

STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT (SGI)

PM GEOTEKNIK KOMPLETTERANDE STABILITETSUTREDNING IVARSLUND

ADRESS COWI AB
Vikingsgatan 3
Box 12076
402 41 Göteborg
Sweden

TEL 010 850 10 00

FAX 010 850 25 10

WWW cowi.se

INNEHÅLL

1	Inledning	3
2	Syfte	5
3	Utförda undersökningar och utredningar	6
4	Provkvalitet	7
4.1	Metodbeskrivning	7
4.2	Utvärdering provkvalitet	9
4.3	Sammanställning provkvalitet	16
5	Sammanställning geotekniska parametrar	19
5.1	Grundparametrar	20
5.2	Skjuvhållfasthet	22
5.3	Anisotropi	31
5.4	Portryck	34
5.5	Överkonsolidering	35
6	Valda beräkningsparametrar	38
6.1	Jordmaterialparametrar	38
6.2	Anisotropifunktion	41
6.3	Portrycksmodell	45
7	Beräkningar och resultat	46
7.1	Beräkningssektion 38/800V	47

DIARIENUMMER

1910-0734

UPPDRAGSNUMMER

19142A/10136

KONTAKTPERSON SGI

Karin Odén

PROJEKTNR.

A206330

DOKUMENTNR.

38500VPM13

VERSION

1.0

UTGIVNINGSDATUM

2022-09-23

BESKRIVNING

PM Geoteknik Kompletterande
stabilitetsutredning

UTARBETAD

Andreas Stöllman
Christina Edström

GRANSKAD

Charlotte Junkers

GODKÄND

Christina Edström

7.2	Beräkningssektion 38/845V	49
7.3	Beräkningssektion 38/880V	51
7.4	Beräkningssektion 38/910V	52
8	Föreslagna åtgärder	54
9	Slutsats	57

BILAGOR

Bilaga 1	Valda karakteristiska värden för odränerad skjuvhållfasthet
Bilaga 2	Vald tunghet
Bilaga 3	Sammanställning av portryck
Bilaga 4	Karakteristiska materialparametrar
Bilaga 5	Beräkningsresultat

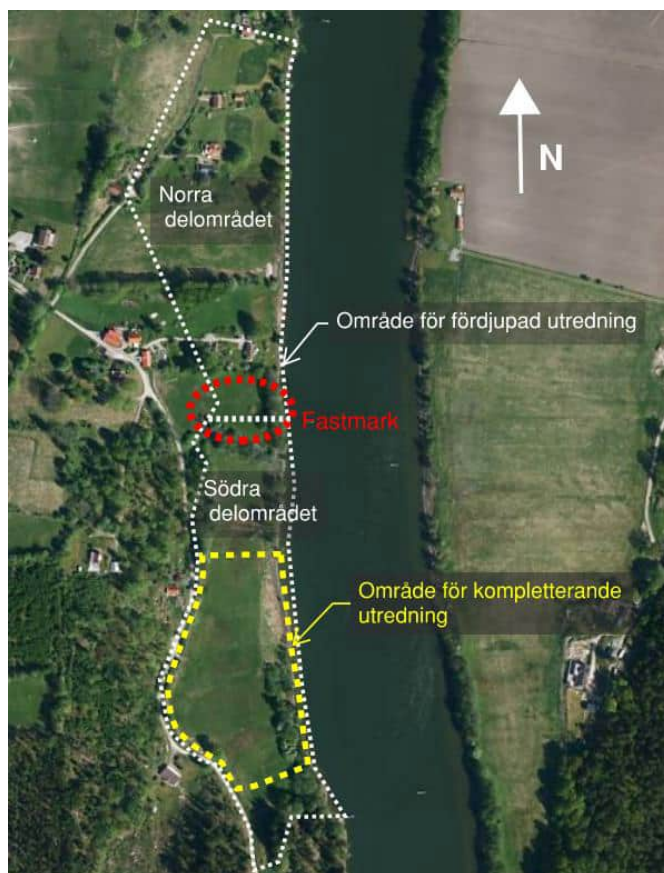
1 Inledning

På uppdrag av Statens geotekniska institut (SGI) har COWI AB utfört en komplettering av fördjupad geoteknisk stabilitetsutredning i Ivarslund, Lilla Edets kommun. Området är beläget på västra sidan om Göta Älv, ca 5 km söder om Lilla Edet centrum.

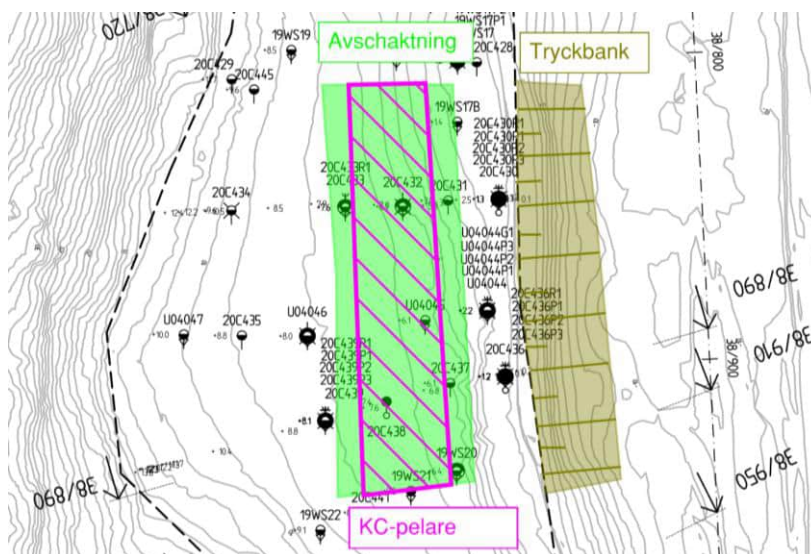
Den fördjupade utredningen som färdigställdes under april månad år 2021 visade att utredningsområdet kunde delas in i två delområden på ömse sidor om ett fastmarksparti, se Figur 1. Delområdena benämndes norra delområdet respektive södra delområdet. Denna PM berör enbart det södra delområdet.

Den fördjupade utredningen visade att relativt stora stabilitetsförbättrande åtgärder erfordras inom Ivarslunds södra delområde, se Figur 2. Vidare visade utredningsresultaten att det finns ett lokalt område inom det södra delområdet, i anslutning till älven, som uppvisar lägre odränerad skjuvhållfasthet än övriga delar.

Den fördjupade utredningen kompletterades därför med nya geotekniska undersökningar inom det södra delområdet under sensvår 2021. Under hösten år 2021 utfördes även en kompletterande geoteknisk undersökning med norsk miniblockprovtagning, fortsättningsvis enbart benämnd miniblockprovtagning (MB) samt även norsk cylinderprovtagare som i det följande betecknas (NGI). Området för kompletterande utredning, är ca 250-300 m långt.



Figur 1 Översiktsbild, område för fördjupad utredning har markerats med vitstreckad linje och område för kompletterande utredning har markerats med gulstreckad linje. Fastmarksområdet mellan det norra respektive södra delområdet har markerats med röstreckad ellips (kartkälla eniro.se)



Figur 2 Ungefärlig utbredning av föreslagen åtgärd efter fördjupad utredning

2 Syfte

Utredningen omfattar en kompletterad fördjupad geoteknisk utredning, enligt IEG:s Rapport 4:2010. Syftet med den kompletterande stabilitetsutredningen är att, med hjälp av fler kvalificerade fält- och laboratorieundersökningar, klargöra om det södra delområdets skjuvhållfasthet är högre än vad tidigare konventionella fältundersökningar visat, samt att med större noggrannhet beräkna behovet av stabilitetsförbättrande åtgärder.

De kompletterande undersökningarna syftar även till att utgöra referens vid framtida stabilitetsutredningar, för att kunna avgöra om och när miniblockprovtagning kan vara lämpligt att använda för att eventuellt erhålla högre provkvalitet och därmed säkrare beslutsunderlag vid bedömning av jordens hållfasthetsegenskaper. Uppdraget har därför även omfattat utvärdering och sammanställning av provkvalitet inklusive jämförelse mellan CRS-försök på prover upptagna med standardkolv och prover upptagna med miniblockprovtagare.

Syftet med denna PM är att beskriva och värdera utförda avancerade fält- och laboratorieundersökningar, sammanställa valda materialparametrar samt dokumentera utförd stabilitetsanalys och föreslagna stabilitetsförbättrande åtgärder.

3 Utförda undersökningar och utredningar

Under sensvåren 2021 kompletterades undersökningarna inom det södra delområdet. Kompletteringarna omfattade skruv- och kolvprovtagning (StII), CPTU-R-sondering, jord-bergsondering, vingförsök samt installation av porttrycksmätare och grundvattenrör. Under hösten 2021 kompletterades undersökningarna med miniblockprovtagning (MB) i två undersökningspunkter, 20C428 och 20C436 samt norsk cylinderprovtagning (NGI) i undersökningspunkt 20C428.

Geotekniska fält- och laboratorieundersökningar har utförts av COWI AB under år 2020 och år 2021. Resultaten från dessa undersökningar redovisas i:

- > Ivarslund, Lilla Edets kommun, Fördjupad stabilitetsutredning, 38500VRA11, Markteknisk undersökningsrapport (MUR) Geoteknik, Uppdragsnummer COWI A206330, daterad 2022-02-11.
- > Ivarslund, Lilla Edets kommun, Miniblockprovtagning, 38500VRA12, Markteknisk undersökningsrapport (MUR) Geoteknik, Uppdragsnummer COWI A206330, daterad 2022-02-11.

Inmätningar och avvägningar har utförts av COWI AB och redovisas i koordinatsystemet SWEREF 99 TM och i höjdsystemet RH 2000. Inmätningar och avvägningar har utförts i mätklass B i enlighet med SGF Rapport 1:2013 Geoteknisk Fälthandbok.

Tidigare utförd fördjupad utredning finns redovisad i:

- > Ivarslund, Lilla Edets kommun, Fördjupad stabilitetsutredning, 38500VPM11, PM Geoteknik, Uppdragsnummer COWI A206330, daterad 2021-04-30.

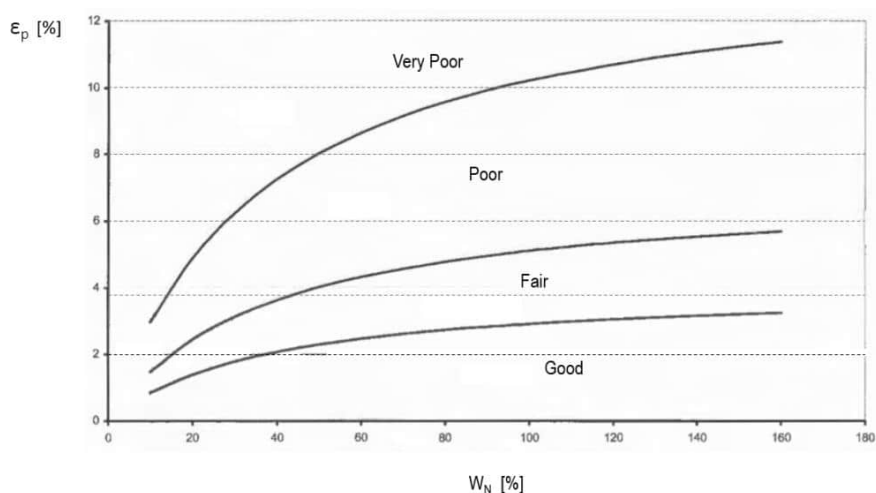
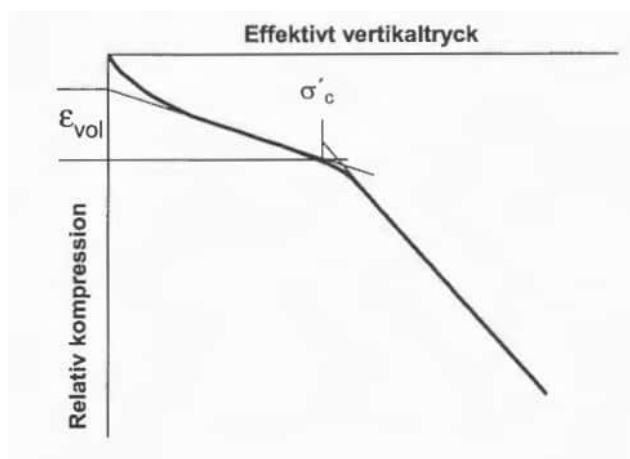
4 Provkvalitet

4.1 Metodbeskrivning

För att bedöma och jämföra kvalitet hos upptagna prover har provkvaliteten utvärderats ur resultat från CRS-försök. Provkvaliteten har utvärderats med tre olika metoder; Larsson et al (2007), Lunne et al (1997) samt Karlsrud och Hernandez-Martinez (2013). Nedan beskrivs metodiken för de tre olika utvärderingsmetoderna.

4.1.1 Larsson et al (2007)

Metoden utgår från volymtöjningen under den elastiska fasen av CRS-kurvan. Volymtöjningen utvärderas i detta fall genom att dra en tangent längs ödometerkurvans flackaste del, från förkonsolideringstrycket till töjningsaxeln. Töjningsskillnaden mellan dessa två punkter jämförs sedan grafiskt med provets vattenkvot, se Figur 3.



Figur 3 Utvärdering av provkvalitet utifrån volymtöjning och naturlig vattenkvot
 Larsson et al (2007)

4.1.2 Lunne et al (1997)

För den aktuella metoden utvärderas provkvaliteten utifrån kvoten $\Delta e/e_0$, där Δe betecknar förändringar i portal, under konsolideringsfasen, från försöksstart och upp till en spänningsnivå motsvarande effektivspänningen in situ och där e_0 betecknar det initiala portalet före konsolideringen.

Förändringen i portal Δe beräknas enligt:

$$\Delta e = \varepsilon_{vol} (1 + e_0)$$

För ödometerförsök är $\varepsilon_{vol} = \varepsilon_a$ och således blir

$$\Delta e = \varepsilon_a (1 + e_0)$$

Det initiala portalet före konsolideringen beräknas enligt:

$$e_0 = G_s \cdot w_i \text{ där}$$

w_i = vattenkvoten före provstart

G_s = partikeltäthet och varierar vanligtvis i intervallet 2,65-2,75. Vid utvärdering av provkvalitet inom ramen för aktuellt uppdrag har G_s genomgående valts till 2,7.

Vid utvärdering jämförs kvoten $\Delta e/e_0$ för olika intervall på förkonsolideringsgrad enligt Tabell 1 nedan.

Tabell 1 Utvärdering av provkvalitet, Lunne et al. (1997)

OCR	$\Delta e/e_0$			
	Very good to excellent	Good to fair	Poor	Very poor
1-2	<0.04	0.04-0.07	0.07-0.14	>0.14
2-4	<0.03	0.03-0.05	0.05-0.10	>0.10
4-6	<0.02	0.02-0.035	0.035-0.07	>0.07
Quality	1	2	3	4

4.1.3 Karlsrud och Hernandez-Martinez (2013)

Metoden jämför kvoten mellan det maximala värdet på kompressionsmodulen för spänningar under förkonsolideringstrycket, M_0 och minsta värdet på kompressionsmodulen för spänningar över förkonsolideringstrycket, M_L . I utvärderingen antas att ett stort prov i regel uppvisar ett lägre värde på M_0 medan M_L förväntas öka, det vill säga, ju större kvot desto bättre provkvalitet.

Tabell 2 Utvärdering av provkvalitet, Karlsrud och Hernandez-Martinez (2013)

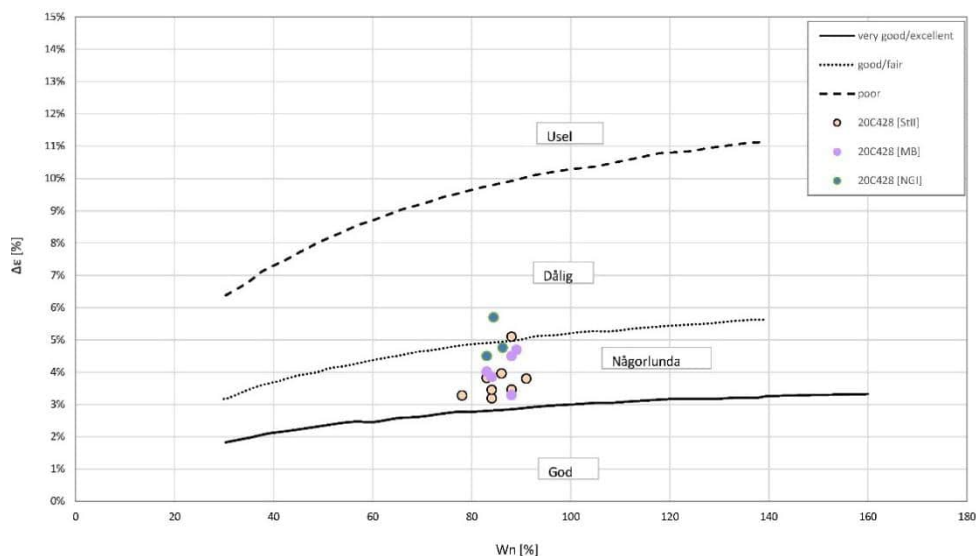
Sample quality	Ratio M_0/M_L
1 – Very good to excellent	>2
2 – Good to fair	1,5-2
3 – Poor	1-1,5
4 – Very poor	<1

4.2 Utvärdering provkvalitet

Provkvaliteten har jämförts mellan prover upptagna med standardkolv, miniblockprovtagare samt norsk cylinderprovtagare. Nedan redovisas provkvaliteten för undersökningspunkterna 20C428 och 20C346 med respektive utvärderingsmetod.

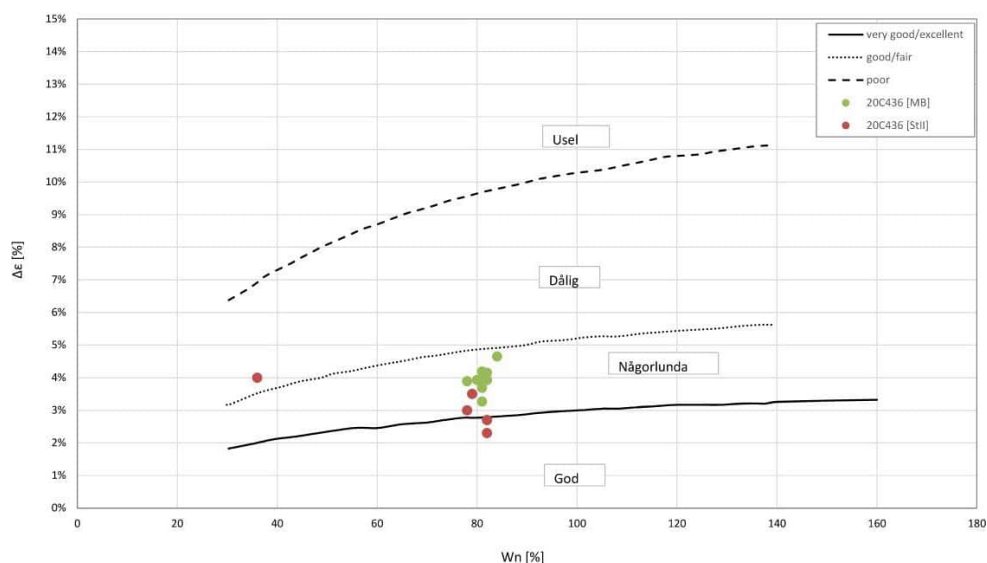
4.2.1 Larsson et al. (2007)

Provkvaliteten utvärderad enligt Larsson et al (2007) redovisas i Figur 4 och Figur 5, nedan.



Figur 4 Provkvalitet för jordprover upptagna med standardkolv (StII), miniblockprovtagare (MB) samt norsk cylinderprovtagare (NGI) i undersökningspunkt 20C428 enligt Larsson et al (2007)

Utifrån aktuell utvärderingsmetod kan konstateras att flertalet av försöksnivåerna i undersökningspunkt 20C428 ligger inom intervallet för *Någorlunda* provkvalitet. Skillnaden mellan provtagningsmetoderna är liten. Provkvaliteten för prover upptagna med norsk cylinderprovtagare och som analyserats på NGI:s laboratorium, ligger i den övre delen av svärmen och uppvisar således något sämre provkvalitet. Detta kan eventuellt bero på att dessa prover transporterats till Oslo vilket är en betydligt längre sträcka, än de prover som analyserats strax söder om Göteborg.

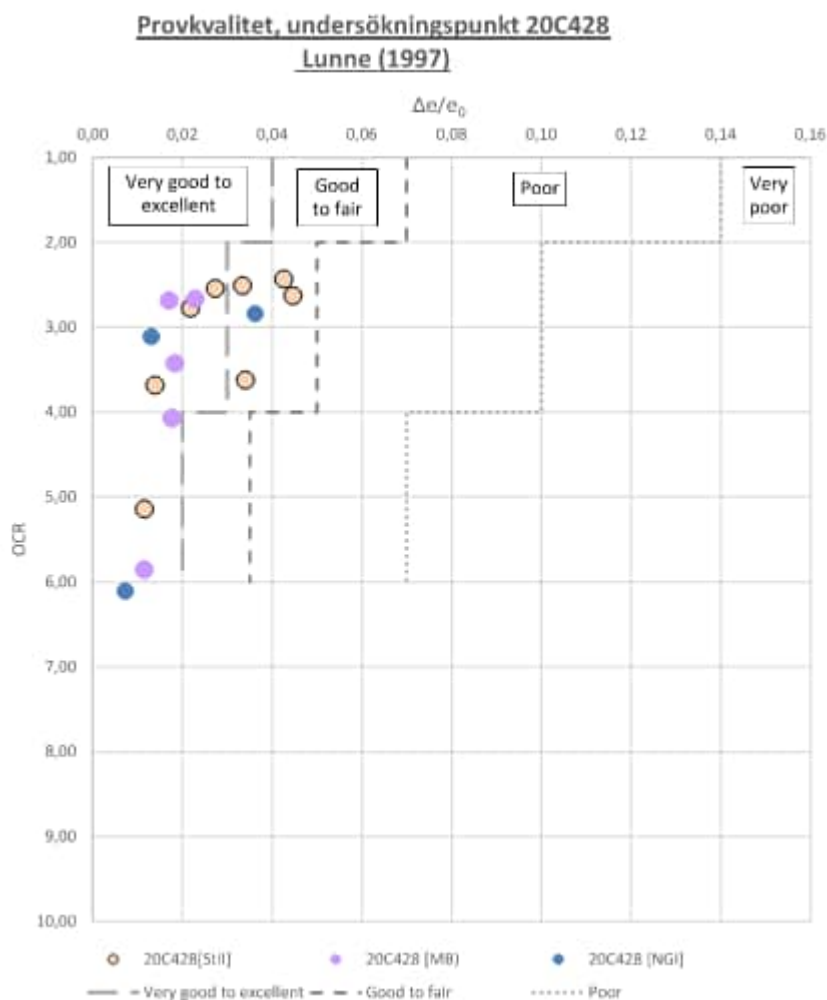


Figur 5 Provkvalitet för jordprover upptagna med standardkolv (StII) och miniblockprovtagnare (MB) i undersökningspunkt 20C436 enligt Larsson et al (2007)

Utifrån aktuell utvärderingsmetod kan konstateras att flertalet av försöksnivåerna i undersökningspunkt 20C436 ligger inom intervallet för *Någorlunda* provkvalitet. Skillnaden mellan provtagningsmetoderna är liten. Provkvaliteten för prover upptagna med miniblockprovtagnare ligger i övre delen av svärmen och uppvisar således något sämre provkvalitet.

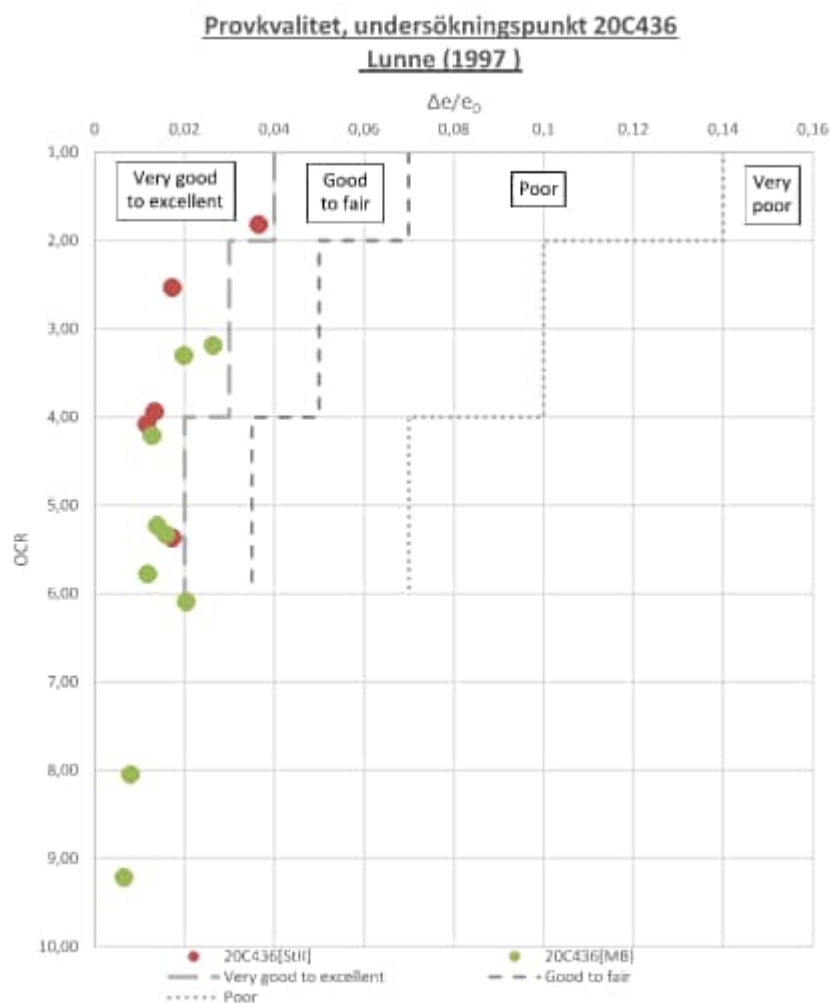
4.2.2 Lunne et al (1997)

Provkvaliteten utvärderad enligt Lunne et al (1997) redovisas som portalförändringen uppritat mot överkonsolideringsgraden för den aktuella provnivån, se Figur 6 och Figur 7 nedan.



Figur 6 Provkvalitet för jordprover upptagna med standardkolv (StII), miniblockprovtagare (MB) samt norsk cylinderprovtagare (NGI) i undersökningspunkt 20C428, enligt Lunne et al (1997). Observera att de prover med högst OCR i regel är prover i den övre delen av jordprofilen

Utifrån aktuell utvärderingsmetod kan konstateras att prover upptagna med miniblockprovtagare i undersökningspunkt 20C428 uppvisar *Mycket god till utmärkt* provkvalitet. Proverna som tagits upp med standardkolv uppvisar en något större spridning i provkvalitet som varierar mellan *Mycket god till utmärkt* och *God till någorlunda*. Prover från norsk cylinderprovtagare uppvisar *Mycket god till utmärkt* och *God till någorlunda* provkvalitet.

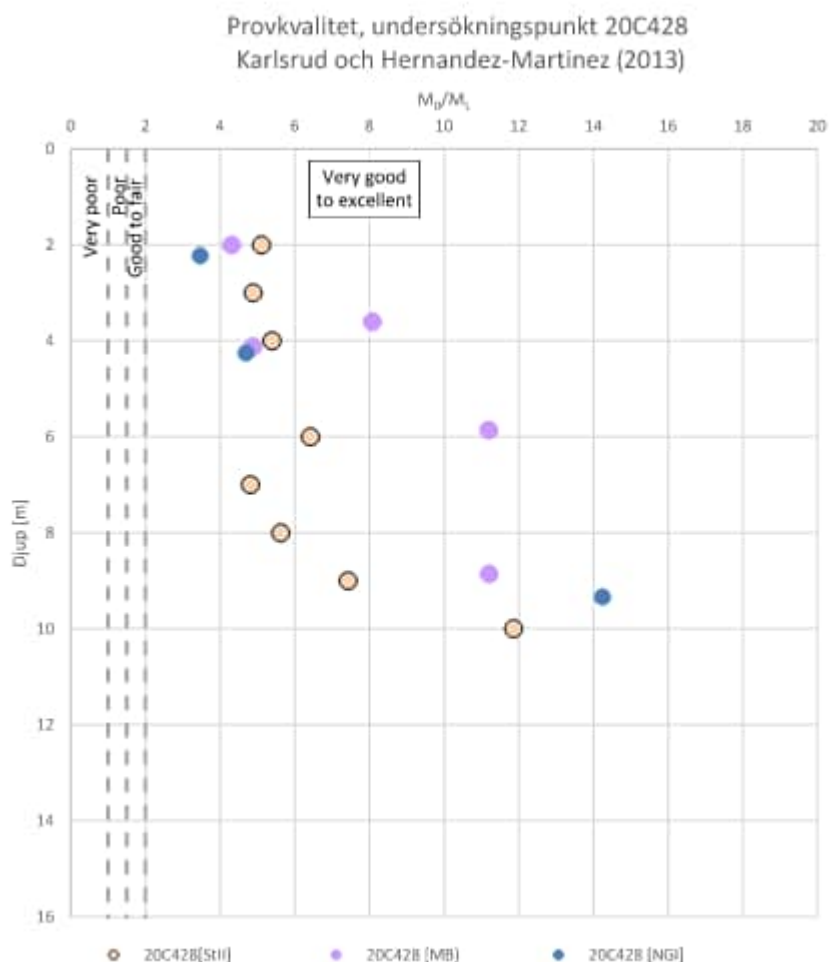


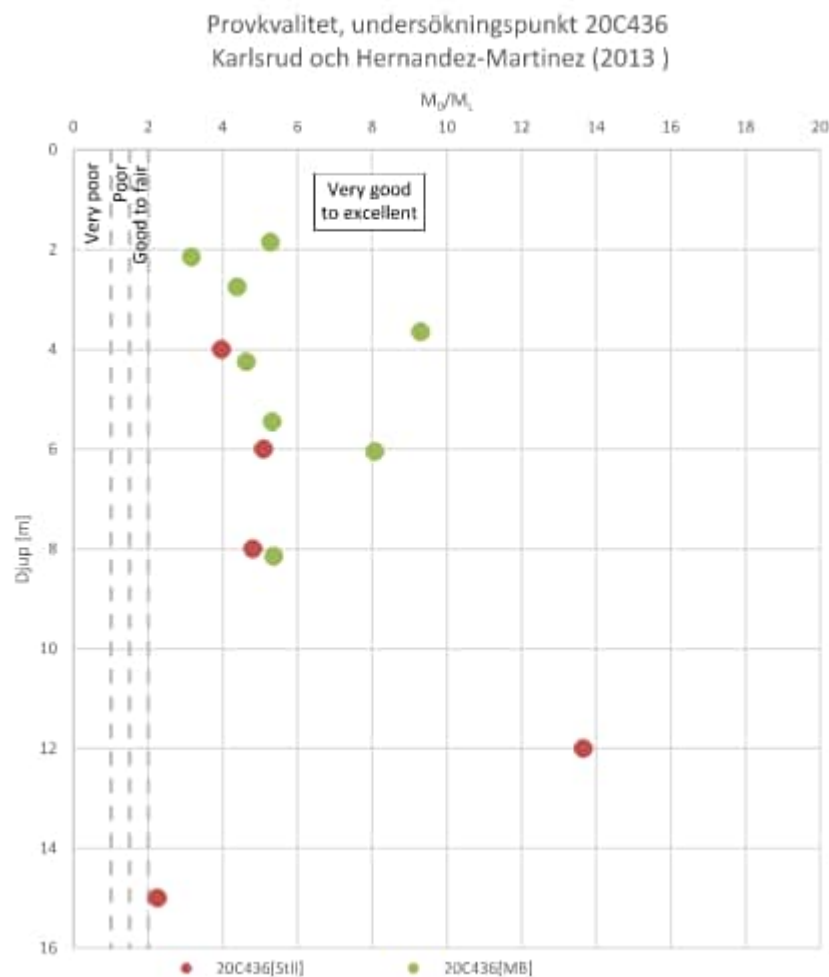
Figur 7 Provkvalitet för jordprover upptagna med standardkolv (StII) och miniblockprovtagnare (MB) i undersökningspunkt 20C436, enligt Lunne et al (1997). Observera att de prover med högst OCR i regel är prover i den övre delen av jordprofilen

Prover upptagna med miniblockprovtagnare i undersökningspunkt 20C436 uppvisar *Mycket god till utmärkt* provkvalitet. Detta gäller även prover som tagits upp med standardkolv.

4.2.3 Karlsrud och Hernandez-Martinez (2013)

Provkvaliteten utvärderad enligt Karlsrud och Hernandez-Martinez (2013) redovisas som kvoten M_0/M_L uppritat mot provtagningsdjupet se Figur 8 och Figur 9.





Figur 9 Provkvalitet för jordprover upptagna med standardkolv (StII) och miniblockprovtagare (MB) i undersökningspunkt 20C436, enligt Karlsrud och Hernandez-Martinez (2013)

Samtliga upptagna prover undersökningspunkt 20C436 uppvisar *Mycket god till utmärkt* provkvalitet. Kvoten M_0/M_L ligger generellt något lägre för prover upptagna med standardkolv. Försöket på 12m djup ligger betydligt högre än övriga försök.

4.3 Sammanställning provkvalitet

I Figur 10 nedan redovisas en sammanställning av utvärderad provkvalitet för nyttjade metoder.

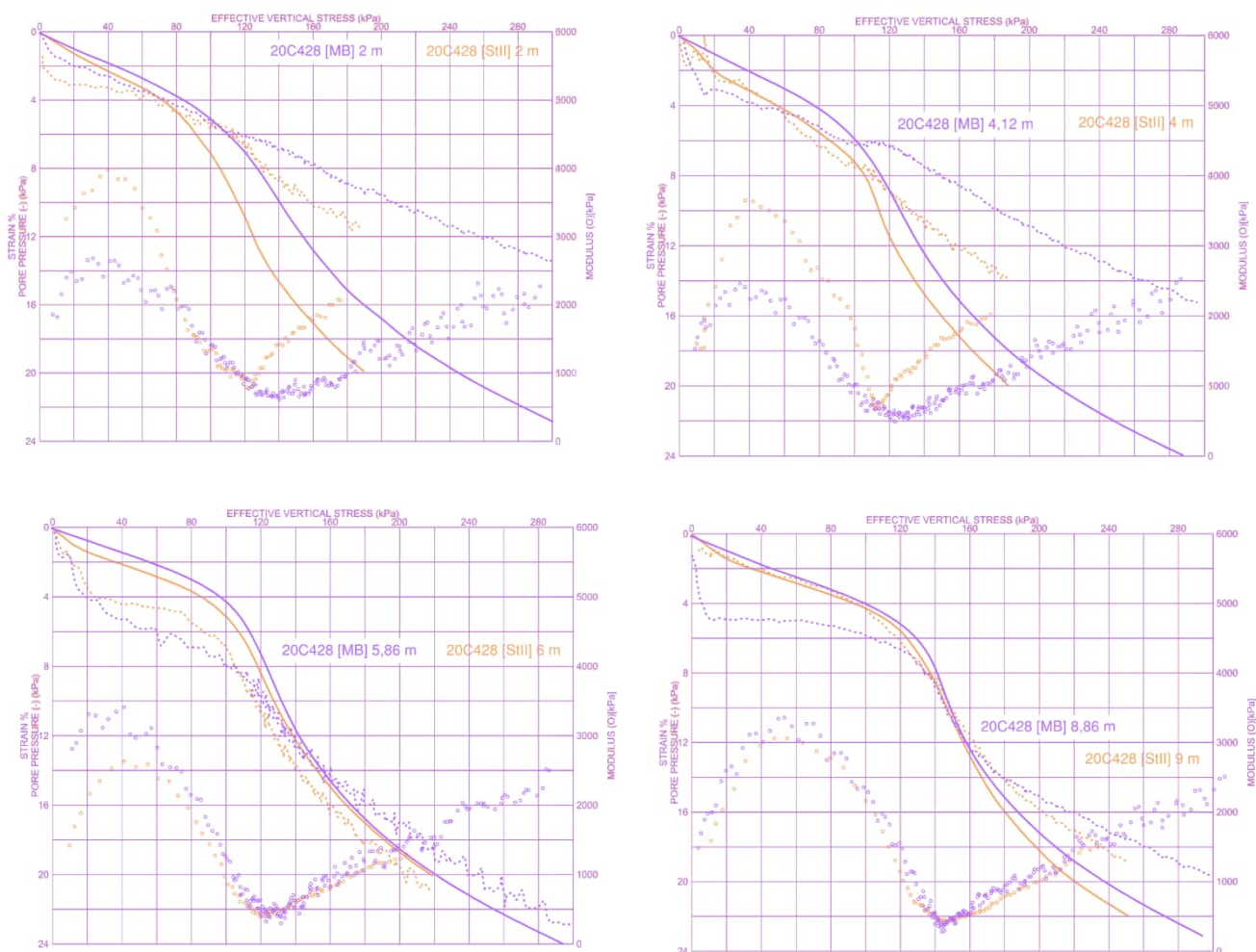
	20C428						20C436			
	StII		MB		NGI		StII		MB	
	Provtagningsdjup	Provkvalitet	Provtagningsdjup	Provkvalitet	Provtagningsdjup	Provkvalitet	Provtagningsdjup	Provkvalitet	Provtagningsdjup	Provkvalitet
Larsson et al		Någorlunda		Någorlunda		Dålig				Någorlunda
Lunne et al	2	God	2	God	2,22	God			1,85	God
Karlsrud H-M		God		God		God	--			God
Larsson et al		Någorlunda		Någorlunda						Någorlunda
Lunne et al	3	God	3,6	God	--				2,75	Någorlunda
Karlsrud H-M		God		God			--			God
Larsson et al		Dålig		Någorlunda		Någorlunda				Någorlunda
Lunne et al	4	Någorlunda	4,12	God	4,25	God			3,65	God
Karlsrud H-M		God		God		God	--			God
Larsson et al		Någorlunda		Någorlunda				Någorlunda		Någorlunda
Lunne et al	6	God	5,86	God	--		4	God	4,25	God
Karlsrud H-M		God		God				God		God
Larsson et al		Någorlunda								Någorlunda
Lunne et al	7	God	--		--		--		5,45	God
Karlsrud H-M		God								God
Larsson et al		Någorlunda						God		Någorlunda
Lunne et al	8	Någorlunda	--		--		6	God	6,05	God
Karlsrud H-M		God						God		God
Larsson et al		Någorlunda		Någorlunda		Någorlunda		Någorlunda		Någorlunda
Lunne et al	9	Någorlunda	8,86	God	9,33	Någorlunda	8	God	8,15	God
Karlsrud H-M		God		God		God		God		God
Larsson et al		Någorlunda						God		Någorlunda
Lunne et al	10	Någorlunda	--		--		12	God	12,15	God
Karlsrud H-M		God						God		God
Larsson et al							15	Dålig		
Lunne et al	--		--		--			God	--	
Karlsrud H-M								God		

God  Dålig 
Någorlunda  Usel 

Figur 10 Sammanställning av provkvalitet utvärderad med Larsson et al (2007), Lunne et al (1997) respektive Karlsrud och Hernandez-Martinez (2013)

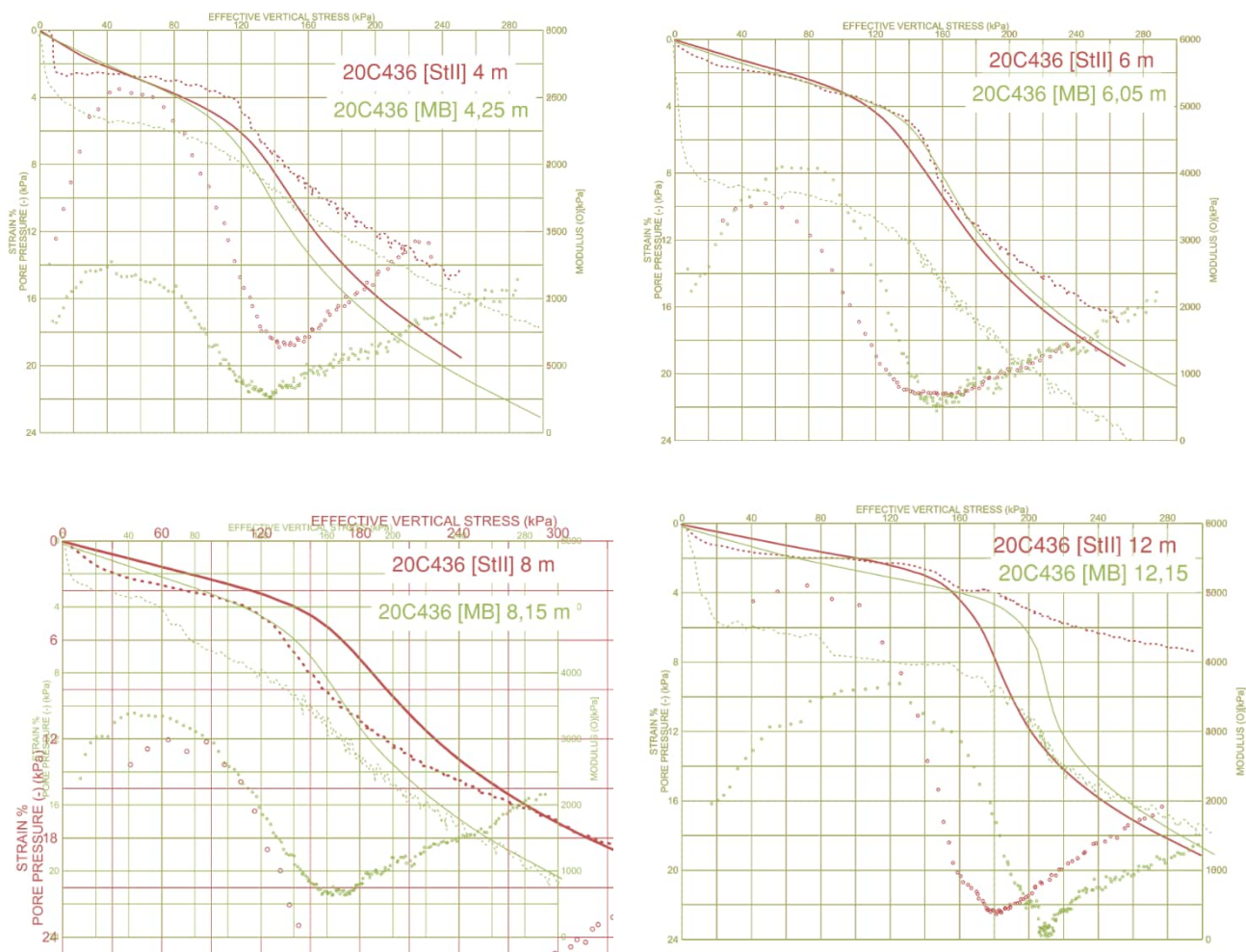
Sammanställningen uppvisar ingen uppenbar skillnad mellan standardkolv (StII) och miniblockprover. Metoden framtagen av Karlsrud och Hernandez-Martinez (2013) visar på god provkvalitet för samtliga nivåer. Lunne et al (1997) visar på god provkvalitet i samtliga fall utom sex medan Larsson et al (2003) uppvisar god provkvalitet på enbart två nivåer. Larsson et al (2003) är den enda utvärderingsmetoden som har klassificerat provkvaliteten som dålig för två provnivåer.

I Figur 11 och Figur 12 nedan redovisas sammanställningar av CRS-försök utförda på standardkolvprover respektive miniblockprover i undersökningspunkt 20C428 och 20C436.



Figur 11 Jämförelse mellan CRS-försök utförda på prover från standardkolv, StII (beige) och miniblockprover, MB (lila) i undersökningspunkt 20C428. Från vänster till höger uppifrån och ner redovisas prover från 2 m, ca 4 m, ca 6 m och ca 9 m djup. Observera att modulkurvorna inte redovisas i samma skala för försöken på 2 respektive 4 m

Av figuren ovan framgår att i undersökningspunkt 20C428 uppvisar CRS-försöken utförda på miniblockprover i allmänhet mindre töjningar än CRS-försöken utförda på standardkolvprover. Enligt resultat från rutinförsöken har kvicklera konstaterats på samtliga prover upptagna med standardkolv, och för prover upptagna med miniblockprovtagare har kvicklera konstaterats på samtliga provnivåer utom på 2 m djup under markytan.



Figur 12 Jämförelse mellan CRS-försök utförda på prover från standardcolv, StII (rödbrun) och miniblockprover, MB (grön) i undersökningspunkt 20C436. Från vänster till höger uppifrån och ner redovisas prover från ca 4 m, ca 6 m, ca 8 m och ca 12 m djup. Observera att modulkurvorna inte redovisas i samma skala för försöken på 4 m, 8 m respektive 12 m

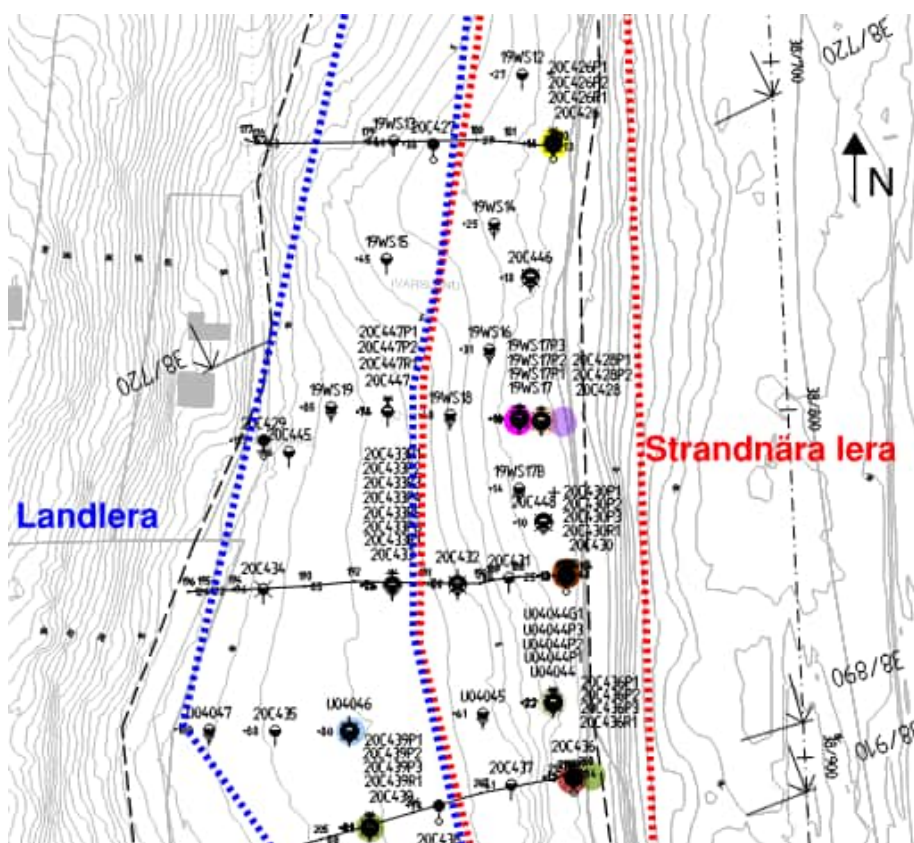
Av figuren ovan kan konstateras att CRS-försöken i undersökningspunkt 20C436 inte uppvisar något enhetligt mönster. CRS-försök på prover upptagna med miniblockprovtagare uppvisar både större och mindre töjningar än CRS-försöken på proverna från standardcolven. Enligt resultat från rutinförsöken förekommer kvicklera enbart i proverna från 12 m djup under markytan (dock förekommer kvicklera även på 10 m respektive 15 m djup, men dessa försök redovisas inte i Figur 12 ovan).

5 Sammanställning geotekniska parametrar

I den fördjupade utredningen visade sammanställning av lerans materialparametrar, främst skjuvhållfastheten, att det södra delområdet bör delas in i två huvudområden, strandnära lera och landlera, se Figur 13 för översiktlig indelning.

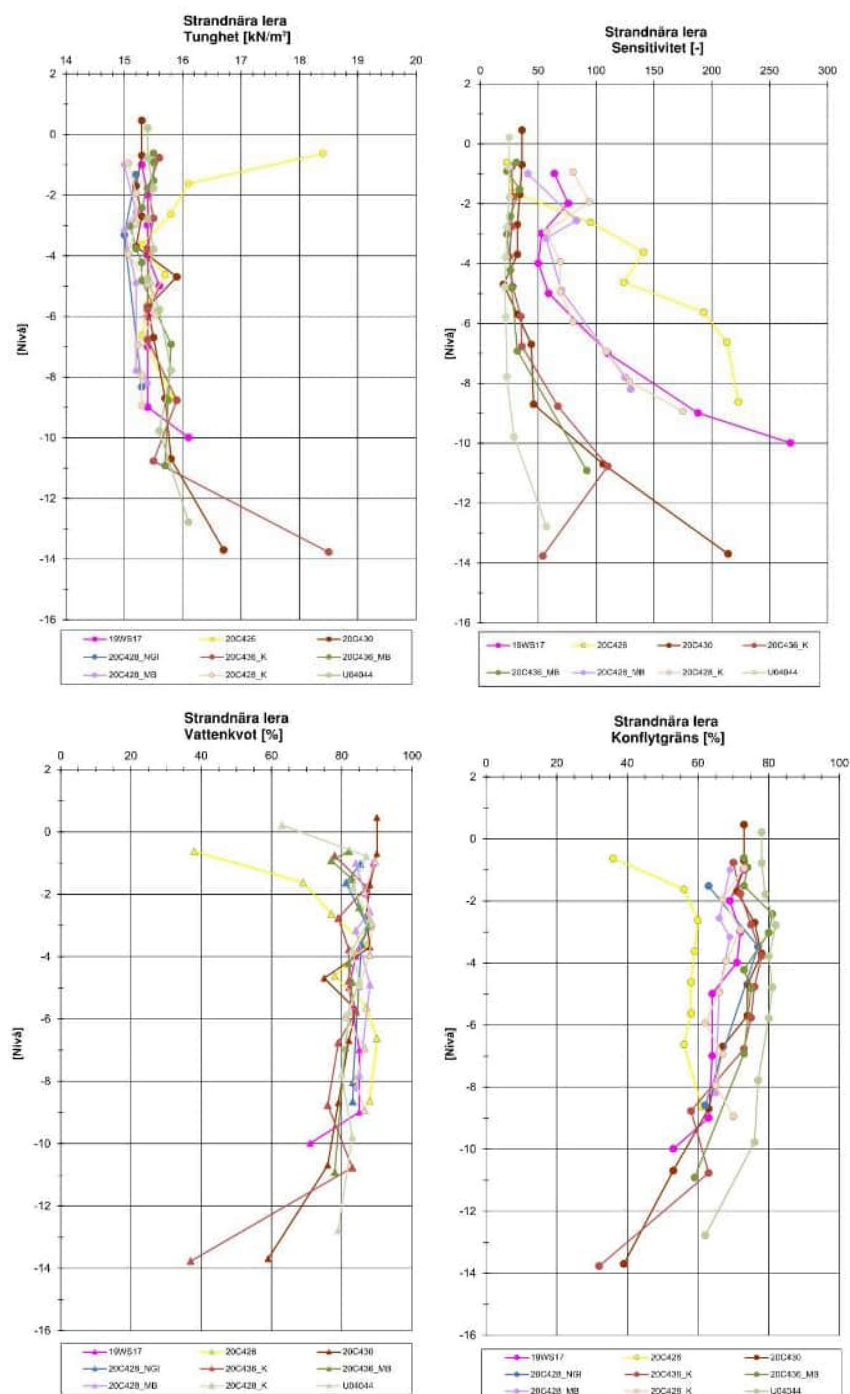
Vidare visade den fördjupade utredningen att det möjligen finns ett lokalt område inom den strandnära leran, vid tidigare utförd undersökningspunkt 19WS17, där lerans odränerade skjuvhållfasthet är lägre. I samband med den kompletterande undersökningen utfördes därför kvalificerade undersökningar i punkt 20C428 intill 19WS17. Även i den södra delen, där den fördjupade utredningen visade att stabilitetförbättrande åtgärder erfordras, utfördes kvalificerade undersökningar i tidigare utförd undersökningspunkt 20C436.

Denna PM fokuserar på området strandnära lera där fler kompletterande avancerade fält- och laboratorieundersökningar utförts. Inga nya undersökningspunkter utfördes inom landleran i samband med den kompletterande undersökningen. För en djupare analys och beskrivning av landlera hänvisas till den fördjupade utredningen, se Kapitel 3 för referens.

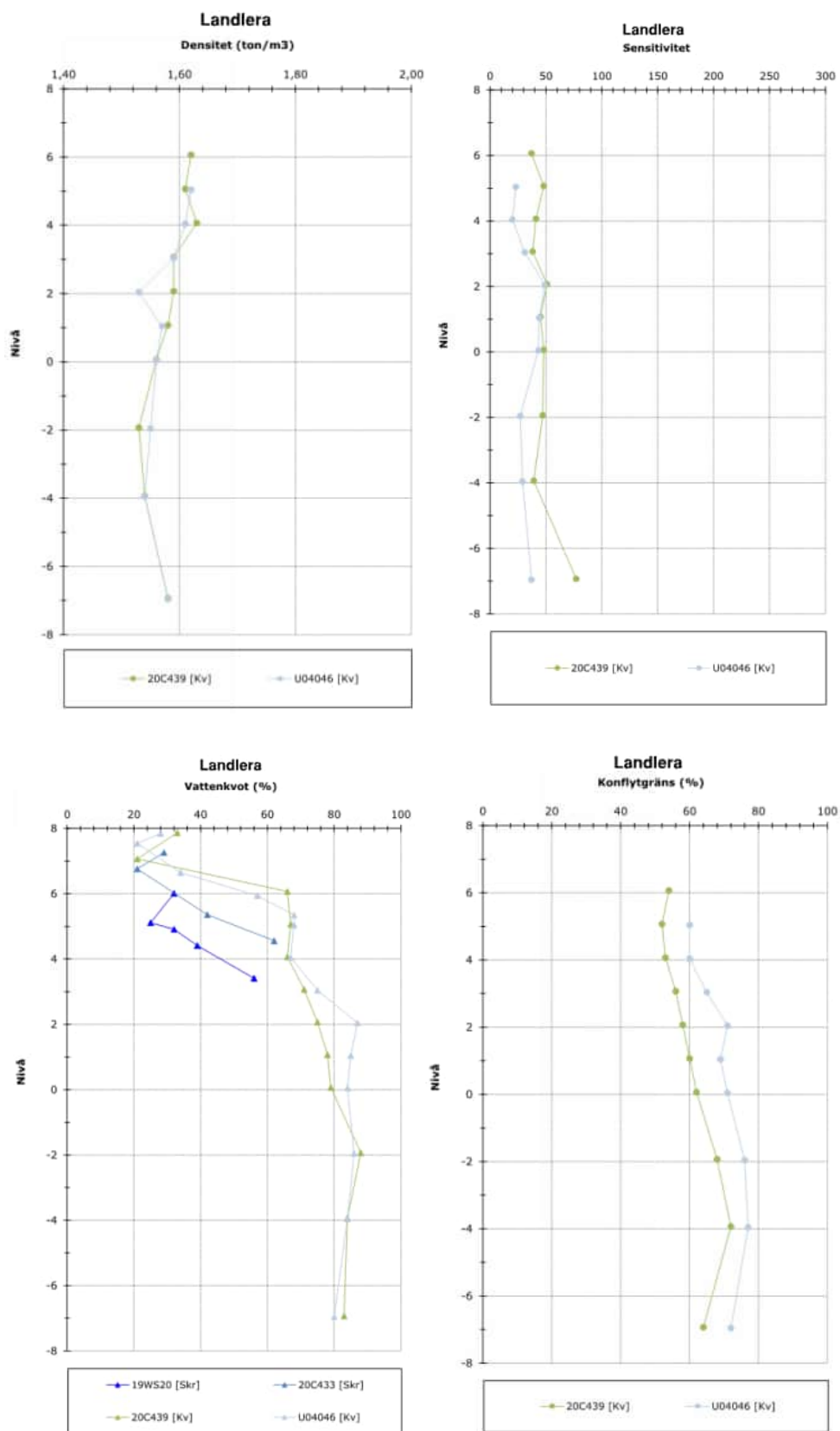


5.1 Grundparametrar

För grundparametrarna visar den fördjupade utredningen på en homogen lera med en liten inbördes spridning mellan undersökningspunkterna för båda områdena ländlera respektive strandnära lera. Sammanställningar av grundparametrarna redovisas för strandnära lera i Figur 14 och för ländlera i Figur 15. Grundparametrarna visar på en något lägre konflytgräns samt en högre sensitivitet inom den strandnära leran i anslutning till fastmarkspartiet i norr.



Figur 14 Grundparametrar för Strandnära lera



Figur 15 Grundparametrar för Landlera. Inga nya undersökningspunkter utfördes inom landleran i samband med den kompletterande undersökningen.

5.2 Skjuvhållfasthet

5.2.1 Strandnära lera

I den fördjupade utredningen har stort fokus lagts på utvärderad skjuvhållfasthet för den strandnära leran i det södra delområdet. Detta för att få förståelse av lokala geologiska variationer, skillnader mellan olika undersökningsmetoder samt osäkerheter och tveksamheter i laboratorieresultat. I denna PM har störst fokus lagts på avancerade laboratorieundersökningar så som direkta skjuvförsök och triaxialförsök vid val av skjuvhållfasthet. För en detaljerad beskrivning av övriga fält- och laboratorieundersökningar hänvisas till PM Geoteknik fördjupad utredning, se kapitel 3 för referens.

Inom området för den strandnära leran har miniblockprovtagning (MB) utförts i undersökningspunkterna 20C428 och 20C436. I undersökningspunkt 20C428 har även norsk cylinderprovtagning (NGI) utförts. För att analysera och jämföra resultaten från miniblockproverna med resultaten från standardkolvproverna samt med resultat av CPT-sonderingar och vingförsök särredovisas skjuvhållfastheten separat för aktuella undersökningspunkter i Figur 17 och Figur 18 nedan. I hållfasthetssammanställningarna redovisas även ett empiriskt beräknat intervall $\pm 10 \%$, för aktiv respektive direkt skjuvhållfasthet enligt sambandet:

$$c_u = a \cdot \sigma_c \cdot OCR^{-(1-b)}$$

där a framgår av Figur 16 nedan

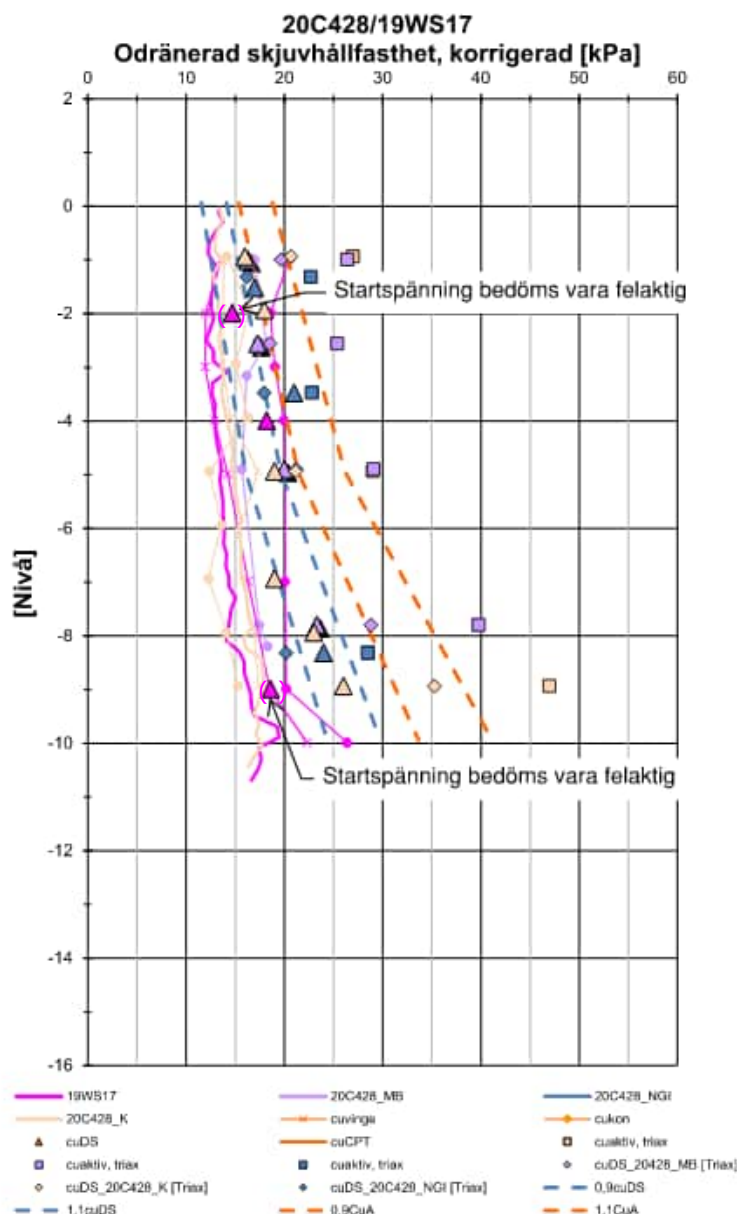
För lera är det empiriska värdet för faktor a vid	
• aktiv skjuvning	$a = 0,33$
• direkt skjuvning	$a = 0,125 + 0,205 w_L/1,17$
• passiv skjuvning	$a = 0,055 + 0,275 w_L/1,17$

Figur 16 Empirisk valt värde av a utklipp från SGI Information 3

och där $b = 0,8$.

Lerans överkonsolidering beskrivs mer ingående i kapitel 5.5.

Empirin har även nyttjats för att räkna om den aktiva skjuvhållfastheten bestämd genom triaxialförsök till direkt skjuvhållfasthet genom förhållandet $c_{uDS} = (a_{\text{direkt}}/a_{\text{aktiv}}) \times c_{uA}$, där a valts enligt SGI Information 3, se utklipp Figur 16 ovan.

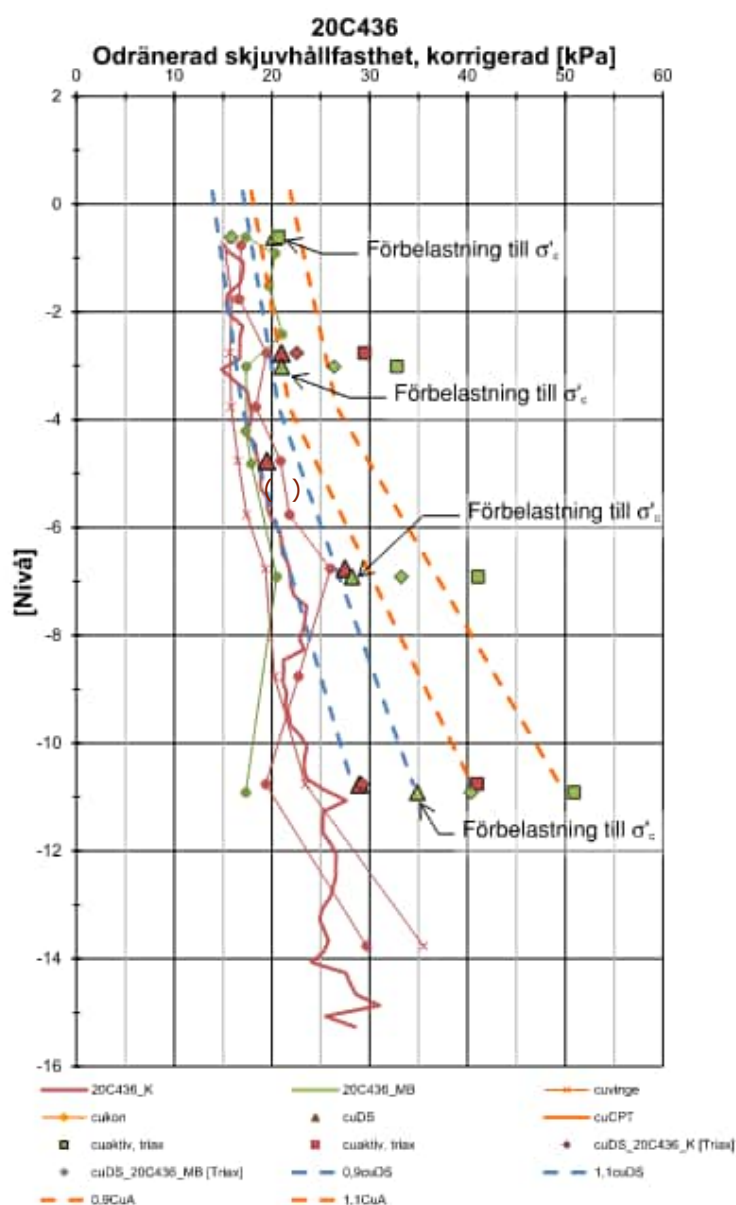


Figur 17 Sammanställning av skjuvhållfasthet för samtliga utförda metoder i undersökningspunkt 20C428 och 19WS17 samt med empiriskt beräknat intervall $\pm 10\%$ för direkt (blåstreckad linje) respektive aktiv skjuvhållfasthet (orangestreckad linje)

Direkta skjuvförsöken ligger som förväntat i huvudsak högre än övriga metoder. I den övre delen av lerprofilen är dock konförsöken i 19WS17 i samma storleksordning eller något högre än skjuvförsöken. I lerprofilens övre del ligger resultaten av direkta skjuvförsöken högre eller i nivå med empirin. I den undre delen av leran ligger skjuvförsöken inom det empiriskt beräknade intervallet för direkt skjuvhållfasthet. Ingen tydlig skillnad kan noteras i utvärderad skjuvhållfasthet mellan direkta skjuvförsök utförda på standardkolvprover och miniblockprover.

Resultaten av direkta skjuvförsöken i undersökningspunkt 19WS17 är genomgående lägre än konförsöken i samma punkt. Detta bedöms bero på att de direkta skjuvförsöken i 19WS17 är utförda med felaktiga startspänningar då porttryckssituationen troligtvis inte var helt utredd när försöken utfördes alternativt kan proven vara störda. I figuren har de provnivåer i undersökningspunkt 19WS17 markerats där startspänningar bedömts vara felaktiga.

Utvärderad aktiv skjuvhållfasthet från triaxialförsöken ligger i huvudsak högre än det empiriskt beräknade intervallet för aktiv skjuvhållfasthet. Utvärderad aktiv skjuvhållfasthet från triaxialförsök utförda på standardkolvprover respektive miniblockprover uppvisar god samstämmighet.



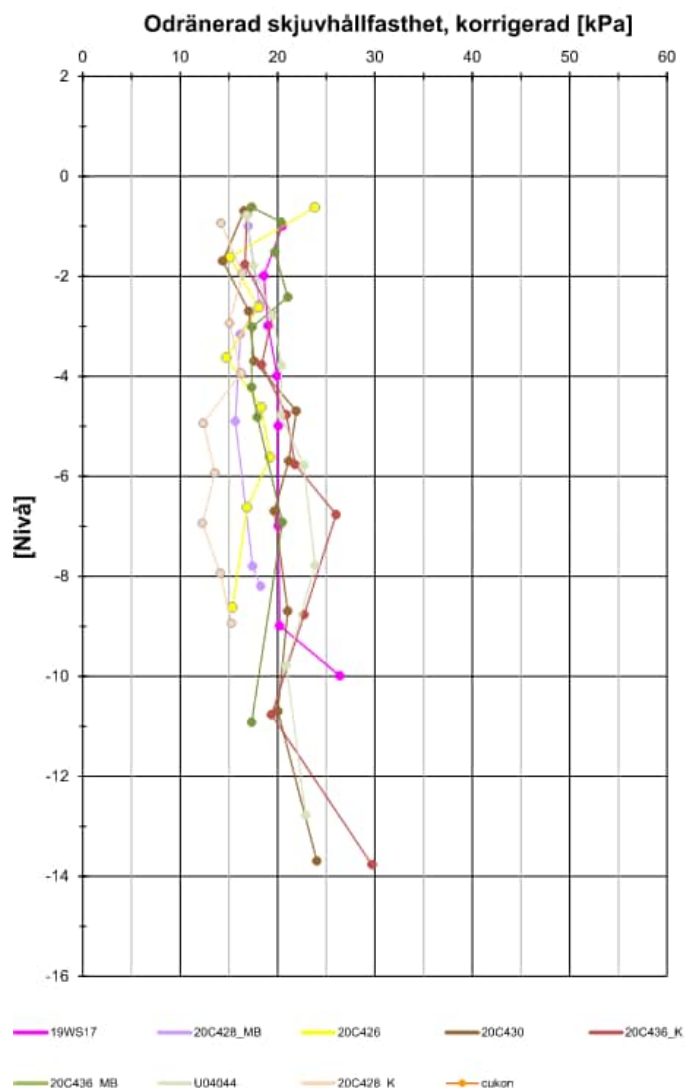
Figur 18 Sammanställning av skjuvhållfasthet för samtliga utförda metoder i undersökningspunkt 20C436 samt med empiriskt beräknat intervall $\pm 10\%$ för (blåstreckad linje) respektive aktiv skjuvhållfasthet (orangestreckad linje)

Resultaten av direkta skjuvförsöken ligger inom eller strax över det empiriskt beräknade intervallet för direkt skjuvhållfasthet. Skjuvförsöken ligger som förväntat huvudsak högre än övriga metoder. Resultatet av direkta skjuvförsöket i undersökningspunkt 20C436 (StII) på nivå -5 ligger dock under konförsöket och bedöms därför inte vara tillförlitligt. På nivå -11 ligger försöksresultatet för miniblockprovet högre än resultatet för standardkolvprovet. Båda försöksresultaten ligger inom det empiriskt beräknade intervallet. I övrigt kan ingen tydlig skillnad noteras i utvärderad skjuvhållfasthet mellan direkta skjuvförsök utförda på standardkolvprover och miniblockprover. Det bör dock noteras att direkta skjuvförsöken på miniblockproverna har utförts med felaktiga spänningar vid förbelastningen, där spänningen varit σ'_c i stället för praxis $0,8 \times \sigma'_c$. Den högre förbelastningen kan eventuellt ha orsakat en störning i proverna. I figuren har de provnivåer med felaktigt utförd förbelastning markerats.

Den aktiva skjuvhållfastheten ligger inom eller strax över det empiriskt beräknade intervallet för aktiv hållfasthet. På nivå -11 ligger försöksresultatet för miniblockprovet högre än resultatet för standardkolvprovet vilket är samma förhållande som resultaten för de direkta skjuvförsöken på samma nivå. På nivå -3 uppvisar utvärderad aktiv skjuvhållfasthet god samstämmighet mellan miniblockprovet och standardkolvprovet.

Försöksresultaten på miniblockproverna har även sammanställts med resultaten från tidigare utförda undersökningar inom den strandnära lera. Utvärderad skjuvhållfasthet har sammanställts per laboratieförsök; konförsök respektive direkta skjuvförsök inklusive empiriskt omräknade triaxialförsök

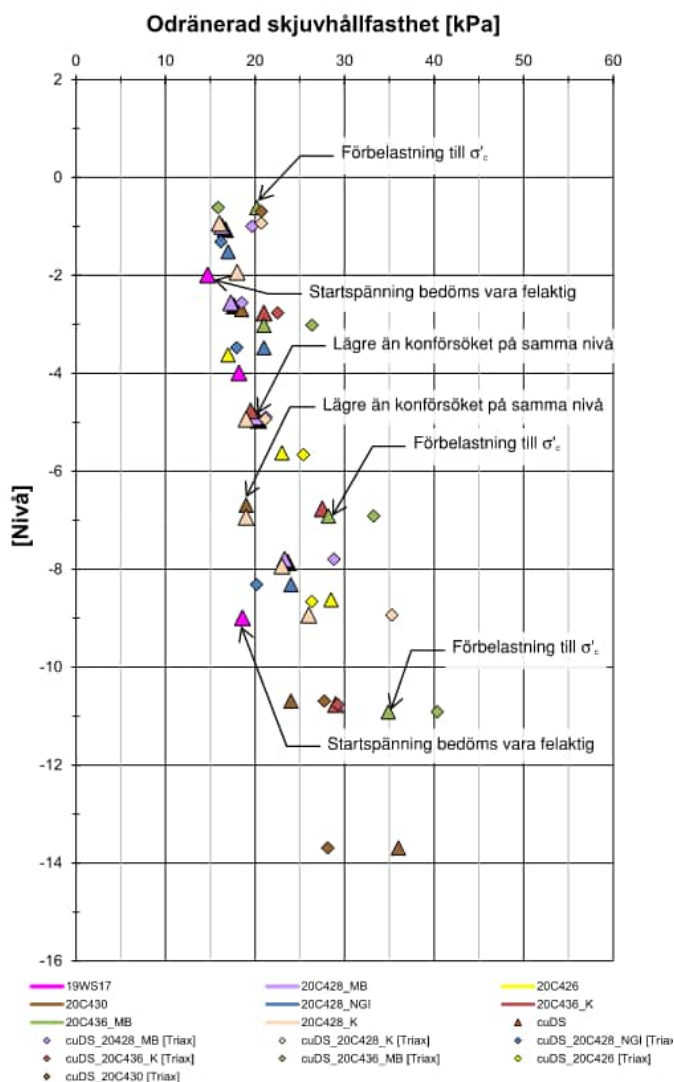
Sammanställning av ostörd provtagning (konförsök) inom strandnära lera redovisas i Figur 19.



Figur 19 Resultat av konförsök, strandnära lera

Av sammanställningen kan konstateras att konförsök utförda på prover från den södra delen av området, 20C436 och U04044, ligger i allmänhet i den övre delen. Konförsöken i undersökningspunkter i den norra delen av området, 20C426 och 20C428, ligger i allmänhet i den undre delen av svärmen. Eventuellt kan detta bero på att leran, i den södra delen, uppvisar tydligt högre sensitivitet, och klassificeras som kvick genom hela eller större delen av lerprofilen. Detta förhållande syns dock inte i undersökningspunkt 19WS17 där konförsöken ligger i samma storleksordning som resultaten i undersökningspunkterna längre söderut.

Sammanställning av direkta skjuvförsök samt empirisk beräknad direkt skjuvhållfasthet från triaxialförsök inom strandnära lera redovisas i Figur 20.



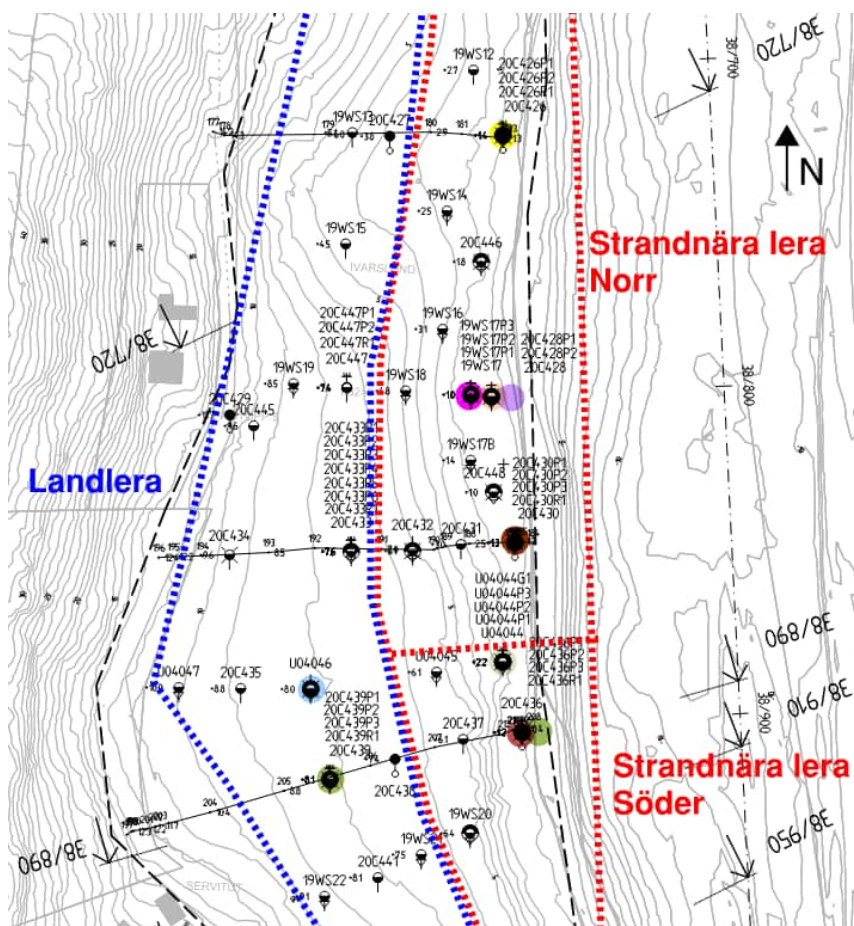
Figur 20 Direkta skjuvförsök samt empiri från triaxialförsök, strandnära lera

Av sammanställningen ovan kan konstateras att direkta skjuvförsök och omräknade triaxialförsök i undersökningspunkter i den norra delen av området i allmänhet ligger i den undre delen av svärmen. Direkta skjuvförsök utförda på prover från den södra delen av området ligger i allmänhet i den övre delen.

Resultatet av direkta skjuvförsöket för nivå -7 i undersökningspunkt 20C430, bedöms inte vara tillförlitlig med hänsyn att skjuvspänningskurvan är flack och att utvärderad direkt skjuvhållfasthet är något lägre än konförsöket på samma nivå. Motsvarande provtagningsnivå i undersökningspunkt 20C428, uppvisar en direkt skjuvhållfasthet som överensstämmer med försöket i 20C430. Även i detta fall är skjuvspänningskurvan flack, men den utvärderade skjuvhållfastheten från skjuvförsöket är dock högre än konförsöket. Möjligtvis kan provet vara stört med tanke på att leran är kvick. För de direkta skjuvförsöken som bedömts vara tveksamma finns inga triaxialförsök, utförda på samma nivåer, som genom empiriska samband skulle kunna verifiera resultaten.

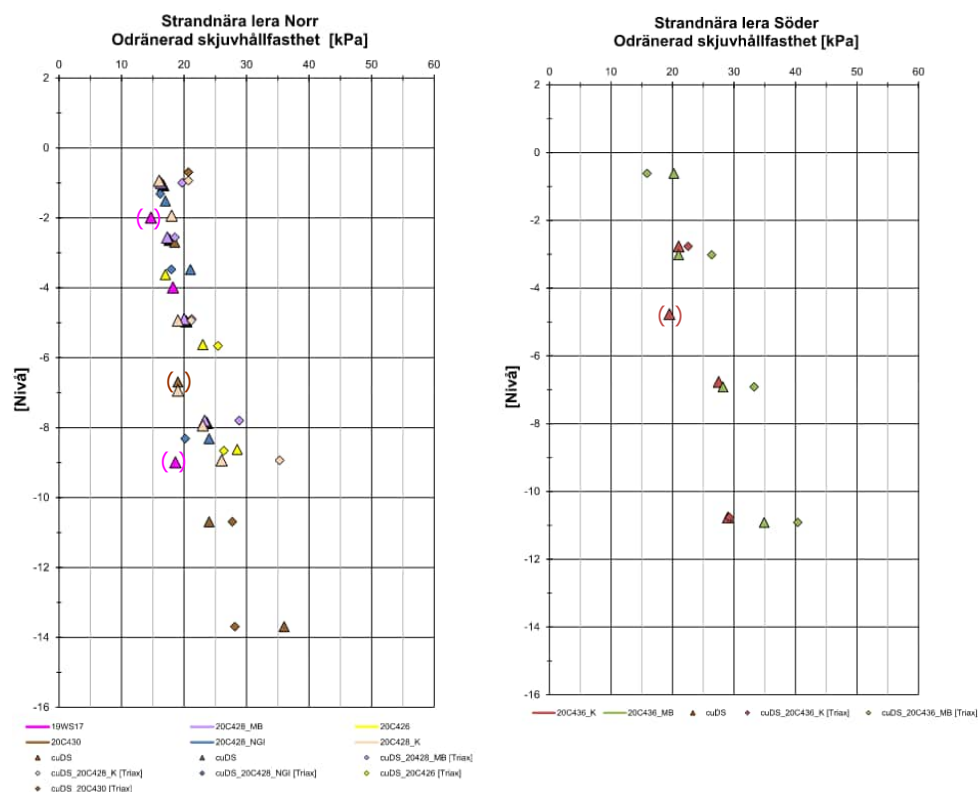
Den direkta skjuvhållfastheten, empiriskt omräknad från aktiva skjuvhållfasthet bestämd genom triaxialförsök, bedöms i huvudsak överensstämma med utförda direkta skjuvförsök. På provtagningsnivå -14 i undersökningspunkt 20C430 ligger dock omräknad skjuvhållfasthet från triaxialförsöket lägre än det direkta skjuvförsöket vilket bedöms bero på att konflytgränsen på den aktuella nivån är ca 40 %, vilket är lägre än övriga försöksnivåer.

Sammanfattningsvis kan konstateras att de kompletterande undersökningarna visar att skjuvhållfastheten varierar inom området för den strandnära leran. Uppmätt odränerad skjuvhållfasthet i den södra delen av området bedöms vara något högre än skjuvhållfastheten i den norra delen. Den fördjupade utredningen visade på ett område inom den strandnära leran, vid undersökningspunkt 19WS17, med en något lägre uppmätt skjuvhållfasthet. Utifrån resultaten av de kompletterande kvalificerade undersökningarna bedöms denna indelning kunna revideras något. Området för den strandnära leran delas fortsättningsvis in i två mindre delområden; Strandnära lera Norr och Strandnära lera Söder, se Figur 21.



Figur 21 Indelning skjuvhållfasthet, Strandnära lera Norr och Strandnära lera Söder

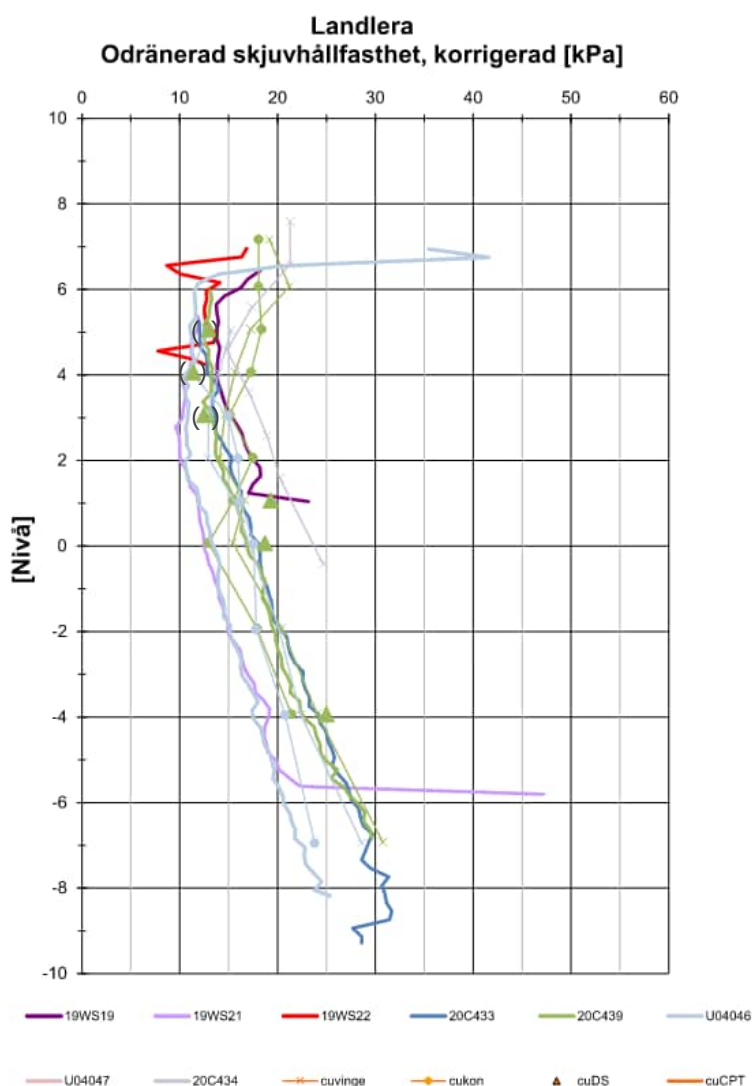
I Figur 22 nedan redovisas sammanställning av direkta skjuvförsök samt empirisk beräknad direkt skjuvhållfasthet från triaxialförsök uppdelat för strandnära lera Norr respektive strandnära lera Söder.



Figur 22 Uppdelning av direkta skjuvförsök samt empiri från triaxialförsök för strandnära lera Norr (till vänster) respektive strandnära lera Söder (till höger)

5.2.2 Landlera

I samband med den kompletterande utredningen har inga nya fält- och laboratorieundersökningar med avseende på skjuvhållfasthet utförts inom området för landlera. I Figur 23 nedan redovisas en sammanställning av uppmätt direkt skjuvhållfasthet för landleran. För detaljerad beskrivning av resultat av tidigare utförda fält- och laboratorieundersökningar hänvisas till PM Geoteknik fördjupad utredning, se kapitel 3 för referens. Det bör dock poängteras att de direkta skjuvförsöken på nivå +5, +4 och +3 ej bedöms vara tillförlitliga då utvärderad skjuvhållfasthet ligger under konförsöken.

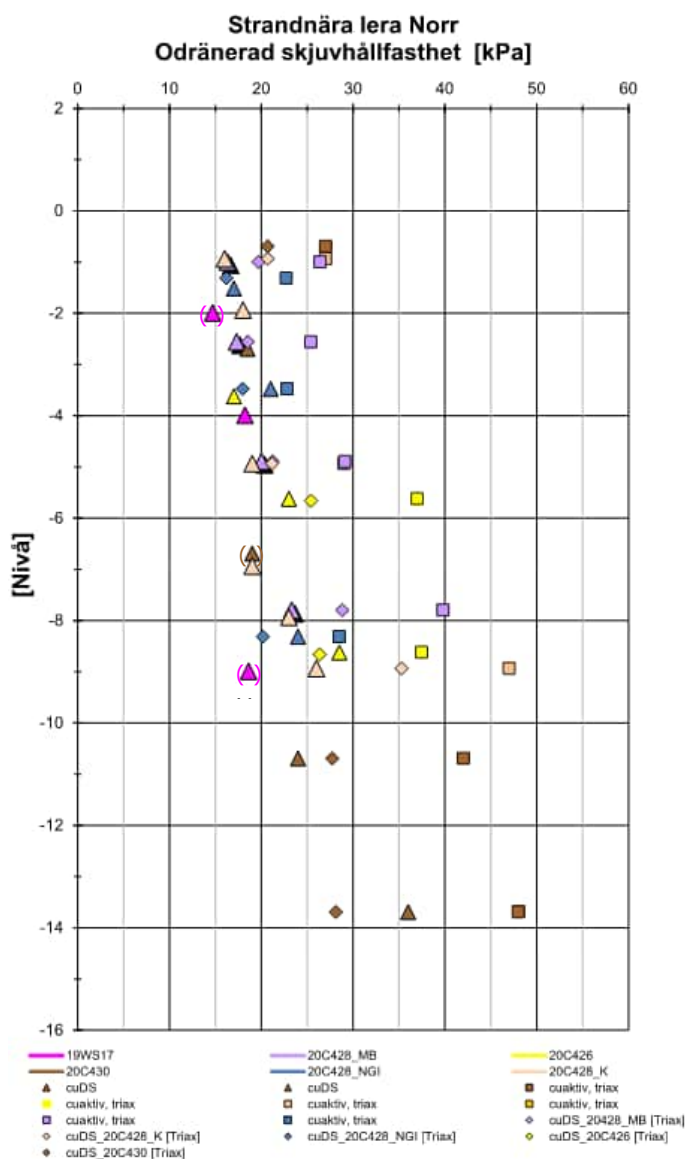


Figur 23 Sammanställning av odränerad skjuvhållfasthet, Landlera

5.3 Anisotropi

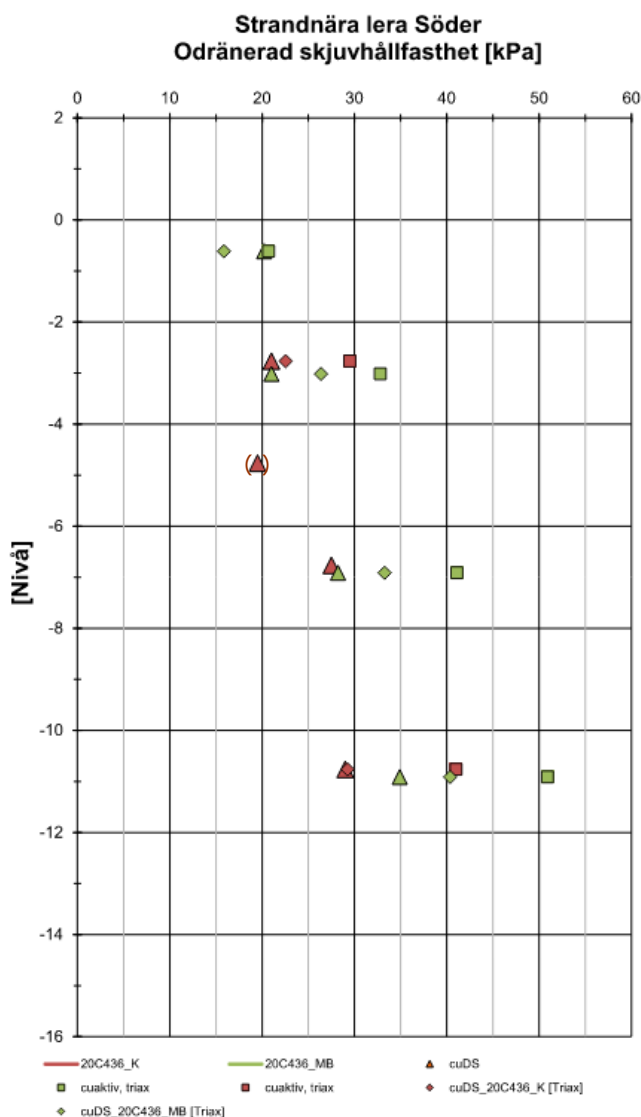
5.3.1 Strandnära lera

Inom strandnära lera Norr har den aktiva skjuvhållfastheten bestämts genom triaxialförsök som utförts i tre undersökningspunkter, 20C426, 20C428 och 20C430. Den aktiva skjuvhållfastheten redovisas tillsammans med direkt skjuvhållfasthet i Figur 24 nedan.



Figur 24 Sammanställning av odränerad aktiv och direkt skjuvhållfasthet för strandnära lera Norr

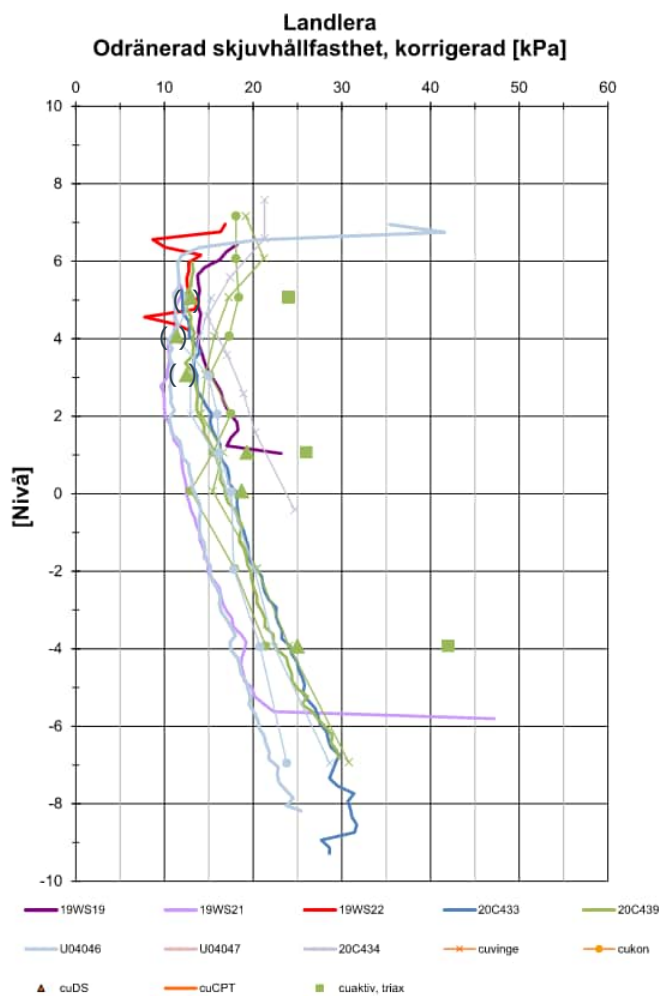
Inom strandnära lera Söder har den aktiva skjuvhållfastheten bestämts genom triaxialförsök som utförts i en undersökningspunkt, 20C436. Den aktiva skjuvhållfastheten redovisas tillsammans med direkt skjuvhållfasthet i Figur 25 nedan.



Figur 25 Sammanställning av odränerad aktiv och direkt skjuvhållfasthet för strandnära lera Söder

5.3.2 Landlera

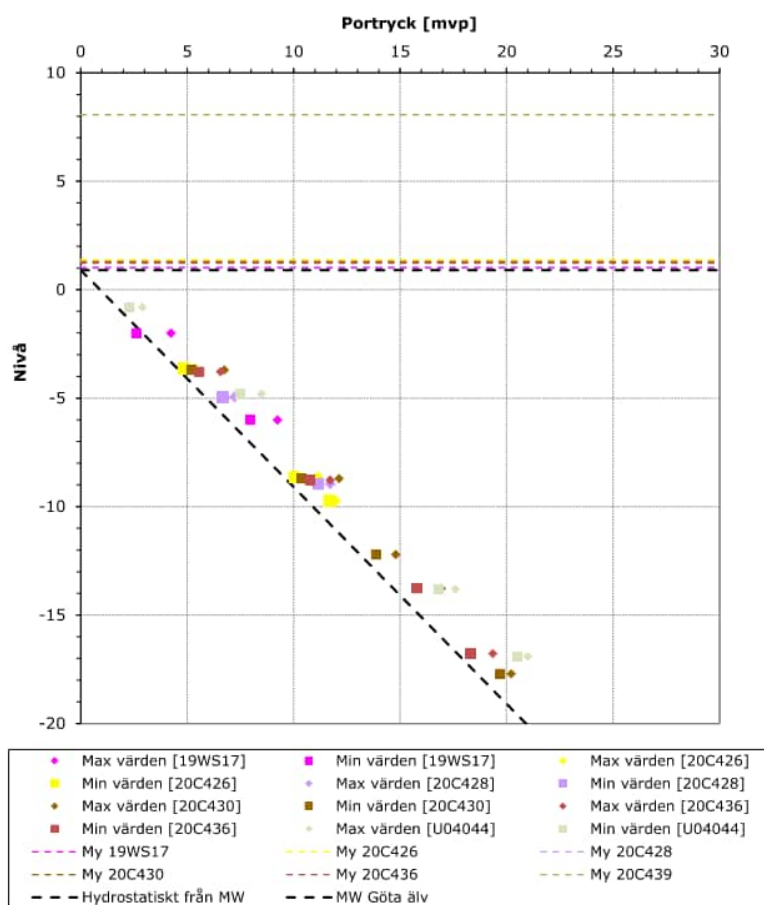
Inom landleran har den aktiva skjuvhållfastheten bestämts genom triaxialförsök i en undersökningspunkt, 20C439. Den aktiva skjuvhållfastheten redovisas tillsammans med direkt skjuvhållfasthet i Figur 26 nedan.



Figur 26 Sammanställning av odränerad aktiv och direkt skjuvhållfasthet för Landlera

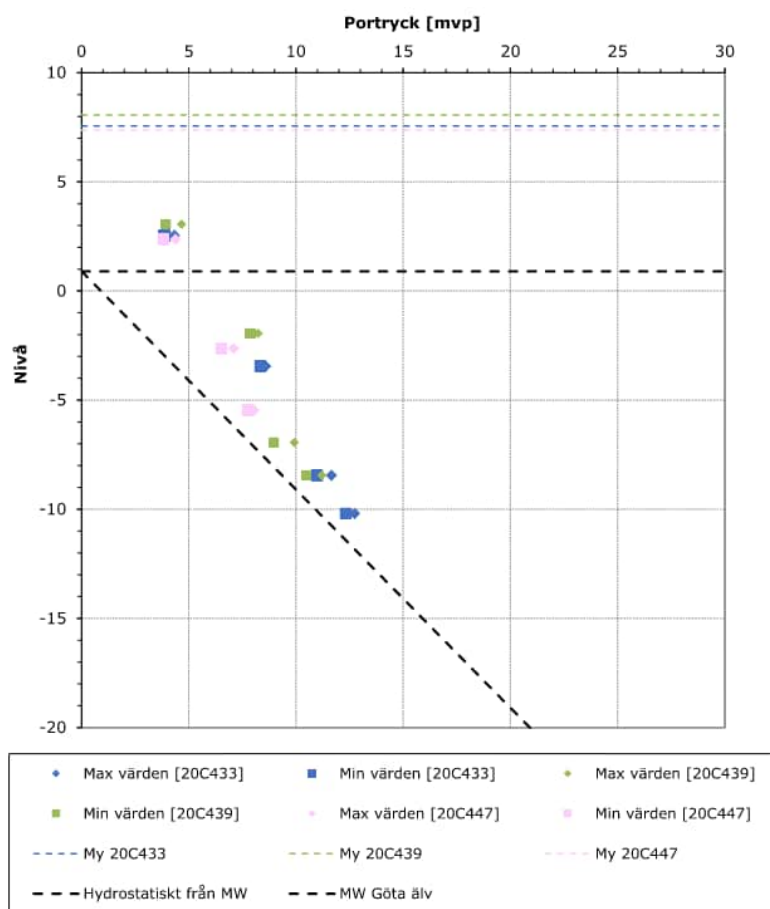
5.4 Portryck

I samband med utförda utredningar har hydrogeologiska undersökningar utförts i nio punkter; 19WS17, 20C426, 20C428, 20C430, 20C433, 20C436, 20C439, 20C447 och U04044. Resultaten av de hydrologiska undersökningarna har sammanställts i två diagram, ett för undersökningspunkterna belägna i anslutning till Göta älv, och ett för undersökningspunkterna belägna högre upp i slänten. Högsta respektive lägsta uppmätta por- och grundvattentryck för respektive område redovisas mot nivå i Figur 27 och Figur 28.



Figur 27 Portryck inom området närmast Göta älv mot nivå.

Sammanställningen av utförda portrycksmätningar närmast Göta älv visar på en högre trycknivå än älvens medelvattenyta. Vidare visar sammanställningen att portrycksökningen är högre än den hydrostatiska i lerprofilens övre del. Mot djupet är portrycksfördelningen i stort sett hydrostatisk.

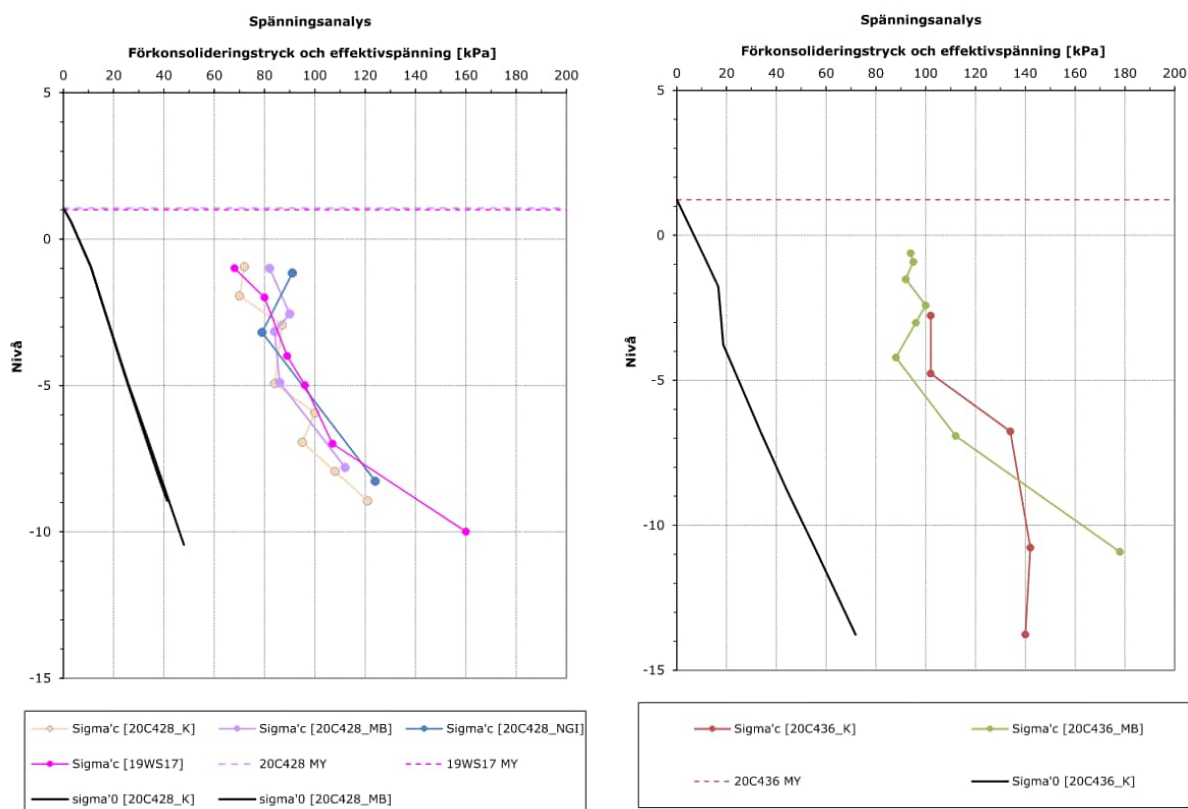


Figur 28 Portryck inom området högre upp i slänten mot nivå

Portrycksmätare som installerats i undersökningspunkter högre upp i slänten, visar på en högre liggande portrycksnivå än undersökningspunkterna närmast Göta älv. I lerprofilens övre del är portrycksökningen mot djupet i huvudsak lägre än den hydrostatisk portrycksfördelning. Från nivåer mellan -5 och -10 sammanfaller de uppmätta portrycken i släntens övre del med uppmätta portryck i undersökningspunkterna närmast Göta älv.

5.5 Överkonsolidering

För undersökningspunkt 20C428 där standardkolv (StII), miniblockprovtagning samt norsk cylinderprovtagning (NGI) utförts och undersökningspunkt 20C436 där standardkolv (StII) samt miniblockprovtagning (MB) utförts, har spänningsanalyser sammanställts i diagram som redovisas i Figur 29 nedan.

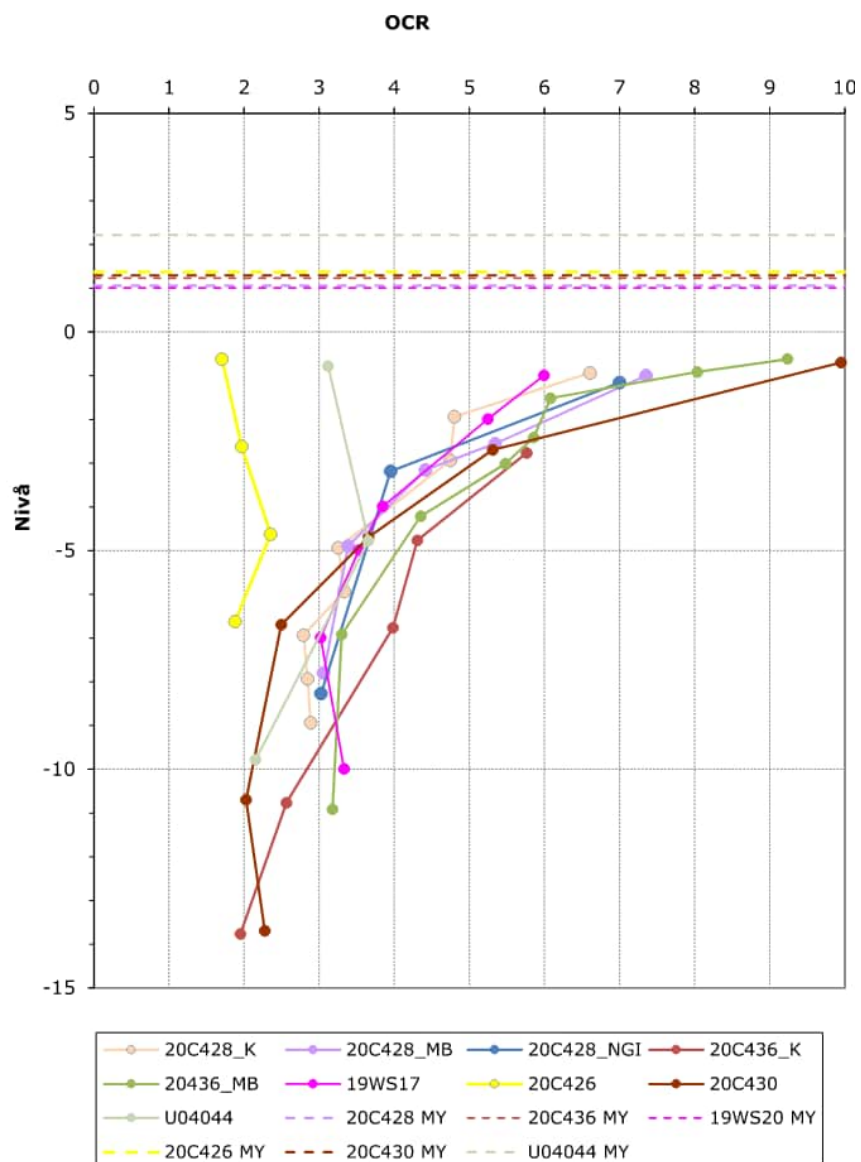


Figur 29 Spänningsanalyser för undersökningspunkterna 20C428 och 19WS17 i den norra delen (till vänster) samt 20C436 i den södra delen (till höger)

Uppmätta förkonsolideringstryck i undersökningspunkt 20C428 och 19WS17 uppvisar god samstämmighet. Utvärderat förkonsolideringstryck för miniblockproverna (MB) i 20C428 ligger i allmänhet något högre än motsvarande värden för standardkolven (StII). Dock kan konstateras att utvärderade förkonsolideringstryck på kolvproverna i 19WS17 generellt sett är något högre än förkonsolideringstrycken i 20C428.

Utvärderade förkonsolideringstryck i undersökningspunkt 20C436 uppvisar något sämre samstämmighet än i 20C428. Utvärderat förkonsolideringstryck för miniblockproverna i 20C436 ligger i allmänhet något lägre än motsvarande värden för standardkolven i lerprofilens övre del.

Överkonsolideringsgraden (OCR) för samtliga provtagna undersökningspunkter inom området för den strandnära leran har sammanställts i diagram och redovisas i Figur 30 nedan.



Figur 30 Överkonsolideringsgrad för Strandnära lera

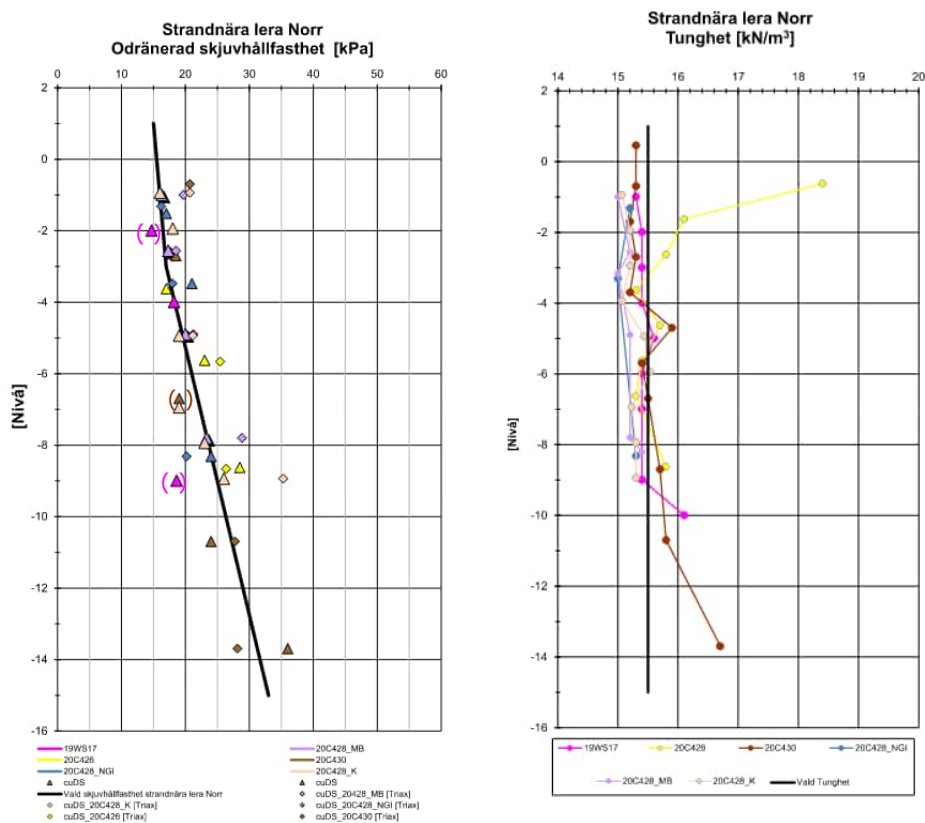
Av figuren ovan framgår att överkonsolideringsgraden i lerprofilens övre del generellt sett är något lägre i undersökningspunkterna i den norra delen av området (20C426, 20C428, 20C430, 19WS17 och U04044) och högre i den södra delen (20C436).

6 Valda beräkningsparametrar

6.1 Jordmaterialparametrar

6.1.1 Strandnära lera Norr

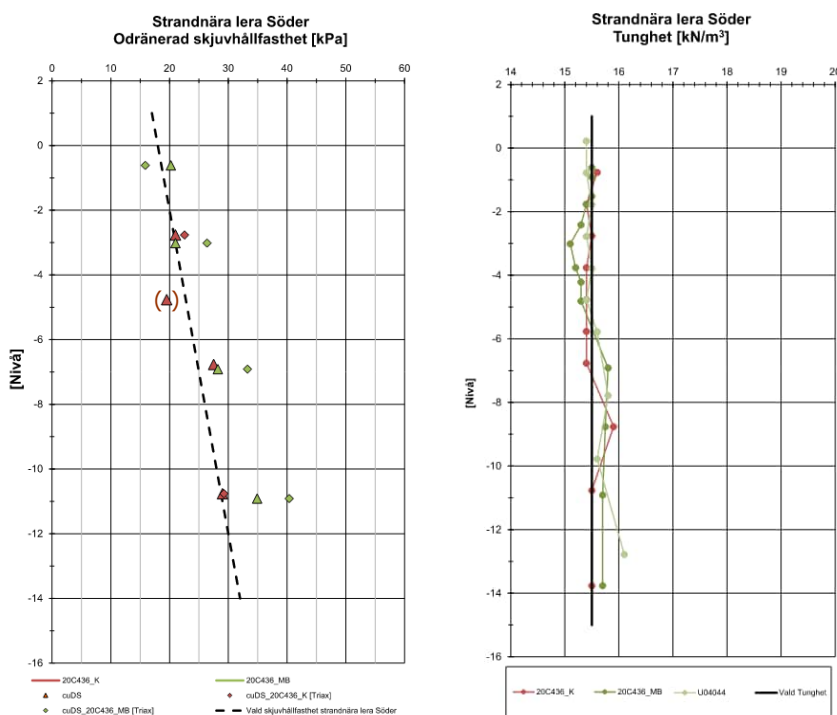
Vald skjuvhållfasthetsfördelning för Strandnära lera Norr har i huvudsak bestämts utifrån resultat från de direkta skjuvförsöken, se Figur 31. Diagrammen redovisas i större skala i Bilaga 1 och i Bilaga 2. Tabeller med karakteristiska materialparametrar redovisas i Bilaga 4.



Figur 31 Vald skjuvhållfasthet och vald tunghet, strandnära lera Norr

6.1.2 Strandnära lera Söder

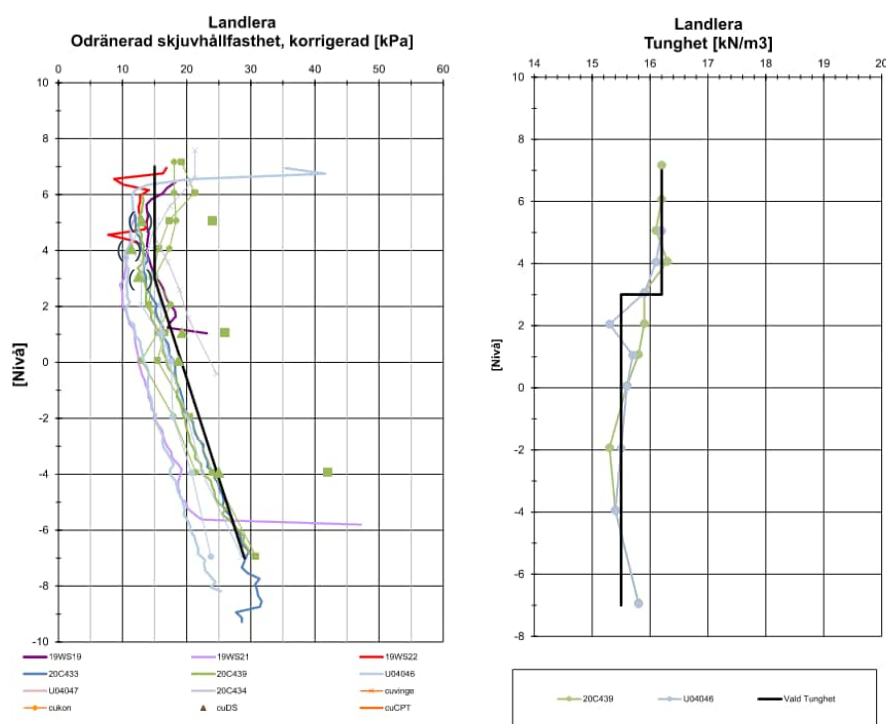
Vald skjuvhållfasthetsfördelning för Strandnära lera Söder har i huvudsak bestämts utifrån resultat från de direkta skjuvförsöken, se Figur 32. På grund av felaktigt utförd förbelastning av miniblockproverna har den valda linjen lagts med större tyngdpunkt på resultaten av direkta skjuvförsök på standardkolvprover. Diagrammen redovisas i större skala i Bilaga 1 och i Bilaga 2. Tabeller med karakteristiska materialparametrar redovisas i Bilaga 4.



Figur 32 Vald skjuvhållfasthet och vald tunghet strandnära lera Söder

6.1.3 Landlera

Då resultaten av de direkta skjuvförsöken på nivå +5, +4 och +3 ej bedömts vara tillförlitliga har vald skjuvhållfasthetsfördelning i lerprofilens övre del i huvudsak bestämts utifrån en ingenjörsmässig värdering med tyngdpunkt på resultat av konförsök och vingförsök. I lerprofilens undre del har vald skjuvhållfasthet bestämts utifrån resultat från de direkta skjuvförsöken. Vald odränerad skjuvhållfasthet och vald tunghet mot nivå redovisas i diagram i Figur 33. Diagrammen redovisas i större skala i Bilaga 1 och i Bilaga 2. Tabeller med karakteristiska materialparametrar redovisas i Bilaga 4.



Figur 33 Vald skjuvhållfasthet och vald tunghet landlera

6.2 Anisotropifunktion

Anisotropifunktion har tagits fram genom att K_{0NC} bestämts utifrån förhållandet mellan den valda aktiva och den valda direkta skjuvhållfastheten enligt ekvationen som redovisas i Figur 34.

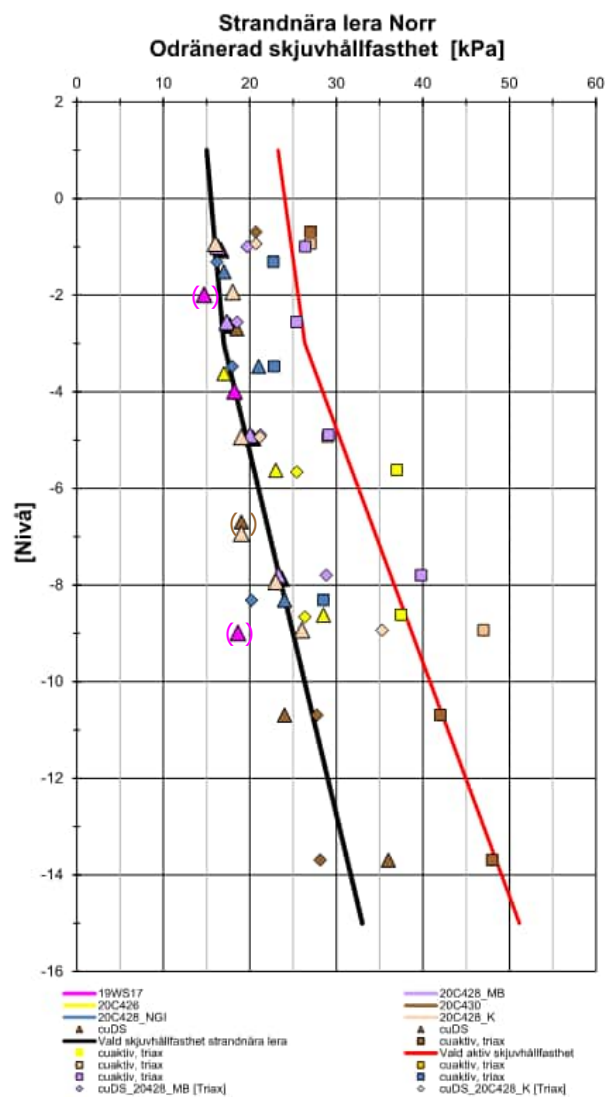
$$\frac{\tau_{\alpha}}{\tau_{hor}} \approx \frac{K_{0(NC)} + (1 - K_{0(NC)}) \sin^2(\alpha + 30^{\circ})}{0,25 + 0,75 K_{0(NC)}}$$

Figur 34 Förhållandet mellan odränerad skjuvhållfasthet i skjuvplanet med lutningen α och skjuvhållfastheten i det horisontella skjuvplanet (Skredkommissionen rapport 3:95)

Inga triaxialförsök har utförts i leran under Göta älv och därmed har ingen anisotropifunktion utvärderats specifikt för älvleran. I stabilitetsanalysen har utvärderad anisotropifunktion för strandnära lera Söder respektive strandnära lera Norr nyttjats även för älvleran i respektive beräkningssektion. Detta beror på att älvleran i stabilitetsberäkningarna primärt hamnar i passivzonen för de kritiska glidyterna och genom att enbart tillgodoräkna anisotropi för strandnära lera (aktivzon) riskerar anisotropieffekten längs glidyten att överskattas.

6.2.1 Strandnära lera Norr

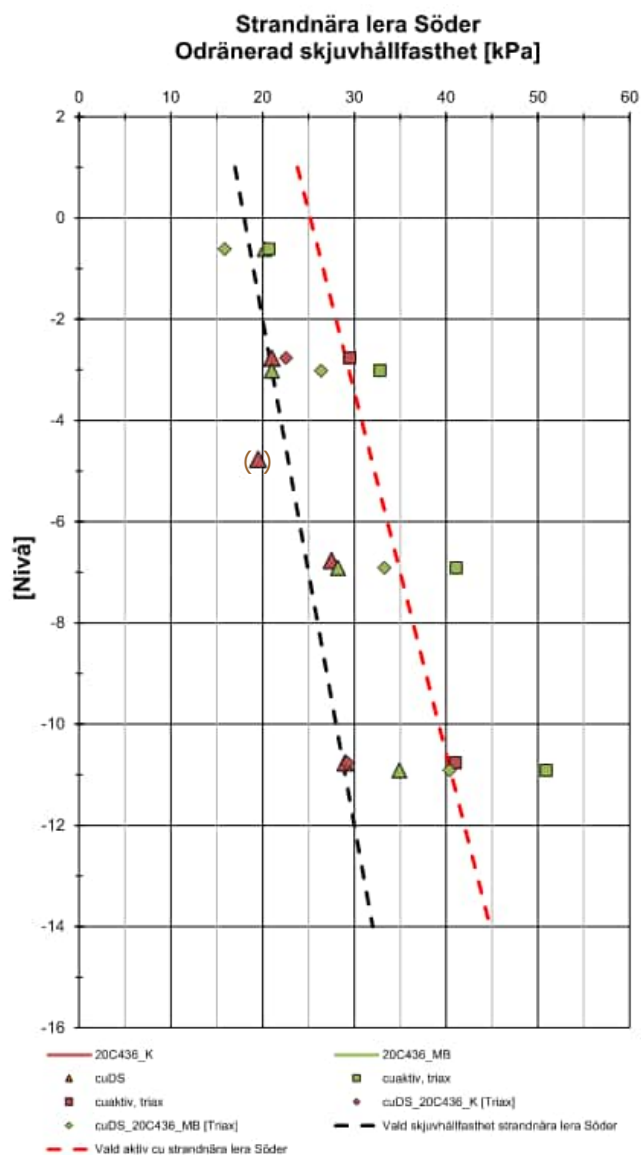
Den aktiva skjuvhållfasthetsfördelningen för strandnära lera Norr har valts utifrån resultaten av triaxialförsöken i undersökningspunkterna, 20C426, 20C428 (StII och miniblockprover) och 20C430, se Figur 35. Kvoten mellan den valda aktiva skjuvhållfastheten och den valda direkta skjuvhållfastheten uppgår till 1,54, vilket ger ett värde på vilojordstryckscoefficienten K_{0NC} på ca 0,53.



Figur 35 Vald direkt och aktiv skjuvhållfasthet för strandnära lera Norr

6.2.2 Strandnära lera Söder

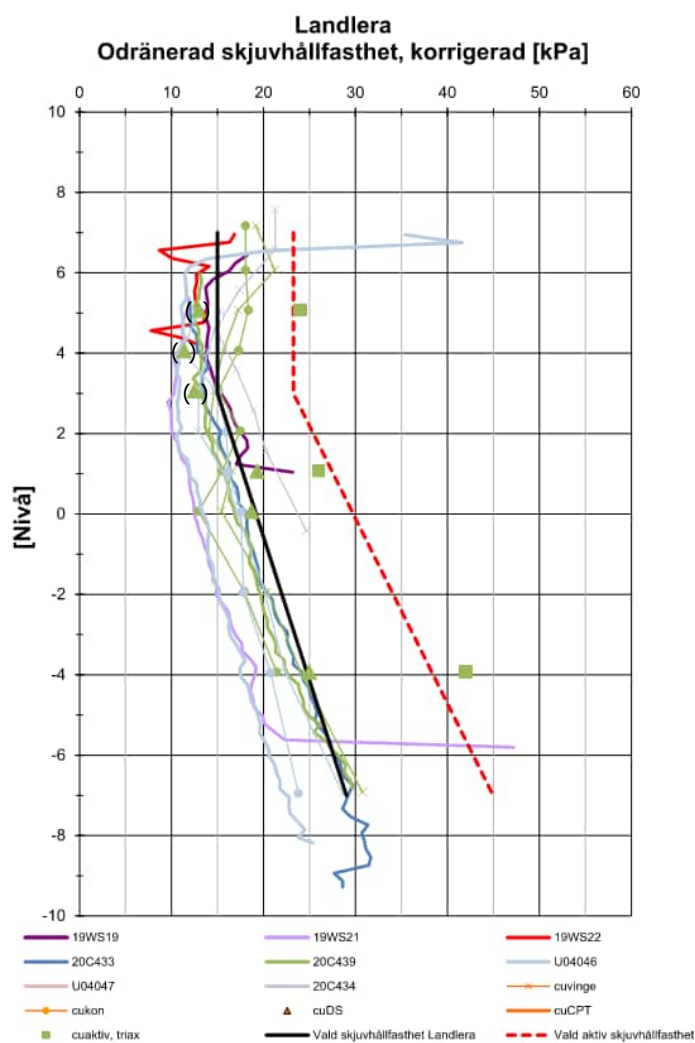
Den aktiva skjuvhållfasthetsfördelningen för strandnära lera Söder har valts utifrån resultaten av triaxialförsöken i undersökningspunkten, 20C436 (StII och miniblockprover), se Figur 36. Kvoten mellan den valda aktiva skjuvhållfastheten och den valda direkta skjuvhållfastheten uppgår till 1,4, vilket ger ett värde på vilojordstryckskoefficienten K_{0NC} på ca 0,62.



Figur 36 Vald direkt och aktiv skjuvhållfasthet för strandnära lera Söder

6.2.3 Landlera

Den aktiva skjuvhållfasthetsfördelningen för Landlera har valts utifrån resultaten av triaxialförsöken i undersökningspunkten, 20C439, se Figur 37. Kvoten mellan den valda aktiva skjuvhållfastheten och den valda direkta skjuvhållfastheten uppgår till 1,55, vilket ger ett värde på vilojordstryckskoefficienten K_{0NC} på ca 0,53.

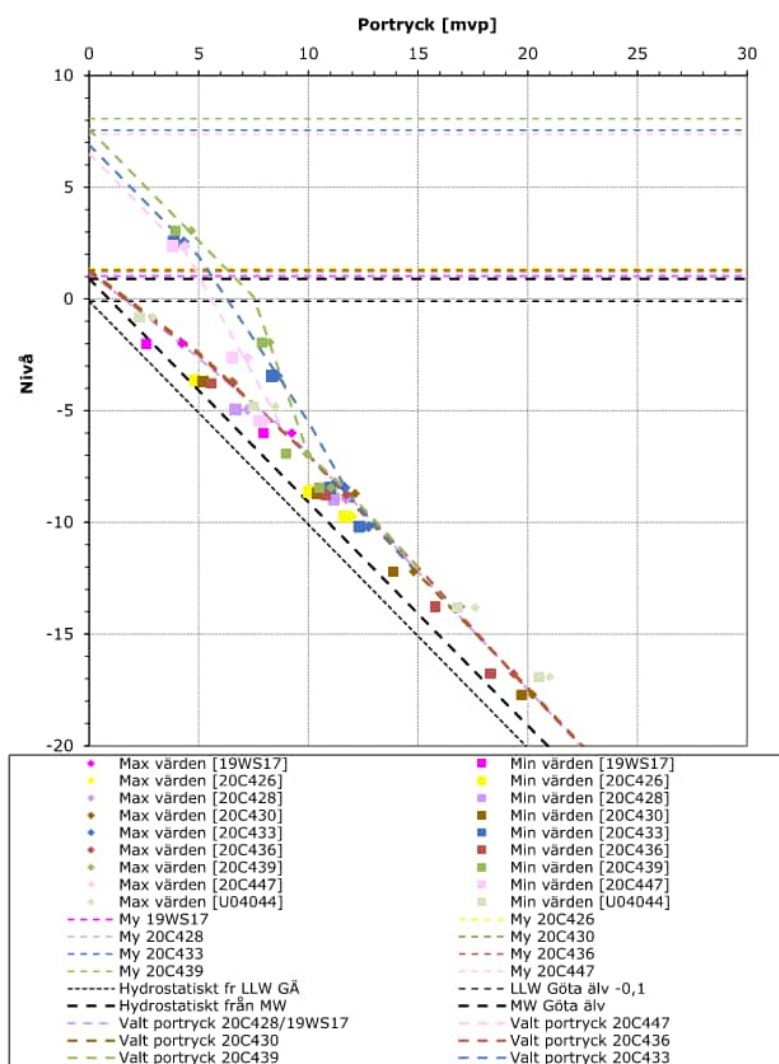


Figur 37 Vald direkt och aktiv skjuvhållfasthet för landlera

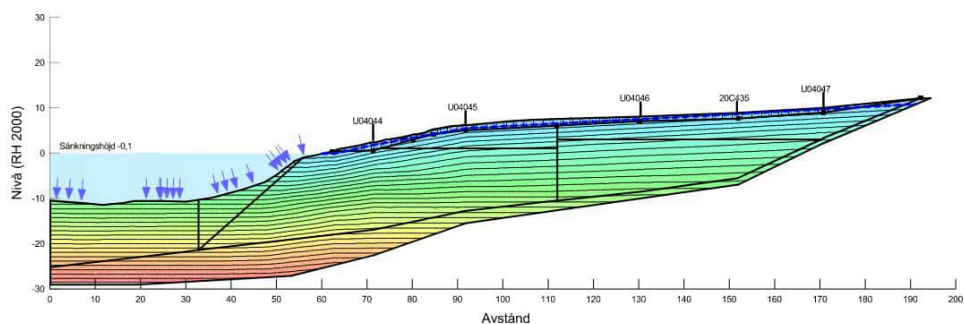
6.3 Portrycksmodell

Vald portrycksmodell redovisas i Figur 38 nedan. Av sammanställningen kan konstateras att uppmätta portryck närmast Göta älv visar på en högre liggande trycknivå än älvens medelvattenyta. Portryckfördelning i området närmast älven har därför valts med en högre portrycksökning mot djupet än den hydrostatiska i lerprofilens övre del. I området högre upp i slänten, visar utförda mätningar på en högre liggande grundvattennivå. I den övre delen av lerprofilen har portrycksökningen bedömts motsvara hydrostatisk portryckfördelning. Från nivåer mellan +3 och ± 0 övergår portryckfördelningen till att vara lägre än den hydrostatiska. Från nivåer mellan -5 och -10 sammanfaller de uppmätta portrycken i släntens övre del med uppmätta portryck i undersökningspunkterna närmast Göta älv. Diagrammet redovisas även i Bilaga 3.

I stabilitetsberäkningarna har vattenytan i Göta älv valts motsvarande sänkningshöjden på nivå -0,1 enligt direktiv från SGI. Från ca 2 m under älvbotten har portrycksnivån antagits motsvara Göta älvs medelvattenstånd, +0,9.



Figur 38 Sammanställning av valda portryck



Figur 39 Portrycksisobarer för nyttjad portrycksmoell i beräkningssektion 38/880V.
 Steget mellan varje isobar uppgår till 10 kPa.

7 Beräkningar och resultat

Säkerheten mot stabilitetsbrott har kontrollerats i två sektioner med huvudsakligt planläge inom delområde strandnära lera Norr, km 38/800 och 38/845 och i två sektioner med huvudsakligt planläge inom strandnära lera Söder, km 38/880 och 38/910 enligt Göta älvs längdmätning. Beräkningssektionernas läge och utbredning i plan framgår av Figur 40 nedan.



Figur 40 Redovisning av beräkningssektionernas läge och utbredning i plan

Samtliga beräkningar har utförts med totalsäkerhetsmetoden och med beaktande av anisotropi. Enligt direktiv från beställaren, SGI, ska beräknad säkerhetsfaktor (F_{tot}) med totalsäkerhetsmetoden överstiga $F_c \geq 1,4$ för odränerad analys och $F_{komb} \geq 1,3$ för kombinerad analys.

Känslighetsanalys har utförts med hänsyn till förändrad geometri av Göta älvs botten på grund av erosion till följd av strömmande vatten eller fartygstrafik. Känslighetsanalysen har utförts genom att befintlig älvbotten har sänkts med 1 och 2 m.

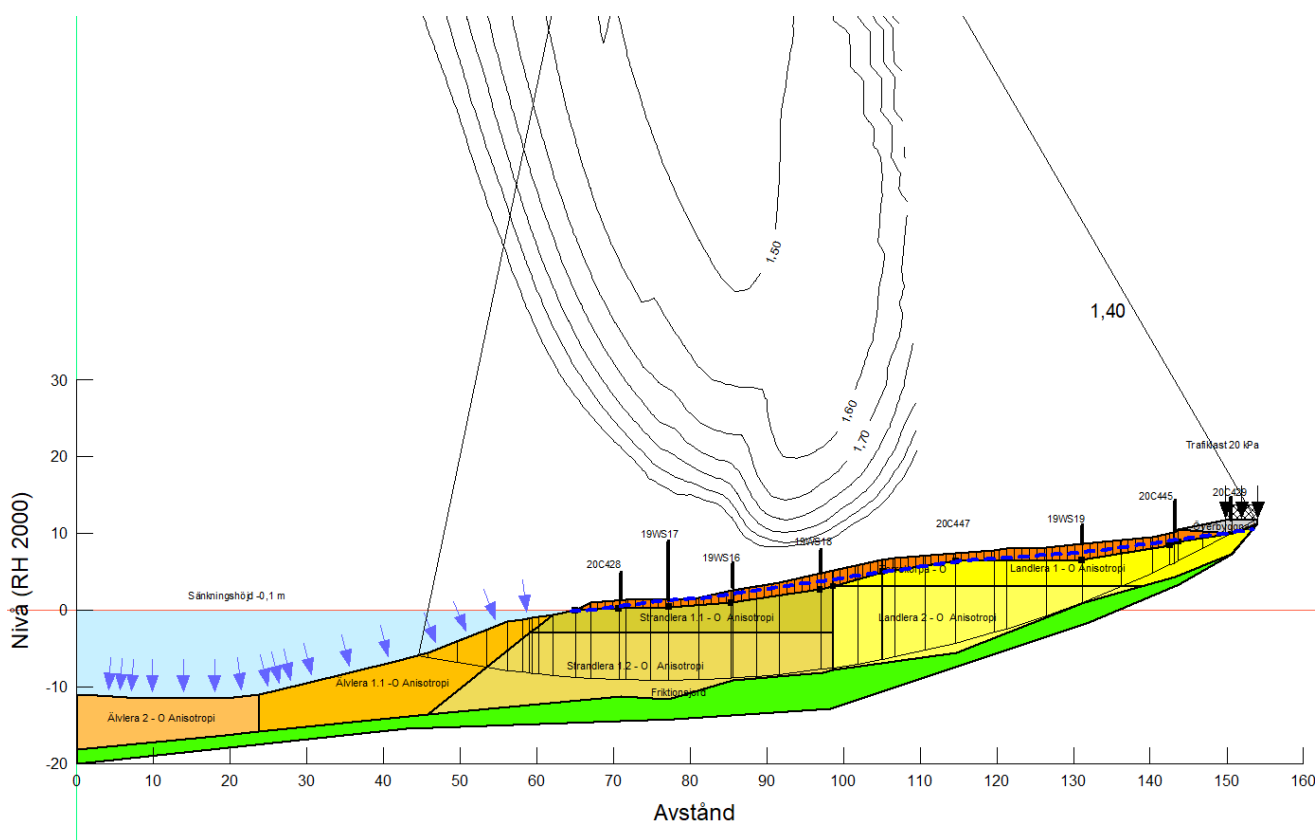
Eventuella stabilitetsförbättrande åtgärder har dimensionerats med befintlig älvbotten samt med hänsyn till 1 m erosion av älvbotten. I sektion 38/845 har förstärkningsåtgärden dessutom dimensionerats för en framtida ökad belastning på markytan i form av en utbredd permanent last om 10 kPa.

Beräkningsresultaten redovisas för respektive sektion i Tabell 3 – Tabell 6 nedan. Under respektive resultattabell ges kommentarer till beräkningsresultaten. Beräkningsresultaten redovisas även i Bilaga 5.

För samtliga sektioner redovisas en figur med en representativ glidyta från beräkningarna. I underliggande tabell är resultat från aktuell beräkning **understruken och fetmarkerad**.

7.1 Beräkningssektion 38/800V

Kritiska glidytor i sektion 38/800V är stora och omfattar hela slänten mot Göta älv. I Figur 41 nedan redovisas en representativ glidyta.



Figur 41 Sektion 38/800V. Befintliga förhållanden, odränerad analys

Tabell 3 Beräkningsresultat för stabilitetsanalys i sektion 38/800V, rödmarkerade värden uppfyller ej krav på erforderlig säkerhetsfaktor, $F_c \geq 1,4$ och $F_{komb} \geq 1,3$

Sektion 38/800V, Beskrivning	Odränerad analys	Kombinerad analys	Bilaga:Sida
Befintlig sektion	1,40	1,39	5:1-5:3
Befintlig sektion, kontroll av lokal stabilitet vid befintlig väg	2,37	-	5:4
Känslighetsanalys erosion: Älvbotten har sänkts 1 m	1,38	1,37	5:5-5:7
Känslighetsanalys erosion: älvbotten har sänkts 2 m	1,37	1,35	5:8-5:10

Beräkningsresultaten för sektion 38/800V visar att erforderlig säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott uppfylls för befintliga förhållanden för beräkning med kombinerad analys och odränerad analys.

Utförda känslighetsanalyser för ett framtida scenario där bottennivån i Göta älv sänks med 1 m till 2 m på grund av erosion visar att erforderlig säkerhetsfaktor uppfylls för kombinerad analys för båda fallen. För odränerad analys minskar beräknad säkerhetsfaktor något och uppfyller inte längre erforderlig säkerhetsfaktor för vare sig 1 eller 2 m erosion. Beräknad säkerhetsfaktor ligger dock fortsatt över den undre kravgränsen för fördjupad utredning enligt IEG 4:2010 ($F_c \geq 1,3$). Beräkningssektionen bedöms således inte vara speciellt känslig för erosion.

Sektion 38/845V, Beskrivning	Odränerad analys	Kombinerad analys	Bilaga:Sida
Förstärkt sektion: avlastning genom avschaktning av markytan Befintlig älvbotten	1,40	1,39 (glidyta påverkad av åtgärd) 1,32 (kritisk ytlig glidyta i undervattensslä nt)	5:22-5:24
Förstärkt sektion: avlastning genom avschaktning av markytan Älvbotten har sänkts 1 m	1,40	1,31 (glidyta påverkad av åtgärd) 1,31 (kritisk glidyta i undervattensslä nt)	5:25-5:27
Förstärkt sektion: avlastning genom avschaktning av markytan Älvbotten har sänkts 1 m Belastning med 10 kPa utbredd permanent last på markytan	1,40	1,32 (glidyta påverkad av åtgärd) 1,31 (kritisk glidyta i under- vattensslänt)	5:28-5:30

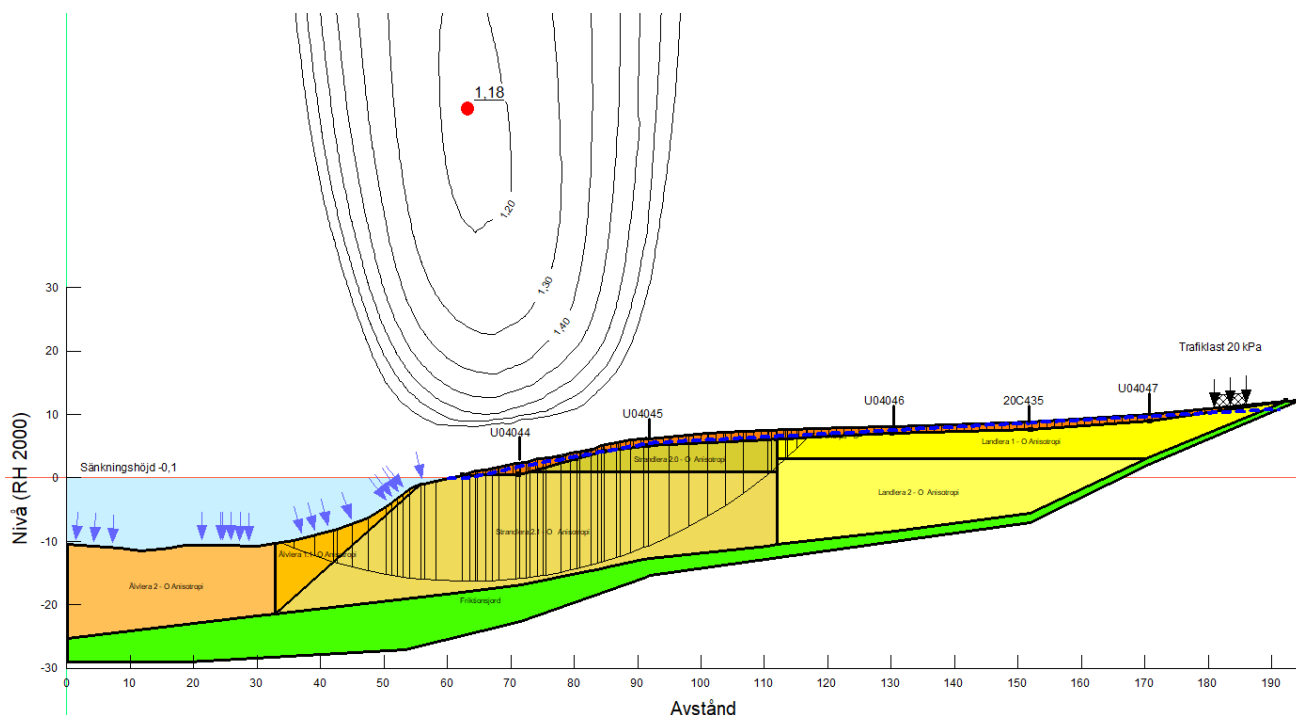
Beräkningsresultaten för sektion 38/845V visar att erforderlig säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott inte uppfylls för befintliga förhållanden för beräkning med kombinerad analys och odränerad analys.

Utförda känslighetsanalyser för ett framtida scenario där bottennivån i Göta älv sänks med 1 m till 2 m på grund av erosion visar att beräknad säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott minskar något vid odränerad analys men ligger fortsatt i nivå med den undre kravgränsen för fördjupad utredning enligt IEG 4:2010 ($F_c \geq 1,3$). I kombinerad analys visar känslighetsanalysen där bottennivån i Göta älv sänks med 1 m, att beräknad säkerhetsfaktor minskar något men ligger fortsatt över den undre kravgränsen för fördjupad utredning ($F_{komb} \geq 1,2$). I känslighetsanalysen med kombinerad analys där bottennivån i Göta älv sänks med 2 m underskrider beräknad säkerhetsfaktor den undre kravgränsen för fördjupad utredning. Beräknad säkerhetsfaktor är fortsatt större än 1,0. Beräkningssektionen bedöms således vara något känslig för erosion.

För att uppfylla erforderlig säkerhetsfaktor med totalsäkerhetsmetoden för befintliga så väl som för framtida förhållanden kan en avschaktning av befintlig markyta utföras.

7.3 Beräkningssektion 38/880V

Kritiska glidytor i sektion 38/880V är relativt stora och omfattar stora delar av slänten mot Göta älv. I Figur 43 nedan redovisas en representativ glidyta.



Figur 43 Sektion 38/880V. Befintliga förhållanden, odränerad analys

Tabell 5 Beräkningsresultat för stabilitetsanalys i sektion 38/880V, rödmarkerade värden uppfyller ej krav på erforderlig säkerhetsfaktor, $F_c \geq 1,4$ och $F_{komb} \geq 1,3$

Sektion 38/880V, Beskrivning	Odränerad analys	Kombinerad analys	Bilaga:Sida
Befintlig sektion	1,18	1,15	5:32-5:34
Känslighetsanalys erosion: Älvbotten har sänkts 1 m	1,16	1,12	5:35-5:37
Känslighetsanalys erosion: Älvbotten har sänkts 2 m	1,14	1,00	5:38-5:40
Förstärkt sektion: avlastning genom avschaktning av markytan Befintlig älvbotten	1,41	1,33	5:41-5:43
Förstärkt sektion: avlastning genom avschaktning av markytan Älvbotten har sänkts 1 m	1,41	1,32	5:44-5:46

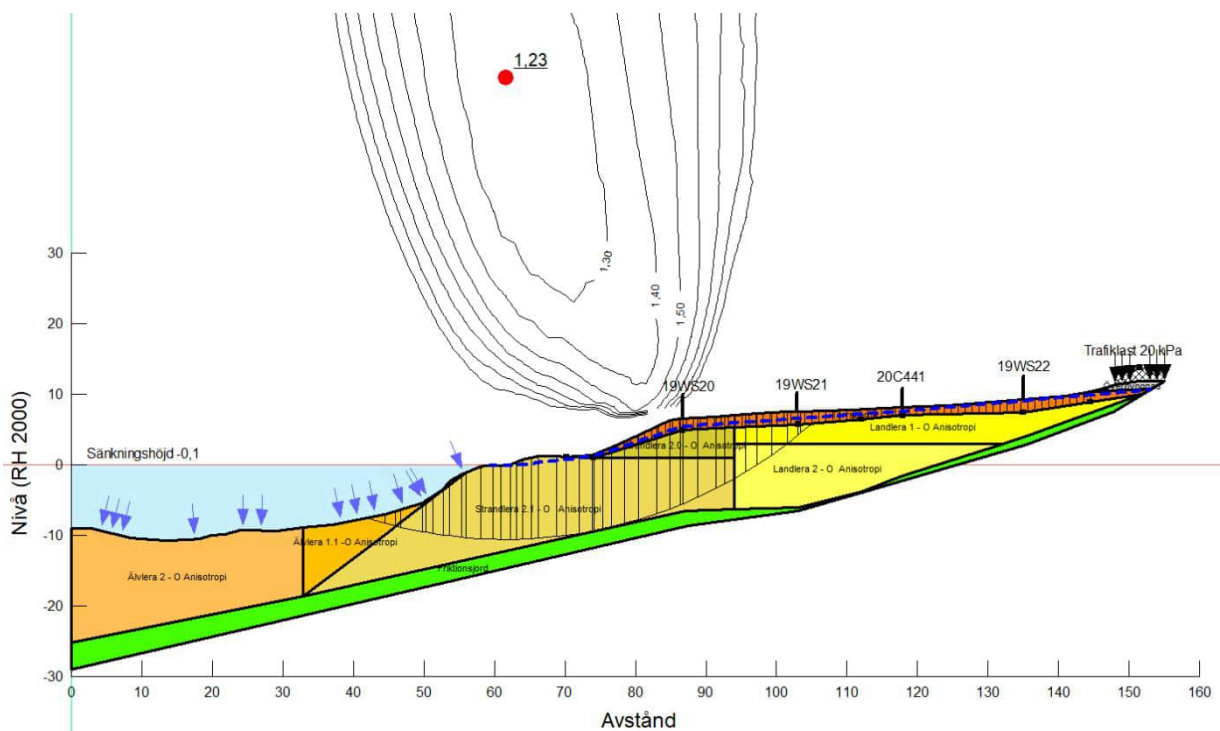
Beräkningsresultaten för sektion 38/880V visar att erforderlig säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott inte uppfylls för befintliga förhållanden för beräkning med kombinerad analys och odränerad analys.

Utförda känslighetsanalyser för ett framtida scenario där bottennivån i Göta älv sänks med 1 m till 2 m på grund av erosion visar att beräknad säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott minskar något vid odränerad analys. I kombinerad analys visar känslighetsanalysen där bottennivån i Göta älv sänks med 1 m, att beräknad säkerhetsfaktor minskar något. I känslighetsanalysen med kombinerad analys där bottennivån i Göta älv sänks med 2 m minskar beräknad säkerhetsfaktor till 1,0. Beräkningssektionen bedöms således vara känslig för erosion.

För att uppfylla erforderlig säkerhetsfaktor med totalsäkerhetsmetoden för befintliga så väl som för framtida förhållande kan en avschaktning av befintlig markyta utföras.

7.4 Beräkningssektion 38/910V

Kritiska glidytor i sektion 38/910V beräknade med odränerad analys är relativt stora och omfattar stora delar av slänten mot Göta älv. De kritiska glidytorerna beräknade med kombinerad analys är mindre och omfattar primärt den främre delen av slänten mot Göta älv. I Figur 44 nedan redovisas en representativ glidyta.



Figur 44 Sektion 38/910V. Befintliga förhållanden, odränerad analys

Tabell 6 Beräkningsresultat för stabilitetsanalys i sektion 38/910V, rödmarkerade värden uppfyller ej krav på erforderlig säkerhetsfaktor, $F_c \geq 1,4$ och $F_{komb} \geq 1,3$

Sektion 38/910V, Beskrivning	Odränerad analys	Kombinerad analys	Bilaga:Sida
Befintlig sektion	1,23	1,11	5:48-5:50
Befintlig sektion, kontroll av lokal stabilitet vid befintlig väg	2,66	-	5:51
Känslighetsanalys erosion: Älvbotten har sänkts 1 m	1,22	1,13 (glidyta påverkad av erosion) (1,11 kritisk glidyta, ej påverkad av erosion)	5:52-5:54
Känslighetsanalys erosion: älvbotten har sänkts 2 m	1,19	1,07	5:55-5:57
Förstärkt sektion: avlastning genom avschaktning av markytan Befintlig älvbotten	1,41	1,31	5:58-5:60
Förstärkt sektion: avlastning genom avschaktning av markytan Älvbotten har sänkts 1 m	1,51	1,30	5:61-5:63

Beräkningsresultaten för sektion 38/910V visar att erforderlig säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott inte uppfylls för befintliga förhållanden för beräkning med kombinerad analys och odränerad analys.

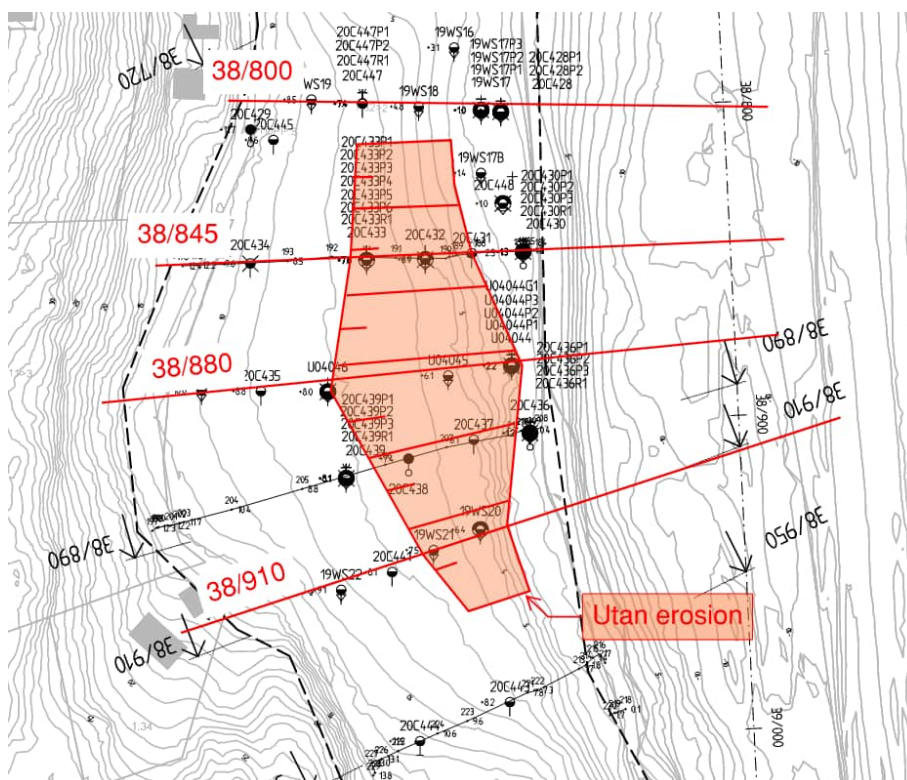
Utförda känslighetsanalyser för ett framtida scenario där bottennivån i Göta älv sänks med 1 m till 2 m på grund av erosion visar att beräknad säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott minskar något vid odränerad analys. I kombinerad analys visar känslighetsanalysen där bottennivån i Göta älv sänks med 1 m, att den kritiska glidyten är opåverkad. I känslighetsanalysen med kombinerad analys där bottennivån i Göta älv sänks med 2 m minskar beräknad säkerhetsfaktor men är fortfarande större än 1,0. Beräkningssektionen bedöms således vara känslig för erosion.

För att uppfylla erforderlig säkerhetsfaktor med totalsäkerhetsmetoden kan en avschaktning utföras i slänten mot Göta älv.

8 Föreslagna åtgärder

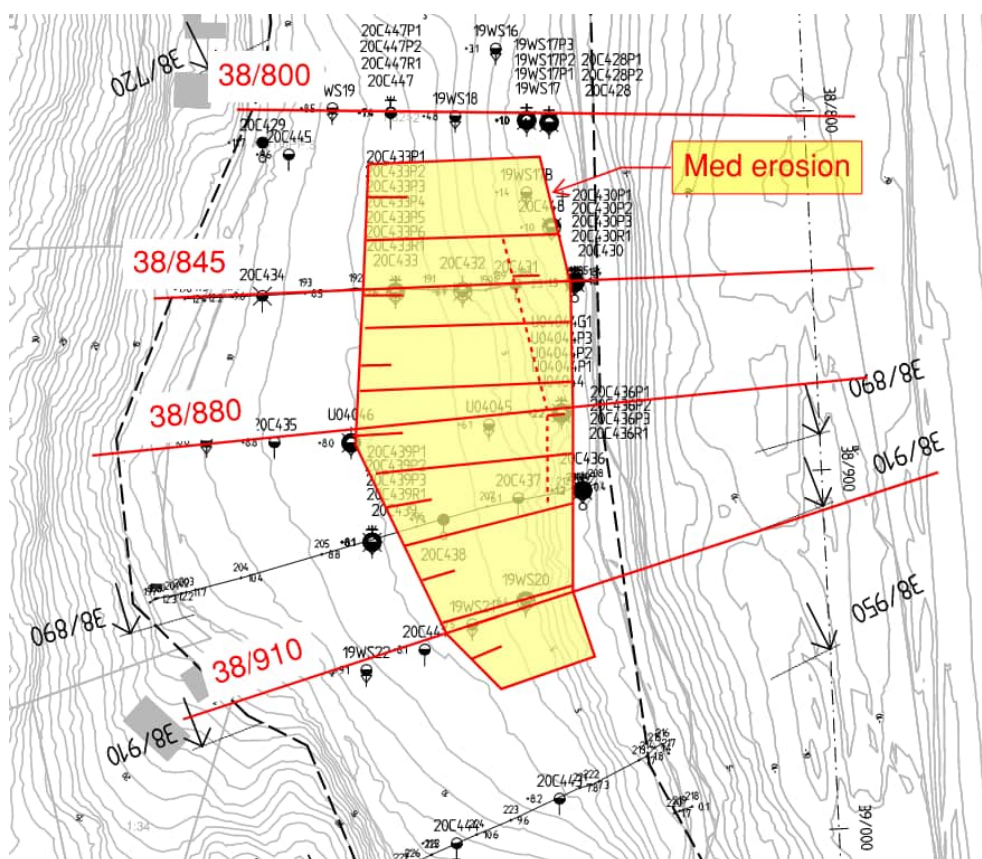
För att säkerställa att tillfredställande säkerhetsfaktor uppfylls för befintliga och framtida förhållanden föreslås att befintlig markyta schaktas av. Beroende på om avschaktningen dimensioneras med hänsyn till eventuell framtida eroderad älvbotten eller ej blir avschaktningens omfattning olika.

I Figur 45 nedan redovisas översiktligt avschaktningens utbredning utan hänsyn till eventuell framtida erosion. För detta fall omfattar föreslagen avschaktning ca 6800 m³ och utförs inom en yta motsvarande ca 6500 m².



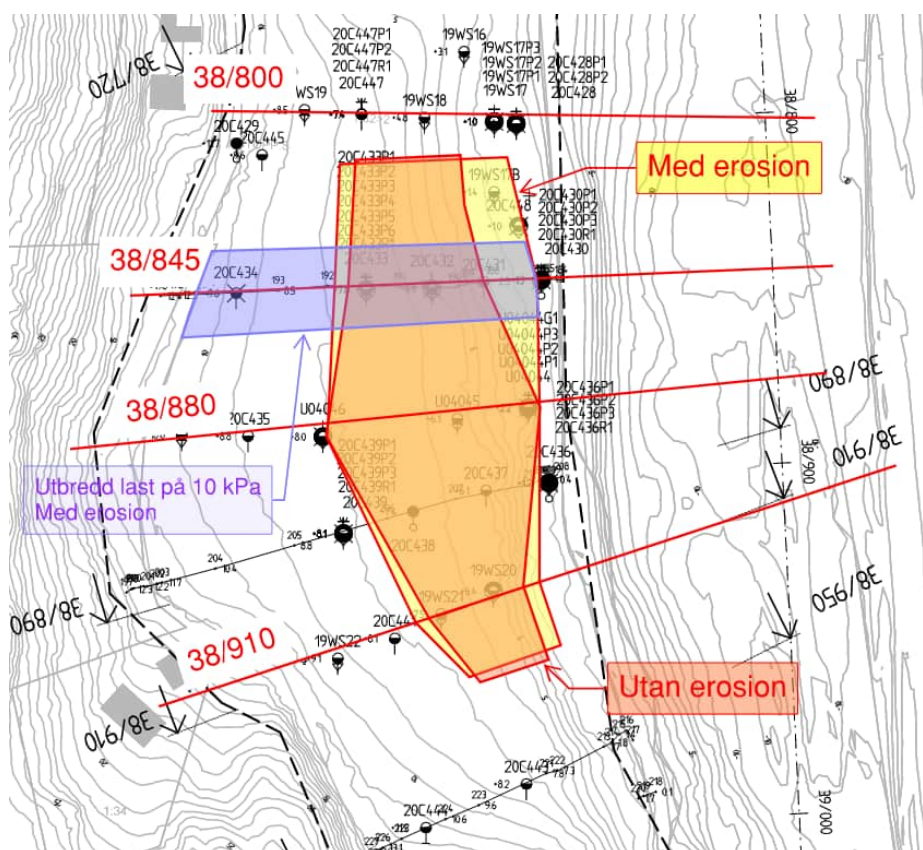
Figur 45 Ungefärlig utbredning av föreslagen åtgärd utan hänsyn till eventuell framtida erosion av älvbotten.

I Figur 46 nedan redovisas översiktligt avschaktningens utbredning med hänsyn till 1 m framtida erosion av älvbotten. För detta fall omfattar föreslagen avschaktning ca 9600 m³ och utförs inom en yta motsvarande ca 8200 m².



Figur 46 Ungefärlig utbredning av föreslagen åtgärd med hänsyn till 1 m erosion av älvbotten

I sektion 38/845 har förstärkningsåtgärden dessutom dimensionerats för en framtida ökad belastning på markytan i form av en utbredd permanent last om 10 kPa i kombination med 1 m erosion av älvbotten. Avschaktningens utbredning i den aktuella sektionen redovisas i Figur 47. För jämförelse har även avschaktningen dimensionerad för befintlig älvbotten samt avschaktningen dimensionerad med hänsyn till 1 m erosion lagts med i figuren.



Figur 47 Ungefärlig utbredning av föreslagen åtgärd med hänsyn till framtida ökad belastning på markytan i form av en utbredd permanent last om 10 kPa.

9 Slutsats

Utvärderad provkvalitet visar ingen tydlig bild av att provtagning med miniblockprovtagning generellt skulle medföra högre provkvalitet jämfört med standardkolv (StII). Av utförda undersökningar erhålls inte heller en entydig bild att ostörda prover upptagna med miniblockprovtagare skulle ge en högre utvärderad skjuvhållfasthet jämfört med ostörda prover upptagna med standardkolv (StII).

I undersökningspunkt 20C428 visar samtliga avancerade fält- och laboratorieundersökningar på en enhetlig bild, oavsett provtagningsmetod.

I undersökningspunkt 20C436 visar laboratorieundersökningar på miniblockprovtagning på en ca 4–5 kPa högre skjuvhållfasthet än övriga fält- och laboratorieundersökningar. De direkta skjuvförsöken på miniblockproverna har dock förbelastats med spänningar motsvarande σ'_c i stället för $0,8 \times \sigma'_c$, vilket skulle kunna vara orsaken till denna högre skjuvhållfasthet.

Utifrån de kompletterande fält- och laboratorieundersökningarna justeras indelningen med avseende på odränerad skjuvhållfasthet för den strandnära lera. Området för den strandnära lera delas upp i två delområden, strandnära lera norr och strandnära lera söder. För strandnära lera norr bedöms tidigare vald skjuvhållfasthet stämma bra med resultaten av de kompletterande undersökningarna.

Osäkerheten med felaktigt utförd förbelastning vid direkta skjuvförsöken på miniblockproverna har medfört att den valda linjen lagts med större tyngdpunkt på resultaten av direkta skjuvförsök på standardkolvprover. Trots detta har vald skjuvhållfasthet för strandnära lera söder kunna höjas i lerprofilens övre del med ca 2-3 kPa jämfört med tidigare valt värde.

För ländler finns direkta skjuvförsök utförda i en undersökningspunkt. Därför har större vikt lagts på samtliga utförda undersökningar även om tyngdpunkten lagts på de direkta skjuvförsöken och empiri från triaxialförsök vid val av skjuvhållfasthet.

Denna kompletterande stabilitetsutredning visar att beräknad säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott, för sektionen längst i norr, km 38/800, uppfyller gällande krav för befintliga förhållanden med totalsäkerhetsmetoden. Beräkningarna visar att sektionen är relativt okänslig för framtida eventuell erosion. För denna sektion föreslås ingen stabilitetsförbättrande åtgärd.

Vidare visar stabilitetsutredningen att beräknad säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott för befintliga förhållanden ej uppfyller gällande krav för beräkningssektionerna i områdets södra del, 38/845, 38/880 och 38/910. Området är dessutom känsligt för erosion av Göta älvs botten. Föreslagen stabilitetshöjande åtgärd för denna del av området är avschaktning för att på så vis minska lasten på den pådrivande sidan.

På grund av förekomst av kvicklera och risken för bakåtgripande skred med stor omgivningspåverkan rekommenderas att eventuell detaljprojektering och utförande av stabilitetsförbättrande åtgärder, utförs i Geoteknisk kategori 3 (GK3). Inom ramen för detaljprojekteringen rekommenderas att säkerheten mot stabilitetsbrott under byggskedet utreds för att säkerställa att uppställning av entreprenadmaskiner, mellanlager av schaktmassor och belastning på transportvägar etc. inte äventyrar stabiliteten.