

FÖRDJUPAD STABILITETSUTREDNING

INTAGAN LILLA EDET

Dokumenttyp: Geoteknisk PM
Dokumentnummer: 16500VPM01
Diariennr/Uppdragsnummer SGI: 19040304/19084

2020-05-12



FÖRDJUPAD STABILITETSUTREDNING

Intagan Lilla Edet

KUND

Statens geotekniska institut

KONSULT

WSP Sverige AB – Samhällsbyggnad Karlstad

Box 117

641 04 Karlstad

Besök Lagergrens gata 8

Tel: +46 10 7225000

wsp.com

KONTAKTPERSONER

Jonas Lersten, WSP Sverige AB

Jonas.lersten@wsp.com, tfn: 010 – 722 57 79

Daniel Björn, WSP Sverige AB

Daniel.bjorn@wsp.com, tfn 010 – 722 57 86

Per Bolin, SGI

Per.bolin@swedgeo.se, 031 -749 65 95

UPPDRAGSNAMN

Intagan Lilla Edet

UPPDRAGSNUMMER WSP

10289148

FÖRFATTARE

Jonas Lersten/Daniel Björn

DATUM

2020-05-12

ÄNDRINGSDATUM

Granskad av

David Schälén

Godkänd av

Jonas Lersten

INNEHÅLL

1	UPPDRAG	7
1.1	SYFTE	7
1.2	STYRANDE DOKUMENT	7
1.3	UNDERLAG	7
2	UTFÖRDA UNDERSÖKNINGAR	8
3	UNDERSÖKNINGSOMRÅDE OCH DELOMRÅDESINDELNING	8
3.1	DELOMRÅDESINDELNING	8
4	TOPOGRAFI	9
4.1	NABBEN	9
4.2	ÅKERN	9
4.3	RAVINEN	9
4.4	OMRÅDET SÖDER	9
5	GEOTEKNISKA FÖRHÅLLANDEN	10
5.1	NABBEN (V16/020)	11
5.2	ÅKERN (V16/070, V16/220, V16/320, V16/600, V16/830)	11
5.3	RAVINEN (V16/730)	12
5.4	SÖDER (V17/080)	12
5.5	LERANS ANISOTROPA EGENSKAPER	13
6	HYDROGEOLOGISKA FÖRHÅLLANDEN	14
6.1	VATTENNIVÅ GÖTA ÄLV	14
6.2	HYDROGEOLOGISKA ZONER	14
6.3	BRÄDDNIVÅ	15
6.4	PORTRYCKSPROFIL NABBEN	16
6.5	PORTRYCKSPROFIL ÅKERN	17
6.6	PORTRYCKSPROFIL RAVINEN	19
6.7	PORTRYCKSPROFIL SÖDER	20
7	KARTERING AV KVICKLERA	21
8	KARTERING EROSIONSSKYDD	22
9	STABILITETSBERÄKNINGAR	23
9.1	KRAV PÅ SÄKERHETSFAKTOR	23
9.2	EROSIONSKYDD	23
9.3	VALDA MATERIALPARAMETRAR	23
9.3.1	Valda materialparametrar de strandnära områdena och älven.	23
9.3.2	Materialparametrar Nabben	24
9.3.3	Materialparametrar Åkern	27
9.3.4	Materialparametrar Ravinen	30

9.3.5	Materialparametrar Söder	33
9.4	VALD ANISOTROPI	36
9.4.1	Vald anisotropi Åkern	36
9.4.2	Vald anisotropi Ravinen	36
9.4.3	Vald anisotropi Söder	37
9.5	VALDA PORTRYCK	37
9.5.1	Portryck Nabben	37
9.5.2	Portryck Åkern	37
9.5.3	Portryck Ravinen	38
9.5.4	Portryck Söder	38
9.6	BERÄKNINGSRESULTAT	38
9.6.1	Resultat Nabben	38
9.6.2	Beräkningsresultat Åkern	39
9.6.3	Ravinen	40
9.6.4	Beräkningsresultat söder	41
10 UTVÄRDERING SEKUNDÄRA SKRED		42
11 STABILITETSBERÄKNINGAR MED PARTIALKOEFFICIENTMETODEN		43
11.1	SÄKERHETSFAKTOR	43
11.2	VALDA SEKTIONER	43
11.3	MATERIALPARAMETRAR	43
11.4	BERÄKNINGSRESULTAT	43
12 KÄNSLIGHETSANALYS		44
12.1	ÖKADE PORTRYCK	44
12.1.1	Valda sektioner	44
12.1.2	Valt maximalt portryck	44
12.1.3	Beräkningsresultat	44
12.2	EROSION	45
12.2.1	Valda sektioner	45
12.2.2	Vald geometrisk förändring	45
12.2.3	Beräkningsresultat	45
13 ÅTGÄRDSFÖRSLAG		46
14 SAMMANFATTNING		47

BILAGOR

Bilaga 1 – Delområdesindelning och beräkningssektioner

Bilaga 2 – Utvärdering kvicklera

Bilaga 3 – Kartering kvicklera, plan

Bilaga 4 – Valda värden

Bilaga 5 – Portryck

Bilaga 6 – Stabilitetsberäkningar

Bilaga 7 – Utbredning/avgränsning kritiska glidytor

Bilaga 8 – Primärt och sekundärt skredområde

Bilaga 9 – Stabilitetsberäkningar, partialkoefficienter

Bilaga 10 – Känslighetsanalys portryck

Bilaga 11 – Känslighetsanalys erosion

Bilaga 12 – Åtgärder

Förord från SGI

Regeringen har gett Statens geotekniska institut (SGI) i uppdrag att minska sannolikheten för skred i Göta älv dalen och för att underlätta det arbetet har en delegation inrättats, Delegationen för Göta älv. Delegationen består av representanter från Vänersborgs, Trollhättans, Lilla Edets, Ales, Kungälv och Göteborgs kommuner, Länsstyrelsen Västra Götaland, Länsstyrelsen Värmland, Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB), Sjöfartsverket, Trafikverket, Vattenfall Vattenkraft AB och SGI.

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

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

Sekretariatet till Delegation för Göta älv

1 UPPDRAG

WSP Sverige AB har på uppdrag av Statens geotekniska institut, SGI, utfört en fördjupad stabilitetsutredning för området *Intagan* i Lilla Edets kommun. Området ligger på västra sidan av Göta älv och ingick i delområde 5 i Göta älv-utredningen. Uppdraget omfattar kompletterande fält- och laboratorieundersökningar, stabilitetsberäkningar för befintliga förhållanden, känslighetsanalyser, kartering av kvicklera samt att ge förslag på stabilitetshöjande åtgärder inom områden med otillfredsställande säkerhet mot stabilitetsbrott.

1.1 SYFTE

Denna PM har till syfte att redovisa geotekniska förhållanden, förutsättningar och antaganden, samt resultat av utförda stabilitetsberäkningar.

Utredningen utgör dessutom ett underlag för SGI:s sannolikhetsberäkningar och skredriskbedömningar.

1.2 STYRANDE DOKUMENT

Utredningen har utförts enligt riktlinjer i följande styrande dokument:

- Delegationen för Göta älv 2019, *DGA00XST01 Riktlinjer för tekniskt arbete, Avser stabilitetsutredningar längs Göta älv*, Statens geotekniska institut, SGI, Linköping, 2019-11-05.
- Delegationen för Göta Älv 2019, *DGA00XST02 Riktlinjer för dokumenthantering, Avser stabilitetsutredningar längs Göta älv*, Statens geotekniska institut, SGI, Linköping, 2019-11-05.
- Skredkommissionen rapport 3:95.
- IEG rapport 4:2010 Tillståndsbedömning/klassificering av naturliga slänter.

1.3 UNDERLAG

Underlag till utredningen har tillhandahållits av SGI och har utgjorts av:

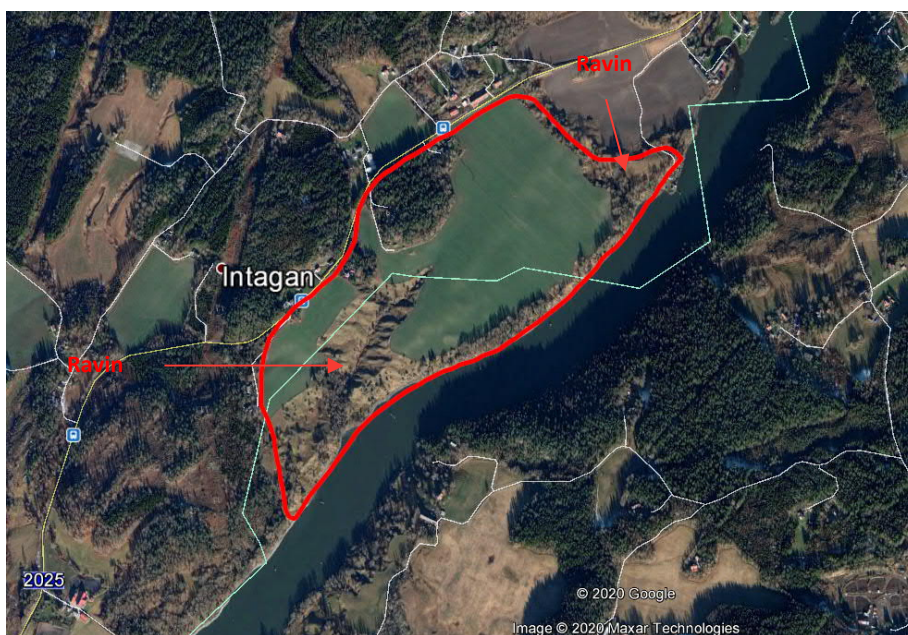
- Göta älvutredningen (GÄU) Delområde 5 Intagan - Ström, Markteknisk undersökningsrapport/Geoteknik, Daterad 2011-08-31. Diariernr: 6-1010-0027. Dokumentnr: 05RA004
- Göta älvutredningen (GÄU) Delområde 5 Intagan - Ström, Teknisk PM Geoteknik, Stabilitetsberäkningar. Daterad 2012-12-20. Diariernr: 6-1001-0027. Dokumentnr: 05PM001
- Befintliga undersökningsdata i digitalt format från Göta älvutredningen, delområde 5.
- Inmätning av Göta älvs bottenpografi utförd 2018 i ESRI FGDB-format.
- Lantmäteriets Nationella Höjddatabas (NH) i rasterformat (grid 2m-pixel) i ESRI FGDB-format och Lantmäteriets fastighetskarta i VMS-format.
- Väglinje avseende längdmätning för Göta älv i dwg- och shp-format.
- Tolkade profiler från flygburen resistivitetsmätning (TEM) utförd hösten 2019.
- Göta älvutredningen - delrapport 32. Hantering av kvicklereförekomst vid stabilitetsbedömning för Göta älv – Riktlinjer. Linköping 2011.
- Portryckvariationer i Leror i Göteborgsregionen. Jan A Berntsson. Linköping 1983.
- Borrpunkt i Göta älv 19SW01 utförd av Sweco 2019 -12-11, uppdragsnummer 12707647. Lab av Mitta 2019-12-17

2 UTFÖRDA UNDERSÖKNINGAR

Geotekniska fält- och laboratorieundersökningar har utförts av WSP Sverige AB under perioden augusti till november 2019. Resultatet av utförda undersökningar redovisas i tillhörande *Markteknisk undersökningsrapport, Geoteknik (MUR/Geoteknik)* med dokumentnummer 16500VRA01.

3 UNDERSÖKNINGSOMRÅDE OCH DELOMRÅDESINDELNING

Undersökningsområdet är beläget i Lilla Edets kommun utmed västra sidan av Göta älv mellan km 15/800 till 17/200 enligt längdmätning framtagen under Göta älv-utredningen. Området avgränsas i väst av Edsvägen, väg 2025. För undersökningsområdets utbredning och läge, se Figur 1.



Figur 1: Undersökningsområde.

3.1 DELOMRÅDESINDELNING

En delområdesindelning är utförd baserad på undersökningsområdets topografiska karaktär och geotekniska förhållanden från tidigare utförda utredningar i området.

Indelning är gjord i följande delområden:

- Nabben
- Åkern
- Ravinen
- Söder

Delområdets avgränsningar i plan framgår av Bilaga 1.

4 TOPOGRAFI

Undersökningsområdet karakteriseras i huvudsak av gräs- och åkermark som lutar svagt i riktning mot Göta älv. Närmast älven, cirka 20–50 m från strandkanten, lutar marken generellt brantare och övergår i en slänt ner mot Göta älv. Slänten utgörs av busk- och trädbevuxen gräsmark med en lutning som varierar mellan 1:2 till 1:5.

Området karakteriseras även av två raviner, en i områdets södra del och en i den norra. Den södra ravinen har en större utbredning och ligger diagonalt i området, den norra löper parallellt med undersökningsområdet gräns i norr, se Figur 1.

4.1 NABBEN

Nabben är undersökningsområdets nordligaste delområde. Delområdet utgörs av en gräsbevuxen rundad upphöjning, en kulle. Kullen avgränsas i söder av områdets norra ravin och i norr lutar den ner mot åkermark. Toppen på kullen ligger på nivå ca +26, ca 100 m från strandkanten. Kullens lutning i riktning mot Göta älv är ca 1:5.

Älvbottens topografi består här, närmast strandkant, av en undervattenshylla med flack lutning (1:16), ner till nivå +4. Från ca 40 m från strandkant sluttar botten brantare (1:3) i ca 30 m ner till nivå ca -6,5 där älven är som djupast.

4.2 ÅKERN

Åkern dominerar undersökningsområdet och karakteriseras av en större sammanhängande åkeryta (cirka 200 000 m²) som lutar svagt mot älven, med lutning cirka 1:30. Området avgränsas av raviner i söder och norr. Högsta punkten för åkern återfinns i områdets nordvästra gräns där den är ca +32.

Närmast älven mellan åkermarken och 20–50 m från strandkanten lutar marken brantare och utgörs av en busk- och trädbevuxen slänt med lutning ca 1:2. Nivån vid krönet på slänten är ca +18 och höjdskillnaden mellan åkermarken och strandkanten är ca 10 m.

Älvbottens topografi består här mestadels av en undervattenshylla närmast strandlinjen, som lutar 1:8 i ca 18 m ner till nivå +4, följt av en brantare sluttning på ca 1:2 ner till nivå -6 där älven är som djupast. I södra delen, söder om km 16/600, flackar den brantare delen ut och älvbotten får då en jämnare lutning på ca 1:7 från strandkant ner till älvens djupaste del.

4.3 RAVINEN

Delområdet karakteriseras av den södra ravinen som ligger diagonalt i området. Ravinen omgärdas av relativt plan åkermark, där nivån är ca +31 på västra sidan och +28 på den östra, som övergår till en slänt ner mot ravinen. Ravinens bredd (släntkrön till släntkrön) uppgår till ca 150 m. Höjdskillnaden mellan omgivande åkermark och ravinbotten är upp till 20 m. Ravinslänterna lutar ca 1:5.

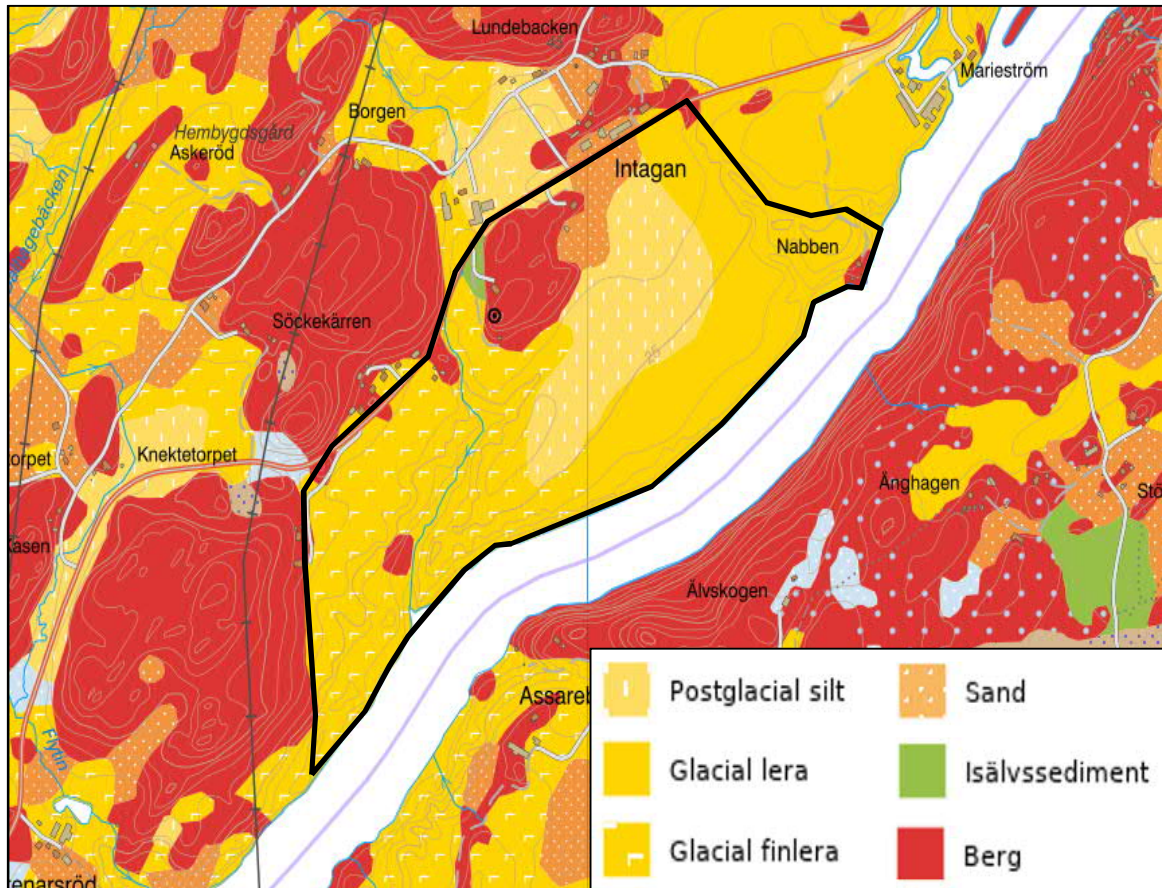
4.4 OMRÅDET SÖDER

Delområdet utgörs av ett mindre område på ca 40 000 m², som karakteriseras av en något kuperad terräng som överlag lutar från väst till öst. Markytans genomsnittliga lutning är ca 1:12 från områdets västra gräns fram till ca 30 m från älvstranden, varefter den är ca 1:3 ner till strandkanten. Vid områdets högsta punkt, i väst, är nivån ca +30.

Älvbottens topografi utgörs här av en lång, ca 80 m, jämn lutning på ca 1:7, från strandkant ner till älvens djupaste del där nivån är ca -6.

5 GEOTEKNISKA FÖRHÅLLANDEN

Undersökningsområdet utgörs i huvudsak av lermark som vid områdets avgränsning mot nordväst och väst övergår i fastmark på berg. Berg i dagen förkommer i områdets ytterkanter. Jordarter enligt SGU:s jordartskarta visas i Figur 2.



Figur 2: Jordartskarta enligt SGU.

Jordlagerföljden utgörs generellt av följande:

- Mulljord
- Torrskorpelera
- Lera
- Friktionsjord
- Berg

Lermäktigheterna i området uppgår till över 45 m där mäktigheten är som störst, vilket är vid slänkrön i anslutning till Göta älv. Vid älvkanten minskar lermäktigheterna i samma storleksordning som den avtagande markytan. I övrigt avtar lermäktigheten i princip linjärt i riktning mot områden med fastmark i väst och nordväst.

5.1 NABBEN (V16/020)

Torrskorpeleran har en mäktighet på mellan 1 till ca 3,5 m. Störst mäktighet finns i kullens centrala delar för att sedan minska i takt med att marknivån avtar. Torrskorpan är siltig och sandig.

Leran är siltig och sulfidhaltig och har i området en mäktighet mellan ca 13 till 27 m. Störst mäktighet återfinns centralt på kullen, sedan avtar den i takt med att marknivån minskar och är som minst i anslutning till Göta älv.

Lerans egenskaper:

- Odränerad skjuvhållfasthet varierar mellan 20 och 64 kPa. Skjuvhållfastheten ökar generellt med djupet med ca 2 kPa/m.
- Vattenkvot är uppmätt till mellan 40 och 73 %. Ingen generell ökning med djupet.
- Konflytgräns är uppmätt till mellan 40 och 55 %. Ingen generell ökning med djupet.
- Tunghet är uppmätt till mellan 16 och 18 kN/m³. Ingen generell ökning med djupet.
- Mellan 3–10 m djup är leran högsensitiv men ej kvick, omrörd skjuvhållfasthet är >0,4 och sensitiviteten är omkring 50. Från ca 12m djup klassificeras leran som extremt sensitiv kvicklera med sensitivitet omkring 650.
- Leran är överkonsoliderad och OCR är mellan 1,4 till 3,5 i jordprofilen. Överkonsolideringsgraden minskar i princip linjärt med djupet.

Friktionsjordens mäktighet är inte undersökt då utförda sonderingar har stannat i friktionsjorden.

Bergnivån är ej utredd då undersökningar har stannat i friktionsjorden.

5.2 ÅKERN (V16/070, V16/220, V16/320, V16/600, V16/830)

Torrskorpeleran är mullhaltig i de översta 0,1 m. I övrigt är den siltig och har en mäktighet på 0–2 m.

Leran är siltig och sulfidhaltig och har en mäktighet på mellan 10 och över 45 m (sonderingar har avslutats vid ca 45 m djup). Leran är som mäktigast (40–45 m, dvs till nivå -20 – -25) i nordost, i ett område som sträcker sig ca 400 m längs älven och ca 450 m inåt land. Längre från älven, i områdets västra delar, avtar lermäktigheten och övergår i fastmark. I sydväst avtar lermäktigheten till ca 12–18 m. I sydost visar utförda sonderingar (borrpunkt 19WS09) att det finns inslag av sandiga siltskikt i leran ned till ca 8 m djup. Lerans övre lager innehåller även snäckskal.

Lerans egenskaper:

- Odränerad skjuvhållfasthet varierar mellan 25–95 kPa. Skjuvhållfastheten är som lägst närmast markytan och ökar generellt med ca 2 kPa/m.
- Vattenkvoter är uppmätta till 43–65%.
- Konflytgräns är uppmätt till 28–55%.
- Tungheten är uppmätt till 16,3–18,2 kN/m³.
- Vid djup större än 5 m är leran högsensitiv och klassificeras som kvicklera med sensitivitet på upp till 650.
- Leran är överkonsoliderad och OCR ligger mellan 1,2–2,5 ned till ca 15 m djup. I övrigt är leran normalkonsoliderad.

Friktionsjorden under leran är ej närmare undersökt då undersökningarna avslutats innan eller i friktionsjorden.

Bergnivån är ej närmare undersökt.

Ett siltskikt har påträffats i två borrhöjningar 19WS09 och 19WS12 på ca 6 m djup (nivå ca +12). Dessa punkter är belägna på släntkrönet mot älven. Siltskiktet har inte observerats i borrhöjningar tagna längre från älven, tex NV0039A som ligger mellan och något bakom dessa punkter. Siltskiktet bedöms således endast sträcka sig längs med släntkrönet.

5.3 RAVINEN (V16/730)

Torrskorpelera är mullhaltig i de översta 0,1 m. I övrigt är den siltig och har en mäktighet mellan 0–2,5 m. Torrskorpans mäktighet är något högre på östra sidan om ravinen än på den västra.

Leran i området är siltig och sulfidhaltig och har en mäktighet mellan ca 12–20 m. Generellt följer nivån för lerans underkant variationerna för markytan. Mäktigheten avtar åt väster från släntkrönet på ravinens västra sida fram till områdets västra gräns där den är 2–3 m.

Lerans egenskaper:

- Odränerad skjuvhållfasthet varierar mellan 18–51 kPa. Skjuvhållfastheten ökar generellt med djupet med ca 2,5 kPa/m.
- Vattenkvoter är uppmätta till 54–74%.
- Konflytgräns är uppmätt till 43–61%.
- Tunghet är uppmätt till 15,9–17 kN/m³.
- Leran är högsensitiv på östra sidan om ravinen med sensitiviteter mellan 36–53. På västra sidan klassificeras leran generellt som kvicklera med sensitiviteter mellan 47–116.
- Leran är överkonsoliderad och OCR ligger mellan 1,5–3,4 i jordprofilen. Överkonsolideringsgraden minskar med djupet.

Friktionsjorden samt **bergnivån** under leran är ej närmare undersökt då undersökningarna har stannat i friktionsjorden. Överkant friktionsjord följer i princip samma kupering som markytan.

5.4 SÖDER (V17/080)

Torrskorpelera är siltig och har en mäktighet på mellan 0 till ca 1,5 m.

Leran är siltig och sulfidhaltig och har en mäktighet på 12 till 19 m närmast älven och avtar i riktning mot fastmarksområdet i väster.

Lerans egenskaper:

- Odränerad skjuvhållfasthet varierar mellan 20–96 kPa. Skjuvhållfastheten ökar generellt på djupet med ca 2 kPa/m.
- Vattenkvoten är uppmätta till ca 42 till 70%.
- Konflytgräns är uppmätt till 38 till 54%.
- Tunghet är uppmätt till 16,1–17,8 kN/m³.
- Leran klassificeras som kvicklera ned till nivån ca +9 med sensitiviteter på upp till 467. Därunder bedöms leran vara högsensitiv med sensitiviteter omkring 50.
- Leran är överkonsoliderad och OCR ligger mellan 2,6–3,6 i jordprofilen.

Friktionsjorden under leran är inte undersökt då undersökningarna stannat i friktionsjorden.

Bergnivån är ej närmare undersökt.

5.5 LERANS ANISOTROPA EGENSKAPER

Tidigare utförda beräkningar visar att kritisk glidyta i undersökta sektioner har en övervägande stor del där lerans aktiva hållfasthet är styrande. För att undersöka och nyttja lerans anisotropa egenskaper i stabilitetsberäkningarna har därför aktiva triaxial-försök utförts och utvärderats. Totalt har prover i fyra punkter och på 9 nivåer undersökts, se Tabell 1 nedan.

Punkterna är placerade strax bakom släntkrönet mot älven och vid den södra ravinen. En sammanställning över undersökningspunkterna, och i vilket delområde de är placerade framgår av Tabell 1 nedan.

Punkternas placering i plan framgår av planritning i tillhörande MUR/Geo.

Effekten av anisotropi har utvärderats i enlighet med Skredkommissionen rapport 3:95 som kvoten mellan skjuvhållfastheten (τ_{α}) vid skjuvning mot en viss vinkel (α°) mot horisontalplanet, och skjuvhållfastheten (τ_{hor}) vid skjuvning mot horisontalplanet ($\alpha=0^{\circ}$).

Skjuvhållfastheten från de aktiva triaxialförsöken antas motsvara skjuvhållfastheten ($\tau_{\alpha=60^{\circ}}$) vid skjuvning 60° mot horisontalplanet.

Skjuvhållfastheten från de direkta skjuvförsöket antas motsvara skjuvhållfastheten (τ_{hor}) mot horisontalplanet ($\alpha=0^{\circ}$).

Enligt fig. 24 i Skredkommissionens rapport 3:95 utgör 60° den lutning där effekten av anisotropi är som störst. Det ger således ett antagande på säkra sidan, eftersom anisotropieffekt högre än den uppmätta ej medräknas.

Efter att anisotropieffekten ($\tau_{\alpha=60^{\circ}}/\tau_{hor}$) har utvärderats har vidare förhållandet mellan horisontal- och vertikalspänning, K_0 , utvärderats med hjälp av ekvationen presenterad i Skredkommissionen rapport 3:95 tabell 5:1. Anisotropieffekten och motsvarande K_0 redovisas i Tabell 1 nedan.

Tabell 1: Område, borrhål, anisotropieffekt, för utförd triaxialförsök.

Område	Borrhål	Djup [m]	Skjuvhållfasthet från aktiva Triaxialförsök, $\tau_{\alpha=60^{\circ}}$ [kPa]	Skjuvhållfasthet från direkta skjuvförsök, τ_{hor} [kPa]	Anisotropieffekt ($\tau_{\alpha=60^{\circ}}/\tau_{hor}$)	K_0
Åkern	19ws04	4	40,2	39,5	1,02	0,98
Åkern	19ws04	10	37,7	33	1,14	0,83
Åkern	19ws09	10	55,8	43,2	1,29	0,70
Åkern	19ws09	15	66,7	45,1	1,48	0,57
Åkern	19ws09	25	95,9	57,8	1,66	0,47
Ravinen	19ws14	6	25,5	22,5	1,13	0,84
Ravinen	19ws14	10	33,9	25,8	1,31	0,68
Söder	19ws19	6	38,9	28,9	1,35	0,66
Söder	19ws19	10	66,1	46,1	1,43	0,60

Anmärkingar

I delområde Åkern ökar effekten från 2 % vid 4 m djup till 66 % vid 25 m.

I området Ravinen ökar effekten mellan 13 till 31 %.

I området Söder är ökningen mer marginell mellan 35 till 43 %.

I Nabben har inga triaxialförsök utförts på grund av att en mer långsträckt slänt med mindre förväntad anisotropieffekt.

Anisotropieffekten ökar generellt med djupet i alla områden. Detta till följd av att skillnaden mellan vertikalspänningen och horisontalspänningen ökar med djupet vilket representeras av faktorn K_0 som sjunker med djupet, se Tabell 1.

6 HYDROGEOLOGISKA FÖRHÅLLANDEN

6.1 VATTENNIVÅ GÖTA ÄLV

Vattennivån i älven styrs av dämning- och sänkingsgränser vid Lilla Edets kraftverk, vilka är reglerad i rådande vattendom. Dessa vattennivåer är vid Lilla Edets kraftverk +7,6 respektive +6,6. Nivån vid medelvatten är 0,1m under övre medelvattenytan dvs +7,5, se tabell 4.1 i ”DGA00XST Riktlinjer för tekniskt arbete version 2.

6.2 HYDROGEOLOGISKA ZONER

Utförda mätningar av både grundvattennivåer och portryck har givit att det i området förekommer 4 geohydrologiska zoner i jordprofilen:

Övre Akvifer (Öppen)

Utgörs av torrskorpan i området. Torrskorpeleran är uppsprucken med hög permeabilitet och tryckförändringar sker mer eller mindre momentant. Trycknivån i denna zon varierar mellan markytan och underkant torrskorpelera.

Akvitard 1

Utgörs av det övre lerlagret. Ofta genomsatt av mindre sprickor och kännetecknas av en högre överkonsolideringsgrad jämfört med underliggande lerlager. Denna zon har i stort sett hydrostatisk portrycksfördelning och tryckförändringar sker förhållandevis snabbt.

Akvitard 2

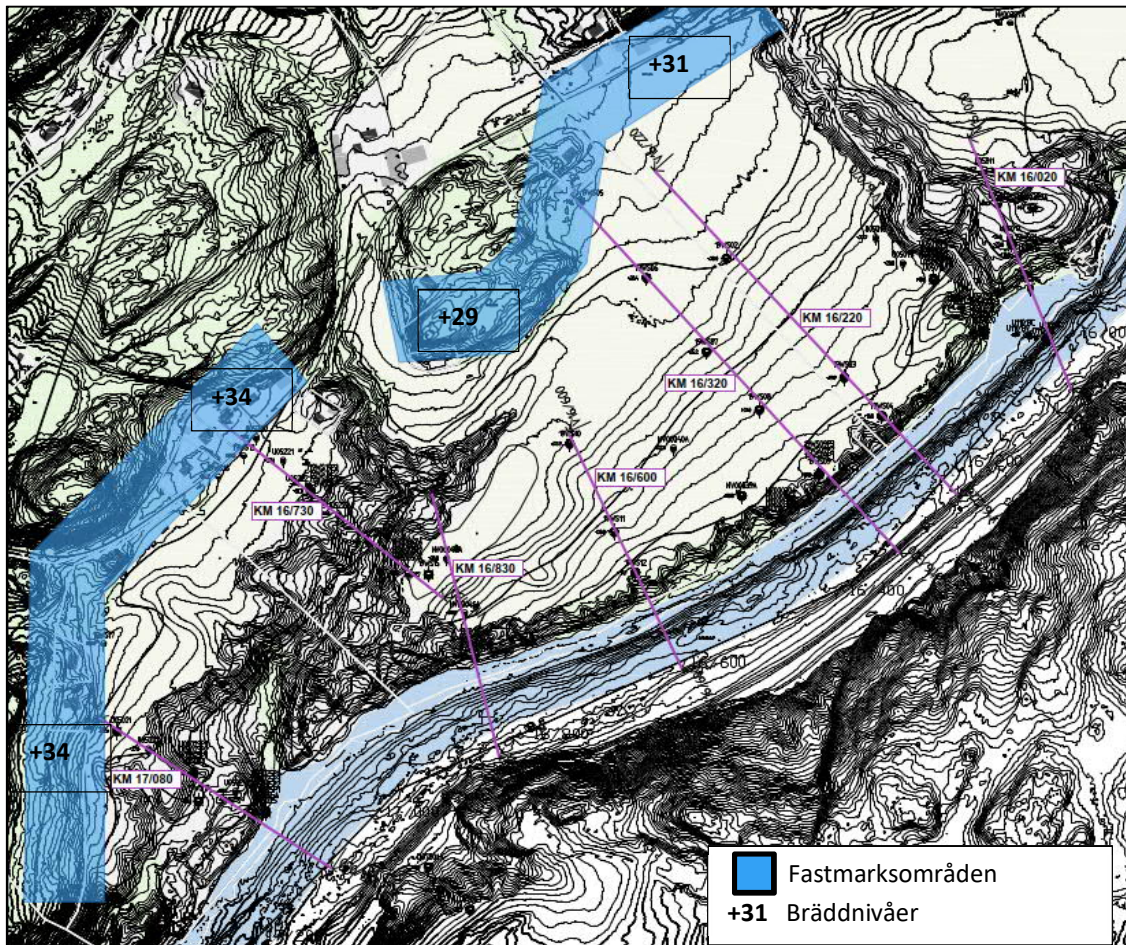
Utgörs av undre delen av lerlagret. Här råder mer homogen och stabila förhållanden med en i princip rätlinjig gradient mellan underkant på akvitard 1 och grundvattentrycket i undre akviferen.

Undre Akvifer (sluten)

Undre akviferen utgörs av fiktionsjordslagret under leran. Trycknivån i under akviferen regleras bland annat av högsta bräddnivån och lerlagrets mäktighet. Vid 10m -15m mäktighet av Akvitard 2 råder i princip hydrostatiska förhållanden genom hela jordprofilen.

6.3 BRÄDDNIVÅ

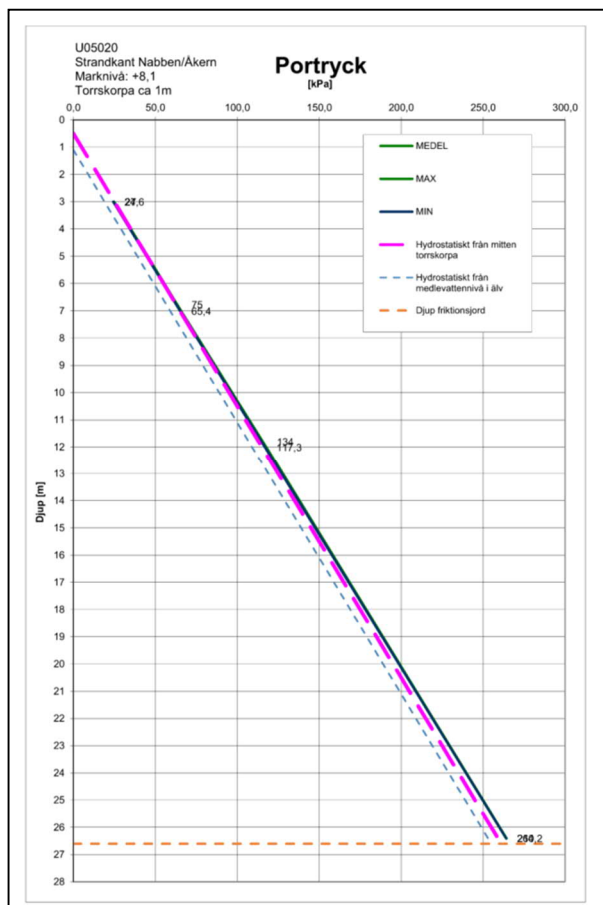
Bräddnivåer finns där den undre akviferen (friktionsjorden) når markytan, i anslutnings till fastmarks- och bergspartier i nordvästra och västra delen av området. Se Figur 3 för fastmarksområdenas läge.



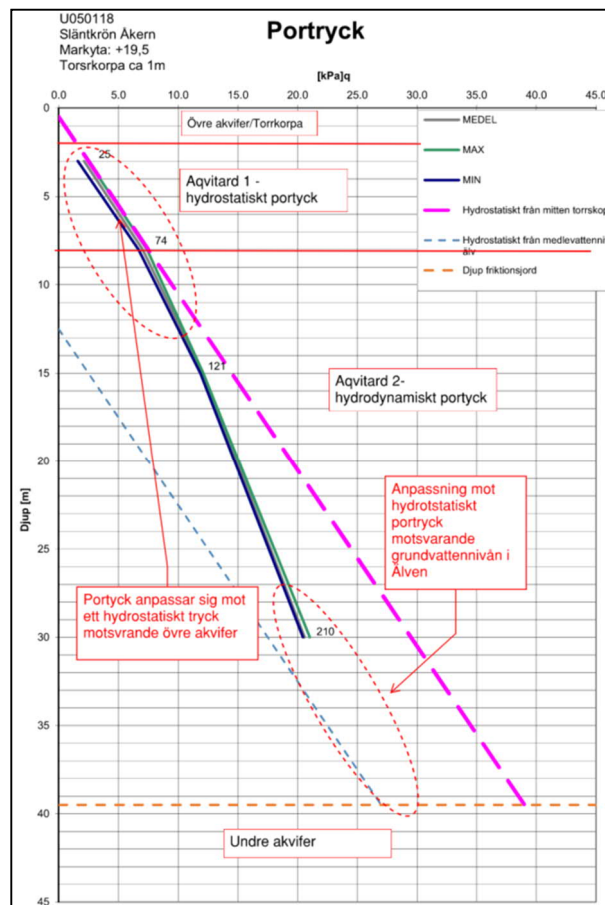
Figur 3: Bräddnivåer och fastmarksområden för infiltration av undre akvifer.

6.4 PORTRYCKSPROFIL NABBEN

Vid nabben finns två portrycksstationer installerade. En strax söder om området i strandkanten och en portrycksstation U05018 belägen ca 150 m söder om Nabben i området Åkerns norra del, se Figur 4 och Figur 5 för portryckprofiler.



Figur 4: Exempel Portrycksprofil i strandkant i nivå med älven U05020



Figur 5: Exempel portryckprofil U05018 belägen på släntkrön strax söder om Nabben

Vid älven råder i princip hydrostatisk portryck genom hela jordprofilen motsvarande medelvattennivån i älven, se Figur 4.

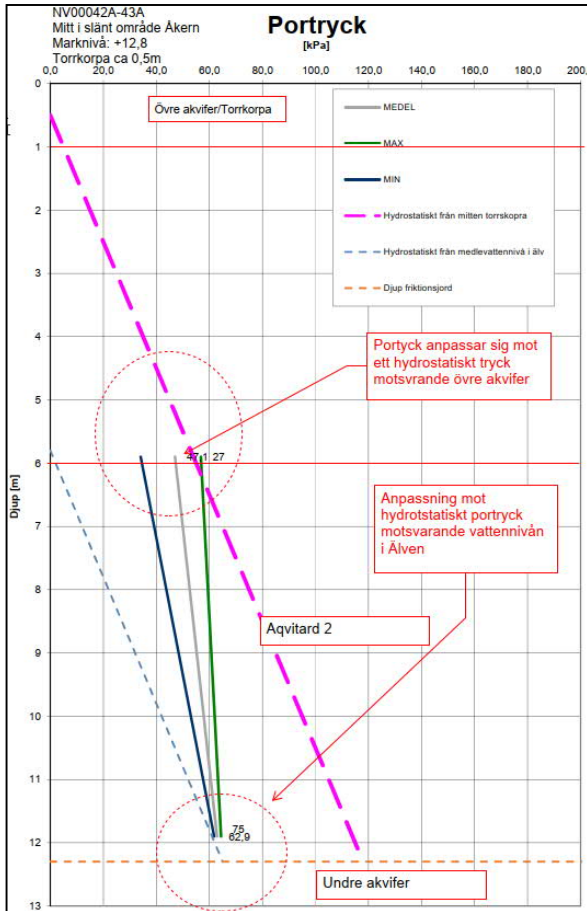
Uppe på kullen/släntkrön bedöms portrycksprofilen vara motsvarande punkt U05018. Förhållandena bedöms vara likartade i den bemärkelsen att Nabben utgörs av en kulle med en slänt ner mot älven. Det innebär att Nabben har ett hydrodynamiskt portryck genom akvitard 2 med en anpassning på djupet mot medelvattennivån i Älven. I övre delen anpassas portrycket mot grundvattennivån i övre akviferen/torrskorpan, se Figur 5.

6.5 PORTRYCKSPROFIL ÅKERN

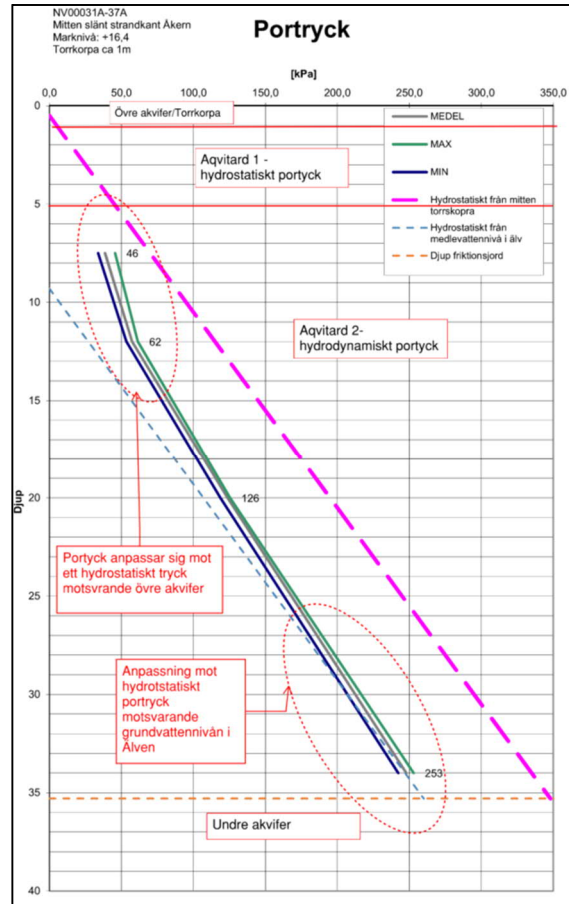
Vid strandkant i nivå med älven finns en portrycksstation installerad i områdets norra del benämnd U05020 (samma som Nabben), se Figur 4.

I slänten längs älven finns två portrycksstationer installerade benämnda NV0031A-37A placerade centralt längs älven och NV00042A-43A i södra delen av området längs älven. Dessa är placerade högre upp i slänten jämfört med U05020, vilket ger en något annorlunda portrycksprofil, se Figur 6 och Figur 7 nedan för portrycksprofiler.

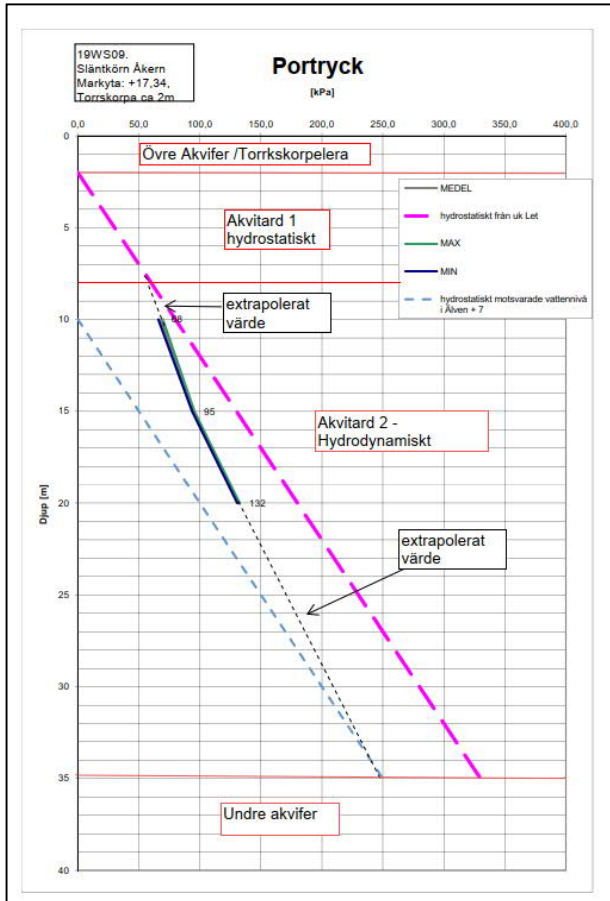
Uppe på släntkrön finns ytterligare två portrycksstationer installerade 19WS09 och U05018. För portrycksprofil se Figur 8 och Figur 9 nedan.



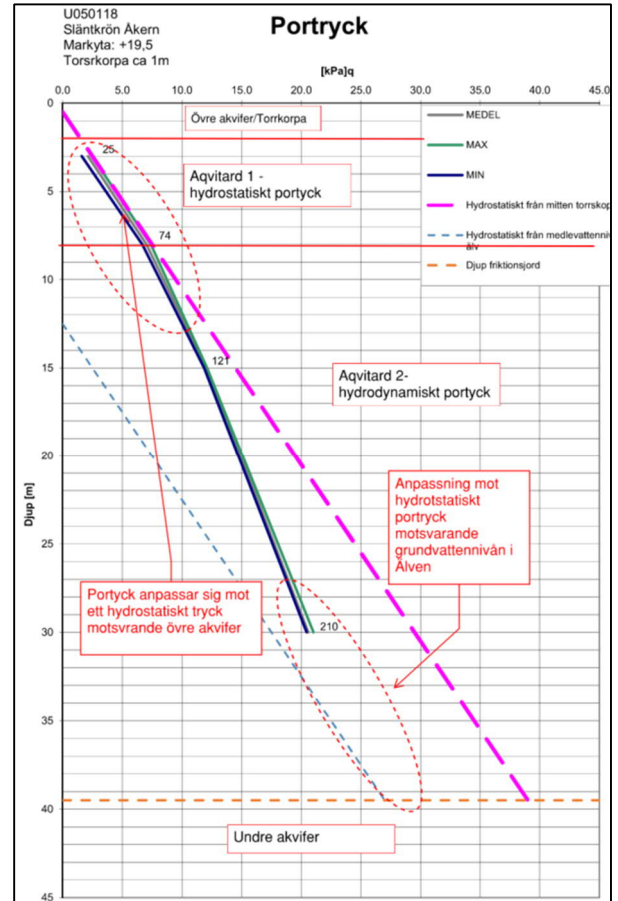
Figur 6: Exempel portryck i slänten NV00042A-43A.



Figur 7: Exempel portryck i slänten NV00031A-37A



Figur 8: Exempel portryck släntkrön punkt 19WS09.



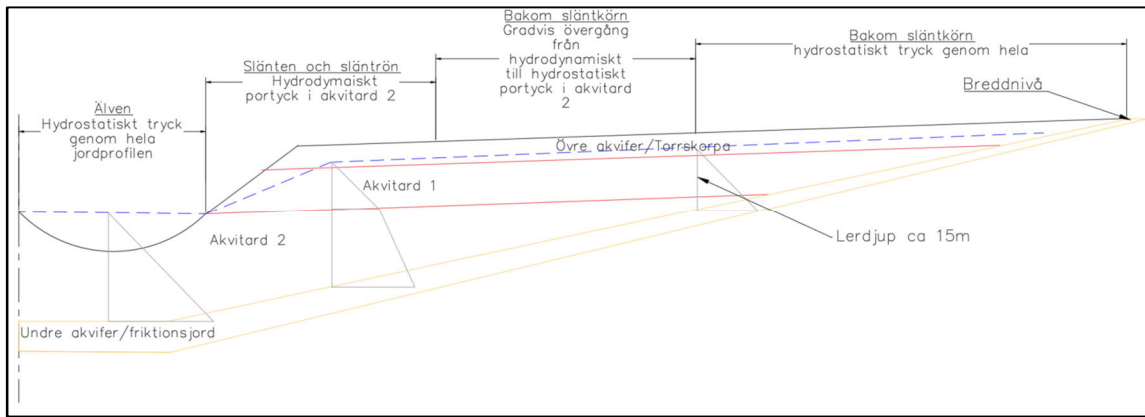
Figur 9: Exempel portryck i slänten NV0031A 37A.

Vid älven råder i princip hydrostatisk portryck genom hela jordprofilen motsvarande medelvattennivån i älven, se Figur 4.

Stationerna högre upp i slänten och på släntkrön visar en hydrostatisk portrycksprofil genom övre akviferen/torrskorpan och genom akvitard 1 ner till mellan 5 till 8 m djup. I akvitard 2 råder ett hydrodynamiskt portryck. I den övre delen anpassas portrycket mot akvitard 1 och på djupet sker en anpassning till ett portryck motsvarande medelvattennivån i älven/under akviferen, vilket indikerar att portrycket i det undre akviferen är kopplad till och styrs av vattennivån i älven.

Inga portryckmätare eller grundvattenrör är installerade bakom släntkrön i området åkern. Portrycksprofilen "bakom" släntkrön kommer dock i riktning mot bräddnivån gradvis att övergå till en genomgående hydrostatisk portrycksprofil i takt med att avståndet till älven ökar. När lermäktigheten minskar och avståndet till fastmarkspartierna/bräddnivån minskar ökar det förutsättningarna för en genomgående hydrostatisk portrycksprofil. I området söder se kap 6,7 är som jämförelse portrycket hydrostatiskt vid 15 m lermäktighet.

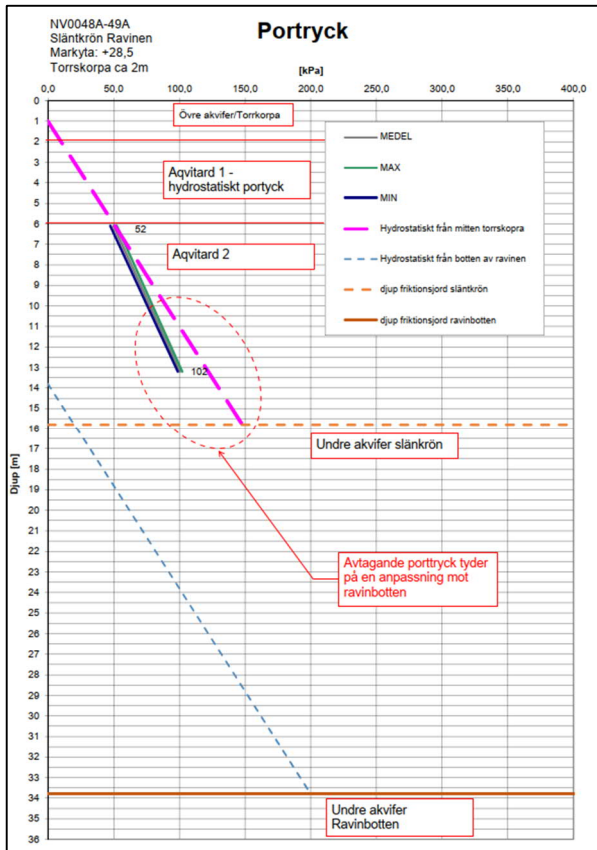
En schematisk illustration av portrycksprofilerna i området Åkern redovisas i Figur 10 nedan.



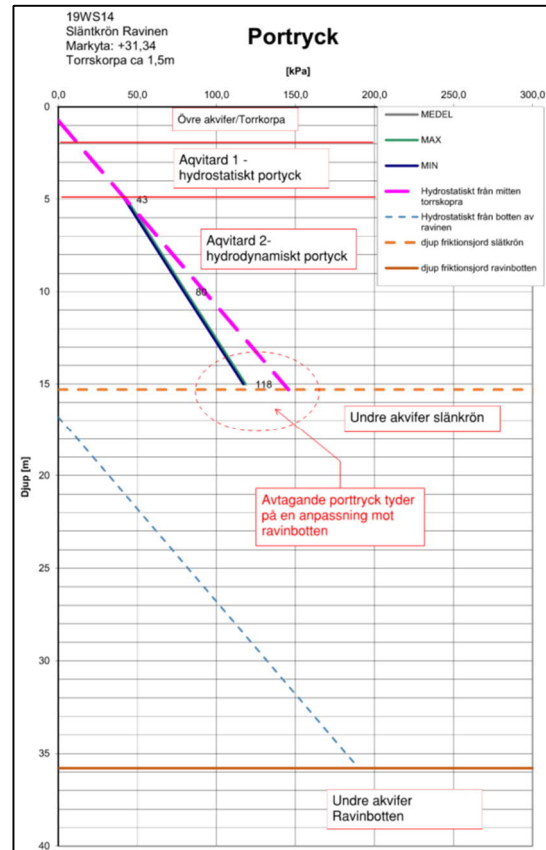
Figur 10: Schematisk illustration över portryck i området Åkern.

6.6 PORTRYCKSPROFIL RAVINEN

Totalt finns 2 portrycksstationer installerade i området, placerade på slänkrön på var sin sida av ravinen. 19WS14 är placerad på slänkrön söder om ravinen och NV0047A-48A är placerad på slänkrön norr om ravinen, se Figur 11 och Figur 12 för portrycksprofiler.



Figur 11: Exempel portryck slänkrön punkt NV0048A-49A.

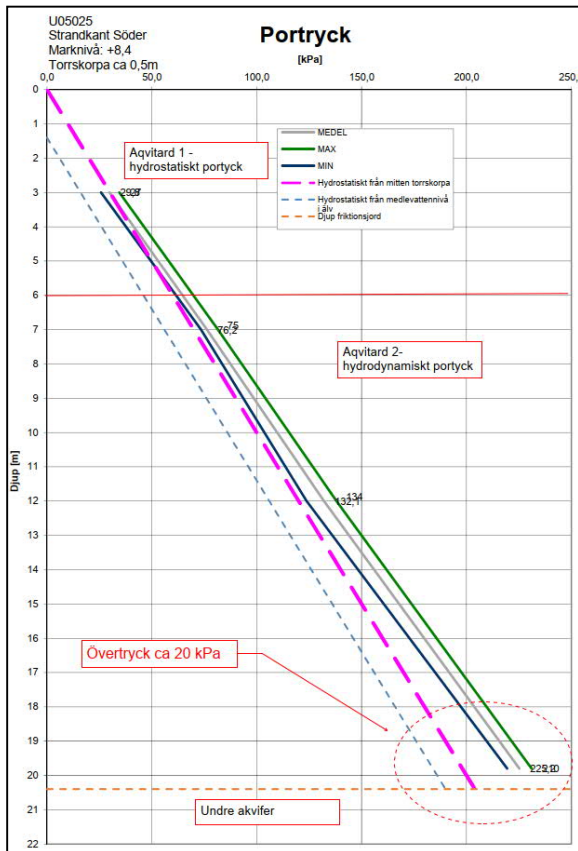


Figur 12: Exempel portryck slänkrön 19WS14.

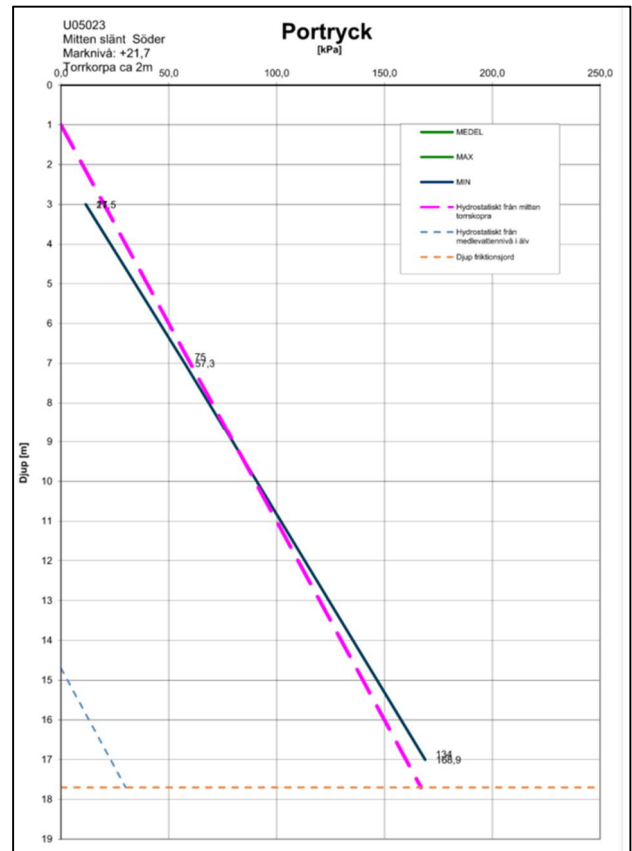
I slänten och slänkrön råder hydrostatiskt portryck genom övre akviferen/torrskorpan och genom akvitard 1 ner till mellan 5 till 6m djup. I akvitard 2 råder ett hydrodynamiskt portryck. Portrycket avtar med djupet och sannolikt sker en anpassning mot ravinbotten. I ravinbotten antas en hydrostatisk portrycksprofil genom hela lerprofilen motsvarande en grundvattennivå på samma nivå som ravinbotten, se blå streckad linje i figur 11 och 12. Mellan slänkrön och ravinbotten antas linjärt samband.

6.7 PORTRYCKSPROFIL SÖDER

I området Söder finns en portrycksstation i strandkant, U05025 och en portrycksstation U05023 belägen mitt i området, se Figur 13 och Figur 14 för portrycksprofiler.

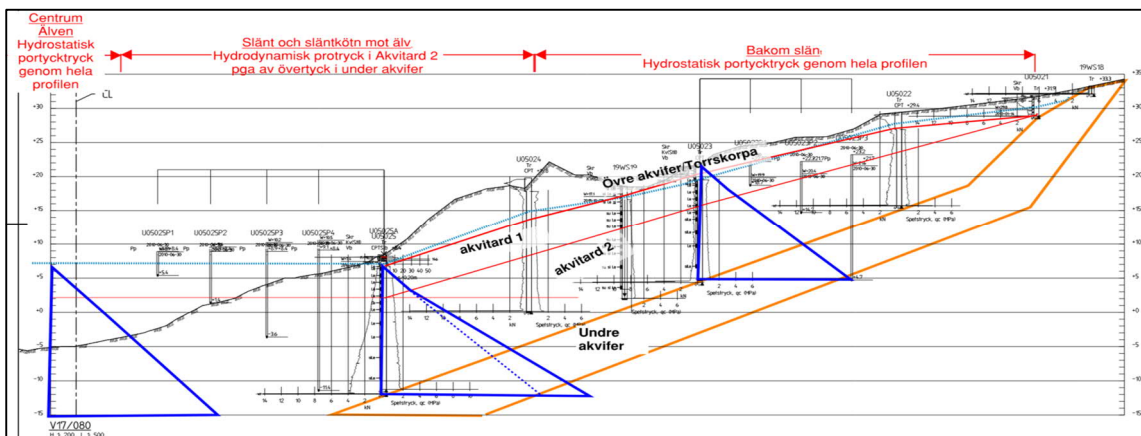


Figur 13: Portrycksprofil U05025.



Figur 14: Portrycksprofil U05023.

Vid älvkanten råder ett övertryck på djupet på ca 20 kPa, se Figur 13. Det ger en hydrodynamisk portrycksprofil genom akvitard 2. Övertrycket beror sannolikt på att området har en genomgående lutning och ett kortare avstånd mellan bräddnivå och älvkanten jämfört med exempelvis Åkern där hydrostatiskt portryck råder i älvkanten. Det gör att portrycket i den undre akviferen inte hinner utjämnas i samma takt när tillrinning sker. Centralt under älven antas dock att precis som för området Åkern att undre akviferen står i kontakt med vattnet i älven och har där en genomgående hydrostatisk portrycksprofil. För schematisk illustration av portrycket i området Söder, se Figur 15.



Figur 15: Schematisk illustration över portryck i området Söder

7 KARTERING AV KVICKLERA

Karteringen av kvicklera har baserats på laborationsförsök på ostörda prover samt på resultat från CPT-R-sonderingar med registrering av totalt neddrivningsmotstånd och resistivitet. Till detta har SGI:s Excel-verktyg "Utvärderingsark kvicklera CPT och Tr" använts.

Av ovan nämnda underlag är laboratorieresultat från ostörd provtagning det enda som kan nyttjas för att bestämma om leran är kvick eller inte. CPT-R sondering utvärderad med avseende på totalt neddrivningsmotstånd kan användas som komplement till ostörd provtagning för bedömning av kvickleraförekomst när de kalibreras mot resultaten från laborationsförsök. Registrering av resistivitet används i syfte att bedöma hur mycket salter som urlakats ur leran, vilket visar om bildning av kvicklera är möjligt eller inte.

Samstämmigheten mellan de olika underlagen är överlag god. Kwicklera utvärderad från neddrivningsmotstånd från CPT-R visar något större utbredning än resultaten från laborationsförsöken. Vad gäller indikationer från uppmätt resistivitet fås bra samstämmighet vid gränsvärden om 5–8 Ω .

På grund av fel i registreringen av neddrivningsmotståndet på en av CPT-sonderingarna, 19WS08, troligtvis på grund av friktionsjord i början av sonderingen, har inte denna kunnat användas vid utvärdering. Resultaten av utvärderingen med Excelverktyget presenteras i Bilaga 2.

Utifrån utvärderingen har, genom interpolering och extrapolering, en trolig utbredning av kvicklera sammanställts. Enligt sammanställningen bedöms kvicklera förekomma i hela området förutom udden mellan den södra ravinen och älven. På udden finns förutsättningar för kvicklera enligt resistivitetmätningar men utförda laborationsförsök samt utvärdering från neddrivningsmotstånd hos CPT-R visar inte på att kvicklera förekommer. I områdena med kvicklera är utbredningen inom jordprofilen överlag att leran inte klassas som kvick i de översta 5–8 m, är kvick därunder ner till en nivå ungefär motsvarande botten på älven samt återigen inte kvick vid större djup. I plan kan denna ses i Bilaga 3 och i sektion tillsammans med utförda stabilitetsberäkningar i Bilaga 6.

Grundvattenströmningarna bedöms vara från de höglänta delarna väster om området ner mot älven i öst. Att kvicklerans utbredning sällan sträcker sig djupare än bottennivån för älven tyder på att strömningarna främst varit från markytan och ner till denna nivå. Vad gäller ovan nämnda udde kan avsaknaden av kvicklera här härröras till att vattenströmningarna från väst flödat ut till älven via ravinen innan det nått udden, om ravinen antas utbildats kort efter urlakningen påbörjats.

Bergnivån samt friktionsjord som underlagrar leran kan också påverka grundvattenströmningarna. Generellt sluttar bergnivån från väst till öst där strömmande vatten längsmed berget skulle kunna ge vattenströmningar uppåt genom leran. Detta skulle också kunna vara en bidragande faktor till avsaknaden av kvicklera i ovan nämnda udde då bergnivån här är högre än i resten av området. Detta skulle kunna ge att grundvattenströmningar längs bergnivån flödar runt detta område istället för igenom.

Andra faktorer som kan innebära ökade förutsättningar för kvicklera såsom skikt av friktionsjord inom leran verkar inte förekomma.

8 KARTERING EROSIONSSKYDD

Erosionsskydd i strandkanten mot Göta älv noterades vid platsbesök (2019-08-14) Erosionsskyddet har en utbredning längs hela strandlinjen i undersökningsområdet, se Figur 16 och Figur 17 nedan.



Figur 16: Foto erosionsskydd taget mot norr km ca 17/100



Figur 17: Foto av erosionsskydd taget mot söder km ca 16/400.

Erosionsskyddet utgörs av krossad sprängsten med en stenstorlek mellan cirka 50–500 mm.

Erosionsskyddet sträcker sig ca 3 m ovanför strandlinjen. Erosionsskydd sträcker sig minst ca 2m under vattenlinjen, vilket kan ses i Figur 17.

Erosionsskyddet tjocklek är minst motsvarande den största sten storleken, det vill säga 500 mm.

Ingen större åverkan kan ses på erosionsskyddet som bedöms fungerande enligt denna utredning.

Dock kvarstår undervattenskartering för att utreda erosionsskyddets fulla utbredning under vattenlinjen.

9 STABILITETSBERÄKNINGAR

Stabilitetsberäkningarna har utförts för befintliga förhållanden i enlighet med IEG rapport 4:2010 Tillståndsbedömning/klassificering av naturliga slänter och slänter med befintlig bebyggelse och anläggningar. Beräkningar har utförts med odränerad och kombinerad analys i huvudsak enligt totalsäkerhetsmetoden med kontroll av enstaka sektioner enligt partialkoefficientmetoden.

Beräkningsprogrammet SLOPE/W, GeoStudio 2019 R2 version 10.1.1.18972 har använts vid utförda stabilitetsberäkningar.

9.1 KRAV PÅ SÄKERHETSFAKTOR

Kraven på erforderlig säkerhetsfaktor är, enligt Kap 4.5.3 i DGA00XST01 "Riktlinjer för tekniskt arbete", för beräkningar enligt totalsäkerhetsanalys $F_c \geq 1,4$ och $F_{komb} \geq 1,3$.

9.2 EROSIONSKYDD

Erosionsskyddet kan med ledning av maximal stenstorlek antas ha en tjocklek på minst 500 mm. Glidytorerna är i denna utredning omfattar så pass stora jordvolymerna att ett mothåll på 500mm har ringa eller ingen inverkan på den beräknade säkerhetsfaktorn. Erosionsskyddet har således valts att inte medräknas i beräkningar.

9.3 VALDA MATERIALPARAMETRAR

Sammanställningarna av materialparametrarna är gjorda mot nivå i samtliga delområden. Sammanställning mot nivå är vald då det visar god samstämmighet med härledda värden och då leran i Göta älvdalen har avsatts i horisontala plan i marin miljö.

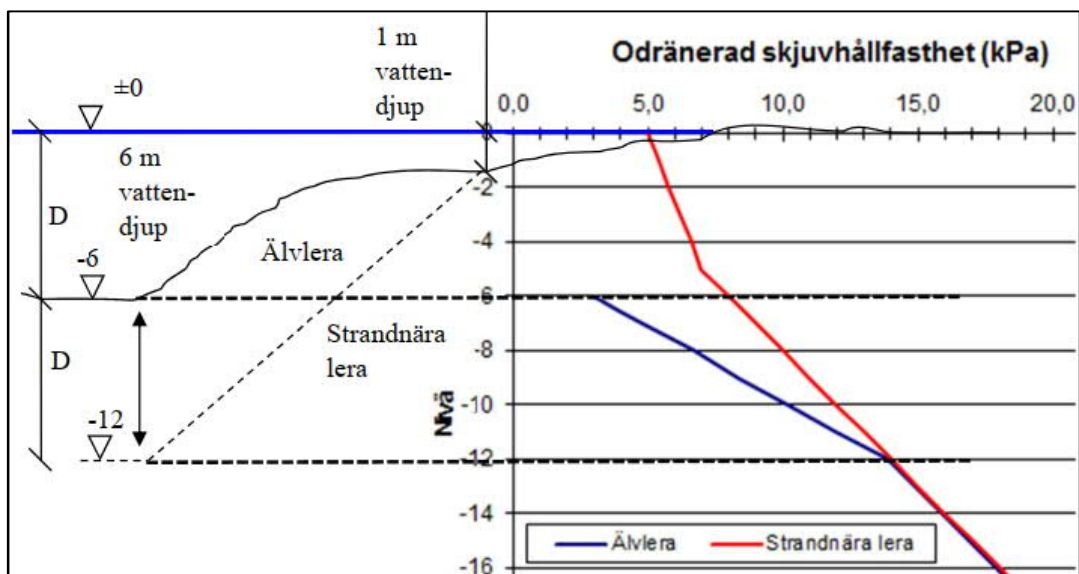
Sammanställning av härledda värden och en grafisk redovisning av valda värden redovisas i Bilaga 4.

9.3.1 Valda materialparametrar de strandnära områdena och älven.

Val av hållfasthet i de strandnära områdena samt i älven har utförts empiriskt enligt Kap 4.3.3 i DGA00XST01 "Riktlinjer för tekniskt arbete" då endast en undersökningspunkt finns i älven.

Empirin bygger på antagandet det är samma lera på land som i älven älv området. De skillnader som finns antas bero på den avlastning som skett genom erosion.

I älvfåran antas att leran avlastas och att avlastningen når djupet D under älvbotten, enligt figur 18. Vid detta djup D antas samma hållfasthet som råder på land.



Figur 18: Hållfasthet under älven, från Kap 4.3.3 DGA00XST01.

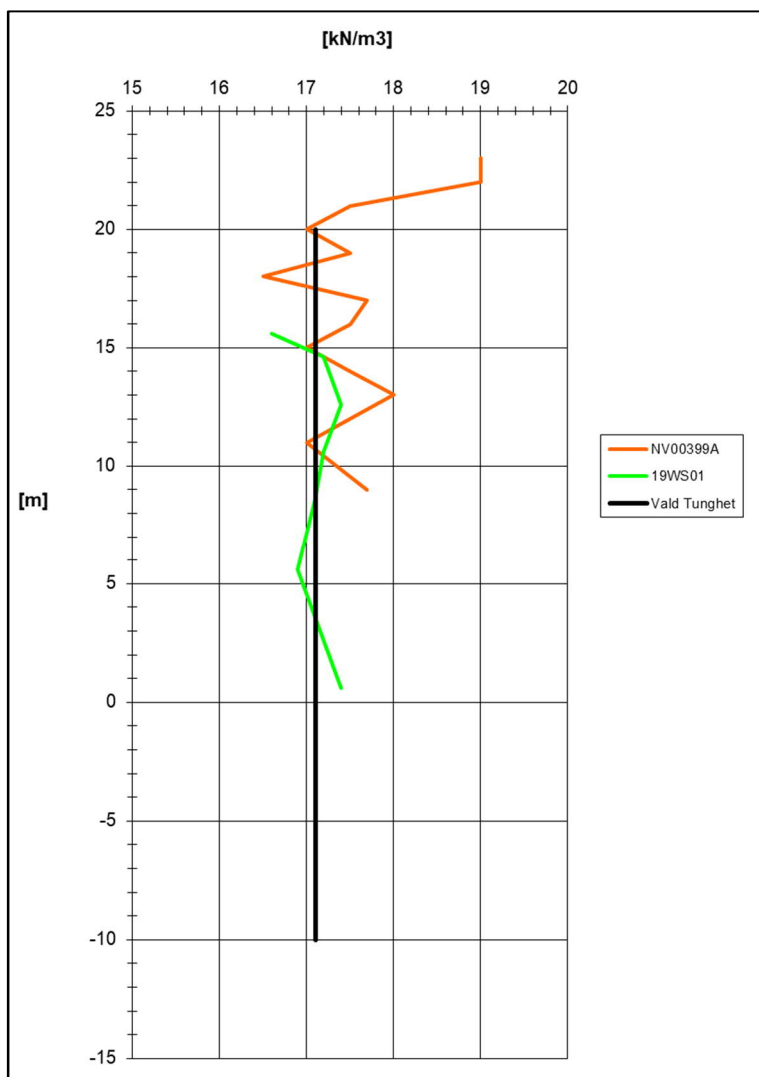
Vid älvbotten antas skjuvhållfastheten vara 3 kPa. Föra att sedan öka linjärt till djupet D där samma skjuvhållfasthet råder som på land.

9.3.2 Materialparametrar Nabben

För en sammanställning av valda materialparametrar se Tabell 2, Figur 19 och Figur 20.

Tabell 2: Sammanställning av valda materialparametrar för delområdet Nabben.

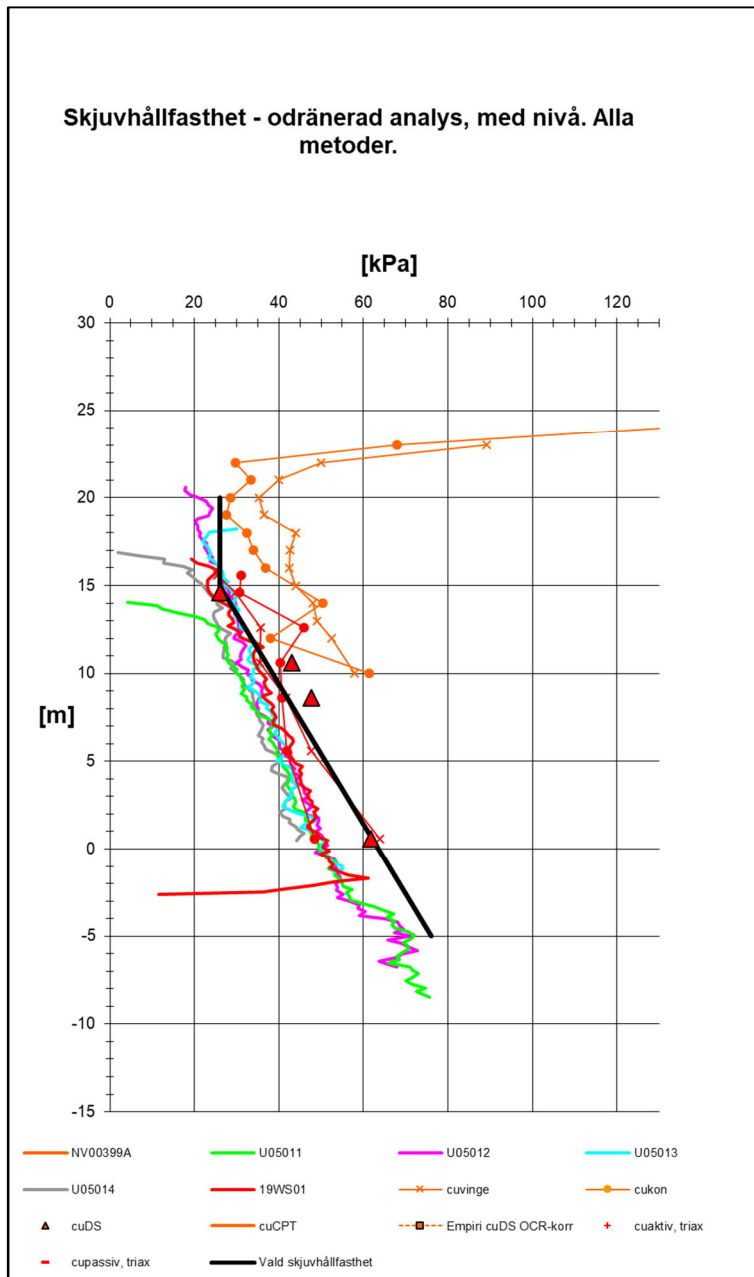
Jordlager	Egenskap	Valda värden
Let (0–2 m under markytan)	Tunghet	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_m = 18 \text{ kN/m}^3$
	Hållfasthet	$c_{uk} = 30 \text{ kPa}$ $c'_k = 0,10 * c_{uk}, \phi'_k = 30,0^\circ$
siLe1 (Från ca nivå +20)	Tunghet	$\gamma = 17,1 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_m = 17,1 \text{ kN/m}^3$
	Hållfasthet	$c_u = 26 \text{ kPa}$ $c' = 0,10 * c_u, \phi' = 30,0^\circ$
siLe2 (Från ca nivå +15)	Tunghet	$\gamma = 17,1 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_m = 17,1 \text{ kN/m}^3$
	Hållfasthet	$c_u = 26 + 2,5 * d \text{ kPa/m}$ (d=0 vid nivå +15) $c' = 0,10 * c_u, \phi' = 30,0^\circ$



Figur 19: Sammanställning av tunghet för Nabben.

Anmärkning tunghet

Viss spridning av tungheten kan ses i lerans övre delar. Variationen tros bero på att leran är siltig och i den övre delen innehåller snäckskal. Ingen hänsyn är tagen till dessa variationer vid utvärderingen då det skulle innebära en allt för komplex beräkningsmodell med flera små skikt och därför har medelvärdet valts.



Figur 20: Sammanställning av skjuvhållfasthet för Nabben.

Anmärkning skjuvhållfasthet

Generellt visar de olika metoderna god samstämmighet med varandra även om viss spridning förekommer. Vid utvärdering av skjuvhållfasthet har störst vikt lagts åt resultaten från direkta skjuvförsök och vingförsök, vilket medför att valt värde ligger något över medelvärdet.

Anmärkning avvikelser

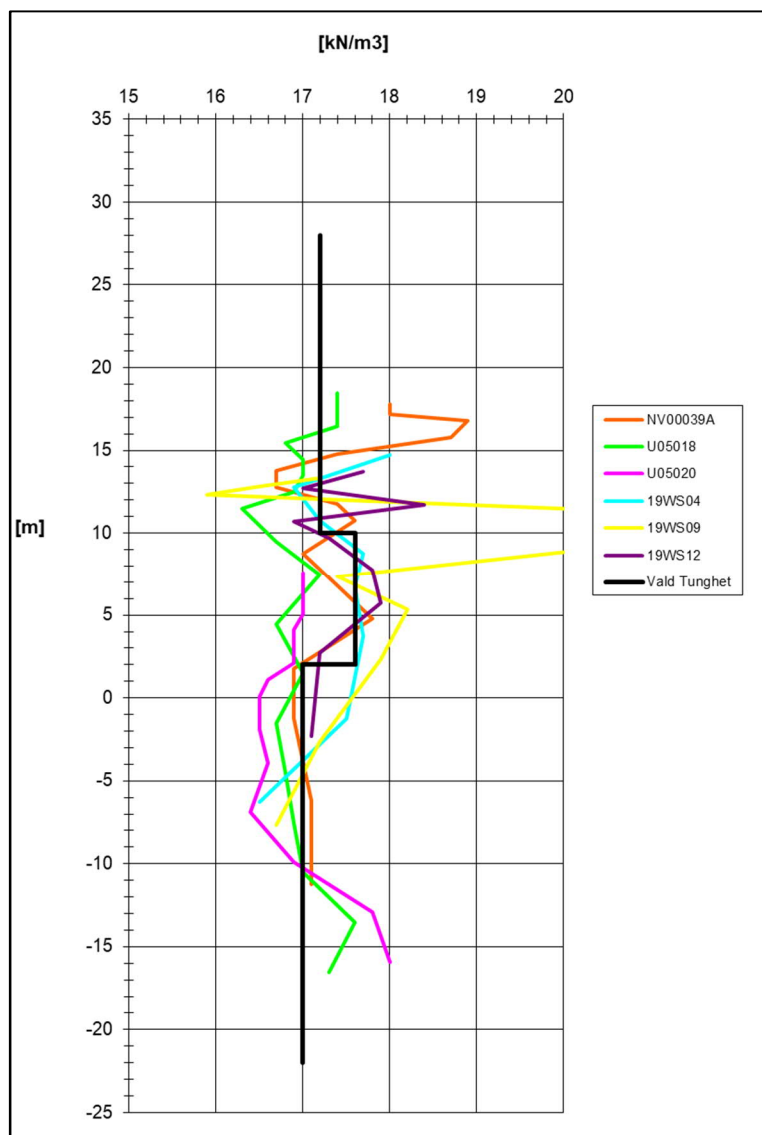
Eftersom nabben utgörs av en kulle har den centralt en mäktigare torrskorpa. Tidigare utförd borrpunkt NV00399A visar generellt högre värden på vinge och kolv. Detta beror troligen på att punkten är tagen på toppen av kullen där torrskorpan är mäktigast.

9.3.3 Materialparametrar Åkern

För en sammanställning av valda materialparametrar se Tabell 3, Figur 21 och Figur 22.

Tabell 3: Sammanställning av valda materialparametrar för delområdet Åkern.

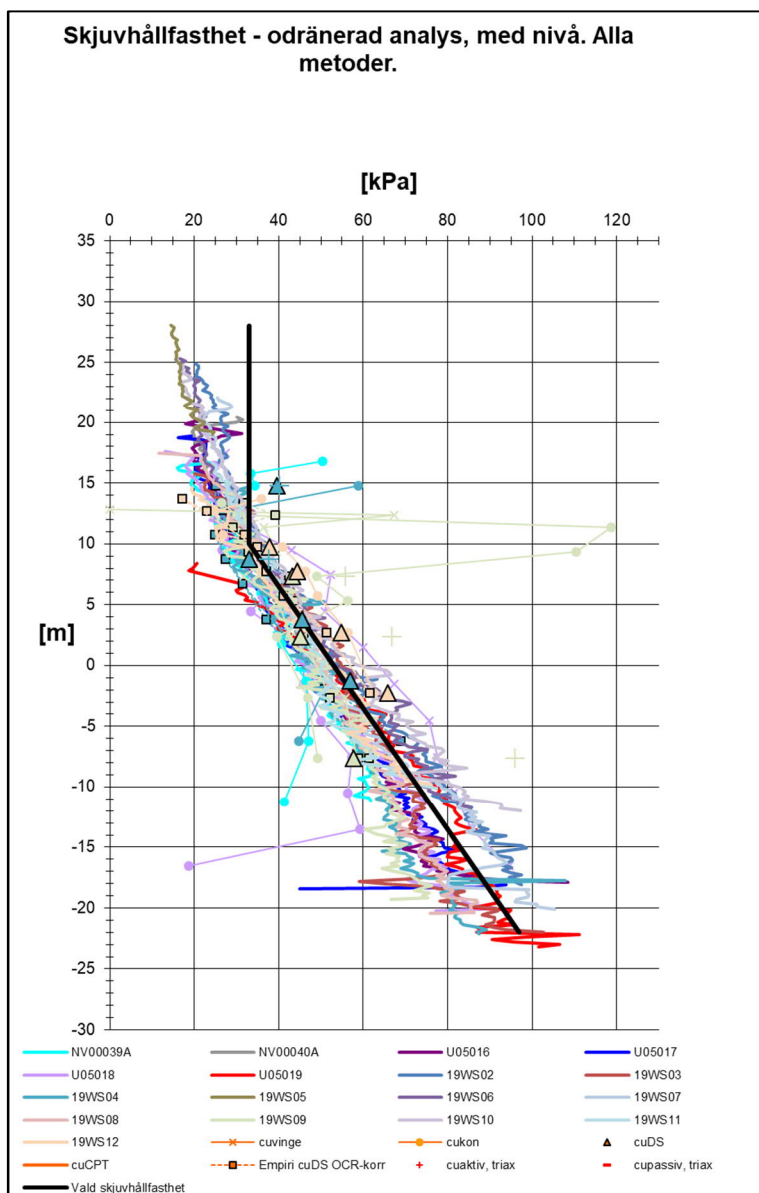
Jordlager	Egenskap	Valda värden
Let (0 – 1-2 m under markytan)	Tunghet	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_m = 18 \text{ kN/m}^3$
	Hållfasthet	$c_{uk} = 30 \text{ kPa}$ $c'_k = 0,10 * c_{uk}, \phi'_k = 30,0^\circ$
siLe1 (Från ca nivå +28)	Tunghet	$\gamma = 17,2 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_m = 17,2 \text{ kN/m}^3$
	Hållfasthet	$c_u = 33 \text{ kPa}$ $c' = 0,10 * c_u, \phi' = 30,0^\circ$
siLe2 (Från ca nivå +10)	Tunghet	$\gamma = 17,6 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_m = 17,6 \text{ kN/m}^3$
	Hållfasthet	$c_u = 33 + 2 * d \text{ kPa/m (d=0 vid nivå +10)}$ $c' = 0,10 * c_u, \phi' = 30,0^\circ$
siLe3 (Från ca nivå +2)	Tunghet	$\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_m = 17 \text{ kN/m}^3$
	Hållfasthet	$c_u = 49 + 2 * d \text{ kPa/m (d=0 vid nivå +2)}$ $c' = 0,10 * c_u, \phi' = 30,0^\circ$



Figur 21: Sammanställning av tunghet för Åkern.

Anmärkning tunghet

Enligt utförda rutinförsök varierar lerans tunghet mellan 17 och 18 kN/m^3 ner till nivå + 3. Därunder minskar tungheten något och varierar mellan 16,8 till 17,5. Spridning tros bero på lerans siltinnehåll och att det förekommer inslag av snäckskal i delar av lerprofilen. Tungheten är vald baserad på medelvärden för att undvika en allt för komplex beräkningsmodell med flera små skikt med olika tunghet.



Figur 22: Sammanställning av skjuvhållfasthet för Åkern.

Anmärkning skjuvhållfasthet

Generellt visar de olika metoderna god samstämmighet med varandra även om viss spridning förekommer. Vid utvärdering av skjuvhållfasthet har störst vikt lagts åt resultaten från direkta skjuvförsök. Direkta skjuvförsök ligger något över eller i linje med resultat från utförda ving- och konförsök och CPT. Samtliga metoder visar på en likartad ökning med djupet.

Anmärkning avvikelser

Störst avvikelse finns i borrhål 19WS09 kring nivå +13. Här har ett siltskikt påträffats vilket bland annat ger högre värden på tunghet och skjuvhållfasthet. Siltskiktet medräknas inte i jordmodellen, då skiktet går längs med slänkrönet och har således en försumbar påverkan på stabiliteten som kontrolleras tvärs slänkrönet.

I borrhål 19WS09 visar det direkt skjuvförsöket på 25m djup (Nivå -8) ett lägre värde. Mindre vikt har lags vid detta försök då brottkurvan (se MUR bilaga 5) visar ett tvärt brott som skiljer sig i utseende jämfört

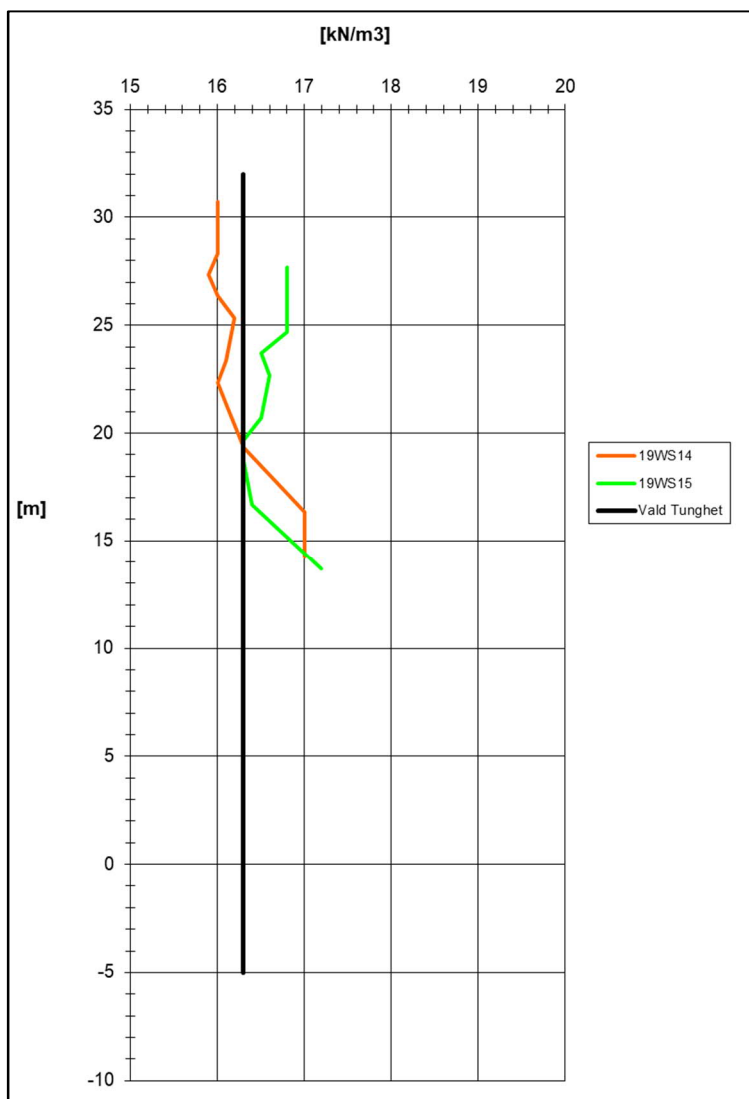
med övriga brottkurvor på direkta skjuvförsök i området. Därtill avviker resultat från den generella trenden som övriga undersökningar uppvisar.

9.3.4 Materialparametrar Ravinen

För en sammanställning av valda materialparametrar se Tabell 4, Figur 23 och Figur 24.

Tabell 4: Sammanställning av valda materialparametrar för delområdet Ravinen.

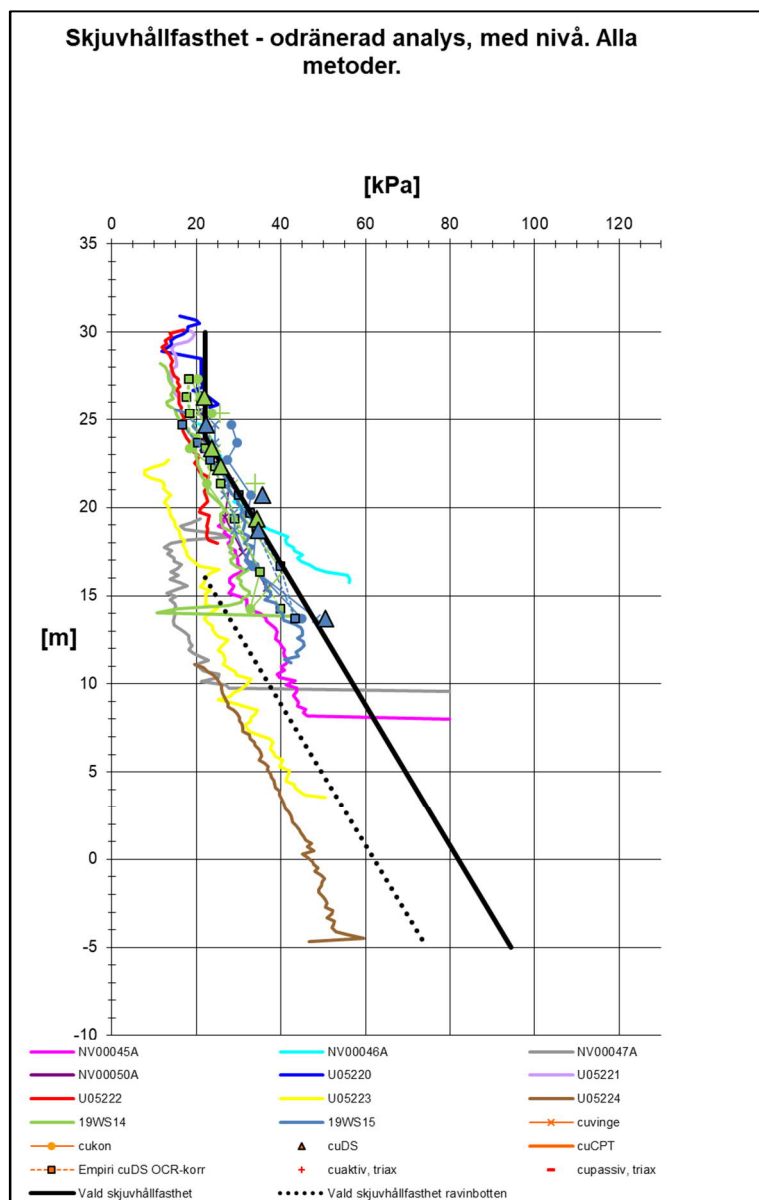
Jordlager	Egenskap	Valda värden
Let (0 – 2 m under markytan)	Tunghet	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_m = 18 \text{ kN/m}^3$
	Hållfasthet	$c_{uk} = 30 \text{ kPa}$ $c'_k = 0,10 * c_{uk}, \phi'_k = 30,0^\circ$
siLe1 (Från ca 2 m djup)	Tunghet	$\gamma = 16,3 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_m = 16,3 \text{ kN/m}^3$
	Hållfasthet	$c_u = 22 \text{ kPa}$ $c' = 0,10 * c_u, \phi' = 30,0^\circ$
siLe2 (Från ca +24)	Tunghet	$\gamma = 16,3 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_m = 16,3 \text{ kN/m}^3$
	Hållfasthet	$c_u = 22 + 2,5 * d \text{ kPa/m (d=0 vid +24)}$ $c' = 0,10 * c_u, \phi' = 30,0^\circ$
siLe3 (Från ca +16 i ravinbotten)	Tunghet	$\gamma = 16,3 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_m = 16,3 \text{ kN/m}^3$
	Hållfasthet	$c_u = 22 + 2,5 * d \text{ kPa/m (d=0 vid +16)}$ $c' = 0,10 * c_u, \phi' = 30,0^\circ$



Figur 23: Sammanställning av tunghet för Ravinen.

Anmärkingar tunghet

Tungheten är utvärderad från laboratorieförsök på ostörda prover upptagna i två punkter. Resultaten från dessa visar att lerans tunghet varierar mellan 16 till 17 kN/m³, varvid det är svårt att utläsa en tydlig trend i området. Således har lerans tunghet i delområdet baserats på medelvärden från utförda rutinförsök.



Figur 24: Sammanställning av skjuvhållfasthet för Ravinen.

Anmärkning skjuvhållfasthet

Generellt visar resultaten från försök och sonderingar en god samstämmighet, även om viss spridning i resultaten noterats. Denna anses dock motsvara den naturliga spridning som förväntas i området. Vid val av odränerad skjuvhållfasthet har störst vikt lagts vid resultat från direkta skjuvförsök, som anses ge ett mer säkert värde på cu jämfört med övriga metoder. Resultaten för direkta skjuvförsöken ligger i sammanställningen något högre än, eller i linje med, utförda CPT-sonderingar och vingförsök.

Avvikelser

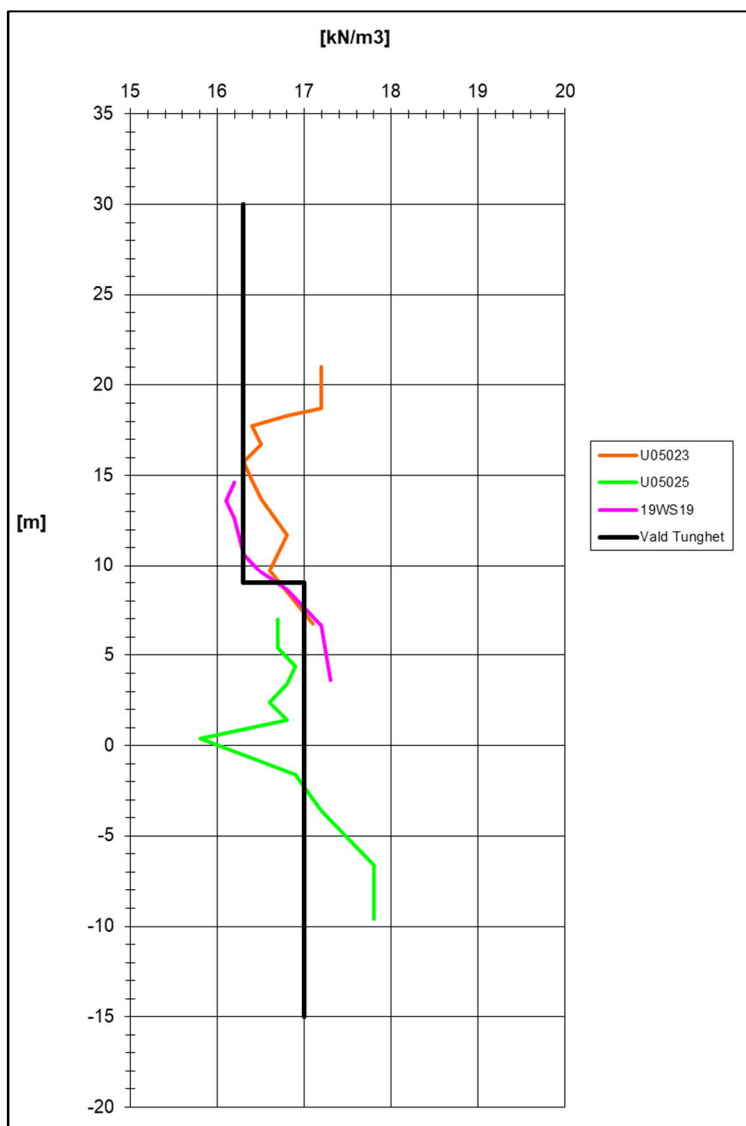
Borrhål U05223 och U05224 är utförda nere i ravinbotten och visar en förskjuten kurva jämfört med resultat från intilliggande sonderingspunkter. Detta tas hänsyn till genom att hållfastheten här antas nivårelaterad med samma startvärde och ökning med djupet som resten av sektionen men med startnivån förskjuten till +16 jämfört med +24.

9.3.5 Materialparametrar Söder

För en sammanställning av valda materialparametrar se Tabell 5, Figur 25 och Figur 26.

Tabell 5: Sammanställning av valda materialparametrar för delområdet Söder.

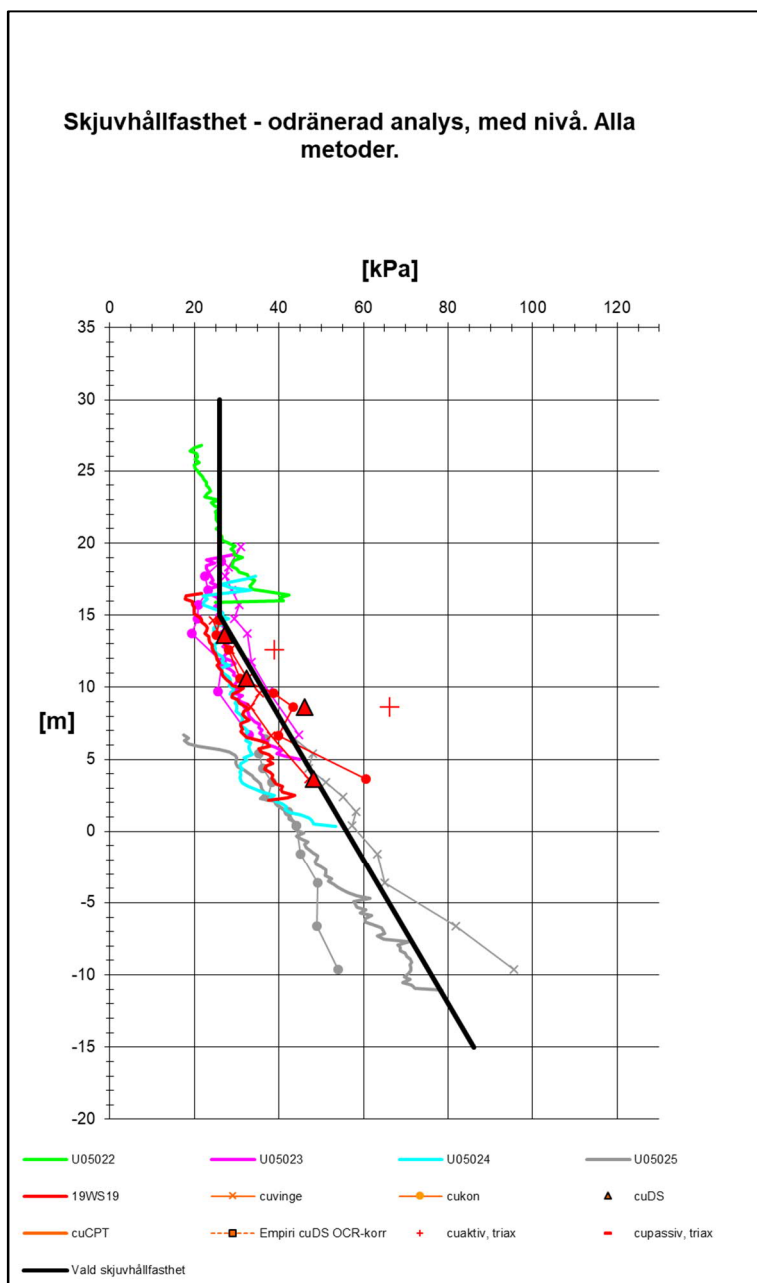
Jordlager	Egenskap	Valda värden
Let (0 – 1-2 m under markytan)	Tunghet	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_m = 18 \text{ kN/m}^3$
	Hållfasthet	$c_{uk} = 30 \text{ kPa}$ $c'_k = 0,10 * c_{uk}, \phi'_k = 30,0^\circ$
siLe1 (Från ca nivå +30)	Tunghet	$\gamma = 16,3 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_m = 16,3 \text{ kN/m}^3$
	Hållfasthet	$c_u = 26 \text{ kPa}$ $c' = 0,10 * c_u, \phi' = 30,0^\circ$
siLe2 (Från ca nivå +15)	Tunghet	$\gamma = 16,3 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_m = 16,3 \text{ kN/m}^3$
	Hållfasthet	$c_u = 26 + 2 * d \text{ kPa/m}$ (d=0 vid nivå +10) $c' = 0,10 * c_u, \phi' = 30,0^\circ$
siLe3 (Från ca nivå +9)	Tunghet	$\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_m = 17 \text{ kN/m}^3$
	Hållfasthet	$c_u = 38 + 2 * d \text{ kPa/m}$ (d=0 vid nivå +2) $c' = 0,10 * c_u, \phi' = 30,0^\circ$



Figur 25: Sammanställning av tunghet för Söder.

Anmärkingar tunghet

Tungheten är utvärderad från laboratorieförsök på ostörda prover upptagna i 3 punkter. Resultaten från dessa visar att lerans tunghet varierar mellan 16,2 till 16,8 kN/m^3 . Viss ökningen av tungheten kan ses med djupet och närmast friktionslagret i botten är lerans tunghet över 17 kN/m^3 . Tungheten har generellt valts baserad på medelvärde.



Figur 26: Samanställning av skjuvhållfasthet för Söder.

Anmärkning skjuvhållfasthet

Generellt visar resultaten från försök och sonderingar en god samstämmighet, även om viss spridning i resultaten noterats. Denna anses dock motsvara den naturliga spridning som förväntas i området. Vid val av odränerad skjuvhållfasthet har störst vikt lagts vid resultat från direkta skjuvförsök och vingförsök då dessa ger en samstämmig bild av leran skjuvhållfasthet i hela jordprofilen.

Avvikelser

Resultaten från tidigare utförda konförsök, punkt U05023, visar en något lägre hållfasthet jämfört med vingförsök utförda i samman punkt. Vingförsöken följer dock de direkta skjuvförsöken bättre, vilket medför att mindre vikt har lagts vid de tidigare utförda konförsöken vid valet av odränerad skjuvhållfasthet.

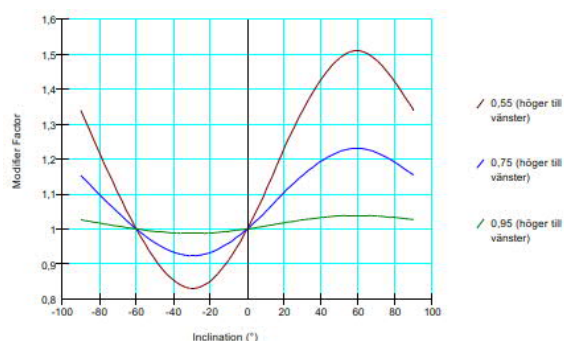
9.4 VALD ANISOTROPI

Lerans anisotropi har beaktats i samtliga beräkningar i alla områden förutom Nabben, där inga Triaxialförsök är utförda. Anisotropin är inlagd i beräkningsmodellen på det sätt som finns presenterad i Skredkommissionen rapport 3:95. Valda indata på K_0 är framtagna med ledning från utvärderade triaxialförsök som finns redovisade i Tabell 1. Vald K_0 samt vilken anisotropieffekten det representerar för respektive delområde framgår av Tabell 6–8 och Figur 27–30.

9.4.1 Vald anisotropi Åkern

Tabell 6: Vald anisotropi för delområdet Åkern.

Skjuvytans lutning, α [°]	Ändringsfaktor - Åkern		
	siLe1	siLe2	siLe3
	$K_0=0,95$	$K_0=0,75$	$K_0=0,55$
-90	1,03	1,15	1,34
-60	1,00	1,00	1,00
-30	0,99	0,92	0,83
-20	0,99	0,93	0,85
-10	0,99	0,96	0,91
0	1,00	1,00	1,00
10	1,01	1,05	1,11
20	1,02	1,10	1,23
30	1,03	1,15	1,34
40	1,03	1,19	1,43
50	1,04	1,22	1,49
60	1,04	1,23	1,51
90	1,03	1,15	1,34

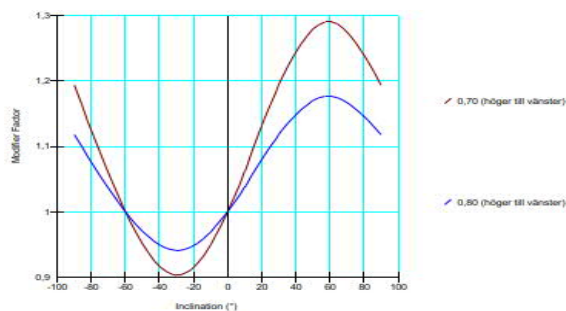


Figur 27: Vald anisotropi för delområdet Åkern.

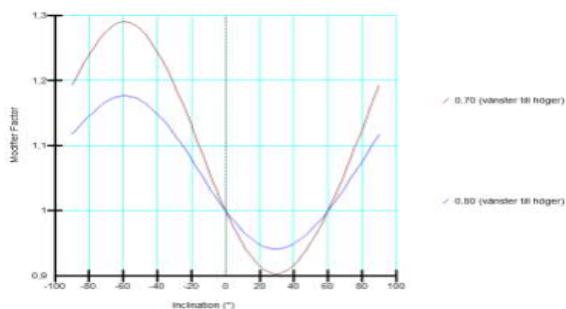
9.4.2 Vald anisotropi Ravinen

Tabell 7: Vald anisotropi för delområdet Ravinen.

Skjuvytans lutning, α [°]	Ändringsfaktor - Ravinen			
	siLe1	siLe1	siLe2-3	siLe2-3
	$K_0=0,80$ H - V	$K_0=0,80$ V - H	$K_0=0,70$ H - V	$K_0=0,70$ V - H
-90	1,12	1,12	1,19	1,19
-60	1,00	1,18	1,00	1,29
-30	0,94	1,12	0,90	1,19
-20	0,95	1,08	0,91	1,13
-10	0,97	1,03	0,95	1,06
0	1,00	1,00	1,00	1,00
10	1,04	0,97	1,06	0,95
20	1,08	0,95	1,13	0,91
30	1,12	0,94	1,19	0,90
40	1,15		1,24	
50	1,17		1,28	
60	1,18	1,00	1,29	1,00
90	1,12	1,12	1,19	1,19



Figur 28: Vald anisotropi för delområdet Ravinen.

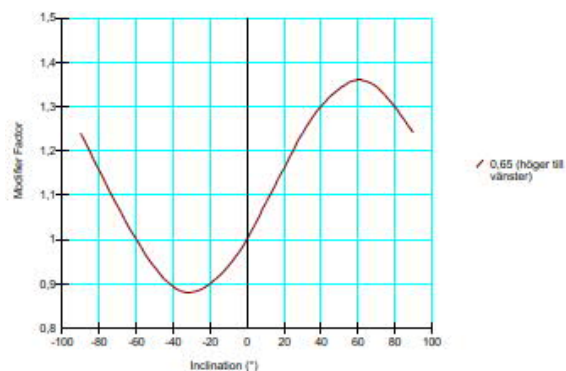


Figur 29: Vald anisotropi för delområdet Ravinen.

9.4.3 Vald anisotropi Söder

Tabell 8: Vald anisotropi för delområdet Söder.

Skjuvytans lutning, α [°]	Ändringsfaktor - Söder
	siLe1, siLe2 och siLe3
	$K_0=0,65$
-90	1,03
-60	1,00
-30	0,99
-20	0,99
-10	0,99
0	1,00
10	1,01
20	1,02
30	1,03
40	1,03
50	1,04
60	1,04
90	1,03



Figur 30: Vald anisotropi för delområdet Söder.

9.5 VALDA PORTRYCK

Under älvbotten anses ett hydrostatiskt grundvattentryck råda som motsvarar en fri vattenyta i älven på +6,6, vilket representerar älvens sänkningsgräns vid Lilla Edets kraftverk. Vidare har torrskorpan i området antagits vara uppsprucken och vattenfylld till hälften. Sammanställning av utvärderad portryck redovisas i Bilaga 5.

9.5.1 Portryck Nabben

Portrycket har antagits hydrostatiskt från underkant torrkorpa. Eftersom ingen portrycksstation finns installerade uppe på Nabben utan närmaste är installerad i Åkerns norra del.

Anmärkning

Ett hydrostatiskt ansatt portryck bedöms ge resultat på säkra sidan vid beräkning i kombinerad analys. Detta till följd av att portryckssituationen närmast släntkrön i samtliga riktningar troligtvis uppvisar ett likande beteende som för intilliggande område Åkern, där ett hydrodynamiskt portryck, något lägre än hydrostatisk, uppmätts vid släntkrön.

9.5.2 Portryck Åkern

Portrycket har i läget för älven antagits hydrostatiskt motsvarande vattennivå i älven.

Utmed släntkrön har portrycket i punkt 19WS09 primärt fått representera portryckssituationen vid släntkrön. Mätningarna visar på ett hydrostatiskt portryck ner till mellan 5 och 10 m, se Figur 4.

Från släntkrön och ca 100 m inåt land medräknas en gradvis övergång till hydrostatiska förhållanden, med en grundvattenyta som sammanfaller med underkant torrskorpa. Därefter antas det råda hydrostatiska portrycksförhållanden från underkant torrskorpa bak till sektionernas avslut mot fastmarken.

I sektion V16/830 som ligger i södra delen av åkern har mätvärden från de intilliggande punkterna NV00042-43A (strandkant) och NV00048-49A (släntkrön), fått representera portrycksituationen. då dessa uppvisar ett likartat beteende som mätningar i punkt 19WS09.

9.5.3 Portryck Ravinen

Vid ravinen har portrycksmätningar i punkterna NV00048-49A och 19WS14 nyttjats för att beskriva portryckssituationen i delområdet. Dessa är lokaliserade på släntkrön på vardera sida om ravinen och visar på en portrycksökning med djupet som är något lägre än hydrostatiskt, liknande den portryckssituation som anses råda för Åkern.

I ravinens botten har en hydrostatisk portrycksprofil antagits som motsvarande en fri grundvattenyta i markytan. Bakom släntkrön i riktning mot fastmarkspartierna har en gradvis övergång mot en hydrostatisk portrycksprofil valts.

9.5.4 Portryck Söder

I delområde söder har portryckförhållandena valts utefter mätningar i portrycksstationen U05023, se Bilaga 5, vilken visar en hydrostatisk portrycksprofil från 1 m under markytan.

I strandkant närmast älven har portrycksförhållandena valts med ledning av mätningar i U05025 från tidigare utredning, se Bilaga 5. Mätningarna visar att portrycket vid älven är hydrostatiskt genom leran och följer nivån i älven.

9.6 BERÄKNINGSRESULTAT

Stabilitetsberäkningar utförda med både kombinerad och odränerad analys redovisas i Bilaga 6. I nedanstående kapitel redovisas resultaten från dessa beräkningar.

9.6.1 Resultat Nabben

Resultat redovisas i Tabell 9 nedan.

Tabell 9: Sammanställning av resultaten från beräkningarna utförda för delområdet Nabben.

Område	Filnamn/sektion	Beskrivning	Säkerhetsfaktor
Nabben	16020VUB1	Odränerad analys – Utan anisotropi	1,58
Nabben	16020VKB1	Kombinerad analys – Utan anisotropi	1,47
Nabben	16020VKB2	Kombinerad analys undervattenslänt – Utan anisotropi	1,53

Anmärkning

Samtliga analyser visar på en säkerhetsfaktor som uppfyller kraven. Kritiska glidytor går dock genom kvicklera.

9.6.2 Beräkningsresultat Åkern

En sammanställning av resultaten från utförda beräkningar kan ses i Tabell 10 nedan.

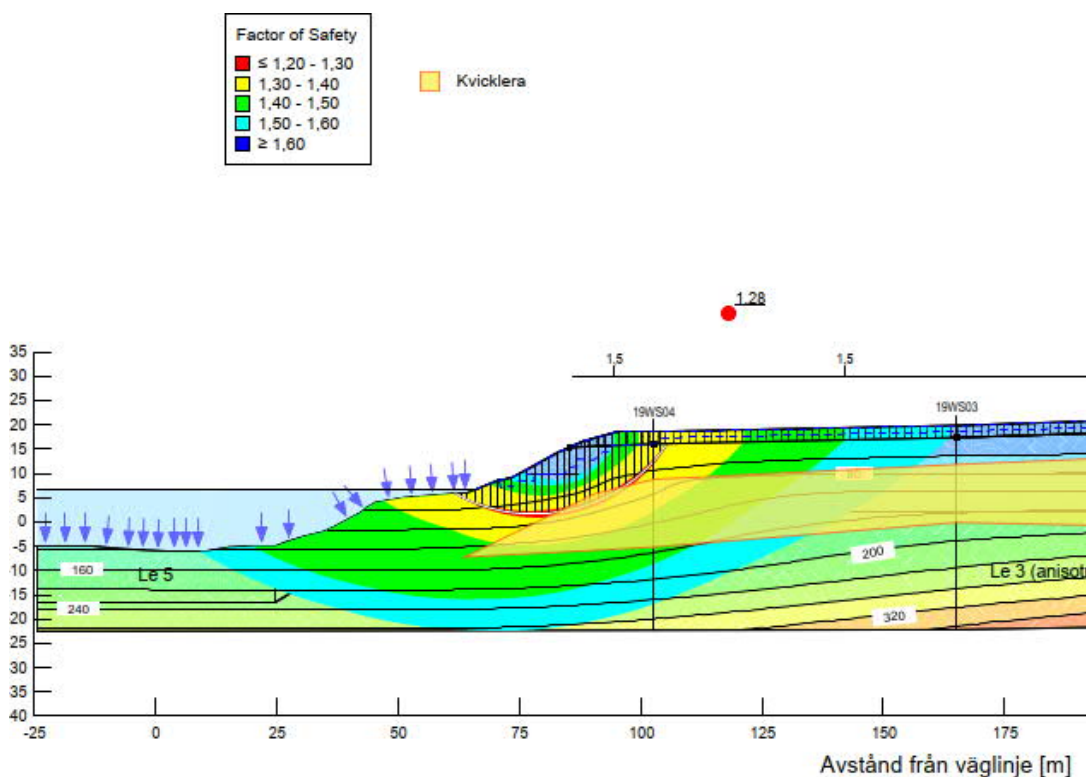
Tabell 10: Sammanställning av resultaten från beräkningarna utförda för delområdet Åkern.

Område	Filnamn/sektion	Beskrivning	Säkerhetsfaktor
Åkern	16220VUB2	Odränerad analys – Med anisotropi	1,28
Åkern	16220VKB1	Kombinerad analys – Utan anisotropi	1,13
Åkern	16220VKB2	Kombinerad analys – Med anisotropi	1,19
Åkern	16220VKB3	Kombinerad analys undervattenslänt – Med anisotropi	1,38
Åkern	16320VUB2	Odränerad analys – Med anisotropi	1,50
Åkern	16320VKB1	Kombinerad analys – Utan anisotropi	1,30
Åkern	16320VKB2	Kombinerad analys – Med anisotropi	1,37
Åkern	16320VKB3	Kombinerad analys undervattenslänt – Med anisotropi	1,24
Åkern	16600VUB2	Odränerad analys – Med anisotropi	1,71
Åkern	16600VKB1	Kombinerad analys – Utan anisotropi	1,56
Åkern	16600VKB2	Kombinerad analys – Med anisotropi	1,63
Åkern	16600VKB3	Kombinerad analys undervattenslänt – Med anisotropi	1,59

Anmärkingar

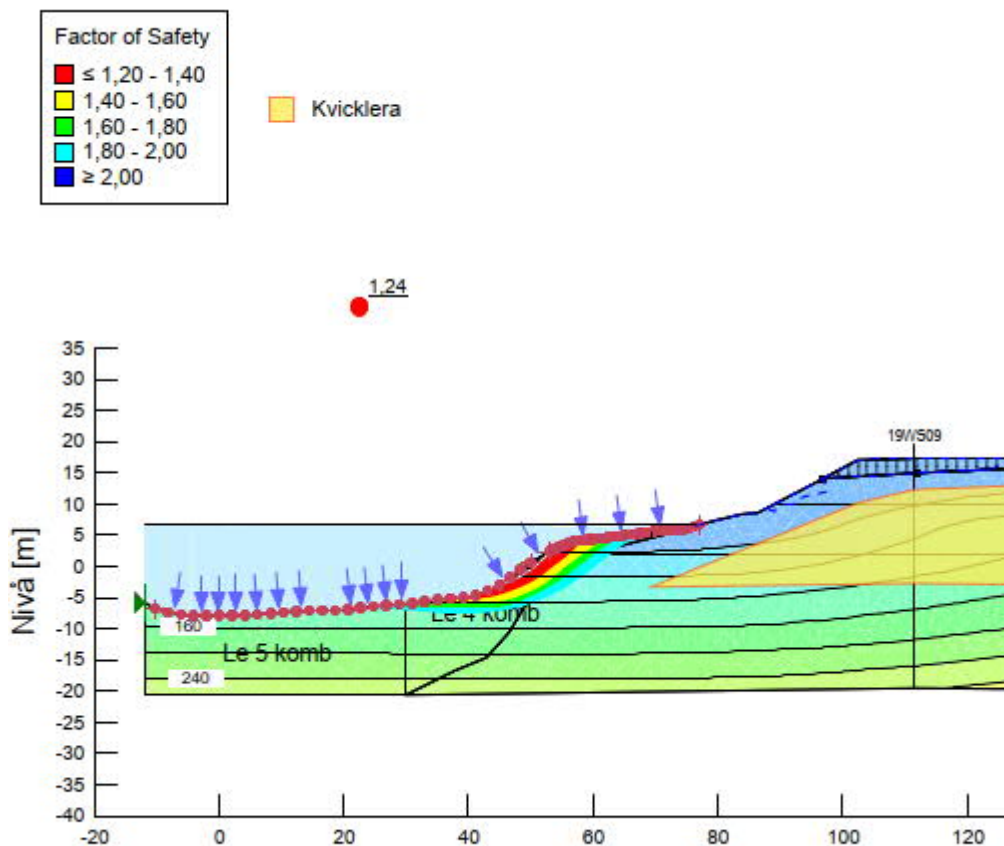
Kraven avseende erforderlig säkerhetsfaktor uppfylls inte i sektionerna V16/220. För utbredning/avgränsning kritiska glidytor i plan, se Bilaga 7.

Kvicklera finns i samtliga sektioner och de kritiska glidytorna tangerar i princip kvickleran, se exempel från sektion V16/220 i Figur 31: Det innebär att primära skred i längs släntkrön kan utlösa bakåtgripande/sekundära skred, se vidare kap 10 där sekundära skred utvärderas.



Figur 31: Exempel beräkning av kritisk glidytta sektion V16/220 – Odränerad analys.

I sektion V16/320 uppfylls inte kraven avseende erforderlig säkerhetsfaktor för undervattensslänten. Kritiska glidyten är dock ytlig och utgör en liten jordvolym och den når inte kvickleran, se utdrag från beräkning i Figur 32 nedan. Ett eventuellt undervattensskred bedöms således ha liten påverkan på totalstabiliteten.



Figur 32 - Utdrag från beräkning av undervattensslänt sektion V16/320 – Beräkning odränerad analys

9.6.3 Ravinen

En sammanställning av resultaten från utförda beräkningar kan ses i Tabell 11 nedan.

Tabell 11: Sammanställning av resultaten från beräkningarna utförda för delområdet Ravinen.

Område	Filnamn/sektion	Beskrivning	Säkerhetsfaktor
Ravinen	16730VUB3	Odränerad analys – Med anisotropi, Höger	1,67
Ravinen	16730VUB4	Odränerad analys – Med anisotropi, Vänster	1,44
Ravinen	16730VKB1	Kombinerad analys – Utan anisotropi, Höger	1,54
Ravinen	16730VKB2	Kombinerad analys – Utan anisotropi, Vänster	1,30
Ravinen	16730VKB3	Kombinerad analys– Med anisotropi, Höger	1,61
Ravinen	16730VKB4	Kombinerad analys– Med anisotropi, Vänster	1,35
Ravinen	16830VUB2	Odränerad analys – Med anisotropi, mot älven	1,37
Ravinen	16830VKB2	Kombinerad analys–mot Älven	1,17
Ravinen	16830VKB2	Kombinerad analys– Med anisotropi, mot Älven	1,22
Ravinen	16830VKB3	Kombinerad analys– Med anisotropi, Undervattensslänt	3,16

Anmärkningar

Analyser i området utförda mot ravinerna visar på säkerhetsfaktorer som uppfyller kraven. Kritiska glidytor på södra sidan (Höger) skär genom kvicklera.

Analyser mot älven i sektion 16/830 uppfyller inte erforderlig säkerhetsfaktor. Marginalen är dock liten och skillnaden endast 0,03 enheter i odränerad analys och 0,08 enheter i kombinerad analys.

Utbredning/avgränsning kritiska glidytor i plan, se Bilaga 7. Undervattensslänten överstiger erforderlig säkerhetsfaktor med god marginal.

9.6.4 Beräkningsresultat söder

En sammanställning av resultaten från utförda beräkningar kan ses i Tabell 12 nedan.

Tabell 12: Sammanställning av resultaten från beräkningarna utförda för delområdet Söder.

Område	Filnamn/sektion	Beskrivning	Säkerhetsfaktor
Söder	17080VUB2	Odränerad analys – Med anisotropi	1,55
Söder	17080VKB1	Kombinerad analys – Utan anisotropi	1,29
Söder	17080VKB2	Kombinerad analys– Med anisotropi	1,30

Anmärkningar

Beräkningarna visar att säkerheten ligger kring erforderlig säkerhetsfaktor och att kraven uppnås i det fall.

Vidare konstateras att kvicklera finns i sektionen och vid beräkning utan anisotropi skär kritiska glidytor genom kvickleran.

10 UTVÄRDERING SEKUNDÄRA SKRED

Utifrån resultatet av de beräkningar som utförts har en utvärdering av vilka potentiella sekundära skred som skulle kunna uppstå utförts. Utvärderingen bygger på att skred med säkerhetsfaktor under de angivna kraven från beräkningarna skulle kunna utgöra ett initialskred som följs av ett eller flera följskred som kan ske som ett resultat av den förändring av geometri som initialskedet skulle ge.

För att utvärdera utbredningen av sekundära skred har Metodik 1 enligt bilaga till Göta älvutredningen - delrapport 32 (2011) använts. Metodiken bygger på att en begränsningslinje dras bakåt från släntfoten för det initiala skredet. Begränsningslinjen har en lutning på 1:n där n är beroende av sensitiviteten i leran. För högre sensitivitet än 100 dras begränsningslinjen med lutning 1:15 och vid högre sensitivitet än 200 bedöms hela kvickleraområdet inkluderas i de sekundära skreden.

För utvärderingen har sektion V16/220 valts ut, dels för att beräkningarna gav säkerhetsfaktorer som understiger kraven och dels för att kritiska glidytor vid beräkningarna skär områden som tolkats innehålla kvicklera.

Initiala skredet har bedömts utifrån de potentiella glidytor som har en säkerhetsfaktor som understiger 1,2. Glidytorna skär områden med tolkad kvicklera där delar av kvickleran har högre sensitivitet än 100. I övrigt ligger sensitiviteten strax över 50. För värden på sensitiviteten på 50 ges enligt metodiken ett intervall på begränsningslinjen mellan 1:7 och 1:10. Resultatet av utvärderingen kan ses i Tabell 13 nedan. För redovisning av utbredning i plan och sektion se Bilaga 8.

Tabell 13: Utvärderad utbredning sekundära skred.

Lutning på begränsningslinje	Horisontell utbredning av sekundära skred från släntfot	Horisontell utbredning av sekundära skred från väglinjen (Göta Älv)
1:7	99 m	157 m
1:10	160 m	218 m
1:15	352 m	410 m

Anmärkning

Sekundära skred når i värsta fallet ca 350m bakom släntröner eller slår i fastmark. Inga sekundära skred når befintlig bebyggelse, se Bilaga 8.

11 STABILITETSBERÄKNINGAR MED PARTIALKOEFFICIENTMETODEN

Beräkningar utförda med partialkoefficientmetoden redovisas i Bilaga 9.

11.1 SÄKERHETSFAKTOR

Vid beräkning med partialkoefficienter väljs säkerhetsfaktorer enligt: "IEG rapport 6:2008 slänter och bankar". Vid förekomst av kvicklera innebär det att säkerhetsklass 3 gäller och en säkerhetsfaktor mot skred: $F_{EN} \geq 1,1$ skall uppnås.

11.2 VALDA SEKTIONER

Kontroll med partialkoefficientmetoden har utförts i sektioner där säkerhetsfaktorn vid totalsäkerhetsanalysen understiger kraven enligt Kap 4.5.3 i DGA00XST01 "Riktlinjer för tekniskt arbete".

Det innebär att kontrollberäkningar krävs i området Åkern i sektionerna V16/220 och V16/830, där resultaten från kombinerad analys med anisotropi ej uppfyller kraven.

11.3 MATERIALPARAMETRAR

Värden på materialparametrar har valts utifrån medelvärden för delområdet till skillnad från beräkningarna med karakteristiska värden där störst vikt lades på avancerade labbförsök.

Dimensionerande värden har tagits fram enligt IEG Rapport 6:2008. Se Bilaga 9 för grafisk sammanställning.

11.4 BERÄKNINGSRESULTAT

En sammanställning av resultaten från utförda beräkningar kan ses nedan i Tabell 14.

Tabell 14: Sammanställning av resultaten från beräkningarna med partialkoefficienter.

Område	Filnamn/sektion	Beskrivning	Säkerhetsfaktor
Åkern	16220VUB4	Odränerad analys – Med anisotropi	0,95
Åkern	16220VKB4	Kombinerad analys – Med anisotropi	0,91
Ravinen	16830VUB4	Odränerad analys – Med anisotropi	0,92
Ravinen	16830VKB4	Kombinerad analys – Med anisotropi	0,85

Anmärkning

Resultaten från kompletterandeberäkningar med partialkoefficientmetoden visar att säkerhetsfaktorn inte uppnår erforderlig nivå i säkerhetsklass 3, SK3. Noteras bör att kritisk glidyta i sektion V16/220 tangerar lervolymer med kvicklera. Detta medför dock ingen ny bedömning av skredutbredning då även glidytor med totalsäkerhetsmetoden tangerar dessa lervolymer.

12 KÄNSLIGHETSANALYS

För att klargöra hur området geotekniska säkerhet påverkas av höga portrycknivåer och erosion har en känslighetsanalys utförts avseende ökade portryck och förändrad geometri.

12.1 ÖKADE PORTRYCK

Stabilitetsberäkningar avseende ökade portryck redovisas i Bilaga 10.

12.1.1 Valda sektioner

Valda sektioner för känslighetsanalys avseende portryck är V16/220 och V17/080. Dessa har valts ut för att sektion V16/220 representerar det dominerande området Åkern och sektion V17/080 representerar området Söder där även befintliga förhållanden visat på något förhöjda portryck jämfört med hydrostatiskt. Nabben utgörs av en kulle som är dränerad och bedöms därmed inte få samma effekt av en portrycksökning och Ravinen har valts bort på grund av den inte direkt påverkar Göta Älv.

12.1.2 Valt maximalt portryck

I övre akviferen och i akvitard 1 ner till cirka 5 m djup har en maximal grundvattenyta valts lika med marknivån och med en hydrostatisk portrycksfördelning.

Portrycket i undre akvifer tolkas med ledning av breddnivån, men begränsas till maximalt 2m över markytan (motsvarar i praktiken ca 20-30kPa), för att ta hänsyn till de friktionsförluster som ökar i takt med att avståndet ökar till bräddnivån.

Mellan akvitard 1 och undre akviferen (friktionsjorden) antas ett linjärt samband.

12.1.3 Beräkningsresultat

En sammanställning av utförda beräkningar kan ses nedan i Tabell 15.

Tabell 15: Sammanställning av resultaten från känslighetsanalys portryck.

Område	Filnamn/ sektion	Säkerhetsfaktor	Befintliga förhållanden	Förändring (%)
Åkern	16220VKB5	1,11	1,19	-5,9
Söder	17080VKB4	1,21	1,30	-6,9

Anmärkingar

Känslighetsanalysen ger en negativ förändring av säkerhetsfaktorn i storleksordningen 6 till 7 %. För en portryckshöjning motsvarande 2m över markytan eller ca 20–30 kPa.

I området Söder innebär portrycksökningen att erforderlig säkerhetsfaktor ej uppnås.

12.2 EROSION

En känslighetsanalys har utförts med avseende på förändrad geometri i älvbotten till följd av erosion. Känslighetsanalysen har utförts med förändringar av bottengeometrin enligt typsektion B1-1 i tabell 4.2 i DGA00XST01 "Riktlinjer för tekniskt arbete", se Figur 33. Beräkningarna redovisas i Bilaga 11.

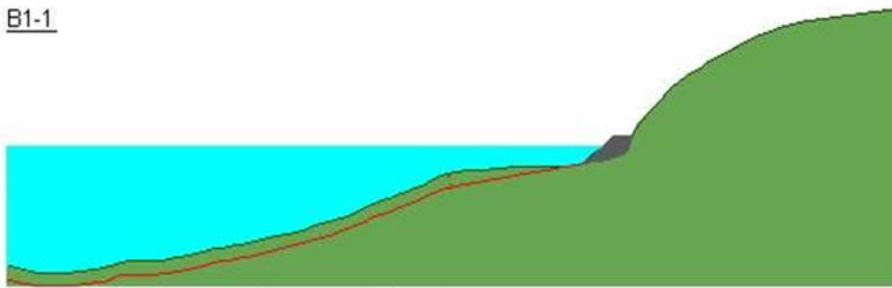
12.2.1 Valda sektioner

Valda sektioner för känslighetsanalys avseende erosion är V16/220 & V16/830. Dessa sektionerna har valts ut för att de enligt utförda beräkningar har lägst säkerhetsfaktor samt att dessa har ogynnsam bottengeometrin med en "hylla" som är känslig för erosion, och dessutom utgöra ett mothåll i beräkningarna. I dessa sektioner anses således erosionen ge en större påverkan på stabiliteten jämfört med exempelvis en sektion med mer jämn bottenprofil.

12.2.2 Vald geometrisk förändring

Beräkningar är utförda för erosion motsvarande 1 och 2 m sänkning av älvens bottenivå, se röd linje i Figur 33 nedan.

B1-1



Figur 33: Typsektion B1-1 från i tabell 4.2 i DGA00XST01 "Riktlinjer för tekniskt arbete".

12.2.3 Beräkningsresultat

En sammanställning av utförda beräkningar kan ses i Tabell 16 nedan.

Tabell 16: Sammanställning av resultaten från känslighetsanalys erosion.

Område	Filnamn/ sektion	Beskrivning	Säkerhetsfaktor	Befintliga förhållanden	Förändring (%)
Åkern	16220VKB6	1m erosion	1,18	1,19	-0,8
Åkern	16220VKB7	2m erosion	1,18	1,19	-0,8
Åkern	16830VKB6	1m erosion	1,22	1,22	0
Åkern	16830VKB7	2m erosion	1,22	1,22	0

Anmärkning

Erosion av älvbotten verkar ha ingen eller endast liten påverkan på totalstabiliteten. Sannolikt på grund av att den mothållande volymen motsvarande 1–2 m erosion är liten i förhållande till glidyttans totala volm. Förändringen ligger i storleksordningen 0 till 1 %.

13 ÅTGÄRDSFÖRSLAG

Tidigare har exempelvis avschaktning, stödfyllning samt utökande av erosionsskydd föreslagits som möjliga åtgärder för att förbättra stabiliteten i Göta älvutredningen. För Intagan föreslås avschaktning som den lämpligaste åtgärden. Åtgärden förslås då den bedöms var den praktiskt mest tillämpbara. Då Utökat erosionsskydd och stödfyllning skulle led till komplicerat utförande under vatten.

Vid beräkningar med befintliga förhållanden uppnås inte tillfredställande säkerhet i sektion V16/220 och V16/830 varvid dessa har valts ut för beräkningar med tillämpad åtgärd i form av avschaktning.

Beräkningarna har utförts enligt totalsäkerhetsmetoden samt partialkoefficientmetoden med odränerad och kombinerad analys. En sammanställning av resultaten av beräkningarna kan ses i Tabell 17 nedan.

Beräkningarna i sin helhet redovisas i Bilaga 12.

Tabell 17: Sammanställning av beräkningar med åtgärdsförslag.

Område	Filnamn/sektion	Beskrivning	Säkerhetsfaktor
Totalsäkerhetsmetoden			
Åkern	16220VUA1	Odränerad analys – Med anisotropi	1,41
Åkern	16220VKA1	Kombinerad analys – Med anisotropi	1,30
Ravinen	16830VUA1	Odränerad analys – Med anisotropi	1,52
Ravinen	16830VKA1	Kombinerad analys – Med anisotropi	1,34
Partialkoefficientmetoden			
Åkern	16220VUA2	Odränerad analys – Med anisotropi	1,07
Åkern	16220VKA2	Kombinerad analys – Med anisotropi	1,00
Rvinen	16830VUA2	Odränerad analys – Med anisotropi	0,92
Ravinen	16830VKA2	Kombinerad analys – Med anisotropi	1,02

Enligt IEG rapport 4:2010 kap 4.5.2.4 finns möjlighet att projektera åtgärder enligt totalsäkerhetsanalys då det kan vara svårt för befintliga anläggningar och exploatering att nå krav för nyexploatering. Vid beräkning av åtgärder har således totalsäkerhetsmetoden fått styra omfattningen på åtgärden och beräkningen med partialkoefficienter är med som en jämförelseberäkning.

I sektion V16/220 föreslås en horisontell avschaktning på 2m (ned till nivå ca +17,2) och med längden 30 m från släntrön i sektion ger det en area på ca 60 m². I plan är bredden på urschaktningen ca 200m. Total urschaktad volym blir ca 12 000 m³.

För sektion V16/830 har föreslagits avschaktning till ny slänt med lutning 1:10 som utgår från nivå +19,5 i befintlig slänt. Genomsnittlig höjd på avschaktningen är ca 1m och längden är ca 80m. I sektion ger det en area på ca. I plan är bredden ca 170m. Total urschaktad volym blir ca 13 600m³.

14 SAMMANFATTNING

Kraven för säkerhetsfaktorn på $F_c \geq 1,4$ och $F_{komb} \geq 1,3$ uppfylls i alla beräknade sektioner förutom V16/220 och V16/830 samt V16/320 (undervattenslänt). I sektion V16/220 berör potentiella skred områden med kvicklera vilken skulle kunna initiera sekundära skred. Detsamma gäller sektion V16/830, då även om undersökningarna inom sektionen inte indikerat förekomst av kvicklera så kan potentiella skred här vara av så stor omfattning att närliggande områden med kvicklera berörs. Sekundära skred bedöms kunna nå ca 350 m bakom släntkrön, dock utan att beröra befintliga byggnader.

Vid känslighetsanalyser avseende förhöjda portryck samt erosion i älven har detta visat sig påverka säkerhetsfaktorn i en storlek av 6–7 % respektive 0–1 %. En sammanställning av utförda beräkningar med totalsäkerhetsmetoden kan ses i Tabell 18.

Tabell 18: Sammanställning av utförda beräkningar med totalsäkerhetsmetoden. Röd text indikerar beräkningar där kraven ej uppfyllts.

Sektion	Odränerad Anisotropi	Kombinerad Utan Anisotropi	Kombinerad Anisotropi	Extremvärden Portryck
V16/020	-	1,47	-	-
V16/220	1,28	1,13	1,19	1,11
V16/320	1,50	1,30	1,37	-
V16/600	1,71	1,56	1,63	-
V16/730 H-V	1,67	1,54	1,61	-
V16/730 V-H	1,44	1,30	1,35	-
V16/830	1,37	1,17	1,22	-
V17/080	1,55	1,29	1,30	1,21
Krav	1,4	1,3	1,3	1,3

Jämförs resultaten från beräkningarna med resultaten från Göta älvutredningen fås generellt en ökning av säkerhetsfaktorn med 30–90% med undantag av sektionen V16/830 där en sänkning av säkerhetsfaktorn fås på ca 5%. Den generella ökningen bedöms bero på högre antagen skjuvhållfasthet som grundas på de utförda avancerade laborationsförsöken samt en annan tolkning av jordprofilens indelning. Till det har även nya portrycksmätningar kunnat ge en bättre bild av grundvattenförhållandena i området vilket kan ha bidragit till ökningen av säkerhetsfaktorn.

En sammanställning av jämförelser av säkerhetsfaktorer från beräkningar utförda i Göta älvutredningen med nu utförda beräkningar redovisas i Tabell 19.

Tabell 19: Jämförelse av säkerhetsfaktorer från beräkningar utförda i Göta älvutredningen med resultaten från nu utförda beräkningar. *utan anisotropi

Sektion	F_c GÄU	F_c anisotropi	F_{komb} GÄU	F_{komb}	F_{komb} anisotropi
V16/020	1,20	1,58 (32%)*	1,09	1,47 (35%)	1,53 (40%)
V16/320	1,14	1,50 (32%)	0,90	1,30 (44%)	1,37 (52%)
V16/730 H-V	0,87	1,67 (92%)	0,85	1,54 (81%)	1,61 (89%)
V16/730 V-H	0,75	1,44 (92%)	0,72	1,30 (81%)	1,35 (88%)
V16/830	1,18	1,34 (14%)	1,15	1,17 (2%)	1,22 (6%)
V17/080	1,02	1,55 (52%)	0,79	1,29 (63%)	1,30 (65%)

Sektionerna V16/220 och V16/830 har även beräknats med partialkoefficientmetoden enligt IEG Rapport 6:2008. Säkerhetsfaktorn är lägre än kraven på $F_{EN} \geq 1,1$ i båda sektionerna. En sammanställning av beräkningarna med partialkoefficientmetoden redovisas i Tabell 20.

Tabell 20: Sammanställning av utförda beräkningar med partialkoefficientmetoden enligt IEG Rapport 6:2008. Röd text indikerar beräkningar där kraven ej uppfyllts.

Sektion	Odränerad, Anisotropi	Kombinerad, Anisotropi
V16/220	0,95	0,91
V16/830	0,92	0,85
Krav	1,1	1,1

Den åtgärd som bedöms vara lämpligast för att förbättra stabiliteten är avschaktning vid släntkrön. Vid sektion V16/220 föreslås en avschaktning i storleksordningen ca 40 m² i tvärsnitt medan motsvarande mängd vid sektion V16/830 föreslås till ca 200 m².

VI ÄR WSP

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

WSP Sverige AB
Box 117
641 04 Karlstad
Besök: Lagergrens gata 8

T: +46 10 7225000
Org nr: 556057-4880
Styrelsens säte: Stockholm
wsp.com

