

JANUARI 2021  
SGI – DELEGATIONEN FÖR GÖTA ÄLV

# MARIESTRÖM, LILLA EDETS KOMMUN

PM GEOTEKNIK DETALJERAD STABILITETSUTREDNING

15200VPM01



**COWI**



JANUARI 2021  
SGI – DELEGATIONEN FÖR GÖTA ÄLV

# MARIESTRÖM, LILLA EDETS KOMMUN

PM GEOTEKNIK DETALJERAD STABILITETSUTREDNING

15200VPM01

DIARIENUMMER	UPPDRAGSNUMMER	KONTAKTPERSON SGI
1910-0738	20071	Måns Ryttmäster

PROJEKTNR.	DOKUMENTNR.
A201067	15200VPM01

VERSION	UTGIVNINGSDATUM	BESKRIVNING	UTARBETAD	GRANSKAD	GODKÄND
1.0	2021-01-15	PM Geoteknik detaljerad stabilitetsutredning	Emma Jägryd	Charlotte Junkers	Christina Edström



# INNEHÅLL

1	Objekt	8
2	Syfte	8
3	Underlag för utredning	9
3.1	Utförda undersökningar	9
3.2	Övrigt underlag	9
4	Styrande dokument	10
5	Projekteringsanvisningar	10
6	Befintliga förhållanden	12
6.1	Topografi och ytbeskaffenhet	12
6.2	Befintliga konstruktioner	17
6.3	Tidigare jordskred	17
7	Geotekniska förhållanden	18
7.1	Jordlagerförhållanden	18
7.2	Utvärdering kvicklera	21
7.3	Hydrogeologiska förhållanden	22
8	Valda beräkningsparametrar	25
8.1	Jordmaterialparametrar	25
8.2	Portrycksmodell	29
8.3	Vattenstånd i älven	30

9	Övriga förutsättningar, stabilitetsanalys	31
9.1	Gynnsamma och ogynnsamma förutsättningar	31
9.2	Känslighetsanalys	33
10	Beräkningar och resultat	35
10.1	Totalsäkerhetsmetoden	35
10.2	Partialkoefficientmetoden	39
11	Föreslagna åtgärder – motiv	40
12	Slutsats och rekommendationer	41

## BILAGOR

Bilaga 1	Sammanställning av valda karakteristiska värden för odränerad skjuvhållfasthet
Bilaga 2	Sammanställning av vald tunghet
Bilaga 3	Sammanställning av valda portryck
Bilaga 4	Beräkningsresultat

## Förord

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

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

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

*Sekretariatet till Delegation för Göta älv*

## 1 Objekt

På uppdrag av Statens geotekniska institut (SGI) har COWI AB utfört en geoteknisk utredning vid Marieström i Lilla Edets och Trollhättans kommun.

Undersökningsområdet är beläget på västra sidan om Göta älv vid kommungränsen mellan Lilla Edet och Trollhättan, ca 5 km sydväst om Trollhättans centrala del. Genom området går Edsvägen, se Figur 1. Området sträcker sig från ca km 15/200 i norr till ca km 15/600 i söder enligt Göta älvs längdmätning.



Figur 1. Översiktsbild, aktuellt område markerat med röd linje (kartkälla: eniro.se, 2020)

## 2 Syfte

Utredningen omfattar en detaljerad geoteknisk utredning, enligt IEG:s Rapport 4:2010. Syftet med den detaljerade stabilitetsutredningen är att klargöra områdets befintliga stabilitetsförhållanden och avgränsa området med avseende på sannolikhet för skred.



## 3 Underlag för utredning

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

### 3.1 Utförda undersökningar

Geotekniska fält- och laboratorieundersökningar har utförts av COWI AB under 2020. Resultaten från dessa undersökningar redovisas i:

- > Marieström, Lilla Edets kommun, Detaljerad stabilitetsutredning, 15200VRA01, Markteknisk undersökningsrapport (MUR) Geoteknik, Uppdragsnummer COWI A201067, daterad 2020-01-15.

Inom aktuellt område har geotekniska undersökningar utförts tidigare. Relevanta undersökningsresultat har inarbetats i upprättad MUR, se handlingen ovan. Undersökningarna redovisas i sin helhet i följande handlingar:

- > Trollhättan Stad (2012). Åkerström, Trollhättans Stad, Detaljerad geoteknisk utredning, Markteknisk undersökningsrapport Geoteknik. Uppdragsnummer 110565. Vectura Consulting AB, 2012-06-21.
- > SGI (2011). Göta älvutredningen, GÄU, Delområde 5 (Intagan – Ström), Markteknisk undersökningsrapport Geoteknik. Uppdragsnummer 14085. Daterad 2011-08-31.

### 3.2 Övrigt underlag

- > Grundkarta erhållen från beställaren, juni 2020
- > Batymetrisk mätning av älvbotten från 2019
- > Höjddata från Lantmäteriets WCS-tjänst, nedladdad 2020
- > Geosuite-databas med tidigare utförda undersökningspunkter erhållen från beställaren, maj 2020
- > SGU:s kartvisare för jordskred och raviner. Ett utsnitt över aktuellt område framgår av Figur 11, se kapitel 6.3.

## 4 Styrande dokument

Som underlag till denna utredning har nedanstående styrande dokument använts.

- > IEG Rapport 4:2010, Tillståndsbedömning/klassificering av naturliga slänter och slänter med befintlig bebyggelse och anläggningar. Vägledning för tillämpning av Skredkommissionens rapporter 3:95 och 2:96 (delar av).
- > IEG Rapport 6:2008 rev. 1, Tillämpningsdokument EN 1997–1 Kapitel 11 och 12, Släntar och Bankar.

## 5 Projekteringsanvisningar

Stabilitetsberäkningar har utförts med totalsäkerhetsmetoden. Eventuella stabilitetshöjande åtgärder har dimensionerats med totalsäkerhetsmetoden och därefter kontrollerats med partialkoefficientmetoden enligt bestämmelse från beställaren SGI.

För totalsäkerhetsmetoden ska säkerhetsfaktor ( $F_{tot}$ ) väljas inom intervallen  $F_c \geq 1,7-1,5$  (odränerad analys),  $F_{komb} \geq 1,5-1,4$  (kombinerad analys), utifrån en bedömning av områdets gynnsamma och ogynnsamma förhållanden. Erforderliga säkerhetsfaktorer mot stabilitetsbrott för totalsäkerhetsmetoden krävs i IEG Rapport 4:2010. Följande säkerhetsfaktorer har valts med hänsyn till listade gynnsamma och ogynnsamma förhållanden i Kapitel 10.1:

- >  $F_c \geq 1,6$  (odränerad analys)
- >  $F_{komb} \geq 1,45$  (kombinerad analys)

För partialkoefficientmetoden gäller krav att säkerhetsfaktor  $F_{EN}$  (både odränerad- och kombinerad analys) ska överstiga  $F_{EN} = 1,0$  för säkerhetsklass 2 (SK2) och  $F_{EN} = 1,1$  för säkerhetsklass 3 (SK3). Erforderliga säkerhetsfaktorer mot stabilitetsbrott krävs i IEG Rapport 6:2008.

Säkerhetsklass 3 (SK3) har tillämpats med avseende på stabilitetsbrott för konstruktion på undergrund av kvicklera enligt IEG Rapport 6:2008.

Vid stabilitetsanalys med partialkoefficientmetoden har dimensionerande värden,  $X_d$ , för geotekniska materialparametrar beräknats enligt kapitel 3.4.1 i IEG Rapport 6:2008 och ekvationen nedan,

$$X_d = \frac{1}{\gamma_M} \cdot \eta \cdot \bar{X} \text{ där,}$$

$\bar{X}$  = valt härlett värde

$\gamma_M$  = partialkoefficient (enligt tabell 3.2, kapitel 3.4.1 IEG Rapport 6:2008)

$\eta$  = omräkningsfaktor, värdering av utförd undersökning

För Marieström värderas omräkningsfaktorn ( $\eta$ ) för skjuvhållfasthet enligt nedanstående fördelning till  $\eta = 1,1$  se Tabell 1.

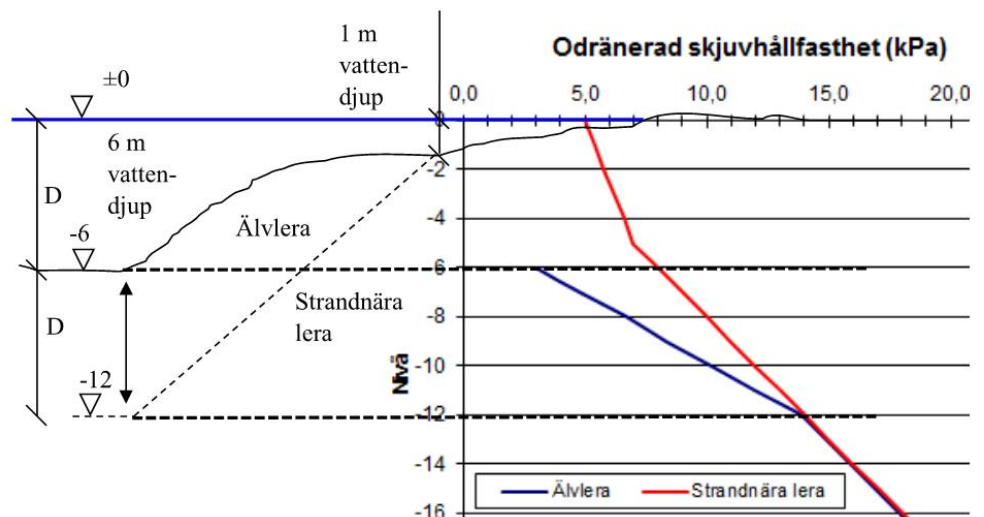
Tabell 1. Sammanställning, omräkningsfaktor ( $\eta$ ) skjuvhållfasthet

Delfaktor	Omräkningsfaktor
$\eta_{1,2}$	1,0
$\eta_3$	1,1
$\eta_{4,5,6,7}$	1,0

För Marieström har vald skjuvhållfasthet valts genom en ingenjörsmässig bedömning där stor tyngdpunkt har lagts på utförda avancerande laboratorieanalyser, så som direkta skjuvförsök. Samma skjuvhållfasthetsfördelning har nyttjats för både totalsäkerhetsmetoden och partialkoefficientmetoden varav omräkningsfaktorn ( $\eta$ ) ansatts till  $\eta = 1,0$  för att inte övervärdera de avancerande laboratorieanalyserna.

Omräkningsfaktorn ( $\eta$ ) för densitet har enligt IEG Rapport 6:2008 ansatts till  $\eta = 1,0$ .

Vald skjuvhållfasthet under Göta älv är utvärderad från empiri, där älvlerans hållfasthet omedelbart under älvbotten sätts till 3 kPa och ökar linjärt mot det värde som motsvarar den hållfasthet som råder på land, se exempel i Figur 2.



Figur 2. Illustration av skjuvhållfasthetens antagna förändring mot djupet (SGI, 2020)

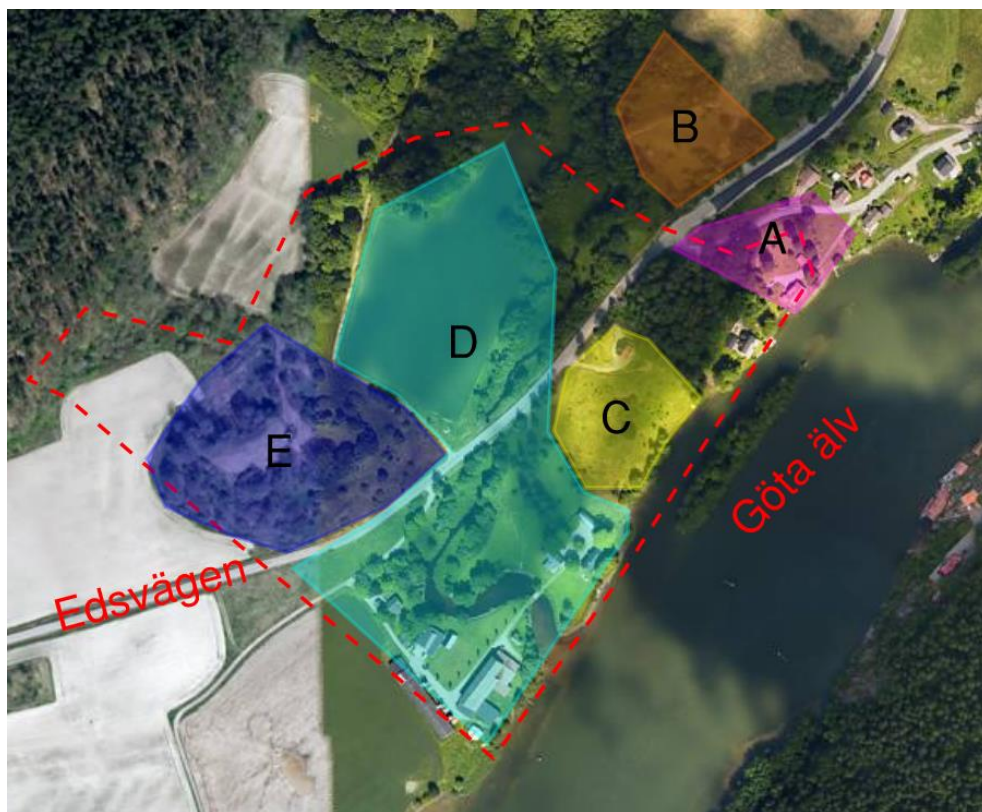
Lerans dränerade skjuvhållfasthetsparametrar har bedömts empiriskt till  $\phi' = 30^\circ$  och  $c' = 0,1 \times C_u$  enligt IEG Rapport 4:2010.

Stabilitetsanalysen har utförts med datorprogrammet Geostudio 2020, version 10.2.2.20559, med totalsäkerhetsmetoden för samtliga beräkningsfall samt med partialkoefficientmetoden för de sektioner som uppfyller kraven.

## 6 Befintliga förhållanden

### 6.1 Topografi och ytbeskaffenhet

Det aktuella området är beläget på den västra sidan om Göta älv vid kommungränsen mellan Lilla Edet och Trollhättan. Området utgörs huvudsakligen av åkermark, skogsmark och tomtmark. Området är kuperat och kan delas in i fem olika delområden, namngivna A till E, med hänsyn till topografi, se Figur 3.



Figur 3. Delområde A-E (kartkälla: eniro.se, 2020)

Delområde A utgörs huvudsakligen av tomtmark med bostadshus och vägar. Längs strandlinjen finns det en stenmur, se Figur 4. Markytan faller från Edsvägen i nordväst ner mot Göta älv i sydost. Markytans nivå varierar mellan ca +8 och +21.





Figur 4. Stenmur längs strandlinjen (COWI AB, 2020)

Delområde B utgörs av ett höjdparti som är beläget nordväst om Edsvägen. Området är bevuxet med gräs, buskar och träd, se Figur 5. Väster om delområde B finns ett vattendrag som rinner igenom Åkerströms naturreservat. Markytan faller ner mot Edsvägen och vattendraget och markytans nivå varierar mellan ca +7 och +32.



Figur 5. Delområde B med slänten ner mot vattendraget (COWI AB, 2020)



Mellan delområde A och C finns ett höjdparti runt vilket berg i dagen observerats från Edsvägen i nordväst och från tomtmarken i nord och tomtmarken i öst, se Figur 6.



*Figur 6. Berg i dagen intill Edsvägen (COWI AB, 2020)*

Delområde C utgörs av ett höjdparti som är bevuxet med gräs, buskar och träd. Inom området finns det ett bostadshus med tillhörande väg, se Figur 7. Markytan faller ner mot Edsvägen i nordväst, bostadshuset i sydväst och Göta älv i sydost. Markytans nivå varierar mellan ca +9 och +24.



*Figur 7. Ovan Edsvägen syns höjdpartiet och bostadshuset i delområde C (COWI AB, 2020)*



Delområde D utgörs huvudsakligen av åkermark och av tomtmark. I nordost gränsar delområdet till Åkerströms naturreservat. Inom delområdet finns det ett vattendrag som mynnar ut i Göta älv, se Figur 8. Markytan sluttar svagt ner mot vattendraget och Göta älv. Marknivån varierar mellan ca +7 och +21.



*Figur 8. Vattendraget inom delområde D, till höger i bild syns Edsvägen (COWI AB, 2020)*

Delområde E utgörs av ett höjdparti som är beläget norr om Edsvägen. Området är bevuxet med gräs, buskar och träd. Uppe på höjdpartiet finns ett vindkraftverk. Vid platsbesök har skredtecken så som lutande träd och sprickor i markytan observerats, se Figur 9 och Figur 10. Markytan faller ner mot åkermarken i väster och öster samt mot Edsvägen i söder. Markytans nivå varierar mellan ca +12 och +31.





Figur 9. Lutande träd inom delområde E (COWI AB, 2020)



Figur 10. Sprickor i marken inom delområde E. Längst upp till vänster i bilden skymtas Göta älv och Edsvägen. (COWI AB, 2020)

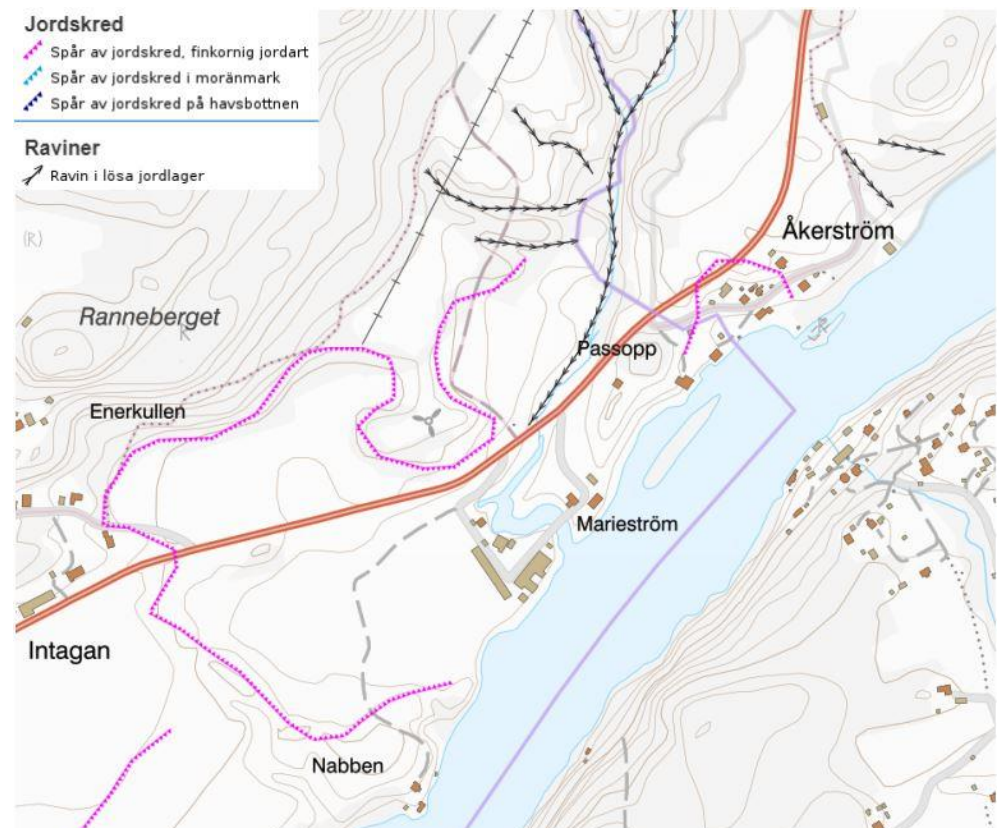


## 6.2 Befintliga konstruktioner

Inom området finns det bostadshus och ett vindkraftverk samt markförlagda ledningar för el, tele/bredband och VA.

## 6.3 Tidigare jordskred

Enligt SGU:s digitala kartvisare finns spår av ett tidigare jordskred inom utredningsområdet, se Figur 11.



Figur 11. Utsnitt ur SGU:s kartvisare för jordskred och raviner (SGU, 2020)

## 7 Geotekniska förhållanden

### 7.1 Jordlagerförhållanden

Nedan beskrivs jordlagerförhållanden inom respektive delområde.

#### 7.1.1 Delområde A

Jordlagren utgörs av lera, som är avsatt på ett tunt friktionsjordlager på berg. Närmast älven och längs vägar inom området överlagras lera av fyllning. Utförda sonderingar har stoppat mot förmodat block eller berg på mellan ca 2 och 9 m djup under markytan. Inom delområde A är jorddjupet minst i den södra delen av delområdet och jorddjupet tenderar att öka i nordöstlig riktning. Tidigare utförda trycksonderingar i älven har stoppat mot förmodat block eller berg på mellan ca 0,6 och 0,9 m djup under älvbotten. Vid utförda sonderingar har bergets överyta verifierats i en undersökningspunkt med jord-bergsondering. Utförd jord-bergsondering har stoppat på 5 m djup under markytan.

**Leran** innehåller skikt med silt och sand. I den övre delen har lera en utbildad torrskorpa vars tjocklek uppgår till ca 1–4 m. Lera har en mäktighet av ca 2–9 m.

Lerans hållfasthet har bestämts utifrån utvärderade CPTU-sonderingar, vingförsök samt konförsök och direkta skjuvförsök på ostörda lerprover. Lerans korrigerade odränerade skjuvhållfasthet varierar från ca 15–50 kPa. Lerans skjuvhållfasthet klassificeras som mycket låg till medium.

Lerans densitet varierar i allmänhet mellan ca 1,7 och 1,75 t/m<sup>3</sup>. Den naturliga vattenkvoten har bestämts till ca 40–60 %. Konflytgränsen varierar i huvudsak mellan ca 45 och 50 %.

Lerans sensitivitet varierar enligt laboratorieanalyser på ostörd provtagning mellan ca 21 och 47, vilket innebär att lera är mellan till högsensitiv. Den omrörda hållfastheten överstiger 0,4 kPa och därmed klassificeras lera ej som kvick. Utvärdering av kvicklera har även utförts på CPTU-R-sonderingar och trycksonderingar vilka visar på förekomst av kvicklera, dock kan detta vara en missvisning på grund av förekomsten av skikt. Se kapitel 7.2 för detaljerad beskrivning av utvärdering av kvicklera.

Lerans överkonsolideringsgrad, OCR, har bestämts med CRS-försök på ostörda lerprover i en undersökningspunkt. Överkonsolideringsgraden varierar mellan ca 2,9 och 3,5.

**Friktionsjordens** mäktighet varierar mellan ca 0–0,3 m. Friktionsjordens egenskaper har ej undersökts.

## 7.1.2 Delområde B

Jordlagren utgörs av lera, som är avsatt på ett tunt friktionsjordlager på berg. Utförda sonderingar har stoppat mot förmodat block eller berg på mellan ca 2 och 18 m djup under markytan.

**Leran** innehåller enstaka skikt med silt. I den övre delen har leran en utbildad torrskorpa vars tjocklek uppgår till ca 3–4 m. Leran har en mäktighet av ca 2–18 m.

Lerans hållfasthet har bestämts utifrån utvärderade CPTU-sonderingar, vingförsök samt konförsök och direkta skjuvförsök på ostörda lerprover. Lerans korrigerade odränerade skjuvhållfasthet varierar från ca 15–30 kPa mellan 2 och 5 m djup under markytan, därunder varierar skjuvhållfastheten mellan ca 20–45 kPa. Lerans skjuvhållfasthet klassificeras som mycket låg till medium.

Lerans densitet varierar i allmänhet mellan ca 1,65 och 1,75 t/m<sup>3</sup>. Den naturliga vattenkvoten har bestämts till ca 55–65 %. Konfolytgränsen varierar i huvudsak mellan ca 50 och 60 %.

Lerans sensitivitet varierar enligt tidigare utförda laboratorieanalyser på ostörd provtagning mellan ca 22 och 143, vilket innebär att leran är mellan till högsensitiv. Den omrörda hållfastheten framgår ej av laboratorieprotokollet. Utvärdering av kvicklera har utförts på CPTU-R-sonderingar och trycksonderingar vilka visar på förekomst av kvicklera, se kapitel 7.2 för detaljerad beskrivning av utvärdering av kvicklera.

Lerans överkonsolideringsgrad, OCR, har bestämts med CRS-försök på ostörda lerprover i en tidigare utförd undersökningspunkt. Överkonsolideringsgraden varierar mellan ca 1,3 och 2,1.

**Friktionsjordens** mäktighet varierar mellan ca 0–0,4 m. Friktionsjordens egenskaper har ej undersökts.

## 7.1.3 Delområde C

Jordlagren utgörs av lera, som är avsatt på ett tunt friktionsjordlager på berg. Utförda sonderingar har stoppat mot förmodat block eller berg på mellan ca 9 och 14 m djup under markytan. Vid utförda sonderingar har bergets överyta verifierats i en undersökningspunkt med jord-bergsondering. Utförd jord-bergsondering har stoppat på 9–14 m djup under markytan.

**Leran** har i den övre delen en utbildad torrskorpa vars tjocklek uppgår till ca 2–3 m. Leran har en mäktighet av ca 9–14 m.

Lerans hållfasthet har bestämts utifrån utvärderade CPTU-sonderingar och vingförsök. Lerans korrigerade odränerade skjuvhållfasthet varierar från ca 30–100 kPa. Lerans skjuvhållfasthet klassificeras som låg till hög.

Lerans naturliga vattenkvot har bestämts till ca 30–55 %. Konflytgränsen varierar i huvudsak mellan ca 35 och 50 %.

**Friktionsjordens** mäktighet varierar mellan ca 0,3–0,5 m. Friktionsjordens egenskaper har ej undersökts.

#### 7.1.4 Delområde D

Jordlagren utgörs av lera, som är avsatt på ett tunt friktionsjordslager på berg. Lokalt i undersökningspunkt 20C316 uppgår friktionsjordens mäktighet till ca 4 m. Utförda sonderingar har stoppat mot förmodat block eller berg på mellan ca 5 och 21 m djup under markytan.

**Leran** innehåller silt. I den övre delen har leran en utbildad torrskorpa vars tjocklek uppgår till ca 2 m. Leran har en mäktighet av ca 5–21 m.

Lerans hållfasthet har bestämts utifrån utvärderade CPTU-sonderingar, vingförsök samt konförsök och direkta skjuvförsök på ostörda lerprover. Lerans korrigerade odränerade skjuvhållfasthet varierar från ca 15–40 kPa ner till 6 m under markytan, därunder varierar skjuvhållfastheten mellan ca 25–75 kPa ner till ca 21 m under markytan. Lerans skjuvhållfasthet klassificeras som mycket låg till medium.

Lerans densitet varierar i allmänhet mellan ca 1,65 och 1,75 t/m<sup>3</sup>. Den naturliga vattenkvoten har bestämts till ca 50–60 %. Konflytgränsen varierar i huvudsak mellan ca 40 och 60 %.

Lerans sensitivitet varierar enligt laboratorieanalyser på ostörd provtagning mellan ca 34 och 150, vilket innebär att leran är högsensitiv. Den omrörda hållfastheten är mindre än 0,4 kPa på djupet 2 m under markytan samt mellan djupen 4 och 6 m, varvid leran klassificeras som kvick. Utvärdering av kvicklera har även utförts på CPTU-R-sonderingar och trycksonderingar vilka visar på förekomst av kvicklera, se kapitel 7.2 för detaljerad beskrivning av utvärdering av kvicklera.

Lerans överkonsolideringsgrad, OCR, har bestämts med CRS-försök på ostörda lerprover i en undersökningspunkt. Överkonsolideringsgraden varierar mellan ca 2,5 och 3,5.

**Friktionsjordens** mäktighet varierar mellan ca 0,1–4 m. Friktionsjordens egenskaper har ej undersökts.

#### 7.1.5 Delområde E

Jordlagren utgörs av lera, som är avsatt på ett tunt friktionsjordslager på berg. Utförda sonderingar har stoppat mot förmodat block eller berg på mellan ca 3 och 10 m djup under markytan.

**Leran** är siltig. I den övre delen har leran en utbildad torrskorpa vars tjocklek uppgår till ca 2 m. Leran har en mäktighet av ca 3–10 m.

Lerans hållfasthet har bestämts utifrån utvärderade CPTU-sonderingar, vingförsök samt konförsök och direkta skjuvförsök på ostörda lerprover. Lerans korrigerade odränerade skjuvhållfasthet varierar från ca 15–45 kPa. Lerans skjuvhållfasthet klassificeras som mycket låg till medium.

Lerans densitet varierar i allmänhet mellan ca 1,65 och 1,75 t/m<sup>3</sup>. Den naturliga vattenkvoten har bestämts till ca 50–60 %. Konflytgränsen varierar i huvudsak mellan ca 35 och 50 %.

Lerans sensitivitet varierar enligt laboratorieanalyser på ostörd provtagning mellan ca 35 och 300, vilket innebär att leran är högsensitiv. Den omrörda hållfastheten är mindre än 0,4 kPa på samtliga djup från 5 m djup under markytan och därmed klassificeras leran som kvick. Utvärdering av kvicklera har även utförts på CPTU-R-sonderingar och trycksonderingar vilka visar på förekomst av kvicklera, se kapitel 7.2 för detaljerad beskrivning av utvärdering av kvicklera.

Lerans överkonsolideringsgrad, OCR, har bestämts med CRS-försök på ostörda lerprover i en undersökningspunkt. Överkonsolideringsgraden varierar mellan ca 2,3 och 3.

**Friktionsjordens** mäktighet varierar mellan ca 0–0,1 m. Friktionsjordens egenskaper har ej undersökts.

## 7.2 Utvärdering kvicklera

Förekomst av kvicklera har utvärderats från ostörd provtagning tillsammans med CPTU-R-sonderingar och trycksonderingar.

### 7.2.1 Delområde A

Laboratorieanalyser på ostörda prov visar på en mellan till högsensitiv lera, dock ej kvicklera.

Utvärdering av utförda CPTU-R-sonderingar och trycksonderingar visar på förekomst av kvicklera, dock kan detta vara en missvisning på grund av förekomsten av skikt.

### 7.2.2 Delområde B

Laboratorieanalyser på ostörda prov i arkivpunkten 1 visar på en högsensitiv lera. På laboratorieprotokollet saknas information om omrörd skjuvhållfasthet.

Utvärdering av utförda CPTU-R-sonderingar och trycksonderingar visar på förekomst av kvicklera. CPTU-R-sonderingarna redovisar en uppmätt resistivitet

mellan 15 och 30 ohm/m och trycksonderingarna har en liten eller obefintlig tillväxt för motståndskraften mot djupet.

### 7.2.3 Delområde C

Utvärdering av utförda CPTU-R-sonderingar visar på förekomst av kvicklera. CPTU-R-sonderingarna redovisar en uppmätt resistivitet mellan 10 och 35 ohm/m.

### 7.2.4 Delområde D

Laboratorieanalyser på ostörda prov visar på en högsensitiv lera. På 2 m djup under markytan samt mellan 4 och 6 m djup är den omrörda hållfastheten mindre än 0,4 kPa, därvid klassificeras leran som kvick.

Utvärdering av utförda CPTU-R-sonderingar och trycksonderingar visar på förekomst av kvicklera i delar av lerprofilen. CPTU-R-sonderingarna redovisar en uppmätt resistivitet mellan 2 och 30 ohm/m och trycksonderingarna har en liten tillväxt för motståndskraften mot djupet.

### 7.2.5 Delområde E

Laboratorieanalyser på ostörda prov visar på en högsensitiv lera. Mellan djupen 5 och 9 m i undersökningspunkt 20C321 är den omrörda hållfastheten mindre än 0,4 kPa, därvid klassificeras leran som kvick.

Utvärdering av utförda CPTU-R-sonderingar och trycksonderingar visar på förekomst av kvicklera. CPTU-R-sonderingarna redovisar en uppmätt resistivitet mellan 20 och 25 ohm/m och trycksonderingarna har en liten eller obefintlig tillväxt för motståndskraften mot djupet.

Kvicklera förutsätts förekomma i hela delområdet.

## 7.3 Hydrogeologiska förhållanden

Hydrogeologiska undersökningar har utförts i fem undersökningspunkter; 20C302, 20C306, 20C312, 20C316 och 20C324.

### 7.3.1 Delområde A

Inom delområde A har hydrogeologiska undersökningar utförts i punkt 20C306. I punkt 20C306 har portrycksspetsar installerats på två nivåer i lerlagret, på 5 och 8 m djup under markytan. Portrycksspetsarna har loggat värden en gång per dygn och stabiliserade värden har uppmätts under perioden oktober till december månad år 2020. Mätningarna på 5 m djup visar på en portrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 1,5 m under markytan vilket motsvarar nivån +14,5. Mätningarna på 8 m djup visar på en portrycksnivå i

leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 2,5 m under markytan vilket motsvarar nivån +13,5.

### 7.3.2 Delområde B

Inom delområde B har hydrogeologiska undersökningar utförts i punkt 20C302. I punkt 20C302 har portrycksspetsar installerats på tre nivåer i lerlagret, på 5, 10 och 15 m djup under markytan. Portrycksspetsarna har loggat värden en gång per dygn och värden har uppmätts under perioden september till december månad år 2020. Under september och oktober månad har relativt stora portrycksvariationer uppmätts, under november och december visar portrycksmätningarna på mer stabila nivåer. Mätningarna på 5 m djup visar på en portrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 1-3 m under markytan vilket motsvarar en nivå mellan ca +25,5 och +27,5. Mätningarna på 10 m djup visar på en portrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 1-4 m under markytan vilket motsvarar en nivå mellan ca +24,5 och +27,5. Mätningarna på 15 m djup visar på en portrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 4,5-6,5 m under markytan vilket motsvarar en nivå mellan ca +22 och +24.

### 7.3.3 Delområde C

Inom delområde C har inga grundvattenrör eller portrycksspetsar installerats. Vid utförd skruvprovtagning i undersökningsspunkt 20C329 observerades en grundvattenyta på ca 2,5 m djup under markytan, vilket motsvarar en nivå på ca +20,7.

### 7.3.4 Delområde D

Inom delområde D har hydrogeologiska undersökningar utförts i punkterna 20C312 och 20C316.

I punkt 20C312 har portrycksspetsar installerats på tre nivåer i lerlagret, på 5, 10 och 15 m djup under markytan. Portrycksspetsarna har loggat värden en gång per dygn och stabiliserade värden har uppmätts under perioden september till december månad år 2020. Mätningarna på 5 m djup visar på en portrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 2 m under markytan vilket motsvarar nivån +9,9. Mätningarna på 10 m djup visar på en portrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 2,7 m under markytan vilket motsvarar nivån +9,2. Mätningarna på 15 m djup visar på en portrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 3 m under markytan vilket motsvarar nivån +8,9.

I punkt 20C316 har ett grundvattenrör installerats i friktionsjorden under leran på ca 15 m djup under markytan. Mätningar har utförts vid två tillfällen under perioden oktober till december år 2020. Resultaten visar på en trycknivå i friktionsjorden motsvarande en fri vattenyta ca 0,8 m över markytan vilket motsvarar nivån +12,3 i oktober (artesiskt tryck) och i december visade

mätningarna på en trycknivå i friktionsjorden motsvarande en fri vattenyta ca 1,2 m under markytan vilket motsvarar nivån +10,3.

### 7.3.5 Delområde E

Inom delområde E har hydrogeologiska undersökningar utförts i punkt 20C324. I punkt 20C324 har portrycksspetsar installerats på två nivåer i lerlagret, på 4 och 7 m djup under markytan. Portrycksspetsarna har loggat värden en gång per dygn och stabiliserade värden har uppmätts under perioden oktober till december månad år 2020. Mätningarna på 4 m djup visar på en portrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 1 m under markytan vilket motsvarar nivån +17,3. Mätningarna på 7 m djup visar på en portrycksnivå i leran motsvarande en fri grundvattenyta ca 1,5-2,5 m under markytan vilket motsvarar en nivå mellan ca +15,8 och +16,8.



## 8 Valda beräkningsparametrar

### 8.1 Jordmaterialparametrar

Valda karakteristiska och dimensionerande beräkningsparametrar för jordens hållfasthetsegenskaper och tunghet för respektive beräkningssektion framgår av Tabell 2 till Tabell 5 nedan. Valda parametrar för lerans korrigerade odränerade skjuvhållfasthet och densitet redovisas även i Bilaga 1 och Bilaga 2.

Lerans dränerade skjuvhållfasthet har uppskattats empiriskt med kohasionsintercepten  $c'_k=0,1 \cdot c_{uk}$  och  $\Phi'_k = 30^\circ$ , se kapitel 5.

Tabell 2. Karakteristiska och dimensionerande materialparametrar för sektion 15/250

Djup u my	Jordlager	Karakteristisk parameter	Dimensionerande parameter
Varierar	Sprängsten	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ , $\gamma' = 11 \text{ kN/m}^3$ $\Phi'_k = 45^\circ$	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ , $\gamma' = 11 \text{ kN/m}^3$ $\Phi'_d = 37,6^\circ$
0-2 m	Torrskorpelera	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ , $\gamma' = 8 \text{ kN/m}^3$ $c_{uk} = 30 \text{ kPa}$ , $c'_k = 3 \text{ kPa}$ $\Phi'_k = 30^\circ$	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ , $\gamma' = 8 \text{ kN/m}^3$ $c_{ud} = 20 \text{ kPa}$ , $c'_d = 2,3 \text{ kPa}$ $\Phi'_d = 23,9^\circ$
2-8 m	Lera A1	$\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$ , $\gamma' = 7 \text{ kN/m}^3$ $c_{uk} = 36 \text{ kPa}$ , $c'_k = 3,6 \text{ kPa}$ $\Phi'_k = 30^\circ$	$\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$ , $\gamma' = 7 \text{ kN/m}^3$ $c_{ud} = 24 \text{ kPa}$ , $c'_d = 2,8 \text{ kPa}$ $\Phi'_d = 23,9^\circ$
3-5 m	Lera B1	$\gamma = 16,9 \text{ kN/m}^3$ , $\gamma' = 6,9 \text{ kN/m}^3$ $c_{uk} = 18 \text{ kPa}$ , $\Delta c_{uk} = 4 \text{ kPa/m}$ $c'_k = 1,8 \text{ kPa}$ , $\Delta c'_k = 0,4 \text{ kPa/m}$ $\Phi'_k = 30^\circ$	$\gamma = 16,9 \text{ kN/m}^3$ , $\gamma' = 6,9 \text{ kN/m}^3$ $c_{ud} = 12 \text{ kPa}$ , $\Delta c_{ud} = 2,7 \text{ kPa/m}$ $c'_d = 1,4 \text{ kPa}$ $\Delta c'_d = 0,31 \text{ kPa/m}$ $\Phi'_d = 23,9^\circ$
5-12m	Lera B2	$\gamma = 16,6 \text{ kN/m}^3$ , $\gamma' = 6,6 \text{ kN/m}^3$ $c_{uk} = 26 \text{ kPa}$ , $\Delta c_{uk} = 0,6 \text{ kPa/m}$ $c'_k = 2,6 \text{ kPa}$ $\Delta c'_k = 0,06 \text{ kPa/m}$ $\Phi'_k = 30^\circ$	$\gamma = 16,6 \text{ kN/m}^3$ , $\gamma' = 6,6 \text{ kN/m}^3$ $c_{ud} = 17,3 \text{ kPa}$ , $\Delta c_{ud} = 0,4 \text{ kPa/m}$ $c'_d = 2 \text{ kPa}$ $\Delta c'_d = 0,05 \text{ kPa/m}$ $\Phi'_d = 23,9^\circ$

Djup u my	Jordlager	Karakteristisk parameter	Dimensionerande parameter
12-17 m	Lera B3	$\gamma = 16,6 \text{ kN/m}^3$ , $\gamma' = 6,6 \text{ kN/m}^3$ $c_{uk} = 30 \text{ kPa}$ , $\Delta c_{uk} = 2 \text{ kPa/m}$ $c'_{k} = 3 \text{ kPa}$ $\Delta c'_{k} = 0,2 \text{ kPa/m}$ $\Phi'_{k} = 30^\circ$	$\gamma = 16,6 \text{ kN/m}^3$ , $\gamma' = 6,6 \text{ kN/m}^3$ $c_{ud} = 20 \text{ kPa}$ , $\Delta c_{ud} = 1,3 \text{ kPa/m}$ $c'_{d} = 2,3 \text{ kPa}$ $\Delta c'_{d} = 0,15 \text{ kPa/m}$ $\Phi'_{d} = 23,9^\circ$
Varierar	Älvlera	$\gamma = 16,8 \text{ kN/m}^3$ , $\gamma' = 6,8 \text{ kN/m}^3$ $c_{uk} = 3 \text{ kPa}$ , $\Delta c_{uk} = 6,6 \text{ kPa/m}$ $c'_{k} = 0,3 \text{ kPa}$ $\Delta c'_{k} = 0,66 \text{ kPa/m}$ $\Phi'_{k} = 30^\circ$	$\gamma = 16,8 \text{ kN/m}^3$ , $\gamma' = 6,8 \text{ kN/m}^3$ $c_{ud} = 2 \text{ kPa}$ , $\Delta c_{ud} = 4,4 \text{ kPa/m}$ $c'_{d} = 0,23 \text{ kPa}$ $\Delta c'_{d} = 0,51 \text{ kPa/m}$ $\Phi'_{d} = 23,9^\circ$
-	Friktionsjord	$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ , $\gamma' = 12 \text{ kN/m}^3$ $\Phi'_{k} = 30^\circ$	$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ , $\gamma' = 12 \text{ kN/m}^3$ $\Phi'_{d} = 23,9^\circ$

Tabell 3. Karakteristiska och dimensionerande materialparametrar för sektion 15/300

Djup u my	Jordlager	Karakteristisk parameter	Dimensionerande parameter
0-2 m	Torrskorpelera	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ , $\gamma' = 8 \text{ kN/m}^3$ $c_{uk} = 30 \text{ kPa}$ , $c'_{k} = 3 \text{ kPa}$ $\Phi'_{k} = 30^\circ$	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ , $\gamma' = 8 \text{ kN/m}^3$ $c_{ud} = 20 \text{ kPa}$ , $c'_{d} = 2,3 \text{ kPa}$ $\Phi'_{d} = 23,9^\circ$
2-6 m	Lera D1	$\gamma = 16,8 \text{ kN/m}^3$ , $\gamma' = 6,8 \text{ kN/m}^3$ $c_{uk} = 30 \text{ kPa}$ , $c'_{k} = 3 \text{ kPa}$ $\Phi'_{k} = 30^\circ$	$\gamma = 16,8 \text{ kN/m}^3$ , $\gamma' = 6,8 \text{ kN/m}^3$ $c_{ud} = 20 \text{ kPa}$ , $c'_{d} = 2,3 \text{ kPa}$ $\Phi'_{d} = 23,9^\circ$
6-21 m	Lera D2	$\gamma = 16,8 \text{ kN/m}^3$ , $\gamma' = 6,8 \text{ kN/m}^3$ $c_{uk} = 30 \text{ kPa}$ , $\Delta c_{uk} = 2,8 \text{ kPa/m}$ $c'_{k} = 3 \text{ kPa}$ , $\Delta c'_{k} = 0,28 \text{ kPa/m}$ $\Phi'_{k} = 30^\circ$	$\gamma = 16,8 \text{ kN/m}^3$ , $\gamma' = 6,8 \text{ kN/m}^3$ $c_{ud} = 20 \text{ kPa}$ , $\Delta c_{ud} = 1,87 \text{ kPa/m}$ $c'_{d} = 2,3 \text{ kPa}$ $\Delta c'_{d} = 0,22 \text{ kPa/m}$ $\Phi'_{d} = 23,9^\circ$

Djup u my	Jordlager	Karakteristisk parameter	Dimensionerande parameter
3-5 m	Lera B1	$\gamma = 16,9 \text{ kN/m}^3$ , $\gamma' = 6,9 \text{ kN/m}^3$ $c_{uk} = 18 \text{ kPa}$ , $\Delta c_{uk} = 4 \text{ kPa/m}$ $c'_k = 1,8 \text{ kPa}$ , $\Delta c'_k = 0,4 \text{ kPa/m}$ $\Phi'_k = 30^\circ$	$\gamma = 16,9 \text{ kN/m}^3$ , $\gamma' = 6,9 \text{ kN/m}^3$ $c_{ud} = 12 \text{ kPa}$ , $\Delta c_{ud} = 2,7 \text{ kPa/m}$ $c'_d = 1,4 \text{ kPa}$ $\Delta c'_d = 0,31 \text{ kPa/m}$ $\Phi'_d = 23,9^\circ$
5-12m	Lera B2	$\gamma = 16,6 \text{ kN/m}^3$ , $\gamma' = 6,6 \text{ kN/m}^3$ $c_{uk} = 26 \text{ kPa}$ , $\Delta c_{uk} = 0,6 \text{ kPa/m}$ $c'_k = 2,6 \text{ kPa}$ $\Delta c'_k = 0,06 \text{ kPa/m}$ $\Phi'_k = 30^\circ$	$\gamma = 16,6 \text{ kN/m}^3$ , $\gamma' = 6,6 \text{ kN/m}^3$ $c_{ud} = 17,3 \text{ kPa}$ , $\Delta c_{ud} = 0,4 \text{ kPa/m}$ $c'_d = 2 \text{ kPa}$ $\Delta c'_d = 0,05 \text{ kPa/m}$ $\Phi'_d = 23,9^\circ$
12-17 m	Lera B3	$\gamma = 16,6 \text{ kN/m}^3$ , $\gamma' = 6,6 \text{ kN/m}^3$ $c_{uk} = 30 \text{ kPa}$ , $\Delta c_{uk} = 2 \text{ kPa/m}$ $c'_k = 3 \text{ kPa}$ $\Delta c'_k = 0,2 \text{ kPa/m}$ $\Phi'_k = 30^\circ$	$\gamma = 16,6 \text{ kN/m}^3$ , $\gamma' = 6,6 \text{ kN/m}^3$ $c_{ud} = 20 \text{ kPa}$ , $\Delta c_{ud} = 1,3 \text{ kPa/m}$ $c'_d = 2,3 \text{ kPa}$ $\Delta c'_d = 0,15 \text{ kPa/m}$ $\Phi'_d = 23,9^\circ$
-	Friktionsjord	$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ , $\gamma' = 12 \text{ kN/m}^3$ $\Phi'_k = 30^\circ$	$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ , $\gamma' = 12 \text{ kN/m}^3$ $\Phi'_d = 23,9^\circ$

Tabell 4. Karakteristiska och dimensionerande materialparametrar för sektion 15/350

Djup u my	Jordlager	Karakteristisk parameter	Dimensionerande parameter
Varierar	Sprängsten	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ , $\gamma' = 11 \text{ kN/m}^3$ $\Phi'_k = 45^\circ$	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ , $\gamma' = 11 \text{ kN/m}^3$ $\Phi'_d = 37,6^\circ$
0-2 m	Torrskorpelera	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ , $\gamma' = 8 \text{ kN/m}^3$ $c_{uk} = 30 \text{ kPa}$ , $c'_k = 3 \text{ kPa}$ $\Phi'_k = 30^\circ$	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ , $\gamma' = 8 \text{ kN/m}^3$ $c_{ud} = 20 \text{ kPa}$ , $c'_d = 2,3 \text{ kPa}$ $\Phi'_d = 23,9^\circ$

Djup u my	Jordlager	Karakteristisk parameter	Dimensionerande parameter
2-6 m	Lera D1	$\gamma = 16,8 \text{ kN/m}^3$ , $\gamma' = 6,8 \text{ kN/m}^3$ $c_{uk} = 30 \text{ kPa}$ , $c'_k = 3 \text{ kPa}$ $\Phi'_k = 30^\circ$	$\gamma = 16,8 \text{ kN/m}^3$ , $\gamma' = 6,8 \text{ kN/m}^3$ $c_{ud} = 20 \text{ kPa}$ , $c'_d = 2,3 \text{ kPa}$ $\Phi'_d = 23,9^\circ$
6-21 m	Lera D2	$\gamma = 16,8 \text{ kN/m}^3$ , $\gamma' = 6,8 \text{ kN/m}^3$ $c_{uk} = 30 \text{ kPa}$ , $\Delta c_{uk} = 2,8 \text{ kPa/m}$ $c'_k = 3 \text{ kPa}$ , $\Delta c'_k = 0,28 \text{ kPa/m}$ $\Phi'_k = 30^\circ$	$\gamma = 16,8 \text{ kN/m}^3$ , $\gamma' = 6,8 \text{ kN/m}^3$ $c_{ud} = 20 \text{ kPa}$ , $\Delta c_{ud} = 1,87 \text{ kPa/m}$ $c'_d = 2,3 \text{ kPa}$ $\Delta c'_d = 0,22 \text{ kPa/m}$ $\Phi'_d = 23,9^\circ$
2-14 m	Lera C	$\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$ , $\gamma' = 7 \text{ kN/m}^3$ $c_{uk} = 40 \text{ kPa}$ , $c'_k = 4 \text{ kPa}$ , $\Phi'_k = 30^\circ$	$\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$ , $\gamma' = 7 \text{ kN/m}^3$ $c_{ud} = 26,7 \text{ kPa}$ , $c'_d = 3,1 \text{ kPa}$ $\Phi'_d = 23,9^\circ$
Varierar	Älvlera	$\gamma = 16,8 \text{ kN/m}^3$ , $\gamma' = 6,8 \text{ kN/m}^3$ $c_{uk} = 3 \text{ kPa}$ , $\Delta c_{uk} = 6,6 \text{ kPa/m}$ $c'_k = 0,3 \text{ kPa}$ $\Delta c'_k = 0,66 \text{ kPa/m}$ $\Phi'_k = 30^\circ$	$\gamma = 16,8 \text{ kN/m}^3$ , $\gamma' = 6,8 \text{ kN/m}^3$ $c_{ud} = 2 \text{ kPa}$ , $\Delta c_{ud} = 4,4 \text{ kPa/m}$ $c'_d = 0,23 \text{ kPa}$ $\Delta c'_d = 0,51 \text{ kPa/m}$ $\Phi'_d = 23,9^\circ$
-	Friktionsjord	$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ , $\gamma' = 12 \text{ kN/m}^3$ $\Phi'_k = 30^\circ$	$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ , $\gamma' = 12 \text{ kN/m}^3$ $\Phi'_d = 23,9^\circ$

Tabell 5. Karakteristiska och dimensionerande materialparametrar för sektion 15/540

Djup u my	Jordlager	Karakteristisk parameter	Dimensionerande parameter
Varierar	Sprängsten	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ , $\gamma' = 11 \text{ kN/m}^3$ $\Phi'_k = 45^\circ$	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ , $\gamma' = 11 \text{ kN/m}^3$ $\Phi'_d = 37,6^\circ$

Djup u my	Jordlager	Karakteristisk parameter	Dimensionerande parameter
0-2 m	Torrskorpelera	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ , $\gamma' = 8 \text{ kN/m}^3$ $c_{uk} = 30 \text{ kPa}$ , $c'_k = 3 \text{ kPa}$ $\Phi'_k = 30^\circ$	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ , $\gamma' = 8 \text{ kN/m}^3$ $c_{ud} = 20 \text{ kPa}$ , $c'_d = 2,3 \text{ kPa}$ $\Phi'_d = 23,9^\circ$
2-6 m	Lera D1	$\gamma = 16,8 \text{ kN/m}^3$ , $\gamma' = 6,8 \text{ kN/m}^3$ $c_{uk} = 30 \text{ kPa}$ , $c'_k = 3 \text{ kPa}$ $\Phi'_k = 30^\circ$	$\gamma = 16,8 \text{ kN/m}^3$ , $\gamma' = 6,8 \text{ kN/m}^3$ $c_{ud} = 20 \text{ kPa}$ , $c'_d = 2,3 \text{ kPa}$ $\Phi'_d = 23,9^\circ$
6-21 m	Lera D2	$\gamma = 16,8 \text{ kN/m}^3$ , $\gamma' = 6,8 \text{ kN/m}^3$ $c_{uk} = 30 \text{ kPa}$ , $\Delta c_{uk} = 2,8 \text{ kPa/m}$ $c'_k = 3 \text{ kPa}$ , $\Delta c'_k = 0,28 \text{ kPa/m}$ $\Phi'_k = 30^\circ$	$\gamma = 16,8 \text{ kN/m}^3$ , $\gamma' = 6,8 \text{ kN/m}^3$ $c_{ud} = 20 \text{ kPa}$ , $\Delta c_{ud} = 1,87 \text{ kPa/m}$ $c'_d = 2,3 \text{ kPa}$ $\Delta c'_d = 0,22 \text{ kPa/m}$ $\Phi'_d = 23,9^\circ$
2-14 m	Lera E	$\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$ , $\gamma' = 7 \text{ kN/m}^3$ $c_{uk} = 25 \text{ kPa}$ , $\Delta c_{uk} = 1 \text{ kPa/m}$ $c'_k = 2,5 \text{ kPa}$ , $\Delta c'_k = 0,1 \text{ kPa/m}$ $\Phi'_k = 30^\circ$	$\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$ , $\gamma' = 7 \text{ kN/m}^3$ $c_{ud} = 16,7 \text{ kPa}$ , $\Delta c_{ud} = 0,67 \text{ kPa/m}$ $c'_d = 1,92 \text{ kPa}$ $\Delta c'_d = 0,08 \text{ kPa/m}$ $\Phi'_d = 23,9^\circ$
Varierar	Älvlera	$\gamma = 16,8 \text{ kN/m}^3$ , $\gamma' = 6,8 \text{ kN/m}^3$ $c_{uk} = 3 \text{ kPa}$ , $\Delta c_{uk} = 6,6 \text{ kPa/m}$ $c'_k = 0,3 \text{ kPa}$ $\Delta c'_k = 0,66 \text{ kPa/m}$ $\Phi'_k = 30^\circ$	$\gamma = 16,8 \text{ kN/m}^3$ , $\gamma' = 6,8 \text{ kN/m}^3$ $c_{ud} = 2 \text{ kPa}$ , $\Delta c_{ud} = 4,4 \text{ kPa/m}$ $c'_d = 0,23 \text{ kPa}$ $\Delta c'_d = 0,51 \text{ kPa/m}$ $\Phi'_d = 23,9^\circ$
-	Friktionsjord	$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ , $\gamma' = 12 \text{ kN/m}^3$ $\Phi'_k = 30^\circ$	$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ , $\gamma' = 12 \text{ kN/m}^3$ $\Phi'_d = 23,9^\circ$

## 8.2 Portrycksmodell

Vald portrycksfördelning för respektive delområde redovisas i bilaga 3, se bilageförteckning.

För stabilitetsberäkningar inom delområde A har grundvattenytan antagits vara 2 m under markytan. Portrycksfördelningen mot djupet har antagits vara hydrostatisk.

För stabilitetsberäkningar inom delområde B har grundvattenytan antagits vara 2,5 m under markytan. Portrycksfördelningen mot djupet har antagits vara hydrostatisk.

För stabilitetsberäkningar inom delområde C har grundvattenytan antagits vara 2,5 m under markytan. Portrycksfördelningen mot djupet har antagits vara hydrostatisk.

För stabilitetsberäkningar inom delområde D har grundvattenytan antagits vara 2,5 m under markytan. Portrycksfördelningen mot djupet har antagits vara hydrostatisk.

För stabilitetsberäkningar inom delområde E har grundvattenytan antagits vara 2 m under markytan. Portrycksfördelningen mot djupet har antagits vara hydrostatisk.

### 8.3 Vattenstånd i älven

Göta älv är reglerad och i anslutning till Marieström har SGI angivit följande vattenståndsnivåer för Marieström, se Tabell 6. Vidare har SGI angivit att en vattenyta motsvarande sänkningshöjden på nivå +6,6 ska användas i stabilitetsberäkningarna.

Tabell 6. Vattenstånd Göta älv

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

## 9 Övriga förutsättningar, stabilitetsanalys

### 9.1 Gynnsamma och ogynnsamma förutsättningar

En bedömning av områdets gynnsamma och ogynnsamma förutsättningar för stabilitetsberäkningar har utförts i samband med val av säkerhetsfaktorer för detaljerad utredning. Bedömningen redovisas i Tabell 7.

Tabell 7. Gynnsamma och ogynnsamma förutsättningar för stabilitetsberäkningar

Förutsättningar	Gynnsamma	Ogynnsamma
Konsekvenser av skred		Risk för människoliv och stor ekonomisk skada  Risk för bakåt- eller framåtgripande skred  Risk för omgivningspåverkan eller sekundär påverkan  Kvicklera
Släntens beständighet	Göta älv är reglerad	Risk för erosion Observerade sprickor i markytan i delområde E Avverkade områden i delområde C Lutande träd i delområde B och E
Släntens geometri	Markytans geometri är hämtad utifrån höjddata tillsammans med avvägda sektioner	Brant slänt
Tidigare förändringar i slänten	Stenmur längs strandlinjen i delområde A	
Jordens egenskaper		Jordlagerföljden består av lera  Hög sensitivitet, kvicklera  Skiktade jordar i delområde A

Förutsättningar	Gynnsamma	Ogynnsamma
Analys- och beräkningsarbetets tillförlitlighet	Stort antal beräknade glidytor Känslighetsanalys utförd Glidyntans läge i plan är vald i den farligaste delen av slänten ur stabilitetssynpunkt Tvådimensionell analys	Förhållandena är komplicerade med stora variationer i topografi och jorddjup
Fältundersökningens innehåll och omfattning	CPTU-R sonderingar är utförda Kvalificerade undersökningar (CPTU-sondering, vingförsök och ostörd provtagning) har utförts.	
Laboratorieundersökningens innehåll och omfattning	Upptagna prover har klassificerats i laboratorium Kvalificerade laboratorieanalyser är utförda i flertalet punkter, CRS-försök och direkta skjuvförsök	
Grundvatten- och portrycksförhållanden	Portrycksmätare och grundvattenrör är installerade	Relativt kort mätserie
Ytvattenförhållanden	Göta älv är reglerad	

För totalsäkerhetsmetoden ska säkerhetsfaktor ( $F_{tot}$ ) väljas inom intervallen  $F_c \geq 1,7-1,5$  (odränerad analys),  $F_{komb} \geq 1,5-1,4$  (kombinerad analys), utifrån en bedömning av områdets gynnsamma och ogynnsamma förhållanden. Utförda undersökningar har gett omfattande information om området, men då det finns kvicklera och förekommer risk för bakåt- och framåtgripande skred med stor omgivningspåverkan ansätts säkerhetsfaktorerna i mitten av de angivna intervallen enligt nedan;

- >  $F_c \geq 1,6$  (odränerad analys)
- >  $F_{komb} \geq 1,45$  (kombinerad analys)



## 9.2 Känslighetsanalys

Känslighetsanalys har utförts för att uppskatta påverkan på stabilitetsförhållandena för svårtolkade parametrar i de sektioner där säkerhetsfaktorn beräknats till ca 1.

För de beräkningssektioner som uppfyller erforderlig säkerhetsfaktor har känslighetsanalyser utförts för att säkerställa stabilitetsutredningens robusthet och undersöka sårbarheten för förändringar av områdets portrycksförhållanden samt för förändrad geometri till följd av erosion.

### 9.2.1 Förändring av portrycksförhållanden

Stabilitetsanalysen är utförd med medelvärde av uppmätta portrycksnivåer. För att hantera eventuella årstidsvariationer har en känslighetsanalys utförts. Vid känslighetsanalysen har en höjning av områdets portrycksnivå med 10 kPa utförts.

Känslighetsanalysen ses som ett konservativt antagande, ur stabilitetssynpunkt det mest ogynnsamma, gällande den totala portryckssituationen i området.

Gällande långtidsperspektivet och framtida klimatförändringar ses främst längre perioder av torka eller plötsliga skyfall som möjliga företeelser. Vid långa perioder av torka kommer portrycksnivåerna minska och förbättra stabilitetsförhållandena. Vid plötsliga skyfall kommer den stora vattenmängden troligtvis rinna på markytan eller i Göta älv och inte påverka portrycksnivåerna i större grad. Störst risk för stabilitetsbrott är när marken är helt vattenmättad i slänkrön (t.ex. efter ett skyfall), men där Göta älvs vattenyta ändå skulle vara i nivå med sänkningshöjden på nivå +6.6. Detta värsta scenario har beaktats i stabilitetsberäkningarna i samband med känslighetsanalysen.

### 9.2.2 Förändrad geometri till följd av erosion

Förändrad geometri av Göta älvs botten på grund av erosion till följd av strömmande vatten eller fartygstrafik har utförts genom att ursprungliga nivåer sänks med 1 och 2 meter och genom en anpassning till befintliga nivåer.

För Marieström har känslighetsanalys avseende geometri utförts för stabilitetssektion 15/540V vid beräkning av stabiliteten invid strandlinjen till Göta älv. Vid beräkning används en typsektion för en slänt utan undervattenshylla och utan erosionsskydd i vattenbrynet, se Figur 12.



Exempel från sträckan Trollhättan-Lilla Edet



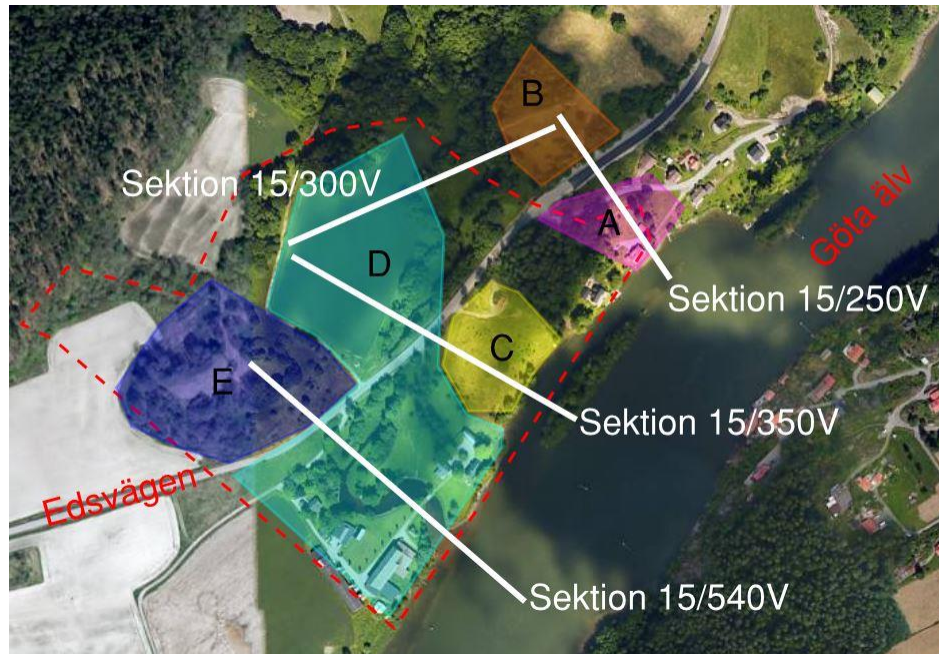
Exempel från sträckan Lilla Edet-Bohus

Figur 12. Typsektion för slänt utan undervattenshylla och utan erosionsskydd i vattenbrynet.

Sänkning av Göta älvs botten har utförts med 1 respektive 2 m. Slänten eroderas horisontellt med 1 och 2 m vid vattenbrynet med anpassning till farledens botten. Slänten ovanför vattenytan ges lutningen 32 grader och med vidareanslutning till befintlig släntlutning.

## 10 Beräkningar och resultat

Säkerheten mot stabilitetsbrott har kontrollerats i fyra sektioner, i km 15/250V, km 15/300V, km 15/350V och i km 15/540V. Beräkningssektionernas läge och utbredning i plan framgår av Figur 13 nedan.



Figur 13. Redovisning av stabilitetssektioner

### 10.1 Totalsäkerhetsmetoden

I Tabell 8, Tabell 9, Tabell 10 och Tabell 11 redovisas resultat för beräkningar med karakteristiska parametrar. Beräkningsresultaten redovisas även i Bilaga 4.

Tabell 8. Beräkningsresultat för stabilitetsanalys i sektion km 15/250V, rödmarkerade värden uppfyller ej krav på erforderlig säkerhetsfaktor,  $F_c \geq 1,6$  och  $F_{komb.} \geq 1,45$

Sektion km 15/250V, Beskrivning	Odränerad analys	Kombinerad analys	Bilaga:Sida
15/250V, delområde B			
Befintlig sektion (med och utan trafiklast på Edsvägen)	1,00 / 1,04	0,98	4:1 - 4:6
Känslighetsanalys: Skjuvhållfasthet från Vb i punkt 20C302 (med och utan trafiklast på Edsvägen)	1,13 / 1,17	1,10	4:7 - 4:12

Sektion km 15/250V, Beskrivning	Odränerad analys	Kombinerad analys	Bilaga:Sida
15/250V, delområde A			
Befintlig sektion	1,63 (1,28 dränerat brott)	1,26	4:13 – 4:17

Beräkningsresultaten för sektion km 15/250V visar att erforderlig säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott ej uppfylls för befintliga förhållanden i varken delområde A eller B.

Utförda känslighetsanalyser där skjuvhållfastheten höjts utifrån resultaten av vingförsök i undersökningspunkt 20C302 visar att säkerhetsfaktorn ökar med ca 0,1, dock uppfylls fortfarande inte erforderlig säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott.

Tabell 9. Beräkningsresultat för stabilitetsanalys i sektion km 15/300V, rödmarkerade värden uppfyller ej krav på erforderlig säkerhetsfaktor,  $F_c \geq 1,6$  och  $F_{komb.} \geq 1,45$

Sektion km 15/300V, Beskrivning	Odränerad analys	Kombinerad analys	Bilaga:Sida
Befintlig sektion	0,82	0,76	4:18 – 4:21
Känslighetsanalys: Skjuvhållfasthet från Vb i punkt 20C302	0,93	0,85	4:22 – 4:25

Beräkningsresultaten för sektion km 15/300V visar att erforderlig säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott ej uppfylls för befintliga förhållanden. Säkerhetsfaktorerna är under 1 vilket indikerar att slänten teoretiskt sätt borde gå till brott, dock är området glest undersökt på grund av att det finns ett naturreservat inom vilket inga undersökningar utförts inom denna detaljerade utredning.

Utförda känslighetsanalyser där skjuvhållfastheten höjts utifrån resultaten av vingförsök i undersökningspunkt 20C302 visar att säkerhetsfaktorn ökar med ca 0,1, dock uppfylls fortfarande inte erforderlig säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott.

Tabell 10. Beräkningsresultat för stabilitetsanalys i sektion km 15/350V, rödmarkerade värden uppfyller ej krav på erforderlig säkerhetsfaktor,  $F_c \geq 1,6$  och  $F_{komb.} \geq 1,45$

Sektion km 15/350V, Beskrivning	Odränerad analys	Kombinerad analys	Bilaga:Sida
15/350V Delområde C, glidyta ner mot Göta älv			
Befintlig sektion	1,27	1,08	4:26 – 4:29
Känslighetsanalys: Berg i dagen vid vattenbrynet	1,28	1,17	4:30 – 4:33
15/350V Delområde C, glidyta ner mot Edsvägen			
Befintlig sektion	1,07	0,93	4:34 – 4:37
15/350V Delområde D			
Befintlig sektion	2,80	2,40	4:38 – 4:41
Känslighetsanalys: Förhöjt portryck, Grundvattenytan höjd med 1 m	2,79	2,03	4:42 – 4:45

Beräkningsresultaten för sektion km 15/350V visar att erforderlig säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott ej uppfylls för befintliga förhållanden inom delområde C för glidytor ner mot Göta älv och Edsvägen. Utförd känslighetsanalys där geometrin ansatts med berg i dagen vid vattenbrynet till Göta älv visar att säkerhetsfaktorn ökar med ca 0,1 i kombinerad analys, dock uppfylls fortfarande inte erforderlig säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott. Vid platsbesök har berg i dagen observerats på vissa ställen vid vattenbrynet.

Beräkningsresultaten för sektion km 15/350V visar att erforderlig säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott uppfylls för befintliga förhållanden inom delområde D. För utförd känslighetsanalys, där grundvattenytan höjs med 1 m, minskar beräknad säkerhetsfaktor med ca 0,4 i kombinerad analys, dock uppfylls fortfarande erforderlig säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott.

Tabell 11. Beräkningsresultat för stabilitetsanalys i sektion km 15/540V, rödmarkerade värden uppfyller ej krav på erforderlig säkerhetsfaktor,  $F_c \geq 1,6$  och  $F_{komb.} \geq 1,45$

Sektion km 15/540V, Beskrivning	Odränerad analys	Kombinerad analys	Bilaga:Sida
15/540V, delområde E			
Befintlig sektion	1,13	1,01	4:50 - 4:53
Känslighetsanalys: Bergnivå från punkterna 20C319 och 20C323	1,19	1,07	4:54 - 4:57
15/540V, delområde D			
Befintlig sektion	3,33	1,54	4:58 - 4:61
Känslighetsanalys: Älvbotten sänkt 1 m	3,16	1,46	4:62 - 4:65
Känslighetsanalys: Älvbotten sänkt 2 m	3,00	1,43	4:66 - 4:69
Känslighetsanalys: Sektion bredvid bäcken med last av bostadshus	2,25	1,54	4:70 -4:73

Beräkningsresultaten för sektion 15/540V visar att erforderlig säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott ej uppfylls för befintliga förhållanden inom delområde E. Utförd känslighetsanalys i kombinerad analys där geometrin justerats med bergnivå utifrån närliggande undersökningspunkter 20C319 och 20C323 visar att säkerhetsfaktorn ökar med 0,6, dock uppfylls fortfarande inte erforderlig säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott.

Beräkningsresultaten för sektion km 15/540V visar att erforderlig säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott uppfylls för befintliga förhållanden inom delområde D. Utförda känslighetsanalyser med avseende på erosion där älvbotten sänkts med 2 m i kombinerad analys visar att erforderlig säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott ligger precis under vald säkerhetsfaktor. För övriga känslighetsanalyser med avseende på erosion uppfylls erforderliga säkerhetsfaktorer.

Ytterligare en känslighetsanalys har utförts inom delområde D, i vilken markytan höjts och en last motsvarande ett bostadshus har placerats på ett avstånd av ca 10 m från strandkanten. Detta i syfte att undersöka stabilitetsförhållandena sydväst och nordost om vattendraget som rinner genom delområde D och mynnar ut i Göta älv. Utförda känslighetsanalyser visar att beräknade säkerhetsfaktorer är tillfredställande.

## 10.2 Partialkoefficientmetoden

I Tabell 12 och Tabell 13 nedan redovisas resultat för beräkningar med partialkoefficientmetoden i delområde D för sektionerna km 15/350V och km 15/540V. Beräkningar har utförts för befintliga förhållanden. Beräkningsresultaten redovisas även i Bilaga 4.

*Tabell 12. Beräkningsresultat för stabilitetsanalys i sektion km 15/350V, rödmarkerade värden uppfyller ej krav på erforderlig säkerhetsfaktor,  $F_{EN} \geq 1,1$*

Sektion km 15/350V, Delområde D Beskrivning	Odränerad analys	Kombinerad analys	Bilaga:Sida
Befintlig sektion	1,86	1,80	4:46 – 4:49

*Tabell 13. Beräkningsresultat för stabilitetsanalys i sektion km 15/540V, rödmarkerade värden uppfyller ej krav på erforderlig säkerhetsfaktor,  $F_{EN} \geq 1,1$*

Sektion km 15/540V, Delområde D Beskrivning	Odränerad analys	Kombinerad analys	Bilaga:Sida
Befintlig sektion	2,22	1,18	4:74 – 4:77

Beräkningsresultaten med partialkoefficientmetoden visar att befintliga förhållanden uppfyller erforderliga säkerhetsfaktorer med partialkoefficientmetoden för delområde D.



## 11 Föreslagna åtgärder – motiv

För stora delar av området uppnås ej erforderliga säkerhetsfaktorer för befintliga förhållanden och säkerhetsfaktorn ligger runt 1,0 vilket indikerar att det är sannolikt att skred kan inträffa inom området. För utförda beräkningar i stabilitetssektioner inom delområde A, B, C och E är beräknade säkerhetsfaktorer ej tillfredställande. För att uppnå erforderliga säkerhetsfaktorer för detaljerad utredning kommer omfattande förstärkningsåtgärder att erfordras. Således rekommenderas att dessa delområden, se Figur 14 för utbredning i plan, utreds vidare i en fördjupad stabilitetsutredning för att vidare kunna utreda lämpliga förstärkningsåtgärder.

För delområde D uppnås erforderliga beräknade säkerhetsfaktorer i såväl kombinerad som odränerad analys för befintliga förhållanden. Stabilitetsförhållandena inom delområde D bedöms därmed vara tillfredställande och behöver ej utredas vidare i en fördjupad stabilitetsutredning.



Figur 14. Område som rekommenderas att utredas vidare i en fördjupad stabilitetsutredning



## 12 Slutsats och rekommendationer

Stabilitetsutredning med totalsäkerhetsmetoden baseras på grundtanken att desto mer information som finns inom ett område, desto lägre krav på beräknad säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott erfordras. Erforderlig säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott varierar inom ett intervall där gynnsamma och ogynnsamma förhållanden vägs ihop för att välja en objektspecifik säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott. I detta fall har säkerhetsfaktorer valts baserat på områdets helhet, dock bör det poängteras att inom området finns stora variationer i lerdjup och topografi.

Sensitiviteten inom området varierar huvudsakligen mellan ca 40 och 150. I undersökningspunkt 20C321 har sensitiviteten uppmätts till mellan ca 260 och 300 på 6 till 9 m djup under markytan vid utförd kolvprovtagning. Förekomst av kvicklera och högsensitiv lera innebär risk för utbildandet av bakåtgripande skred vid ett initialt skred.

Inom området rinner ett vattendrag som mynnar ut i Göta älv. Vid stabilitetsberäkning i sektion 15/300 är beräknad säkerhetsfaktor mycket låg och ett eventuellt skred ner mot vattendraget bedöms kunna medföra risk för framåtgripande skred som kan påverka Edsvägen och Göta älv samt befintliga bostadshus.

Denna detaljerade stabilitetsutredning visar att beräknad säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott uppfylls för delområde D. För övriga delområden (A, B, C och E) är beräknad säkerhetsfaktor låg och dessa områden rekommenderas att utredas vidare i en fördjupad utredning för att bättre verifiera befintliga stabilitetsförhållanden och behovet av förstärkningsåtgärder.

I en fördjupad utredning rekommenderas följande undersökningar:

- > Kolvprovtagning och avancerade laboratorieundersökningar inklusive triaxförsök inom delområde B, C och E
- > Undersökningar inom Åkerströms naturreservat för att utreda jorddjup, jordlagerföljd
- > Undersökningar på höjdpartiet mellan delområde A och C (Passopp) för att utreda jorddjup och jordlagerföljd
- > Undersökningar från flotte i Göta älv för att verifiera jorddjup och jordlagerföljd för delområde A och C