

BESTÄLLARE: SGI – DELEGATIONEN FÖR GÖTA ÄLV  
UPPDRAGSNUMMER SGI: 19142

# DETALJERAD STABILITETSUTREDNING, IVARSLUND, GÖTA ÄLV

PROJEKTERINGS PM GEOTEKNIK

2020-03-26



# DETALJERAD STABILITETSUTREDNING, IVARSLUND, GÖTA ÄLV PROJEKTERINGS PM GEOTEKNIK

## KUND

Statens geotekniska institut, Delegationen för Göta älv

## KONSULT

### WSP Samhällsbyggnad

Ågatan 7  
WSP Sverige AB  
58222 Linköping  
Besök: Ågatan 7  
Tel: +46 10 7225000

**wsp.com**

## KONTAKTPERSONER

UPPDRAGSNAMN  
SGI – Delegationen för Göta älv

UPPDRAGSNUMMER  
SGI: 19142  
WSP: 10295305

FÖRFATTARE  
Christina Berglund

DATUM  
2020-03-26

ÄNDRINGSDATUM

Granskad av  
David Schälin

Godkänd av  
Frida Berggren

### WSP

Frida Berggren, [frida.berggren@wsp.com](mailto:frida.berggren@wsp.com),  
+46 (0)10 7225972  
Christina Berglund, [christina.berglund@wsp.com](mailto:christina.berglund@wsp.com),  
+46 (0)10 7225946

### SGI

Per Bolin, [per.bolin@swedgeo.se](mailto:per.bolin@swedgeo.se), +46 (0)31- 7496595

# INNEHÅLL

FÖRORD FRÅN SGI	6
SAMMANFATTNING	7
1 BAKGRUND	8
2 UPPDRAG	8
3 SYFTE	9
4 UNDERLAG FÖR UTREDNINGEN	9
5 STYRANDE DOKUMENT	9
6 ARKIVMATERIAL	9
7 UTFÖRDA UNDERSÖKNINGAR	10
7.1 FÄLTUNDERSÖKNINGAR	10
8 BEFINTLIGA FÖRHÅLLANDEN	10
8.1 OMRÅDET	10
8.2 TOPOGRAFI OCH VÄXTLIGHET	11
8.2.1 Allmänt	11
8.2.2 Norra området (ca km 38+250 - 38+600)	11
8.2.3 Mellersta området (ca km 38+600 - 38+675)	11
8.2.4 Södra området (ca km 38+675 - 38+950 )	11
8.3 BEFINTLIGA BYGGNADER OCH ANLÄGGNINGAR	11
8.4 ÖVERSIKTLIG GEOLOGISK BESKRIVNING	11
9 GEOTEKNISKA FÖRHÅLLANDEN	12
9.1 JORDLAGERFÖRHÅLLANDEN	12
9.1.1 Norra området (ca km 38+250 - 38+600)	13
9.1.2 Mellerstaområdet (ca km 38+600 - 38+675)	14
9.1.3 Södra området (ca km 38+675 - 38+900)	14
9.2 HYDROGEOLOGISKA FÖRHÅLLANDEN	15
9.2.1 Norra området	15
9.2.2 Södra området	15
9.2.3 Referensrör grundvatten	16
9.3 VATTENSTÅND GÖTA ÄLV	17
10 STABILITETSBERÄKNINGAR	18
10.1 ALLMÄNA BERÄKNINGSFÖRUTSÄTTNINGAR	18
10.1.1 Parameterutvärdering och korrigering av skjuvhållfasthet	19
10.1.2 Älvlerors odränerade skjuvhållfasthet	19
10.1.3 Empiri	19
10.1.4 Portryck	20
10.1.5 Dränerade hållfasthetsparametrar	21
10.1.6 Erosionsskydd	21
10.2 VALDA BERÄKNINGSSEKTIONER	22

10.3	KRAV PÅ SÄKERHETSFAKTOR	22
10.4	LASTER PÅ MARK	24
10.5	VALDA OCH DIMENSIONERANDE MATERIALPARAMETRAR	24
10.5.1	Allmänt	24
10.5.2	Norra området, totalsäkerhetsmetoden	24
10.5.3	Södra området, totalsäkerhetsmetoden	27
10.5.4	Eta faktorer	28
10.5.5	Norra området, för partialkoefficientmetoden	28
10.5.6	Södra området, för partialkoefficientmetoden	30
10.6	VALDA GRUNDVATTEN-, YT- OCH PORTRYCKSNIVÅER	30
10.6.1	Allmänt	30
10.6.2	Norra området	31
10.6.3	Södra området	31
10.7	FÖRSTÄRKNINGSÅTGÄRDER	32
<b>11</b>	<b>RESULTAT</b>	<b>33</b>
11.1	RESULTAT AV UTFÖRDA STABILITETSBERÄKNINGAR	33
11.1.1	Totalsäkerhetsmetoden	33
11.1.2	Känslighetsanalyser map portryck (totalsäkerhetsmetoden)	34
11.1.3	Förstärkningsåtgärder i sektionen 38+800 (totalsäkerhetsmetoden)	34
11.1.4	Partialkoefficient metoden	35
<b>12</b>	<b>SLUTSATS</b>	<b>35</b>
12.1	ALLMÄNT	35
12.2	NORRA OMRÅDET, KM CA 38+250V - 38+600V	35
12.3	MELLERSTA OMRÅDET, KM CA 38+600V - +38+675V	36
12.4	SÖDRA OMRÅDET, KM CA 38+675V - +38+900V	36
12.5	MÖJLIGA FÖRSTÄRKNINGSÅTGÄRDER	37
<b>13</b>	<b>KVICKLERATOLKNING</b>	<b>38</b>
<b>14</b>	<b>PRIMÄR- &amp; SEKUNDÄRSKRED</b>	<b>38</b>
<b>15</b>	<b>REKOMMENDATIONER</b>	<b>39</b>

## **BILAGOR**

Grundparametrar norra och södra området	Bilaga 1
Valda skjuvhållfastheter	Bilaga 2
Stabilitetsberäkningar totalsäkerhetsmetoden-nuläget	Bilaga 3
Stabilitetsberäkningar partialkoefficient metoden	Bilaga 4
Stabilitetsberäkningar totalsäkerhetsmetoden, känslighetsanalys	Bilaga 5
Stabilitetsberäkningar totalsäkerhetsmetoden, förstärkningsåtgärder	Bilaga 6
Portrycksmodeller	Bilaga 7
Kvickleratolkning- sonderingar och provtagning	Bilaga 8
Bedömning av säkerhetsfaktor	Bilaga 9

## **Ritningar**

Tolkning av kvicklera i plan 38+200-38+600	G-10-1-001T
Tolkning av kvicklera i plan 38+600-39+100	G-10-1-002T
Tolkning av primär- & sekundärskred 38+200-38+600	G-10-1-003T
Tolkning av primär- & sekundärskred 38+600-39+100	G-10-1-004T

## FÖRORD FRÅN SGI

Regeringen har gett Statens geotekniska institut (SGI) i uppdrag att minska sannolikheten för skred i Göta älvdalen 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*

# SAMMANFATTNING

En detaljerad stabilitetsutredning har utförts för området Ivarslund, söder om Lilla Edet, på den västra sidan av Göta älv.

Utredningen visar att det aktuella området kan delas in i 3 olika delområden, det norra, mellersta och södra delområdet.

I det norra området förekommer lera närmast älven och längre bak i slänten övergår jordlagren till silt och sandsediment.

I mellersta området förekommer mindre mäktigheter av lera närmast älven och jordlagren övergår till friktionsmaterial längre upp i slänten.

I det södra området förekommer stora lermäktigheter närmast älven och lermäktigheten minskar mot ett fastmarks- och höjdområde i väster. I södra området förekommer kvicklera.

Utförda beräkningar i det norra och södra området visar att stabiliteten inte uppnår godtagbara säkerhetsfaktorer i något av delområdena.

Detta mellersta område bedöms med hänsyn till utförda undersökningar och påträffad lermäktighet ha en stabilitet som överstiger 1,0. Dock uppfylls inte kravet på säkerhetsfaktor, så stabiliteten är fortfarande för låg.

För norra området uppnås säkerhetsfaktorer över 1,0 för både odränerad och kombinerad analys i totalsäkerhetsmetoden, dock är både jordparametrar och portrycksförhållanden spretiga i detta området.

För det södra området påverkas stabiliteten till stor del av portryckssituationen i slänten. Här har endast mätts portryck i leran nära älven och portrycken längre ifrån älven är inte uppmätta och därför osäkra.

En fördjupad stabilitetsutredning föreslås för framförallt det södra området, där säkerhetsfaktorerna mot brott är låga och konsekvenserna stora av ett skred. Sammanställning av odränerad skjuvhållfasthet visar på stor spridning så ytterligare kvalificerade undersökningar av odränerad skjuvhållfasthet bör utföras.

För norra området är portrycksförhållandena och jordens hållfasthetsparametrar spretiga, så även här är det lämpligt med en fördjupad utredning.



# 1 BAKGRUND

Göta älv dalen är Sveriges mest skredbenägna region. Förekomsten av högsensitiv lera, s.k. kvicklera, som vid störning kan bli flytande och orsaka storskred medför att det är mycket angeläget att klargöra stabilitetsförhållandena i områden längs älven.

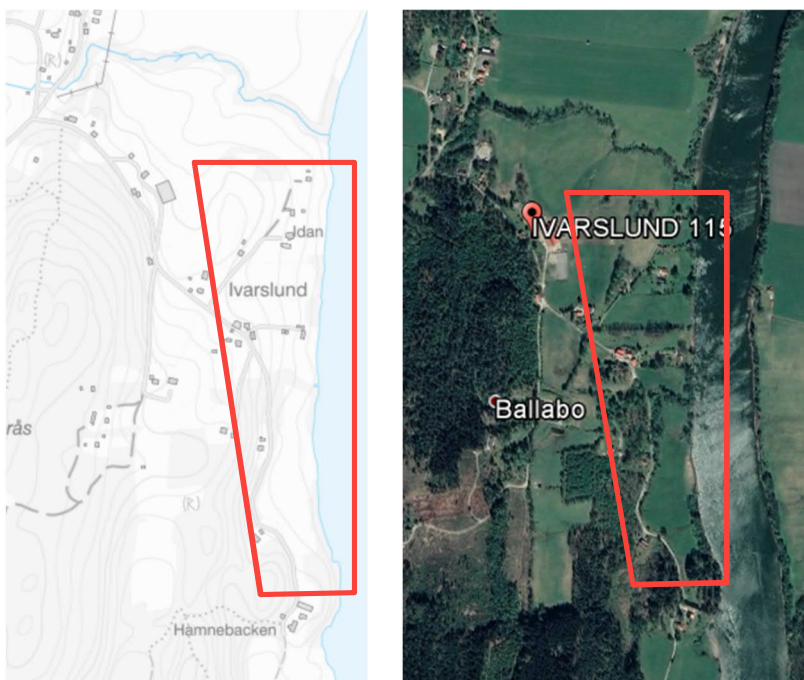
Regeringen har beslutat att bilda en delegation för Göta älv i syfte att minska skredrisken i älv dalen. Delegationen består av 6 kommuner (Göta älv), 2 länsstyrelser, Myndigheter (MSB, TRV, SjöV, SGI) samt Vattenfall Vattenkraft.

Delegationen har identifierat 150 områden med hög eller medelhög risk för skred.

Delegationen utreder ett antal områden med låg säkerhet mot stabilitetsbrott, där aktuell utredning omfattar ett sådant område.

# 2 UPPDRAG

WSP Sverige AB har på uppdrag av Delegationen för Göta älv vid Statens geotekniska institut, utfört en detaljerad stabilitetsutredning vid området Ivarslund i Lilla Edets kommun. Ivarslund är beläget cirka 6 kilometer söder om tätorten Lilla Edet i anslutning till Göta Älv västra sida. Aktuellt område ses i **figur 1a och 1b** nedan.

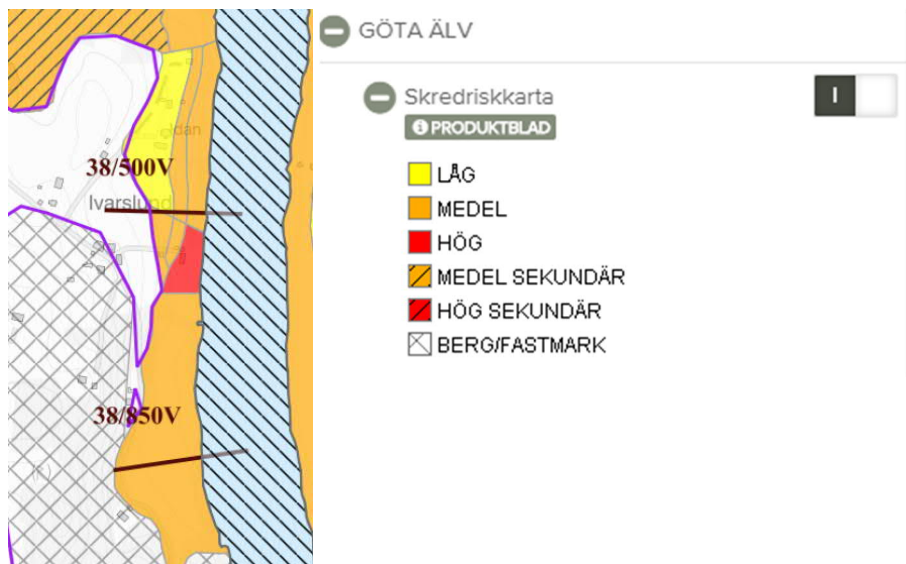


**Figur 1a och 1b:** Aktuellt område för geoteknisk utredning (SGI:s GISwebb utskrift jan 2020) respektive (Google Earth, 2019).



### 3 SYFTE

Syftet med den detaljerade stabilitetsutredningen är att, genom undersökningar och analyser, klarlägga om ett reellt stabilitetsproblem föreligger, för slänter och områden som idag är klassade med medel till hög risk för skred, se **figur 2** nedan. Området är enligt Göta älvutredningen klassat som att ha sannolikhetsklass S5, dvs. en påtaglig sannolikhet för skred



Figur 2: Riskkarta över aktuellt utredningsområde (SGI:s GISWEBB, utskrift jan 2020).

### 4 UNDERLAG FÖR UTREDNINGEN

Följande rapporter har använts i olika grad i denna utredning.

- Göta älvutredningen, GÄU, Delområde 4, Teknisk PM Geoteknik, upprättat av Tyréns, uppdragsnummer 14084, daterad 2011-03-31

### 5 STYRANDE DOKUMENT

Följande styrande dokument har tillämpats för uppdraget.

- Riktlinjer för tekniskt arbete, dokument nr DGA00XST01, version 2, upprättad av Delegationen för Göta älv, daterad 2019-11-05
- Riktlinjer för dokumenthantering, dokument nr DGA00XST02, version 2, upprättad av Delegationen för Göta älv, daterad 2019-11-05
- IEG rapport 4:2010
- Metodik för kartläggning av kvicklera, SGI vägledning (SGI 2018)

### 6 ARKIVMATERIAL

Nedan beskrivs tidigare utförda undersökningar som har använts som underlag inom denna utredning. Undersökningarna är redovisade i

Markteknisk undersökningsrapport/ Geoteknik upprättad av WSP daterad 2020-02-21.

I de fall där gamla punkter har kunnat kvalitetssäkrats har de inarbetats i utvärderingar och redovisas under respektive sektion.

**NV00XXXX** Beteckning på tidigare utförda undersökningar på nordvästra sidan av Göta älv. Undersökningspunkterna har bedömts ha korrekt position och ha relevans för utredningen. Punkterna har därför inarbetats i plan och på sektion.

**U04xxx** Beteckningar på tidigare utförda undersökningspunkter i Göta älvutredningen. Dessa punkter är en del av Götaälv utredning och är utförda av Tyréns. Samtliga punkter som befunnits inom området för Ivarsund har bedömts relevanta och har inarbetats i plan och på sektioner.

SGI har tillhandahållit digital fastighetskarta och topografi över området samt batymetri för älven.

## 7 UTFÖRDA UNDERSÖKNINGAR

### 7.1 FÄLTUNDERSÖKNINGAR

WSP har låtit utföra kompletterande fält och laboratorieundersökningar med geoteknisk borrhandsvagn inom området som underlag för beräkning av områdets stabilitetsförhållanden inklusive installation av 3 porttrycksgivare i en porttrycksstation. Resultaten av de utförda undersökningarna redovisas i separat upprättad markteknisk undersökningsrapport geoteknik MUR/GEO, daterad granskningshandling 2020-03-26.

## 8 BEFINTLIGA FÖRHÅLLANDEN

### 8.1 OMRÅDET

Området Ivarslund ligger på den västra sidan av Göta älv ungefär 6 km söder om Lilla Edets samhälle. Området består i huvudsak av betesmark och åkermark, med bebyggelse av enstaka hus, torp och gårdar.

I den södra delen finns åkermark närmast älven och i norra delen i huvudsak betesmark för hästar respektive åkermark i områdena som sluttar ner mot älven.

I områdets västligare delar finns höjdparter med skog, företrädesvis av lövskog med inslag av barrskog.

Närmast älven förekommer vassväxtlighet.

## 8.2 TOPOGRAFI OCH VÄXTLIGHET

### 8.2.1 Allmänt

Området sluttar generellt ner mot Göta älv, där den norra delen av undersökningsområdet ligger något högre jämfört med den södra delen. Det norra och södra området delas av ett mindre höjdparti.

### 8.2.2 Norra området (ca km 38+250 - 38+600)

Norra delen av området sluttar relativt brant mot älven. Generellt lutar området kraftigare mot älven i norr (38+200 – 38+350) med lutningar om cirka 1:4. Lokalt finns det älvnära partier med lutningar om cirka 1:2 och högre upp i slänten, i västlig riktning, flackas slänten ut till cirka 1:7.

Mellan 38+350 – 38+600 råder omvända förhållanden där de älvnära slänterna är generellt flackare än de högre belägna partier i slänten. De älvnära slänterna lutar med förhållanden om cirka 1:6-1:7. De brantare partierna högre upp kan stundtals ha ett lutningsförhållande ner mot cirka 1:3.

Inom norra området karakteriseras växtligheten i huvudsak av betesmark med enstaka trädalléer mellan hagar samt träd och sly utmed vissa delar av älven.

### 8.2.3 Mellersta området (ca km 38+600 - 38+675)

Mellersta området består av en mindre höjd som avskiljer området från det norra respektive södra delområdet. Marken sluttar relativt brant mot älven, men även mot syd respektive norr mot delområdets ytterkanter. Delområdet avgränsas av varsin trädlinje i syd respektive norr.

### 8.2.4 Södra området (ca km 38+675 - 38+950)

I södra delen går området från ett brant höjdområde i väst, som ligger cirka 50 meter över havet till att slutta ner mot älven. Närmast älven finns en liten slänt ner mot en plan yta med erosionskydd. Slänter ner till den plana ytan har ett lutningsförhållanden om cirka 1:2,5 – 1:5. Högre upp i slänten flackas lutningen ut och förhållanden om cirka 1:9 – 1:18 råder lokalt för sektionerna 38+800, 38+880 och 38+900.

Marken stiger även mot norr och övergår i km ca 38+800 även till att stiga uppåt mot norr, som ett övergångsområde mot det norra området.

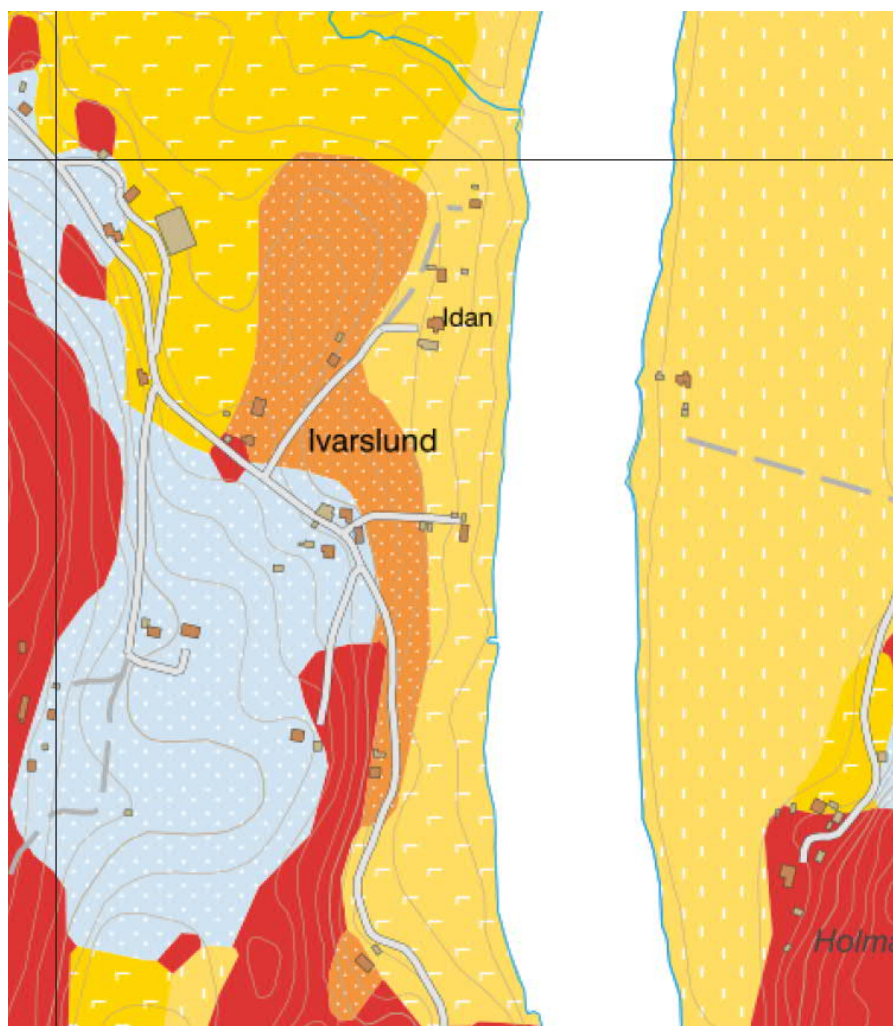
## 8.3 BEFINTLIGA BYGGNADER OCH ANLÄGGNINGAR

Befintliga bebyggelse utgörs inom området framförallt av villor och mindre stugor. Det finns även uthus, garage och ekonomibyggnader i form av stall mm.

## 8.4 ÖVERSIKTLIG GEOLOGISK BESKRIVNING

Utförda undersökningar och SGU:s jordartskarta visar att från väster består jordlagren av sandig morän och berg i dagen. Därefter finns i norra delen av området, i huvudsak postglacial finsand som delvis svallat ut över glacial och postglacial lera och silt. I norra delen av området finns det delvis lera i området närmast älven men med varierande förekomst av silt och sand. I södra delen av området består jordlagren närmast älven av postglacial

finlera som gradvis avtar i mäktighet åt väster, mot höjdområden av finsand, morän och berg. Utdrag ur SGU:s jordartskarta redovisas i **figur 3**.



**Figur 3:** Utdrag ur SGU:s jordartskarta (Webversion jordarter 1:25000-1:10000). Rött - berg i dagen. Ljusblått med vita prickar - Sandig morän, Orange med vita prickar – Postglacial finsand, Ljusgul med liggande "L" – Postglacial finlera, Mörkgul med liggande "L" – Glacial finlera och Ljusgul med "l" – Postglacial silt.

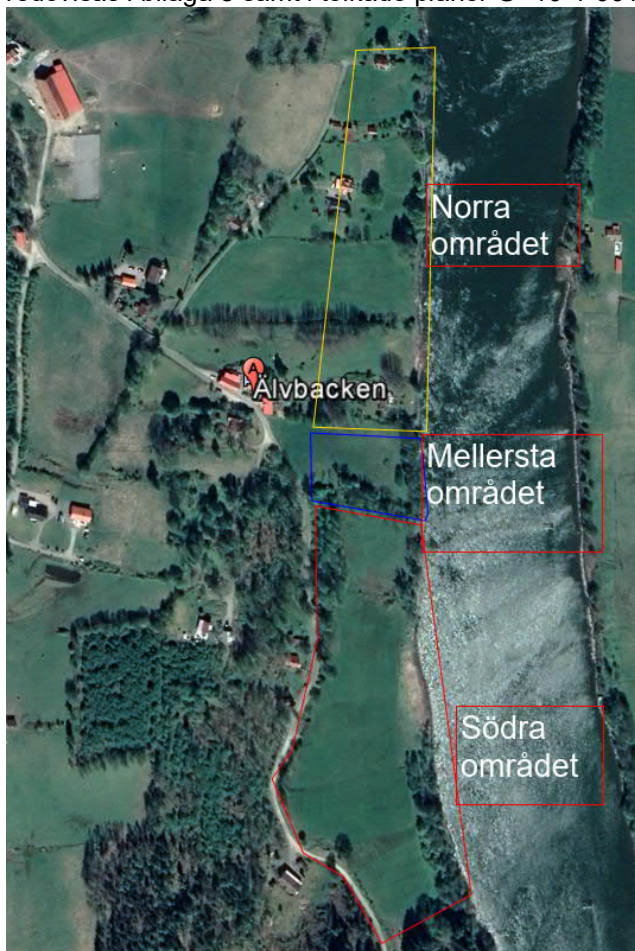
## 9 GEOTEKNISKA FÖRHÅLLANDEN

### 9.1 JORDLAGERFÖRHÅLLANDEN

Utförda sonderingar och sammanställning av hållfasthetsparametrar, visar att områdets geotekniska förhållanden kan delas in i två större områden, det norra och det södra, med ett mindre område där i mellan. De lerlager som förekommer i det mellersta området och norra området är inte lika mäktiga och ej lika utbredda i plan, som det södra området. De olika områdena beskrivs nedan och indelning redovisas i plan i **figur 4**.

Kvickleran har tolkats utifrån sonderingsresultat från nya CPT-sonderingar med resistivitetsadapter, CPTu-R och av nya samt tidigare utförda CPTu-sonderingar och trycksonderingar. CPTu- och trycksonderingar har utvärderats utifrån mätning av totalt neddrivningsmotstånd. Vid CPTu-R-sonderingar har även utvärdering utförts via resistivitmätningarna. Även labbförsök på nya och tidigare upptagna kolprover har tolkats för kvicklera.

Tolkning har skett med hjälp av erhållen Excellmall från SGI. Resultat redovisas i bilaga 8 samt i tolkade planer G -10-1-001T till G-10-1-002T.



Figur 4: Indelning av geotekniska delområden i Ivarslund.

### 9.1.1 **Norra området (ca km 38+250 - 38+600)**

Det norra området har i norr begränsats till den fastighet som är belägen längst i norr. Jordlagren i denna del karakteriseras från väster av postglacial finsand och silt. Närmast älven förekommer lera, med varierande mäktighet om mellan 4-6 m. Leran avtar snabbt och från 30-90 m in från älven så förekommer endast silt och sand. De djupare lerlagren påträffas utmed älven i den centrala delen av delområdet.

Under leran följer friktionsjord. Friktionsjorden har ej undersökts närmare och ingen tydlig bild gällande dess mäktighet eller egenskaper har erhållits av nu och tidigare utförda undersökningar. Friktionsjorden förekommer även stundtals utan någon ovanliggande lera alternativt med lera med små mäktigheter. Framförallt högre upp i slänterna samt älvnära i sektionerna 38+320, 38+550 och 38+600.

I norra området förekommer små mäktigheter av lera och i de undersökningar som finns utförda har endast fyra kolvnivåer utförts i borrhålet NW00143A, varav endast nivån på 6 meters djup visat på förekomst av kvicklera. Inga CPT-R sonderingar har utförts i detta område finns sedan tidigare. Se **bilaga 8** för tolkning av kvicklera utifrån relevanta sonderingsmetoder.



### 9.1.2 Mellerstaområdet (ca km 38+600 - 38+675)

I km 38+600 till ca km 38+675 består jordlagren av varierande mäktighet och något varierande jordlagerföljder. Mindre mäktigheter av lera (2-4,5 m) förekommer i en kil som går in kring borrhål 19WS08, 19WS09 och 19WS10. Lerområdet breder ut sig i sydlig riktning och avgränsas mot norr av ett område bestående av friktionsjord. Området med friktionsjord består av bland annat något grusig sandig lerig silt, grusig sand och siltig sand. I den mest västliga punkten 19WS11 förekommer omväxlande lager av lera och friktionsjord, vilket tyder på att det skett en viss utsvällning av friktionsmaterial från det fastmarksområde som finns i väster.

I detta området visar utvärdering av kvicklera utifrån trycksondering att kvicklera kan förekomma i 19WS08 på 3-3,5 m djup och i 19WS09 på ca 3 m djup. I övrigt finns inom detta området ingen indikation på kvicklera utifrån utförda trycksonderingar. Se **bilaga 8** för tolkning av kvicklera utifrån relevanta sonderingsmetoder.

### 9.1.3 Södra området (ca km 38+675 - 38+900)

I det södra området förekommer mäktiga lager av lös lera, där störst mäktigheter är närmast älven och där jordlagrens mäktighet gradvis minskar mot det fastmarks område som finns i väster.

Jordlagerförhållandena karakteriseras generellt av en tunn torrskorplera om ca 0,5-1 m. Därunder följer lera med en mycket låg till låg skjuvhållfasthet.

Lermäktigheterna varierar mellan 12-16 m närmast älven och grundar upp västerut till ca 3-6 m lermäktighet.

Lerans konsolideringsförhållanden är för det södra området svagt överkonsoliderad mellan 30-80 kPa.

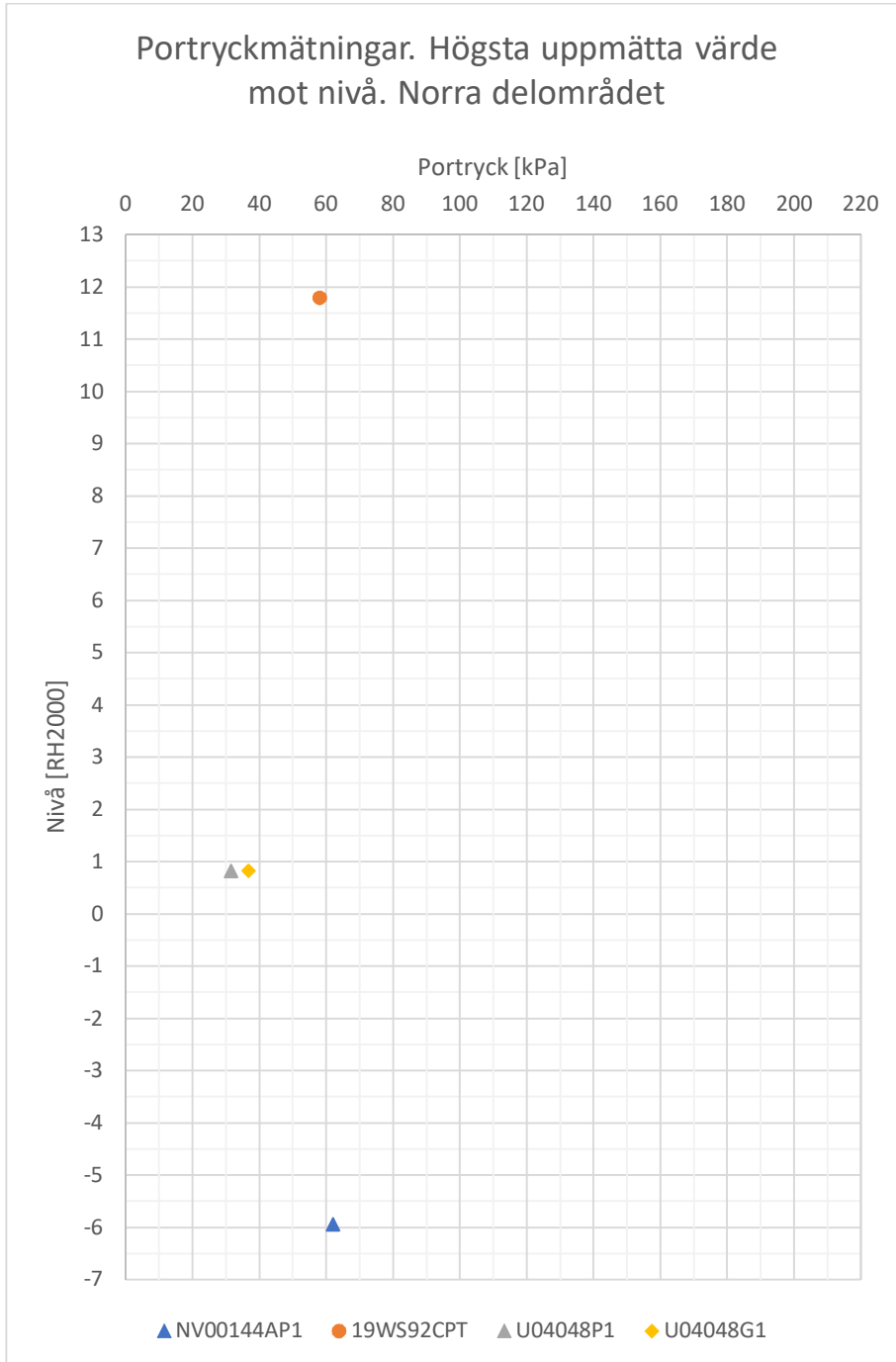
Kvicklera har i utförda undersökningar konstaterats i samtliga provpunkter utförda med CPT-R i södra delen, förutom i provpunkt 19WS13 som är belägen nära fast mark i den norra delen av delområdet. I de punkter där även trycksondering har utförts så stämmer utvärdering av kvicklera från CPT-R och trycksondering relativt väl överens. I 19WS17 där vingförsök och kolvprovtagning också har utförts, erhålls kvicklera i stort sett i hela jordprofilen, med en sensitivitet över 200 på 11 m djup. Se **bilaga 8** för tolkning av kvicklera utifrån relevanta sonderingsmetoder.

I sektion 38+850, som utretts tidigare i Göta älvutredningen 2010, förekommer det inte kvicklera enligt upptagna kolvprover i U04044 och U04046. Utvärderade CPT- och trycksonderingar, förekommer det kvicklera på vissa djup, dock framförallt direkt under torrskorpelekan och i området med övergång från lera till friktionsjord. Sektionen som helhet har således utifrån resultaten från kolvprover, CPTu- och trycksonderingar tolkats vara fri från kvicklera.

## 9.2 HYDROGEOLOGISKA FÖRHÅLLANDEN

### 9.2.1 Norra området

I det norra området har äldre grundvattenrör och portrycksmätningar nyttjats, från dels Göta älvtredningen samt från undersökningar utförda i nordvästra Göta älvtredningen. Dessa redovisas i **figur 5**.



**Figur 5:** Sammanställning över hydrogeologiska mätningar i det norra delområdet.

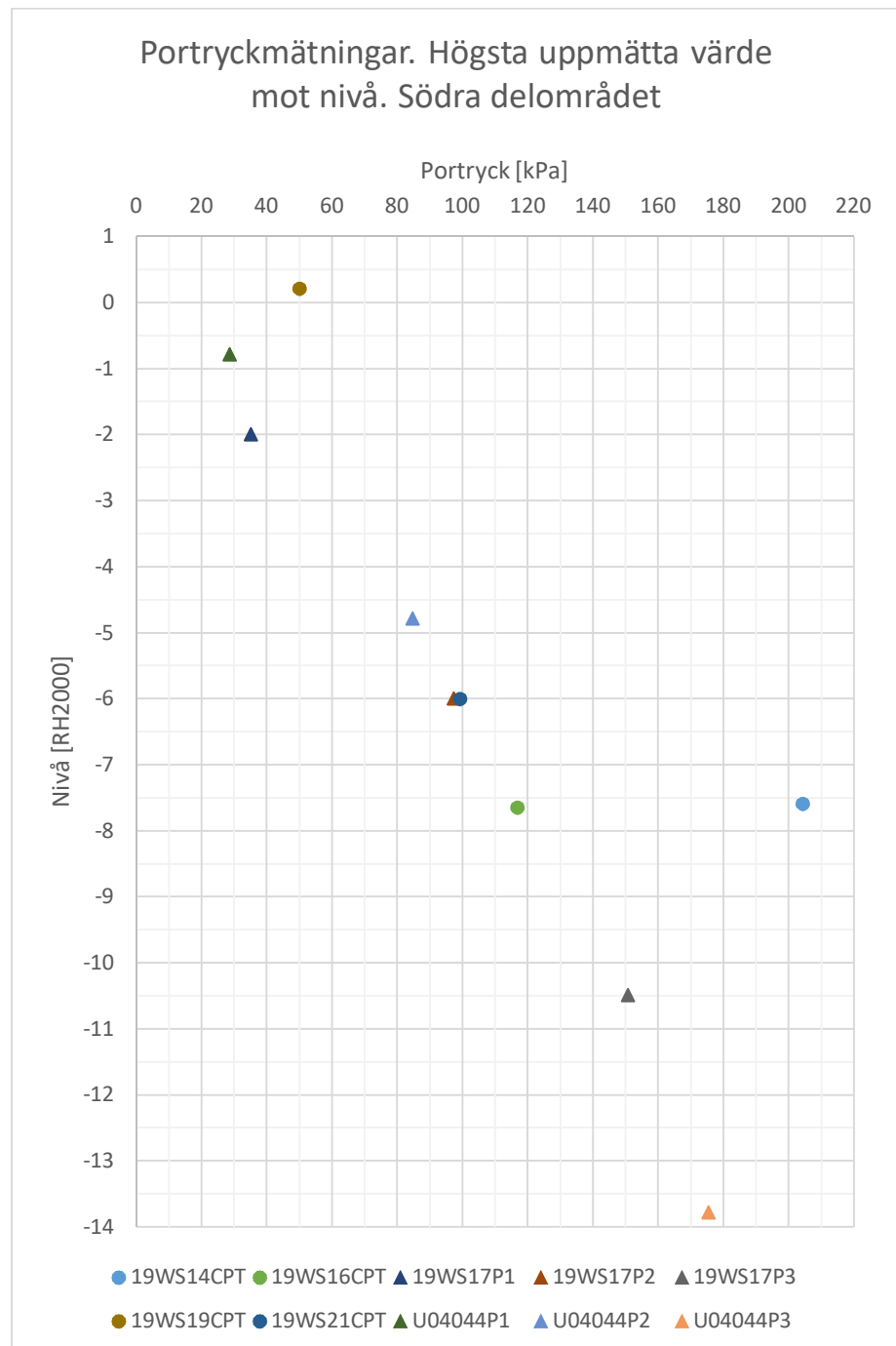
### 9.2.2 Södra området

I södra området finns både äldre portryckspetsar och grundvattenrör samt nya installerade portryckspetsar. De uppmätta portrycken visar att det råder ett högre portryck än hydrostatiskt i en stor del av jordprofilen, förutom i toppen där det råder hydrostatiskt.



Avklingningsförsök utförda från CPT visar att i punkter nära fastmark t ex i provpunkterna 19WS19, 19WS21 och 19WS91, som ligger långt från ån, är portrycken i bottenfriktionen lägre än hydrostatiskt tryck.

Uppmätta trycknivåer i bottenfriktionen redovisas i **figur 6**.



**Figur 6:** Sammanställning över hydrogeologiska mätningar i det södra delområdet.

### 9.2.3 Referensrör grundvatten

Referensrör från SGU:s grundvattennät har använts för att bedöma relevans och variation, för de enstaka mätningar som nu uppmätts vid ny och äldre portrycksstation inom Ivarslund. De referensrör från SGU som finns närmast utredningsområdet befinner sig i Kungälv, dvs relativt långt från nu undersökta området. De geologiska förutsättningarna i området för

långtidsrören är i stort sett postglacial finlera och glacial lera med berg i dagen eller ytligt berg runt omkring. Området där dessa referensrör är installerade utgörs av plan åkermark. Mätningarna har pågått sedan 1971. I **tabell 3** redovisas de referensrör som finns i Kungälv samt vilken typ av akvifer de är installerade i.

Tabell 1: Referensrör långtidsmätningar.

<b>Namn på rör</b>	<b>Typ av akvifer</b>	<b>Läge</b>	<b>Anmärkning</b>
<b>Kungälv_1 (53_1)</b>	Sluten	Kungälv	Utströmningsområde.
<b>Kungälv_3 (53_3)</b>	Sluten	Kungälv	Intermediärt område
<b>Kungälv_5</b>	Sluten	Kungälv	Intermediärt område
<b>Kungälv_6 (53_6)</b>	Sluten	Kungälv	Intermediärt område
<b>Kungälv_7 (53_7)</b>	Sluten	Kungälv	Utströmningsområde.
<b>Kungälv_10 (53_10)</b>	Sluten	Kungälv	Intermediärt område

Det man generellt kan säga om de långtidsmätningar som finns utförda i referensrören, är att rör som sitter i moränen visar på en grundvattennivå som ligger ca 0,4 m under markytan. Nivåerna har generellt sjunkit från installationstillfället fram till 2004, för att därefter gå upp något. Mätningarna visar också att under vissa perioder har det varit artesiskt vatten i rören samt även relativt låga nivåer med minvärde på 1,8 m under markytan

Även på övriga rör i detta området, som sitter på olika djup under markytan, har liknande beteende under de år som mätningar har pågått.

Området där referensrören finns installerade bedöms därför inte vara jämförbart med det nu utredda området i Ivarslund. I Ivarslund är det stora nivåskillnader mot älven samt något olika geologiska förutsättningar jämfört med området där referensrören är placerade.

För Ivarslund bedöms förhållandena också vara utströmningsområde, med höjdparter i väster, där vatten kan strömma mot älven.

Den slutsats som kan dras utifrån SGU:s referensrör gäller framförallt trenden att grundvattennivåerna ökat sedan 2014 samt att det inte är ovanligt med artesiskt vatten i områden nära Göta älv och närliggande vattendrag.

### 9.3 VATTENSTÅND GÖTA ÄLV

Nivåer för olika vattenstånd i Göta älv har erhållits i underlagsmaterial av SGI (se Riktlinjer för tekniskt arbete, dokument DGA00XST01, version 2.0).

Utdrag ur denna tabell redovisas i **tabell 2** nedan:

**Tabell 2:** Dimensionerande vattenstånd i Göta älv. LLW – Lägsta lågvattenstånd, MLW – Medellågvattenstånd, MW-Medelvattenstånd, MHW – Medelhögvattenstånd, HHW – Högsta högvattenstånd.

Referenspunkt	Dimensionerande vattenstånd (RH2000)		
	Nedre vattenyta	Medelvattenyta	Övre vattenyta
<b>Nedströms Lilla Edet Ströms sluss – Sluss 6*</b>	Sänkningshöjd +/- 0		Övre gräns +2,2
<b>Älvängen*</b>	LLW -0,40		
<b>Frihamnen*</b>	MLW -0,6 LLW -1,1	MW +0,2	MHW +1,2 HHW +1,9

\*Vid stabilitetsberäkningar mellan dessa platser interpoleras vattennivåerna.

Utifrån de dimensionerande vattenstånden i **tabell 2** har WSP beräknat fram följande vattenstånd i området för Ivarslund. LLW är beräknat mot LLW för Lilla Edet (31+600) och Älvängen (53+000). HHW beräknat mot övre gräns i Lilla Edet och HHW i Frihamnen (83+800).

- LLW Ivarslund (38+250): -0,12
- LLW Ivarslund (38+320 – 38+800): -0,13
- LLW Ivarslund (38+900): -0,14
- HHW Ivarslund (38+250 – 38+900): +2,16

## 10 STABILITETSBERÄKNINGAR

### 10.1 ALLMÄNA BERÄKNINGSFÖRUTSÄTTNINGAR

Alla stabilitetsberäkningar är utförda i GeoStudio 2019 Slope/W version 10.1.1.18972.

Beräkningarna har följt anvisningarna i styrdokument Riktlinjer för tekniskt arbete (DGA00XST01, version 2, daterad 2019-11-05).

Vid stabilitetsberäkningarna har beräkningsmetoden Morgenstern-Price använts för glidytor och Pressure head spatial function använts för modellering av portrycket.

Beräkningar har dels utförts med totalsäkerhetsmetoden och dels med partialkoefficientmetoden.

Vid beräkning med totalsäkerhetsmetoden har både odränerad analys och kombinerad analys utförts för de beräknade sektionerna.

För partialkoefficientmetoden har beräkningar enbart utförts vid nulägesanalys av slänterna.

Beräkning har även utförts med känslighetsanalys för portryck, dels med högre portryck i jordprofilen men dels också med lägre portryck i släntens bakkant.

Känslighetsanalys har inte utförts med erosion, då det i det aktuella området finns erosionsskydd och det därmed inte bedömts relevant med känslighetsanalys för erosion i detta skede.

### **10.1.1 Parameterutvärdering och korrigering av skjuvhållfasthet**

Utvärdering av hållfasthetsparametrar i lera har gjorts enligt SGI Information nr 3 samt med hänsyn tagen till SGF rapport 1:2017, Metodik för bestämning av skjuvhållfasthet i lera (SGF, 2017).

Skjuvhållfastheten bestämd med konförsök på labb, har korrigerats med avseende på konflytgräns.

Skjuvhållfasthet bestämd med vingförsök och CPT-sondering, har korrigerats med avseende på konflytgräns samt överlagringstryck.

Det valda värdet för skjuvhållfastheten är bestämt till ett troligt värde och inte ett försiktigt valt värde.

Vid sammanställning av skjuvhållfasthetsvärden, har mätta värden i silt eller i nära anslutning till friktionsjord inte beaktats vid parameterutvärderingen, liksom övriga extremvärden på enstaka nivåer.

I tidigt skede bestämdes i samråd med beställaren att utföra dels CRS-försök men också direkta skjuvförsök, då tidigare utredning visat på mycket stor spridning av resultat från provning av odränerad skjuvhållfasthet.

Resultat av de direkta skjuvförsöken har inarbetats, beaktats och använts vid val av skjuvhållfasthetsvärden för stabilitetsberäkningarna.

### **10.1.2 Älvlerors odränerade skjuvhållfasthet**

Leran i älven har ej undersökts inom aktuellt uppdrag och dess parametrar i beräkningsmodellerna har tagits fram enligt metoden som beskrivs i Riktlinjer för tekniskt arbete (DGA00XST01, version 2, daterad 2019-11-05).

I grova drag betyder det att dagens markyta, vid eller i närheten av, släntkrönet motsvarar där lera avsatts i vatten. Därefter har själva slänten mot älven bildats genom erosion från älven.

I beräkningarna har dels en strandnära älvlera, vars skjuvhållfasthet är beroende av djupet använts, samt även en nivåbaserad älvlera, för de djupare lerlagren vid älven använts i beräkningsmodellerna, enligt förslag i SGI:s styrdokument, DGA00XST01

### **10.1.3 Empiri**

Empiriska relationer har nyttjats för att se hur väl uppmätta skjuvhållfasthetsvärden stämmer överens med empiriska relationer som finns vad gäller jordtyp, belastningsfall, förkonsolideringstryck och överkonsolideringsgrad. Det empiriska samband för att bland annat beräkna skjuvhållfasthet utifrån förkonsolideringstrycket och överkonsolideringsgrad som har nyttjats, se nedan:

$$c_u = a \cdot \sigma'_c \cdot OCR^{-(1-b)}$$

Där a är en faktor som beror av aktiv, direkt eller passiv skjuvning) och b är en faktor mellan 0,7-0,9, beroende av belastningsfall.

För direkt skjuvning gäller att  $a \approx 0,125 + 0,205 \cdot w_L / 1,17$

Detta samband redovisas bland annat i Skredkommissionens rapport 3:95.

I denna utredning har de empiriska sambanden för direkt skjuvning nyttjats för beräkning av skjuvhållfasthet utifrån resultaten av utförda CRS försök. Dessa anses vara jämförbara med uppmätt skjuvhållfasthet från både kon- och vingförsök.

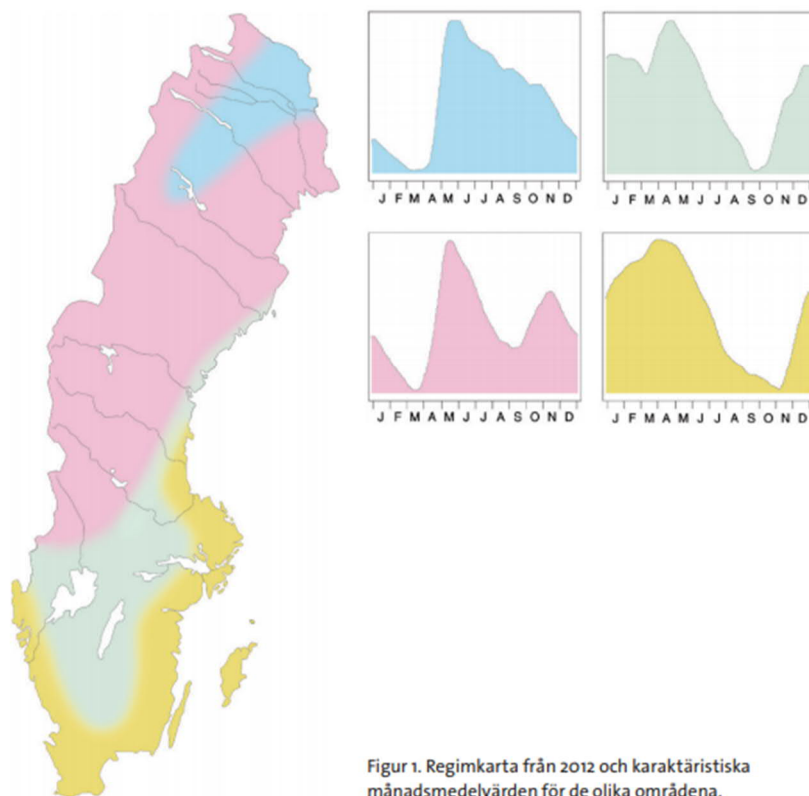
Det är ovanstående empiri som finns redovisade i utförda skjuvhållfasthets sammanställningar i **bilaga 2**.

#### **10.1.4 Portryck**

Portryck har valts utifrån resultat från de äldre portrycksstationer samt grundvattenrör som installerats i tidigare utredningar samt en ny portrycksstation som installerats för denna utredning.

I beräkningssektionerna har det högsta uppmätta portrycket ansatts i beräkningarna. Grundvattennivån har bedömts ligga cirka 0,5 meter under markytan i slänten.

Då alla portrycksmätningar har utförts en kortare tid och inga relevanta referensrör med långtidsmätningar finns, har en känslighetsanalys utförts med avseende på portrycket. Vid känslighetsanalysen har hänsyn tagits till när mätning skett under året och den årsvariationer som normalt finns, se **figur 7**. Ivarslund ligger inom det gula regimområdet som karakteriseras av en uppbyggnad av grundvattennivåerna från höst till vår. Med tanke på mätningars tidpunkt kan således en högre portrycksnivå i slänten förväntas senare under våren. Vid utförd känslighetsanalys med ett högre portryck bedöms ett realistiskt värde motsvara realistiskvärde det nu högsta uppmätta värdet med en ökning av en meter vattenpelare.



Figur 1. Regimkarta från 2012 och karaktäristiska månadsmedelvärden för de olika områdena.

**Figur 7:** Karakteristiska månadsmedelvärden för olika regimområden i Sverige. Figur från SGU-Rapport 2015:20.

Då osäkerheter finns angående portrycket i släntens västligaste och grundaste del, längst från älven och att en överskattning av portrycket kan ske, har en känslighetsanalys även utförts med sänkt portryck i släntens bakkant för att undersöka portryckets inverkan på släntstabiliteten. Utifrån relevanta avklingningsförsök från CPTu-R-sonderingar har resultat av dessa arbetats in i stabilitetsberäkningarna gällandes placering i sektion och nivå.

### 10.1.5 Dränerade hållfasthetsparametrar

Dränerade skjuvhållfasthetsparametrar har bestämts enligt svensk empiri enligt nedan.

$$\phi=30^{\circ}$$

$$c'=0,1 * c_u$$

### 10.1.6 Erosionsskydd

I stort sett hela sträckan längs Göta älv inom området Ivarslund, är försett med erosionsskydd. Inmätning och redovisning av erosionsskyddet i plan har dock endast gjorts i respektive utförd sonderingssektion. För övriga delar har utbredningen av erosionsskydden tolkats utifrån genomfört platsbesök. Tolkade sträckor med erosionsskydd finns redovisade i upprättade planritningar i MUR.

Erosionsskydden består generellt av sten och har utifrån iakttagelser vid platsbesök bedömts vara i bra skick.

## 10.2 VALDA BERÄKNINGSSEKTIONER

Utifrån utförda sonderingsresultat och tidigare beräkningar har följande beräkningssektioner bedömts vara relevanta att utföra stabilitetsberäkningar i.

- 38+250V (sektion från nordvästra Göta älvutredningen, där eventuella tidigare beräkningar ej gått att finna)
- 38+400V (sektion från nordvästra Göta älvutredningen, där eventuella tidigare beräkningar ej gått att finna) 38+800V (ny sektion med nya utförda undersökningar)
- 38+900V (ny sektion med nya utförda undersökningar)

I nu utförda sektionerna 38+320V och 38+600V har det inte bedömts som nödvändigt att utföra stabilitetsberäkningar, då ingen lerförekomst har påträffats i dessa sektioner, utan enbart grusig sandig lerig silt och sand närmast ån. Förekomsten av friktionsjord (troligen postglacial finsand) fortsätter även i riktning från älven i dessa sektioner.

Sektion 38+500 som varit beräknad i tidigare Göta älv utredning, har beräknats igen, då det i tidigare utredning antagits att bergnivån är direkt under älvbotten. Det finns inget som tyder på detta och därför har en bedömd rimlig lerutbredning under älven antagits och en förnyad beräkning utförts för denna sektion. Vid beräkningarna har samma portryck nyttjats som använts i tidigare Göta älv utredning.

Sektion 38+850 har beräknats i tidigare Göta älvutredning. Denna sektion har beräknats igen, med WSP:s jordlagermodell för det södra området. Vid beräkningarna har samma portryck som tidigare använts i Göta älvutredningen valts.

## 10.3 KRAV PÅ SÄKERHETSFAKTOR

Säkerhetsfaktor har valts enligt IEG rapport

"Tillståndsbedömning/klassificering av naturliga slänter och slänter med befintlig bebyggelse och anläggningar (4:2010).

Val av aktuell kravnivå har gjorts utifrån att en detaljerad utredning har utförts samt att markanvändningen för området klassas som befintlig bebyggelse eller anläggning. För det södra området ligger befintlig väg inom möjligt skredområde, men ingen bebyggelse berörs av ett eventuellt skred inom detta området. I norra området finns bebyggelse närmare älven och kan beröras av ett eventuellt skred.

Rekommenderad säkerhetsfaktor bör därför väljas enligt **tabell 3** nedan.



**Tabell 3:** Rekommenderad säkerhetsfaktor för befintlig bebyggelse och anläggning, detaljerad utredning (IEG rapport 4:2010)

	<b>Befintlig bebyggelse och anläggning</b>
<b>Detaljerad utredning</b>	$F_c > 1,7-1,5$ $F_{komb} > 1,5-1,3$ $F_\phi > 1,3$ (sand)

För området har en värdering av gynnsamma och ogynnsamma faktorer utförts, vilket påverkar valet av erforderlig säkerhetsfaktor för området, dvs i vilken del av ovanstående intervall som bör gälla för det aktuella området

För de olika delområdena, norra, mellersta och södra delområdet (se **figur 4**) har markerats respektive gynnsamma och ogynnsamma faktorer. Val har utförts utefter tabell 4.1 i IEG rapport 4:2010 och listats i **bilaga 9**.

Några gynnsamma faktorer som har identifierats är:

- Begränsad utbredning av skred (norra området)
- Inga tecken på rörelser i slänten
- Ingen kvicklera (norra området)
- Utlagda fungerande erosionskydd
- Liten risk för sekundär påverkan (norra området)
- Större andel friktionsjordar en bit från älven (norra området)

Några ogynnsamma faktorer som har identifierats är:

- Risk för stor ekonomisk skada, tex påverkan på sjöfart, dricksvattentäkt och vattenkraft
- Hög sensitivitet och kvicklera för det södra området
- Risk för bakåtgripande skred för det södra området
- Kohesionsjordar
- Ingen känslighetsanalys utförs på valda jordparametrar
- Påverkan på fastigheter (norra området)

Utifrån ovanstående bedöms att för det norra respektive södra området skall följandesäkerhetsfaktorer gälla enligt **tabell 4**:

**Tabell 4:** Vald säkerhetsfaktor för norra, mellersta respektive södra området, för befintlig bebyggelse och anläggning

	<b>Norra området</b>	<b>Mellersta området</b>	<b>Södra området</b>
<b>Detaljerad utredning</b>	$F_c > 1,6$ $F_{komb} > 1,4$	$F_c > 1,6$ $F_{komb} > 1,4$	$F_c > 1,6$ $F_{komb} > 1,4$

Vid beräkning enligt partialkoefficient metoden, väljs säkerhetsfaktorer,  $F_{EN}$  enligt tabell 4.1 i IEG 6:2008.

Säkerhetsfaktor för områden inom det norra och södra delområdet med kvicklera ska väljas till säkerhetsklass 3 och  $F_{EN}$  blir därmed 1,1 för såväl odränerad som kombinerad analys.

## 10.4 LASTER PÅ MARK

Trafiklast har beräknats enligt TK Geo13.

Trafiklast för beräkning enligt totalsäkerhetsmetoden ansätts till 20 kN/m<sup>2</sup>

För beräkning enligt partialkoefficientmetoden ansätts trafiklasten till 15kN/m<sup>2</sup>.

Dimensionerande trafiklast med partialkoefficientmetoden blir därmed,  
 $Q_d = \gamma_{G,g} * Q_k = 1,4 * 1,0 * 15 = 21$  kPa

Laster för byggnader har ansatts till 10 kPa per våningsplan vid totalsäkerhetsmetoden och till 14 kPa vid partialkoefficientsmetoden.

## 10.5 VALDA OCH DIMENSIONERANDE MATERIALPARAMETRAR

### 10.5.1 Allmänt

Inom undersökningsområdet har tre delområden identifierats, varav beräkningar har skett för två av dessa, den norra och den södra delen. Sonderingsresultaten inom respektive delområde har påvisat att det finns en strandnära lera och en landlera utöver älvleran. Egenskaperna för den strandnära leran och landleran är likartade, dock med viss skillnad avseende den odränerade skjuvhållfastheten och dess tillväxt med djupet inom de båda delområdena. De valda värdena har framförallt valts utifrån direkta skjuvförsök, konförsök samt vingförsök då CPTu-R-sonderingar generellt visat på betydligt lägre skjuvhållfasthet. CPTu-R sonderingar har istället använts för att bedöma trender och avgränsningar av de olika lerområdena.

För friktionsjordar och erosionsskydd har värden valts utifrån tabellvärden med stöd av TK Geo 13 då inga nya undersökningar har utförts för dessa jordlager/material.

Sammanställningar med grundparametrar redovisas i **bilaga 1**. Valda skjuvhållfasthetsvärden redovisas i **bilaga 2**, samt i tabeller nedan för respektive delområde.

### 10.5.2 Norra området, totalsäkerhetsmetoden

Valda värden för jordarna i det norra delområdet redovisas i **tabell 5** för de gemensamma jordarna, samt i **tabell 6** för de sektionsspecifika jordarna i delområdet. I **tabell 7** redovisas även de hållfasthetsvärden som använts/valts i den tidigare beräknade sektionen 38+500V från i Göta älvutredningen och som kompletterats med det valda värdet för älvleran av WSP.

**Tabell 5:** Valda värden för gemensamma jordar i norra delområdet.

<b>Jordlager</b>	<b>Nivå</b>	<b>Sammanvägda medelvärden <math>\bar{X}</math></b>	<b>Tunghet</b>
Torrskorpelera		$C_u = 30$ kPa	$\gamma = 17$ kN/m <sup>3 1)</sup> $\gamma' = 7$ kN/m <sup>3 1)</sup>
Landlera		$C_u = 70$ kPa	$\gamma = 17$ kN/m <sup>3</sup> $\gamma' = 7$ kN/m <sup>3</sup>
Strandnära lera 1 (Övre)	Överkant lera till -0,75	$C_u = 15$ kPa	$\gamma = 15,5$ kN/m <sup>3</sup> $\gamma' = 5,5$ kN/m <sup>3</sup>
Strandnära lera 2 (Undre)	-0,75 till underkant lera	$C_u = 15 + 2,3 * z$ kPa	$\gamma = 15,5$ kN/m <sup>3</sup> $\gamma' = 5,5$ kN/m <sup>3</sup>
Silt	Djupbaserad	$C_u = 30 + 30 * z$ kPa	$\gamma = 19$ kN/m <sup>3 1)</sup> $\gamma' = 9$ kN/m <sup>3 1)</sup>
Sand		$\phi = 38^\circ$	$\gamma = 18$ kN/m <sup>3 1)</sup> $\gamma' = 12$ kN/m <sup>3 1)</sup>
Friktionsjord		$\phi = 38^\circ$	$\gamma = 22$ kN/m <sup>3 1)</sup> $\gamma' = 12$ kN/m <sup>3 1)</sup>

z= djup i meter från lagrets ovkant för djupbaserade jordparametrar alternativt överkant nivå för nivåbaserade jordar

1): Empiriskt valt värde med stöd av TK GEO 13

**Tabell 6:** Valda värden för sektionsspecifika jordar.

<b>Jordlager/Sektion</b>	<b>Nivå</b>	<b>Sammanvägda medelvärden <math>\bar{X}</math></b>	<b>Tunghet</b>
<b>38+250V</b>			
Älvlera 1 (Älvslänt)	Djupbaserad	$C_u = 3 + 5,7 * z$ kPa	$\gamma = 15,5$ kN/m <sup>3</sup> $\gamma' = 5,5$ kN/m <sup>3</sup>
Älvlera 2 (Övre, älvbotten)	-11 till -22	$C_u = 3 + 5,7 * z$ kPa	$\gamma = 15,5$ kN/m <sup>3</sup> $\gamma' = 5,5$ kN/m <sup>3</sup>
Älvlera 3 (Undre, älvbotten)	-22 till underkant lera	$C_u = 62,6 + 2,3 * z$ kPa	$\gamma = 15,5$ kN/m <sup>3</sup> $\gamma' = 5,5$ kN/m <sup>3</sup>
<b>38+400V</b>			
Älvlera 1 (Älvslänt)	Djupbaserad	$C_u = 3 + 2,9 * z$ kPa	$\gamma = 15,5$ kN/m <sup>3</sup> $\gamma' = 5,5$ kN/m <sup>3</sup>

z= djup i meter från lagrets ovkant för djupbaserade jordparametrar alternativt överkant nivå för nivåbaserade jordar

**Tabell 7:** Värden för sektion 38+500V som tidigare beräknats i Göta älvtredningen. Parametrar för älvleran har tagits fram inom aktuellt uppdrag och övriga jordar har hämtats från Göta älvtredningen (2009-2011).

<b>Jordlager</b>	<b>Nivå</b>	<b>Sammanvägda medelvärden <math>\bar{X}</math></b>	<b>Tunghet</b>
Torrskorpelera (Crust)		$C_u = 30$ kPa	$\gamma = 18$ kN/m <sup>3</sup> <sup>1)</sup> $\gamma' = 8$ kN/m <sup>3</sup>
Landlera (Clay 3)		$C_u = 70$ kPa	$\gamma = 16$ kN/m <sup>3</sup> $\gamma' = 6$ kN/m <sup>3</sup>
Strandnära lera (Övre, Clay 1))	Överkant lera till -0,75	$C_u = 15$ kPa	$\gamma = 15,2$ kN/m <sup>3</sup> $\gamma' = 5,2$ kN/m <sup>3</sup>
Strandnära lera (Undre, Clay 2))	-0,75 till underkant lera	$C_u = 15 + 2,3 * z$ kPa	$\gamma = 15,2$ kN/m <sup>3</sup> $\gamma' = 5,2$ kN/m <sup>3</sup>
Älvlera (Clay 6)	Djupbaserad	$C_u = 30 + 30 * z$ kPa	$\gamma = 15,5$ kN/m <sup>3</sup> $\gamma' = 15,5$ kN/m <sup>3</sup>
Sand		$\phi = 33^\circ$	$\gamma = 18$ kN/m <sup>3</sup> <sup>1)</sup> $\gamma' = 10$ kN/m <sup>3</sup> <sup>1)</sup>
Friktionsjord (Friction)		$\phi = 38^\circ$	$\gamma = 20$ kN/m <sup>3</sup> <sup>1)</sup> $\gamma' = 12$ kN/m <sup>3</sup> <sup>1)</sup>
Erosionsskydd (Strandskoning)		$\phi = 40^\circ$	$\gamma = 18$ kN/m <sup>3</sup> <sup>1)</sup> $\gamma' = 11$ kN/m <sup>3</sup> <sup>1)</sup>

z=djup i meter från lagrets ovkant för djupbaserade jordparametrar alternativt överkant nivå för nivåbaserade jordar

1): Empiriskt valt värde med stöd av TK GEO 13

### 10.5.3 Södra området, totalsäkerhetsmetoden

Valda värden för jordarna i det södra delområdet redovisas i **tabell 8** för delområdets jordtyper.

**Tabell 8:** Valda värden för gemensamma jordar inom det södra delområdet.

<b>Jordlager</b>	<b>Nivå</b>	<b>Sammanvägda medelvärden <math>\bar{X}</math></b>	<b>Tunghet</b>
Torrskorpelera		$C_u = 30$ kPa	$\gamma = 17$ kN/m <sup>3 1)</sup> $\gamma' = 7$ kN/m <sup>3 1)</sup>
Strandnära lera 1 (Övre)	Överkant lera till $\pm 0$	$C_u = 13$ kPa	$\gamma = 15,5$ kN/m <sup>3</sup> $\gamma' = 5,5$ kN/m <sup>3</sup>
Strandnära lera 2 (Undre)	$\pm 0$ till underkant lera	$C_u = 15,5 + 0,6 \cdot z$ kPa	$\gamma = 15,5$ kN/m <sup>3</sup> $\gamma' = 5,5$ kN/m <sup>3</sup>
Landlera 1 (Övre)	Överkant lera till +3	$C_u = 13$ kPa	$\gamma = 15,6$ kN/m <sup>3</sup> $\gamma' = 5,6$ kN/m <sup>3</sup>
Landlera 2 (Undre)	+3 till underkant lera	$C_u = 13 + 1,3$ kPa	$\gamma = 15,6$ kN/m <sup>3</sup> $\gamma' = 5,6$ kN/m <sup>3</sup>
Älvlera 1 (Älvbotten)	-11 till underkant lera	$C_u = 3 + 2,2 \cdot z$ kPa	$\gamma = 15,5$ kN/m <sup>3</sup> $\gamma' = 5,5$ kN/m <sup>3</sup>
Älvlera 2 (Älvslänt)	Djupbaserad	$C_u = 3 + 2,2 \cdot z$ kPa	$\gamma = 15,5$ kN/m <sup>3</sup> $\gamma' = 5,5$ kN/m <sup>3</sup>
Friktionsjord		$\phi = 38^\circ$	$\gamma = 22$ kN/m <sup>3 1)</sup> $\gamma' = 12$ kN/m <sup>3 1)</sup>
Erosionsskydd		$\phi = 40^\circ$	$\gamma = 18$ kN/m <sup>3 1)</sup> $\gamma' = 11$ kN/m <sup>3 1)</sup>

z=djup i meter från lagrets ovkant för djupbaserade jordparametrar alternativt överkant nivå för nivåbaserade jordar

1): Empiriskt valt värde med stöd av TK GEO 13

### 10.5.4 Eta faktorer

Vid utvärdering av  $\eta$ -faktorer (eta) har IEG rapport 6 TD slänter och bankar (IEG, 2008) använts.  $\eta$ -faktorer har valts enligt **tabell 9** nedan.

**Tabell 9:** Val av  $\eta$ -faktorer för beräkning enligt partialkoefficientsmetoden

$\eta$ -faktorer	Kohesionsjordar	Friktionsjordar	Anmärkning	Motiv till valda äta-faktor
$\eta_{1,2}$	1,0	-		Normalsvensk lera, flera än 7 bestämning av Cuk
$\eta_3$	1,1	-		Direkta skjuvförsök har använts som bekräftar övriga resultat
$\eta_{4,5,6,7}$	1,0	-		Stor brottyta, medelvärde på skjuvhållfasthet, cirkulär glidyta
$\eta_8$	1,0	-		1,0 (enligt förslag i IEG rapport 6:2008)
$\eta_{tot}$	1,1	1,0	Tabellvärden för friktionsjordar.	

### 10.5.5 Norra området, för partialkoefficientmetoden

Dimensionerande värden för jordarna i det norra delområdet redovisas i **tabell 10** för de gemensamma jordarna samt i **tabell 11** för de sektionsspecifika jordarna i delområdet. Den tidigare beräknade sektionen 38+500V från Göta älvutredningen har ej beräknats med partialkoefficientmetoden.

**Tabell 10:** Dimensionerande värden för gemensamma jordar i norra delområdet.

<b>Jordlager</b>	<b>Nivå</b>	<b>Sammanvägda medelvärden <math>\bar{X}</math></b>	<b>Tunghet</b>
Torrskorpelera		$C_{ud} = 22$ kPa	$\gamma = 17$ kN/m <sup>3 1)</sup> $\gamma' = 7$ kN/m <sup>3 1)</sup>
Landlera		$C_{ud} = 51,3$ kPa	$\gamma = 17$ kN/m <sup>3</sup> $\gamma' = 7$ kN/m <sup>3</sup>
Strandnära lera 1 (Övre)	Överkant lera till -0,75	$C_{ud} = 11$ kPa	$\gamma = 15,5$ kN/m <sup>3</sup> $\gamma' = 5,5$ kN/m <sup>3</sup>
Strandnära lera 2 (Undre)	-0,75 till underkant lera	$C_{ud} = 11 + 1,7 * z$ kPa	$\gamma = 15,5$ kN/m <sup>3</sup> $\gamma' = 5,5$ kN/m <sup>3</sup>
Silt	Djupbaserad	$C_{ud} = 22 + 22 * z$ kPa	$\gamma = 19$ kN/m <sup>3 1)</sup> $\gamma' = 9$ kN/m <sup>3 1)</sup>
Sand		$\phi'_d = 31^\circ$	$\gamma = 18$ kN/m <sup>3 1)</sup> $\gamma' = 12$ kN/m <sup>3 1)</sup>
Friktionsjord		$\phi'_d = 31^\circ$	$\gamma = 22$ kN/m <sup>3 1)</sup> $\gamma' = 12$ kN/m <sup>3 1)</sup>

z=djup i meter från lagrets ovkant för djupbaserade jordparametrar alternativt överkant nivå för nivåbaserade jordar

1): Empiriskt valt värde med stöd av TK GEO 13

**Tabell 11:** Dimensionerande värden för sektionsspecifika jordar.

<b>Jordlager/Sektion</b>	<b>Nivå</b>	<b>Sammanvägda medelvärden <math>\bar{X}</math></b>	<b>Tunghet</b>
<b>38+250V</b>			
Älvlera 1 (Älvslänt)	Djupbaserad	$C_{ud} = 2,2 + 4,2 * z$ kPa	$\gamma = 15,5$ kN/m <sup>3</sup> $\gamma' = 5,5$ kN/m <sup>3</sup>
Älvlera 2 (Övre, älvbotten)	-11 till -22	$C_{ud} = 2,2 + 4,2 * z$ kPa	$\gamma = 15,5$ kN/m <sup>3</sup> $\gamma' = 5,5$ kN/m <sup>3</sup>
Älvlera 3 (Undre, älvbotten)	-22 till underkant lera	$C_{ud} = 45,9 + 1,7 * z$ kPa	$\gamma = 15,5$ kN/m <sup>3</sup> $\gamma' = 5,5$ kN/m <sup>3</sup>
<b>38+400V</b>			
Älvlera 1 (Älvslänt)	Djupbaserad	$C_{ud} = 2,2 + 2,1 * z$ kPa	$\gamma = 15,5$ kN/m <sup>3</sup> $\gamma' = 5,5$ kN/m <sup>3</sup>

z=djup i meter från lagrets ovkant för djupbaserade jordparametrar alternativt överkant nivå för nivåbaserade jordar



### 10.5.6 Södra området, för partialkoefficientmetoden

Dimensionerande värden för jordarna i det södra delområdet redovisas i **tabell 12** för jordarna inom delområdet.

**Tabell 12:** Dimensionerande värden för gemensamma jordar inom det södra delområdet.

Jordlager	Nivå	Sammanvägda medelvärden $\bar{X}$	Tunghet
Torrskorpelera		$C_{ud} = 22 \text{ kPa}$	$\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$ $\gamma' = 7 \text{ kN/m}^3$
Strandnära lera 1 (Övre)	Överkant lera till $\pm 0$	$C_{ud} = 11,4 \text{ kPa}$	$\gamma = 15,5 \text{ kN/m}^3$ $\gamma' = 5,5 \text{ kN/m}^3$
Strandnära lera 2 (Undre)	$\pm 0$ till underkant lera	$C_{ud} = 11,4 + 0,95 \cdot z \text{ kPa}$	$\gamma = 15,5 \text{ kN/m}^3$ $\gamma' = 5,5 \text{ kN/m}^3$
Landlera 1 (Övre)	Överkant lera till +3	$C_{ud} = 9,5 \text{ kPa}$	$\gamma = 15,6 \text{ kN/m}^3$ $\gamma' = 5,6 \text{ kN/m}^3$
Landlera 2 (Undre)	+3 till underkant lera	$C_{ud} = 9,5 + 0,44 \text{ kPa}$	$\gamma = 15,6 \text{ kN/m}^3$ $\gamma' = 5,6 \text{ kN/m}^3$
Älvlera 1 (Älvbotten)	-11 till underkant lera	$C_{ud} = 2,2 + 1,6 \cdot z \text{ kPa}$	$\gamma = 15,5 \text{ kN/m}^3$ $\gamma' = 5,5 \text{ kN/m}^3$
Älvlera 2 (Älvslänt)	Djupbaserad	$C_{ud} = 2,2 + 1,6 \cdot z \text{ kPa}$	$\gamma = 15,5 \text{ kN/m}^3$ $\gamma' = 5,5 \text{ kN/m}^3$
Friktionsjord		$\phi'_d = 31^\circ$	$\gamma = 22 \text{ kN/m}^3$ $\gamma' = 12 \text{ kN/m}^3$
Erosionsskydd		$\phi'_d = 32,8^\circ$	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ <sup>1)</sup> $\gamma' = 11 \text{ kN/m}^3$ <sup>1)</sup>

$z$ =djup i meter från lagrets ovkant för djupbaserade jordparametrar alternativt överkant nivå för nivåbaserade jordar

1): Empiriskt valt värde med stöd av TK GEO 13

## 10.6 VALDA GRUNDVATTEN-, YT- OCH PORTRYCKSNIVÅER

### 10.6.1 Allmänt

Tolkning av grundvattennivån har gjorts utifrån tidigare installerade grundvattenrör. WSP har inte installerat några nya grundvattenrör. Grundvattennivån har genom hela slänten ansatts till 0,5 meter under markytan i lerjordar tills sand eller friktionslager påträffats högre upp i slänten. I sand- eller friktionsjordar har grundvattennivån tolkats hålla en jämnare nivå.

WSP har installerat en portrycksstation i tre nivåer inom det södra delområdet som komplement till de tre tidigare installerade portrycksstationerna. Två av de äldre portrycksstationerna är belägna inom det norra delområdet med portryckspetsar på en nivå vardera och den tredje äldre portrycksstationen är belägen i det södra delområdet med tre nivåer av portryckspetsar.

Förberäkningarna har lägsta lågvattennivån (LLW) för Göta Älv interpolerats mellan Lilla Edet och Älvängen. LLW inom Ivarslund varierar mellan -0,12 till -0,14. Vid beräkningarna har vattennivå om -0,1 använts för Göta älv.

Använda portrycks- och grundvattenprofiler i beräkningarna redovisas i **bilaga 7**.

### **10.6.2 Norra området**

För norra delområdet har valda uppmätta portrycksnivåer ifrån de två äldre installerade portrycksstationerna använts. Vid nuläges analyserna har det högsta uppmätta värdet använts. För känslighetsanalysen i sektion 38+400 har det högsta uppmätta värdet ökats med en meter vattenpelare använts som ett extremvärde.

### **10.6.3 Södra området**

I det södra delområdet finns två portrycksstationer installera varav två av tre portrycksmätare är installerade på samma djup, dock på olika nivåer. Portrycksmätningar för de båda portrycksstationerna har dock ej utförts under samma månader på året, och den nu installerade portrycksstationen har visat generellt på högre uppmätta portryck. Den nu installerade portrycksstationen har mätt under perioden december-februari och den äldre portrycksstationen under perioden juni-september. Således har uppmätta portrycksnivåer i den nu installerade portrycksstation inom det södra delområdet använts då ett högre portryck har uppmätts. Inom det södra delområdet har artesiskt portryck uppmätts.

Vid beräkningar har det maximalt uppmätta värdet för respektive portrycksnivå ansatts för hela slänten vid nulägesanalyserna. Känslighetsanalyserna med förhöjt portryck har uppmätt högsta värde i WSP:s portrycksstation plus 1 meter vattenpelare använts som ett extremvärde vid beräkningarna.

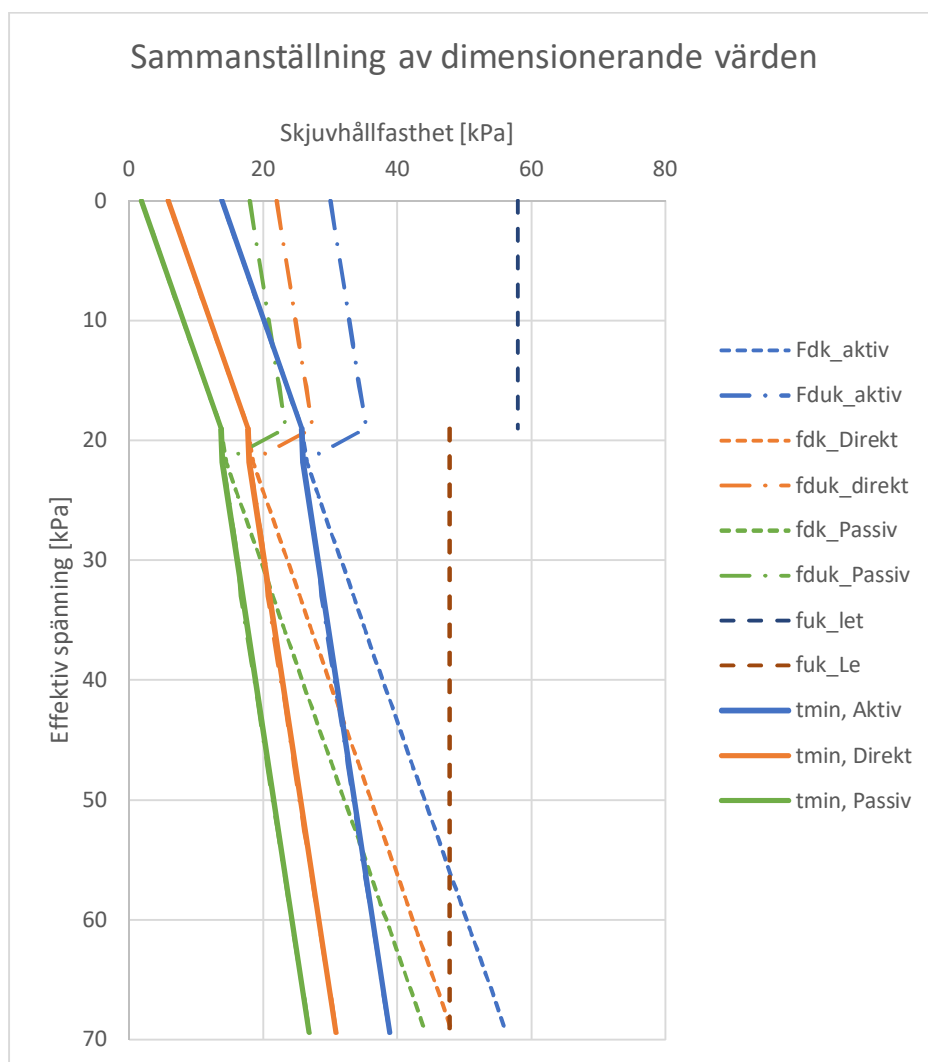
En sektion, 38+800V har även beräknats med inarbetning av närliggande relevanta CPTu-R-sonderingar som utförts med utjämningsförsök. Utjämningsförsöken visar generellt på lägre portrycksförhållanden högre upp i slänten jämfört med de älvnära områdena.

## 10.7 FÖRSTÄRKNINGSÅTGÄRDER

I sektionen 38+800 har även tre olika förstärkningsmetoder vid totalstabilitetsanalyser beräknats enligt nedan för att studera möjliga förstärkningsåtgärder.

- Tryckbank i älvslänten samt utökning av erosionsskyddet
- Avschaktning och utflackning av slänt
- Installation av kalk- & cementpelare

För fallet med kalk- och cementpelare har två scenarion beräknats med 15 respektive 20 meters utbredning i slänten. **Figur 8** redovisar de dimensionerande egenskaperna i glidyntans aktiva, passiva samt direkta glidzon. för kalk- och cementpelarna i den valda jordprofilen. Utifrån beräknande totalstabilitet för befintliga förhållanden placerades kalk- och cementpelarna i glidyntans aktiva zon.



**Figur 8:** Dimensionerande värden för KC-pelare.

# 11 RESULTAT

## 11.1 RESULTAT AV UTFÖRDA STABILITETSBERÄKNINGAR

### 11.1.1 Totalsäkerhetsmetoden

Resultat av utförda beräkningar enligt totalsäkerhetsmetoden sammanfattas i **tabell 13** samt i **bilaga** med utförda stabilitetsberäkningar i **bilaga 3-**

**Tabell 13.** Sammanställning av beräkningsresultat med totalsäkerhetsmetoden, sektionsvis.

<b>Sektion/Förutsättning</b>	<b>Beräknad säkerhetsfaktor</b>	<b>Valt krav IEG rapport 4:2010</b>	<b>Beräkningsfil</b>
<b>38250V</b>	$F_c = 1,39$	$F_c = 1,6$	38250VOB1
	$F_{komb} = 1,22$	$F_{komb} = 1,4$	38250VKB1
<b>38400V</b>	$F_c = 1,60$	$F_c = 1,6$	38400VOB1
	$F_{komb} = 1,04$	$F_{komb} = 1,4$	38400VKB1
<b>38500V</b>	$F_c = 1,34$	$F_c = 1,6$	38500VOB1
	$F_{komb} = 1,04$	$F_{komb} = 1,4$	38500VKB1
<b>38800V</b>	$F_c = 1,17$	$F_c = 1,6$	38800VOB1
	$F_{komb} = 0,87$	$F_{komb} = 1,4$	38800VKB1
<b>38850V</b>	$F_c = 0,96$	$F_c = 1,6$	38850VOB1
	$F_{komb} = 0,86$	$F_{komb} = 1,4$	38850VKB1
<b>38900V</b>	$F_c = 0,98$	$F_c = 1,6$	38900VOB1
	$F_{komb} = 0,69$	$F_{komb} = 1,4$	38900VKB1

### 11.1.2 Känslighetsanalyser map portryck (totalsäkerhetsmetoden)

Resultat av utförd känslighetsanalys för portryck i totalstabilitetsberäkningar sammanfattas i **tabell 14** samt i **bilaga 5** för utförda stabilitetsberäkningar.

**Tabell 14.** Beräkningsresultat för känslighetsanalys med avseende på portryck.

<b>Sektion/Förutsättning</b>	<b>Beräknad säkerhetsfaktor</b>	<b>Krav IEG rapport 4:2010</b>	<b>Beräkningsfil</b>
<b>38400V (Höjt portryck)</b>	$F_{komb} = 0,68$	$F_{komb} = 1,4$	38400VKK1
<b>38800V Höjt portryck</b>	$F_{komb} = 0,45$	$F_{komb} = 1,4$	38800VKK1
<b>Sänkt portryck</b>	$F_{komb} = 1,16$	$F_{komb} = 1,4$	38800VKK2
<b>38900V Höjt portryck</b>	$F_{komb} = 0,40$	$F_{komb} = 1,4$	38900VKK1

### 11.1.3 Förstärkningsåtgärder i sektionen 38+800 (totalsäkerhetsmetoden)

Resultat av utförda totalstabilitetsberäkningar för förstärkningsåtgärder sammanfattas i **tabell 15** samt i **bilaga 6** för utförda stabilitetsberäkningar.

**Tabell 15:** Beräkningsresultat för förstärkningsåtgärder i sektion 38+800.

<b>Sektion/Förutsättning</b>	<b>Beräknad säkerhetsfaktor</b>	<b>Krav IEG rapport 4:2010</b>	<b>Beräkningsfil</b>
<b>Tryckbank</b>	$F_c = 1,19$	$F_c = 1,6$	38800VOA1
<b>Avschaktning och utflackning av slänt</b>	$F_c = 1,02$	$F_c = 1,6$	38800VOA2
<b>KC-pelare (15 meter brett)</b>	$F_c = 1,23$ $F_{komb} = 1,06$	$F_c = 1,6$ $F_{komb} = 1,4$	38800VOA3 38800VKA3
<b>KC-pelare (20 meter brett)</b>	$F_c = 1,23$ $F_{komb} = 1,10$	$F_c = 1,6$ $F_{komb} = 1,4$	38800VOA4 38800VKA4

### 11.1.4 Partialkoefficient metoden

Resultat av utförda beräkningar enligt partialkoefficientmetoden sammanfattas i **tabell 16** samt i bilaga med utförda stabilitetsberäkningar i **bilaga 4**.

Tabell 16. Sammanställning av beräkningsresultat med partialkoefficientsmetoden, sektionsvis.

<b>Sektion/Förutsättning</b>	<b>Beräknad säkerhetsfaktor</b>	<b>Krav IEG rapport 4:2010</b>	<b>Beräkningsfil</b>
<b>38250V</b>	$F_c = 1,02$	$F_c = 1,1$	38250VOB2
	$F_{komb} = 0,90$	$F_{komb} = 1,1$	38250VKB2
<b>38400V</b>	$F_c = 1,12$	$F_c = 1,1$	38400VOB2
	$F_{komb} = 0,79$	$F_{komb} = 1,1$	38400VKB2
<b>38800V</b>	$F_c = 0,85$	$F_c = 1,1$	38800VOB2
	$F_{komb} = 0,66$	$F_{komb} = 1,1$	38800VKB2
<b>38900V</b>	$F_c = 0,72$	$F_c = 1,1$	38900VOB2
	$F_{komb} = 0,51$	$F_{komb} = 1,1$	38900VKB2

## 12 SLUTSATS

### 12.1 ALLMÄNT

Utförda analyser och beräkningar inom området Ivarslund visar generellt att stabiliteten i södra området är mycket ansträngd. Resultaten visar även att det i norra området finns vissa delar med låg säkerhet mot stabilitetsbrott. Däremot har det i den nu utförda utredningen tillkommit information som möjliggör en sänkning av risknivån för vissa områden som tidigare bedömts ha sannolikt hög risk för skred.

Generellt har portrycken i området en stor påverkan på stabilitetsförhållandena, både för det norra och södra området, vilket ses i den känslighetsanalys med hänsyn till portrycken som har utförts. Speciellt i södra området har portrycken en mycket stor påverkan på stabiliteten.

Analys av respektive område redovisas nedan.

### 12.2 NORRA OMRÅDET, KM CA 38+250V - 38+600V

För det norra området har nu utförda undersökningar givit ny information, vilket har möjliggjort en sänkning av risknivån med avseende på sannolikheten för skred och området som tidigare bedömdes ha hög risk för skred har kunnat minskas.

För norra området uppfylls inte kravet på erforderlig säkerhetsfaktor för varken glidytor i odränerad eller kombinerad analys. Detta gäller för området närmast älven, som ligger mellan ca 20-40 m från strandkanten.

Då det längre från älven förekommer isälvsavlagringar av silt och sand, samt att det inte förekommer kvicklera i detta området, är förutsättningarna för bakåtgripande skredförlopp begränsad i denna delen av Ivarslund.

Området mellan 38+250V och till sektion 38+550V är klassat till en medelhög risknivå i Göta älvutredningen.

Nu utförda beräkningar visar på säkerhetsfaktorer på denna sträckan mellan 1,34-1,6 för odränerad analys och 1,04-1,2 i kombinerad analys. I sektion 38+320V förekommer det endast fastare jordlager av sand. Detta fastare område är inte avgränsat i nord-sydlig riktning och i sektion 38+400V förekommer återigen lera, där kraven på säkerhetsfaktor inte uppfylls.

För befintlig bebyggelse inom denna nordligaste del bedöms stabiliteten vara tillfredsställande. För området närmast älven är stabiliteten inte tillfredsställande.

I km 38+550V och 38+600V har geotekniska undersökningar utförts som visar att det dels förekommer mer friktionsjord närmare älven samt mindre mäktigheter av lera inom detta området. I sektion 38+550V finns det ett lerlager och där bedömningen är att stabiliteten är låg för området från älven och ca 25 m in. Längre upp från älven bedöms stabiliteten vara bättre, då jordlagren högre upp består av fastare silt och sandlager.

Den nu utförda detaljerade stabilitetsutredningen avgränsas i norr i sektion 38+250V. Norr om denna sektion, mot befintlig bäck och Ballabo området, verkar lermäktigheten bli mäktigare utifrån tidigare sonderingar mot bäcken i Göta älvutredningen.

### 12.3 MELLERSTA OMRÅDET, KM CA 38+600V - +38+675V

I området som ligger mellan det norra och det södra är förekomsten av lera och kvicklera begränsad. I detta område förekommer inte heller någon bebyggelse. Enligt utförda undersökning förekommer den största lermäktigheten i borrhål 19WS08 i detta område. Under en torrskorpelera om ca 3 m följer ett lager av siltig lera med en mäktighet upp emot 2m. Därunder förekommer friktionsjord.

Vid sonderingspunkter utförda i syfte att avgränsa områden med mäktiga lerlager, har inga stora mäktigheter av lös lera påträffats. Detta innebär troligtvis att det inte finns några mäktigare lerlager på ett avstånd större än 20 m från älven.

Enligt utförd undersökning i punkten 19WS05, tyder det på att det inte finns lera närmare älven i sektion 38+600V.

Det mellersta området bedöms med hänsyn till utförda undersökningar och påträffad lermäktighet, ha en stabilitet som överstiger 1,0, likt sektion 38+400V. Dock uppfylls inte kravet på säkerhetsfaktor, så stabiliteten är fortfarande för låg.

### 12.4 SÖDRA OMRÅDET, KM CA 38+675V - +38+900V

I södra området förekommer det större mäktigheter av lös lera både närmast älven och längre västerut från älven. Ett höjdparti i väster ger en brant topografi som slutar ner mot lerområdet. Här visar både tidigare stabilitetsberäkningar och nya beräkningar att stabiliteten för området är låg. De kritiska glidytorerna är också stora och omfattar i stort sett hela slänten vid



odränerad analys i sektion 38+800V. Vidare visar utförda beräkningar att glidyterna i stort sett går ner i botten av lerlagret, vilket visar att beräkningsmodellens geometrier är viktiga.

I den sydligaste sektionen 38+900V är undervattensslänten närmast stranden mycket brantare än i de övriga sektionerna i detta området, vilket gör att de kritiska glidyterna går närmare älven och ej lika långt bak.

Säkerhetsfaktorn för de större glidyterna är i stort sett lika för sektion 38+900 och 38+850 men är något högre för den nordligaste sektionen, 38+800, i det södra området.

Skjuvhållfastheten är vald utifrån sammanställningar av empiri, vingförsök, konförsök och CPT sonderingar. Och utförda direkta skjuvförsök har verifierat vald skjuvhållfasthet.

Utförda rutinförsök på prover tagna inom det södra området visar att leran på samtliga nivåer klassificeras som kvicklera. Detta stöds även av resultaten från utvärdering av kvickleraförekomst från CPT som visar att leran troligtvis är kvick (se bilaga 8 samt tolkad kvicklera i plan ritning G-10-1-002T). Tidigare utförda provtagningar och laborieförsök visar på det motsatta. Anledningen till detta har inte vidare studerats inom aktuell utredning.

Det bedöms att ett eventuellt bakåtgripande skred får en utbredning som når fram till den befintliga väg som går i den västra delen av området.

Befintlig bebyggelse inom den södra delen, bedöms ligga på friktionsjord eller berg, och påverkas således inte av ett eventuellt skred utbredning invid älven.

## 12.5 MÖJLIGA FÖRSTÄRKNINGSÅTGÄRDER

Det finns ett antal möjliga förstärkningsåtgärder, som bedöms ha olika effekt för olika delar av det nu utreda området Ivarslund.

Avschaktning kan lösa vissa stabilitetsproblem i det norra området, men bedöms, utifrån utförda beräkningar inte ha så stor inverkan på de stora och långa glidyterna i det södra området.

För det södra området visar utförda beräkningar, att förstärkning med koppelare har störst effekt som förstärkningsmetod. Området som behöver förstärkas blir dock omfattande.

Även utläggning av tryckbank i älven och vid stranden ger en positiv effekt på stabiliteten för det södra området.

En annan möjlig förstärkningsåtgärd är att utföra djupdränering med vertikala brunnar, i det södra området samt att förhindra att ytvatten, som kommer från höjdområdet i väster, har möjlighet att infiltrera ner i området, t ex genom att anlägga dike i västra delen av området.

Denna åtgärd har dock endast en påverkan på den kombinerade analysen.

Det finns risker med att utföra djupdränering. Bland annat är det sannolikt att sättningar kommer uppstå. Området kommer bland annat sätta sig. För att utföra djupdränering krävs troligen också tillstånd för vattenverksamhet enligt Miljöbalken, vilket är en lång och omfattande process att få igenom.

Belastningsrestriktioner bör gälla för hela Ivarslund området, så att ingen exploatering sker i områden som berörs av eventuella skred.

## 13 KVICKLERATOLKNING

Kvicklera har tolkats utifrån resultat av utförda laboratorieundersökningar, trycksonderingar samt utförda CPT-R sonderingar. Tolkningen har skett med ett verktyg utvecklat i Excel, framtaget och erhållet av SGI. I programmet studeras utförd klassificering av sensitivitet och omrörd skjuvhållfasthet från konförsök, tillsammans med totalt neddrivningsmotstånd och resistivitetmätning från CPT-R samt neddrivningsmotstånd från trycksonderingar. Resultaten har sammanställts i diagram där olika färgkoder och symboler anger om kvicklera har tolkats för aktuell undersökningsspunkt. Utifrån detta har därefter en klassning av området med avseende på kvicklera utförts.

Vid klassningen har följande prioritetsordning följts.

1. Kolvprovtagning med laborativvärden
2. CPT-R sonderingar (resistivitetmätning och totalt neddrivningsmotstånd)
3. Trycksondering (totalt neddrivningsmotstånd)

I t ex de fall där kolvprovtagningen inte har visat kvicklera, har undersökningsspunkten inte bedömts innehålla kvicklera.

Generellt gäller att för nya undersökningar visar resistivitetmätningar i utförda CPT-R oftast att förutsättningar för kvicklera finns i en stor del av jordprofilen.

I provtagningsspunkt 19WS17 i sektionen 38+800 visar konförsöken på kvicklera på samtliga upptagna och analyserade jordprover. Anmärkningsvärt är att i tidigare upptagna jordprover i sektion 38+850 (Göta älvutredningen), visar resultaten från konförsök på ostörda prover ingen kvicklera.

Resultat av utförda kvickleratolkningar redovisas i **bilaga 8** till detta PM, samt i plan på ritning G-10-1-001T och G-10-1-002T

## 14 PRIMÄR- & SEKUNDÄRSKRED

Vid bedömning av primär- och sekundärskred har följande kriterier satts upp.

1. Primärskred utgörs utav glidytan med lägst säkerhetsfaktor enligt Totalsäkerhetsmetoden vid nulägesanalys.
2. Sekundärskredet utbredning utgörs av de delar som har bedömts innehålla kvicklera eller där fastmark kommer och leran inte är kvar.
3. Sand- och friktionsjordar begränsar utbredningen av sekundärskreden.

Bedömning av primär- och sekundärskred redovisas i plan i ritningarna G-10-1-003T och G-10-1-004T.

## 15 REKOMMENDATIONER

Resultatet av den detaljerade stabilitetsutredningen, visar att det är låg säkerhet mot stabilitetsbrott för hela området Ivarslund.

Med hänsyn till att skred i det södra området skulle innebära stor konsekvens för Göta älv och att sammanställning av odränerad skjuvhållfasthet visar stor spridning så bör ytterligare kvalificerade undersökningar av odränerad skjuvhållfasthet utföras för området. Det rekommenderas därför att en, fördjupad stabilitetsutredning utförs för området.

Vid en fördjupad utredning föreslås kompletterande undersökningar av bland annat följande:

- Installation av ytterligare portrycksstationer, framförallt i släntens bakkant/högre upp i slänten, för att se hur portrycken varierar i detta området, då utförda känslighetsanalyser visar att stabiliteten blir bättre med lägre portryck i t ex bakkant av slänten.
- Fortsätt mätning av nu installerad portrycksstation
- Förtätning av sektioner för få mer information om lerans odränerade skjuvhållfasthet samt avgränsa utbredningen av kvicklera i det södra området. Detta erfordrar förslagsvis kompletterande kolvprovtagning samt även fler vingförsök.
- Utförande av fler direkta skjuvförsök för att få mer kunskap om lerans odränerad skjuvhållfasthet.
- Triaxialförsök för att kunna bestämma leran anisotropa egenskaper för att beräkningar nyttja lerans aktiva och passiva skjuvhållfastheten. Detta medför att beräkningarna ytterligare kan förfinas och således öka möjlighet att eventuellt avskriva vissa områden.

I södra området är det en stor del av glidytan som går i aktivzonen varvid en god kännedom om lerans aktiva skjuvhållfasthet ger bättre förutsättningar för att återge en rimlig bild av området geotekniska säkerhet

- Komplettering med förtätning i sektion med t ex trycksondering för att få koll på när de fastare jordlagren återfinns och dess mäktighet under leran för att bedöma skredutbredning samt för att ytterligare kunna avgränsa områden med låg stabilitet i t ex det norra området.
- Önskvärt är att för det södra området kunna komplettera med undersökningar i älven, för att minska osäkerheterna beträffande lerans odränerad skjuvhållfasthet under älvbotten.
- Beräkningar med åtgärdsförslag för det södra området.

Det är av stor vikt att man fortsättningsvis även inventerar och kontrollerar erosionsskyddens statusregelbundet, då funktionen på dessa är avgörande, för att inte områdets stabilitet ska försämrats ytterligare.



## VI ÄR WSP

WSP är ett av världens ledande analys- och teknikkonsultföretag. Vi verkar på våra lokala marknader med stöd av global expertis. Som tekniska experter och strategiska rådgivare har vi tillgång till ingenjörer, tekniker, naturvetare, planerare, utredare och miljöspecialister liksom professionella projektörer, konstruktörer och projektledare. Vi erbjuder hållbara lösningar inom Hus & Industri, Transport & Infrastruktur och Miljö & Energi. Med drygt 39 000 medarbetare på 500 kontor i 40 länder medverkar vi till en hållbar samhällsutveckling. I Sverige har vi omkring 4 000 medarbetare. [wsp.com](http://wsp.com)

**WSP Sverige AB**  
Ågatan 7  
58222 Linköping  
Besök: Ågatan 7

T: +46 10 7225000  
Org nr: 556057-4880  
Styrelsens säte: Stockholm  
[wsp.com](http://wsp.com)

