



SGI, Statens geotekniska institut

*19139, Brandkärr, detaljerad stabilitetsutredning, 77100V*

PM Geoteknik

*Diariennr. SGI: 6.2-1910-0733*

## PM Geoteknik

Uppdrag  
Brandkärr Stabilitetsutredning, Göta Älv  
Uppdragsnummer  
7766881  
GNR  
19219  
Beställare  
Statens geotekniska institut, SGI  
Beställarens referens  
Per Bolin

Datum  
14/02/2020  
Revidering

Uppdragsledare  
Mikael Isaksson  
Telefon  
+46 10 505 48 60  
Mail  
[Mikael.isaksson@afry.com](mailto:Mikael.isaksson@afry.com)

Upprättad av:  
Erik Jonsson  
Maria Margenberg  
Granskad av:  
Axel Josefson

## Brandkärr detaljerad stabilitetsutredning

## PM Geoteknik

### Förord från SGI

Regeringen har gett Statens geotekniska institut (SGI) i uppdrag att minska sannolikheten för skred i Göta älv dalen och för att underlätta det arbetet har en delegation inrättats, Delegationen för Göta älv. Delegationen 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.

I arbetet med Delegationen för Göta älv utför SGI detaljerade och fördjupade stabilitetsutredningar för att klargöra stabilitetsförhållandena inom de områden som utpekats med hög- eller medelhög skredrisk inom Göta älvutredningen 2009–2012. Dessa utredningar ligger sedan till grund för beräkning av sannolikheten för skred och projektering av stabilitetshöjande åtgärder.

Stabilitetsutredningarna utförs av geotekniska konsulter på uppdrag av SGI. Då resultaten från dessa utredningar utgör underlag till fortsatt analysarbete, har SGI varit delaktiga i framtagandet av fält- och laboratorieundersökningar, val av hållfasthet, beräkningar samt redovisning av resultat. Konsulten har fått uppdraget att i möjligaste utsträckning ta fram en trolig skjuvhållfasthet inför beräkningarna. Dessa utredningar redovisar därmed inte slutgiltiga bedömningar av stabilitetsförhållandena, sannolikheten för skred eller vilka åtgärder som bör utföras för aktuellt område.

*Sekretariatet till Delegation för Göta älv*

# PM Geoteknik

## Innehållsförteckning

Förord från SGI .....	2
Sammanfattning och slutsatser .....	5
1 Objekt .....	6
2 Syfte .....	6
3 Styrande dokument .....	6
4 Underlag för utredningen .....	7
5 Arkivmaterial .....	7
6 Befintliga förhållanden – Översikt .....	8
6.1 Befintliga byggnader och anläggningar .....	8
6.2 Topografiska förhållanden .....	8
6.3 Ytbeskaffenhet .....	8
6.4 Geotekniska förhållanden .....	9
6.5 Hydrogeologiska förhållanden .....	12
7 Val av beräkningssektioner .....	13
7.1 Allmänt .....	13
8 Stabilitetsanalys .....	14
8.1 Allmänt .....	14
8.1.1 Skjuvhållfasthet .....	14
8.1.2 Portryck och yttre vattenstånd .....	16
8.1.3 Erosion .....	16
8.2 Erforderlig säkerhetsfaktor .....	16
8.3 Sektion 77/010V .....	17
8.3.1 Topografiska förhållanden .....	17
8.3.2 Geotekniska förhållanden .....	17
8.3.3 Valda laster .....	17
8.3.4 Resultat .....	17
8.4 Sektion 77/090V .....	19
8.4.1 Topografiska förhållanden .....	19
8.4.2 Geotekniska förhållanden .....	19
8.4.3 Valda laster .....	19
8.4.4 Känslighetsanalys .....	19

## PM Geoteknik

8.4.5	Resultat .....	20
8.4.6	Anmärkningar .....	21
8.5	Sektion 77/160V .....	22
8.5.1	Topografiska förhållanden .....	22
8.5.2	Geotekniska förhållanden .....	22
8.5.3	Valda laster .....	22
8.5.4	Resultat .....	22
8.5.5	Anmärkningar .....	24
8.6	Sektion 77/240V .....	24
8.6.1	Topografiska förhållanden .....	24
8.6.2	Geotekniska förhållanden .....	24
8.6.3	Valda laster .....	24
8.6.4	Resultat .....	24
8.6.5	Anmärkningar .....	27
8.7	Sektion 77/330V (H179-K4) .....	27
8.7.1	Topografiska förhållanden .....	27
8.7.2	Geotekniska förhållanden .....	27
8.7.3	Valda materialparametrar, portrycks och grundvattennivåer, yttre vattenstånd och laster .....	27
8.7.4	Resultat .....	27
8.7.5	Anmärkningar .....	29
9	Slutsats och vidare rekommendationer .....	29
9.1	Sammanställning resultat .....	29
9.2	Områdesindelning .....	30
9.3	Primära och sekundära skredzoner .....	31
9.4	Vidare rekommendationer .....	32

## Bilagor

Bilaga 1 .....	Utvärdering av skjuvhållfasthet
Bilaga 2 .....	Vald portrycksfördelning
Bilaga 3 .....	Stabilitetsberäkningar
Bilaga 4 .....	Utvärdering kvicklera CPT R

## PM Geoteknik

### Sammanfattning och slutsatser

På uppdrag av SGI, Statens geotekniska institut, har AFRY utfört en detaljerad stabilitetsutredning inom området Brandkärr beläget längs Göta älvs västra strand i höjd med Alelyckan inom Göteborgs Stad. Området är beläget ca 10 km norr om Göteborgs stadskärna och omfattar en sträcka på ca 350 – 400 meter.

Uppdraget omfattar en detaljerad stabilitetsutredning med stabilitetsberäkningar för rådande förhållanden för området som helhet. Inom uppdraget har stabilitetsberäkningar utförts i fem sektioner

Kvicklera är förekommande i området. I södra delen finns det i hela jordprofilen medans längre norrut förekommer kvickleran på större djup.

Beräkningsresultaten visar att erforderlig säkerhetsfaktor endast uppnås i delområden representerade av sektion 77/010 och 77/240.

För de delar av området som inte uppfyller stabilitetskraven rekommenderas en fördjupad stabilitetsutredning där ett lämpligt första steg är ett arbeta in de direkta skjuvförsök som utförts inom detta uppdrag men som ej inarbetats i denna utredning. Även triaxialförsök bedöms utifrån formen på kritiska glidytor kunna vara en lämpligt att komplettera med vid en fördjupad utredning.

Känslighetsanalys avseende portryck visar att framförallt de ytligare glidyterna påverkas av variationen i portrycket.

Känslighetsanalys avseende erosion visar att större erosion har relativt liten inverkan på beräknade säkerhetsfaktorer i området.

## PM Geoteknik

### 1 Objekt

På uppdrag av SGI, Statens geotekniska institut, har AFRY utfört en detaljerad stabilitetsutredning inom området Brandkärr beläget längs Göta älvs västra strand i höjd med Alelyckan inom Göteborgs Stad. Området är beläget ca 10 km norr om Göteborgs stadskärna och omfattar en sträcka på ca 350 – 400 meter.

Uppdraget omfattar stabilitetsberäkningar för rådande förhållanden. Inom uppdraget har stabilitetsberäkningar utförts för fyra sektioner. I Figur 1-1 redovisas ungefärligt läge på undersökt område på satellitkarta.



Figur 1-1 Översiktsfotot. Ungefärligt läge på utredningsområdet markerat med rött. (Omarbetad från Google Earth Pro).

### 2 Syfte

Föreliggande detaljerade utredning har utförts med syfte att genom stabilitetsberäkningar i utvalda sektioner utreda stabilitetsförhållandena för området som helhet. Detta PM syftar till att redovisa förutsättningar och gjorda antaganden för utredningen samt redovisa resultaten för utförda beräkningar.

### 3 Styrande dokument

Styrande dokument som ligger till grund för denna utredning är:

## PM Geoteknik

- Delegationen för Göta älv 2019, *DGA00XST01 Riktlinjer för tekniskt arbete, Avser stabilitetsutredningar längs Göta älv*, Statens geotekniska institut, SGI, Linköping, 2019-11-05.
- Delegationen för Göta Älv 2019, *DGA00XST02 Riktlinjer för dokumenthantering, Avser stabilitetsutredningar längs Göta älv*, Statens geotekniska institut, SGI, Linköping, 2019-11-05.
- IEG Rapport 4:2010. Tillståndsbedömning/klassificering av naturliga slänter och slänter med befintlig bebyggelse och anläggningar, SGF.
- SGI varia 638. *Modifiering av metodiker använda inom Göta älvutredningen*. Linköping 2012

## 4 Underlag för utredningen

Som underlag för utförda beräkningar har förutsättningar enligt Markteknisk undersökningsrapport (MUR/Geo), för Brandkärr stabilitetsutredning, daterad 2020-02-14 använts i beräkningarna. Följande underlag har använts i utredningsarbetet:

- *Information om uppdraget har erhållits från beställaren. (Terrängmodell inkl. batymetrimodell i form av GIS-underlag, fastighetsgränser, tidigare utredningar mm).*
- *Jordarts- och jorddjupskartor har inhämtats från Sveriges geologiska undersöknings (SGU) tjänst Kartgeneratorn (<https://www.sgu.se/>).*
- *Ledningsunderlag har inhämtats från Post- och telestyrelsens (PTS) tjänst Ledningskollen ([www.ledningskollen.se](http://www.ledningskollen.se)).*
- *Underlag från fastighetsägare rörande ledningar inom aktuella fastigheter samt grundläggning av byggnader.*

## 5 Arkivmaterial

Delar av följande tidigare utredningar har inarbetats i denna handling:

- *Bäckebo, fördjupad stabilitetsutredning. EQC Väst AB. 2014-04-23.*
- *Göta Älvutredningen, GÄU. Delområde 01, Angeredsbron-Marieholm. 2011-10-31.*
- *Göta Älvutredningen, GÄU. Delområde 10. Surte-Marieholm. 2011-10-31.*

Övriga närliggande äldre borrhåll erhållet från beställarens borrhållsdatabas redovisas endast på planritning och som enstaka borrhåll.



## PM Geoteknik

### 6 Befintliga förhållanden – Översikt

Området är beläget längs Göta älvs västra strand ca 10 km norr om Göteborgs stadskärna i höjd med Alelyckan. Undersökningsområdet omfattar en sträcka på ca 350 - 400 meter.

#### 6.1 Befintliga byggnader och anläggningar

Delar av det undersökta området används som parkeringsyta och gatumark. Intill det undersökta området finns industritomter där diverse verksamheter bedrivs. I det sydvästra hörnet av området finns flera containrar uppställda ca 60 meter från älvstranden. Se Figur 1-1.

Inom området finns en större dagvattenledning som korsar områdets centrala delar. Inom Schenkers verksamhetsområde återfinns även markförlagda el och VA-ledningar.

#### 6.2 Topografiska förhållanden

Generellt lutar marken i riktning mot älven med en liten svacka de sista 10 till 20 metrarna innan vattenbrynet. Från vattenbrynet och ner i älven finns en 10 till 20 meter lång undervattenslänthet med lutning som varierar mellan 1:1 och 1:3 ut i älven. Generellt bedöms undervattensläntheten ha en något flackare lutning i de norra delarna av området och brantare lutning i områdets södra del.

Älvbotten ligger på ca nivå -7,0 längs hela det undersökta området.

Medelvattenståndet ligger på +0,2 och lägsta lågvattenståndet ligger på -0,5.

#### 6.3 Ytbeskaffenhet

Området utgörs från nordväst i riktning mot älven av hårdgjorda ytor som övergår till vassområde som följer älvstranden innanför erosionsskyddet. Älvstranden längs med den aktuella delsträckan är erosionsskyddad med bergkrossmaterial i varierande stenstorlek ovan vattenytan, se Figur 6-1 och Figur 6-2. Erosionsskyddets utbredning och kvalitet under vattenytan är inte undersökt.

## PM Geoteknik



Figur 6-1 Erosionsskydd (bergekross) längs med älvstranden. (Foto från platsbesök 2019-11-14).



Figur 6-2 Erosionsskydd med bakomliggande vassområde. Fotoriktning mot norr. (Foto från platsbesök 2019-11-14).

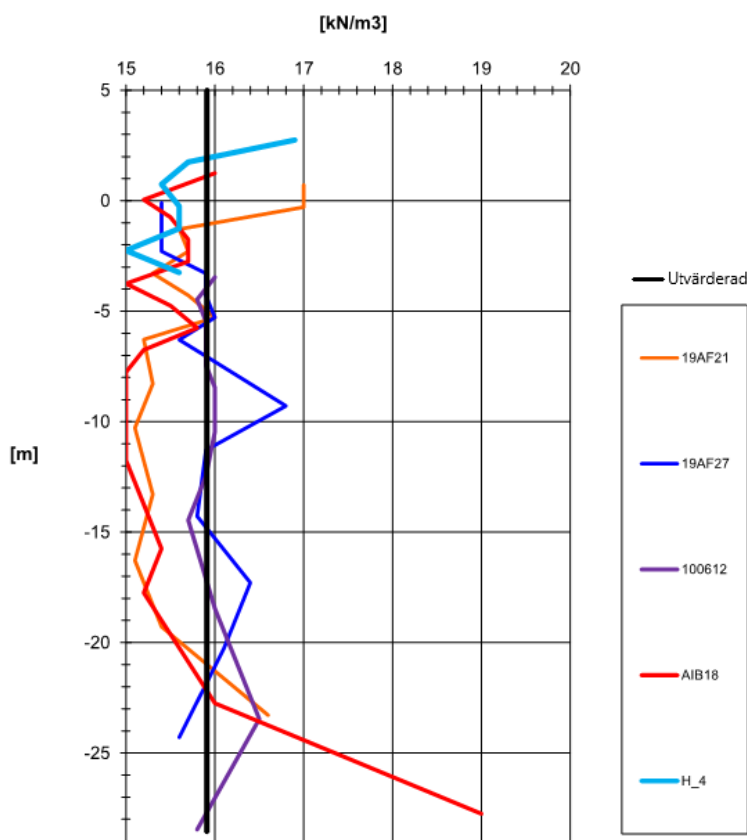
### 6.4 Geotekniska förhållanden

Utförda sonderingar visar att det översta jordlagret består av fyllning vars mäktighet varierar mellan 0 till 2 meter. I södra delen av området är fyllnadslagret tjockare än norra delen. Fyllningens egenskaper har inte vidare undersökts men bedöms utgöras av

## PM Geoteknik

friktionsjord med varierande fraktioner. Fyllningen överlagrar torrskorpelera som har en tjocklek mellan 0,5 till 1 meter som sedan övergår i ett mäktigt lerlager med siltinslag. Utförda sonderingar har generellt avbrutits vid 25 meters djup. Vid djupare trycksondering utförd i punkt 19AF24 har lerans mäktighet uppmätts till ca 32 meter, därefter har sonderingen stoppat i den underliggande friktionsjorden på ca 37 meters djup. En djupare sondering har även utförts i punkt 19AF27, där har sonderingen avbrutits vid 40 meters djup utan att friktionsjorden påträffats.

Tungheten på leran varierar generellt mellan 15 till 16,5 kN/m<sup>3</sup> och har utvärderats till ca 16 kN/m<sup>3</sup>, se Figur 6-3.

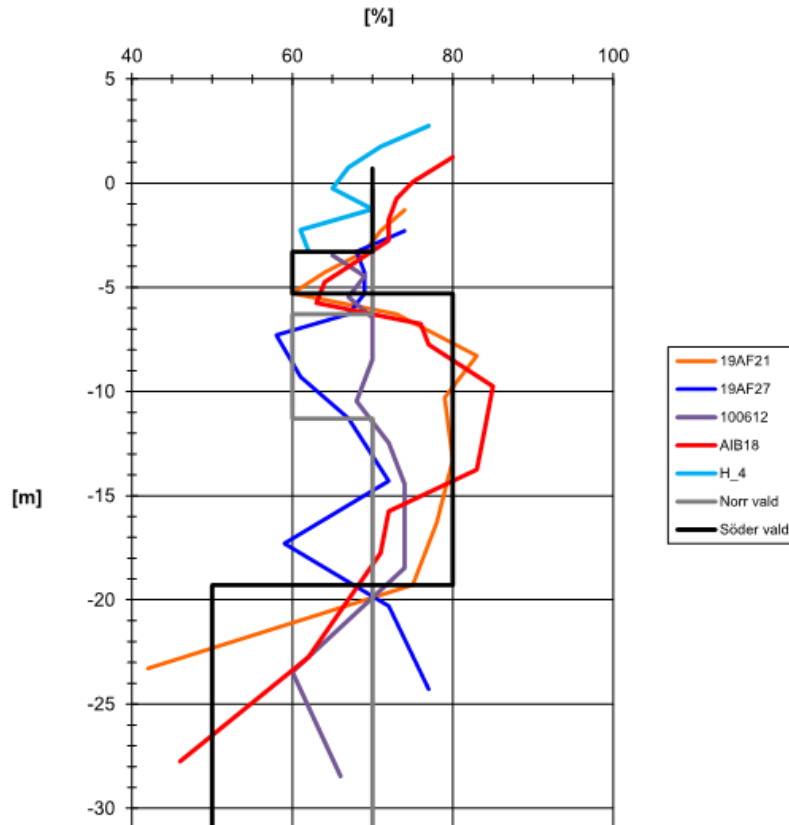


Figur 6-3 Utvärderad tunghet lera.

Den naturliga vattenkvoten varierar mellan 55% och 100% över hela området. Leran är generellt något överkonsoliderad med en överkonsolideringsgrad (OCR) på mellan 1,6 till 3,7.

Konflytgränsen varierar generellt mellan 42% och 83%. Två antagna konflytgränser för leran har utvärderats, en för norra och en för södra delen av området. Dessa har använts för korrigering av den odränerade skjuvhållfastheten för CPT-sondering samt vingförsök, se Figur 6-4.

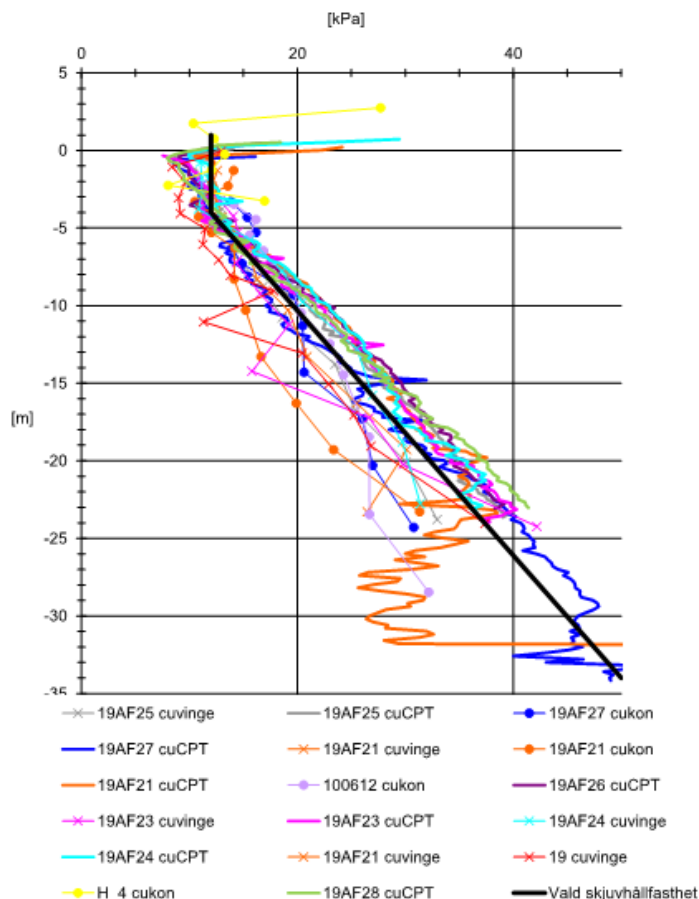
## PM Geoteknik



Figur 6-4 Utvärderad konflytgräns.

## PM Geoteknik

Den korrigerade skjuvhållfastheten för hela området har utvärderats till konstant 12 kPa ner till nivå -4,0 och ökar därefter med 1,3 kPa/m. Se Figur 6-5.



Figur 6-5 Utvärderad odränerad skjuvhållfasthet för "landleran" med korrigering för konflytgräns och överkonsolideringsgrad, sammanställd mot nivå.

Enligt nu utförda undersökningar är leran är mellan- till högsensitiv men inte kvick i området ner till längdmätning ca 77/300 längs Göta älv. Arkivpunkter och utvärdering av förekomst av kvicklera genom tolkning av CPT-R- och trycksönderingar visar dock att kvicklera sannolikt förekommer på djup över ca 20 m inom delar av detta område, se Bilaga 4. Tolkning har skett utifrån resistivitet, mantelfriktion och resultat från laboratorieundersökningar. Söder om längdmätning ca 77/300 återfinns kvicklera inom större delen av lerprofilen enligt utvärdering i utredningen "Göta Älvutredningen, GÄU. Delområde 01, Angeredsbron-Marieholm", daterad 2011-10-31.

### 6.5 Hydrogeologiska förhållanden

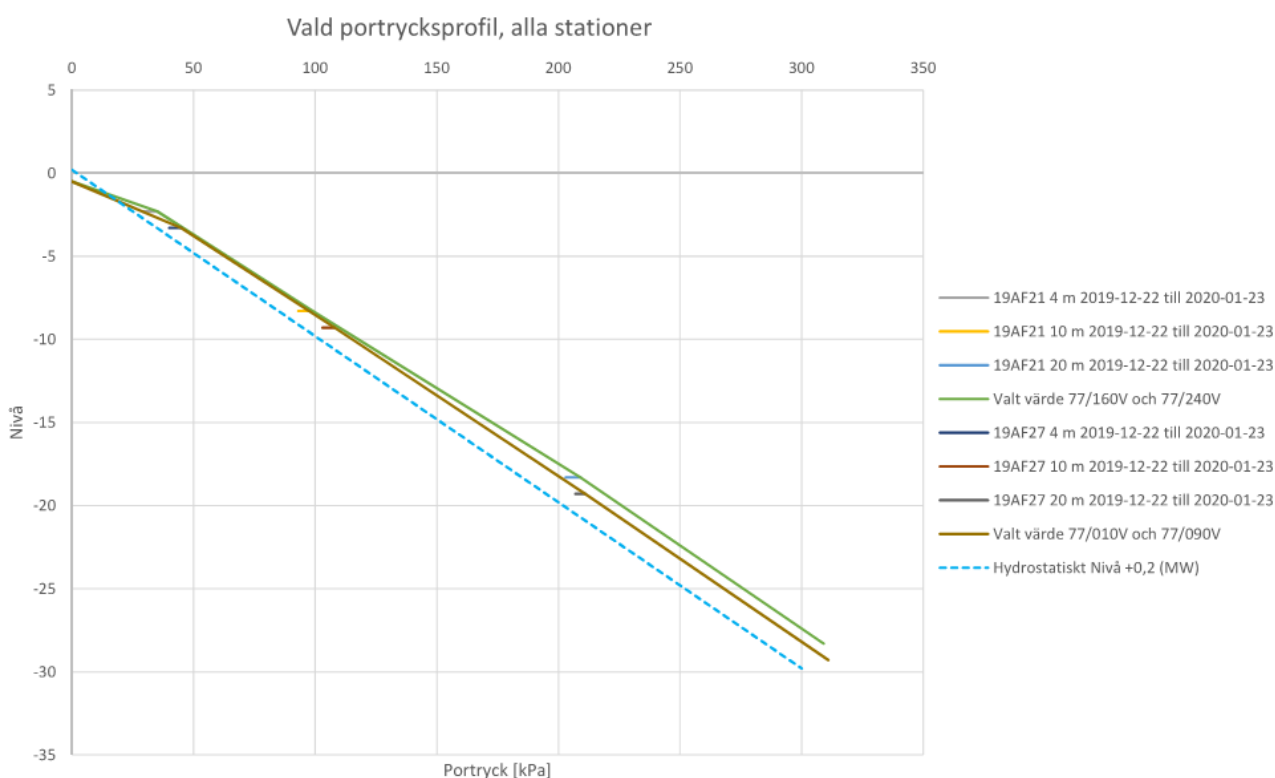
Portrycket i leran är uppmätt i två portrycksstationer, 19AF21 och 19AF27, med tre portrycksspetsar i vardera station på varierande nivå. Avläsning av portrycksstationerna har skett med automatisk avläsning ca 3 gånger per dygn. Portryckstation 19AF27 ligger i områdets norra del ca 25 meter från älvstranden och den andra portrycksstationen,

## PM Geoteknik

19AF21, ligger i områdets södra del ca 35 meter från älvstranden. Mellan portrycksstationerna är det ca 240 meter.

Generellt visar de båda portrycksstationerna god samstämmighet i uppmätta trycknivåer, en mindre skillnad mellan de två stationerna kan ses mot djupet.

Portrycksmätningar i id 19AF21 och 19FA27 visar på något artesiska nivåer och tillväxten mot djupet är något högre än hydrostatiskt, se Bilaga 2 samt Figur 6-6.



Figur 6-6 Valda portrycksprofiler. Grafen visar även högsta och lägsta uppmätta värden för respektive station på varje nivå.

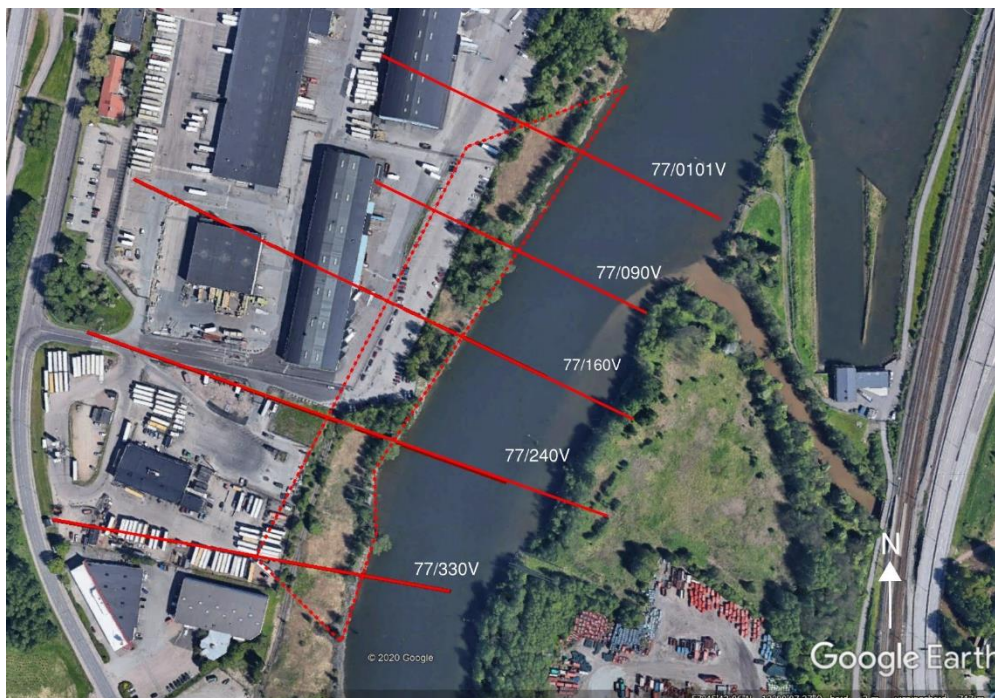
## 7 Val av beräkningssektioner

### 7.1 Allmänt

Inom ramen för uppdraget har fyra sektioner undersökts. Läget på undersökta sektioner har utifrån geometri, platsbesök och tidigare utförda undersökningar valts i samråd med SGI, se Figur 7-1. Även en tidigare beräknad sektion, 77/330V, från utredningen *Bäckebol, fördjupad stabilitetsutredning*, EQC Väst AB, 2014-04-23, har räknats om med nya parameterintervall inom denna utredning.

Namn på utredda sektioner är bestämda utifrån läge vid längdmätning längs Göta Älv.

## PM Geoteknik



Figur 7-1 Studerat område (markerat i rött) samt utredda sektioner. (Omarbetad från Google Earth pro).

## 8 Stabilitetsanalys

### 8.1 Allmänt

I enlighet med styrdokument har beräkningar utförts med datorprogrammet Slope/W Geostudio 2020, version 10.2.0, enligt Morgenstern-Price, med totalsäkerhetsmetoden. Beräkningar har utförts med odränerad och kombinerad analys.

Stabiliteten är beräknad och redovisad för cirkulära glidytor med beräkningsmetoden grid and radius.

Känslighetsanalys gällande portryck har utförts i 77/090V och känslighetsanalys gällande erosion har utförts i 77/240V.

Beräkningssektionernas geometri baseras på inmätningar, utförda av AFRY, samt batymetri och terrängmodell tillhandahållen av SGI.

#### 8.1.1 Skjuvhållfasthet

Den odränerade skjuvhållfastheten för området har utvärderats från nu utförda och äldre hållfasthetsbestämningar i form av vingförsök, konförsök samt CPT-sondering. På större djup har större vikt lagts vid CPT-sonderingarna avseende skjuvhållfasthetens ökning mot djupet då vingförsök och konförsök tenderar att "vika av" när djupet blir stort.

## PM Geoteknik

Lerans odränerade skjuvhållfasthet har generellt god samstämmighet i hela undersökningsområdet och för beräkningarna har en nivårelaterad skjuvhållfasthetsprofil för hela landområdet, "landleran" tagits fram, se Figur 6-5 och Bilaga 1.

I två beräkningssektioner har CRS-försök utförts. Med utgångspunkt från dessa CRS-försök har empiriska studier av lerans odränerade skjuvhållfasthet och dess förkonsolideringstryck utförts. Hållfastheten har korrigerats med avseende på rådande överkonsolideringsgrad och konflytgräns.

Skjuvhållfasthet för lera i den djupare delen av älven, vidare benämnt "lera älvbotten", har valts utifrån utvärderingsmetodik beskriven i SGI:s riktlinjer för tekniskt arbete. Metodiken bygger på utvärdering av hållfastheten hos lera under älven utifrån vattendjup och uppmätta värden på skjuvhållfasthet från landpunkter. Metoden baseras på empiriska samband och kunskap om områdets geologiska historia.

För jordlager under älven ansätts en skjuvhållfasthet på 3kPa omedelbart vid älvbotten som sedan ökar linjärt mot det värde som motsvarar den hållfasthet som råder på land. Hållfastheten under älvbotten förutsätts uppnått samma värde som landleran på det djup under älvbotten som motsvarar vattendjupet vid medelvattenstånd. Den utvärderade skjuvhållfastheten för lera älvbotten har jämförts med ett antal sonderingar uppströms, SO01394C, SO01366C, SO01252C och SO01877C som visar på hållfasthetsvärden i samma härad.

I övergångszonen från vattenbrynet ner till älvbotten, vidare benämnt som "lera älvstrand", modelleras lera med samma skjuvhållfasthet som lera under älvbotten men med en djuprelaterad materialmodell med utgångspunkt från älvbottens överyta.

Utifrån detta har alltså tre skilda jordmodeller utvärderats för området; landlera, lera älvbotten och lera älvstrand. Antagna parametrar presenteras nedan i Tabell 8-1.

Tabell 8-1 Jordegenskaper använda i stabilitetsberäkningarna.

Jordlager	Tunghet kN/m <sup>3</sup>	Odränerad skjuvhållfasthet kPa	Friktionsvinkel grader
Torrskorpelera	15,9	-	30
Lera land	15,9	12; om Z > nivå -4 12+1,3/m; om Z < nivå -4	30
Lera älvbotten	15,9	3; om Z > nivå -7 3+3,1/m; om Z < nivå -7	30
Lera älvstrand	15,9	3+3,1*Z <sub>djup</sub>	30
Fyllning	18	-	34
Erosionsskydd	18	-	42

Lerans dränerade hållfasthetsegenskaper har vid stabilitetsberäkningarna enligt empiri antagits till  $\Phi' = 30^\circ$  och  $c' = 0,1 * C_u$ .



## PM Geoteknik

### 8.1.2 Portryck och yttre vattenstånd

För beräkningarna har värden motsvarande de högsta uppmätta värdena under mätperioden december - januari 2020 använts, se Bilaga 2. En portrycksprofil har utvärderats för sektion 77/010V och 77/090V samt en portrycksprofil för sektion 77/160V och 77/240V. Se även avsnitt 6.5.

De två utvärderingarna av portryck är väldigt lika men skiljer sig något åt på djupet. Skillnaden mellan modellerna bedöms inte ha någon större inverkan på de kritiska glidytorerna. Se Figur 6-6.

I utredningsarbetet har medelvattenstånd (MW) samt lägsta lågvattenstånd (LLW) för Göta Älv valts till +0,2 respektive -0,5 i enlighet med styrdokument tillhandahållet av SGI. Detta motsvarar dimensionerande värden för referenspunkt Angeredsbron. I beräkningarna ansätts vattennivån i älven till lägsta lågvatten.

En känslighetsanalys med avseende på portryck har utförts i sektionen 77/090V där grundvattenytan har höjts till i nivå med markytan och portrycket i hela profilen har höjts med 10 kPa.

### 8.1.3 Erosion

En känslighetsanalys har utförts i sektion 77/240V med förändrad geometri i älven till följd av erosion. Botten i älven har sänkts 1 respektive 2 meter samt att slänterna i vattnet anpassats och sänkts under det utlagda erosionsskyddet.

## 8.2 Erforderlig säkerhetsfaktor

Stabilitetsutredningen har utförts enligt IEG:s Rapport 4:2010 "Tillståndsbedömning/klassificering av naturliga slänter och slänter med befintlig bebyggelse och anläggningar" där erforderlig säkerhetsfaktor gäller för detaljerad stabilitetsutredning där markanvändningen avser "Befintlig bebyggelse och anläggning" och "Annan mark". Enligt ovanstående gäller därmed rekommendation enligt Tabell 8-2 på säkerhetsfaktorn mot stabilitetsbrott utifrån rådande förutsättningar.

Tabell 8-2 Brandkärr, intervall för rekommenderade säkerhetsfaktorer.

	<b>Befintlig bebyggelse och anläggning</b>
$F_C$	1,7-1,5
$F_{komb}$	1,5-1,3

Val av erforderlig säkerhetsfaktor baseras på ett antal olika gynnsamma och ogynnsamma faktorer som beror på undersökningens omfattning och osäkerheten i beräkningsantaganden.

Inom det aktuella området utgörs marken generellt av lös till halvfast lera som är mellan till högsensitiv med förekomst av kvicklera på större djup. Glidytor som ej uppnår erforderlig säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott når inte ner till kvickleran. Det geotekniska underlaget är relativt omfattande för området. Sektioner på land är inmätta men batymetri i Göta älv är något osäker och föränderlig. Erosionsaktiviteten är relativt liten på de sträckor där

## PM Geoteknik

erosionsskyddet bedöms vara i ok skick. Konsekvenserna av ett skred är relativt stora då det bedöms kunna ge betydande skada på omgivande fastigheter och ledningar inom området samt att det föreligger risk för personskada. Ett skred hade även kunnat ge effekter på framkomligheten i älven och påverkat vattenintaget till Alelyckan.

Med utgångspunkt från de förutsättningar (både yttre och geotekniska) som råder inom det aktuella området rekommenderas säkerhetsfaktor enligt Tabell 8-3 för denna detaljerade stabilitetsutredning.

*Tabell 8-3 Brandkärr, valda erforderliga säkerhetsfaktorer mot stabilitetsbrott i de analyserade beräkningssektionerna.*

	<b>Erforderlig säkerhetsfaktor</b>
$F_C$	1,6
$F_{komb}$	1,4

### 8.3 Sektion 77/010V

Denna sektion bedöms vara representativ för 76/945V till 77/015V i Göta älvs längdmätning.

Denna sektion har även beräknats med dimensionerande värden enligt partialkoefficientmetoden.

#### 8.3.1 Topografiska förhållanden

I denna sektion finns två mindre undervattenslänter som går ihop via en undervattenhylla. Älvbotten i farleden ligger generellt på nivå ca -7,0. Undervattensslänten har en lutning på ca 1:1 upp mot undervattensläntrönet på nivå -3,1 som sedan följs av den övre slänten som har en lutning på ca 1:5 upp till älvstranden på nivå +1,2. Vid älvstranden är ett lager erosionsskydd utlagt. Erosionsskyddet höjer sig ca 1 meter över bakomliggande mark.

#### 8.3.2 Geotekniska förhållanden

Förekomst av torv har observerats på 1 meters djup. Vid älvstranden är erosionsskydd utlagt. Längre bort från älven finns ett 1 till 2 meter mäktigt fyllnadslager som överlagras ca 1 meter mäktigt torrskorpelera innan efterföljande mäktiga lerlager.

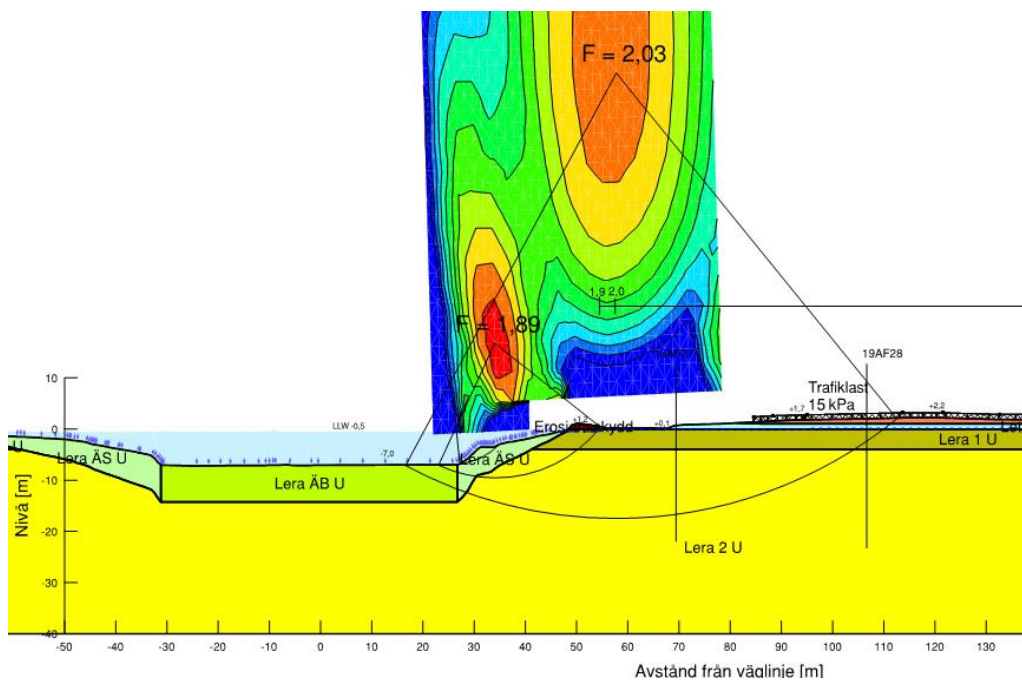
#### 8.3.3 Valda laster

En ca 60 meter lång trafiklast på 15 kPa som representerar parkeringsytan används i odränerad analys. Längre bak har en ca 45 meter lång last på 30 kPa motsvarande lasten från lagerlokalen använts. Lagerlokalen förutsätts endast ha pålad stomme.

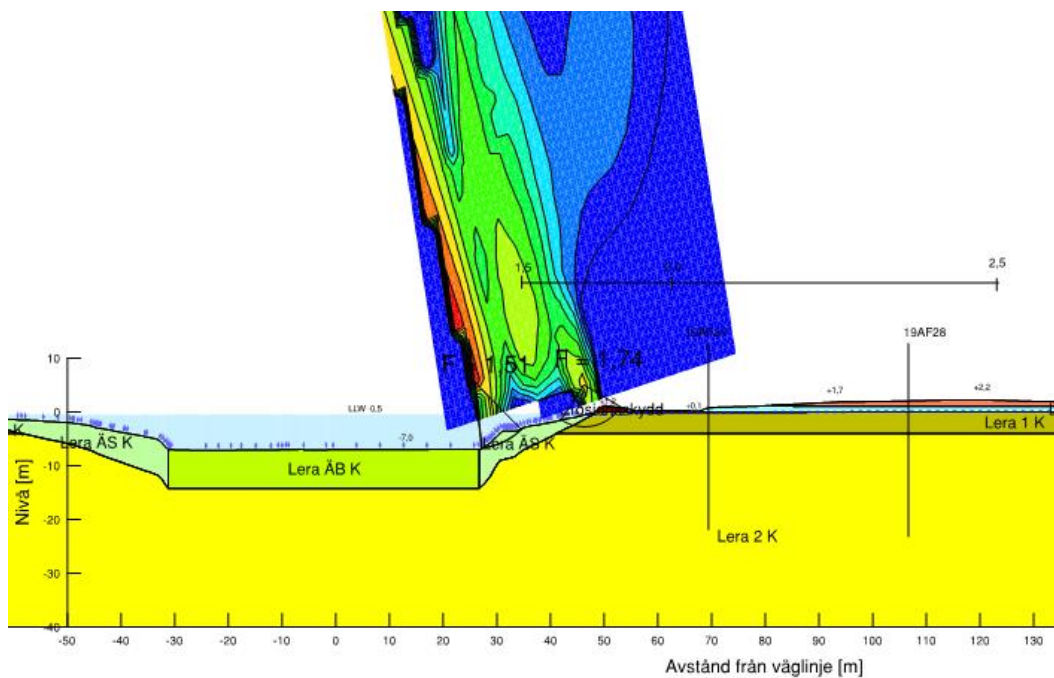
#### 8.3.4 Resultat

Odränerad analys ger en säkerhetsfaktor på  $F_C=1,89$  se Figur 8-1. Säkerheten är som lägst i den lägre undervattenslänthen vid kombinerad analys,  $F_{komb}=1,51$ , se Figur 8-2. Utförda stabilitetsberäkningar visar att den beräknade säkerhetsfaktorn mot stabilitetsbrott är tillfredställande både för långa och korta glidytor i slänten.

## PM Geoteknik



Figur 8-1 Beräkningssektion 77/010V, odränerad analys.



Figur 8-2 Beräkningssektion 77/010V, kombinerad analys.

## PM Geoteknik

Tabell 8-4 Brandkärr, säkerhetsfaktorer mot stabilitetsbrott i sektion 77/010V.

Sektion	Odränerad analys $F_c$	Kombinerad analys $F_{komb}$
77/010V	1,89 Ok	1,51 Ok

Tabell 8-5 Brandkärr, säkerhetsfaktorer mot stabilitetsbrott i sektion 77/010V partialkoefficientmetoden.

Sektion	Odränerad analys $F_{EN}$	Kombinerad analys $F_{EN}$
77/010V	1,26 Ok	1,16 Ok

Stabilitetsberäkningarna presenteras i sin helhet i Bilaga 3.

### 8.4 Sektion 77/090V

Denna sektion bedöms vara representativ för 77/015V till 77/100V i Göta älvs längdmätning.

#### 8.4.1 Topografiska förhållanden

Denna sektion har en relativt jämnt lutande undervattenslänt upp till älvstranden. Älvbotten börjar på nivå -7,0 och undervattenslänten börjar ca 41 meter sett från längdmätning i Göta älv. Slänten har en lutning på ca 1:2,5 upp mot älvstranden som har utlagt erosionsskydd på nivå +1,6. Bakom erosionsskyddet ligger marken på ca nivå +1 i en ca 20 meter lång svacka. Därefter lutar marken lätt uppåt i riktning bort från Göta älv och ligger på nivå +3,1 ca 100 meter från Göta älvs strandlinje.

#### 8.4.2 Geotekniska förhållanden

I sonderingspunkt AIB18, har kvicklera observerats på nivån -23,0.

Vid älvstranden är ett erosionsskydd utlagt, längre bort från älven finns 1 till 2 meter mäktigt fyllnadslager som överlagrar ca 0,5 till 1 meter torrskorpelera innan efterföljande mäktiga lerlager.

#### 8.4.3 Valda laster

Två laster på 15 kPa som är ca 28 respektive 24 meter långa, har använts för att representera parkeringsytan. Längre bak har en ca 40 meter lång last på 30 kPa motsvarande lasten från lagerlokalen använts. Lagerlokalen förutsätts ha pålad stomme.

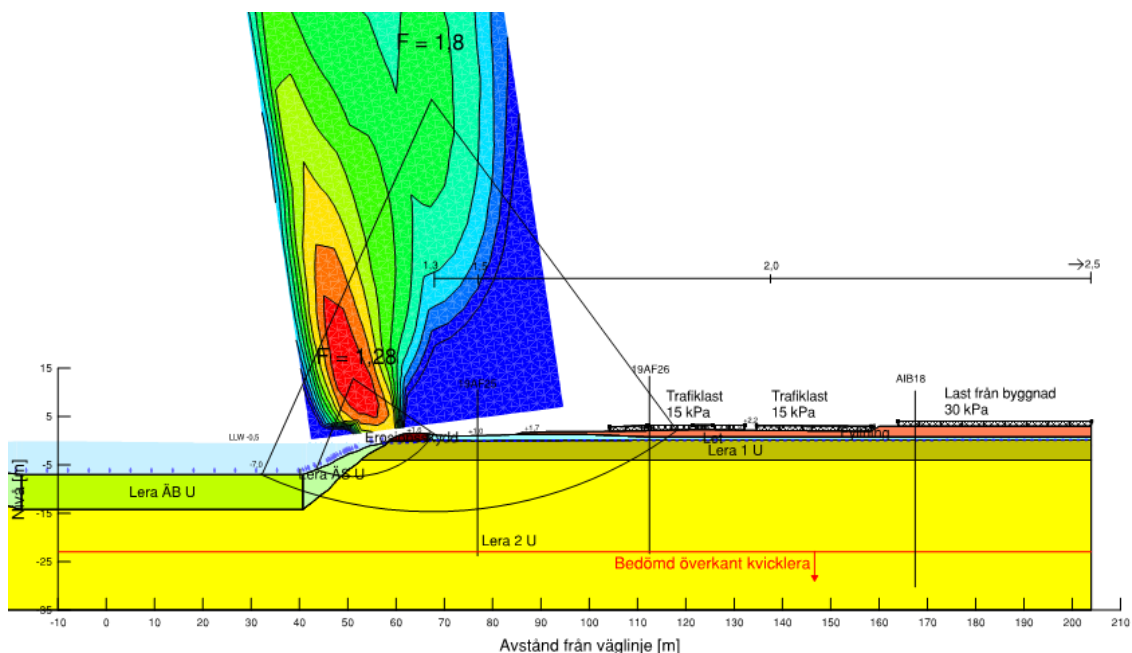
#### 8.4.4 Känslighetsanalys

En känslighetsanalys har utförts i kombinerad analys där grundvattennivån har höjts till markytan.

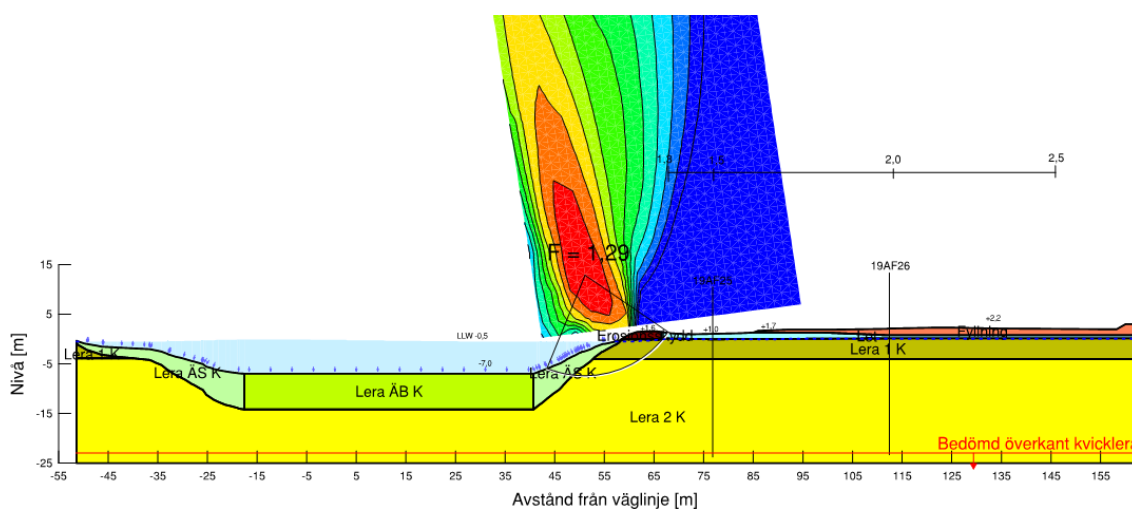
## PM Geoteknik

### 8.4.5 Resultat

Säkerhetsfaktorn är som lägst för den grunda glidyten i undervattensslänten,  $F_c=1,28$ , se Figur 8-3. Kombinerad analys ger en säkerhetsfaktor på  $F_{komb}=1,29$ , se Figur 8-2. Utförda stabilitetsberäkningar visar att den beräknade säkerhetsfaktorn mot stabilitetsbrott ej är tillfredställande för korta glidytor i slänten men är tillfredställande för längre glidytor.



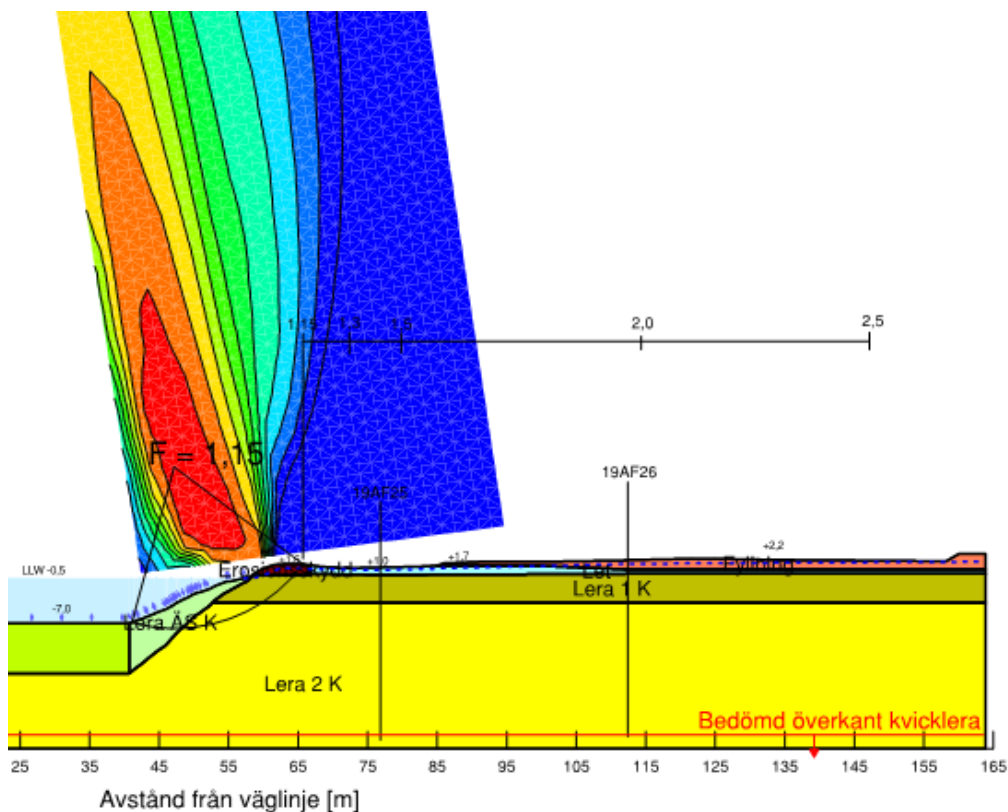
Figur 8-3 Beräkningssektion 77/090V, odränerad analys.



Figur 8-4 Beräkningssektion 77/090V, kombinerad analys.

## PM Geoteknik

Känslighetsanalysen med höjd grundvattennivå visar att beräknad säkerhetsfaktor minskar till  $F_{\text{komb}}=1,15$  med en höjning av 10 kPa i portrycksprofilen, se Figur 8-5. Det är framförallt portrycket i den övre delen av jordprofilen som ger inverkan på säkerhetsfaktorn.



Figur 8-5 Beräkningssektion 77/090V, känslighetsanalys, höjd grundvattennivå, kombinerad analys.

Tabell 8-6 Brandkärr, säkerhetsfaktorer mot stabilitetsbrott i sektion 77/090V.

Sektion	Odränerad analys $F_c$	Kombinerad analys $F_{\text{komb}}$
77/090V	1,28 Ej ok	1,29 Ej ok
77/090V, höjd grundvattennivå	-	1,15 Ej ok

### 8.4.6 Anmärkningar

Denna sektion uppfyller ej erforderlig säkerhetsfaktor för stabilitetsbrott. Det bedöms att en fördjupad utredning för området som denna sektion representerar skulle kunna utföras för att uppnå erforderlig säkerhetsfaktor för stabilitetsbrott. Vidare rekommendationer beskrivs i Kapitel 10.

## PM Geoteknik

I sektionen finns tolkad kvicklera på nivå -23 men ingen av de beräknade glidyterna går igenom det lagret.

Känslighetsanalys med höjd grundvattenyta visar att slänten är känslig mot en ökning i portryck. Bedömningen är att inverkan av en portryckshöjning är likvärdig i övriga sektioner där ingen känslighetsanalys avseende portryck har utförts.

### 8.5 Sektion 77/160V

Denna sektion bedöms vara representativ för 77/100V till 77/230 i Göta älvs längdmätning.

#### 8.5.1 Topografiska förhållanden

Denna sektion har en relativt jämn lutande undervattenslänt. Älvbotten ligger på ca nivå -7,0. Undervattenslänten har en lutning på 1:1 upp mot älvstranden som har utlagt erosionskydd på nivå +0,8. Erosionskyddet är något högre än bakomliggande mark, således går marken ner i en ca 10 meter lång svacka ca 0,5 m lägre än erosionskyddet. I fortsatt riktning bort från Göta älv lutar marken lätt upp på nivå +2,5 ca 10 meter från Göta älvs strandlinje.

#### 8.5.2 Geotekniska förhållanden

Vid älvstranden finns ett erosionskydd. Längre bort från älven finns 1 till 2,5 meter mäktigt fyllnadslager som överlagrar ca 0,5 meter tjock torrskorpelera. Underliggande lager med lera bedöms sträcka sig ner till nivå -30.

#### 8.5.3 Valda laster

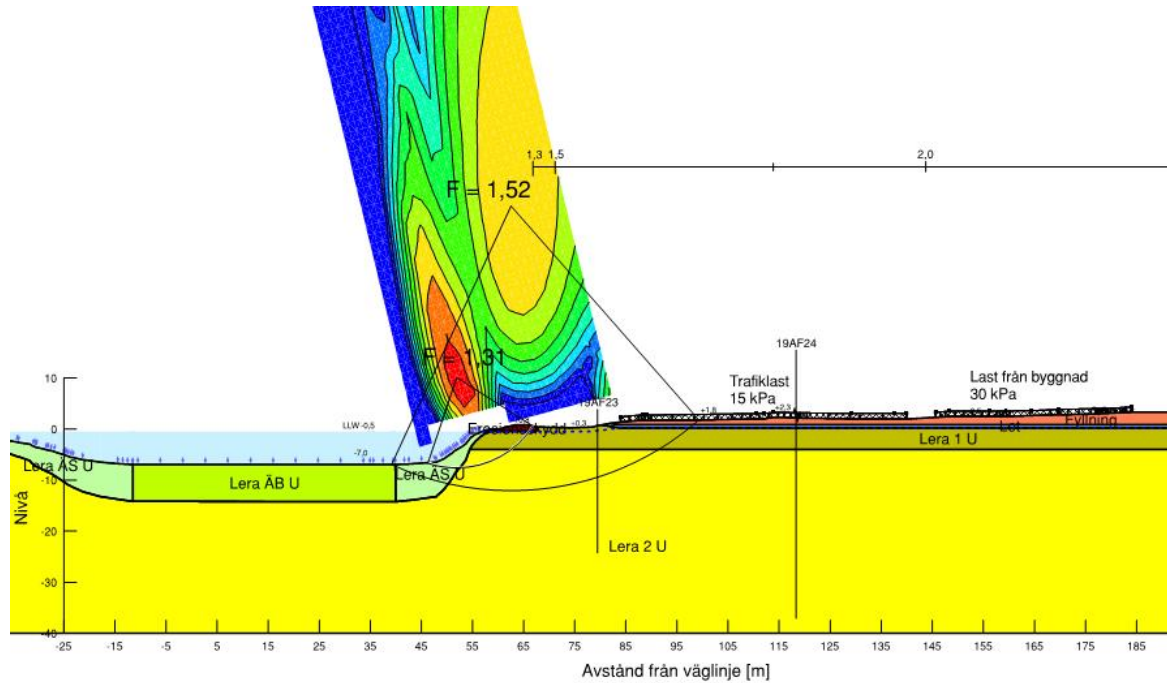
En ca 65 meter lång last på 15 kPa som representerar parkeringsytan används. Längre bak har en ca 39 meter lång last på 30 kPa motsvarande lasten från byggnaden använts. Byggnaden förutsätts ha pålad stomme.

#### 8.5.4 Resultat

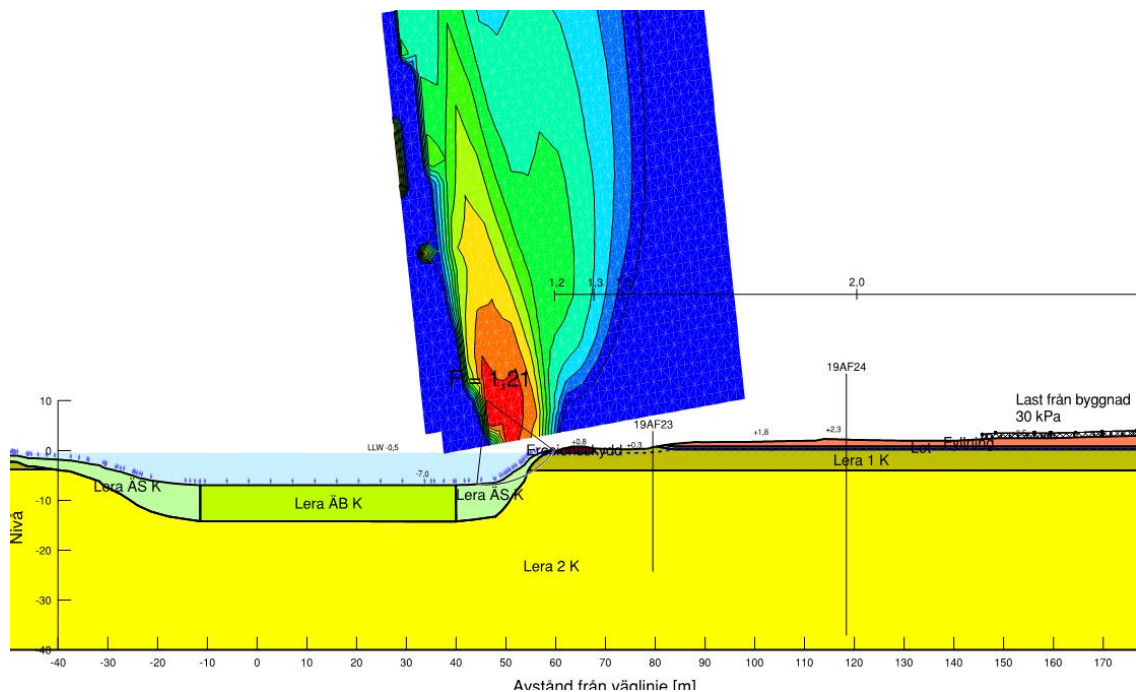
Odränerad analys ger en säkerhetsfaktor på  $F_c=1,31$ , se Figur 8-6. Kombinerad analys är som lägst för den grunda glidyten från strandkanten,  $F_{komb}=1,21$ , se Figur 8-7. Utförda stabilitetsberäkningar visar att den beräknade säkerhetsfaktorn mot stabilitetsbrott ej är tillfredställande för korta eller långa glidytor i slänten.

Beräkningar presenteras i sin helhet i Bilaga 3.

## PM Geoteknik



Figur 8-6 Beräkningssektion 77/160, odränerad analys.



Figur 8-7 Beräkningssektion 77/160V, kombinerad analys.



## PM Geoteknik

Tabell 8-7 Brandkärr, säkerhetsfaktorer mot stabilitetsbrott i sektion 77/160V.

Sektion	Odränerad analys $F_c$	Kombinerad analys $F_{komb}$
77/160V	1,31 Ej ok	1,21 Ej ok

### 8.5.5 Anmärkningar

Erforderlig säkerhetsfaktor för stabilitetsbrott uppnås ej för denna sektion. Det bedöms att en fördjupad utredning för området som denna sektion representerar skulle kunna utföras för att uppnå erforderlig säkerhetsfaktor för stabilitetsbrott. Vidare rekommendationer presenteras under Kapitel 10.

## 8.6 Sektion 77/240V

Denna sektion bedöms vara representativ för 77/230V till 77/305V i Göta älvs längdmätning.

Denna sektion har även beräknats med dimensionerande värden enligt partialkoefficientmetoden.

### 8.6.1 Topografiska förhållanden

Älvbotten ligger på ca nivå -7,0. Undervattenslätten är bågformad med en lutning på 1:3 upp till älvstranden. Erosionsskyddet som är utlagt vid älvstranden är högre än bakomliggande mark, således går marken bakom erosionsskyddet ner i en ca 15 meter lång sänka ca 0,8 meter under nivån för erosionsskyddet. I fortsatt riktning bort från Göta älv lutar marken lätt uppåt till en nivå på +3,6 vid ca 100 meter från Göta älvs strandlinje.

### 8.6.2 Geotekniska förhållanden

Älvstranden är erosionsskyddad. Längre bort från älven finns 1 till ca 3 meter mäktigt fyllnadslager som överlagrar ca 0,5 meter torrskorpelera. Underliggande lerlager bedöms stäcka sig ner till nivå -32.

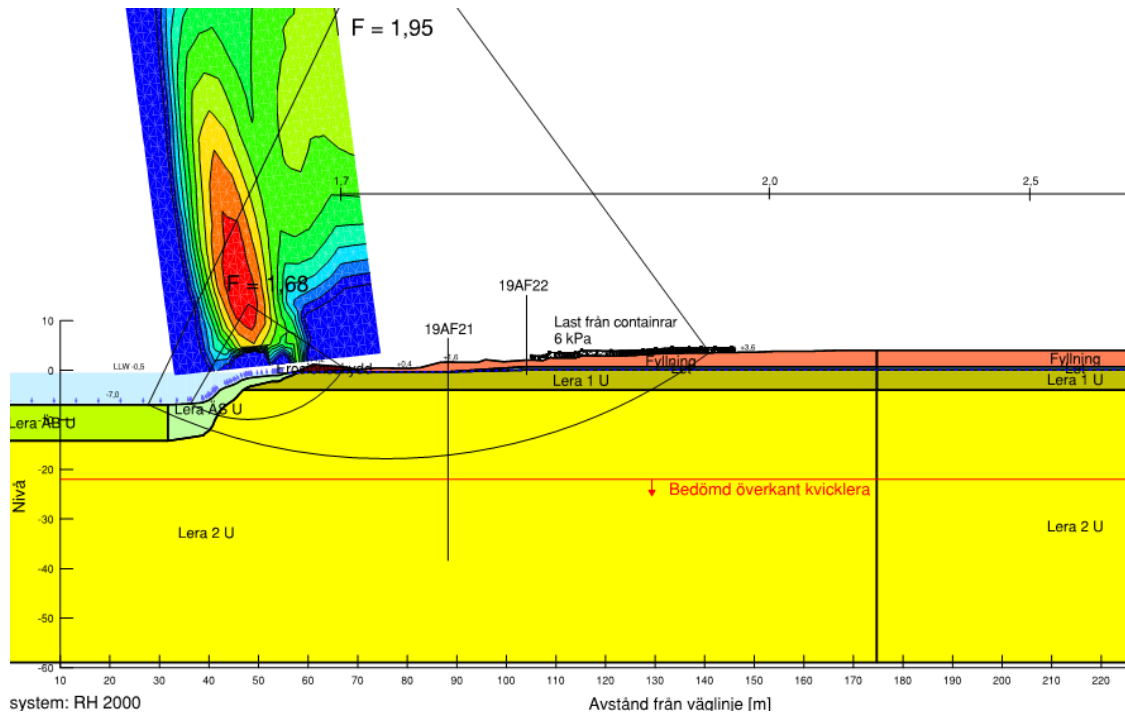
### 8.6.3 Valda laster

En ca 40 meter lång last på 6 kPa som representerar de uppställda containrarna används i beräkningarna.

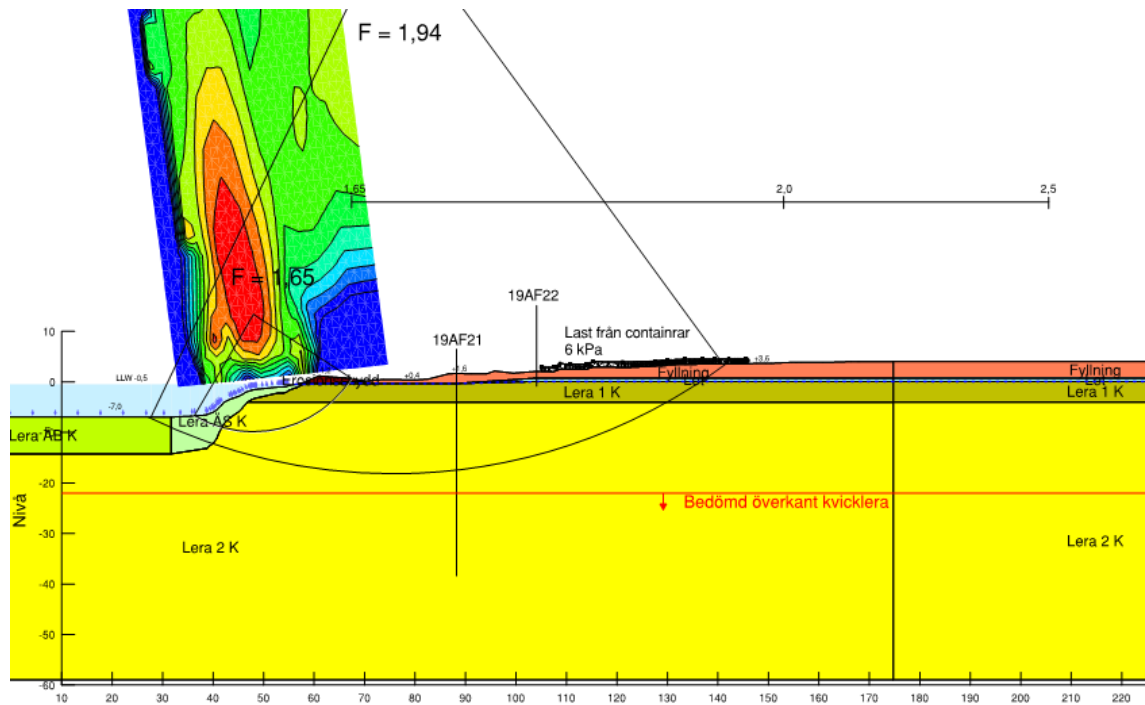
### 8.6.4 Resultat

Odränerad analys ger en säkerhetsfaktor på  $F_c=1,68$ , se Figur 8-8. Säkerheten är som lägst för den grunda glidyten från strandkanten,  $F_{komb}=1,65$ , se Figur 8-9. Utförda stabilitetsberäkningar visar att den beräknade säkerhetsfaktorn mot stabilitetsbrott är tillfredställande både för långa och korta glidytor i slänten.

## PM Geoteknik



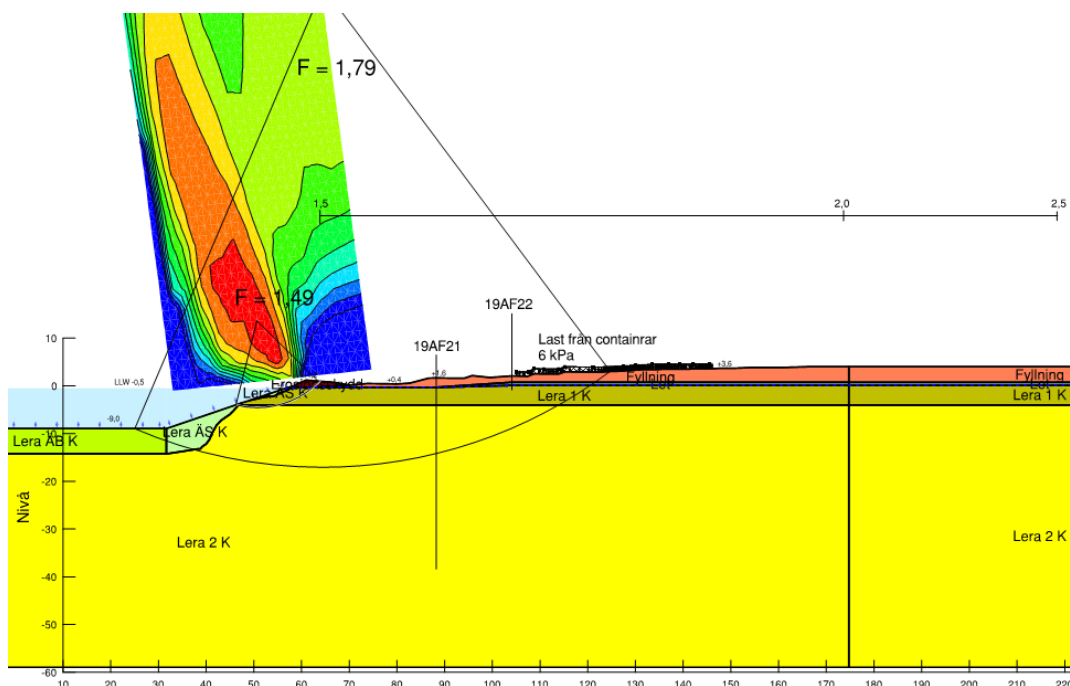
Figur 8-8 Beräkningssektion 77/240V, odränerad analys.



Figur 8-9 Beräkningssektion 77/240V, kombinerad analys.

## PM Geoteknik

Känslighetsanalysen med erosion visar att sektionens beräknade säkerhetsfaktorer mot stabilitetsbrott fortfarande är tillfredställande både för långa och korta glidytor i slänten. Säkerheten är som lägst för den grunda glidytan från strandkanten med 2 meter erosion,  $F_{\text{komb}}=1,49$ , se Figur 8-10.



Figur 8-10 Beräkningssektion 77/240V, känslighetsanalys med erosion till 2 meter djup, kombinerad analys.

Tabell 8-8 Brandkärr, säkerhetsfaktorer mot stabilitetsbrott i sektion 77/240V.

Sektion	Odränerad analys $F_c$	Kombinerad analys $F_{\text{komb}}$
77/240V	1,68 Ok	1,65 Ok
77/240V, erosion 1 meter	1,68 Ok	1,58 Ok
77/240V, erosion 2 meter	1,61 Ok	1,49 Ok

Tabell 8-9 Brandkärr, säkerhetsfaktorer mot stabilitetsbrott i sektion 77/240V partialkoefficientmetoden.

Sektion	Odränerad analys $F_{EN}$	Kombinerad analys $F_{EN}$
77/240V	1,21 Ok	1,11 Ok

Beräkningarna presenteras i sin helhet i Bilaga 3.

## PM Geoteknik

### 8.6.5 Anmärkningar

Känslighetsanalysen för erosion visar att erosionen har låg påverkan på säkerhetsfaktorn för denna slänt. Den kombinerade analysen påverkas mest medans den odränerade analysen är näst intill opåverkad.

I sektionen finns det tolkad kvicklera på nivå -22,0 men ingen av de beräknade glidyterna går igenom det lagret.

### 8.7 Sektion 77/330V (H179-K4)

Sektionen bedöms vara representativ för 77/305V till 77/375V i Göta älvs längdmätning.

Denna sektion har tidigare beräknats i "Göta Älvutredningen, GÄU. Delområde 01, Angeredsbron-Marieholm", daterad 2011-10-31. Samt i *Bäckebo, fördjupad stabilitetsutredning*, EQC Väst AB, 2014-04-23. Då sektionen inom Göta Älvutredningen beräknats med sammansatta glidytor, och då de avancerade försöken i EQC 's fördjupade utredning är utförda relativt långt söder ut, beslutades att räkna om denna sektion med nu valda materialparametrar. Vidare syfte har varit att räkna om sektionen med partialkoefficientmetoden.

#### 8.7.1 Topografiska förhållanden

Geometrin på beräkningssektionen har ej mätts in inom nu utförd undersökning utan undersökt geometri är hämtad från tidigare utförda beräkningar inom GÄU 01.

Älvbotten ligger på nivå ca -7. Därefter följer en undervattensslänt med en lutning på ca 1:3 upp till erosionsskyddets överkant på nivå ca +1,5. Bakom erosionsskyddet finns en lägre sänka som sträcker sig ca 20 meter bakom erosionsskyddet. Marken lutar därefter svagt uppåt till en nivå på ca +3.

#### 8.7.2 Geotekniska förhållanden

Jordlagerföljden har antagits utifrån tidigare utförda beräkningar och arkivpunkter. Det har antagits ett ca 1 meter mäktigt lager med torrskorpa. Därefter följer lera ner till nivå -25. Under leran antas ett lager friktionsjord med okänd mäktighet. Ett ca 0,8 meter tjockt lager med erosionsskydd har antagits vara utlagt längs älvstranden.

#### 8.7.3 Valda materialparametrar, portrycks och grundvattennivåer, yttre vattenstånd och laster

Val av materialparametrar, portryck, grundvattennivåer och yttre vattenstånd har skett utifrån den generella utvärderingen som utförts för resten av den södra delen av det nu aktuella utredningsområdet.

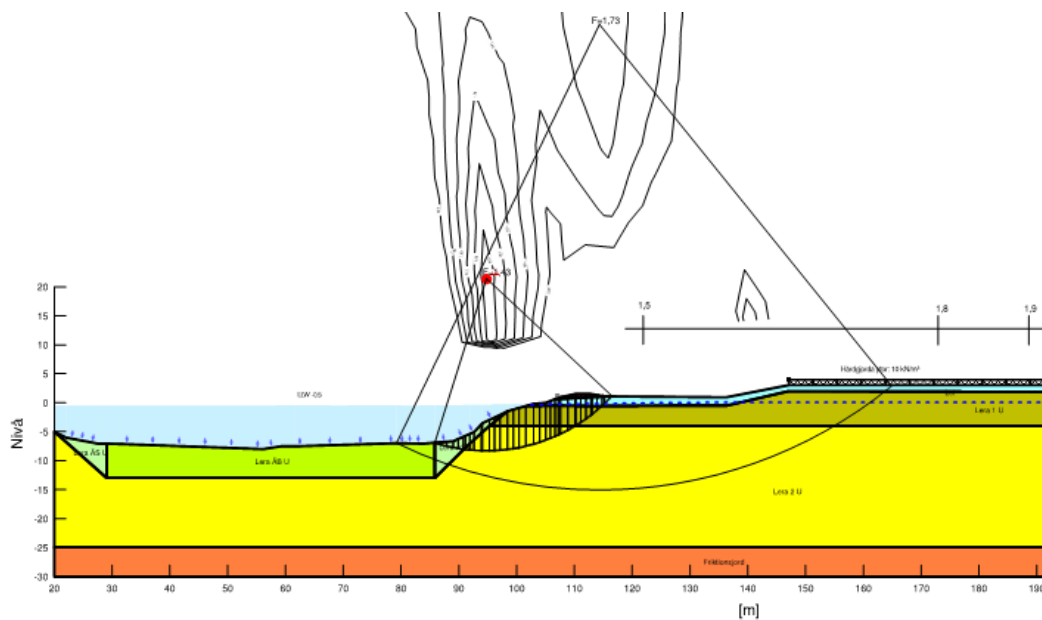
En utbredd last på 10 kPa har antagits 30 meter bakom erosionsskyddet.

#### 8.7.4 Resultat

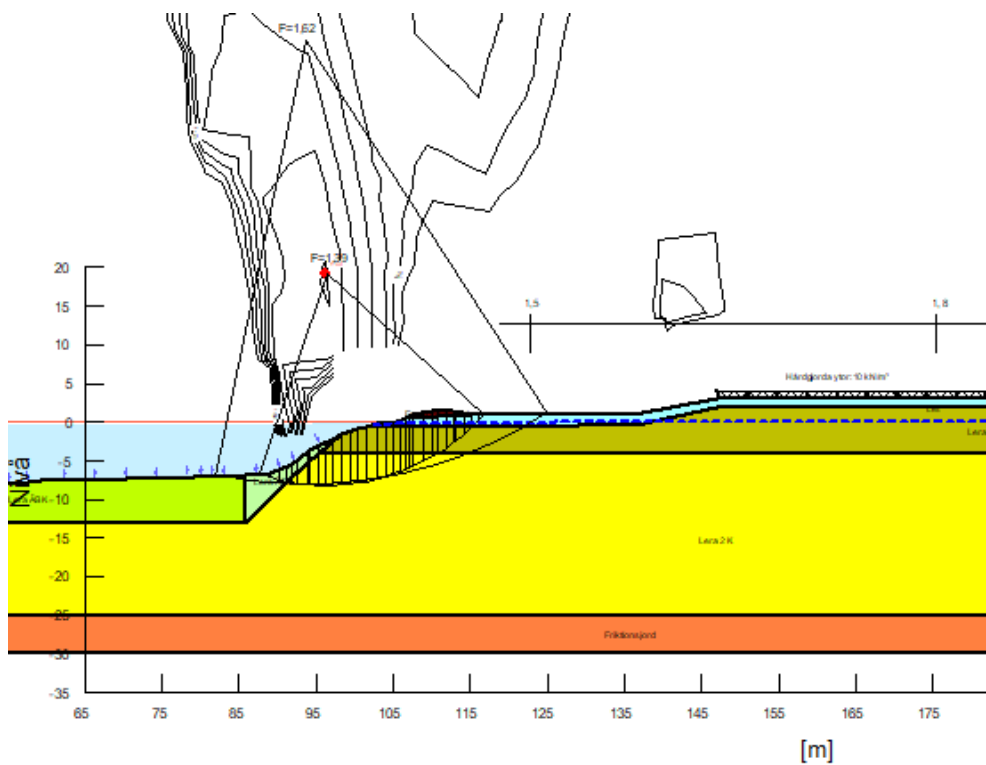
Odränerad analys ger en säkerhetsfaktor på  $F_c=1,41$ , se Figur 8-11. Säkerheten är som lägst i undervattensslänten och glidyten slår upp bakom erosionsskyddet. Kombinerad analys ger en säkerhetsfaktor på  $F_{komb}=1,39$ . Utförda stabilitetsberäkningar visar att den beräknade säkerhetsfaktorn mot stabilitetsbrott ej är tillfredsställande för långa eller korta

## PM Geoteknik

glidytor i slänten. I Tabell 8-10 redovisas beräknade säkerhetsfaktorer. Tabell 8-11 redovisar resultatet av beräkningar med partialkoefficienter.



Figur 8-11 Beräkningssektion 77/330V, odränerad analys



Figur 8-12 Beräkningssektion 77/330V, kombinerad analys.

## PM Geoteknik

Tabell 8-10 Brandkärr, säkerhetsfaktorer mot stabilitetsbrott i sektion 77/330V.

Sektion	Odränerad analys $F_c$	Kombinerad analys $F_{komb}$
77/330V	1,42 Ej ok	1,38 Ej ok

Tabell 8-11 Brandkärr, säkerhetsfaktorer mot stabilitetsbrott i sektion 77/240V partialkoefficientmetoden.

Sektion	Odränerad analys $F_{EN}$	Kombinerad analys $F_{EN}$
77/240V	0,95 Ej Ok	0,93 Ej Ok

### 8.7.5 Anmärkningar

Denna sektion uppfyller ej erforderlig säkerhet för stabilitetsbrott enligt nu utförda stabilitetsanalyser. En fördjupad utredning för denna sektion bedöms kunna göra det möjligt att uppnå erforderlig säkerhet mot stabilitetsbrott. Vidare rekommendationer presenteras i Kapitel 9.

Sektionen har vid beräkningar utförda inom GÄU delområde 01, bedömts inte nå upp till erforderliga säkerhetsfaktorer och fördjupad utredning har där rekommenderats för området.

Vid EQCs fördjupade utredning har den lägsta beräknade säkerhetsfaktor uppgått till  $F_{komb}=1,33$ . Detta har då bedömts som en tillfredsställande säkerhet mot skred. Den utredda sektionen är vid norra gränsen av den fördjupade utredningen som täcker in ett större område. Då tidigare utförda avancerade labbförsök, inom EQC´s utredning, till största del har utförts på relativt stort avstånd söder om det nu aktuella området bedöms det relevant att vidare utreda sektionen. I en vidare utredning rekommenderas ett inarbetande av nu utförda avancerade labbförsök för att utreda om sektionen är uppnår en erforderlig säkerhetsfaktor.

Undersökningar utförda i samband med GÄU delområde 01 visar att kvicklera förekommer från ca 4 m under markytan ner till 20 m. Det bedöms därför finnas risk för bakåtgripande skred om ett inledande mindre skred sker i slänten.

## 9 Slutsats och vidare rekommendationer

### 9.1 Sammanställning resultat

I Tabell 9-1 och Tabell 9-2 nedan redovisas lägsta säkerhetsfaktorer mot stabilitetsbrott i beräkningssektionerna samt beräknad känslighetsanalys. Stabilitetsanalyserna redovisas i sin helhet i Bilaga 3.

## PM Geoteknik

Tabell 9-1 Brandkärr, säkerhetsfaktorer mot stabilitetsbrott i de analyserade beräkningssektionerna.

Sektion	Odränerad analys <b>F<sub>c</sub></b>	Kombinerad analys <b>F<sub>komb</sub></b>
77/010V	1,89 Ok	1,51 Ok
77/090V	1,28 Ej ok	1,29 Ej ok
77/160V	1,31 Ej ok	1,21 Ej ok
77/240V	1,68 Ok	1,65 Ok
77/330V	1,41 Ej ok	1,39 Ej ok

Tabell 9-2 Brandkärr, säkerhetsfaktorer mot stabilitetsbrott i de analyserade beräkningssektionerna där känslighetsanalys har utförts.

Sektion	Odränerad analys <b>F<sub>c</sub></b>	Kombinerad analys <b>F<sub>komb</sub></b>
77/090V, höjd grundvattennivå	-	1,15 Ej ok
77/240V, erosion 1 meter	1,68 Ok	1,58 Ok
77/240V, erosion 2 meter	1,61 Ok	1,49 Ok

Kvicklera är förekommande i området. I södra delen av området bedöms det förkomma i hela jordprofilen medan längre norrut förekommer kvickleran på ett djup större än 21 meter.

Känslighetsanalys avseende erosion visar att erosion har relativt liten inverkan på beräknade säkerhetsfaktorer i området.

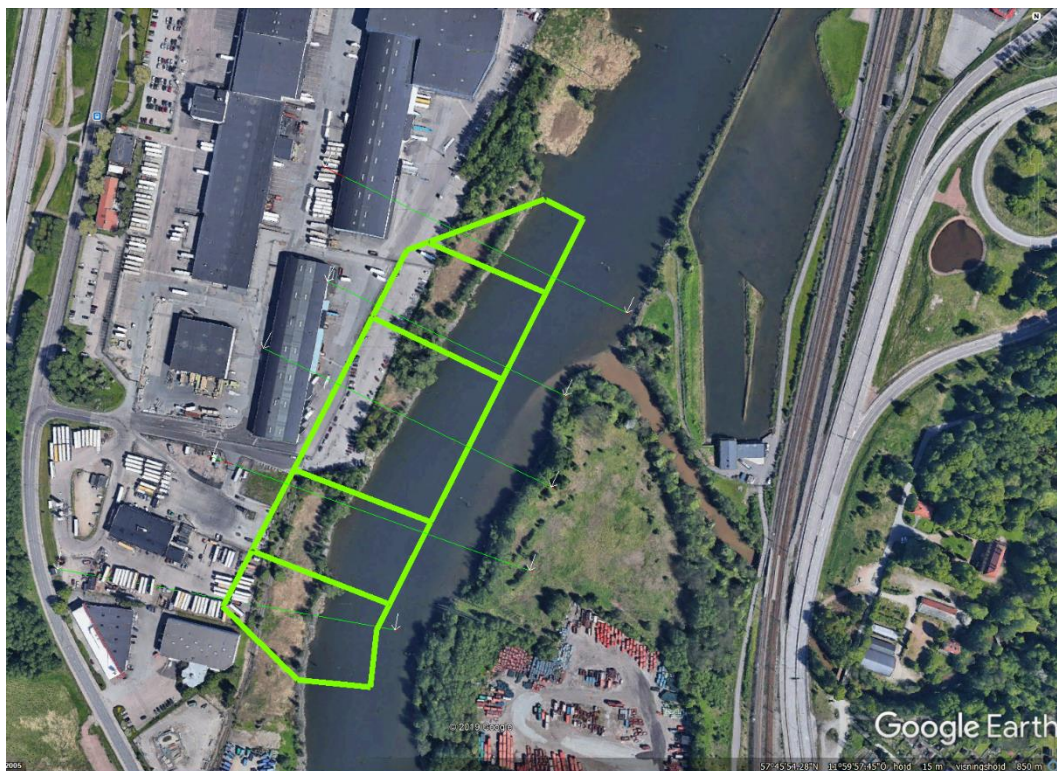
Känslighetsanalys avseende portryck visar att framförallt de ytligare glidytorna påverkas av variationen i portrycket och är även känsliga för en förhöjd grundvattenyta i de ytligare jordlagren.

### 9.2 Områdesindelning

Områdesindelningen där beräknat resultat för respektive sektion bedöms representativt har till största del skett utifrån områdets geometri men även de geotekniska förutsättningarna och beräknade säkerhetsfaktorer. Nedan i Figur 9-1 ses indelningen av studerat område där

## PM Geoteknik

beräknat resultat bedöms gälla, längdmättningsangivelser för varje delområde ses i Tabell 9-3.



Figur 9-1 Indelning av studerat område där beräknat resultat från stabilitetsberäkningar gäller.

Tabell 9-3 Beräknat resultat från sektionsberäkningar bedöms gälla inom dessa längdmättningar.

Sektion	Gäller från	Gäller till
77/010V	76/945V	77/015V
77/090V	77/015V	77/100V
77/160V	77/100V	77/230V
77/240V	77/230V	77/305V
77/330V	77/305V	77/375V

### 9.3 Primära och sekundära skredzoner

Primära skredzoner har sammanställts för kritiska glidytor som inte uppfyller gällande krav på erforderlig säkerhetsfaktor. En bedömning av utbredning av sekundärskred utförts för området som underskrider  $F_c < 1,3$  eller  $F_k < 1,2$ . Skredområdet har bedömts utifrån slänthöjder och sensitivitet i enlighet med SGI Varia 638, se Figur 9-2.



## PM Geoteknik



Figur 9-2 Utbredning av primär och sekundär skredzon inom studerat område. (Omarbetad från google earth pro)

### 9.4 Vidare rekommendationer

Utförda stabilitetsberäkningar visar att erforderlig säkerhetsfaktor endast uppnås i delar av utredningsområdet. För de delar av området som inte uppfyller stabilitetskraven rekommenderas en fördjupad stabilitetsutredning. Ett lämpligt första steg är ett arbete in de direkta skjuvförsök som utförts inom detta uppdrag men som ej inarbetats i denna utredning. Även triaxialförsök bedöms utifrån formen på kritiska glidytor kunna vara lämpligt att komplettera med vid en fördjupad utredning.

Uppnås inte erforderlig säkerhetsfaktor vid fördjupad utredning bedöms avlastningsschakter på glidytnas aktivsida kunna vara en lämplig åtgärd för att höja säkerhetsfaktorn i sektionerna.