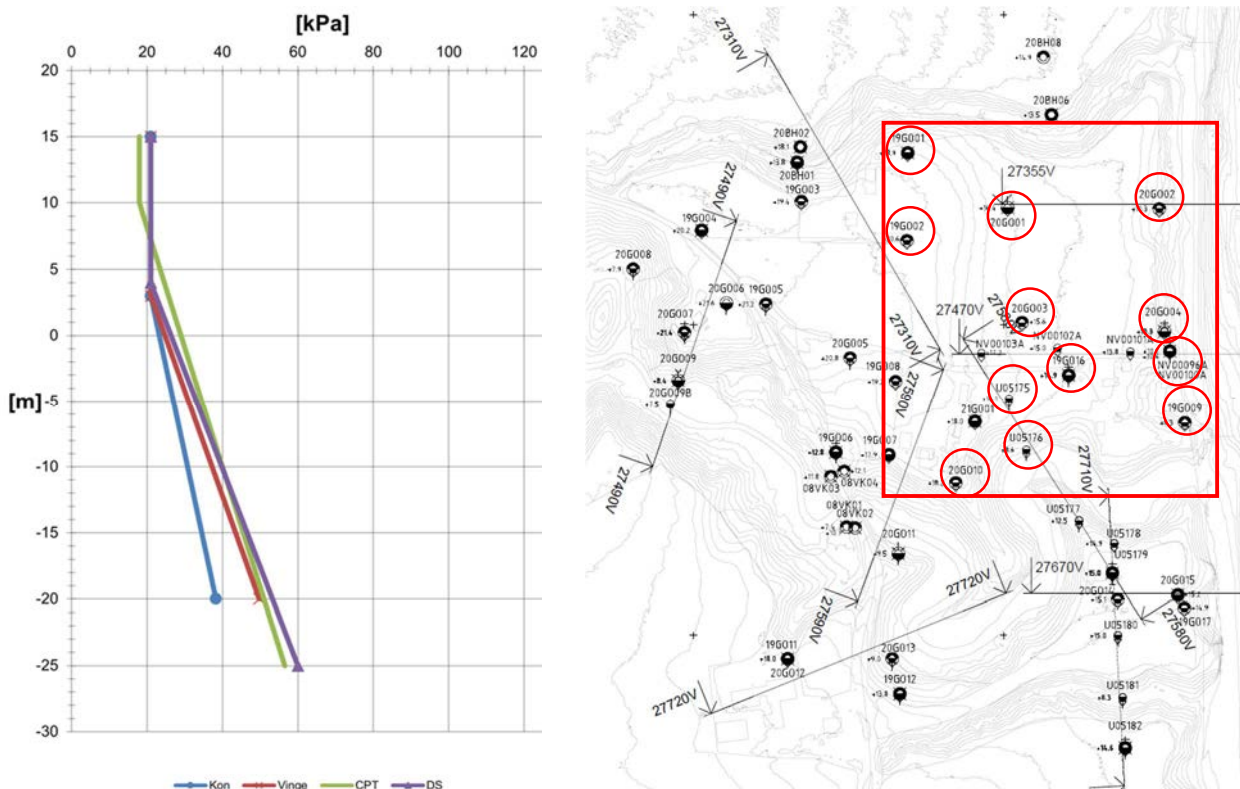
Tidigt i uppdraget gjordes en metodjämförelse för att studera och fastlägga överensstämmelsen mellan olika försöksmetoder och hur de bör värderas vid val av karakteristisk hållfasthetsprofil. Samtliga undersökningar mellan det mindre vattendraget i norr och Brattorpsån i söder och inom ett avstånd av ca 200 m från Göta älvs strandkant sammanställdes. Inom området finns ett stort geotekniskt underlag i form av många borrhull med omfattande undersökningar i både fält och på laboratorium. Jämförelsen gjordes genom att varje försöksmetod sammanställdes för sig och en karakteristisk hållfasthetsprofil valdes per metod, se Figur 27. Därefter sammanställdes de fyra hållfasthetsprofilerna i ett diagram, se Figur 28. Analysen visar att hållfasthets-



bestämning med CPT-sondering och vingförsök stämmer väl överens med bestämning från direkta skjuvförsök, medan hållfasthet från konförsök ligger lägre, framförallt på större djup.



Figur 27 Metodjämförelse. Sammanställning av hållfasthetsbestämningar samt val av karakteristisk hållfasthetsprofil per försöksmetod.



Figur 28 Metodjämförelse. Sammanställning av karakteristiskt vald hållfasthetsprofil baserat på CPT-sondering, ving-, kon- och direkta skjuvförsök t.v. inom område markerat med röd ruta t.h.

Till en början sammanställdes samtliga hållfasthetsbestämningar inom området men pga. områdets komplexitet med ett flertal vattendrag med nederoderade raviner och branta slänter så konstaterades lerans egenskaper variera en del inom området. Varierande konsoliderings- och dräneringsförhållanden samt till viss del jordlagerföljd har resulterat i att ett flertal olika jordmodeller har behövt tas fram inom området. Med avseende på den odränerade skjuvhållfastheten har utredningsområdet delats in i sex delområden (väst, norr, nordost, centrum, sydväst och sydost) enligt kartbild i Figur 29.

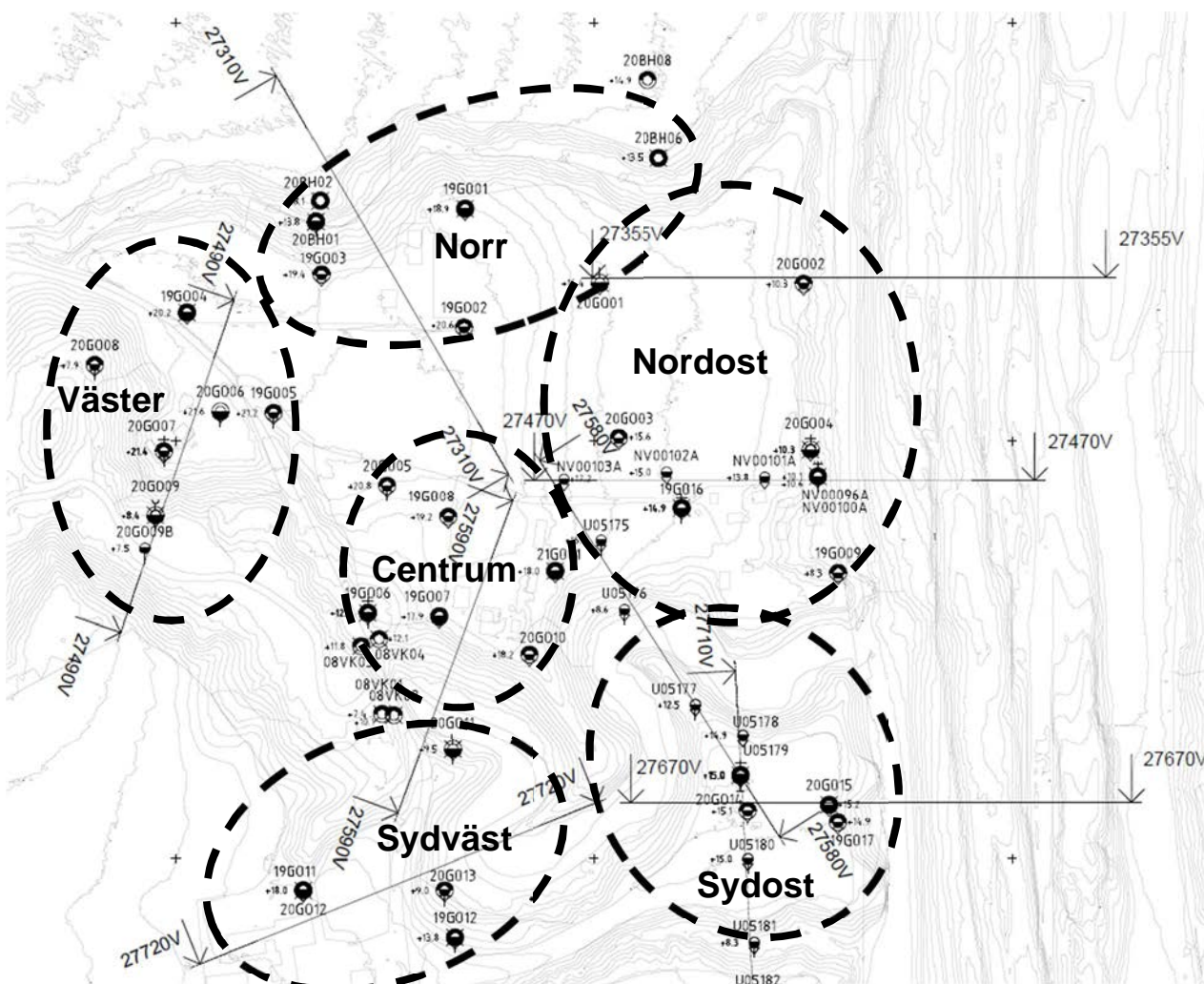
Den odränerade skjuvhållfastheten inom landområdet anses generellt vara nivårelaterad och konstant ner till en viss nivå under markytan för att på större djup ha en hållfasthetstillväxt. Detta överensstämmer med att slänterna ner mot vattendragen eroderats från en ursprunglig i princip plan markyta. Sammanställningarna av hållfasthet mot nivå respektive djup är dock inte helt entydiga och bedömningen att hållfastheten är nivårelaterad och inte djuprelaterad är inte helt självklar. I några fall tycks resultaten lokalt stämma bättre överens mot djup än nivå, vilket troligen kan förklaras av komplexiteten i området (varierande geologisk historia i form av konsolidering, erosion, skred etc.). Analys av området i sin helhet och samtliga undersökningsresultat samt studier av aktuella djup/nivåer för potentiella glidytor har dock resulterat i nivårelaterade hållfasthetsprofiler har valts för stabilitetsanalyserna.

Den konstanta odränerade skjuvhållfastheten i det övre lerlagret varierar generellt mellan ca 20-25 kPa, men i sydost har något högre hållfasthet, ca 30 kPa, uppmätts. Hållfastheten har generellt utvärderats vara konstant ner till en nivå mellan ca +10 och +15, men i områdena längs Göta älv (nordost och sydost) bedöms lerans odränerade skjuvhållfasthet vara konstant ner till nivån ca +5. Hållfasthetstillväxten mot djupet varierar generellt mellan 1-2 kPa/m, men lokalt inom område väst har högre hållfasthetstillväxt noterats (ca 3 kPa/m). Hållfastheten i den överst förekommande torrskorpeleran har ansatts vara ca 25 kPa inom samtliga

delområden. I följande kapitel beskrivs den odränerade skjuvhållfastheten för respektive delområde mer i detalj.

För respektive delområde sammanställdes och analyserades först ett större urval borrhälar och samtliga undersökningsmetoder tillsammans med empiri. Därefter har urvalet förfinats och ej representativa punkter valts bort. En karakteristisk hållfasthetsprofil har tagits fram för respektive delområde, där resultaten från direkta skjuvförsök och vingförsök generellt värderats högre än kolvprovtagning och CPT-sondering (med stöd från utförd metodjämförelse). Vidare har resultat från nu utförda försök, och speciellt de avancerade laborieförsöken, värderats högre än tidigare utförda försök där utförande och kvalitet inte har kunnat kontrolleras.

För respektive delområde nedan redovisas en kartbild med de borrhälar som bedömts vara representativa och som legat till grund för hållfasthetsvalet. Vidare redovisas generellt två diagram med hållfasthetsbestämningar inkl. karakteristisk hållfasthetsprofil (vald hållfasthet) där det första (t.v.) visar samtliga undersökningsmetoder och det andra (t.h.) endast resultat från direkta skjuvförsök och vingförsök.



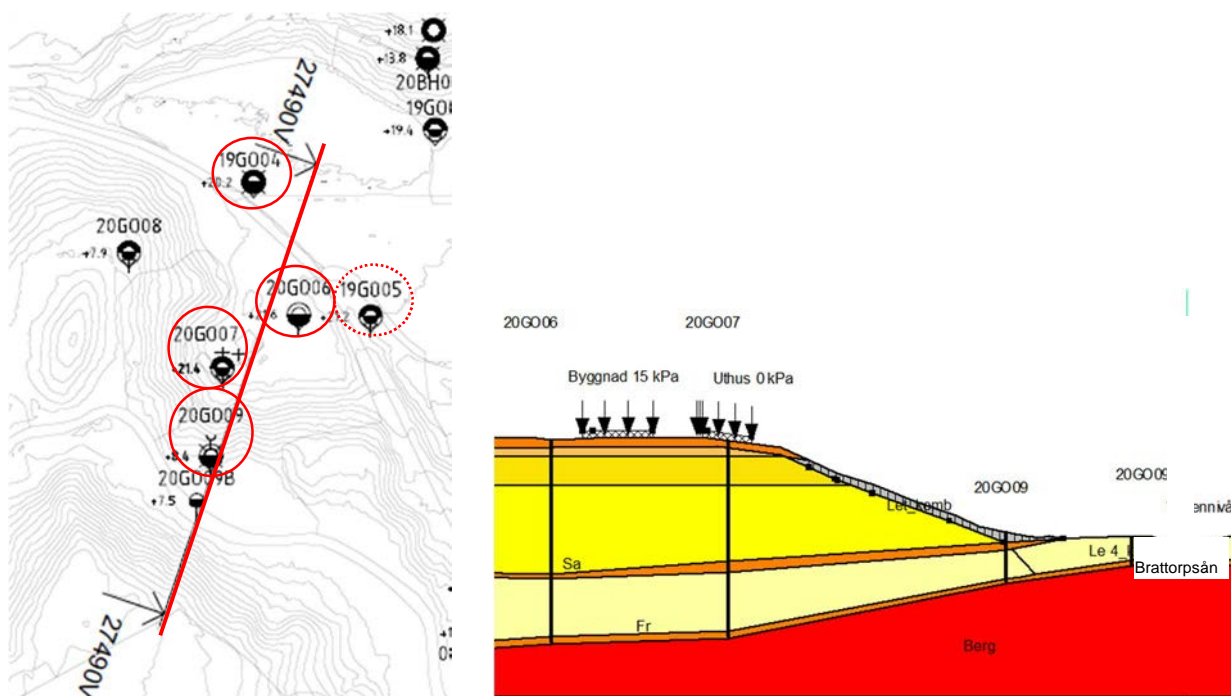
Figur 29: Lerans odränerade skjuvhållfasthet har utvärderats inom sex olika delområden.

### 5.2.4.1 Väster

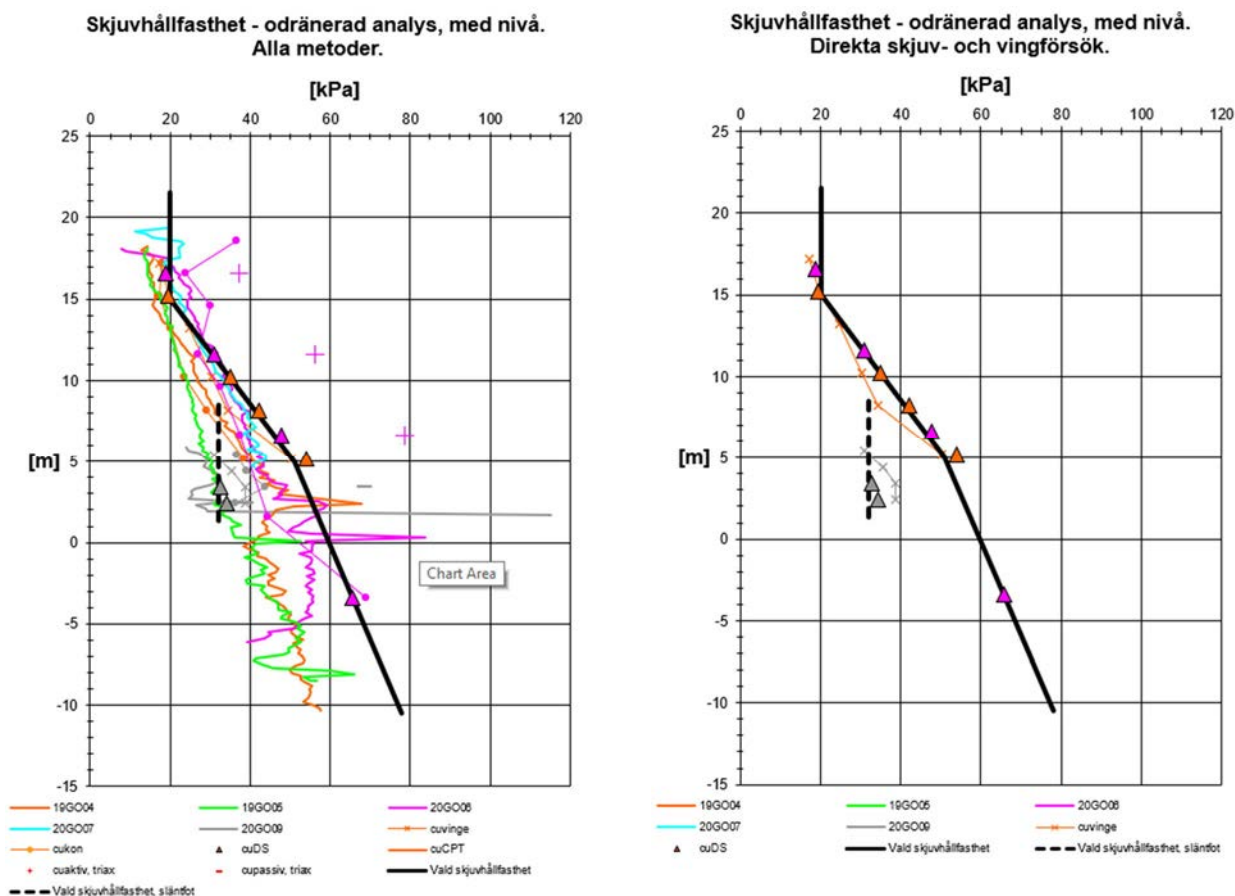
Den västra delen av området utgörs av branta slänter ner mot Brattorpsån. Det finns ett ca 1 m mäktigt friktionsjordsskikt på nivån ca +3 till +4 och djupet till fast botten är endast ca 5 m vid släntfot (Figur 30 t.h.).

Hållfastheten vid släntkrön har utvärderats vara ca 20 kPa ner till nivån +15 och där under ökande med ca 3 kPa/m ner till skiktet. Under skiktet, från nivån ca +5, har hållfasthetstillväxten bedömts vara ca 1,7 kPa/m. Vid släntfot har den odränerade skjuvhållfastheten utvärderats vara konstant ca 32 kPa (Figur 31).

Samtliga kvalificerade undersökningar uppvisar god överensstämmelse och CPT-sonderingarna ger en samstämmig bild av hållfasthetstillväxtens variation med djupet. Resultatet för bh 19G005 ligger dock något lågt och bedöms vara mindre representativ för aktuell slänt, då denna punkt är belägen inom området med djupare lera och utan friktionsskikt.



Figur 30 Väster. Urval av representativa borrhypunkter för utvärdering av odränerad skjuvhållfasthet t.v. och principiell sektion (27490V) t.h.

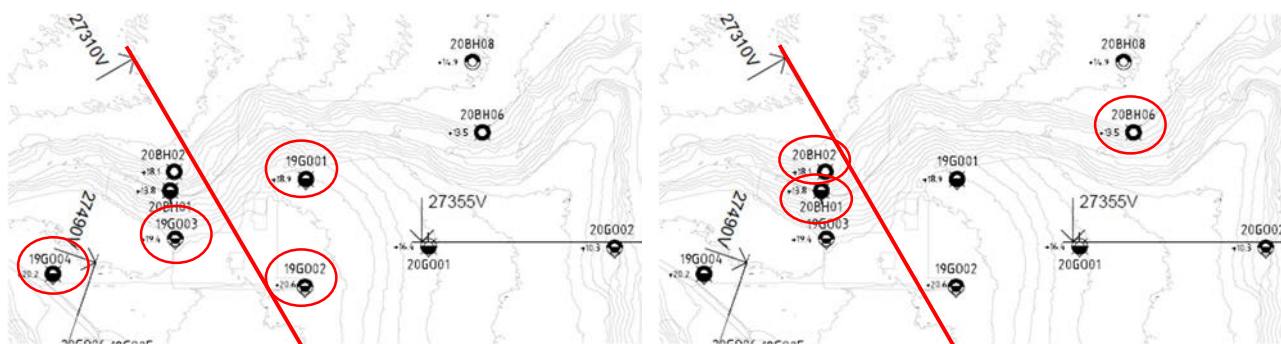


Figur 31: Väster. Odränerad skjuvhållfasthet mot nivå sammanställt för alla undersökningsmetoder t.v. respektive endast skjuv- och vingförsök t.h.

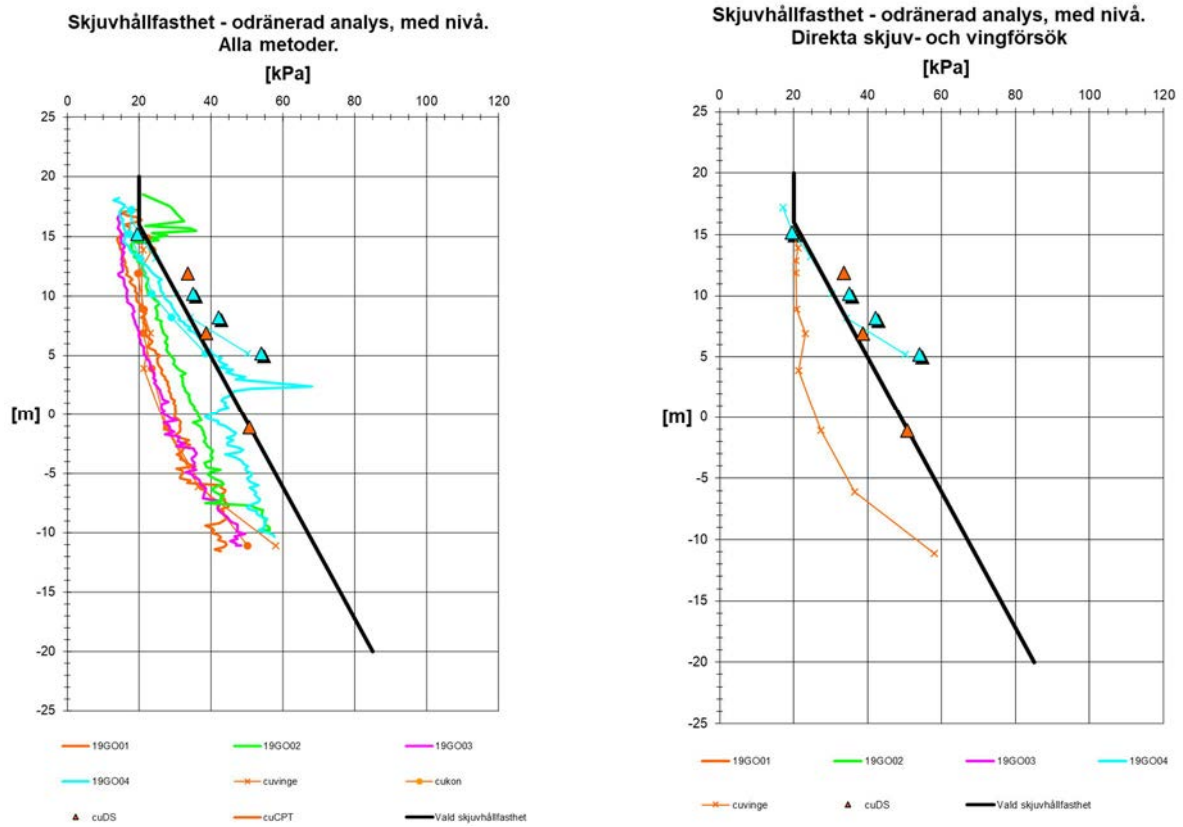
### 5.2.4.2 Norr

I anslutning till det norra vattendraget har den odränerade skjuvhållfastheten konstaterats variera mellan slänkrön och släntfot och separata sammanställningar och hållfasthetsval har gjorts enligt Figur 32 - Figur 34.

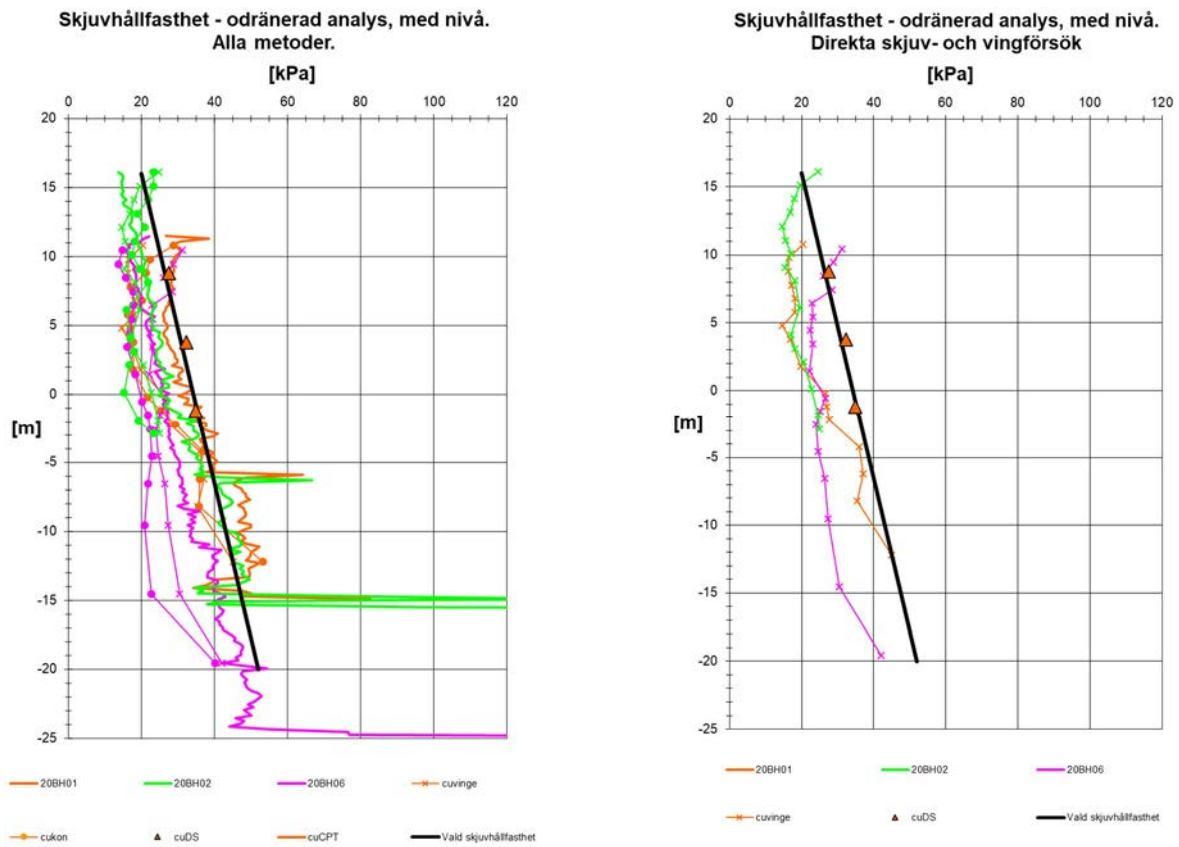
Vid slänkrönet söder om vattendraget har hållfastheten utvärderats vara ca 20 kPa ner till nivån +16 och på större djup med en tillväxt på ca 1,8 kPa/m (Figur 33). Vid släntfot har den odränerade skjuvhållfastheten bedömts öka från 20 kPa med ca 0,8 kPa/m från nivån +16 (Figur 34).



Figur 32: Norr. Urval av representativa borrhållpunkter för utvärdering av odränerad skjuvhållfasthet vid slänkrön (t.v.) respektive vid släntfot (t.h.).



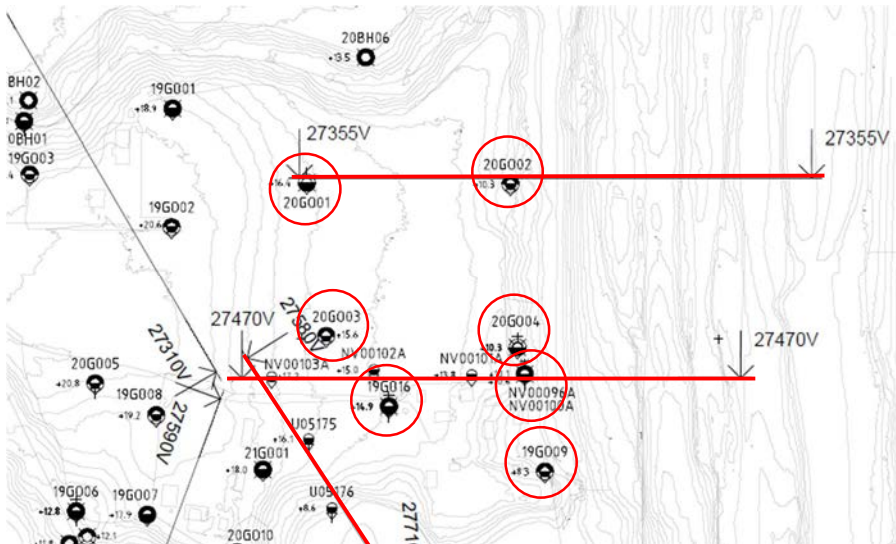
Figur 33: Norr. Odränerad skjuvhållfasthet vid släntrön.



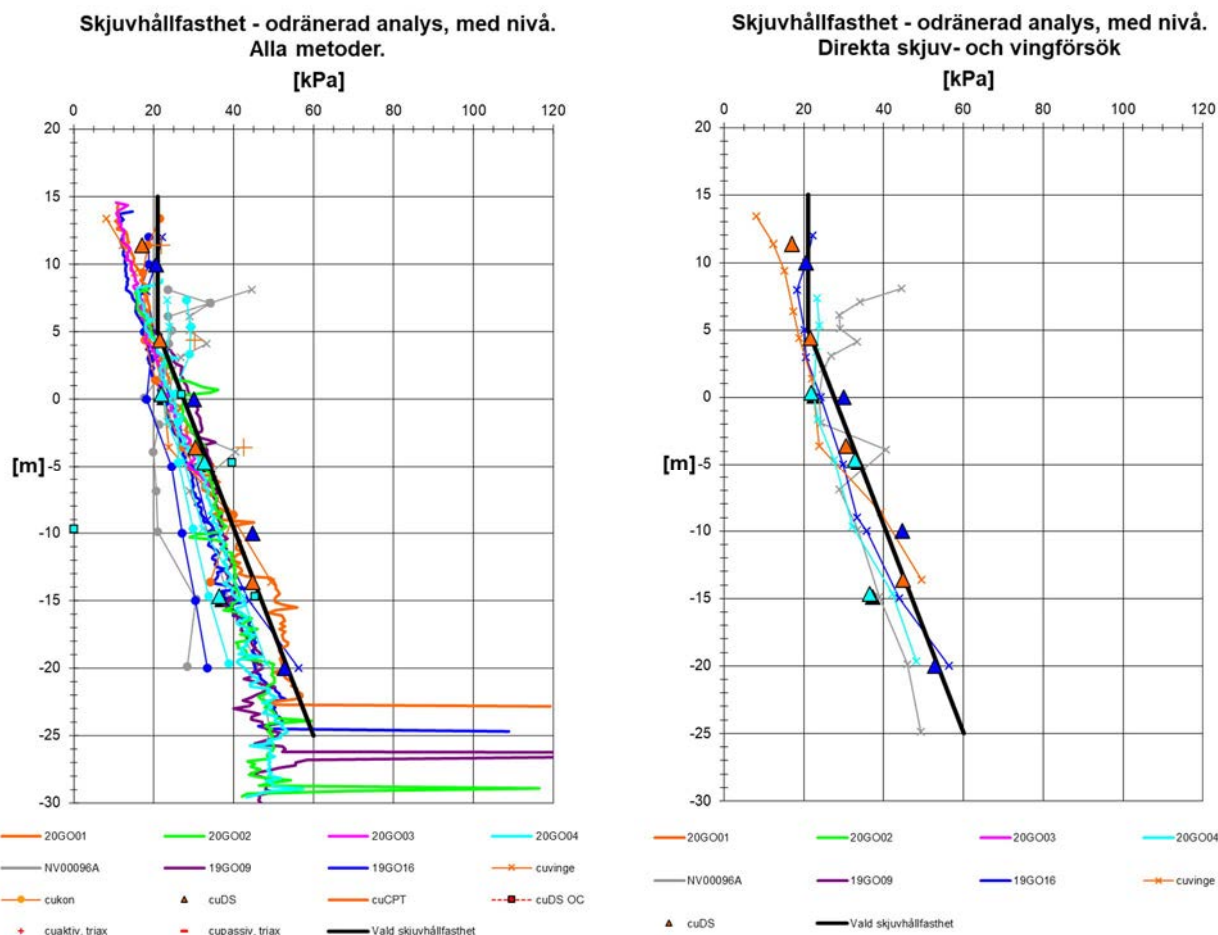
Figur 34: Norr. Odränerad skjuvhållfasthet vid slänftot.

### 5.2.4.3 Nordost

Inom det större sammanhängande landområdet i nordost, intill Göta älv, har hållfastheten utvärderats vara konstant 21 kPa ner till nivån +5 och därifrån ökande med 1,3 kPa/m mot djupet (Figur 36).



Figur 35: Nordost. Urval av representativa borrhypunkter för utvärdering av odränerad skjuvhållfasthet.



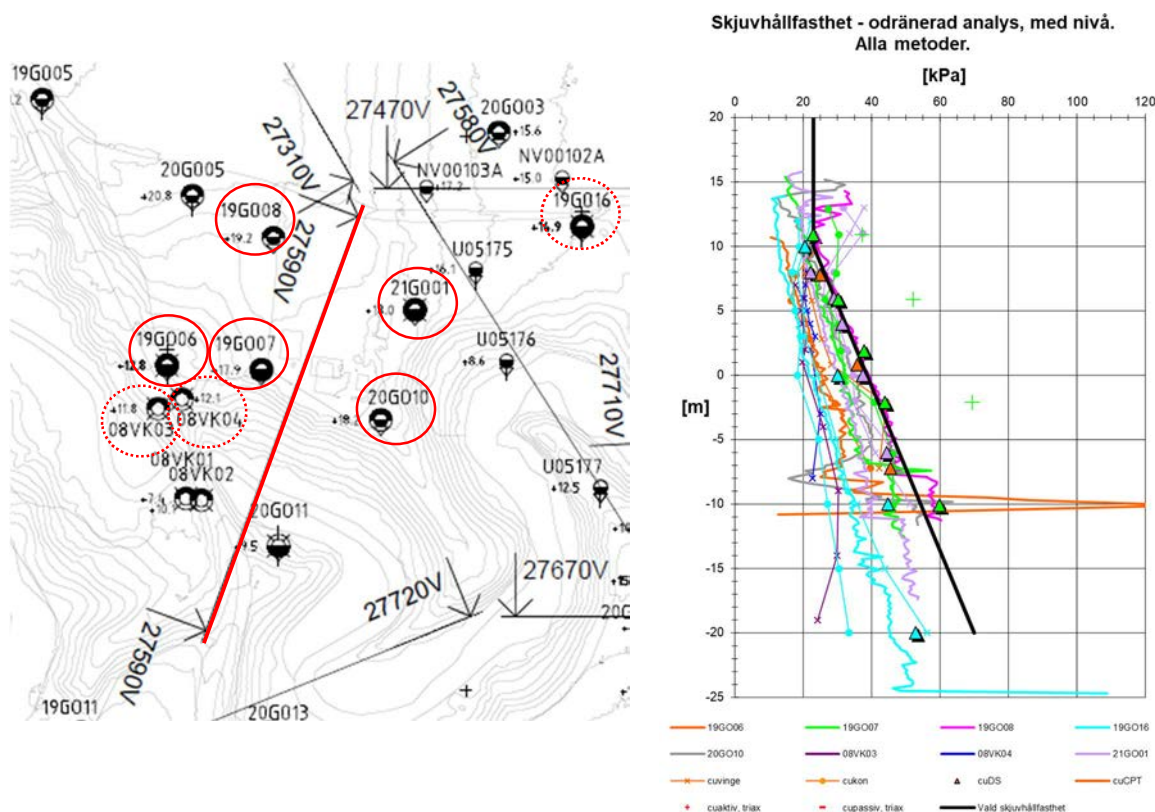
Figur 36: Nordost. Odränerad skjuvhållfasthet mot nivå sammanställt för alla undersökningsmetoder t.v. respektive endast skjuv- och vingförsök t.h.

### 5.2.4.4 Centrum

Centralt i området, väster om väg 2025 och norr om Brattorpsån, har hållfastheten detaljstuderats och kompletterande undersökningar utförts. Inledningsvis studerades ett större urval borrpunkter, men efter ingående analys bedömdes några äldre arkivpunkter vid vägbanken inte vara representativa för aktuell slänt och valdes bort. Detta avser bh 08VK03 och 08VK04, vilka hade betydligt lägre hållfasthet då de är belägna intill åns strandkant i väster. Inte heller bh 19GO16, från tidigare detaljerad utredning, ansågs vara representativ för aktuellt delområde, utan stämmer bättre överens med jordmodellen för det större och sammanhängande lerområdet i nordost.

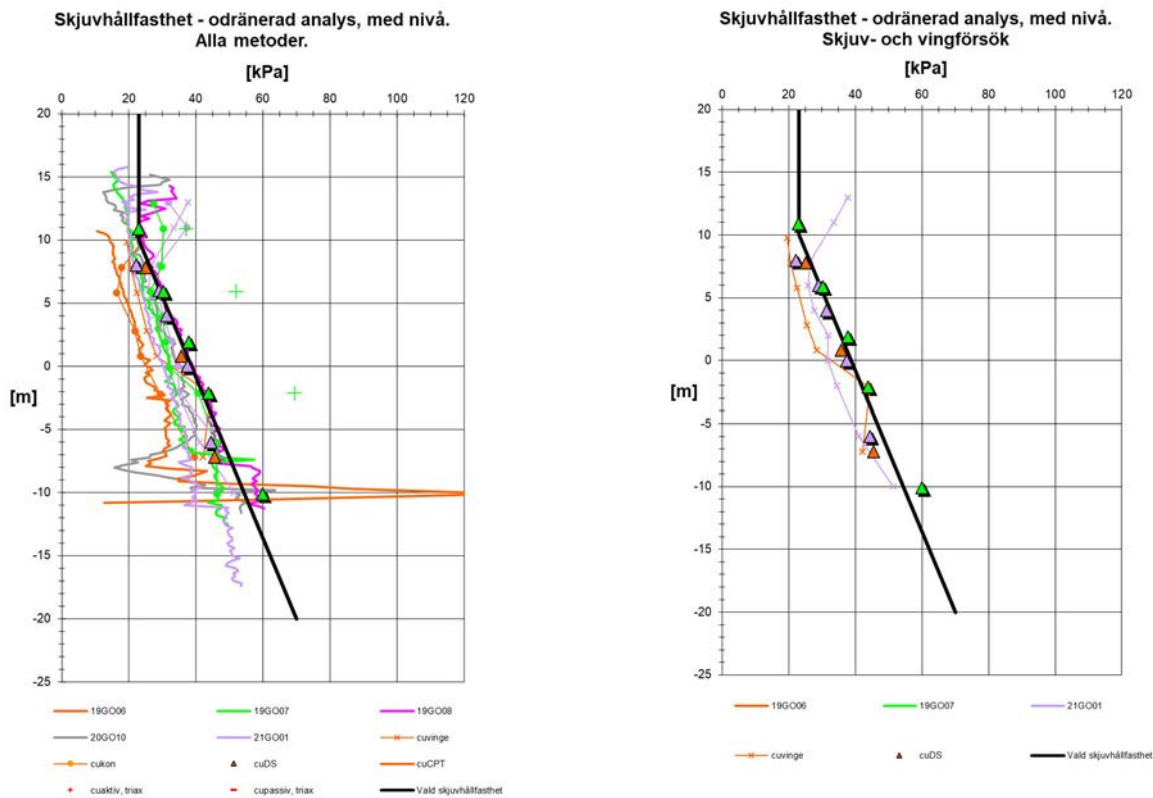
Det finns ett stort antal avancerade laboratorieförsök utförda på ostörda prover i representativa borrpunkter och resultaten avseende odränerad skjuvhållfasthet är mycket entydiga, se diagram i Figur 38. Även hållfastheten utvärderad från utförda CPT-sonderingar, ving- och konförsök uppvisar god överensstämmelse, framförallt avseende hållfasthetstillväxten med djupet.

Inom område centrum har den odränerade skjuvhållfastheten utvärderats vara 23 kPa ner till nivån +10 och därunder ökande med 1,6 kPa/m.



Figur 37 Centrum. Urval av borrpunkter för utvärdering av odränerad skjuvhållfasthet t.v. Bh 08VK03, 08VK04 och 19GO16 (mörklila, kornblå och turkos i diagram t.h.) bedömdes efter ingående analys inte vara representativa för aktuellt område/slänt och vid val av karakteristisk hållfasthet har dessa bortsetts ifrån, se Figur 38.



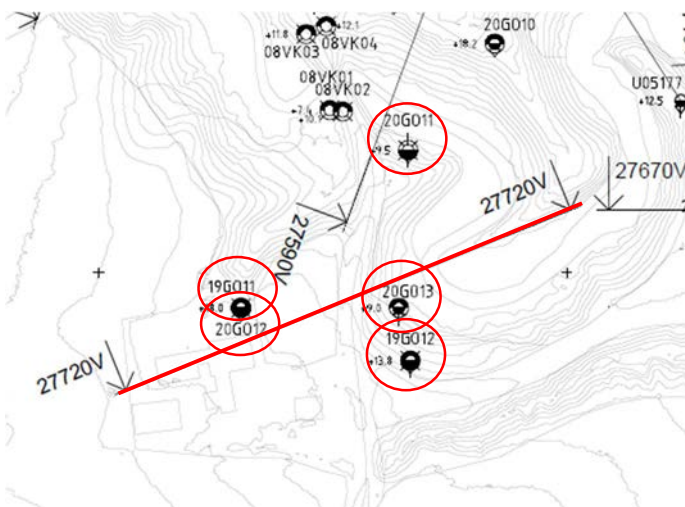


Figur 38: Centrum. Odränerad skjuvhållfasthet mot nivå sammanställt för alla undersökningsmetoder t.v. respektive endast skjuv- och vingförsök t.h.

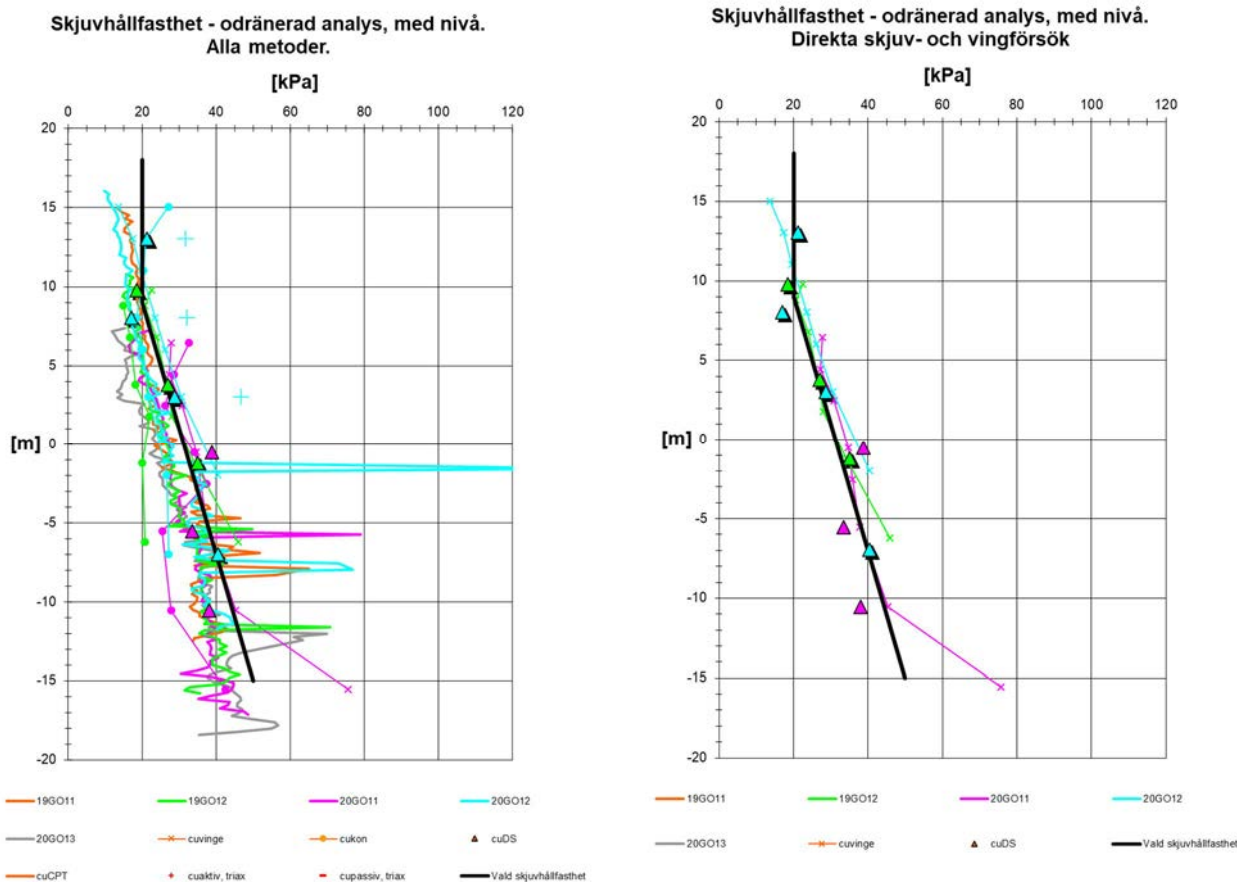
### 5.2.4.5 Sydväst

Samtliga undersökningar utförda i representativa borrhål inom område sydväst uppvisar mycket god överensstämmelse avseende odränerad skjuvhållfasthet, se Figur 39 och Figur 40.

Inom den sydvästra delen av området har hållfastheten utvärderats till 20 kPa ner till nivån +9 och därunder med en hållfasthetstillväxt mot djupet på 1,3 kPa/m.



Figur 39 Sydväst. Urval av representativa borrhål för utvärdering av odränerad skjuvhållfasthet.

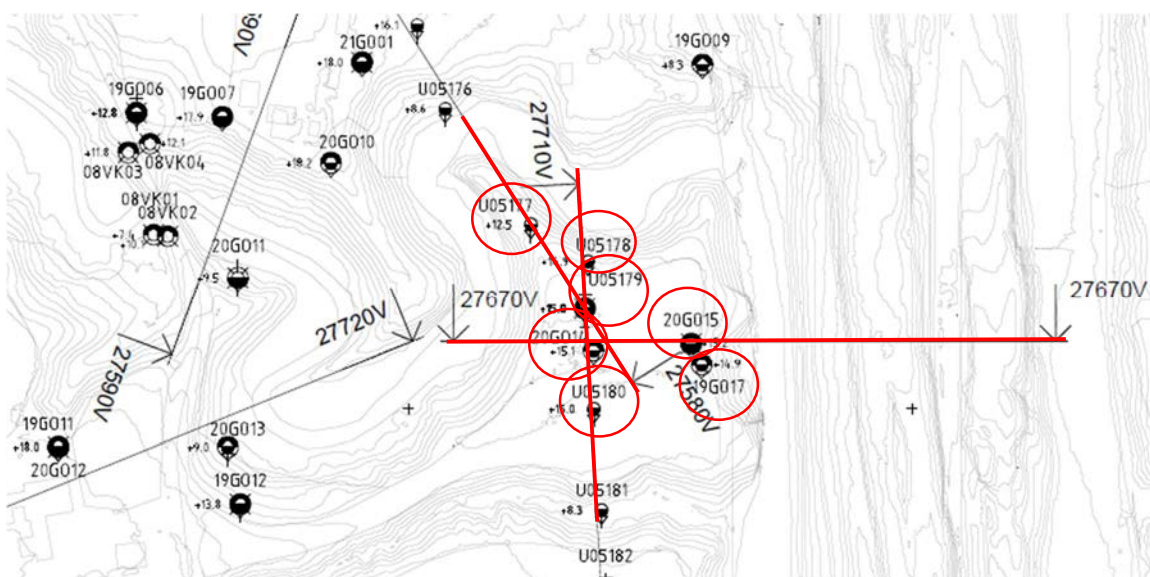


Figur 40: Sydväst. Odränerad skjuvhållfasthet mot nivå sammanställt för alla undersökningsmetoder t.v. respektive endast skjuv- och vingförsök t.h.

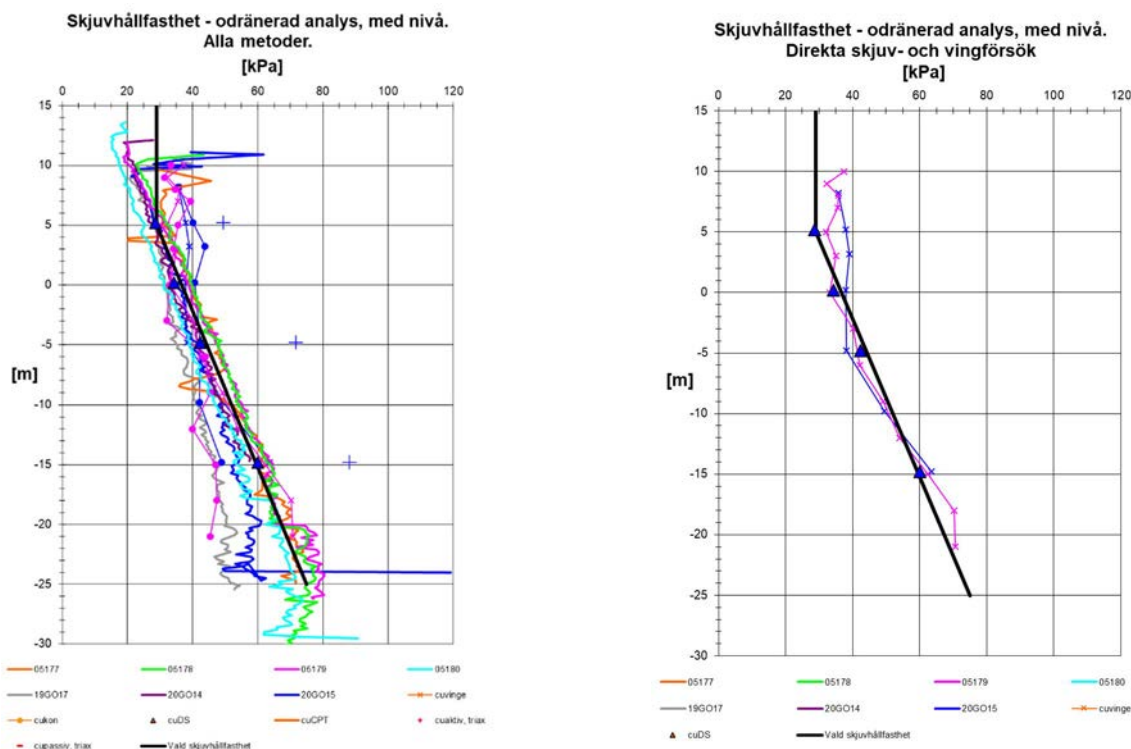
#### 5.2.4.6 Sydost

I sydost finns ett landområde som avgränsas av Brattorpsån i väster och norr, Göta älv i öster och det mindre vattendraget i söder, se Figur 41. Ett stort antal hållfasthetsbestämningar har utförts i fält och i laboratorium, såväl inom ramen för denna utredning som i tidigare utredningar, och resultaten är generellt mycket entydiga (se Figur 42).

Leran inom den sydöstra delen av området har utvärderats ha något högre hållfasthet än inom övriga delområden, konstant 29 kPa ner till nivån ca +5 och på större djup ökande med 1,5 kPa/m, se Figur 42.



Figur 41 Sydost. Urval av representativa borrhullspunkter för utvärdering av odränerad skjuvhållfasthet.



Figur 42: Sydost. Odränerad skjuvhållfasthet mot nivå sammanställt för alla undersökningsmetoder t.v. respektive endast skjuv- och vingförsök t.h.

### 5.2.5 Hållfasthetsanisotropi

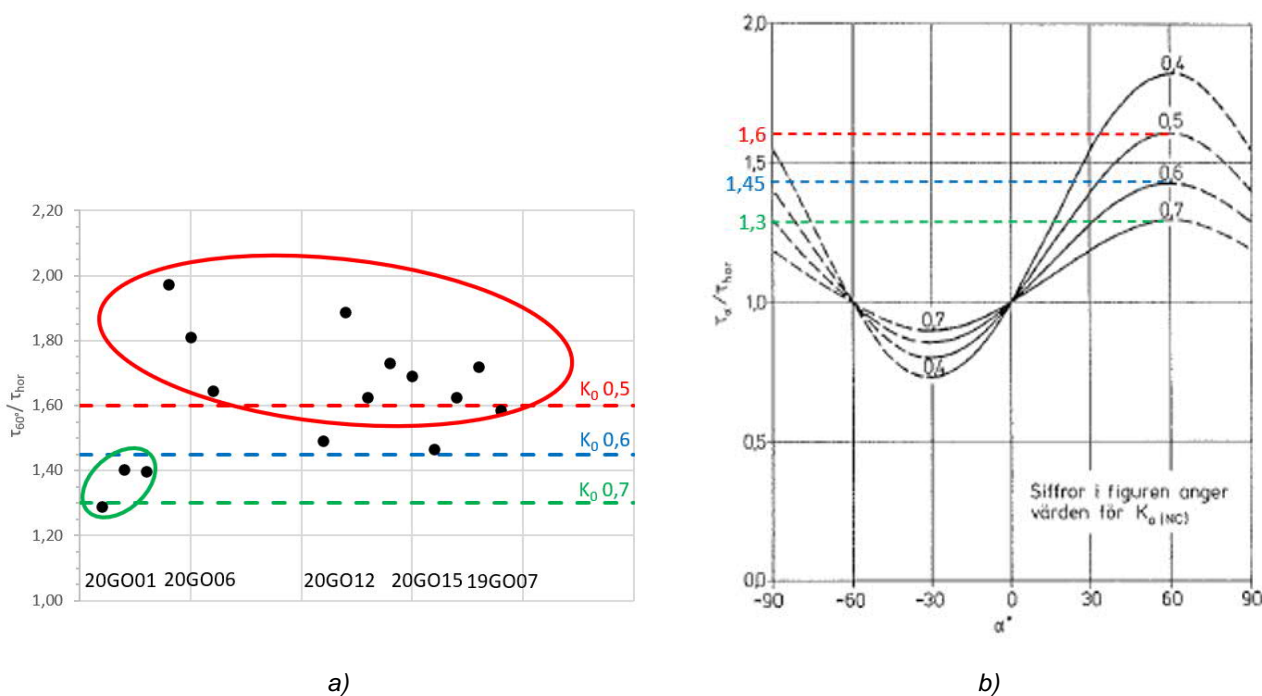
Hållfasthetsanisotropi i leran kan spela en relativt stor roll för stabiliteten i branta slänter, där aktivzonen är mycket större än passivzonen. Inom aktuellt utredningsområde är detta fallet längs flertalet av slänterna mot de olika vattendragen. Nu utförda aktiva odränerade triaxialförsök på leran inom landområdet visar att skjuvhållfastheten vid ett aktivt brott är mellan ca 30-100% högre än vid direkt skjuvning, vilket tydligt styrker att hållfasthetsanisotropi bör/kan tillgodoräknas i leran inom hela området.

Analys av utförda triaxialförsök inom olika delar av området visar att graden av anisotropi varierar. I den nordöstra delen av området har den aktiva skjuvhållfastheten utvärderats vara ca 30-40% högre än den

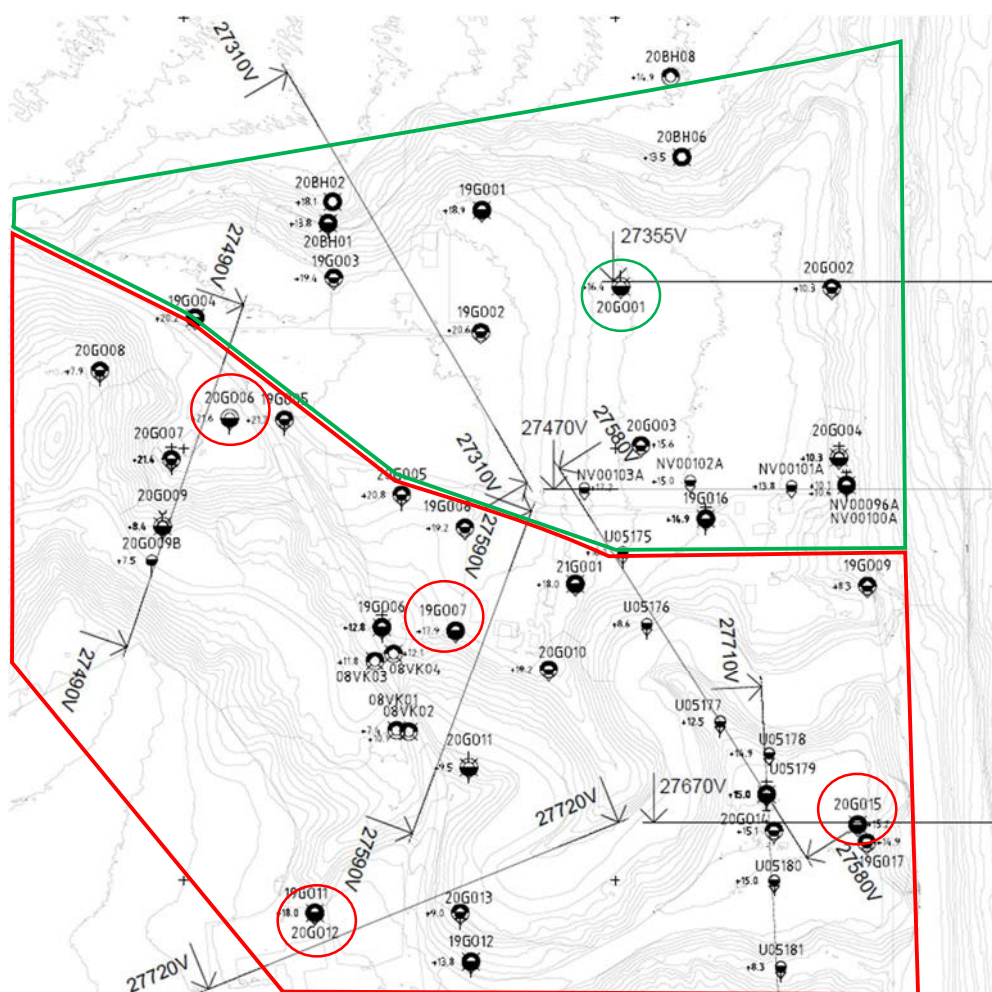
direkta skjuvhållfastheten, se gröna markeringar i Figur 43 och Figur 44. Längs Brattorpsåns ravin har en högre grad av anisotropi kunnat fastläggas genom att den aktiva skjuvhållfastheten generellt uppmätts vara ca 60-100% högre än den direkta, se röda markeringar i Figur 43 och Figur 44.

Vid stabilitetsberäkningarna mot Göta älv och det norra vattendraget, norr om Brattorpsån, har hållfasthetsanisotropi tillgodoräknats som motsvarar anisotropifunktionen  $K_{0NC}=0,7$  (enligt Skredkommissionens rapport 3:95), vilket normalt råder för västsvenska leror. Detta betyder i praktiken att i glidyornas aktivzon, beroende på skjuvytans lutning mot horisontalplanet, erhålls en förhöjning av den odränerade skjuvhållfastheten med ca 0–30% (sinusformad funktion beroende på skjuvplanets lutning, Figur 43b). I glidyornas passivzon erhålls däremot en reducering av skjuvhållfastheten med ca 0–10%. 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.

I stabilitetsberäkningarna mot Brattorpsån samt mot Göta älv söder om Brattorpsån har hållfasthetsanisotropi tillgodoräknats som motsvarar anisotropifunktionen  $K_{0NC}=0,5$ . Det innebär att i glidyornas aktivzon, beroende på skjuvytans lutning mot horisontalplanet, erhålls en förhöjning av den odränerade skjuvhållfastheten med mellan 0–60% (sinusformad funktion beroende på skjuvplanets lutning). I glidyornas passivzon erhålls en reducering av skjuvhållfastheten med mellan ca 0–20 % (Figur 43b).



Figur 43 a) Förhållande mellan aktiv och direkt skjuvhållfasthet från utförda triaxial- respektive direkta skjuvförsök på ostörda prover från aktuellt utredningsområde och b) Uppskattning av odränerad skjuvhållfasthet i olika skjuvplan med ledning av  $K_{0(NC)}$  (Källa: "Anvisningar för släntstabilitetsutredningar", Skredkommissionen, Rapport 3:95).

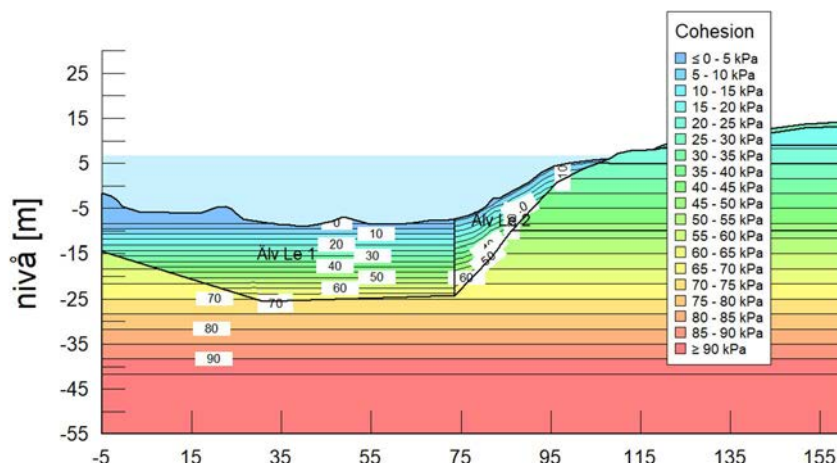


Figur 44 Utvärdering av anisotropi inom utredningsområdet. Försök inom röda ringar stöder anisotropifunktion  $K_0$  0,5 och försök inom grön ring stöder anisotropifunktion  $K_0$  0,7.

### 5.2.6 Odränerad skjvuhållfasthet under älven

Lerans skjvuhållfasthet under älvbotten har inte undersökts inom ramen för föreliggande utredning utan baseras på tidigare värden från Göta älvutredningen och modelleras enligt styrdokument DGA00XST01.

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. Inverkan från avlastningen av älvfåran är antagen till det djup under älvbotten som motsvaras av vattendjupet (utifrån medelvattennivån) i respektive tvärsnitt.



Figur 45: Exempel på modellerad skjuvhållfasthet under älven.

## 6.0 HYDROGEOLOGISKA FÖRHÅLLANDEN

### 6.1 Vattennivå i vattendrag

Nivån i Göta älv är reglerad vid Lilla Edets sluss där dämningens gräns är +7,6 och sänkningsgränsen +6,6 med en medelvattenyta som kan antas vara 0,1 m under dämningens gräns dvs. på nivå +7,5.

### 6.2 Grundvattenyta och portryck

Fri vattenyta har vid fältundersökningarna uppmätts i öppna skruvhål och djup under markytan varierar mellan ca 0,5 m upp till ca 3,5 m (nära slänkrönet mot Göta älv i den sydöstra delen av området). De flesta noteringar av vattenytans djup under markytan var ca 0,5-1 m, vilket överensstämmer väl med tidigare noteringar i området.

Inom ramen för aktuell utredning har portrycksspetsar med elektriska PVT-mätare installerats i tre punkter. Dessa kompletterar de två äldre stationerna som installerades under tidigare detaljerad utredning, vilka fortsatt mätts och utvärderats inom aktuellt uppdrag. En sammanställning av uppmätt portryck återfinns i BILAGA C.

Utförda mätningar i samtliga portrycksstationer, under augusti 2020 - mars 2021, visar generellt på en i det närmaste hydrostatisk portrycksprofil från en nolltrycksnivå ca 1 m under markytan och ner till ca 6 m djup. Därunder är portrycksprofilens gradient något lägre än hydrostatisk och ökar med ca 9,5 kPa/m. Även tidigare mätningar i samband med Göta älvutredningen visade på en hydrostatisk portrycksprofil de översta metrarna för att mot djupet vara något lägre än hydrostatiskt. I nära anslutning till Göta älv strandkant (NV00099A och 20GO04) har en något högre gradient än hydrostatisk uppmätts mot djupet.

I den västra delen av utredningsområdet, i anslutning till sektion 27490V har ett avsänkt portryck ovan befintligt sandskikt (på nivå ca +3 till +5) uppmätts. I portrycksstationen på slänkrön (20GO07) uppmättes ovan skiktet ökningen mot djupet till ca 3 kPa/m för att under skiktet öka något mer än hydrostatiskt (ca 13,5 kPa/m). Vid slänkfot (20GO09) visade mätningarna på hydrostatiskt portryck från markytan.

Mätresultaten stämmer överens med tidigare erfarenhet och med vad som kan förväntas inom området. Generellt uppvisar leran en hydrostatisk profil i de övre jordlagren. Närmare älven där dagens markyta sjunker är portrycket något förhöjt i den nedre delen av jordprofilen för att längre från älven, med en högre marknivå, uppvisa en avsänkning i den djupare delen av profilen, dvs. det sker en strömning mot älven.

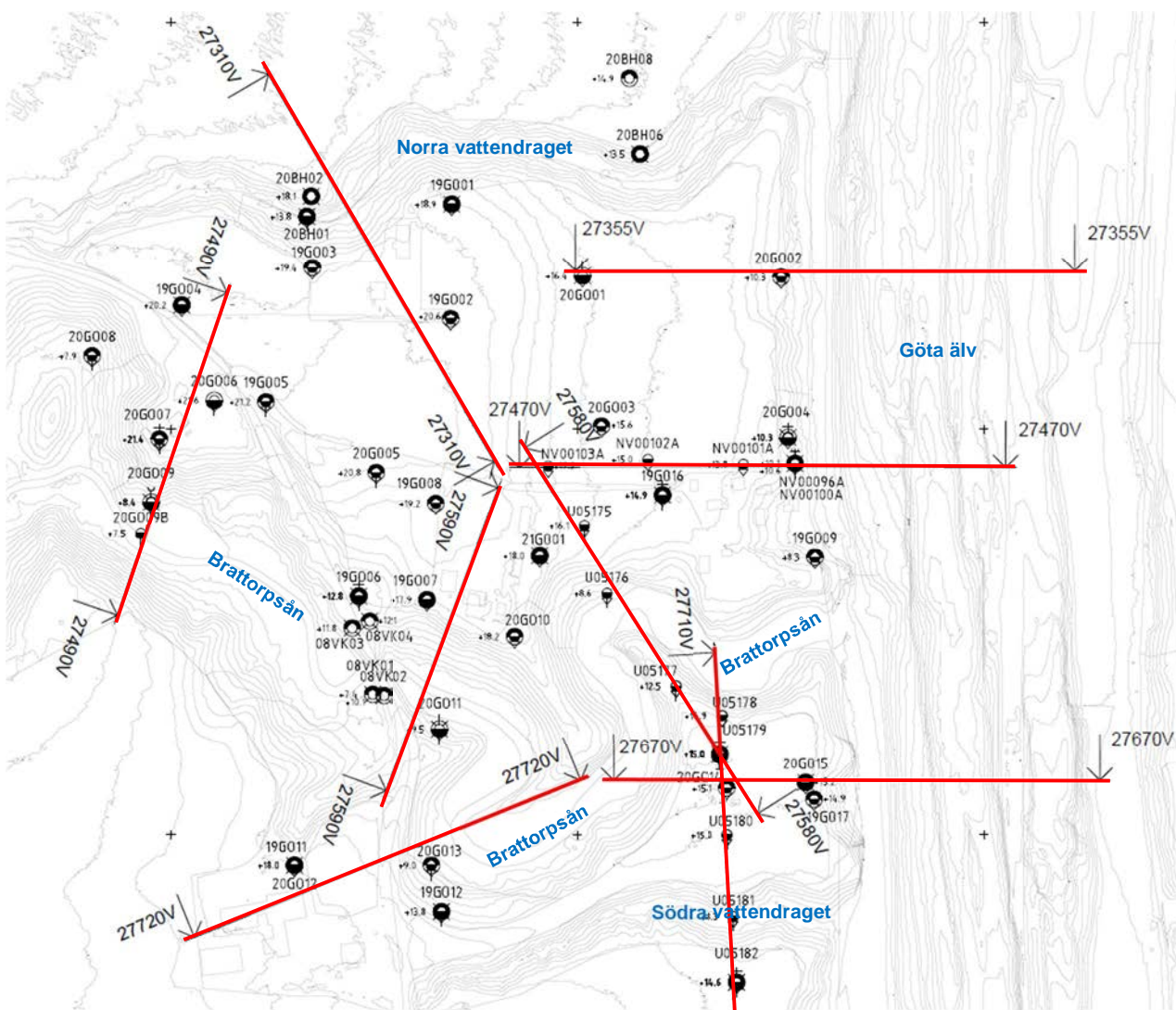
## 7.0 STABILITET

### 7.1 Allmänt

Stabiliteten inom området har analyserats för befintliga förhållanden i nio representativa sektioner med sektionsslägen enligt Figur 46. Tre av dessa sektioner analyserades redan i Göta älvutredningen, men har uppdaterats med nu aktuell geometri och jordegenskaper och analyserats på nytt.

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 olika vattendragen och beräknade säkerhetsfaktorer bedöms gälla även mellan sektionerna.

Stabilitetsanalyserna har utförts som kombinerad och odränerad analys med totalsäkerhetsmetoden med beräkningsprogrammet Slope/W (Geostudio 2018 R2 version 9.1.2.17441). Redovisade säkerhetsfaktorer avser Morgenstern-Price metod för cirkulär cylindriska glidtor.



Figur 46: Plan med sektionsslägen och -benämningar.

## 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.*

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

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

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 lokalt kvick. Det geotekniska underlaget är stort och spridningen hos lerans egenskaper är relativt liten. Konsekvenserna av ett eventuellt skred bedöms vara relativt omfattande då det inom landområdet finns såväl bebyggelse som vägar som kan beröras. Ett skred skulle även 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 ett flertal vattendrag inom området, men risken för erosion bedöms generellt vara liten då Göta älv och delar av Brattorpsån är erosionskyddad med sprängstensbank och erosionen längs resterande del av Brattorpsån samt de mindre vattendragen i norr respektive söder är mycket begränsad. Undantaget är Brattorpsåns södra strandkant, nära Göta älv, där erosionskyddet upphör, vilken bedöms vara utsatt för relativt kraftig erosion.

Enligt SGI:s gällande styrdokument (DGA00XST01, Riktlinjer för tekniskt arbete) gäller för fördjupad stabilitetsutredning kraven på säkerhetsfaktor  $F_{\text{tot}}$  från den övre gränsen i intervallen i Tabell 1, se Tabell 2.

*Tabell 2: Gällande säkerhetsrekommendation för föreliggande fördjupade stabilitetsutredning, totalsäkerhetsmetoden.*

$$F_c \geq 1,4$$

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

### 7.2.2 Partialkoefficientmetoden

Vid behov av stabilitetsförbättrande åtgärd ska åtgärdsförslagen utformas så att totalstabiliteten för aktuell slänt uppfyller gällande krav på säkerhetsfaktorer enligt totalsäkerhetsmetoden, se ovan. Eventuella *nyskapade schaktslänter* ska dock uppfylla ställda krav enligt partialkoefficientmetoden enligt Eurocode. Säkerhetsklass 3, SK3, används vid förekomst av kvicklera i området. Kraven på säkerhetsfaktorn  $F_{\text{EN}}$  för att en slänt ska anses vara stabil är enligt SGI:s styrdokument och IEG Rapport 6:2008  $F_{\text{EN}} \geq 1,1$  för SK3, såväl vid odränerad som kombinerad analys. För säkerhetsklass 2, SK2, gäller  $F_{\text{EN}} \geq 1,0$ .



## 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). Djup och form för Brattorpsåns samt de mindre vattendragens åfåror har uppskattats utifrån kartmaterial samt besiktning vid lågt vattenstånd.

### 7.3.2 Materialegenskaper

Materialegenskaper samt jordlagrens mäktighet har utvärderats från nu utförda geotekniska undersökningar tillsammans med tidigare utförda fält- och laboratorieundersökningar. I nedanstående tabell presenteras utvärderade och valda hållfasthetsgenskaper i leran. En komplett redovisning av samtliga ingående materialparametrar presenteras på respektive stabilitetsberäkning i BILAGA E och BILAGA F.

Tabell 3: Valda hållfasthetsgenskaper i leran.

Område	Beräkningssektion	Nivå/djup	Odränerad skjuvhållfasthet
Nordost	27355V, 27470V, 27580V (norra sidan)	My – +5 +5 –	21 kPa 21+1,3·d kPa
Sydost	27670V, 27710V, 27580V (södra sidan)	My – +5 +5 –	29 kPa 29+1,5·d kPa
Norr	27310V	My – +16 +16 – Släntfot: +16 –	20 kPa 20+1,8·d kPa 20+0,9·d kPa
Sydväst	27720V	My – +9 +9 –	20 kPa 20+1,3·d kPa
Väster	27490V	My – +15 +15 – +5 +5 – Släntfot	20 kPa 20+3·d kPa 50+1,7·d kPa 32 kPa
Centrum	27590V	My – +10 +10 –	23 kPa 23+1,6·d kPa
Göta älv	27355V, 27470V, 27670V	Älvbotten	3 kPa

Den dränerande skjuvhållfastheten i leran har enligt styrdokument DGA00XST01 valts till  $\Phi' = 30$  och att  $c' = 0,1 \times c_u$ .

### 7.3.3 Laster

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

Inga uppgifter angående tyngd och grundläggningssätt för byggnaderna inom området har funnits att tillgå. Vid stabilitetsberäkningarna har därför en permanent utbredd marklast på 10 kPa/våningsplan ansatts för samtliga byggnader. I ett fall har källare observerats och då har marklasten för det aktuella 1,5-planshuset reducerats till 10 kPa (sektion 27310V).

Trafiklasten på väg 2025 har ansatts till 13 kPa enligt styrdokument DGA00XST01 / TK Geo 13.

### 7.3.4 Grundvatten och portryck

Mot Göta älv har aktuella beräkningssektioner modellerats med en hydrostatisk portrycksmodell och grundvattenytan har ansatts till djupet ca 0,5–1 m djup under markytan. Vid släntfot står grundvattenytan i nivå med vattendragets dimensionerande vattennivå.

För Göta älvs vattennivå tillämpas dimensionerande vattenstånd enligt Tabell 4.1 i styrdokument DGA00XST01 (SGI, 2020), se Tabell 4. I beräkningarna har den nedre vattenytan (+6,6) använts då vattnets mothållande effekt då är som lägst, vilket därmed utgör det mest ogynnsamma lastfallet med avseende på stabiliteten.

Tabell 4: Dimensionerande vattenstånd i Göta älv (Tabell 4.1 DGA00XST01).

Referenspunkt	Dimensionerande vattenstånd [RH2000]		
	Nedre vattenyta	Medelvattenyta	Övre vattenyta
Uppströms Lilla Edet Ströms sluss – Sluss 6	Sänkningshöjd +6,6	Antag 0,1 meter under övre vattenyta.	Dämningshöjd +7,6

I beräkningarna belägna mot övriga vattendrag har grundvattenytan generellt ansatts ligga på ca 0,5-1 m djup under markytan och portrycket har ansatts något lägre än hydrostatiskt, med en ökning på 9,5 kPa/m mot djupet genom hela profilen i enlighet med utförda portrycksmätningar (kapitel 6.0). Detta är modellerat med diskreta punkter (spatial function) i Slope.

I den västra delen av området, i anslutning till sektion 27490V, uppmättes en avsänkning i portrycket ovan ett dränerande sandskikt. För denna sektion modellerades portrycket vid släntkrön med en ökning på 3 kPa/m från en grundvattenyta på 0,5 m djup och ner till sandskiktet. Under sandskiktet ansattes portrycket öka med 13,5 kPa/m mot djupet. Vid släntfot ansattes portrycket till att vara hydrostatiskt från en grundvattenyta i nivå med markytan.

Även för sektion 27590V i centrala delen av området är den ansatta hydrogeologiska modellen något avvikande, då närliggande portrycksstationen 19GO06 visat lokalt något lägre portryck. Grundvattenytan har konservativt ansatts till 0,5 meter under markytan, och därifrån ökar portrycket med 9 kPa/m mot djupet genom hela profilen. Från släntfot och under svämplan och åfåra är portrycket hydrostatiskt och grundvattenytan står i nivå med modellerad vattennivå i Brattorpsån.

I BILAGA C återfinns portryckdiagram med sammanställda mätningar samt val av karakteristisk portrycksprofil för respektive delområde.

## 7.4 Stabilitetsanalyser för befintliga förhållanden

Stabiliteten för befintliga förhållanden har analyserats för totalt nio sektioner inom aktuellt område. I följande kapitel beskrivs resultaten av de stabilitetsanalyser som utförts inom ramen vid föreliggande fördjupade stabilitetsutredning. Samtliga beräkningar för befintliga förhållanden redovisas i sin helhet i BILAGA E.

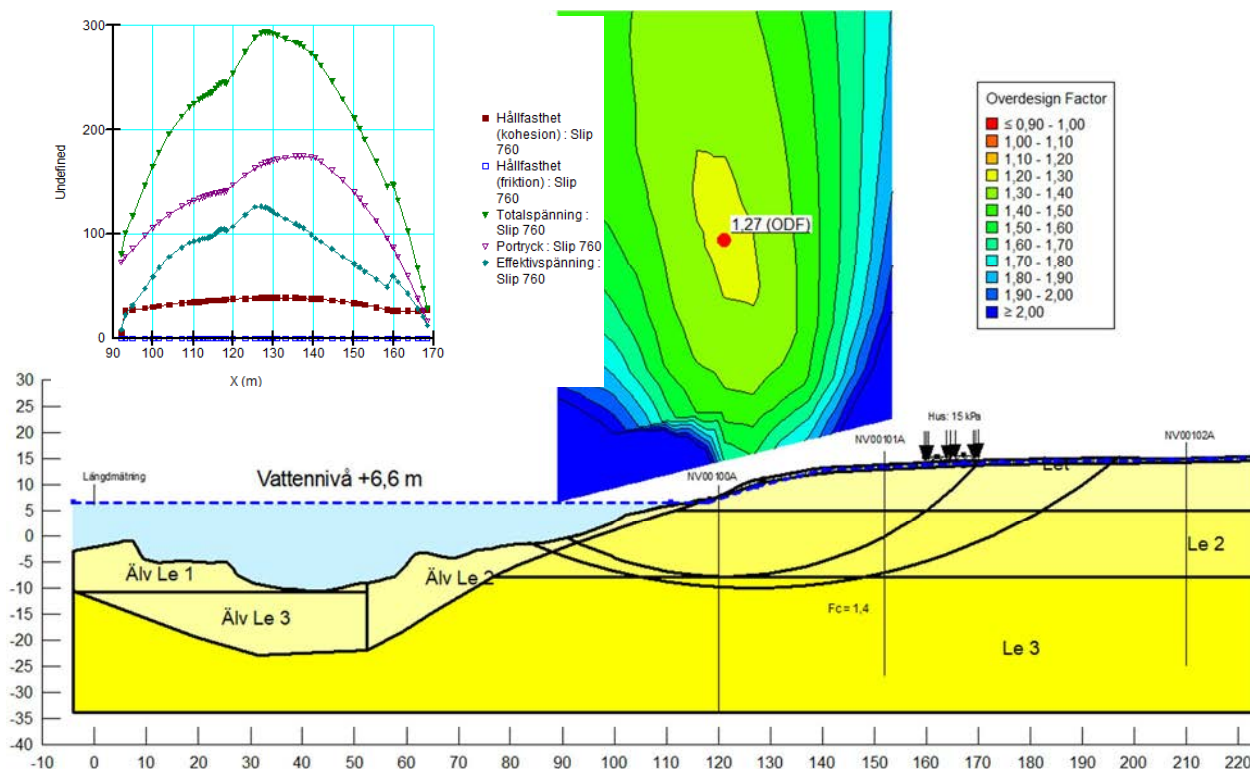
### 7.4.1 Mot Göta älv

Stabiliteten mot Göta älv har kontrollerats i tre sektioner (27355V, 27470V och 27670V) varav en av dem tidigare analyserats i Göta älvutredningen. Bebyggelse i form av ett fåtal bostadshus/sommarhus återfinns direkt norr om Brattorpsåns utlopp i Göta älv. Byggnaderna är belägna på ett avstånd av ca 10–70 m från älven. Övrig markyta utgörs i huvudsak av åker/ängsmark.

Utförda stabilitetsanalyser visar att stabilitetsförhållandena inte är tillfredsställande goda (dvs. uppfyller inte rekommenderad säkerhetsnivå enl. IEG Rapport 4:2010) för befintliga förhållanden.

Norr om Brattorpsån är beräknad lägsta säkerhetsfaktor mot ett odränerat brott ca  $F_c=1,3$  och mot ett kombinerat brott ca  $F_{komb}=1,2-1,3$ . Glidyterna med lägsta säkerhetsfaktor mot brott har en utbredning av ca 40–110 m och sträcker sig ca 40–70 m uppåt land från strandkanten räknat (Figur 47).

Den odränerade skjuvhållfastheten är dimensionerande längs ca 75-90% av glidytan med lägst säkerhet i den kombinerade analysen. Nu beräknade säkerhetsfaktorer är ca 10-15 % högre än tidigare beräknade i GÄU, vilket främst beror på att anisotropieffekter i leran har fastlagts och tillgodoräknats.



Figur 47: Stabilitetsberäkning för sektion 27470V, befintliga förhållanden, odränerad analys.

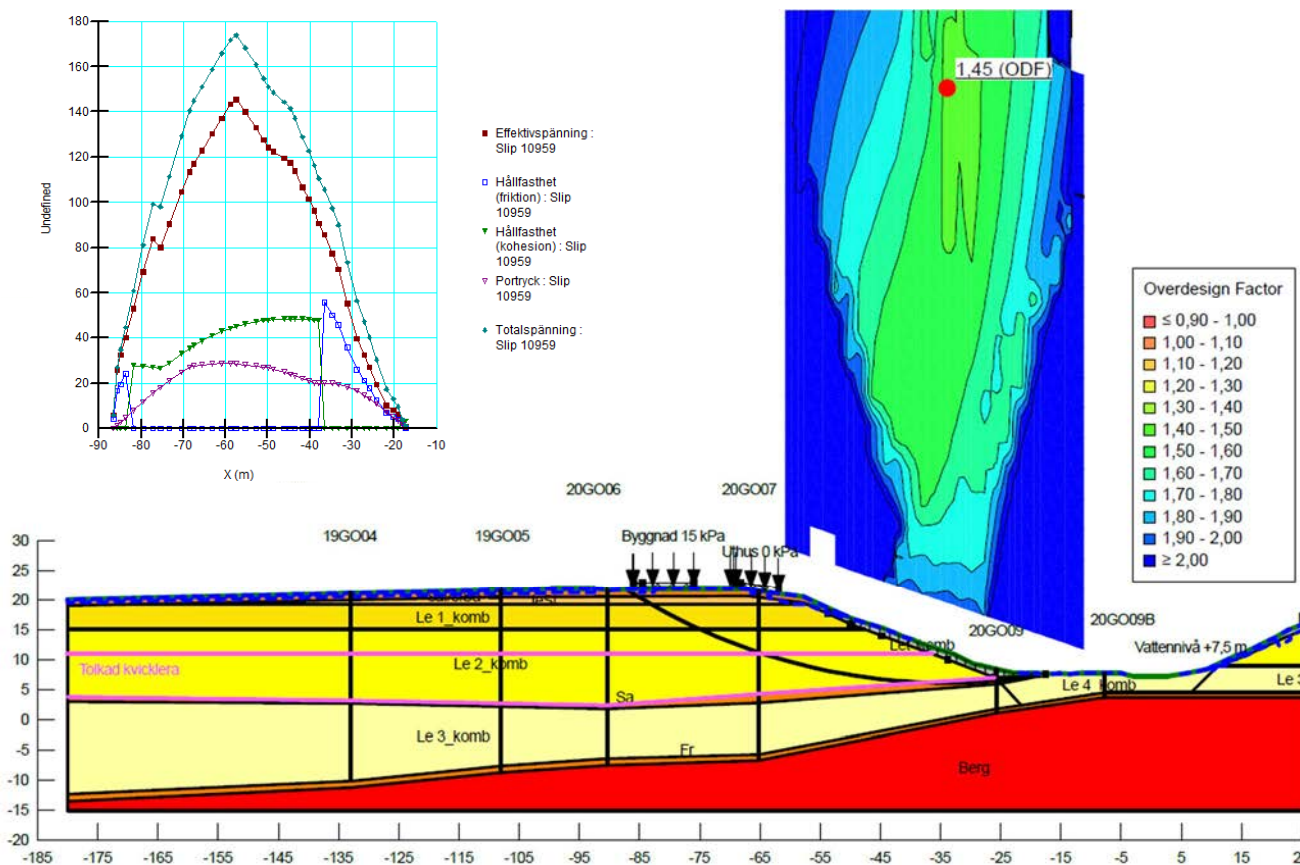
I beräknad sektion belägen vid platån söder om Brattorpsån (27670V) är lägsta säkerhetsfaktor mot brott ca  $F_c=F_{komb}=1,3$  i såväl odränerad som kombinerad analys. Göta älvs bottengeometri utgörs här av en ca 15 m bred och relativt flack undervattenshylla närmast strandkanten. Glidyterna med lägsta säkerhetsfaktor mot brott är här kortare och har en utbredning av ca 40 m varav huvuddelen är inom landområdet och glidytan slår upp vid strandkant/undervattenshyllan.

## 7.4.2 Brattorpsån

Stabiliteten mot Brattorpsån har kontrollerats i fem sektioner (27490V, 27590V, 27720V, 27580V och 27710V) varav två tidigare analyserats i Göta älvutredningen. Bebyggelse i form av ett antal bostadshus/sommarhus återfinns både norr och söder om Brattorpsån. Norr om ån är husen belägna på ett avstånd av ca 50 m från ån (ca 15–20 m från släntrönn). Söder om ån och väster om väg 2025 är den närmaste byggnaden belägen ca 90 m från ån (ca 40 m från släntrönn). Övrig markyta längs ravinen utgörs i huvudsak av åker/ängsmark.

Utförda stabilitetsanalyser visar att stabiliteten för slänten väster om väg 2025 och norr om Brattorpsån (sektion 27490V) är tillfredsställande, dvs. uppfyller ställda krav enligt gällande norm och styrdokument. För övriga slänter mot Brattorpsån, öster om vägen 2025, är stabilitetsförhållandena inte tillfredsställande goda, dvs. uppfyller inte rekommenderad säkerhetsnivå enl. IEG Rapport 4:2010, för befintliga förhållanden.

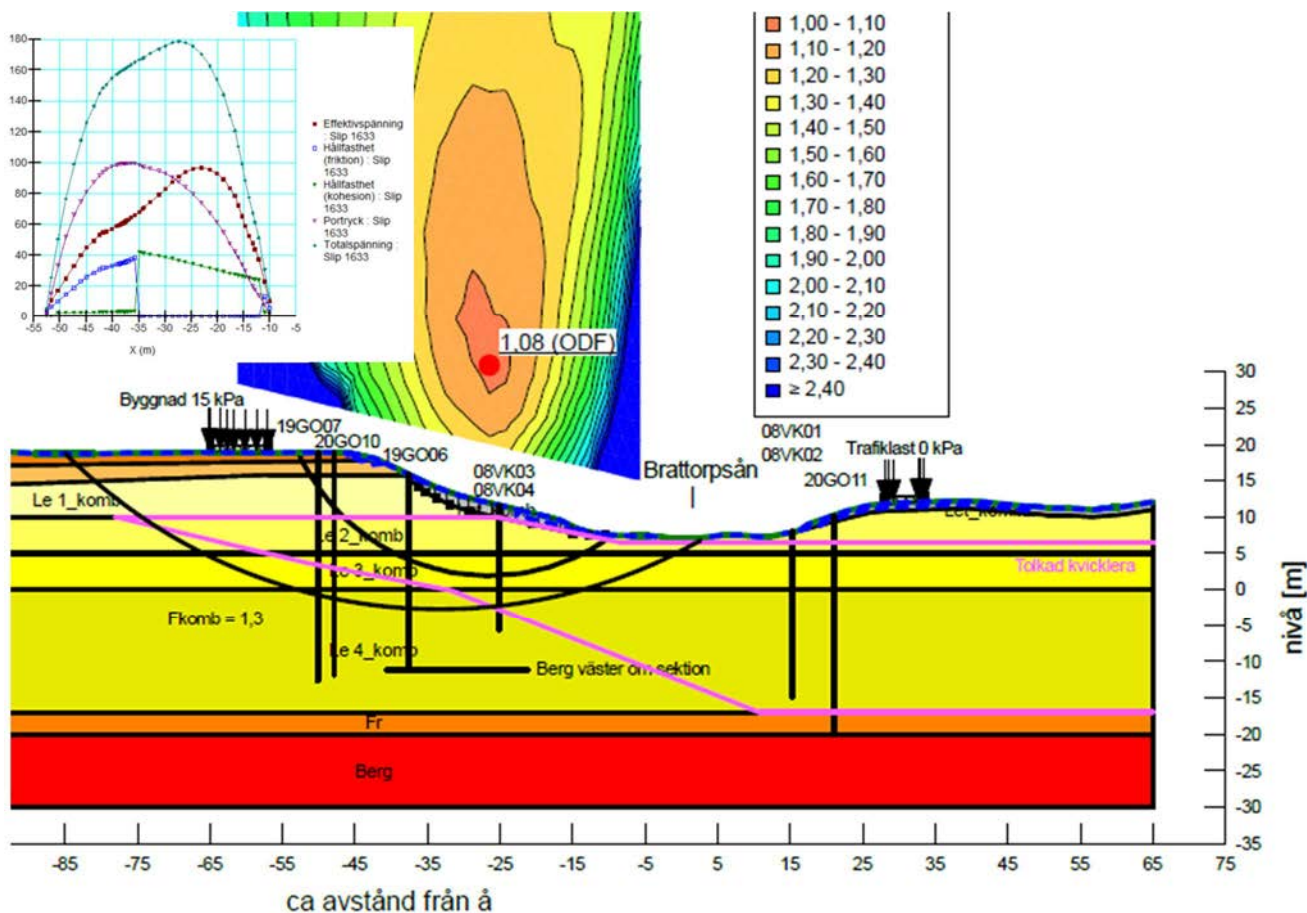
I den nordvästra delen av området är de geotekniska förutsättningarna bättre än längre österut (i riktning mot Göta älv). Djupet till fast botten är mindre och det finns ett skikt med friktionsjord. Vidare är lerans odränerade hållfasthet högre och portrycket lägre, vilket påverkar stabilitetsförhållandena positivt. Beräknade lägsta säkerhetsfaktorer är ca  $F_c = F_{komb} = 1,45$ , se Figur 48 och BILAGA E.



Figur 48: Stabilitetsberäkning för sektion 27490V, befintliga förhållanden, kombinerad analys.

Utförda beräkningar för slänterna längs norra sidan av Brattorpsån och öster om väg 2025 visar på en lägsta beräkningsmässig säkerhetsfaktor mot brott som är ca  $F_c = 1,2-1,4$  respektive ca  $F_{komb} = 1,1-1,25$ . Glidyterna med lägsta säkerhetsfaktor mot brott har en utbredning av ca 40-60 m och omfattar sträckan från byggnaderna (ca 15–20 m ovanför släntrönn) till släntrönn i/intill ån, se exempel i Figur 49. I den kombinerade analysen är de dränerade skjuvhållfastheten dimensionerande längs ca 45% av glidytan med lägst säkerhetsfaktor (se graf i Figur 49). Kvicklera bedöms förekomma i anslutning till aktuell slänt och beräknade glidytor (se magentfärgad linje i Figur 49). Nu beräknade säkerhetsfaktorer är generellt något högre än tidigare

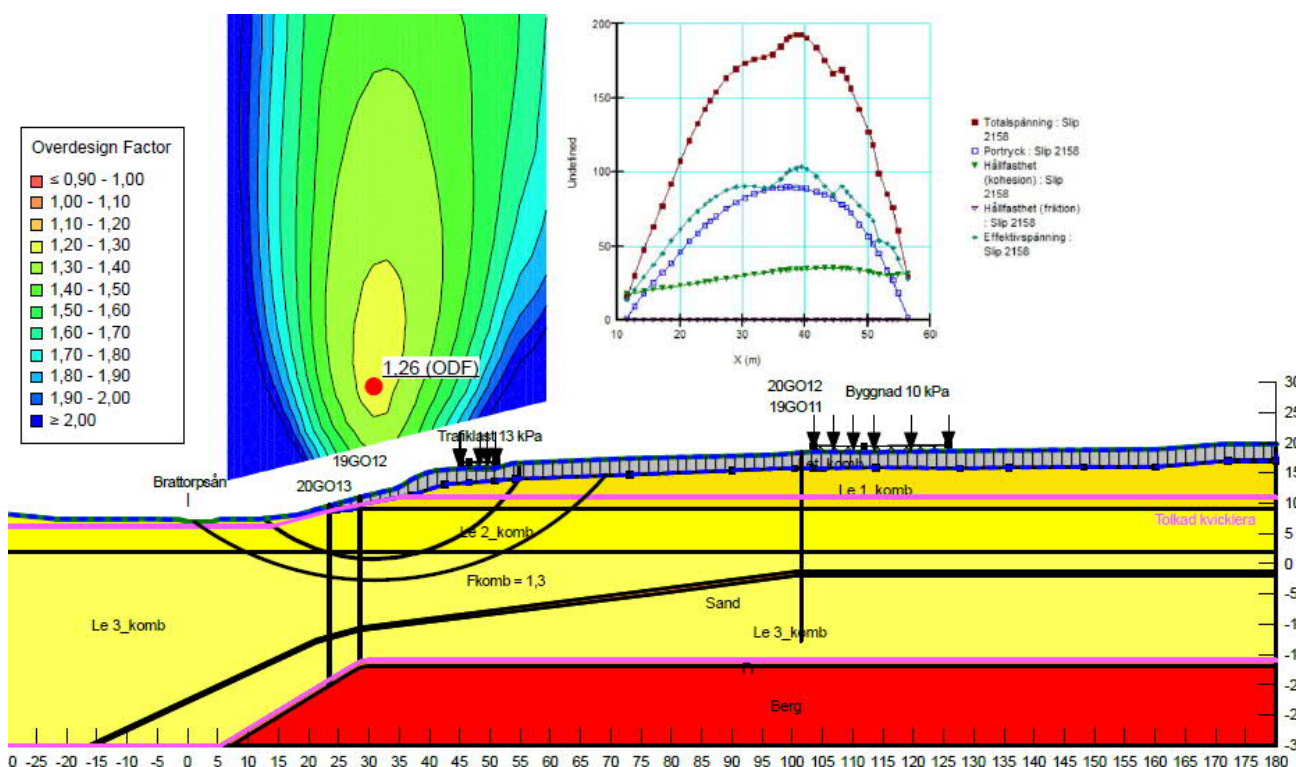
beräknade i GÄU, vilket beror dels på att anisotropieffekter i leran har fastlagts och tillgodoräknats och dels på att uppdaterad och förfinad jordmodell (med bl.a. högre hållfasthet) samt portrycksmodell påverkar resultatet positivt.



Figur 49: Stabilitetsberäkning för sektion 27590V, befintliga förhållanden, kombinerad analys.

Söder om Brattorpsån är lägsta säkerhetsfaktor mot brott i den västra sektionen (27720V) mot vägen och befintliga byggnader ca  $F_c=1,3$  respektive ca  $F_{komb}=1,25$  i odränerad- respektive kombinerad analys. Glidyten i den kombinerade analysen är i princip helt odränerad, se graf i Figur 50. Glidyten med lägst säkerhetsfaktor har en utbredning på ca 60 m och omfattar sträckan från vägen, ca 25 m ovanför släntröner, till släntröner (Figur 50).

I de två beräknade sektionerna från "platån" med ängsmark i sydost mot Brattorpsån är lägsta beräkningsmässiga säkerhetsfaktor mot brott i den brantaste sektionen (27710V) ca  $F_c=1,2$  i odränerad analys respektive ca  $F_{komb}=1,0$  i kombinerad analys. I den flackare sektionen (27580V, söder) är säkerhetsfaktor mot brott ca  $F_c=2,2$  i odränerad analys respektive  $F_{komb}=1,8$  i kombinerad analys. Glidyterna med lägst säkerhetsfaktor är relativt korta och sträcker sig från ån och ca 20-30 m upp i slänten.



Figur 50: Stabilitetsberäkning för sektion 27720V, befintliga förhållanden, kombinerad analys.

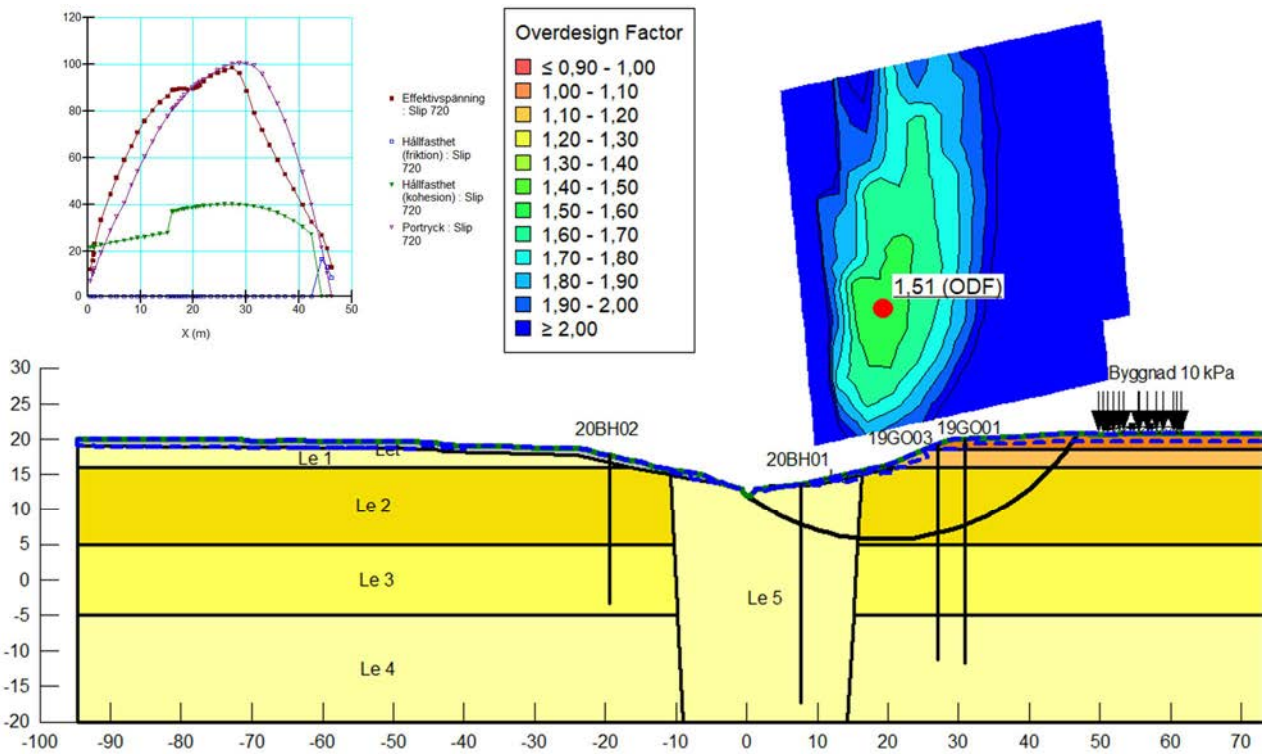
### 7.4.3 Norra och södra bäckravinerna

Stabiliteten mot de mindre vattendragen/ravinerna i norr och söder har kontrollerats i en sektion vardera, varav den södra har kontrollerats tidigare i samband med Göta älv-utredningen. Vid den norra bäckravin (sektion 27310V) finns bostadshus med ekonomibyggnad inom ca 20-30 m från slänkrön. Övrig mark utgörs av åker/ängsmark.

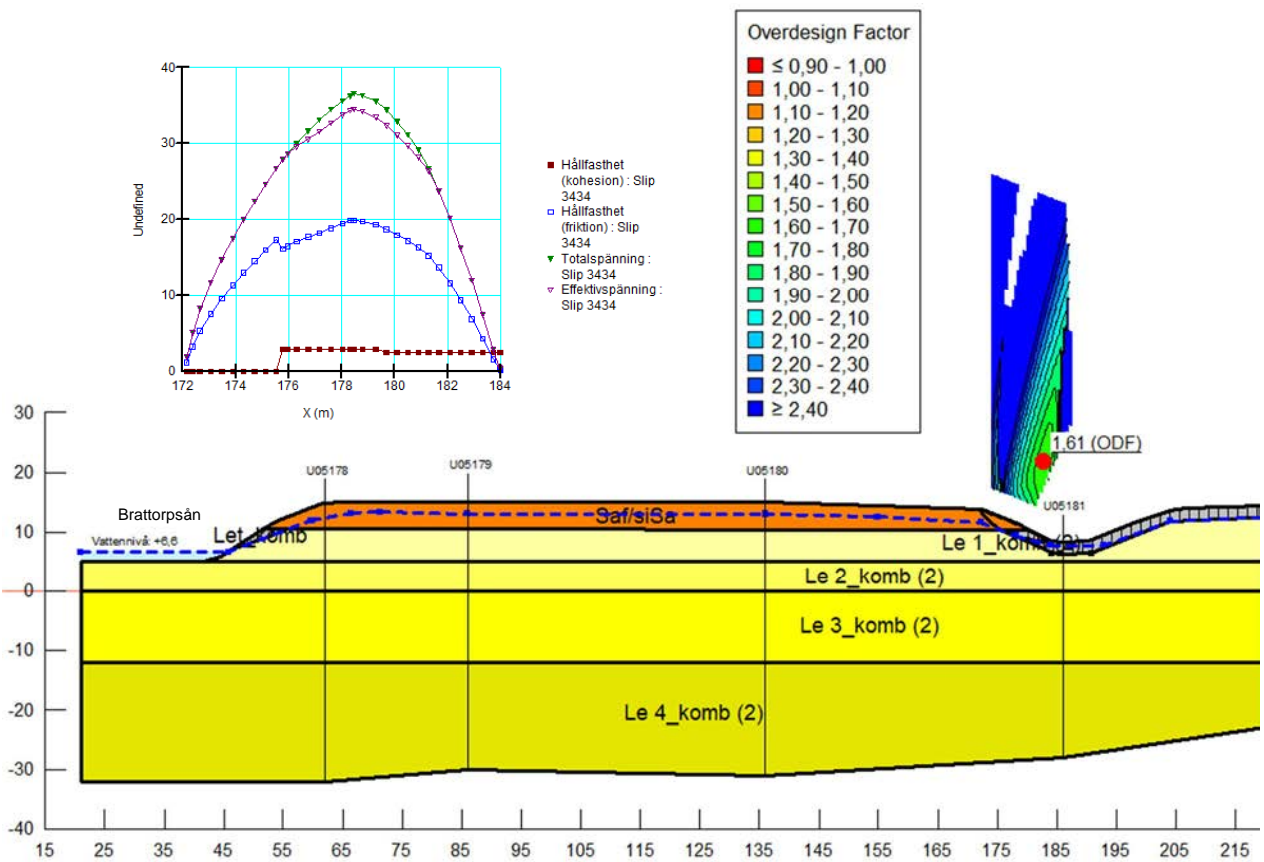
Utförda stabilitetsanalyser visar att stabilitetsförhållandena mot de mindre norra och södra bäckravinerna är tillfredsställande goda (dvs. uppfyller rekommenderad säkerhetsnivå enl. IEG Rapport 4:2010) för befintliga förhållanden.

För slänterna mot den norra ravinen är lägsta säkerhetsfaktor mot brott ca  $F_c=1,5$  och  $F_{komb}=1,45$ . Glidyterna med lägsta säkerhetsfaktor mot brott har en utbredning av ca 45 m och sträcker sig från ca 15-20 m ovanför slänkrön till släntfot (Figur 51). I den kombinerade analysen är den odränerade skjuvhållfastheten dimensionerande längs drygt 75 % av glidytan med lägst säkerhetsfaktor.

Stabiliteten mot den södra bäckravin kontrollerades både från norra och från södra sidan i samband med Göta älvutredningen (sektion 27710V). Jordlagrens materialparametrar har uppdaterats i denna utredning. Lägsta säkerhetsfaktor mot brott är ca  $F_c=2,5$  och  $F_{komb}=1,6$  i odränerad- respektive kombinerad analys. Glidyterna är korta och har en utbredning på ca 10-15 m (Figur 52) och i den kombinerade analysen är det till stor del de dränerade egenskaperna som styr.



Figur 51: Stabilitetsberäkning för sektion 27310V, befintliga förhållanden, odränerad analys.



Figur 52: Stabilitetsberäkning för sektion 27710V mot södra ravinen, norra sidan, befintliga förhållanden, kombinerad analys.

## 7.5 Sammanställning av utförda 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 5 redovisas lägsta säkerhetsfaktorer mot brott enligt totalsäkerhetsmetoden i utförda stabilitetsanalyser för befintliga förhållanden. Stabilitetsanalyserna redovisas i sin helhet i BILAGA E.

Utförda stabilitetsberäkningar visar att säkerhetsfaktorn mot brott i stora delar av området **inte** uppfyller stabilitetsrekommendationerna för en fördjupad stabilitetsutredning enligt IEG Rapport 4:2010. Säkerhetsfaktorn mot brott är låg inom merparten av de kontrollerade sektionerna i riktning mot Göta älv och Brattorpsån. Längs den norra respektive södra bäckravinen är stabilitetsförhållandena tillfredsställande. De områden som **inte** bedöms ha tillfredsställande god stabilitet enligt ställda krav för totalsäkerhetsmetoden,  $F_c > 1,4$  respektive  $F_{komb} > 1,3$ , har skuggats med gul färg i Figur 53.

Tabell 5: Lägsta säkerhetsfaktor mot brott (totalsäkerhetsanalys) i analyserade beräkningssektioner.

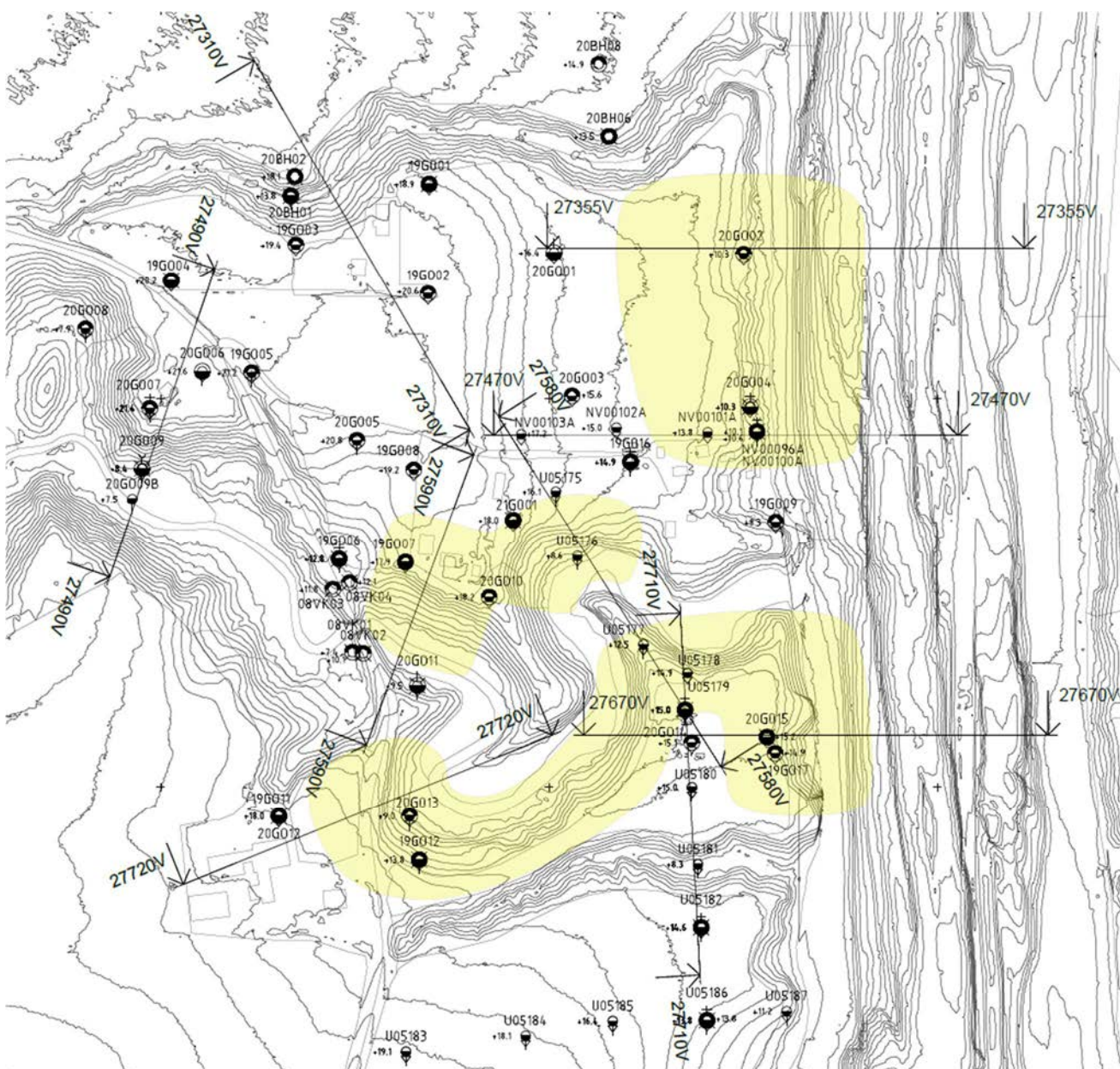
**Fet text** innebär att rekommenderad säkerhetsnivå för stabiliteten, enligt styrdokument DGA00XST01 och IEG Rapport 4:2010, inte är uppfylld.

Totalsäkerhet, $F_{tot}$		
Vattendrag - Sektion	Odränerad analys, ca $F_c$	Kombinerad analys, ca $F_{komb}$
<b>Göta älv</b>		
27355V	<b>1,3</b>	1,3
27670V	<b>1,35</b>	1,3
27470V*	<b>1,3</b>	<b>1,2</b>
<b>Brattorpsån</b>		
27490V	1,45	1,45
27590V	<b>1,2</b>	<b>1,1</b>
27720V	<b>1,30</b>	<b>1,25</b>
27580V Norr*	1,4	<b>1,2</b>
27580V Söder*	2,2	1,8
27710V Norr*	<b>1,2</b>	<b>1,0</b>
<b>Raviner</b>		
27310V	1,5	1,45
27710V Söder*	2,5	1,6

\*Tidigare utredd i GÄU.

För jämförelse har sektion 27590V även analyserats med partialkoefficientmetoden, vilket visar att säkerhetsfaktorn för befintliga förhållanden i odränerad analys är ca  $F_{EN} = 0,8$  och i kombinerad analys ca  $F_{EN} = 0,75$ .





Figur 53 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 (ca 0,5 m uppfyllnad), förhöjda portrycksnivåer samt med avseende på 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 bedömt kunna ha påverkan på framtida stabilitetsförhållanden. Glidyterna med lägst säkerhetsfaktor för befintliga förhållanden har analyserats med avseende på bl.a. utbredning och form, dimensionerande hållfasthetsparametrar (odränerad eller dränerad) och släntfotens geometri samt utsatthet för erosion.

En representativ sektion mot Göta älv (27355V) har kontrollerats med avseende på marklast och erosion. Längs Brattorpsåns ravin har en sektion (27590V) kontrollerats med avseende på förhöjt portryck samt tillkommande marklast och ytterligare en sektion (27720V) med avseende på marklast. Säkerhetsfaktorn mot stabilitetsbrott för befintliga förhållanden är i samtliga dessa sektioner för låg jämfört med ställda krav.

### 7.6.1 Marklast

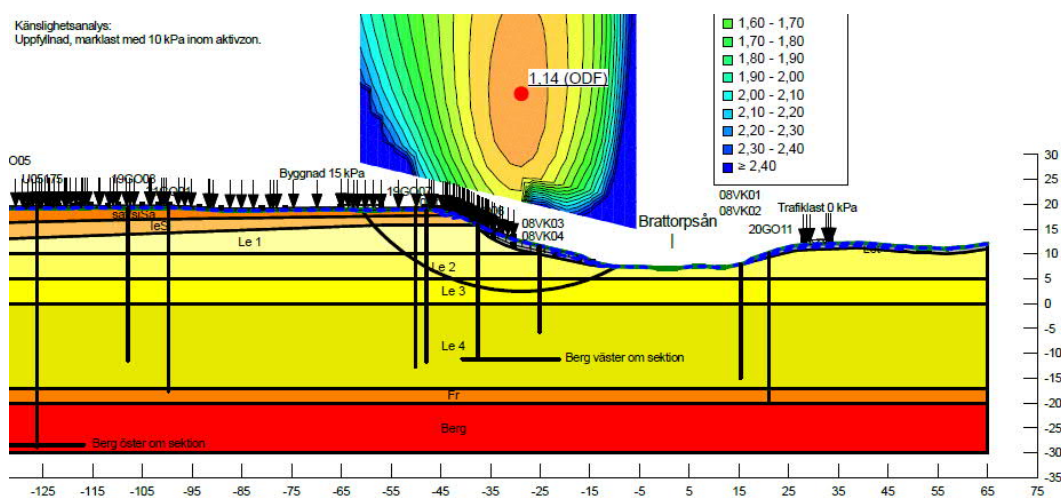
För området finns ingen detaljplan och känslighetsanalys har utförts för marknivåjustering (påföring av 0,5 m jord) med en utbredd last på 10 kPa där en sådan är ogynnsam, dvs. i aktivzonen.

Enligt utförda känslighetsanalyser minskar lägsta säkerhetsfaktorn mot brott med ca 2–4 % då en utbredd last på 10 kPa påförs. Utförda beräkningar är utförda väl på säkra sidan då den utbredda lasten påförts inom hela eller stora delar av aktivzonen, exempelvis även en bit ner i slänten på sektion 27355V och 27590V, vilket inte bedöms vara ett troligt scenario för eventuell utfyllnad.

Störst påverkan erhöles i sektion 27590V (mot Brattorpsån) där säkerhetsfaktorena sjönk med ca 4 %. Se redovisning i Tabell 6 samt typsektion i Figur 54.

Tabell 6: Redovisning av stabilitetsförhållandenas känslighet m.a.p ökad marklast 10 kPa, sektion 27590V.

Sektion	Ursprunglig geometri		Påförd marklast 10 kPa	
	$F_c$	$F_{komb}$	$F_c$	$F_{komb}$
<b>27590V</b>	1,19	1,08	1,14 (-4 %)	1,04 (-4 %)



Figur 54: Känslighetsanalys m.a.p ökad marklast 10 kPa i sektion 27590V, mot Brattorpsån, kombinerad analys

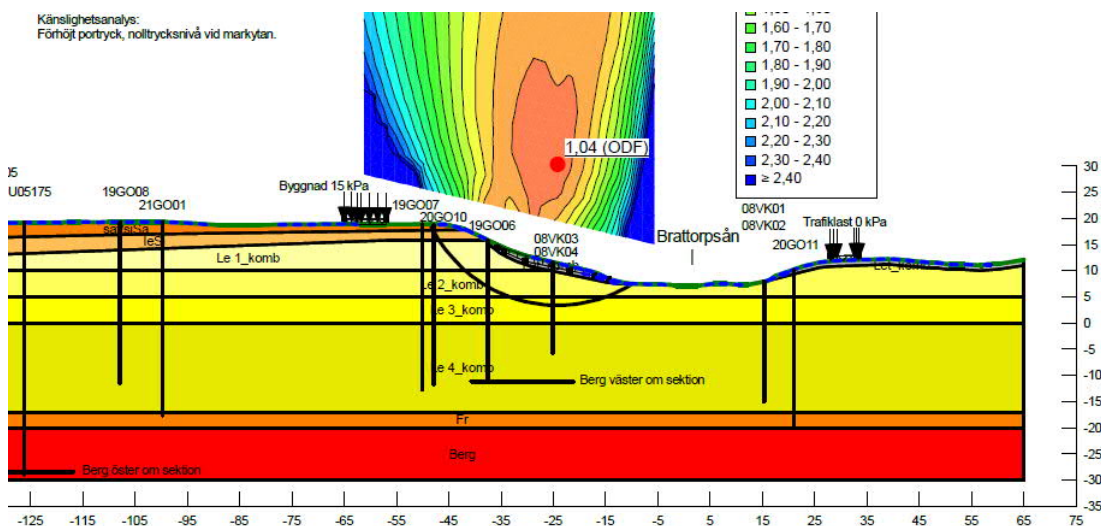
## 7.6.2 Förhöjt portryck

Maximala trycknivåer har modellerats enligt styrdokument DGA00XST01 och en 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 (med undantag för sydöstra delen av området, ca 3 m djup) under markytan ovanför släntrönet samt ner i slänten. Vid slänfot ansluter nolltrycknivån till vattennivån i vattendraget.

Utförd känslighetsanalys i sektion 27590V har modellerats genom att nolltrycksnivån (grundvattenytan) höjts till högsta möjliga nivå, dvs. till markytan. Portryckstillväxten mot djupet har där under ansatts vara densamma som i beräkningen för befintliga förhållanden, vilket resulterar i ett högre portryck genomgående i jordprofilen. Då det generellt anses att portrycket djupt i jordprofilen normalt ej påverkas av årliga skillnader i grundvattenytans nivå, så är aktuell känslighetsanalys att betrakta som konservativt utformad. Det innebär alltså att ett sådant scenario ej bedöms som troligt, utan kan ses som ett ytterlighetsfall.

Den utförda känslighetsanalysen resulterade i en minskad säkerhetsfaktor mot kombinerat brott motsvarande ca 4 %, från  $F_{komb}=1,08$  till  $F_{komb}=1,04$ . Beräkningarna som utförts för aktuell sektion visar att dränerat brott är dimensionerade och att portrycket därmed har viss betydelse. Dess påverkan är dock liten, med hänsyn till storleken på säkerhetsfaktorns reduktion ställt mot ett så pass konservativt beräkningsfall.



Figur 55: Sektion 27590V, känslighetsanalys m.a.p. förhöjt grundvattentryck, kombinerad analys.

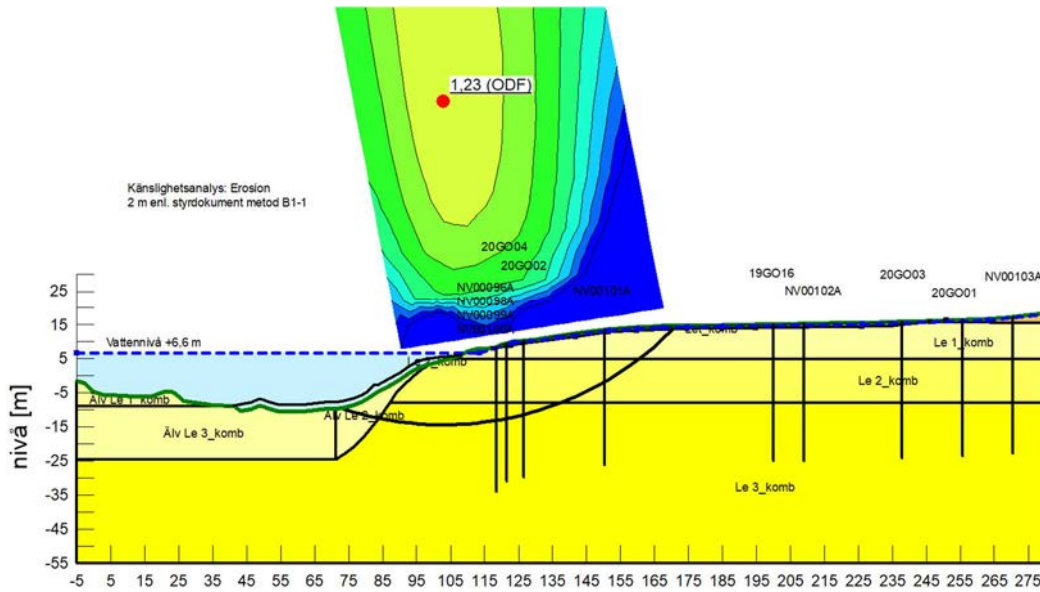
## 7.6.3 Förändrad geometri genom erosion

Känsligheten för erosion av slänter och botten under farleden i Göta älv har studerats för det fall där de ursprungliga marknivåerna sänkts med 2 m och genom anpassning till befintliga nivåer. Känslighetsanalysen är utförd i sektion 27355V där erosionen modellerats enligt styrdokument DGA00XST01 med geometriska förändringar enligt typsektion B1-1, se Figur 57.

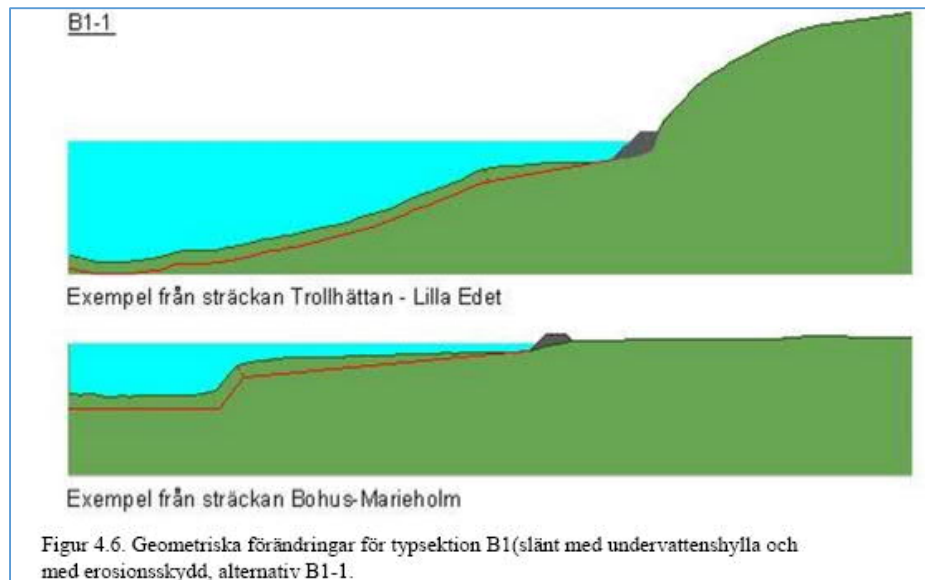
Säkerhetsfaktorns påverkan av erosionen redovisas i Tabell 7 samt i Figur 56 och visar att säkerhetsfaktorn minskar med ca 5 % vid 2 m erosion. Enligt känslighetsanalysen är det endast säkerhetsfaktorn för de längre glidytorerna som sträcker sig upp på land som minskar p.g.a. erosion. För undervattensslänten är glidytorerna med lägst säkerhetsfaktor mot brott ca  $F_{komb}=1,3$  i samtliga analyser i sektionen, dock generellt mycket ytliga.

Tabell 7: Säkerhetsfaktorns variation beroende på erosion i sektion 27355V. Procentuell förändring mot ursprunglig visas inom parentes.

Sektion	Ursprunglig geometri		2 m erosion	
	$F_c$	$F_{komb}$	$F_c$	$F_{komb}$
27355V	1,33	1,29	1,27 (-5 %)	1,23 (-5 %)



Figur 56: Känslighetsanalys m.a.p 2 m erosion i sektion 27355V, kombinerad analys. Glidyornas utbredning är lika men säkerhetsfaktorn minskar något.



Figur 57: Utklipp ur Figur 4.6 i styrdokument "DGA00XST01" beskrivandes geometriska förändringar för typsektion B1-1 för erosionsanalys.

### 7.6.4 Sammanställning av utförda känslighetsanalyser

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

Utförda känslighetsanalyser visar att såväl tillkommande marklast, erosion och förhöjt portryck innebär att beräknad säkerhetsfaktor blir ca 3–6 % lägre, jämfört med befintliga förhållanden. Situationen är densamma för slänterna ner mot båda vattendragen, dvs. Göta älv och Brattorpsån.

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
<b>Göta älv – 27355V</b>				
Ursprunglig beräkning	1,33	-	1,29	-
Uppfyllnad, marklast 10 kPa	1,28	-4 %	1,25	-3 %
Erosion 2 m	1,27	-5 %	1,23	-5 %
<b>Brattorpsån – 27590V</b>				
Ursprunglig beräkning	1,19	-	1,08	-
Uppfyllnad, marklast 10 kPa	1,14	-4 %	1,04	-4 %
Förhöjt portryck	1,19	0 %	1,04	-4 %
<b>Brattorpsån – 27720V</b>				
Ursprunglig beräkning	1,31	-	1,26	-
Uppfyllnad, marklast 10 kPa	1,28	-2 %	1,24	-2 %

## 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 initialskredet. Metoden beskrivs i SGI Varia 638 *Modifiering av metoder använda inom Göta älvutredningen (kap. 5.3.3)*.

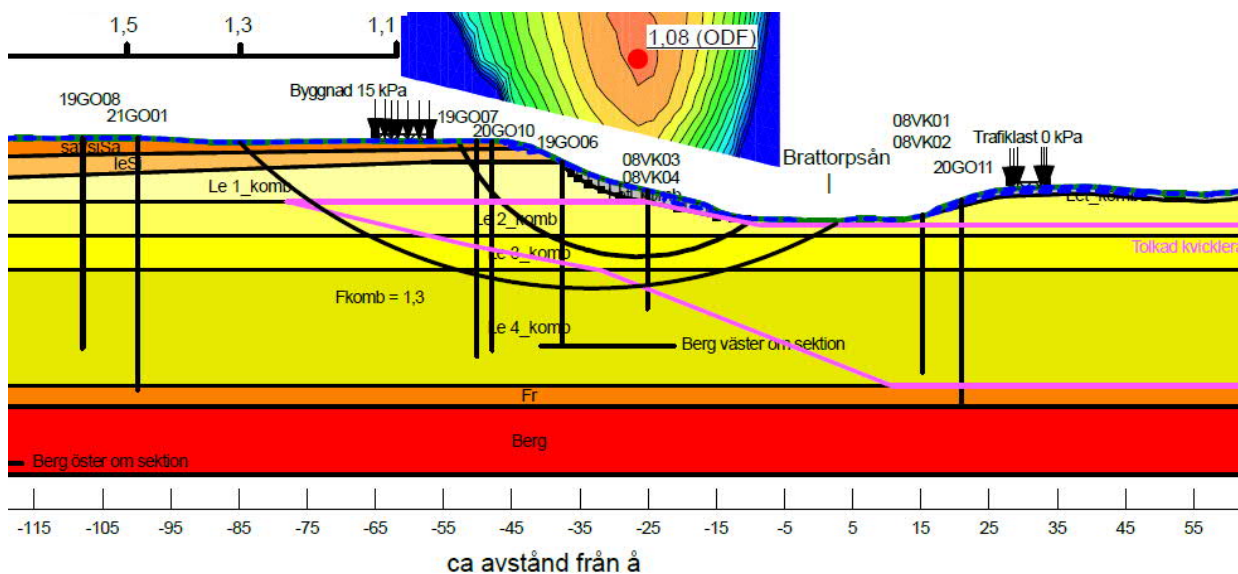
Kvicklera förekommer inom delar av aktuellt utredningsområde, se kapitel 5.2.2. Bedömning av utbredning av potentiella bakåtgripande följdskred har utförts för de sektioner som för befintliga förhållanden har för låga säkerhetsfaktorer mot stabilitetsbrott och där kvicklera förekommer i anslutning till glidytor, se resultat i Tabell 9.

Leror som har sensitivitet över 200 klassificeras enligt SGI Varia 638 som *extrem kvicklera*, och i dokumentet beskrivs att följdskred då kan sprida sig inom hela området, teoretiskt ända fram till omgivande fastmark. Då kvicklera med över 200 sensitivitet förekommer inom samtliga undersökta områden med kvicklera, anses risk för följdskred vara teoretiskt möjligt inom hela de aktuella kvicklereområdena.

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

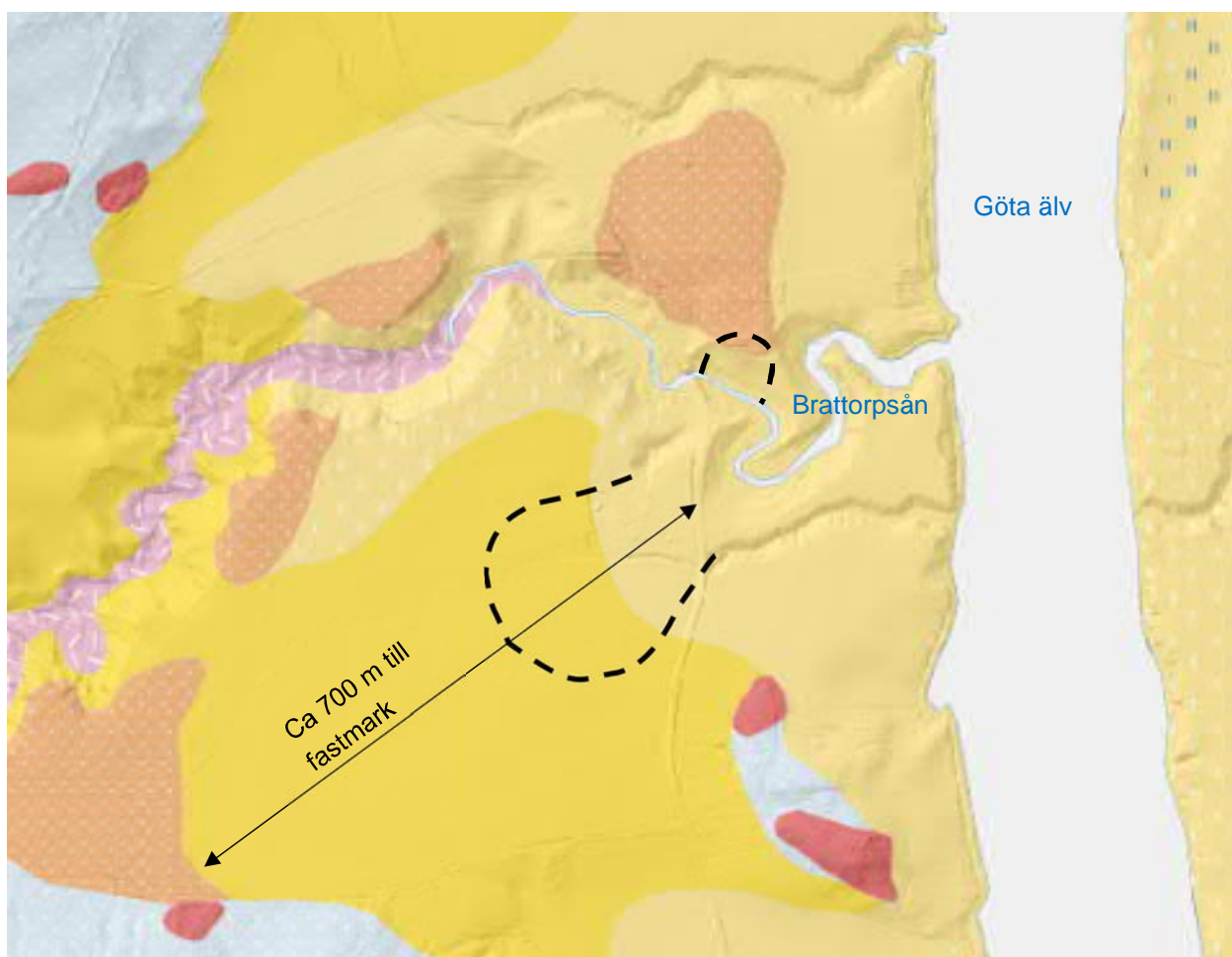
Sektion	Slänthöjd (m)	Utbredning av glidyta med lägst säkerhetsfaktor (m)	Sensitivitet, max (-)	Faktor n	Bedömd utbredning följdskred (m)
27590V	11,5	55	210 (19GO07)	>15	50 m (kvikklara upphör)
27720V	9,5	65	>454 (20GO12)	>15	Till fastmark / ca 200 m

För slänten norr om Brattorpsån och strax öster om riksväg 2025, sektion 27590V, kan kvicklerans utbredning tydligt avgränsas i norr och öster baserat på nu utförda undersökningar. Bedömningen är att kvickleran upphör ca 50 m norr om släntrönet (Figur 58), vilket därmed också är gränsen för bakåtgripande följdskred. Denna gräns är samma som gränsen för glidytor med tillfredsställande stabilitet, dvs. det sekundära skredriskområdet är detsamma som det primära skredriskområdet.



Figur 58: Sektion 27590V, bedömning av kvicklerans utbredning i förhållande till potentiella glidytor.

I den sydvästra delen av området har kvicklerans utbredning ej kunnat avgränsas, då undersökningar saknas utanför aktuellt utredningsområde. Baserat på utförda undersökningar inom området bedöms jordprofilen vara i stort sett genomgående kvick med hög sensitivitet och djupet till berg är stort. Den sammantagna bedömningen för slänten i anslutning till sektion 27720V är därmed att teoretisk utbredning av sekundärskred ej kan avgränsas baserat på befintligt underlag, utan enligt metod i SGI Varia 368 kan sträcka sig ända fram till fastmarksområdet som ligger ca 700 m sydväst om väg 2025. I sidled kan följdskreden antas begränsas något av det södra vattendraget vid utredningsområdets södra gräns samt en mindre ravin strax norr om sektion 27720V. I praktiken bedöms det dock som en orimligt stor skredutbredning med tanke på geometrin vid slänkfot, dvs. begränsat utrymme för borttransport av skredmassor. Det innebär att ett eventuellt bakåtgripande skred troligen inte skulle kunna fortplanta sig denna långa sträcka, utan mer troligt max ca 200 m (Figur 59).



Figur 59: Teoretisk bedömning av utbredning av följdskred i kvicklera, sekundärt skredriskområde (streckade svarta linjer).

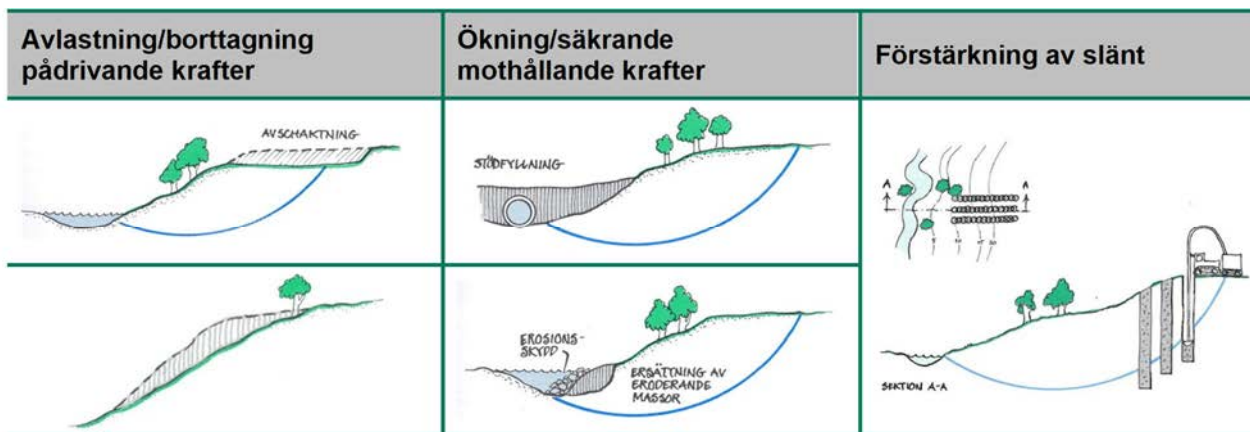
## 7.8 Stabilitetsförbättrande åtgärder

I följande kapitel beskrivs resultaten av de stabilitetsanalyser som utförts för stabilitetsförbättrande åtgärder inom ramen för föreliggande fördjupade stabilitetsutredning. Samtliga beräkningar för åtgärdsförslag redovisas i sin helhet i BILAGA F. Stabilitetsanalyser för åtgärdsförslagen har utförts med totalsäkerhetsanalys.

### 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 varierar inom området och beror på slänternas geometri, eventuell bebyggelse på släntrönet 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, erosionskydd) eller att hållfastheten hos jorden längs glidytan förstärks (t ex med KC-pelare).

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



Figur 60 Principutseende för tänkbara stabilitetsförbättrande åtgärdsalternativ. (Enl. Skredkommissionen, Rapport 3:95. Anvisningar för släntstabilitetsutredningar – Information)

Slänternas karaktär varierar inom aktuellt område. Mot Göta älv är den övre slänten generellt lång och relativt flack fram till släntrönet vid strandkanten, där strandzonen är brant och fortsätter ner i en undervattensslänt i älven. Slänterna mot Brattorpsån är kortare och brantare. På flertalet ställen finns bebyggelse att beakta nära släntrönet. Vidare finns en skyddad fornlämning inom åkermarken norr om Brattorpsån.

Brattorpsån och dess strandzon utgör Natura2000-område, vilket innebär att den har ett mycket starkt skydd och eventuella ingrepp erfordrar ansökan om intrång i Natura2000-område. Om möjligt bör stabilitetsförbättrande åtgärder därför utföras utanför aktuellt Natura2000-område. Att slänten är brant och att det på flertalet ställen finns byggnader (bostäder) på släntrönet innebär dock att det är svårt att utföra åtgärder även i dessa delar av slänten.

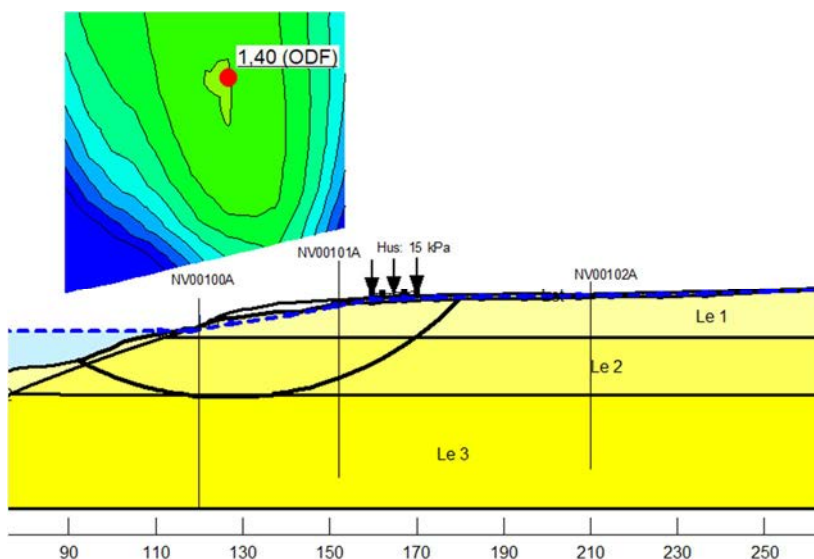
Nedan presenteras åtgärdsförslag för respektive slänt där stabilitetsförhållandena för befintliga förhållanden inte är tillfredsställande. I samband med detaljprojektering av åtgärderna bör dock olika intressen i form av bl. a naturvärden på land respektive i vatten samt markanvändning vägas mot varandra och åtgärden optimeras.



## 7.8.2 Förslag till åtgärd för slänterna mot Göta älv

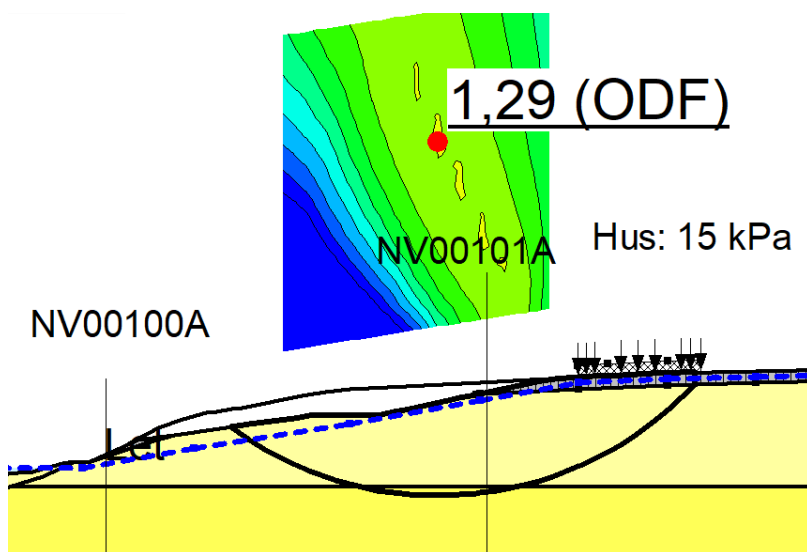
Att minska den pådrivande kraften i slänten genom avschaktning på släntkrönet är ett alternativ för att förbättra släntens stabilitet. Inom de områden längs Göta älv där bebyggelse saknas på släntkrön och marken utgörs av åker-, betes- eller naturmark bedöms detta vara ett lämpligt åtgärdsalternativ.

Utförda stabilitetsanalyser visar att det norr om Brattorpsåns utlopp generellt erfordras en ca 1,5–2 m djup avschaktning inom ett ca 35-40 m brett område i övre slänt och ovan släntkrön för att uppfylla gällande krav på säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott. Söder om åns utlopp erfordras mindre åtgärd, ca 1 m djup schakt med ca 10 m bredd. Åtgärd bedöms totalt erfordras längs en ca 250 m lång sträcka längs Göta älv. Se Figur 61 för exempel på utformning av aktuellt åtgärdsförslag norr om Brattorpsåns utlopp.



Figur 61 Exempel på åtgärd: avschaktning av släntkrön, inom åkermark, ner mot Göta älv, norr om Brattorpsån (sektion 27470V, odränerad analys).

För den nya schaktslänten har beräkning även utförts med partialkoefficientmetoden. Analys visar att ställt krav på  $F_{EN} \geq 1,0$  för säkerhetsklass 2 uppfylls med god marginal. Lägsta beräknade säkerhetsfaktor enligt partialkoefficientmetoden är ca  $F_{EN} = 1,3$  respektive  $F_{EN} = 1,2$ , för odränerad respektive kombinerad analys, se Figur 62.

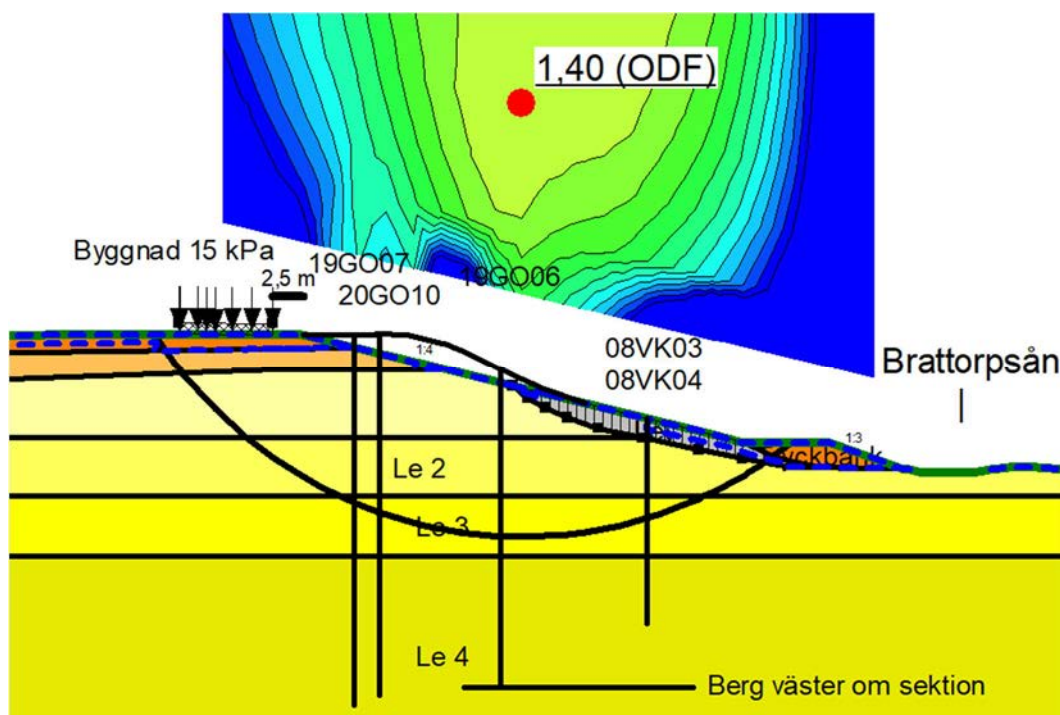


Figur 62 Stabilitetsberäkning med partialkoefficientmetoden, sektion 27470V, odränerad analys, mot Göta älv.

### 7.8.3 Förslag till åtgärd för slänterna mot Brattorpsån

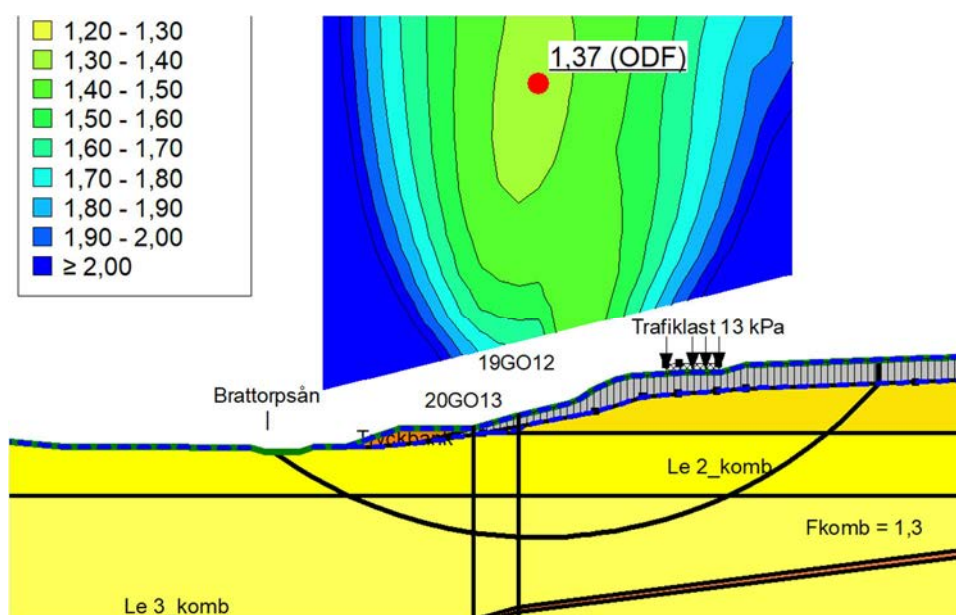
För att förbättra stabilitetsförhållandena för de branta slänterna ner mot Brattorpsån räcker det i regel med att tillämpa avschaktning vid släntkrön. Undantaget är släntavsnittet beläget vid sektion 27590V, där det utöver avschaktning, även erfordras en ökning av de mothållande krafterna genom att stödfyllning läggs ut vid släntfot. Lokalt rekommenderas stödfyllning även i anslutning till sektion 27720V, då vägens läge försvårar avschaktning. Generellt återfinns ett flackt markområde nedanför slänten och på båda sidor om vattendragets åfåra (s.k. svämplan) vid medelvattenstånd. Åfåran är därmed belägen ca 15 m från släntfot. Det innebär att stödfyllningen generellt inte behöver läggas direkt i anslutning till vattendraget (vid medelvattenstånd). Vid högvatten är dock det flacka strandområdet översvämmat och stödfyllningen bör utformas med ett erosions-skydd närmast vattendraget. Åtgärden kommer att kräva miljötillstånd för intrång i Natura2000-område och eventuellt också tillstånd för vattenverksamhet. I BILAGA F redovisas stabilitetsanalyser för samtliga åtgärdsförslag.

Öster om vägbron, längs Brattorpsåns norra sida, erfordras åtgärd i form av avschaktning vid släntkrönet/övre delen av slänten längs en sträcka av ca 150 m. Schakten behöver som mest vara 2 m djup och med en utbredning om ca 20-25 m vinkelrätt mot slänten. Stödfyllning bedöms erfordras längs en sträcka av ca 70 m nedanför samma slänt. I Figur 63 visas exempel på utformning av avschaktning och stödfyllning på Brattorpsåns norra sida. Åtgärdsförslaget dimensionerat med totalsäkerhetsmetoden motsvarar säkerhetsfaktorer enligt partialkoefficientmetoden på ca  $F_{EN} = 0,95$  respektive  $F_{EN} = 0,9$ , i odränerad respektive kombinerad analys.



Figur 63 Exempel på åtgärd: avschaktning samt stödfyllning/erosionsskydd vid släntfot, men utanför Brattorpsåns huvudfåra (vid medelvattenstånd), sektion 27590V, odränerad analys.

På motsatt sida Brattorpsån (söder om vägbron) är möjligheterna till avschaktning begränsade i de släntavsnitt belägna nära riksväg 2025, då vägen annars skulle behöva läggas om. Aktuella åtgärdsberäkningar visar att stabiliteten i stället kan förbättras på motsvarande sätt som dess norra sida, dvs. med en lokal stödfyllning, längs en sträcka av ca 50 m. Fyllningen är i beräkningen utformad med en höjd på ca 2 m och en utbredning om ca 15 m inom passivzonen. Exempel på denna lösning visas i Figur 64.



Figur 64 Exempel på åtgärd: stödfyllning i nedre delen av slänt på söder sida om Brattorpsån nära riksväg 2025, sektion 27720V, odränerad analys.

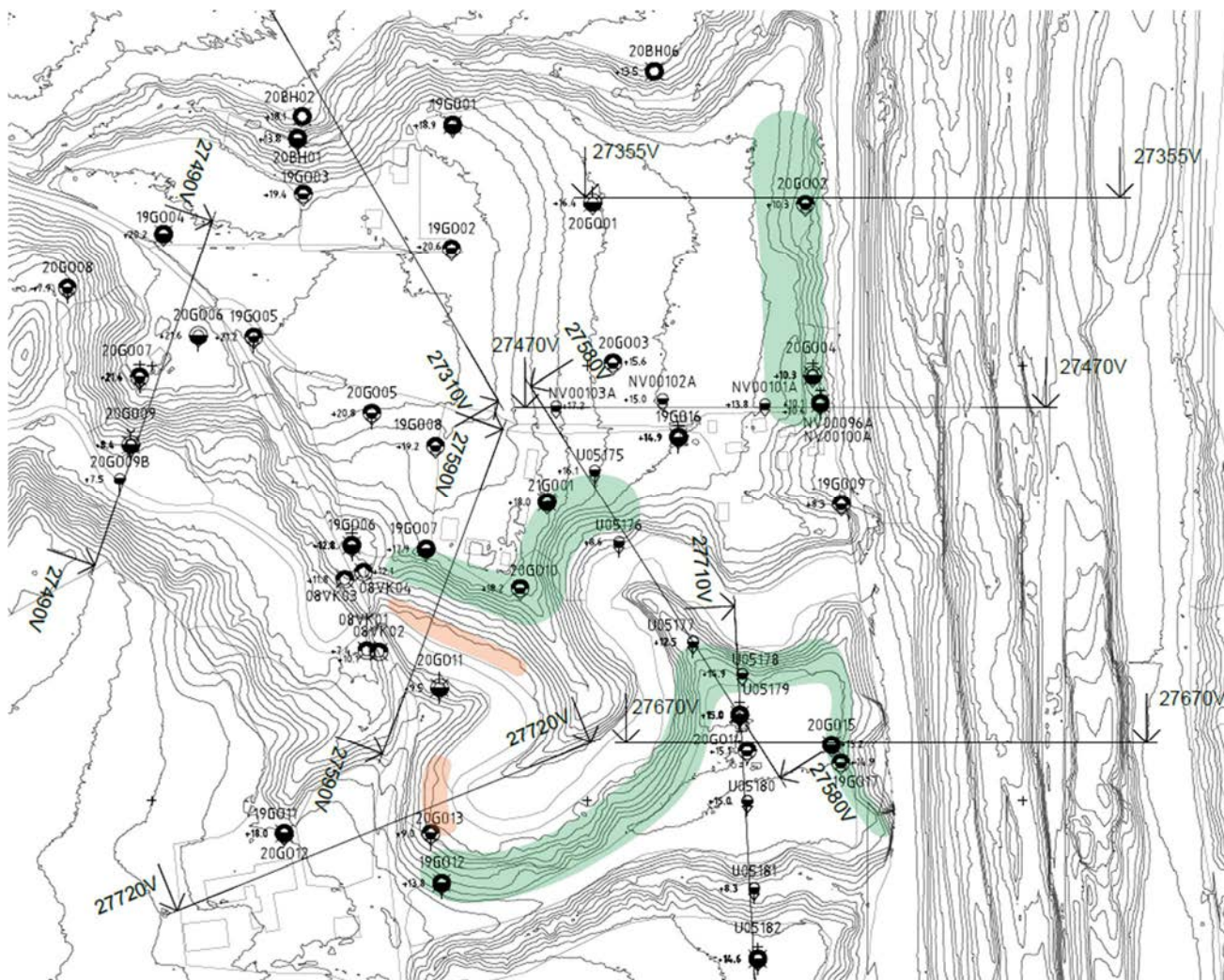
Längre österut på Brattorpsåns södersida, längs en ca 250 m lång sträcka, erfordras en något mindre djup avschaktning än på norra sidan, ca 1,5–2 m med ungefär samma utbredning, ca 20–25 m.

#### 7.8.4 Sammanfattning av stabilitetsförbättrande åtgärdsförslag

För att uppnå rekommenderad säkerhetsnivå mot stabilitetsbrott erfordras stabilitetsförbättrande åtgärder inom delar av aktuellt utredningsområde. Rekommendationen är generellt att avschaktning utförs med en ungefärlig utbredning enligt grön skuggning i Figur 65. Lokalt rekommenderas också stödfyllning vid slänkfot, med en ungefärlig utbredning enligt orange skuggning i samma figur. Stabilitetsberäkningar för erforderliga stabilitetsförbättrande åtgärder redovisas i BILAGA F.

Totalt bedöms avschaktning erfordras inom en yta på ca 20 000  $\text{m}^2$  och schaktvolymen uppskattas preliminärt till ca 23-25 000  $\text{m}^3$ . Lokalt, inom en total yta på ca 1500  $\text{m}^2$ , erfordras ca 1500  $\text{m}^3$  stödfyllning och ca 1000  $\text{m}^3$  av dessa massor bör kunna utgöras av överskottsmassor från schakt. Resterande ca 500  $\text{m}^3$  i stödfyllningen bör utgöras av erosionskydd, t ex naturgrus. Schakten kommer att utgöras av både lera och sand med densitet mellan ca 1,6–1,9  $\text{ton/m}^3$ , vilket innebär att ca 35-40 000 ton massor kommer att behöva transporteras bort. Med tung lastbil med släp innebär det i storleksordningen 1200-1300 transporter.

Vid framtagning av åtgärdsförslagen har främst befintliga byggnader och anläggningar (t ex vägar) samt markanvändning (brukbar åkermark) på släntkrön beaktats och åtgärden utformats för att bevara dessa. Det innebär i några fall att ingreppet i naturen i och nedanför slänten blir relativt omfattande, t ex i form av schakt, fyllning och averkning. Vid fortsatt projektering av eventuell åtgärd bör olika intressen vägas mot varandra, vilket innebär att det slutliga åtgärdsförslaget kan komma att förändras.



Figur 65 Översiktskarta med ungefärliga områden inom vilka stabilitetsförbättrande åtgärder erfordras. Grön respektive orange skuggning visar områden där avschaktning respektive stödfyllning rekommenderas.

### 7.8.5 Klimatkalkyl för stabilitetsförbättrande åtgärdsförslag

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

- Detaljprojektering av åtgärd (ca 300 h kontorsarbete)
- Tillståndsansökan (ca 300 h kontorsarbete)
- Platsbesök/besiktning (resa med miljöklassad bil Göteborg – Brattorpsån t o r, ca 2 x 60 km)
- Mätarbete (resa med miljöklassad bil Göteborg - Brattorpsån t o r, ca 2 x 60 km)
- Transport till fysiska möten med beställare, med spårvagn eller cykel (förutsatt i Göteborg)
- Schakt (ca 24 000 m<sup>3</sup>, motsvarande ca 37 000 ton)
- Fyllning (ca 1000 m<sup>3</sup>, motsvarande ca 1700 ton)
- Erosionsskydd (ca 500 m<sup>3</sup>, motsvarande ca 800 ton)
- Packning (ca 8 h)

- Avverkning/röjning (ca 8 h)
- Transport av massor (förutsatt återanvändning inom Lilla Edets kommun, ca 1250 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 53 ton koldioxid-emission.

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

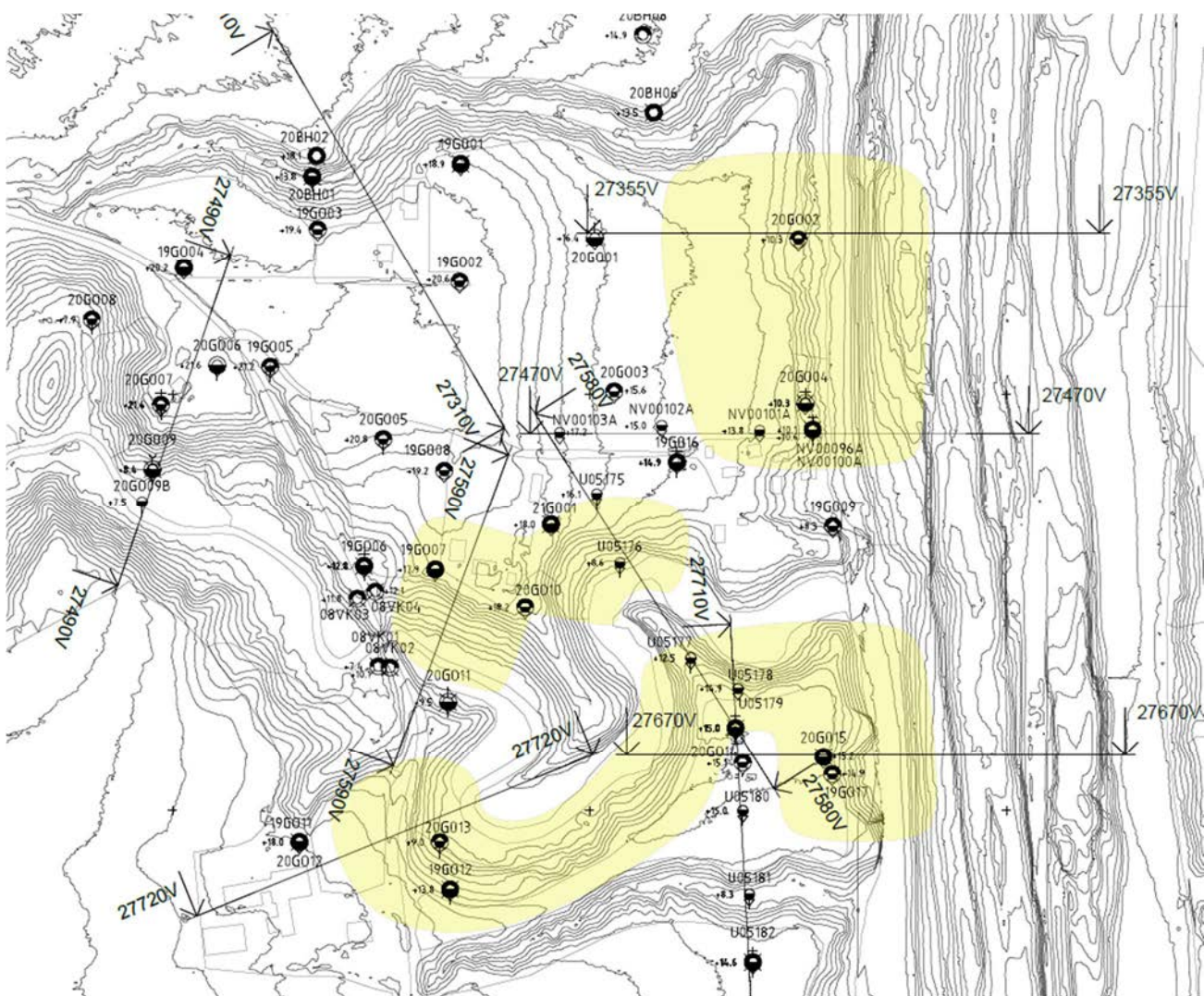
Arbetsmoment	Mängd	Emissionsfaktor	Summa
Kontorsarbete (svensk elmix)	600 h	3 g/h	1 800 g
Platsbesök/mät, 2 tillfällen (personbil – liten, diesel)	240 km	107 g/km	25 680 g
Schakt av massor (normal; 85 ton/timme)	37 000 ton	600 g/ton	22 200 000 g
Återfyllning av massor (normal)	1700 ton	300 g/ton	510 000 g
Erosionsskydd, naturgrus	800 ton	0,08 g/ton	64 g
Packningsmaskin (vält)	8 h	44 758 g/h	358 064 g
Avverkning/röjning (skördare – liten)	8 h	23 660 g/h	189 280 g
Avverkning/röjning (skotare – liten)	8 h	20 280 g/h	162 240 g
Transport av massor (lastbil, tung med släp, kapacitet 30 ton per last)	25 000 km	1200 g/km	30 000 000 g
<b>TOTALT:</b>			<b>53 447 128 g</b>

## 8.0 SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER

Föreliggande fördjupade stabilitetsutredning visar att stabiliteten för delar av det aktuella området i anslutning till Brattorpsåns utlopp i Göta älv inte uppfyller gällande rekommendationer enligt IEG Rapport 4:2010 för denna typ av markområde och aktuell utredningsnivå.

Säkerhetsfaktorn mot brott är generellt låg, och varierar enligt utförda analyser mellan ca  $F_c=1,3-1,35$  och  $F_{komb}=1,2-1,30$  för glidytor mot Göta älv. Säkerhetsfaktorerna för slänterna i riktning mot Brattorpsån är övergripande låga till lokalt mycket låga, med värden på ca  $F_c=1,2-1,45$  respektive ca  $F_{komb}=1,0-1,45$ . De områden som inte bedöms ha tillfredsställande god stabilitet har skuggats med gul färg i Figur 66.

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.



Figur 66: Översiktsskarta med markerade områden (gul skuggning) inom vilka stabiliteten inte uppfyller rekommendationerna enligt IEG Rapport 4:2010.

## 8.1 Fortsatt utredning och åtgärder

På översiktskartan i Figur 66 har de markområden markerats (gul skuggning) inom vilka säkerhetsfaktorn mot brott ej uppfyller rekommenderad säkerhetsnivå enligt föreliggande fördjupade stabilitetsutredning. Ett inledande översiktligt åtgärdsförslag, i form av avschaktning av slänkrön och lokal stödfyllning, har tagits fram, se Figur 65. Dimensionering av de översiktliga åtgärdsförslagen har gjorts enligt totalsäkerhetsanalys med krav på  $F_c > 1,4$  respektive  $F_{komb} > 1,3$ . Inför åtgärdsprojektering kommer statistiska analyser (sannolikhetsberäkning) av resultaten att utföras och baserat på detta kan troligen säkerhetskraven ses över och åtgärden optimeras.

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. På flertalet ställen finns bebyggelse att beakta nära slänkrönet. Brattorpsåns ravin är klassad som Natura 2000-område och eventuell åtgärd inom detta område kommer att kräva miljötillstånd för intrång i Natura 2000-område och eventuellt också tillstånd för vattenverksamhet.

I samband med att kompletterande geotekniska fältundersökningar utförs för projekteringen, så rekommenderas att försök även utförs för att avgränsa kvicklerans utbredning i sydväst.

## Signatur sida

### **Golder Associates AB**

2021-12-10



Linus Wrede  
*Handläggare*



Malin Sundsten  
*Uppdragsledare*



Ola Skepp  
*Kvalitetsgranskning*

LW/MS/OS

Org.nr 556326-2418

VAT.no SE556326241801

Styrelsens säte: Stockholm

[https://golderassociates.sharepoint.com/sites/128518/project files/5 technical work/9\\_rapporter/pm/27600vpm11.docx](https://golderassociates.sharepoint.com/sites/128518/project%20files/5%20technical%20work/9_rapporter/pm/27600vpm11.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**



**[golder.com](http://golder.com)**