

PM GEOTEKNIK FÖRDJUPAD STABILITETSUTREDNING SMÅDALA

2020-03-13



Beställare: Statens Geotekniska Institut

Dokumentnummer: 19000VPM01

Diarienummer: 4.2.12-1904-0303

Uppdragsnummer WSP: 10289153

Uppdragsnummer SGI: 19085



PM GEOTEKNIK FÖRDJUPAD STABILITETSUTREDNING SMÅDALA

KUND

Statens Geotekniska Institut

KONSULT

WSP Samhällsbyggnad

Box 13033
WSP Sverige AB
402 51 Göteborg
Besök: Ullevigatan 19
Tel: +46 10 7225000

wsp.com

KONTAKTPERSONER

UPPDRAGSNAMN
Fördjupad stabilitetsutredning
Smådala

Khaled Alaydi, WSP Sverige AB
Khaled.alaydi@wsp.com, tfn: 010 – 722 75 53

FÖRFATTARE
Filip Bergström
Khaled Alaydi

Filip Bergström, WSP Sverige AB
filip.bergstrom@wsp.com, tfn 010 - 722 75 16

DATUM
2020-03-13

REVIDERAD
2020-08-20

Granskad av
David Schälin

INNEHÅLL

FÖRORD FRÅN SGI

1	UPPDRAG	8
2	SYFTE	8
3	STYRANDE DOKUMENT	8
4	UNDERLAG	9
5	UTFÖRDA UNDERSÖKNINGAR	9
6	BEFINTLIGA FÖRHÅLLANDEN - ÖVERSIKT	9
6.1	TOPOGRAFI	9
6.2	GEOTEKNISKA FÖRHÅLLANDEN	10
6.3	HYDROGEOLOGISKA FÖRHÅLLANDEN	11
6.4	STABILITETSFÖRHÅLLANDEN	12
7	KARTERING AV KVICKLERA	12
8	BERÄKNINGSFÖRUTSÄTTNINGAR	13
8.1	UTVÄRDERING AV GEOTEKNISKA PARAMETRAR	13
8.1.1	Tunghet och konflytgräns	14
8.1.2	Odränerad skjuvhållfasthet	20
8.1.3	Anisotropi	26
8.1.4	Dränerad skjuvhållfasthet	28
8.1.5	Portryck, grundvatten och ytvattennivåer	29
8.1.6	Bedömning av maximala grundvattennivåer och portryck.	29
9	STABILITETSBERÄKNINGAR	30
9.1	VAL AV BERÄKNINGSSEKTIONER	30
9.2	KRAV PÅ SÄKERHETSFAKTORER	31
9.3	SEKTION V18/600	31
9.3.1	Topografiska förhållanden	31
9.3.2	Utförda undersökningar	31
9.3.3	Geotekniska förhållanden	31
9.3.4	Valda värden för materialparametrar	32
9.3.5	Valda portryck och grundvattenförhållanden	35
9.3.6	Beräkningsresultat	38
9.3.7	Anmärkningar	38
9.4	SEKTION V18/550	38
9.4.1	Topografiska förhållanden	38
9.4.2	Utförda undersökningar	38
9.4.3	Geotekniska förhållanden	38
9.4.4	Valda värden för materialparametrar	38
9.4.5	Valda portryck och grundvattenförhållanden	39

9.4.6	Beräkningsresultat	41
9.4.7	Anmärkningar	42
9.5	SEKTION V18/535	42
9.5.1	Topografiska förhållanden	42
9.5.2	Utförda undersökningar	42
9.5.3	Geotekniska förhållanden	43
9.5.4	Valda värden för materialparametrar	43
9.5.5	Valda portryck och grundvattenförhållanden	43
9.5.6	Beräkningsresultat	43
9.5.7	Kommentarer	43
9.6	SEKTION V18/740	44
9.6.1	Topografiska förhållanden	44
9.6.2	Utförda undersökningar	44
9.6.3	Geotekniska förhållanden	44
9.6.4	Valda värden för materialparametrar	44
9.6.5	Valda portryck och grundvattenförhållanden	44
9.6.6	Beräkningsresultat	45
9.6.7	Anmärkningar	45
9.7	SEKTION V18/910	45
9.7.1	Topografiska förhållanden	45
9.7.2	Utförda undersökningar	45
9.7.3	Geotekniska förhållanden	45
9.7.4	Valda värden för materialparametrar	46
9.7.5	Valda portryck och grundvattenförhållanden	46
9.7.6	Beräkningsresultat	49
9.7.7	Anmärkningar	50
9.8	SEKTION V19/080	50
9.8.1	Topografiska förhållanden	50
9.8.2	Utförda undersökningar	50
9.8.3	Geotekniska förhållanden	51
9.8.4	Valda värden för materialparametrar	51
9.8.5	Valda portryck och grundvattenförhållanden	51
9.8.6	Beräkningsresultat	52
9.8.7	Anmärkningar	53
9.9	SEKTION V19/110	53
9.9.1	Topografiska förhållanden	53
9.9.2	Utförda undersökningar	53
9.9.3	Geotekniska förhållanden	53
9.9.4	Valda värden för materialparametrar	54
9.9.5	Valda portryck och grundvattenförhållanden	54
9.9.6	Beräkningsresultat	54
9.9.7	Anmärkningar	54
9.10	SEKTION V19/140	54
9.10.1	Topografiska förhållanden	54
9.10.2	Utförda undersökningar	55

9.10.3	Geotekniska förhållanden	55
9.10.4	Valda värden för materialparametrar	55
9.10.5	Valda portryck och grundvattenförhållanden	55
9.10.6	Beräkningsresultat	57
9.10.7	Anmärkningar	58
9.11	SEKTION V19/310	58
9.11.1	Topografiska förhållanden	58
9.11.2	Utförda undersökningar	58
9.11.3	Geotekniska förhållanden	59
9.11.4	Valda värden för materialparametrar	59
9.11.5	Valda portryck och grundvattenförhållanden	61
9.11.6	Beräkningsresultat	64
9.11.7	Anmärkningar	64
9.12	SEKTION V19/380	65
9.12.1	Topografiska förhållanden	65
9.12.2	Geotekniska förhållanden	65
9.12.3	Valda värden för materialparametrar	65
9.12.4	Valda portryck och grundvattenförhållanden	65
9.12.5	Beräkningsresultat	65
9.12.6	Anmärkningar	66
9.13	SEKTION V19/450	66
9.13.1	Topografiska förhållanden	66
9.13.2	Geotekniska förhållanden	66
9.13.3	Valda värden för materialparametrar	66
9.13.4	Valda portryck och grundvattenförhållanden	66
9.13.5	Beräkningsresultat	66
9.13.6	Anmärkningar	67
9.14	SEKTION V19/100	67
9.14.1	Topografiska förhållanden	67
9.14.2	Geotekniska förhållanden	67
9.14.3	Valda värden för materialparametrar	68
9.14.4	Valda portryck och grundvattenförhållanden	69
9.14.5	Beräkningsresultat	69
9.14.6	Anmärkningar	69
9.15	KÄNSLIGHETSANALYS EROSION	69
9.16	KÄNSLIGHETSANALYS MARKHÖJNING	70
9.17	BEDÖMNING AV SKREDUTBREDNING	71
9.18	STABILITETSFÖRBÄTTRANDE ÅTGÄRDER	71
	10 SAMMANFATTNING	73
	11 ÄNDRINGSLOGG	76

BILAGOR

Bilaga 1	Översikt grundvattentrycknivåer undre magasin
Bilaga 2	Stabilitetsberäkningar - Totalsäkerhetsmetoden
Bilaga 3	Utvärdering av kvicklera
Bilaga 4	Kartering av kvicklera – Plan
Bilaga 5	Översikt geologiska delområden och beräkningssektioner
Bilaga 6	Dimensionerande värden för materialegenskaper
Bilaga 7	Stabilitetsberäkningar – Partialkoefficientmetoden
Bilaga 8	Stabilitetsberäkningar – Känslighetsanalys erosion
Bilaga 9	Översikt - utbredning av kritiska glidytor
Bilaga 10	Bedömning av skredutbredning – Plan
Bilaga 11	Åtgärdsförslag
Bilaga 12	Stabilitetsberäkningar – Känslighetsanalys markbelastning

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 2009–2011. 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 Smådala i Lilla Edets kommun. Området ligger på västra sidan av Göta älv och ingick i delområde 5 i Göta älvutredningen (SGI 2009 – 2011). Uppdraget omfattar kompletterande fält- och laboratorieundersökningar, stabilitetsberäkningar för befintliga förhållanden samt kartering av kvicklera. Utredningen kommer att utgöra underlag för sannolikhetsberäkningar och skredriskbedömningar vilka kommer att utföras av SGI.

2 SYFTE

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

3 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.

4 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). Flygning gjord 2016. Tolkning utförd hösten 2019.

5 UTFÖRDA UNDERSÖKNINGAR

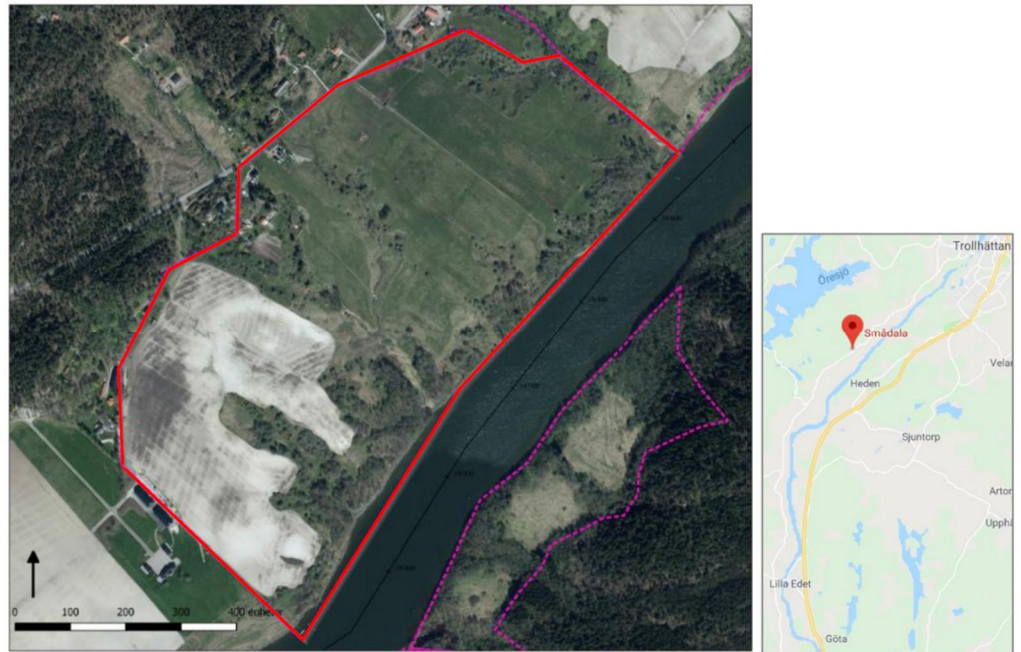
Geotekniska fält- och laboratorieundersökningar har utförts av WSP Sverige AB under perioden augusti till november 2019. Resultatet av utförda undersökningar redovisas i tillhörande *Markteknisk undersökningsrapport, Geoteknik (MUR/Geoteknik)* med dokumentnummer 19000VRA01, daterad 2020-03-13. Kompletterande fält- och laboratorieundersökningar har utförts av WSP Sverige AB under våren 2020. Dessa undersökningar har inte beaktats i denna PM.

6 BEFINTLIGA FÖRHÅLLANDEN - ÖVERSIKT

I följande avsnitt ges en översiktlig beskrivning av befintliga förhållanden inom undersökningsområdet. En noggrannare beskrivning av rådande förhållanden för respektive beräkningssektion ges i kapitel 9.

6.1 TOPOGRAFI

Undersökningsområdet är beläget på västra sidan av Göta älv mellan km 18/500 och km 19/600 enligt längdmätning framtagen under Göta älvutredningen. Området avgränsas av Göta älv i sydost och Edsvägen i nordväst. Undersökningsområdets utbredning och läge visas i Figur 1.



Figur 1. Översikt över undersökningsområdet (markerat med röd linje) samt orienteringsfigur. (Ortofoto från Lantmäteriet).

Området utgörs mestadels av åker- och betesmark som genomkorsas av raviner med busk- och trädvegetation. Inom området finns ingen befintlig bebyggelse förutom ett antal bostadshus och jordbruksbyggnader längs områdets västra och nordvästra avgränsning. Markytan ligger i större delen av området kring nivån +30 och sluttar svagt mot älven. Närmast älven och mot ravinerna är slänterna mycket branta. Vid älvens strand ligger marknivån på ca +9. Mitt i älvfåran varierar älvens bottenivå mellan -3 och -8.

6.2 GEOTEKNISKA FÖRHÅLLANDEN

Undersökningsområdet utgörs av lermark som vid områdets avgränsning mot nordväst övergår i fastmark. Berg i dagen förekommer på några ställen i områdets ytterkanter. Jordarter enligt SGU:s jordartskarta visas i Figur 2.



Figur 2. Utsnitt ur SGU:s jordartskarta. Undersökningsområdet är markerat med svart linje.

Jordlagerföljden utgörs generellt av mulljord och torrskorpelera ovan lera som vilar på berg. På vissa ställen finns även ett friktionsjordlager mellan leran och berget.

Torrskorpeleran är siltig och dess tjocklek varierar mellan 0 och ca 3 m.

Lerans mäktighet varierar inom området mellan 0 och ca 40 m. Mäktigheten är som störst i nordost och minskar mot sydväst och mot fastmarken. Leran är siltig och sulfidhaltig. Tunna siltskikt förekommer i den nedre delen av jordprofilen i några av de undersökta punkterna. Lerans tunghet varierar mellan 15,5 och 17,5 kN/m³. Den naturliga vattenkvoten är i undersökta punkter uppmätt till mellan 43 och 85 % och konflytgränsen till mellan 32 och 73 %. Den odränerade skjuvhållfastheten varierar mellan 15 och 85 kPa. Leran är högsensitiv och klassificeras som kvicklera i huvuddelen av de undersökta punkterna i området. Ställvis är sensitiviteten mycket hög och överstiger 500.

Ovanför släntrön har leran en överkonsolideringsgrad på ca 1,3 – 2,3.

Nedanför släntrön vid älvkanten och i botten av ravinerna är leran betydligt mer överkonsoliderad. OCR ligger här generellt på ca 5,0 vid omkring 5 m djup och minskar till ca 2,5 vid omkring 20 m djup.

6.3 HYDROGEOLOGISKA FÖRHÅLLANDEN

Vattennivån i Göta Älv är reglerad vid Lilla Edets sluss där dämningens gränslinje är +7,6 och sänkningsgränsen +6,6 enligt gällande vattendom. Medelvattennivån i älven antas vara +7,5.

I strandområdet närmast älven ökar portrycket i leran hydrostatiskt från älvens medelvattennivå. Portrycksmätare installerade vid släntröner visar generellt på en portrycksökning mot djupet som är lägre än hydrostatisk vilket tyder på en nedåtgående strömning mot botten av jordprofilen. Detta gäller både slänter mot Göta Älv och slänter mot de raviner som genomkorsar området. På stort horisontellt avstånd från släntröner antas portrycksfördelningen i leran vara hydrostatisk eftersom det bedöms ske en strömning av grundvatten i undre akvifär i riktning mot älven. Grundvattentrycket i undre akvifär bedöms alltså vara som högst vid infiltrationsområdet och lägre närmare älven.

Mätningar av grundvattennivåer och portryck har utförts under perioden 2019-08-08 till 2019-10-28 i portrycksstationer installerade inom detta uppdrag samt under perioden 2010-06-02 till 2010-09-30 i portrycksstationer installerade i samband med Göta älvutredningen. Mätningar som utförts inom detta uppdrag visar på en likartad portryckssituation som mätningarna från Göta älvutredningen.

Torrskorpeleran i lerans övre del utgör ett övre grundvattenmagasin där grundvattenytan antas befinna sig mellan markytan och torrskorpans underkant. Vid strandkanten antas grundvattenytan i övre magasin ansluta till älvens nivå.

Det undre grundvattenmagasinet utgörs av ett relativt tunt lager friktionsmaterial mellan lerans underkant och bergytan. Infiltrationen till det undre magasinet antas ske vid övergången mellan fastmark och lera i områdets västra del. Utförda portrycksmätningar i den undre friktionsjorden eller strax ovan dess överkant visar att portrycksnivåerna i det undre magasinet generellt sett avtar närmare älven, vilket tyder på en grundvattenströmning från infiltrationsområdet vid fastmarken mot älven. En översikt över uppmätta trycknivåer i undre magasin och bedömt infiltrationsområde redovisas i Bilaga 1.

Mot bakgrund av de begränsade lerdjupen i strandområdet i områdets södra del bedöms det undre magasinet (söder om sektion V19/310) stå i direkt hydraulisk kontakt med älven. I områdets norra del är lerdjupen i strandområdet större och det bedöms därför inte finnas någon direktkontakt mellan undre magasin och älven.

6.4 STABILITETSFÖRHÅLLANDEN

I samband med Göta älvutredningen utfördes stabilitetsberäkningar i 6 st sektioner inom aktuellt område som alla visar på otillfredsställande stabilitet. Beräknade totalsäkerhetsfaktorer ligger i intervallet 0,75 - 1,1.

7 KARTERING AV KVICKLERA

Förutsättningar för bildning av kvicklera bedöms finnas inom hela utredningsområdet mot bakgrund av rådande geologiska och hydrogeologiska förhållanden. Strömning av grundvatten genom leran sker dels från fastmarken mot älven och dels med en nedåtriktad gradient genom lerlagret.

Utvärdering av kvicklera har utförts med hjälp av SGI:s Excelverktyg "Utvärderingsark kvicklera CPT och Tr". Underlag för utvärderingen har utgjorts av CPT-R sonderingar samt laboratorieresultat på prover från ostörd provtagning. Utförda CPT-R sonderingar har utvärderats både vad gäller resistivitet och totalt neddrivningsmotstånd.

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 används som komplement till ostörd provtagning för bedömning av kvickleraförekomst. 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.

På grund av fel vid registreringen av totalt neddrivningsmotstånd vid några av CPT-sonderingarna har Excelverktyget inte kunnat användas för utvärdering i alla borrhål. För dessa borrhål har bedömning av förekomst av kvicklera gjorts enbart med hjälp av uppmätt resistivitet och/eller labbresultat från ostörd provtagning. Utvärdering av kvicklera med hjälp av Excelverktyget redovisas i Bilaga 3.

Vid kartering av kvicklerans utbredning inom området har de nu utförda utvärderingarna använts tillsammans med tidigare utvärderingar från Göta älvutredningen (redovisade på ritning T05V0005) samt resultat av flygburen resistivitetmätning (TEM) som utfördes under hösten 2016.

Kvicklerans bedömda utbredning redovisas i plan i Bilaga 4 och i sektion tillsammans med utförda stabilitetsberäkningar i Bilaga 2. Generellt förekommer kvicklera genom en större del av jordprofilen i närheten av slänkrön samtidigt som den vid slänfot endast förekommer i jordprofilens övre del. Detta kan möjligtvis förklaras av att strömningen av vatten genom leran är mindre på nivåer under älvens bottennivå.

8 BERÄKNINGSFÖRUTSÄTTNINGAR

8.1 UTVÄRDERING AV GEOTEKNISKA PARAMETRAR

Utvärdering av geotekniska parametrar har gjorts utifrån sammanställningar av lab- och fältdata från hela undersökningsområdet. Utifrån denna sammanställning samt utifrån skillnader i marknivåer och jordens belastningshistoria har 3 st geologiska delområden identifierats. Området bakom slänkrön benämns "Geologiskt område 1", strandzonen benämns "Geologiskt område 2" och området i älven benämns "Geologiskt område 3". Val av parametrar har gjorts för respektive delområde. För beräkningssektion V18/600, som är belägen längst ifrån älven, har en separat utvärdering av parametrar utförts. Denna utvärdering redovisas i kapitel 9.3.4.

Översikt över identifierade geologiska delområden redovisas tillsammans med beräkningssektionernas planlägen i Bilaga 5.

Utvärdering av geotekniska parametrar för respektive delområde redovisas i kap. 8.1.1 och 8.1.2. Sammanställning av valda värden för hållfasthet och tunghet redovisas i Tabell 1, Tabell 2, Tabell 3.

Tabell 1. Valda värden för hållfasthet och tunghet, geologiskt delområde 1 (bakom släntrönn).

Jordlager	Valda värden, \bar{X}
Lera 1-1	$\gamma = 16,5 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_m = 16,5 \text{ kN/m}^3$
Nivå $z > +15$	$c_u = 33 \text{ kPa}$ $c'/c_u = 0,10, \varphi' = 30,0^\circ$
Lera 1-2	$\gamma = 16,5 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_m = 16,5 \text{ kN/m}^3$
Nivå $+15 \geq z \geq +5$	$c_u = 33 + 2,1*d \text{ kPa}$ (d=0 vid nivå +15) $c'/c_u = 0,10, \varphi' = 30,0^\circ$
Lera 1-3	$\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_m = 17 \text{ kN/m}^3$
Nivå $+5 \geq z \geq \text{UK Lera}$	$c_u = 33 + 2,1*d \text{ kPa}$ (d=0 vid nivå +15) $c'/c_u = 0,10, \varphi' = 30,0^\circ$

Tabell 2. Valda värden för hållfasthet och tunghet, geologiskt delområde 2 (strandzonen).

Jordlager	Valda värden, \bar{X}
Lera 2-1	$\gamma = 16,5 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_m = 16,5 \text{ kN/m}^3$
Nivå $z > +5$	$c_u = 37 \text{ kPa}$ $c'/c_u = 0,10, \varphi' = 30,0^\circ$
Lera 2-2	$\gamma = 16,5 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_m = 16,5 \text{ kN/m}^3$
Nivå $+5 \geq z \geq -5$	$c_u = 37 + 2,1*d \text{ kPa}$ (d=0 vid nivå +5) $c'/c_u = 0,10, \varphi' = 30,0^\circ$
Lera 2-3	$\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_m = 17 \text{ kN/m}^3$
Nivå $-5 \geq z \geq \text{UK Lera}$	$c_u = 37 + 2,1*d \text{ kPa}$ (d=0 vid nivå +5) $c'/c_u = 0,10, \varphi' = 30,0^\circ$

Tabell 3. Valda värden för hållfasthet och tunghet, geologiskt delområde 3 (Göta älv).

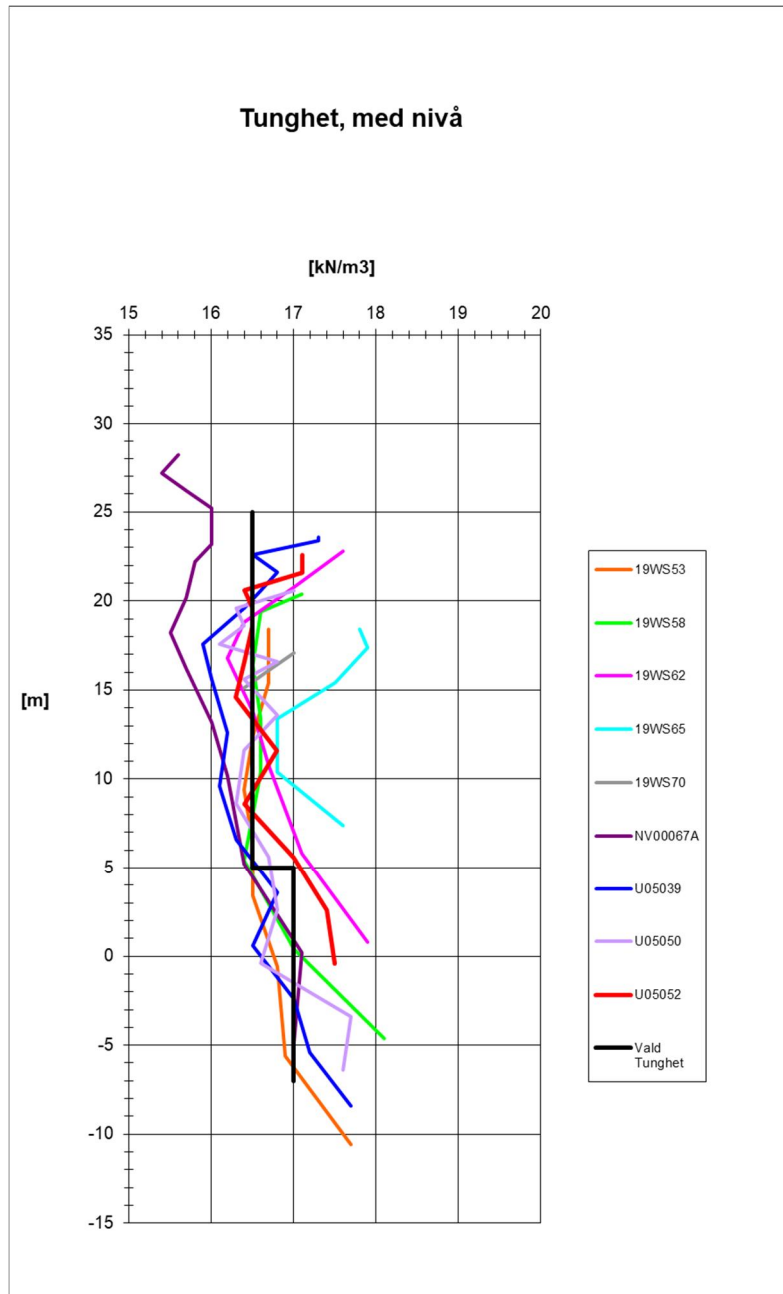
Jordlager	Valda värden, \bar{X}
Lera 3-1	$\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_m = 17 \text{ kN/m}^3$
Djup 0 till 2 m	$c_u = 3 + 16,5*d \text{ kPa}$ (d=0 vid 0 m djup) $c'/c_u = 0,10, \varphi' = 30,0^\circ$
Lera 3-2	$\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_m = 17 \text{ kN/m}^3$
Djup 2 m till UK Lera	$c_u = 36 + 1,9*d \text{ kPa}$ (d=0 vid 2 m djup) $c'/c_u = 0,10, \varphi' = 30,0^\circ$

8.1.1 Tunghet och konflytgräns

För delområde 1 har tunghet och konflytgräns sammanställts och utvärderats mot nivå. I punkterna NV00067A och U05039 skiljer sig konflytgränsen jämfört med övriga punkter inom delområdet varför ett separat val av konflytgräns har gjorts för dessa punkter. Detta val har använts vid utvärdering av CPT-sondering i den närliggande punkten 19WS55. I punkten NV00067A är tungheten lägre än i resten av delområdet. Denna lägre tunghet bedöms vara en lokal avvikelse inom delområdet och beaktas därför

ej vid val av tunghet för delområdet i stort. Kompletterande provtagningar skulle dock krävas för att bedöma utbredningen av området med lägre tunghet. I punkt 19WS65 är den uppmätta tungheten högre än i övriga punkter i delområdet. Denna höga tunghet bedöms bero på att större delen av jordprofilen i punkten är dränerad (se kap. 9.11.5). Punkten har därför inte beaktats vid utvärdering av tunghet för delområdet i stort. Sammanställning av tunghet och konflytgräns visas i

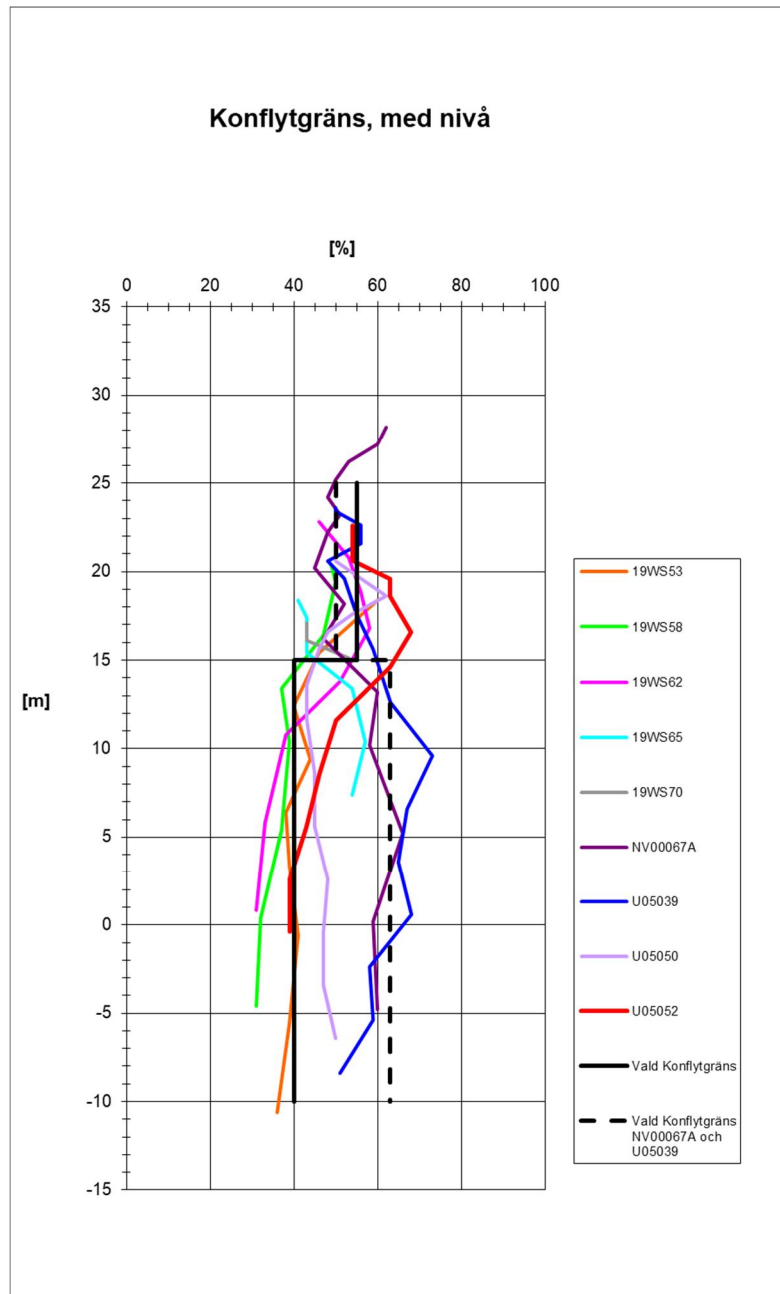
Figur 3 och Figur 4. Valda värden redovisas i Tabell 4 och Tabell 5.



Figur 3. Sammanställning av tunghet för geologiskt delområde 1.

Tabell 4. Vald tunghet för geologiskt delområde 1.

Nivå	Tunghet [kN/m ³]
+25 till +5	16,5
+5 till -7	17,0



Figur 4. Sammanställning av konflytgräns för geologiskt delområde 1.

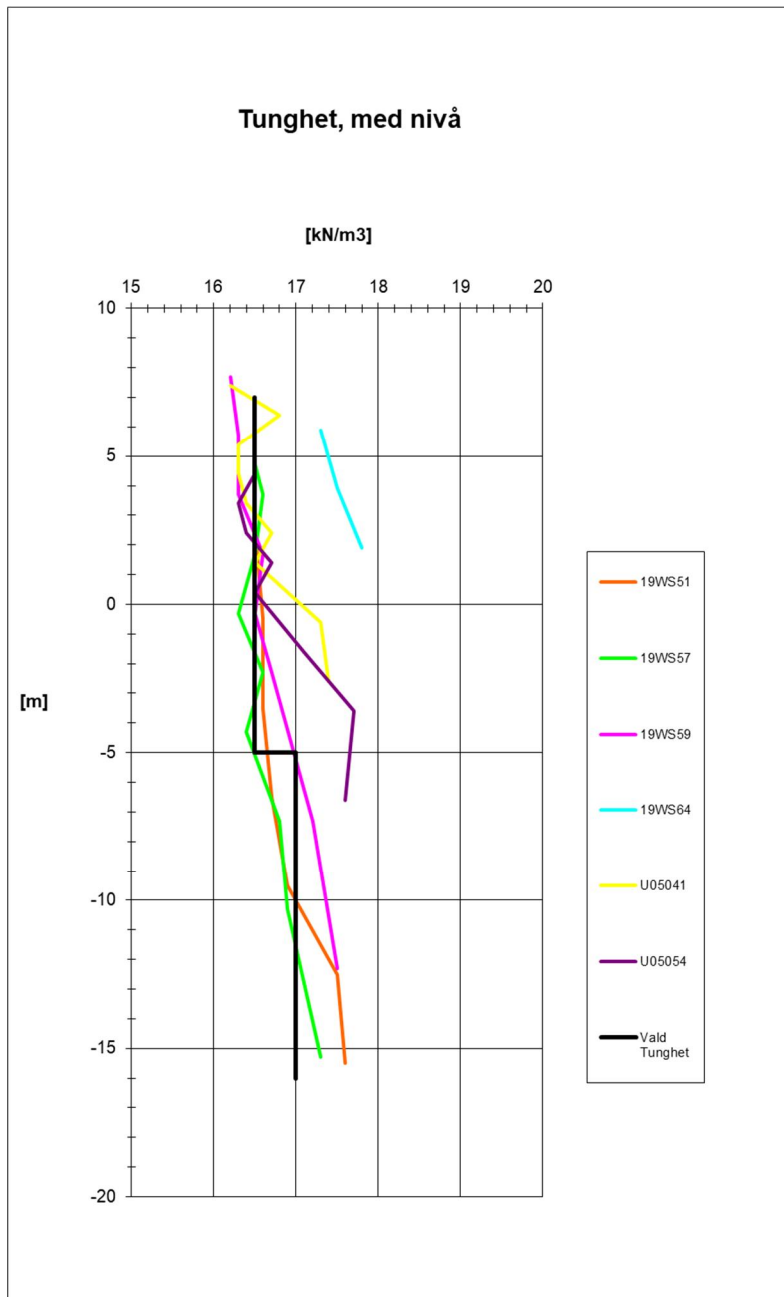
Tabell 5. Vald konflytgräns för geologiskt delområde 1.

Nivå	Konflytgräns [%]
+25 till +15	55
+15 till -10	40

Tabell 6. Vald konflytgräns för punkterna NV00067A och U05039.

Nivå	Konflytgräns [%]
+25 till +15	50
+15 till -10	63

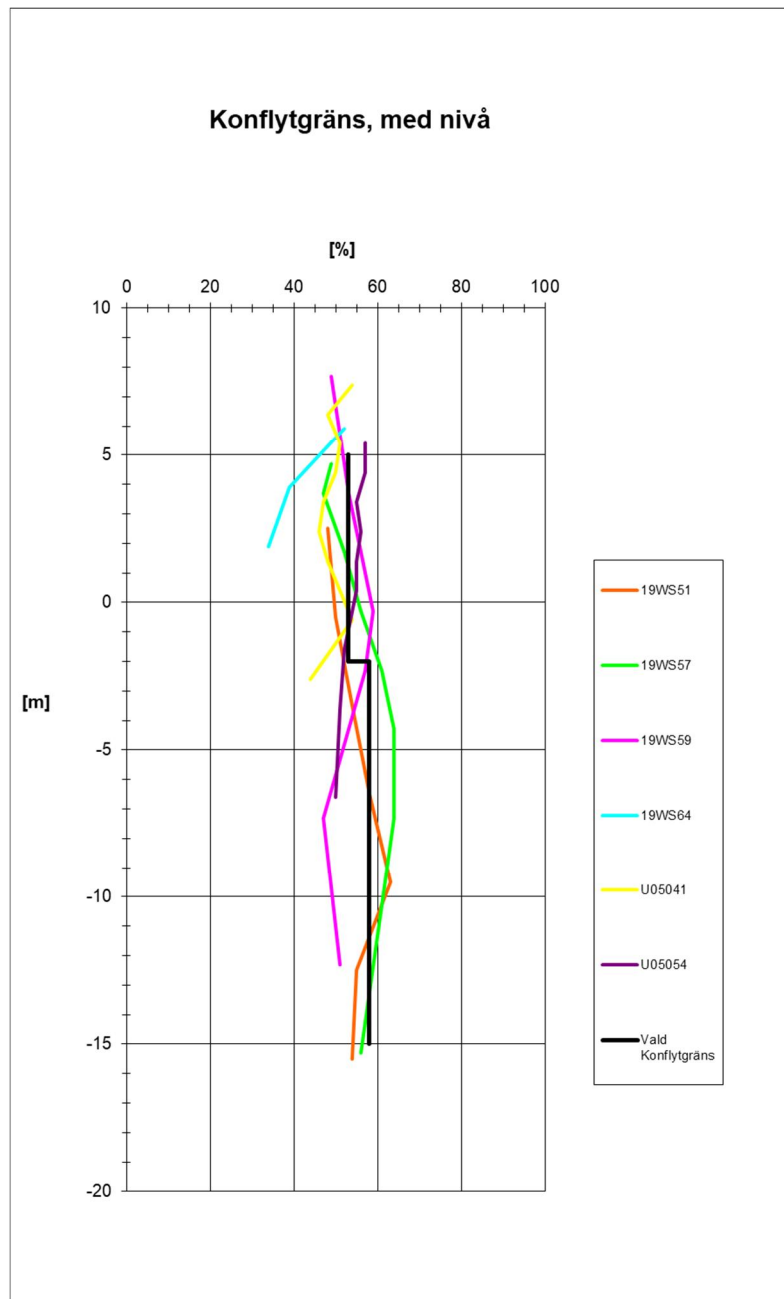
Sammanställning av tunghet och konflytgräns för delområde 2 (strandzonen) visas i Figur 5 och Figur 6. Valda värden redovisas i Tabell 7 och Tabell 8. Sammanställningarna är utförda mot nivå.



Figur 5. Sammanställning av tunghet för geologiskt delområde 2.

Tabell 7. Vald tunghet för geologiskt delområde 2.

Nivå	Tunghet [kN/m ³]
+7 till -5	16,5
-5 till -16	17,0

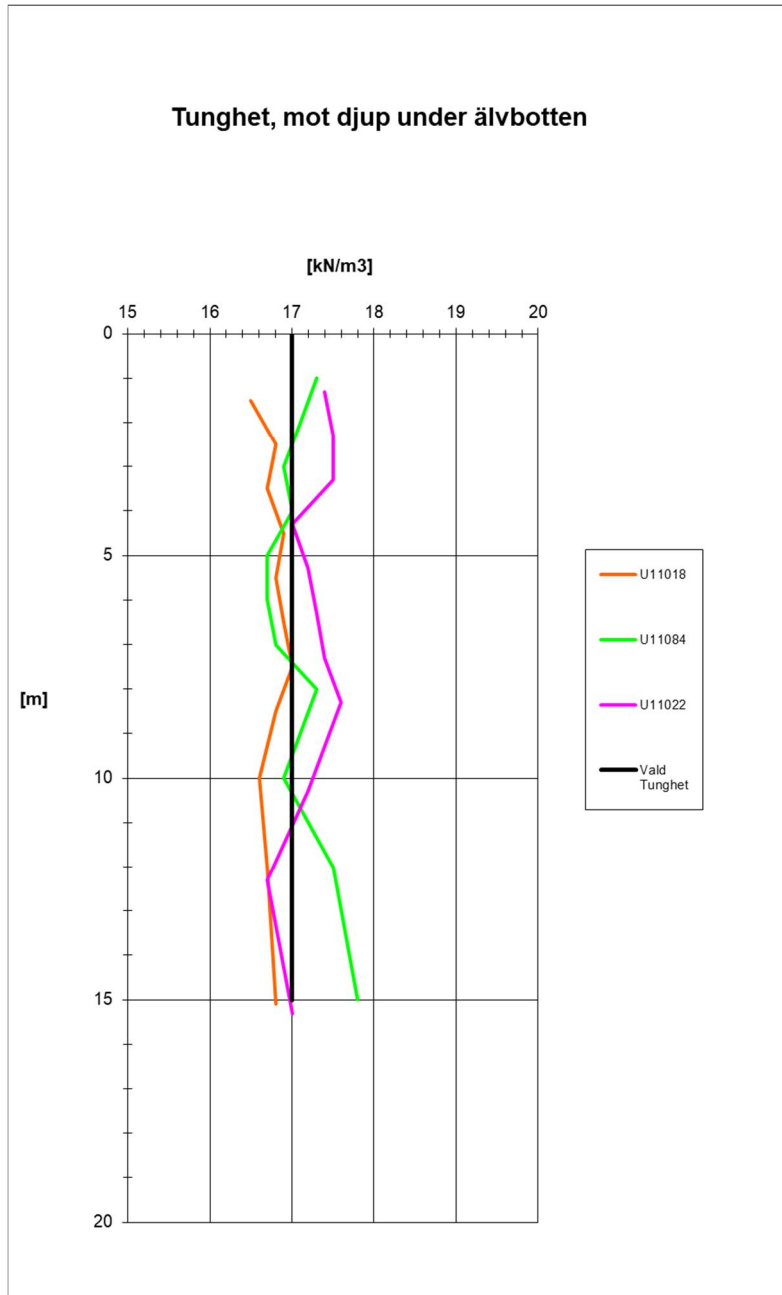


Figur 6. Sammanställning av konflytgräns för geologiskt delområde 2.

Tabell 8. Vald konflytgräns för geologiskt delområde 2.

Nivå	Konflytgräns [%]
+5 till -2	53
-2 till -15	58

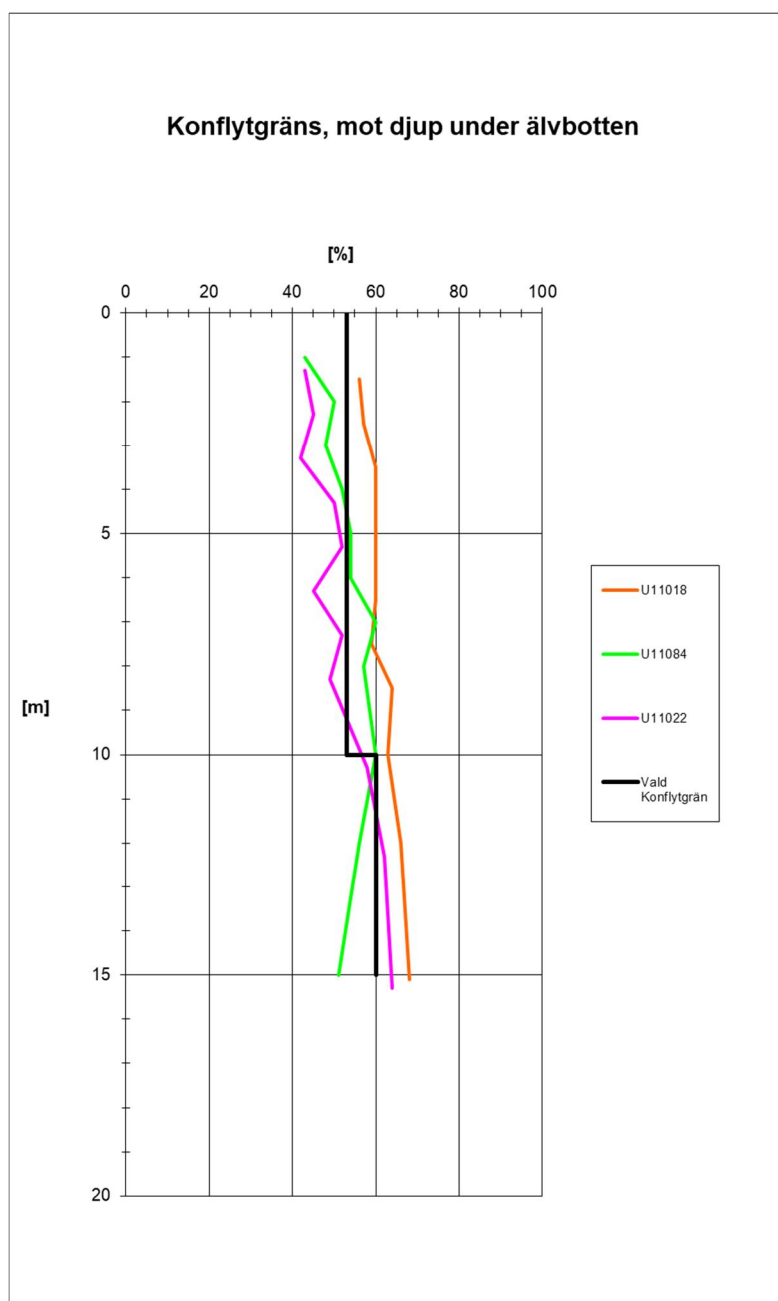
För delområde 3 (under älven) har sammanställning och utvärdering av parametrar gjorts mot djup under älvbotten. Sammanställning av tunghet och konflytgräns visas i Figur 7 och Figur 8. Valda värden redovisas i Tabell 9 och Tabell 10.



Figur 7. Sammanställning av tunghet för geologiskt delområde 3.

Tabell 9. Vald tunghet för geologiskt delområde 3.

Djup [m]	Tunghet [kN/m ³]
0 till 15	17,0



Figur 8. Sammanställning av konflytgräns för geologiskt delområde 3.

Tabell 10. Vald konflytgräns för geologiskt delområde 3

Djup [m]	Konflytgräns [%]
0 till 10	53
10 till 15	60

8.1.2 Odränerad skjuvhållfasthet

Inom delområde 1 har den odränerade skjuvhållfastheten bedömts vara nivårelaterad. Val av skjuvhållfasthet har gjorts utifrån resultat av utförda CPT-sonderingar, fallkonförsök, vingförsök samt direkta skjuvförsök. Resultat från direkta skjuvförsök och vingförsök är generellt samstämmiga och visar på en något högre hållfasthet jämfört med CPT-sonderingar och

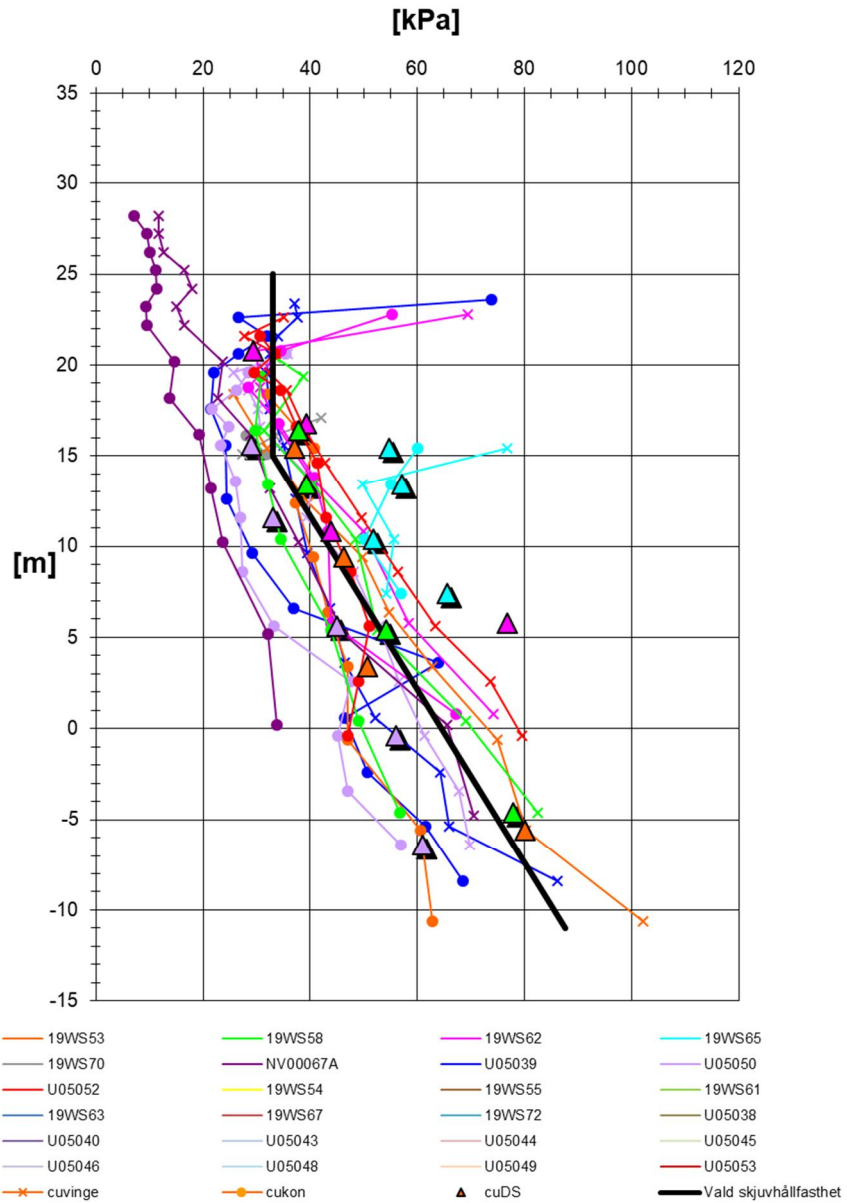
fallkonförsök. Tidigare utförda direkta skjuvförsök i punkt U05050 visar dock på en lägre hållfasthet än de nu utförda direkta skjuvförsöken i punkterna 19WS53 och 19WS58. Tänkbara orsaker till den lägre uppmätta hållfastheten i punkt U05050 är sämre provkvalitet eller annat val av konsolideringsspanningar vid försöksutförandet. Då inga CRS-försök har utförts i punkt U05050 och protokoll från DS-försök saknas har provkvaliteten ej kunnat bedömas. Således har försöksutförandet inte kunnat kontrolleras varför orsaken till de avvikande värdena ej har kunnat fastställas. Vid val av skjuvhållfasthet har större vikt lagts vid de nu utförda DS-försöken i punkterna 19WS53 och 19WS58 då de bedöms vara väl utförda och resultaten stämmer väl överens med utförda vingförsök.

Vingförsök, konförsök och direkta skjuvförsök utförda i punkt 19WS65 visar på en högre odränerad skjuvhållfasthet jämfört med resultat som uppmätts i övriga borrhållfasthet i delområdet. Denna höga hållfasthet har dock bara påvisats i den aktuella punkten och bedöms bero på att större delen av jordprofilen i punkten är dränerad (se kap. 9.11.5). Resultat från denna punkt har därför inte beaktats vid utvärdering av odränerad skjuvhållfasthet för delområdet i stort, men används vid stabilitetsberäkning i den aktuella sektionen V19/310 (se kap. 9.11.4).

Vingförsök och konförsök utförda i punkt NV00067A visar på en lägre skjuvhållfasthet jämfört med resultat från övriga punkter i delområdet. Eftersom även den uppmätta tungheten och konflygränsen i punkten skiljer sig från övriga provtagningspunkter i delområdet bedöms punkten vara placerad i ett lerområde med avvikande egenskaper. Avvikelsen bedöms dock vara lokal, varför den ej beaktas vid val av odränerad skjuvhållfasthet för delområdet i stort. För att bestämma utbredningen av området med avvikande egenskaper skulle kompletterande ostörda provtagningar krävas i ett antal nya punkter. Det skall också noteras att punkt NV00067 är placerad på större avstånd från släntkrön och på en högre nivå än övriga punkter inom delområdet.

Uppmätt odränerad skjuvhållfasthet från vingförsök, konförsök och DS-försök visas sammanställda mot nivå för delområde 1 i Figur 9. Vald odränerad skjuvhållfasthet redovisas i Tabell 11.

Skjuvhållfasthet - odränerad analys, med nivå. Alla metoder utom CPT.



Figur 9. Sammanställning av odränerad skjuvhållfasthet för geologiskt delområde 1. Punkterna NV00067A och 19WS65 bedöms representera mindre områden med lokala avvikelser och har därför ej beaktats vid val av odränerad skjuvhållfasthet.

Tabell 11. Vald odränerad skjuvhållfasthet för geologiskt delområde 1.

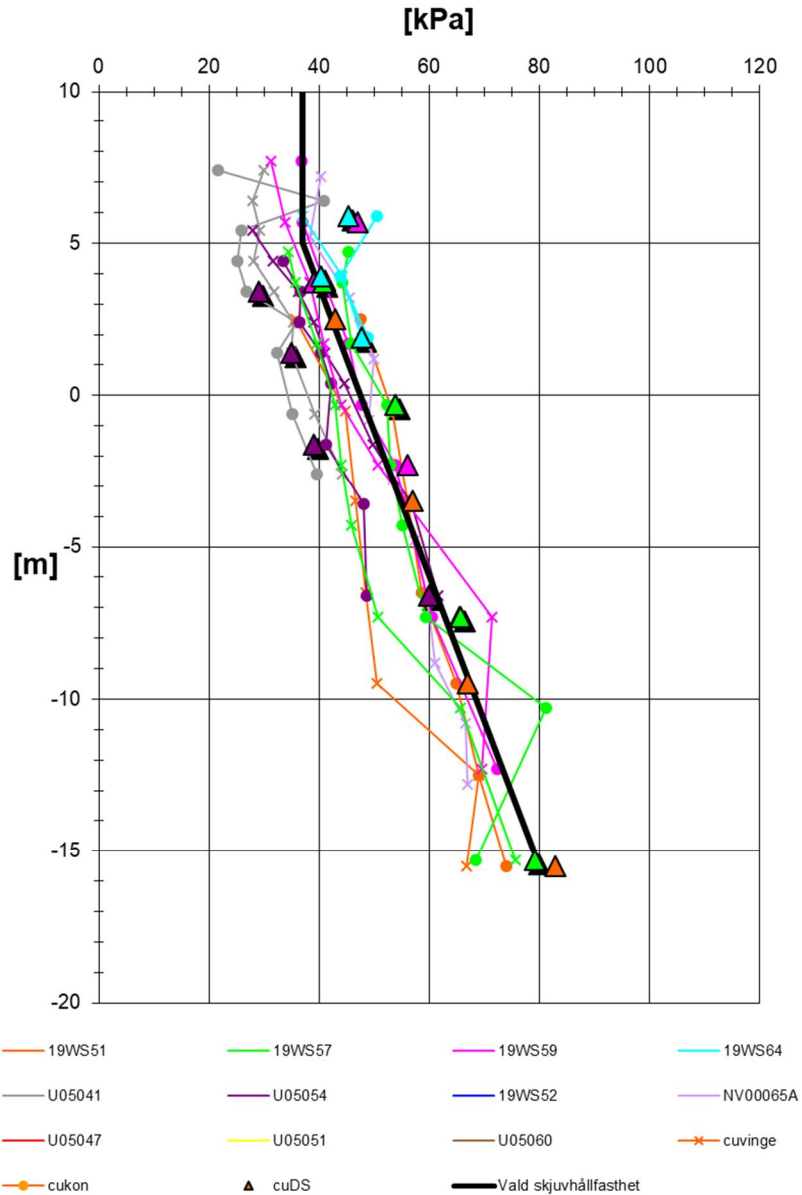
Nivå	Odränerad skjuvhållfasthet [kPa]
+25 till +15	33
+15 till -11	33 + 2,1 kPa/m

Även inom delområde 2 har den odränerade skjuvhållfastheten bedömts vara nivårelaterad. Val av hållfasthet har gjorts utifrån resultat av utförda CPT-sonderingar, fallkonförsök, vingförsök samt direkta skjuvförsök. Till skillnad från inom delområde 1 ligger korrigerade värden från vingförsök generellt lägre än korrigerade värden från fallkonförsök. Detta är en följd av att odränerad skjuvhållfasthet utvärderad från vingförsök enligt SGI-Information 3, avsnitt 5.5.1, korrigeras för OCR samtidigt som hållfastheten utvärderad från fallkonförsök inte gör det. Den höga överkonsolideringsgraden inom delområdet medför en större korrektion för vingförsök än för fallkonförsök.

Vid val av odränerad skjuvhållfasthet har störst vikt lagts vid de nu utförda direkta skjuvförsöken. Dessa försök är samstämmiga med varandra och visar på en likartad ökning mot nivå. Liksom inom delområde 1 visar tidigare utförda direkta skjuvförsök (punkt U05054) på en anmärkningsvärt låg hållfasthet, lägre än vingförsök och konförsök på samma nivåer. Möjligen beror detta på brister i provkvalitet eller försöksutförande. Då protokoll från dessa direkta skjuvförsök saknas och CRS-försök ej utförts har detta dock ej kunnat kontrolleras. Ytterligare en möjlig orsak till de avvikande resultaten i punkt U05054 är att punkten är placerad i en ravin och inte i det egentliga strandområdet och att hållfastheten eventuellt är något lägre under ravinerna. Någon separat utvärdering av odränerad skjuvhållfasthet för ravinerna har dock ej utförts.

Uppmätt odränerad skjuvhållfasthet från vingförsök, konförsök och DS-försök visas sammanställda mot nivå för delområde 2 i Figur 10. Vald odränerad skjuvhållfasthet redovisas i Tabell 12.

Skjuvhållfasthet - odränerad analys, med nivå. Alla metoder utom CPT.



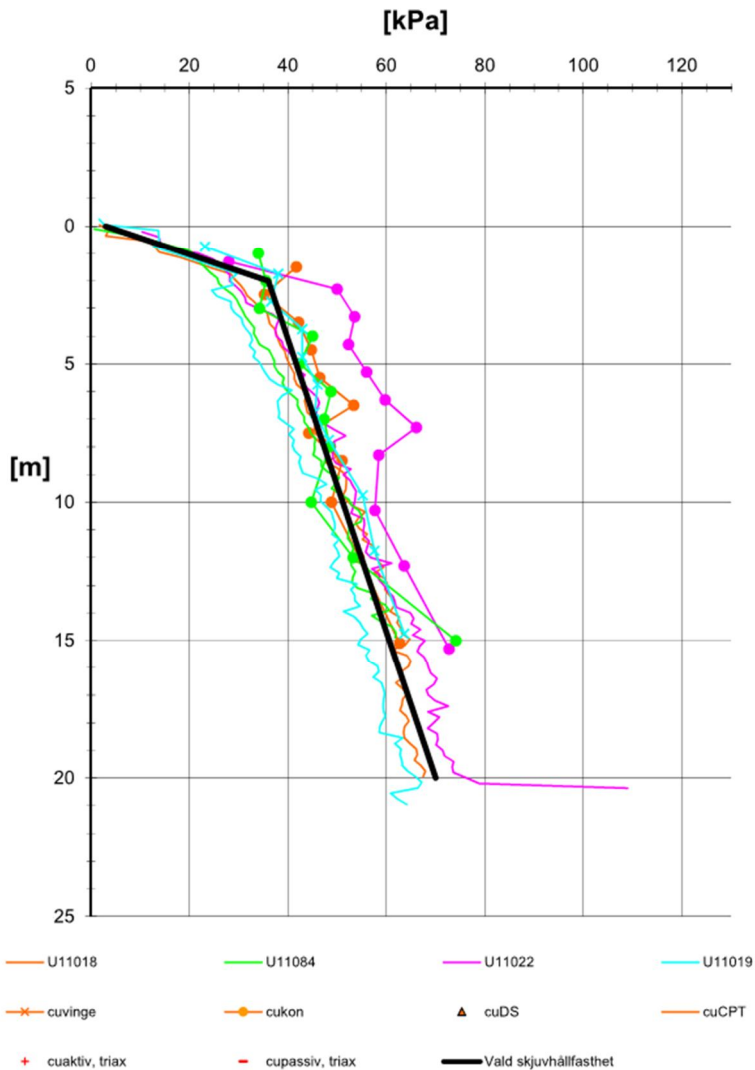
Figur 10. Sammanställning av odränerad skjuvhållfasthet för geologiskt delområde 2. Direkta skjuvförsök i punkt U05054 beaktas inte vid val av skjuvhållfasthet eftersom osäkerhet råder avseende provkvalitet och försöksutförande.

Tabell 12. Vald odränerad skjuvhållfasthet för geologiskt delområde 2.

Nivå	Odränerad skjuvhållfasthet [kPa]
+10 till +5	37
+5 till -15	37 + 2,1 kPa/m

I delområde 3 (under älven) bedöms hållfastheten variera med djupet under älvbotten. Utvärdering har gjorts utifrån undersökningspunkterna U11018, U11019, U11022 och U11084. Punkten U11084 ligger i älven strax norr om aktuellt utredningsområde vid ca km 18/400. Övriga punkter ligger vid ca km 18/800. Konförsök i punkt U11022 visar på en högre odränerad skjuvhållfasthet jämfört med CPT-sondering i samma punkt och konförsök i övriga punkter. En möjlig förklaring är att leran i denna punkt är siltig till skillnad från i övriga punkter, samt att punkten är placerad där vattendjupet är större (d.v.s. proverna är tagna på lägre nivåer). Uppmätt odränerad skjuvhållfasthet från vingförsök, konförsök och CPT-sonderingar visas sammanställda mot djup under älvbotten i Figur 11. Vald odränerad skjuvhållfasthet redovisas i Tabell 13.

Skjuvhållfasthet - odränerad analys, med djup under älvbotten. Alla metoder.



Figur 11. Sammanställning av odränerad skjuvhållfasthet för geologiskt delområde 3. Leran i punkt U11022 är siltig till skillnad från i övriga punkter vilket kan förklara att odränerad skjuvhållfasthet uppmätt med konförsök är högre i denna punkt.

Tabell 13. Vald odränerad skjuvhållfasthet för geologiskt delområde 3.

Djup under älvbotten [m]	Odränerad skjuvhållfasthet [kPa]
0 till 2	3 + 16,5 kPa/m
2 till 20	36 + 1,9 kPa/m

8.1.3 Anisotropi

För att utreda lerans anisotropa egenskaper har aktiva- och passiva triaxialförsök utförts på utvalda prover. Aktiva försök har utförts på prover tagna inom aktivzonen för de farligaste glidyterna enligt inledande beräkningar. Passiva försök har utförts på prover från glidyternas passivzon.

Aktiva triaxialförsök har utförts i punkterna 19WS53 och 19WS58 vilka är placerade strax bakom släntröner inom geologiskt delområde 1. Passiva försök har utförts i punkterna 19WS51 och 19WS57 som är placerade vid släntröner inom geologiskt delområde 2. Försöken har utförts på 3 nivåer i varje punkt.

Jämförelse mellan odränerad skjuvhållfasthet uppmätt genom aktiva och passiva triaxialförsök och resultat från direkta skjuvförsök redovisas i Tabell 14.

Tabell 14. Odränerad skjuvhållfasthet uppmätt genom aktiva och passiva triaxialförsök samt direkta skjuvförsök.

Borrpunkt	Djup	c_u^{passiv} [kPa]	c_u^{DS} [kPa]	c_u^{aktiv} [kPa]	τ_a/τ_{hor}
19WS58	10	-	39,2	50,9	1,3
	13	-	43,4*	58,4	1,34
	18	-	54,2	75,3	1,39
	28	-	77,9	102,0	1,31
19WS53	8	-	37	52,3	1,41
	14	-	46,2	69,2	1,5
	20	-	50,6	76,7	1,52
19WS57	7	35,8	40,7	-	0,88
	11	67,8	53,8	-	1,26
	18	75,9	65,6	-	1,15
19WS51	5	60	42,9	-	1,4
	11	63,6	56,9	-	1,12
	17	74	67	-	1,1

*19WS58-13m interpolerat värde

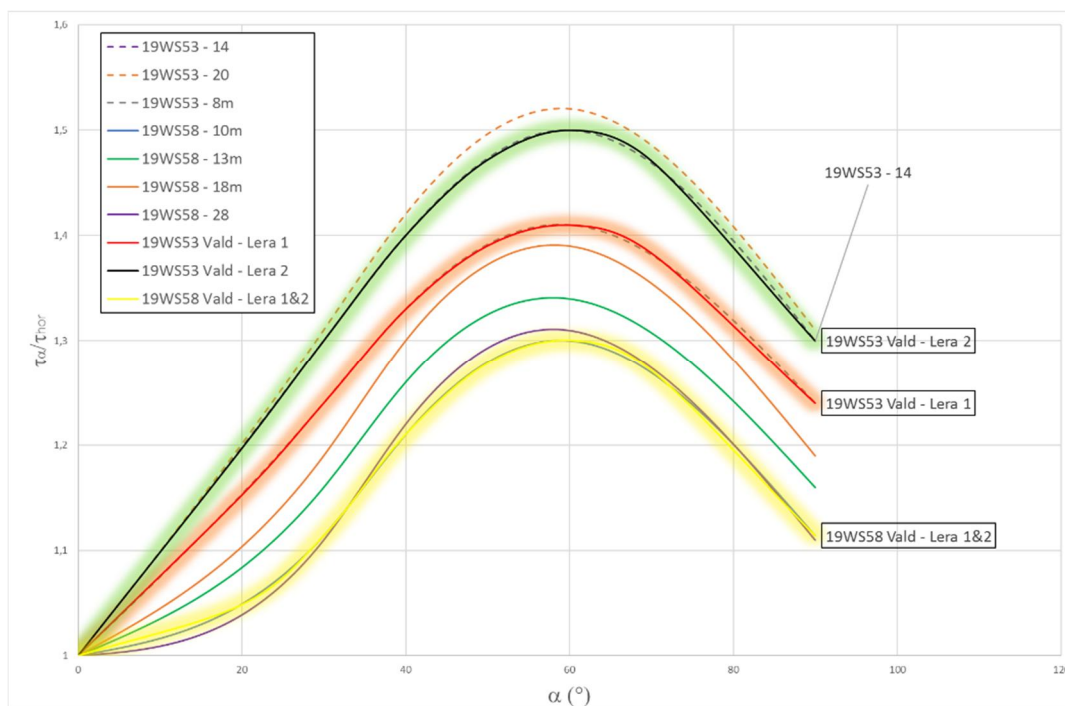
Merparten av de passiva triaxialförsöken visar på en anmärkningsvärt hög odränerad skjuvhållfasthet (högre än enligt direkta skjuvförsök på samma nivå). Detta antas bero på lerans höga överkonsolideringsgrad i

strandområdet vilken medför höga horisontalspänningar i förhållande till vertikalspänningar.

Resultaten från de passiva triaxialförsöken har ej medräknats vid stabilitetsberäkningar, d.v.s. ingen anisotropifunktion ansätts för lera i passivzonen. Detta är ett konservativt val, dock skulle implementering av en passiv anisotropifunktion inte påverka beräkningsresultaten för de kritiska glidytor eftersom vinkeln mot horisontalplanet för dessa glidytor aldrig är brantare än -30° .

Resultaten från aktiva triaxialförsök har använts för att utvärdera anisotropifaktorer vid olika skjuvplan. I Skredkommissionen Rapport 3–95, figur 24, anges funktioner som beskriver kvoten mellan skjuvhållfasthet vid olika vinklar och den vid horisontalplanet. Funktionerna är beroende av $K_{0(NC)}$ och vinkeln mellan skjuvplan och horisontalplanet. Skjuvhållfasthet från aktiva triaxialförsök antas vid utvärderingen motsvara skjuvhållfastheten vid vinkeln 60 grader och sedan anpassas funktionen efter resultat från direkta skjuvförsök och triaxialförsök från olika borrhål och nivåer. På så vis erhålls en anisotropifunktion för respektive borrhål och nivå. Utifrån dessa väljs sedan anisotropifunktioner för implementering i stabilitetsberäkningar.

Aktiva anisotropifunktioner har utvärderats utifrån utförda försök i punkterna 19WS53 och 19WS58. Utvärderade funktioner för respektive försök redovisas tillsammans med valda funktioner i Figur 12.



Figur 12. Utvärderade anisotropifunktioner från aktiva triaxialförsök i punkterna 19WS53 och 19WS58. Lera 1 och lera 2 avser lera på olika nivåer inom geologiskt område 1.

Försöken i punkt 19WS53 visar på en något högre anisotropieffekt än försöken i punkt 19WS58 samt en viss skillnad på olika djup. Vid stabilitetsberäkningar antas aktiv anisotropi enligt punkt 19WS58 gälla generellt inom geologiskt område 1, m.h.t försiktighetsprincipen. Aktiv anisotropi enligt punkt 19WS53 används endast i sektion V18/535 där punkten är placerad.

Valda anisotropifunktioner för implementering i stabilitetsberäkningar redovisas i Tabell 15, Tabell 16 och Tabell 17.

Tabell 15. Vald anisotropifunktion för geologiskt område 1, utvärderad från försök i punkt 19WS58.

19WS58 Vald - Lera 1 & 2	
Inclination (°)	Modifier Factor
0	1,00
20	1,05
40	1,21
50	1,28
60	1,30
70	1,27
90	1,11

Tabell 16. Vald anisotropifunktion för lera 1 i sektion V18/535, utvärderad från försök i punkt 19WS53.

19WS53 Vald - Lera 1	
Inclination (°)	Modifier Factor
0	1,00
20	1,15
30	1,24
40	1,33
50	1,39
60	1,41
70	1,38
90	1,24

Tabell 17. Vald anisotropifunktion för lera 2 i sektion V18/535, utvärderad från försök i punkt 19WS53.

19WS53 Vald - Lera 2	
Inclination (°)	Modifier Factor
0	1,00
20	1,20
40	1,40
50	1,47
60	1,50
70	1,47
90	1,30

8.1.4 Dränerad skjuvhållfasthet

Lerans dränerade skjuvhållfasthet har enligt gällande praxis och styrdokumentet *DGA00XST01 "Riktlinjer för tekniskt arbete"* ansatts till $c'=0,1 \times c_u$ och dess friktionsvinkel till $\varphi' = 30^\circ$.

8.1.5 Portryck, grundvatten och ytvattennivåer

Vattenytan i Göta älv har i stabilitetsberäkningarna antagits ligga på nivå +6,6 vilket motsvarar sänkingsgränsen uppströms Lilla Edets sluss.

Portryckssituationen i leran har utvärderats från mätningar utförda under perioden 2019-08-08 till 2019-10-28 i portrycksstationer installerade inom detta uppdrag samt utifrån mätningar utförda under perioden 2010-06-02 till 2010-09-30 i portrycksstationer installerade i samband med Göta älvutredningen. I de beräkningssektioner där portrycksstationer saknas har portrycksfördelningen mot djupet valts utifrån portrycksstationer som bedömts vara representativa i närliggande sektioner.

I leran under älven har portrycksökningen antagits vara hydrostatisk från sänkingsnivån på +6,6.

Torrskorpeleran har antagits vara uppsprucken och vattenfylld till hälften.

2 st olika portrycksscenarier har utvärderats för respektive beräkningssektion där det ena motsvarar nuläge och det andra är en extremvärdesanalys. För nulägesanalysen används högsta uppmätta portryck i respektive portryckspets under mätperioden. För extremvärdesanalysen görs en bedömning av maximala trycknivåer. Metodik för bedömning av maximala trycknivåer beskrivs i kapitel 8.1.6.

Valda portryck för respektive beräkningssektion redovisas i kapitel 9.

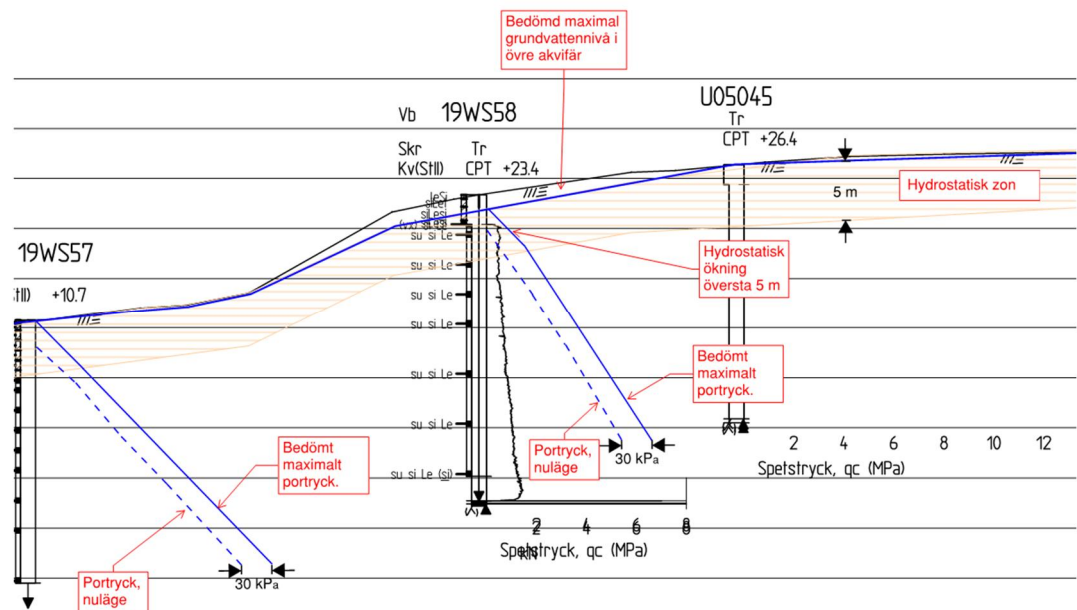
8.1.6 Bedömning av maximala grundvattennivåer och portryck.

Maximala trycknivåer i leran har antagits utifrån bedömd högsta möjliga grundvattennivå i övre akvifär och bedömd högsta möjliga trycknivå i undre akvifär.

Maximal grundvattennivå i övre akvifär antas i allmänhet sammanfalla med markytan. I branta slänter kan dock nivån vara lägre. För de översta 5 metrarna antas en hydrostatisk portrycksökning, med undantag för de punkter där mätningar påvisar andra förhållanden i denna övre delen av jordprofilen.

Den teoretiskt högsta möjliga trycknivån i undre akvifär styrs av grundvattenmagasinets lägsta bräddnivå i närområdet. Detta skulle dock innebära orimligt stora artesiska tryck i strandområdet och under älven. Det har därför antagits att maximala trycknivåer i undre magasin avtar mot älven. Förhållanden mellan maximala trycknivåer vid olika punkter inom området antas vara detsamma som förhållandet mellan uppmätta medeltrycknivåer.

Samtliga installerade portrycksstationer och grundvattenrör är placerade i närheten av slänkrön, på stort avstånd från infiltrationsområdet. För att uppskatta medeltrycknivåer i undre akvifär i närheten av infiltrationsområdet har därför resultatet från ett avklingningsförsök vid CPT-sondering i punkt 19WS77 använts. Försöket visar på en trycknivå på ca +32. I närheten av denna punkt är bräddnivån ca +35 vilket innebär en tänkbar maximal tryckökning på ca 30 kPa. Vid bedömning av maximala trycknivåer i undre magasin har förhållandet med en maximal tryckhöjning på 30 kPa ansetts gälla även för övriga delar av området. Princip för val av maximala portryck för extremvärdesanalys redovisas i Figur 13.



Figur 13. Princip för val av maximala portryck för extremvärdesanalys.

9 STABILITETSBERÄKNINGAR

Stabilitetsberäkningar har utförts för rådande förhållanden enligt IEG Rapport 4:2010. Beräkningar har först utförts enligt totalsäkerhetsmetoden med odränerad och kombinerad analys.

I syfte att kontrollera portryckets inverkan på områdets stabilitet har känslighetsanalyser utförts i samtliga sektioner. Utgångspunkten för dessa analyser är bedömda extremvärden för portryck som redovisas i kapitel 8.1.6.

De kritiska glidytorerna för varje sektion har också beräknats med partialkoefficientmetoden enligt IEG Rapport 6:2008. Utvärdering av dimensionerande värden för materialegenskaper för beräkning med partialkoefficientmetoden redovisas i Bilaga 6.

Stabilitetsberäkningar enligt totalsäkerhetsmetoden redovisas i Bilaga 2. Beräkningar utförda enligt partialkoefficientmetoden redovisas i Bilaga 7. Beräkningsresultat redovisas nedan tillsammans med en beskrivning av specifika förhållanden för respektive beräkningssektion.

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

9.1 VAL AV BERÄKNINGSSEKTIONER

Beräkningssektionernas lägen har valts med syfte att ge en heltäckande bild av stabilitetsförhållandena inom undersökningsområdet. Förutsättningar såsom materialparametrar och portryckssituation är likartade inom hela området, alltså är det framförallt geometrin som skiljer sig mellan de olika beräkningssektionerna. Sektionerna har placerats där geometrierna bedömts vara som minst gynnsamma ur stabilitetssynpunkt.

9.2 KRAV PÅ SÄKERHETSFAKTORER

Erforderliga säkerhetsfaktorer för fördjupad utredning anges i *DGA00XST01 "Riktlinjer för tekniskt arbete"*. Vid beräkning med totalsäkerhetsfilosofi gäller att $F_C \geq 1,4$ och $F_{\text{komb}} \geq 1,3$. Vid beräkning med partialkoefficientmetoden skall $F_{EN} \geq 1,1$ uppnås eftersom kvicklera förekommer i området.

9.3 SEKTION V18/600

9.3.1 Topografiska förhållanden

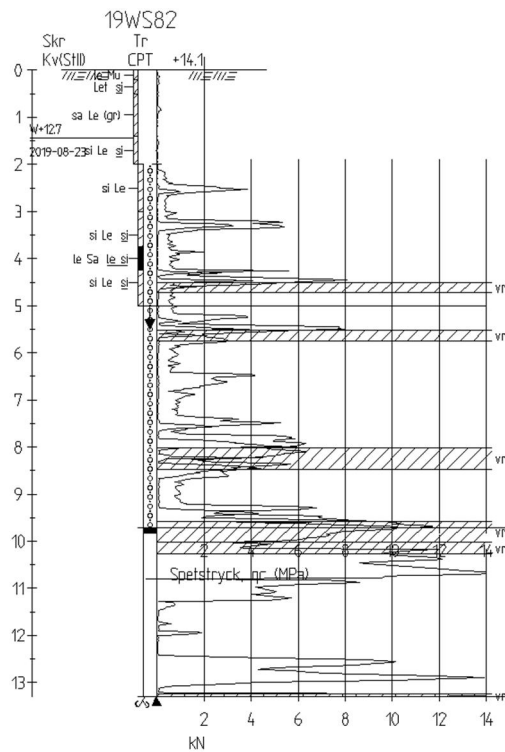
Sektionen är belägen i undersökningsområdets norra del och korsar bäckravinen som utgör områdets norra avgränsning. Markytans nivå varierar mellan ca +33 vid släntkrön och ca +15 i ravinens botten. Slänten har en jämn lutning på ca 1:3.

9.3.2 Utförda undersökningar

I sektionen finns 3 st sonderingspunkter varav 2 st har utförts inom detta uppdrag. De nya punkterna är placerade vid släntkrön (19WS81) och i ravinens botten (19WS82). På grund av problem med framkomlighet vid fältundersökningen utfördes punkt 19WS82 ca 20 m sydost om sektionen men bedöms ändå vara representativ för tolkning av egenskaper i den aktuella sektionen.

9.3.3 Geotekniska förhållanden

Jordlagerföljden utgörs av ca 1,5 m torrskorpelera ovan lera som underlagras av friktionsjord och berg. Lerans mäktighet är ca 18 m i den övre delen av sektionen och minskar till ca 3 m vid ravinens botten, d.v.s. lerans underkant ligger på ungefär samma nivå i hela sektionen. Vidare visar resultat från utförda rutinförsök att leran är högsensitiv och klassificeras som kvicklera i hela sektionen. Under ravinbotten är jorden skiktad med omväxlande ler- och sandskikt med varierande mäktighet vilket kan påverka tolkningen av kvicklera, se Figur 14.



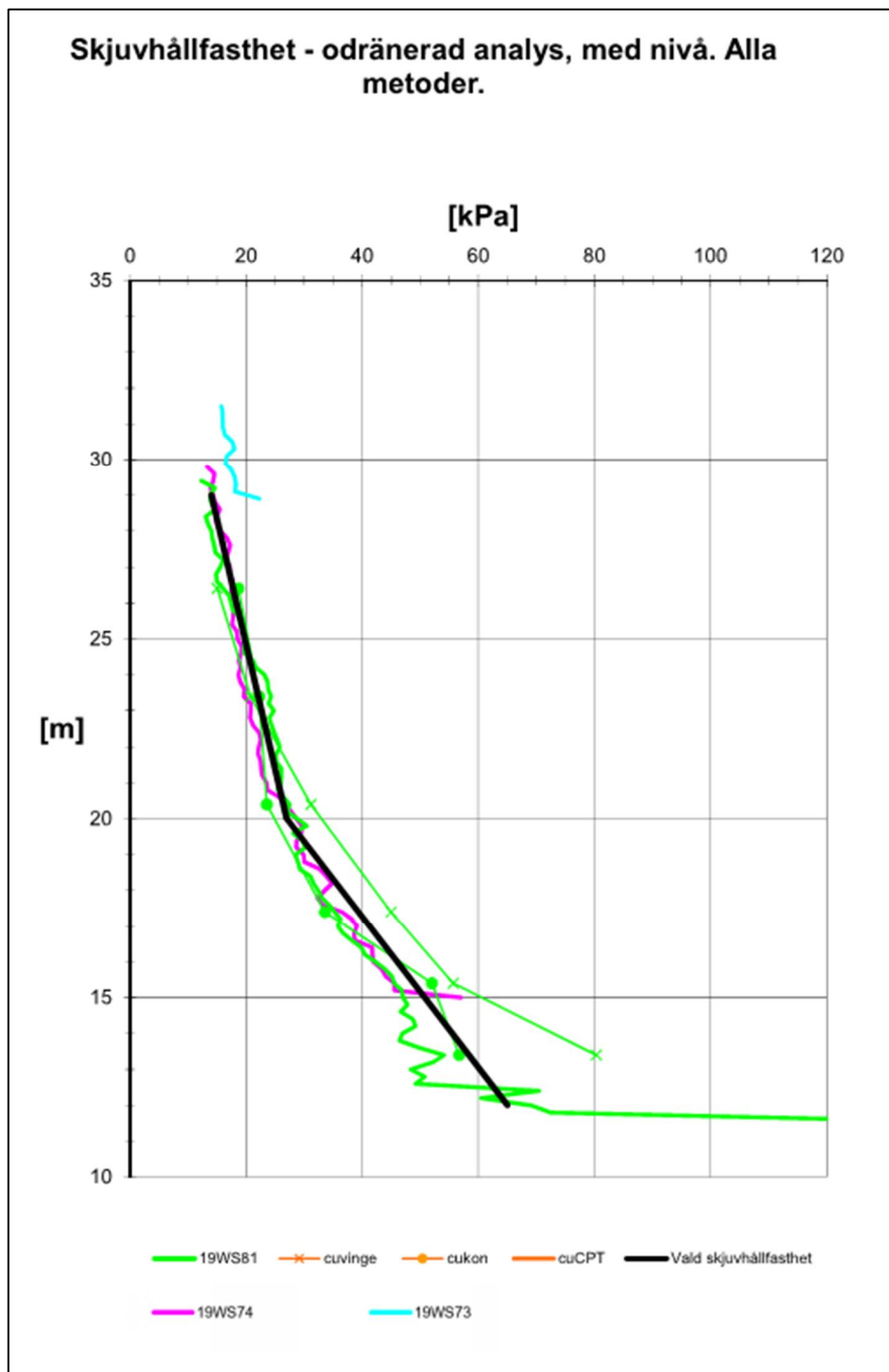
Figur 14. Redovisning av sondering i punkt 19WS82.

I sonderingspunkterna ovanför släntröran är friktionsjorden under leran fastare och bedöms vara mer homogen. Vid stabilitetsberäkningarna modelleras friktionsjorden inklusive det skiktade materialet under ravinbotten som en sand. För jämförelse har en beräkning även utförts med det skiktade materialet modellerat som lera. Jämförelsen visar att valet av material har en försumbar inverkan på beräkningsresultaten.

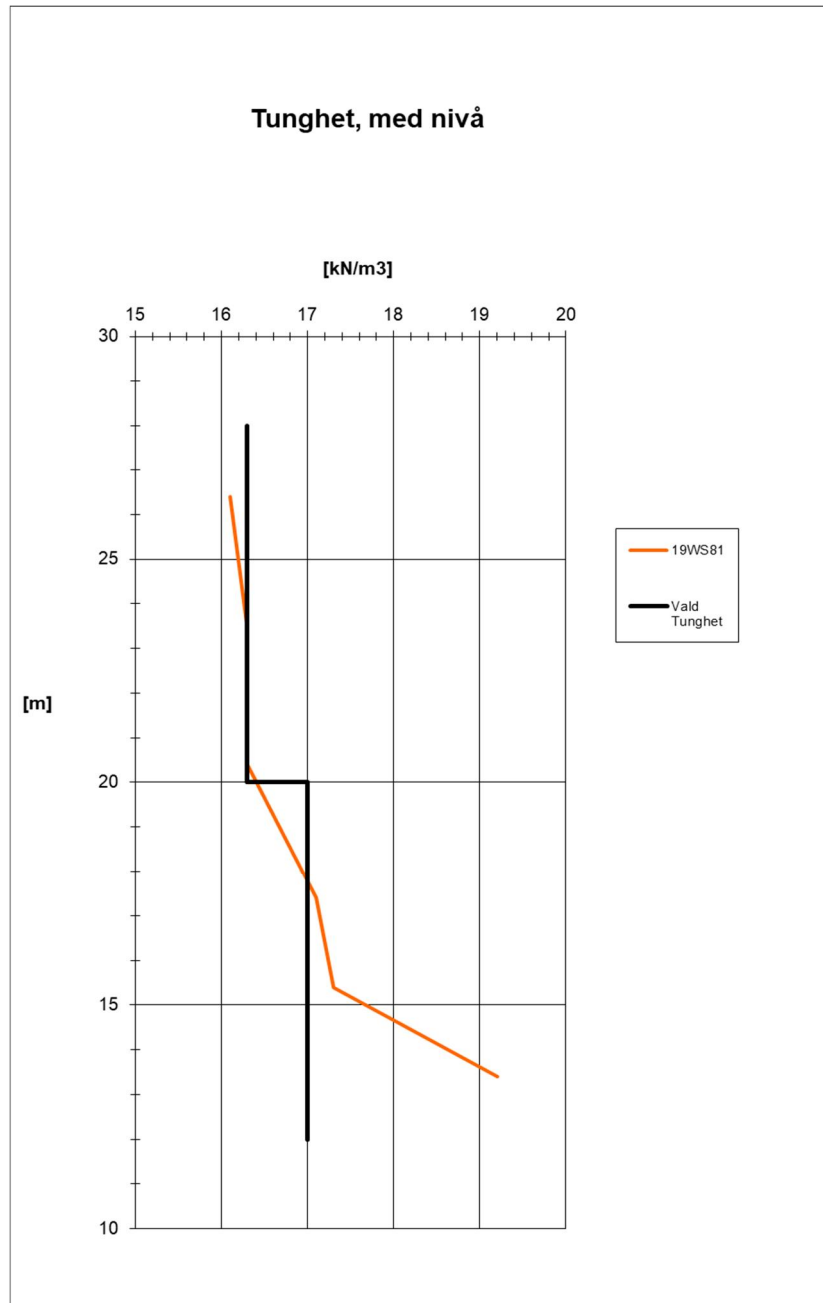
9.3.4 Valda värden för materialparametrar

Valda värden för materialparametrar har utvärderats från undersökningar i punkt 19WS81. Jämförelse med resultat från CPT-sonderingar i närliggande borrhull visar på att lerans egenskaper är likartade även i punkterna 19WS73 och 19WS74. Punkten NV00068A bedöms också ingå i samma område men jämförelse med tidigare utförd CPT-sondering har ej kunnat göras då resultat från denna sondering saknas. Utvärdering av lerans egenskaper redovisas i Figur 15 och Figur 16. För friktionsjorden under leran ansätts en försiktigt vald friktionsvinkel på 30° vilket ligger mellan 28° och 35° som är de empiriska överslagsvärdena för löst lagrad sand respektive fast lagrad sand enligt SGI Information 1. Valet av friktionsvinkel har dock ingen inverkan på säkerhetsfaktorn för de farligaste glidyterna och påverkar endast marginellt utbredningen av glidyterna. Ingen anisotropi har medräknats vid stabilitetsberäkningar då sektionen ej bedöms ingå i något av de geologiska delområden där triaxialförsök utförts.

Sammanställning av valda värden redovisas i Tabell 18.



Figur 15. Utvärdering av odränerad skjuvhållfasthet sektion V18/600.



Figur 16. Utvärdering av tunghet sektion V18/600.

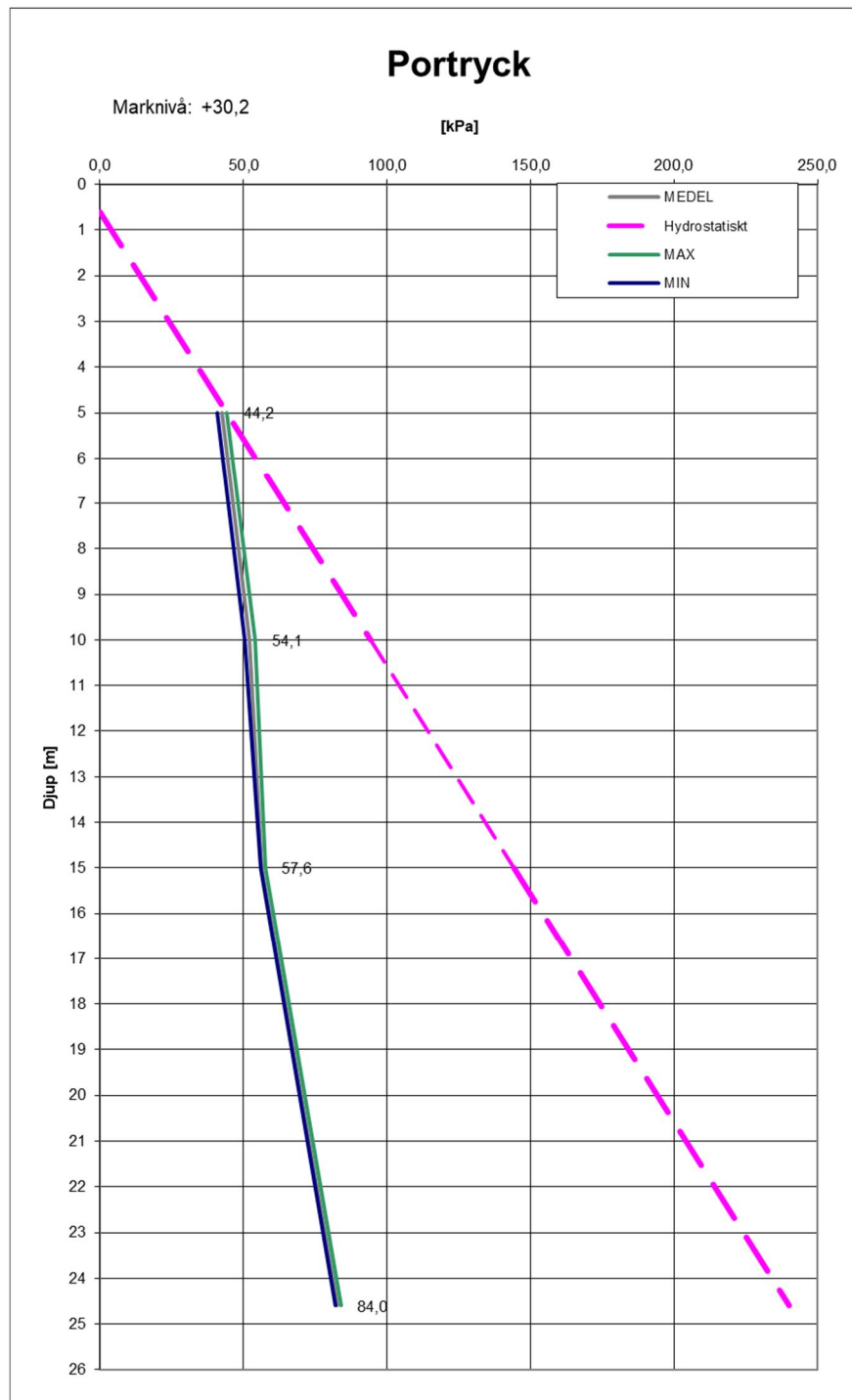
Tabell 18. Valda värden för materialparametrar sektion V18/600.

Jordlager	Valda värden, \bar{X}
Lera 1 Nivå z > +20	$\gamma = 16,3 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_m = 16,3 \text{ kN/m}^3$
	$c_u = 14 + 1,4 \cdot d \text{ kPa}$ (d=0 vid nivå +29) $c'/c_u = 0,10, \varphi' = 30,0^\circ$
Lera 2 Nivå z < +20	$\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_m = 17 \text{ kN/m}^3$
	$c_u = 27 + 4,8 \cdot d \text{ kPa}$ (z < +20) (d=0 vid nivå +20) $c'/c_u = 0,10, \varphi' = 30,0^\circ$
Sand	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_m = 20 \text{ kN/m}^3$
	$\varphi' = 30,0^\circ$

9.3.5 Valda portryck och grundvattenförhållanden

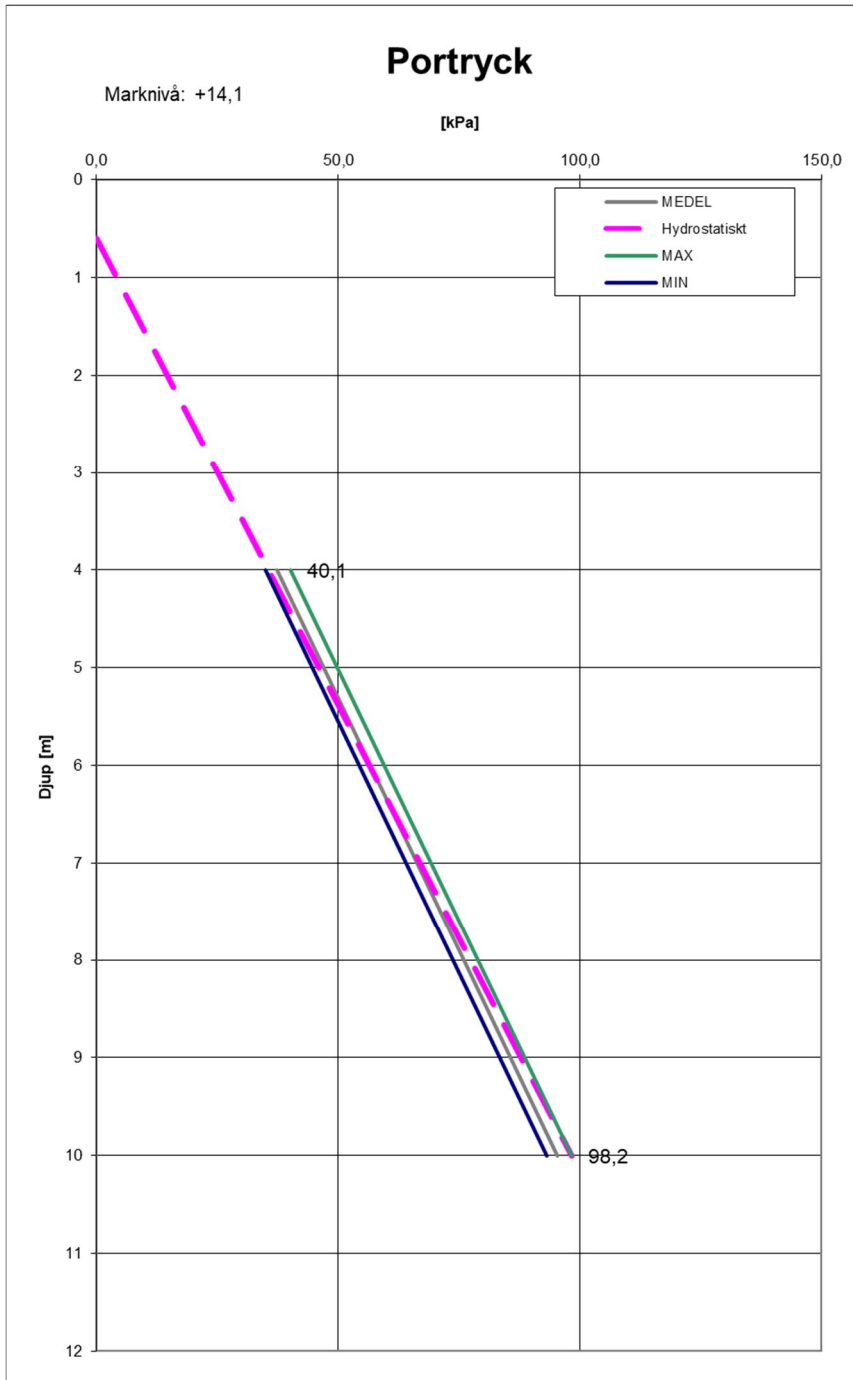
I sektionen har portryck valts utifrån mätningar i punkt 19WS81 vid släntkrön och punkt 19WS82 i ravinens botten. På grund av svårighet med åtkomlighet vid installation är punkterna placerade ca 20 m sydväst om sektionen men de bedöms ändå vara representativa.

I punkt 19WS81 har tre st. portrycksspetsar installerats på djupen 5, 10, och 15 m. Ett grundvattenrör har installerats på 24,6 m djup i friktionsjorden under leran. Mätningar visar på en portrycksgradient i punkten som jämfört med ett hydrostatiskt portryck är minskande. Baserat på maximalt uppmätt portryck i den översta portrycksspetsen antas den fria grundvattenytan ligga på 0,6 m djup under markytan. Portrycksfördelningen i punkten redovisas i Figur 17.



Figur 17. Portrycksprofil i punkt 19WS81.

I punkt 19WS82 har en portrycksspets installerats på 4 m djup och ett grundvattenrör har installerats i friktionsjord på 10 m djup. Mätningar visar på en trycknivå som motsvarar en fri vattenyta på 0,6 m djup under markytan, se Figur 18.



Figur 18. Portrycksprofil i punkt 19WS82.

För nulägesanalysen har en hydrostatisk portrycksgradient från 0,6 m under markytan i ravinens botten nyttjats. I sektionens bakersta del, på stort avstånd från slänkrön, antas en hydrostatisk portrycksfördelning från ca 1 m under markytan råda.

Vid beräkning med bedömda extremvärden för portryck antas grundvattenytan i den övre akvifären sammanfalla med markytan och trycknivån i den undre akvifären antas höjas med 30 kPa.

9.3.6 Beräkningsresultat

Sammanställning av resultat från utförda stabilitetsberäkningar presenteras i Tabell 19. Beräkningar redovisas i Bilaga 2.

Tabell 19. Sammanställning av beräkningsresultat för sektion V18/600.

Filnamn	Beskrivning	Säkerhetsfaktor
18600VUB1	Odränerad – Utan anisotropi	1,1
18600VKB1	Kombinerad – Utan anisotropi	0,97*
18600VKB2	Kombinerad – Extremvärden portryck	0,91*

*Mycket ytliga glidytor.

9.3.7 Anmärkningar

Vid samtliga analyser erhålls en säkerhetsfaktor som är lägre än kraven. Den beräknade säkerhetsfaktorn är lägre än den erforderliga inom ett område av ca 40 m från släntkrön. Vid kombinerad analys är säkerhetsfaktorn lägre än 1,0 för de mest kritiska glidytorerna. Dessa har dock en begränsad utbredning kring släntkrön och är mycket ytliga och påverkas därför kraftigt av antagen tjocklek på torrskorpeleran. Samtliga glidytor med otillfredsställande stabilitet går till stor del genom kvicklera.

9.4 SEKTION V18/550

9.4.1 Topografiska förhållanden

Sektionen är belägen i undersökningsområdets norra del och går parallellt med älven vinkelrätt mot den bäckravin som utgör områdets norra avgränsning. Markytans nivå varierar mellan ca +25 och +30 i sektionens övre del. Från släntkrön på nivån ca +27 sluttar markytan med lutningen ca 1:5 ner mot ravinens botten på nivån ca +9,5.

9.4.2 Utförda undersökningar

Längs sektionen finns 4 st sonderingspunkter utförda i samband med Göta älvutredningen, varav 2 st med både ostörd provtagning och vingförsök. Inga kompletterande undersökningar har utförts i denna sektion inom detta uppdrag.

9.4.3 Geotekniska förhållanden

Jordlagerföljden utgörs av ca 1,5 – 2 m torrskorpelera ovan lera vilande på berg. Lerans mäktighet varierar mellan ca 40 m bakom släntkrön och 15 m i ravinens botten. Kvicklera förekommer i hela sektionen och återfinns vid släntfot i hela jordprofilen. I sonderingspunkter ovan släntkrön återfinns kvicklera ned till nivån ca +17.

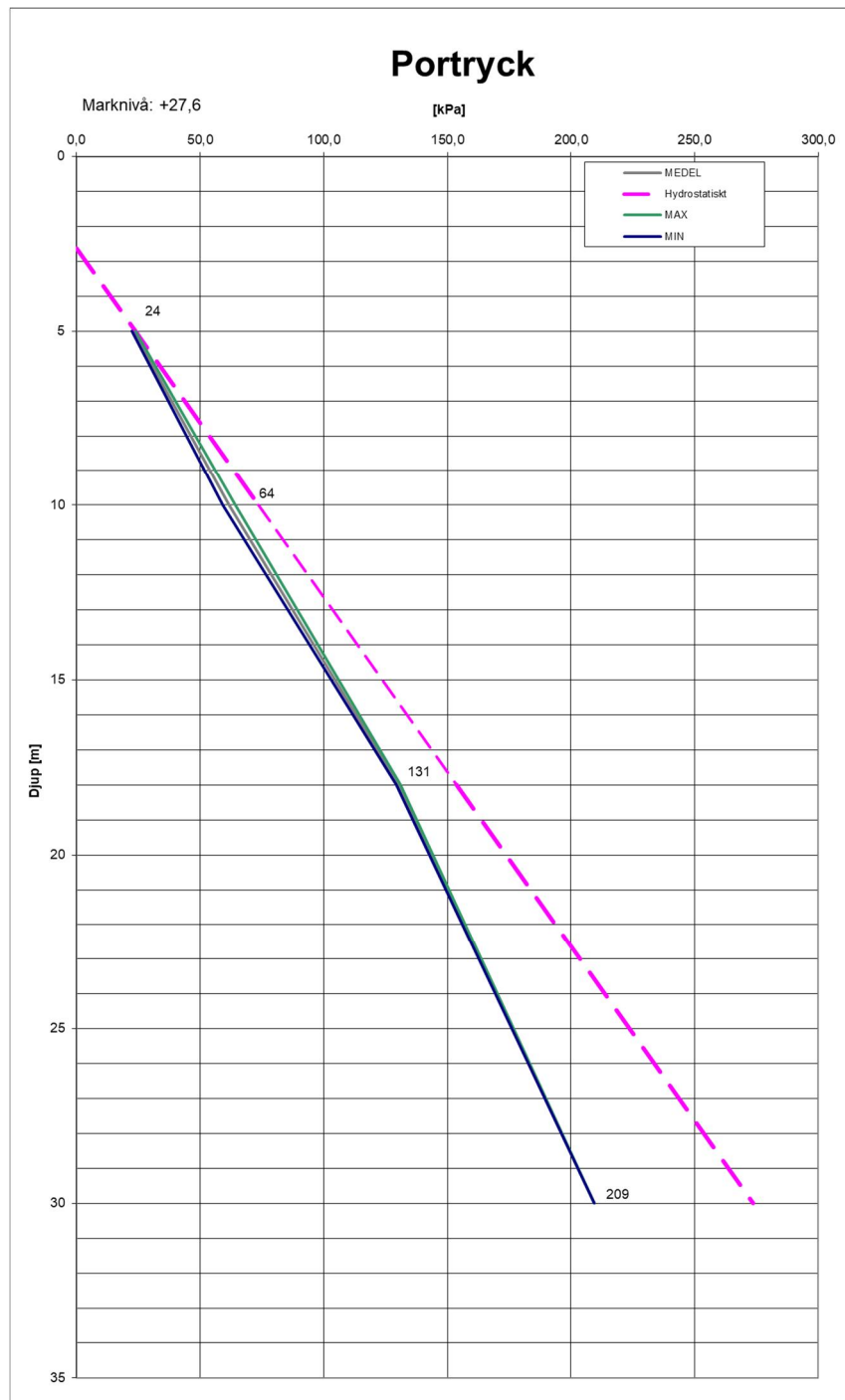
9.4.4 Valda värden för materialparametrar

Sektionen ligger inom de geologiska delområdena 1 och 2. Valda värden för respektive delområde redovisas i kapitel 8.1. Eftersom uppmätt konflytgräns i punkt U05039 avviker något från övriga undersökta punkter inom geologiskt delområde 1 bedöms den anisotropi som bekräftats i punkterna 19WS53 och

19WS58 ej kunna tillämpas i denna sektion. Beräkningar har dock utförts både med och utan anisotropi för att klarlägga förbättringen i säkerhetsfaktor som skulle kunna uppnås i det fall anisotropi bekräftades i sektionen.

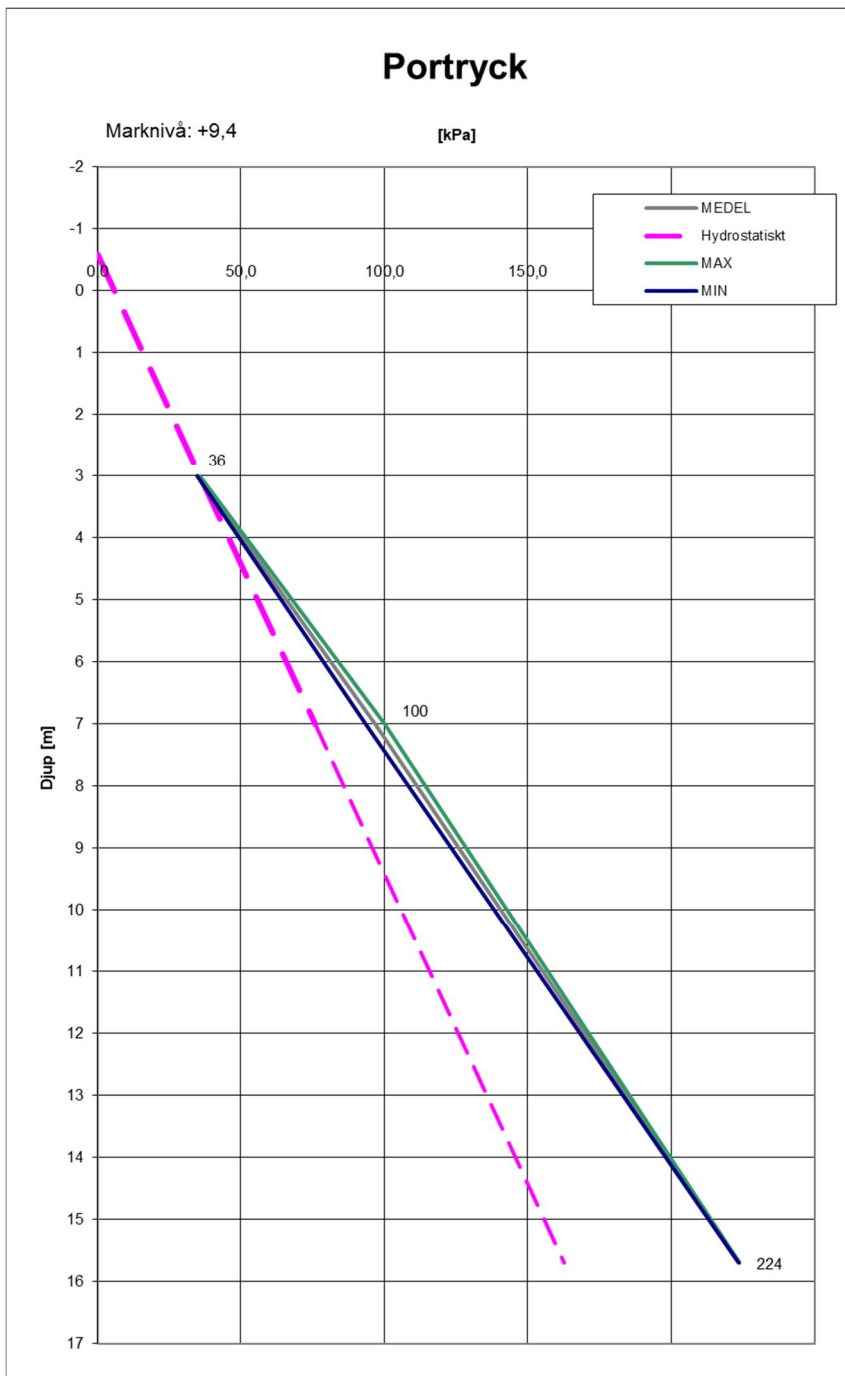
9.4.5 Valda portryck och grundvattenförhållanden

I sektionen har portrycksmätningar utförts i samband med Göta älvutredningen under år 2010 i punkt U05039, placerad vid släntrönn, och i punkt U05041 placerad i ravinbotten. I punkt U05039 har portrycksspetsar installerats på 5, 10, 18 och 30 m djup. Portrycksökningen mot djupet är mindre än hydrostatisk. Baserat på maximalt uppmätt portryck i den översta spetsen antas den fria grundvattenytan ligga på ca 2,6 m djup. Portrycksfördelningen i punkt U05039 redovisas i Figur 19.



Figur 19. Portrycksprofil i punkt U05039.

I punkt U05041 i ravinbotten har portrycksspetsar installerats på djupen 3, 7 och 15,7 m under markytan. Portrycksmätningarna visar på ett artesiskt vattentryck i undre magasin och en portrycksökning i leran mot djupet på ca 14 kPa/m. Portrycksprofilen redovisas i Figur 20.



Figur 20. Portrycksprofil i punkt U05041.

9.4.6 Beräkningsresultat

Sammanställning av resultat från utförda stabilitetsberäkningar presenteras i Tabell 20. Beräkningar redovisas i Bilaga 2.

Tabell 20. Sammanställning av beräkningsresultat för sektion V18/550.

Filnamn	Beskrivning	Säkerhetsfaktor
18550VUB1	Odränerad – Utan anisotropi	1,29
18550VUB2	Odränerad – Med aktiv anisotropi (19WS58)	1,35
18550VKB1	Kombinerad – Utan anisotropi	1,23
18550VKB2	Kombinerad – Med aktiv anisotropi (19WS58)	1,27
18550VKB3	Kombinerad – Utan anisotropi – extremvärden portryck	1,03

9.4.7 Anmärkningar

Beräknade säkerhetsfaktorer utan anisotropi är något lägre än de erforderliga. Vid beräkningar med beaktande av anisotropi erhålls högre säkerhetsfaktorer, dock fortfarande något lägre än de erforderliga. Vid beräkning med extremvärden för portryck blir den beräknade säkerhetsfaktorn betydligt lägre än den erforderliga. Den kritiska glidyten för denna analys är relativt lokal kring släntfot men skär genom kvicklera och kan således initiera ett bakåtgripande skredförlopp som påverkar ett större område.

9.5 SEKTION V18/535

9.5.1 Topografiska förhållanden

Sektionen sträcker sig ca 250 m från älvkanten i öst-västlig riktning, i ca 50° vinkel mot älven. I sektionens övre del sluttar markytan svagt från nivå ca +30 längst i väster till ca +21 vid släntkrön. Slänten mot strandområdet har en medellutning på ca 1:2. I strandområdet ligger marknivån på ca +7,5 d.v.s. omkring älvens medelvattennivå. Från strandkanten och ca 35 m ut i älven sluttar älvbotten svagt ned till nivån ca +3. Därefter följer en undervattensslänt med lutningen ca 1:2,5 ned till älvbottens djupaste nivå på ca -8.

Vid strandkanten finns ett erosionsskydd bestående av sprängsten. Erosionsskyddet bedöms vara ca 0,5 m tjockt och ha en utbredning av ca 3,5 m från strandkanten. Bedömningen baseras på utförd georadarmätning och inmätning av erosionsskyddets synliga delar.

9.5.2 Utförda undersökningar

Sektionen omfattar 5 st undersökningspunkter, som alla utfördes inom detta uppdrag. I 2 st av dessa har ostörd provtagning och avancerade labbförsök utförts.

9.5.3 Geotekniska förhållanden

Jordlagerföljden utgörs av torrskorpelera ovan lera som vilar på berg. Torrskorpelera är ca 0,5 – 2,5 m tjock. Lerans mäktighet är ca 35 m ovanför släntröns och ca 25 m i strandområdet.

Leran klassificeras som kvicklera i stora delar av sektionen. ovanför släntröns förekommer det kvicklera i hela jordprofilen. I strandområdet och i den bakre delen av sektionen förekommer kvicklera endast i den övre delen av jordprofilen. Under älven bedöms ingen kvicklera förekomma.

9.5.4 Valda värden för materialparametrar

Sektionen sträcker sig genom de geotekniska delområdena 1, 2 och 3. Valda värden för materialparametrar för respektive delområde redovisas i kapitel 8.1. Anisotropi har utvärderats från aktiva triaxialförsök i punkt 19WS53. Vald anisotropifunktion redovisas i kapitel 8.1.3.

9.5.5 Valda portryck och grundvattenförhållanden

I sektionen har portryck valts utifrån mätningar utförda i punkt 19WS58 och punkt NV00061A-64A. Punkt 19WS58 är placerad i sektion V18/910 ca 300 m sydväst om aktuell sektion och bedöms vara representativ för området kring släntröns. Punkt NV00061A-64A som bedöms vara representativ för strandområdet är placerad ca 180 m sydväst om aktuell sektion. Portrycksprofilerna för dessa punkter redovisas i kapitel 9.7.5.

9.5.6 Beräkningsresultat

Sammanställning av resultat från utförda stabilitetsberäkningar presenteras i Tabell 21. Beräkningar redovisas i Bilaga 2.

Tabell 21. Sammanställning av beräkningsresultat för sektion V18/535.

Filnamn	Beskrivning	Säkerhetsfaktor
18535VUB3	Odränerad - Med aktiv anisotropi (19WS53)	1,28
18535VKB3	Kombinerad - Utan anisotropi	1,06
18535VKB5	Kombinerad - Med aktiv anisotropi (19WS53)	1,16
18535VKB7	Kombinerad - Med aktiv anisotropi (19WS53) - Extremvärden portryck	1,02
18535VKB4	Kombinerad - Undervattensslänt	1,89*

*Mycket yttlig glidyta

9.5.7 Kommentarer

Vid samtliga analyser förutom för undervattensslänten erhålls en säkerhetsfaktor som är lägre än kraven. Vid kombinerad analys är beräknad säkerhetsfaktor lägre än den erforderliga inom ett område av ca 40 m från släntröns. De kritiska glidyterna går huvudsakligen genom kvicklera.

9.6 SEKTION V18/740

9.6.1 Topografiska förhållanden

Sektionen sträcker sig ca 320 m från älvkanten vinkelrätt mot älven. Ovanför släntkrön sluttar markytan svagt från nivå ca +33 vid sektionens bakkant till ca +25 vid släntkrön. Övre delen av slänten mot strandområdet har en lutning på ca 1:6 och närmare släntfot ökar lutningen till ca 1:1,5. I strandområdet sluttar markytan från ca +12 vid släntfot till ca +10 vid strandkanten. Från strandkanten och ca 18 m ut i älven sluttar älvbotten svagt ned till nivån ca +5. Därefter följer en undervattensslänt med lutningen ca 1:4. Älvbotten ligger som djupast på nivå -5.

Vid strandkanten finns ett erosionsskydd bestående av sprängsten. Erosionsskyddet har en synlig utbredning i markytan på ca 12 m från strandkanten. Enligt utförd georadarmätning är tjockleken ca 1 m.

9.6.2 Utförda undersökningar

Längs sektionen finns 4 st undersökningspunkter som utfördes under SGI:s uppdrag NV Göta Älv. Inga kompletterande undersökningar har utförts i sektionen inom detta uppdrag.

9.6.3 Geotekniska förhållanden

Jordlagerföljden utgörs av torrskorpelera ovan lera som vilar på berg. I sektionens bakre del finns 2-3 m friktionsjord mellan leran och berget. Torrskorpelerans tjocklek är i undersökta punkter ca 0,5 m. Lerans mäktighet varierar från ca 20 till ca 35 m.

Enligt ostörda provtagningar i punkt NV00067A är leran kvick från ca 3 m djup till ca 17 m djup. I övriga punkter har förekomst av kvicklera ej kunnat bedömas eftersom rådata från utförda CPT-sonderingar saknas. Det är dock troligt att det finns kvicklera längs hela sektionen eftersom kvicklera bedöms förekomma i samtliga punkter i omkringliggande sektioner.

9.6.4 Valda värden för materialparametrar

Sektionen sträcker sig genom de geotekniska delområdena 1, 2 och 3. Valda värden för materialparametrar för respektive delområde redovisas i kapitel 8.1.

9.6.5 Valda portryck och grundvattenförhållanden

I sektionen har portryck valts utifrån mätningar utförda i punkt 19WS58 och punkt NV00061A-64A. Portrycksmätarna i punkt NV00061A-64A är placerade vid släntfot och installerades inom SGI:s uppdrag NV Göta Älv. Mätningar utfördes under perioden december 2007 – oktober 2010. Punkt 19WS58 är placerad vid släntkrön i sektion V18/910 ca 150 m sydväst om aktuell sektion och bedöms vara representativ för området kring släntkrön. Portrycksprofiler för dessa punkter redovisas i kapitel 9.7.5.

9.6.6 Beräkningsresultat

Sammanställning av resultat från utförda stabilitetsberäkningar presenteras i Tabell 22. Beräkningar redovisas i Bilaga 2.

Tabell 22. Sammanställning av beräkningsresultat för sektion V18/740.

Filnamn	Beskrivning	Säkerhetsfaktor
18740VUB2	Odränerad - Med aktiv anisotropi (vald 19WS58)	1,21
18740VKB2	Kombinerad - Utan anisotropi	1,00
18740VKB4	Kombinerad - Med aktiv anisotropi (vald 19WS58)	1,04
18740VKB7	Kombinerad - Med aktiv anisotropi (vald 19WS58) - Extremvärden portryck	0,88
18740VKB5	Kombinerad undervattenslänt	2,92

9.6.7 Anmärkningar

Vid samtliga analyser förutom för undervattensslänten erhålls en säkerhetsfaktor som är lägre än kraven. Beräknad säkerhetsfaktor är vid kombinerad analys lägre än den erforderliga inom ett område av ca 100 m från släntkrön. Vid beräkning med extremvärden för portryck är säkerhetsfaktorn lägre än 1,0, glidytan är dock lokal kring släntkrön.

9.7 SEKTION V18/910

9.7.1 Topografiska förhållanden

Sektionen sträcker sig ca 250 m från strandkanten i nordvästlig riktning. I sektionens övre del sluttar markytan från nivå ca +31 längst i väster till ca +25 vid släntkrön. Slänten mot strandområdet har en lutning på ca 1:1,5. Vidare minskar marknivån i strandområdet från ca +13 vid slänkfot till +7,5 vid strandkanten. Från strandkanten sluttar älvbotten med en lutning på ca 1:2,5 ned till nivån ca -3 där den planar ut. Älvbotten ligger som lägst på nivå -6.

Vid strandkanten finns ett erosionskydd bestående av sprängsten. Erosionskyddet bedöms vara ca 0,8 m tjockt med en utbredning på ca 5 m från strandkanten. Bedömningen baseras på utförd georadarmätning och inmätning av erosionskyddets synliga delar.

9.7.2 Utförda undersökningar

I samband med Göta älvutredningen utfördes CPT-sonderingar längs sektionen. Dessa sonderingar har inom uppdraget kompletterats med kolvprovtagning i 2 st punkter; 19WS58 placerad vid släntkrön och 19WS57 vid slänkfot.

9.7.3 Geotekniska förhållanden

Enligt utförda insituförsök och provtagningar utgörs jordlagerföljden av ca 1-2 m torrskorpelera ovan lera som vilar på berg. Vid släntkrön är torrskorpelerans tjocklek ca 3 m. Lerans mäktighet varierar mellan ca 25 och

ca 30 m. Det totala jorddjupet är ungefär densamma längs hela sektionen d.v.s. lerans underkant följer markytans variation.

Leran klassificeras som kvicklera i stora delar av sektionen. Kvicklerans mäktighet är som störst vid släntkrön och minskar i strandområdet. Vid släntkrön finns kvicklera mellan nivåerna +19 och -7 medan det i strandområdet finns kvicklera mellan nivåerna +6 och +1. Under älven bedöms ingen kvicklera förekomma.

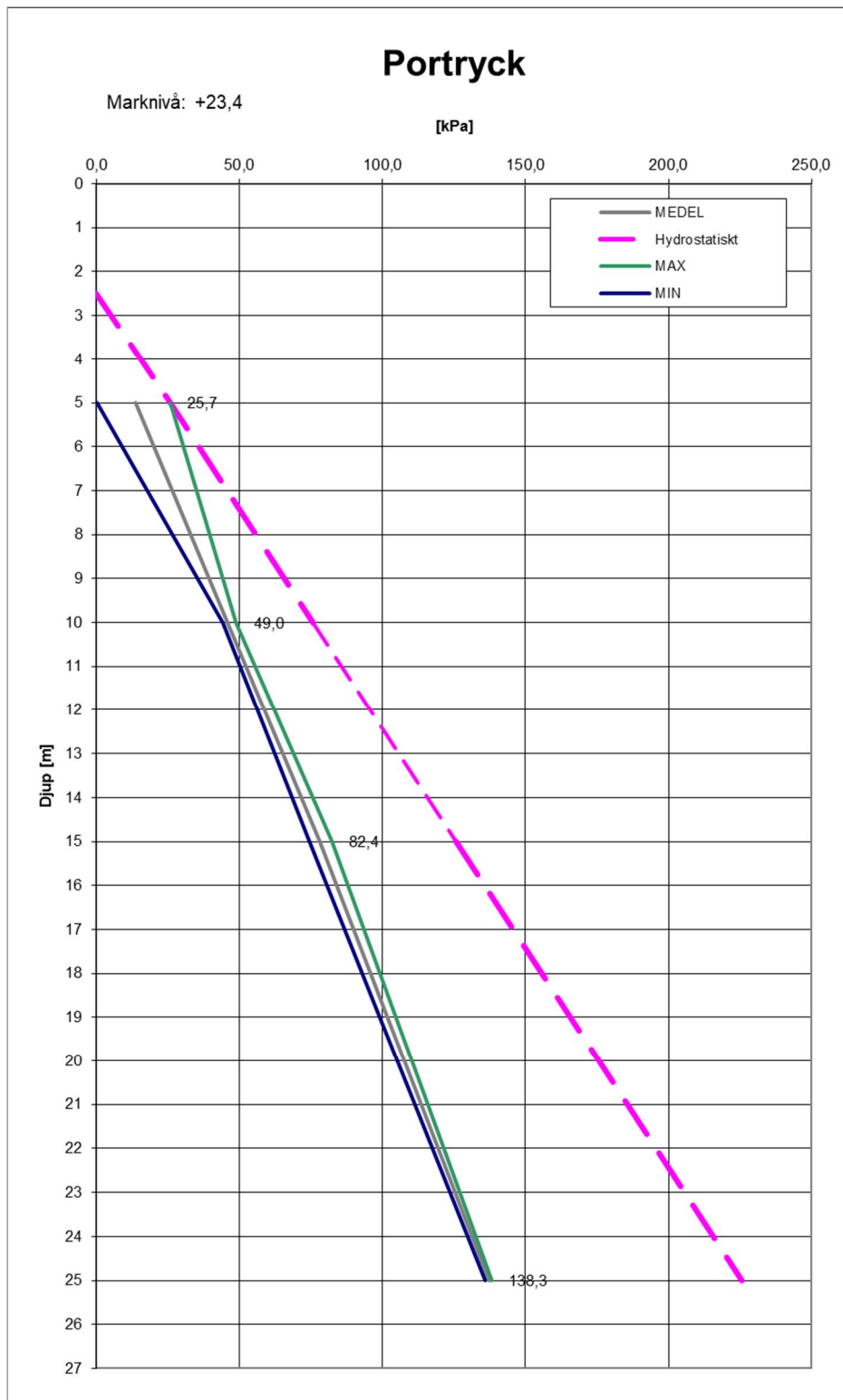
9.7.4 Valda värden för materialparametrar

Sektionen sträcker sig genom de geotekniska delområdena 1, 2 och 3. Valda värden för materialparametrar för respektive delområde redovisas i kapitel 8.1.

9.7.5 Valda portryck och grundvattenförhållanden

I sektionen har portryck valts utifrån mätningar utförda i punkt 19WS58 vilken är placerad i närheten av släntkrön samt från punkt NV00061A-64A vilken är placerad i strandområdet ca 150 m norr om aktuell sektion.

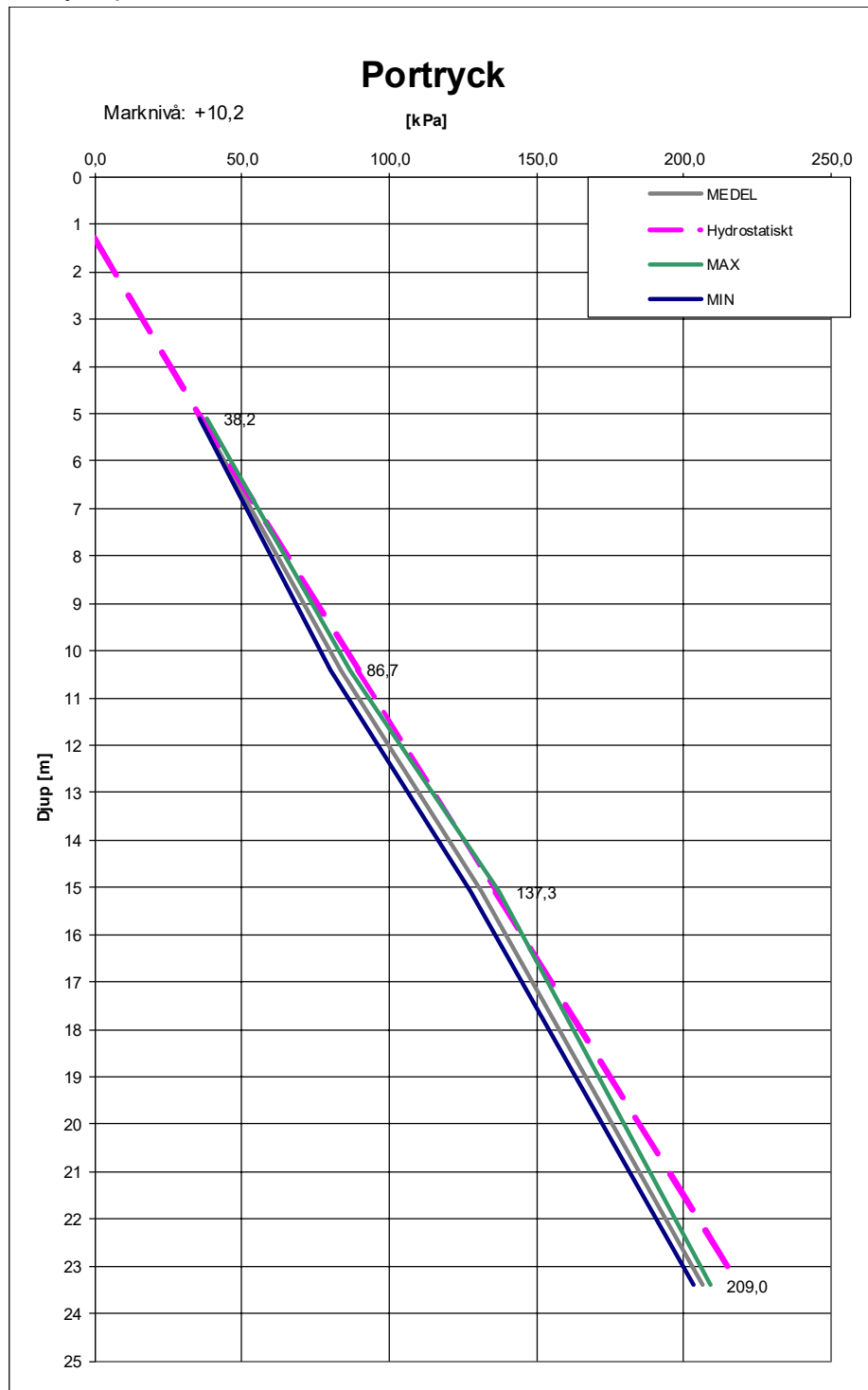
I punkt 19WS58 har fyra st. portrycksspetsar installerats på djupen 5, 10, 15 och 25 m. Portrycksökningen mot djupet är i denna punkt lägre än hydrostatisk. Baserat på maximalt uppmätt portryck i den översta spetsen antas den fria grundvattenytan ligga på 2,5 m djup. Portrycksfördelningen i punkten redovisas i Figur 21.



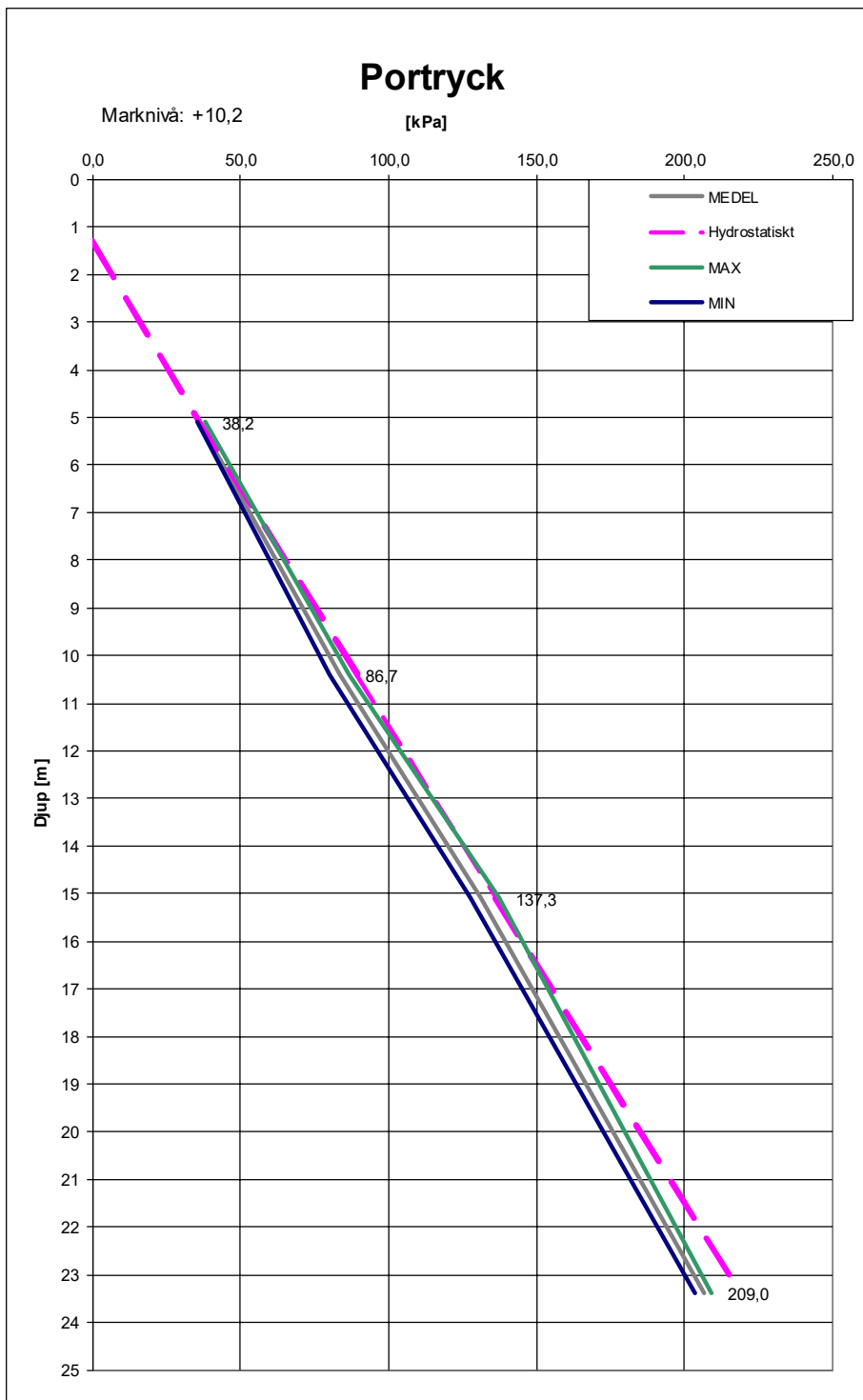
Figur 21. Portrycksprofil i punkt 19WS58.

I punkt NV00061A-64A har portrycksmätningar utförts på djupen 5,1, 10,4, 15,1 och 23,4 m. Portrycksökningen mot djupet motsvarar i stort en hydrostatisk portryckssituation med en fri grundvattenyta på 1,3 m djup.

Portrycksprofilen redovisas i



Figur 22.



Figur 22. Portrycksprofil i punkt NV00061A-64A.

9.7.6 Beräkningsresultat

Sammanställning av resultat från utförda stabilitetsberäkningar presenteras i Tabell 23. Beräkningar redovisas i Bilaga 2.

Tabell 23. Sammanställning av beräkningsresultat för sektion V18/910.

Filnamn	Beskrivning	Säkerhetsfaktor
18910VUB5	Odränerad - Med aktiv anisotropi (vald 19WS58)	1,19
18910VKB3	Kombinerad - Utan anisotropi	1,11
18910VKB5	Kombinerad - Med aktiv anisotropi (vald 19WS58)	1,15
18910VKB6	Kombinerad - Med aktiv anisotropi (vald 19WS58) (lokal glidyta)	1,1
18910VKB9	Kombinerad - Med aktiv anisotropi (vald 19WS58) - Extremvärden portryck	1,09
18910VKB10	Kombinerad - Med extremvärden portryck (lokal glidyta)	0,74
18910VKB4	Kombinerad - Undervattensslänt	1,97*

* Mycket yttlig glidyta

9.7.7 Anmärkningar

Vid samtliga analyser förutom för undervattensslänten erhålls en säkerhetsfaktor som är lägre än kraven. Beräknad säkerhetsfaktor är lägre än den erforderliga inom ett område av ca 100 m från släntkrön. Vid kombinerad analys erhålls låg säkerhetsfaktor både för långsträckta glidytor och för mycket lokala glidytor vid släntkrön. Beräknade säkerhetsfaktorer för de lokala glidyterna är dock starkt beroende av vilka antaganden som gjorts gällande torrskorpelerans tjocklek och rådande portrycksförhållanden varför de anses vara mer osäkra än de för de långsträckta glidyterna. De kritiska långsträckta glidyterna går till stor del genom kvicklera.

9.8 SEKTION V19/080

9.8.1 Topografiska förhållanden

Sektionen sträcker sig ca 160 m från strandkanten i nordvästlig riktning. I sektionens övre del ligger marknivån på ca +27, förutom längst västerut där markytan sluttar ned mot en ravin. Slänten mot strandområdet har en lutning på ca 1:3. I strandområdet ligger marknivån kring +7,5. Från strandkanten har älvbotten en medellutning på ca 1:4 ned till nivån ca -6 där undervattensslänten planar ut.

Vid strandkanten finns ett erosionsskydd bestående av sprängsten. Erosionsskyddet bedöms vara ca 1,0 m tjockt och ha en utbredning av ca 7 m från strandkanten. Bedömningen baseras på utförd georadarmätning och inmätning av erosionsskyddets synliga delar.

9.8.2 Utförda undersökningar

I samband med Göta älvutredningen utfördes CPT-sonderingar i 4 punkter längs sektionen. I punkt U05050 vid släntkrön utfördes också ostörd provtagning samt direkta skjuvförsök. Inom detta uppdrag har dessa sonderingar kompletterats med ostörd provtagning och direkta skjuvförsök i punkt 19WS59 vid slänftot.

9.8.3 Geotekniska förhållanden

Jordlagerföljden utgörs av torrskorpelera ovan lera som vilar på berg. Mellan lera och berget återfinns ställvis ett friktionsjordlager med en tjocklek av 2-3 m. Torrskorpelerans tjocklek är generellt ca 1 – 1,5 m. I den nedre delen av slänten vid punkt 19WS59 ökar dock mäktigheten till ca 3,5 m. Denna torrskorpelera förmodas vara massor från ett äldre skred. Lerans mäktighet är ca 30 m ovanför släntrön och ca 25 m vid släntfot. Under älvbotten antas den vara ca 25 m.

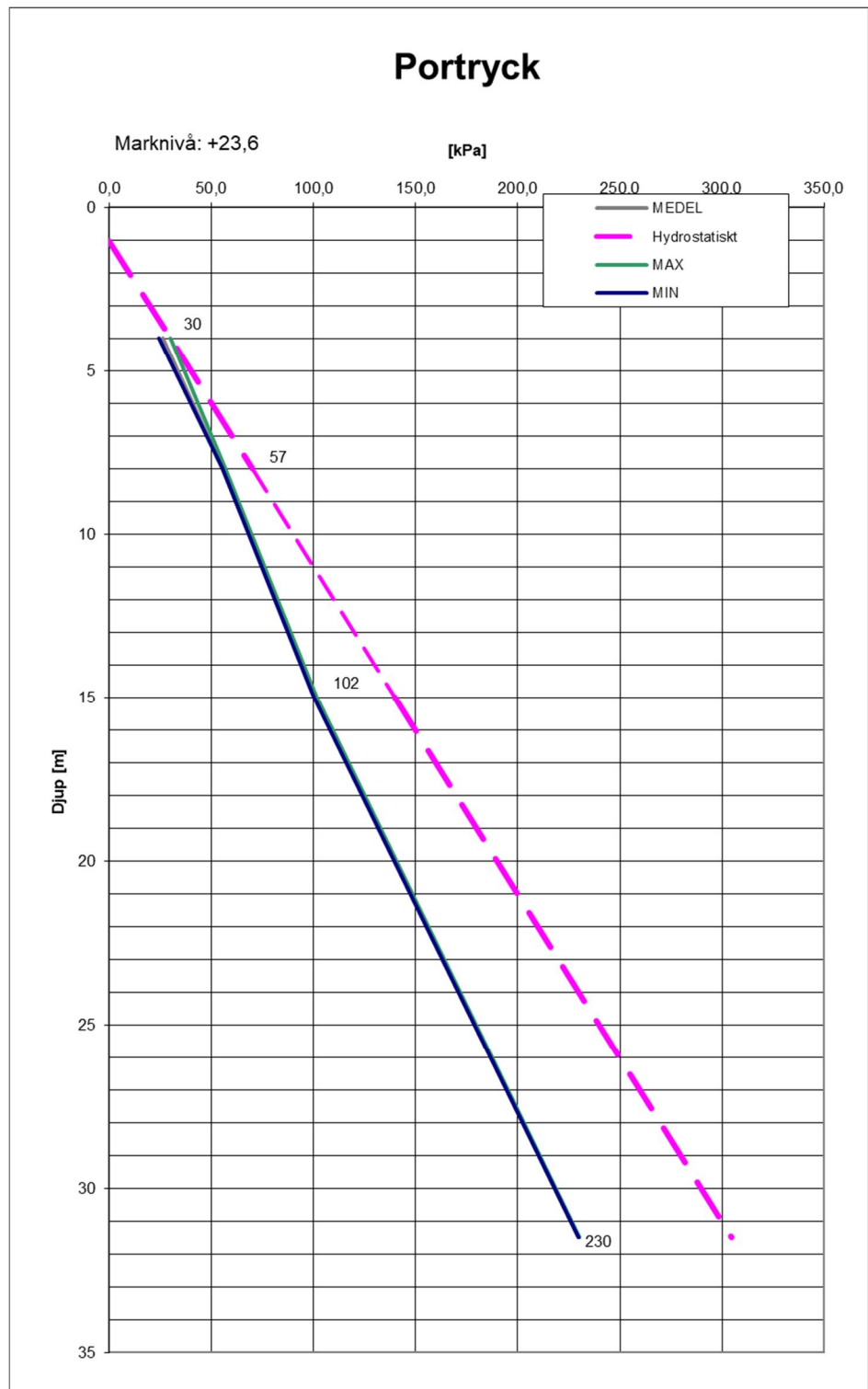
Kvicklera förekommer i samtliga undersökningspunkter längs sektionen. Ovanför släntrön är kvicklerans mäktighet ca 10 - 15 m och vid släntfot ca 2 m. Under älven bedöms ingen kvicklera förekomma. Utförda undersökningar i älven visar att lera är högsensitiv med inte kvick.

9.8.4 Valda värden för materialparametrar

Sektionen sträcker sig genom de geotekniska delområdena 1, 2 och 3. Valda värden för materialparametrar för respektive delområde redovisas i kapitel 8.1.

9.8.5 Valda portryck och grundvattenförhållanden

I sektionen har portrycksmätningar utförts på djupen 4, 8, 15 och 31,5 m i punkt U05050 som är placerad vid släntrön. Portrycksökningen mot djupet är lägre än hydrostatisk. Baserat på maximalt uppmätt portryck i den översta spetsen antas den fria grundvattenytan ligga på 1 m djup. Portrycksfördelningen i punkten redovisas i Figur 23.



Figur 23. Portrycksprofil i punkt U05050.

I sonderingspunkterna U05049 och U05048 bakom släntröen antas samma portrycksprofil som i punkt U05050. Vid släntröen antas en hydrostatisk portrycksökning från älvens medelvattennivå.

9.8.6 Beräkningsresultat

Sammanställning av resultat från utförda stabilitetsberäkningar presenteras i Tabell 24. Beräkningar redovisas i Bilaga 2.

Tabell 24. Sammanställning av beräkningsresultat för sektion V19/080.

Filnamn	Beskrivning	Säkerhetsfaktor
19080VUB1	Odränerad - Med aktiv anisotropi (vald 19WS58)	1,18
19080VKB1	Kombinerad - Utan anisotropi	1,06
19080VKB2	Kombinerad - Med aktiv anisotropi (vald 19WS58)	1,11
19080VKB4	Kombinerad - Med aktiv anisotropi (vald 19WS58) - Extremvärden portryck	0,96
19080VKB5	Kombinerad - Undervattensslänt	3,29*

*Mycket yttlig glidyta

9.8.7 Anmärkningar

Vid samtliga analyser förutom den för undervattensslänten är den beräknade säkerhetsfaktorn lägre än kraven. Beräknad säkerhetsfaktor är lägre än den erforderliga till ca 70 m bakom släntkrön. De kritiska glidyterna går delvis genom kvicklera.

9.9 SEKTION V19/110

9.9.1 Topografiska förhållanden

Sektionen sträcker sig ca 160 m från älven i nordvästlig riktning och är belägen mellan två ravinbildningar. Ovanför släntkrön lutar slänten svagt och marknivån minskar från ca +28 till ca +25. Den övre delen av slänten mot strandområdet har en lutning på ca 1:7 som efter ca 35 m övergår i en brantare lutning på ca 1:2,5. I strandområdet ligger marknivån kring +8,0. Från strandkanten och ca 30 m ut i älven ligger älvbotten på nivån ca +6. Därefter följer en undervattensslänt med lutning på ca 1:2 ned till nivån -6 där älvens botten planar ut.

Vid strandkanten finns ett erosionsskydd av sprängsten. Erosionsskyddet bedöms vara ca 1,5 m tjockt och ha en utbredning av ca 6 m från strandkanten in mot land. Bedömningen baseras på utförd georadarmätning och inmätning av erosionsskyddets synliga delar.

9.9.2 Utförda undersökningar

Längs sektionen finns 3 st undersökningspunkter som alla utfördes inom detta uppdrag. I en av dessa har ostörd provtagning och direkta skjuvförsök utförts. Samtliga punkter är placerade i övre delen av slänten eller bakom släntkrön eftersom strandområdet ej var möjligt att nå med borrhandsvagn p.g.a. svårframkomlig terräng.

9.9.3 Geotekniska förhållanden

Jordlagerföljden utgörs av torrskorpelera ovan lera som vilar på berg. Torrskorpelerans tjocklek är ca 2 m. Lerans mäktighet varierar mellan 24 m och 27 m i undersökta punkter. I strandområdet har lermäktigheten antagits till ca 18 m mot bakgrund av sonderingar i de omkringliggande sektionerna.

Kvicklera bedöms förekomma i huvuddelen av jordprofilen längs hela sektionen, förutom under älven.

9.9.4 Valda värden för materialparametrar

Sektionen sträcker sig genom de geotekniska delområdena 1, 2 och 3. Valda värden för materialparametrar för respektive delområde redovisas i kapitel 8.1.

9.9.5 Valda portryck och grundvattenförhållanden

I punkterna 19WS62 och 19WS63 bakom släntkrön har portrycksprofilen antagits vara densamma som i den närliggande punkten U05052. Portrycksökningen mot djupet är mindre än hydrostatisk vilket tyder på en dränering mot i omgivande raviner. Portrycksprofilen redovisas i Figur 25 i kap. 9.10.5.

I strandområdet har en hydrostatisk portrycksökning antagits från älvens medelvattennivå.

9.9.6 Beräkningsresultat

Sammanställning av resultat från utförda stabilitetsberäkningar presenteras i Tabell 25. Beräkningar redovisas i Bilaga 2.

Tabell 25. Sammanställning av beräkningsresultat för sektion V19/110.

Filnamn	Beskrivning	Säkerhetsfaktor
19110VUB2	Odränerad - Med aktiv anisotropi (vald 19WS58)	1,22
19110VKB1	Kombinerad - Utan anisotropi	1,1
19110VKB2	Kombinerad - Med aktiv anisotropi (vald 19WS58)	1,15
19110VKB4	Kombinerad - Med aktiv anisotropi (vald 19WS58) - Extremvärden portryck	0,89*
19110VKB3	Kombinerad - Undervattensslänt	1,67*

*Ytlig glidyta.

9.9.7 Anmärkningar

Vid samtliga analyser förutom för undervattensslänten erhålls en säkerhetsfaktor som är lägre än kraven. Beräknade säkerhetsfaktorer är lägre än de erforderliga inom ett område av ca 60 m från släntkrön. Vid beräkning med extremvärden för portryck är säkerhetsfaktorn lägre än 1,0. Glidytan är dock ytlig och dränerad hållfasthet är dimensionerande längs hela glidytan. Merparten av de kritiska långsträckta glidyterna tangerar den del av lervolymen som klassificeras som kvicklera.

9.10 SEKTION V19/140

9.10.1 Topografiska förhållanden

Sektionen är orienterad parallellt med älven och korsar en bäckravin. Sektionen sträcker sig ca 100 m åt vardera håll från ravinens mitt. Norr om ravinerna ligger marknivån på ca +24. Den norra slänten har en lutning på ca 1:2 och ravinbotten ligger på nivån +8,4. Söder om ravinerna sluttar markytan svagt från nivå ca +26,5 längst i söder till nivån ca +23,5 vid släntkrön. Den södra slänten har en lutning på ca 1:3.

9.10.2 Utförda undersökningar

Längs sektionen finns 5 st sonderingspunkter från Göta älvutredningen varav 3 st med ostörd provtagning och vingförsök. Direkta skjuvförsök har utförts i punkt U05054 belägen i ravinbotten och i punkt U05050 bakom släntkrön norr om ravinen. Kompletterande ostörd provtagning och direkta skjuvförsök har utförts inom detta uppdrag i punkt 19WS62 ovanför det södra släntkrönet.

9.10.3 Geotekniska förhållanden

Jordlagerföljden utgörs ovanför släntkrön av ca 1-2 m torrskorpelera eller torrskorpesilt ovan lera som vilar på berg. Lerans mäktighet varierar mellan ca 30 m ovanför släntkrön och 15 m i ravinens botten. På bägge sidor om ravinen förekommer kvicklera i större delen av jordprofilen. Ingen kvicklera har dock påträffats under ravinbotten.

9.10.4 Valda värden för materialparametrar

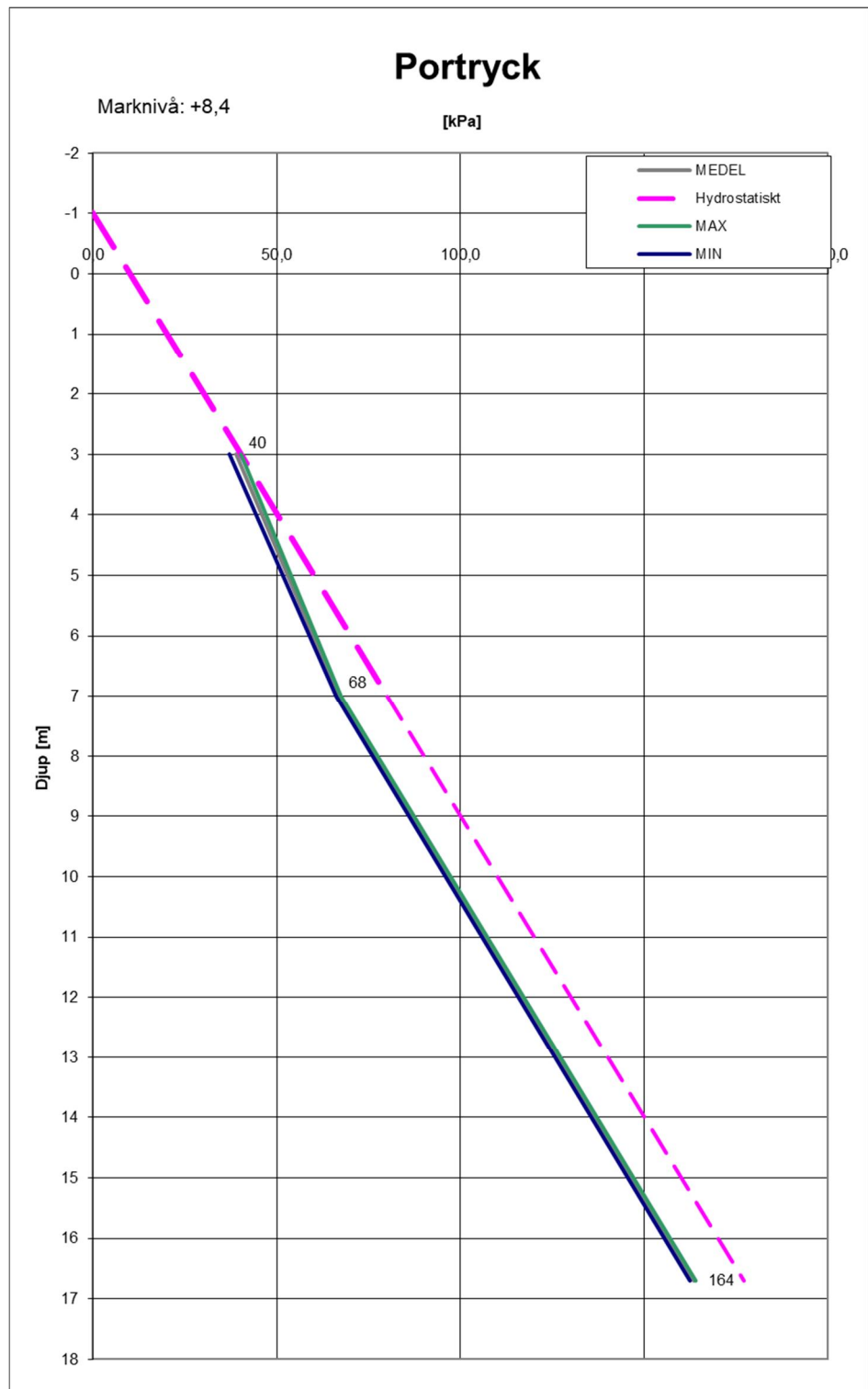
Sektionen ligger inom de geologiska delområdena 1 och 2. Valda värden för respektive delområde redovisas i kapitel 8.1.

9.10.5 Valda portryck och grundvattenförhållanden

I sektionen har portrycksmätningar utförts i 3 st punkter i samband med Göta älvutredningen 2010. Punkt U05050 är placerad norr om ravinen, punkt U05054 är placerad i ravinbotten och punkt U05052 är placerad söder om ravinen.

I punkt U05050 har portrycksspetsar installerats på djupen 4, 8, 15 och 31,5 m. Portrycksökningen mot djupet är mindre än hydrostatisk. Baserat på maximalt uppmätt portryck i den översta spetsen antas den fria grundvattenytan ligga på ca 1 m djup. Portrycksfördelningen i punkten redovisas i Figur 23 i kap. 9.8.5.

I punkt U05054 har portrycksspetsar installerats på djupen 3, 7 och 16,7 m under markytan. På 3 m djup är portrycket artesiskt, motsvarande en fri vattenyta ca 1 m över marknivån. På de djupare nivåerna motsvarar uppmätta portryck en hydrostatisk portrycksökning från markytan. Portrycksprofilen redovisas i Figur 24.

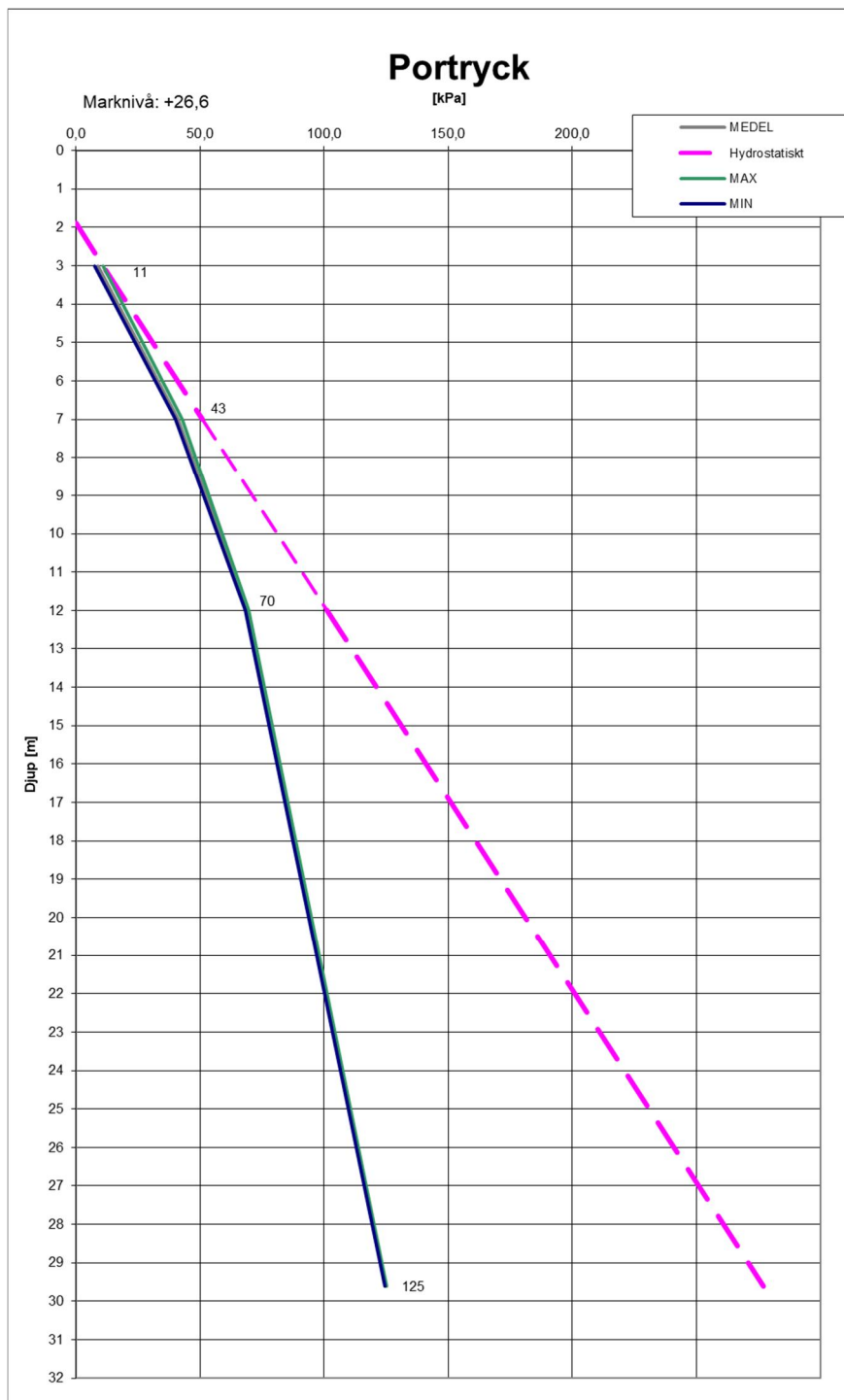


Figur 24. Portrycksprofil i punkt U05054.

Vid stabilitetsberäkningar har bäckravinen antagits vara torrlagd, d.v.s. grundvattenytan i ravinbotten antas ligga på nivå +8,4.

I punkt U05052 har portrycksmätningar utförts på djupen 3, 7, 12 och 29,6 m. Baserat på maximalt uppmätt portryck i den översta spetsen antas den fria grundvattenytan ligga på ca 2 m djup. Portrycksökningen mot djupet är

mindre än hydrostatisk vilket tyder på en dränering mot i omgivande raviner, se Figur 25.



Figur 25. Portrycksprofil i punkt U05052.

9.10.6 Beräkningsresultat

Sammanställning av resultat från utförda stabilitetsberäkningar presenteras i Tabell 26. "Höger till Vänster" avser slänten söder om ravinen och "Vänster till Höger" avser slänten norr om ravinen. Beräkningar redovisas i Bilaga 2.

Tabell 26. Sammanställning av beräkningsresultat för sektion V19/140.

Filnamn	Beskrivning	Säkerhetsfaktor
19140VUB1	Odränerad med aktiv anisotropi (vald 19WS58) - Höger till Vänster	1,18
19140VUB2	Odränerad med aktiv anisotropi (vald 19WS58) - Vänster till Höger	1,18
19140VKB1	Kombinerad med aktiv anisotropi (vald 19WS58) - Höger till Vänster	1,10
19140VKB2	Kombinerad med aktiv anisotropi (vald 19WS58) - Vänster till Höger	1,05
19140VKB5	Kombinerad med aktiv anisotropi (vald 19WS58) - Höger till Vänster - Extremvärden portryck	1,00*
19140VKB6	Kombinerad med aktiv anisotropi (vald 19WS58) - Vänster till Höger - Extremvärden portryck	0,77*

*Ytlig glidyta

9.10.7 Anmärkningar

Vid samtliga analyser är de beräknade säkerhetsfaktorerna lägre än de erforderliga. Beräkningar med extremvärden för portryck i kombinerad analys för den norra slänten ger en säkerhetsfaktor som ligger under 1,0. Den kritiska glidyten är dock mycket ytlig och den ansatta portryckssituationen, med grundvattenytan i marknivån längs hela slänten, är osäker och möjligen oralistisk.

9.11 SEKTION V19/310

9.11.1 Topografiska förhållanden

Sektionen sträcker sig ca 180 m från strandkanten i nordvästlig riktning. Ovanför släntröner sluttar markytan svagt från nivå ca +28 i bakre delen av sektionen till ca +23 vid släntröner. Slänten mot strandområdet har generellt en lutning på ca 1:2, lokalt är lutningen brantare. I strandområdet minskar marknivån från ca +10 vid släntröner till +7,5 vid strandkanten. Älvbotten har en lutning på ca 1:6 ned till nivån ca -2. Älvbotten ligger som lägst på nivå -3,3.

Vid strandkanten finns ett erosionsskydd bestående av sprängsten. Enligt utförd Jb-sondering i punkt 19WS83 är tjockleken ca 1,8 m. Erosionsskyddet sträcker sig ca 7,5 m från strandkanten upp mot land.

9.11.2 Utförda undersökningar

I samband med Göta älvutredningen utfördes CPT-sonderingar längs sektionen. Dessa sonderingar har inom detta uppdrag kompletterats med kolvprovtagning i 2 st punkter; 19WS65 placerad vid släntröner och 19WS64 vid släntröner. För bestämning av erosionsskyddets tjocklek har Jb-sondering utförts invid strandkanten.

9.11.3 Geotekniska förhållanden

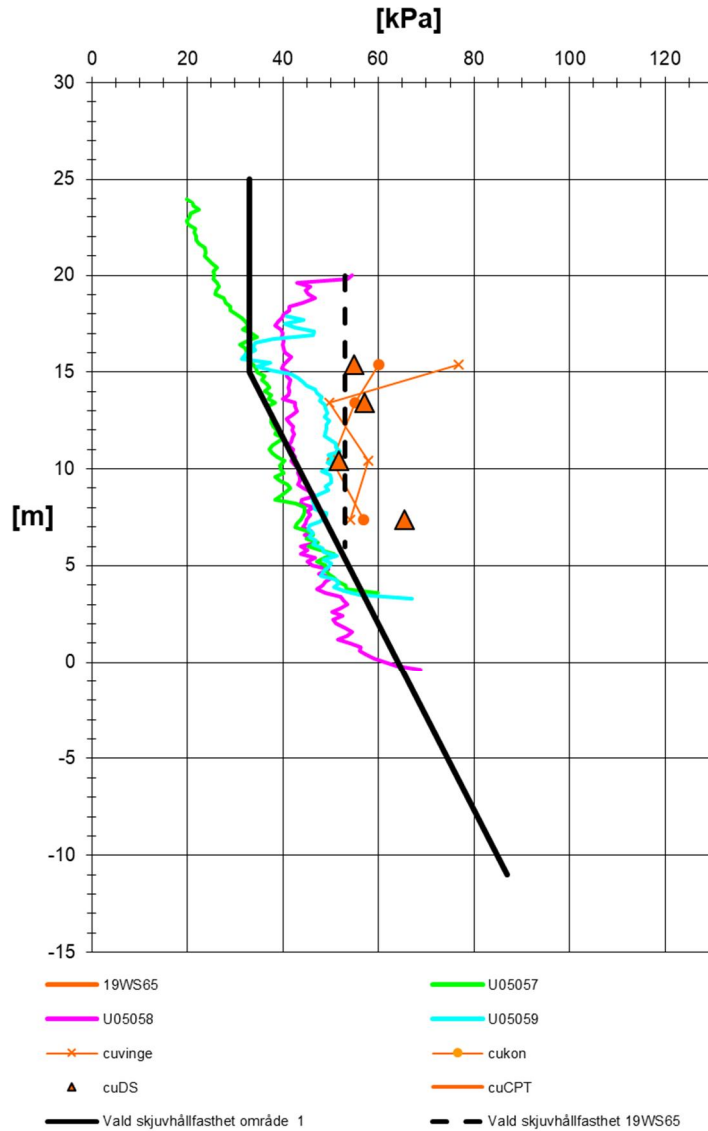
Jordlagerföljden utgörs av ca 2-3 m torrskorpelera ovan lera som vilar på berg. Torrskorpans tjocklek är som störst vid släntkrön. Lerans mäktighet varierar mellan ca 20 och ca 25 m bakom släntkrön och minskar till ca 7 m vid släntfot. Under älven har lermäktigheten antagits till ca 10 m.

Kvicklera bedöms förekomma i hela sektionen förutom i punkt 19WS65 där lera är högsensitiv men ej kvick.

9.11.4 Valda värden för materialparametrar

Sektionen sträcker sig genom de geologiska delområdena 1, 2 och 3. Valda värden för respektive delområde redovisas i kapitel 8.1.2. I punkt 19WS65, invid släntkrön, är uppmätt odränerad skjuvhållfasthet högre än valt värde för delområde 1. Denna höga hållfasthet bedöms bero på att större delen av jordprofilen i punkten är dränerad (se kap. 9.11.5). Uppmätt hållfasthet i punkterna U05057 och U05058, som är placerade längre från släntkrön, stämmer dock överens med valt värde för delområdet. Vid stabilitetsberäkningar har skjuvhållfasthet enligt punkt 19WS65 nyttjats lokalt kring släntkrön. En känslighetsanalys har också utförts där denna högre skjuvhållfasthet ej nyttjas. Sammanställning av uppmätt odränerad skjuvhållfasthet i sektion V19/310 redovisas tillsammans med valda värden i Figur 26. I Tabell 27 redovisas vald odränerad skjuvhållfasthet för punkt 19WS65.

Skjuvhållfasthet - odränerad analys, med nivå. Alla metoder.



Figur 26. Sammanställning av odränerad skjuvhållfasthet sektion V19/310. Uppmätt hållfasthet i punkt 19WS65 är högre än valt värde för delområde 1, troligtvis p.g.a. dränerade förhållanden i punktens läge.

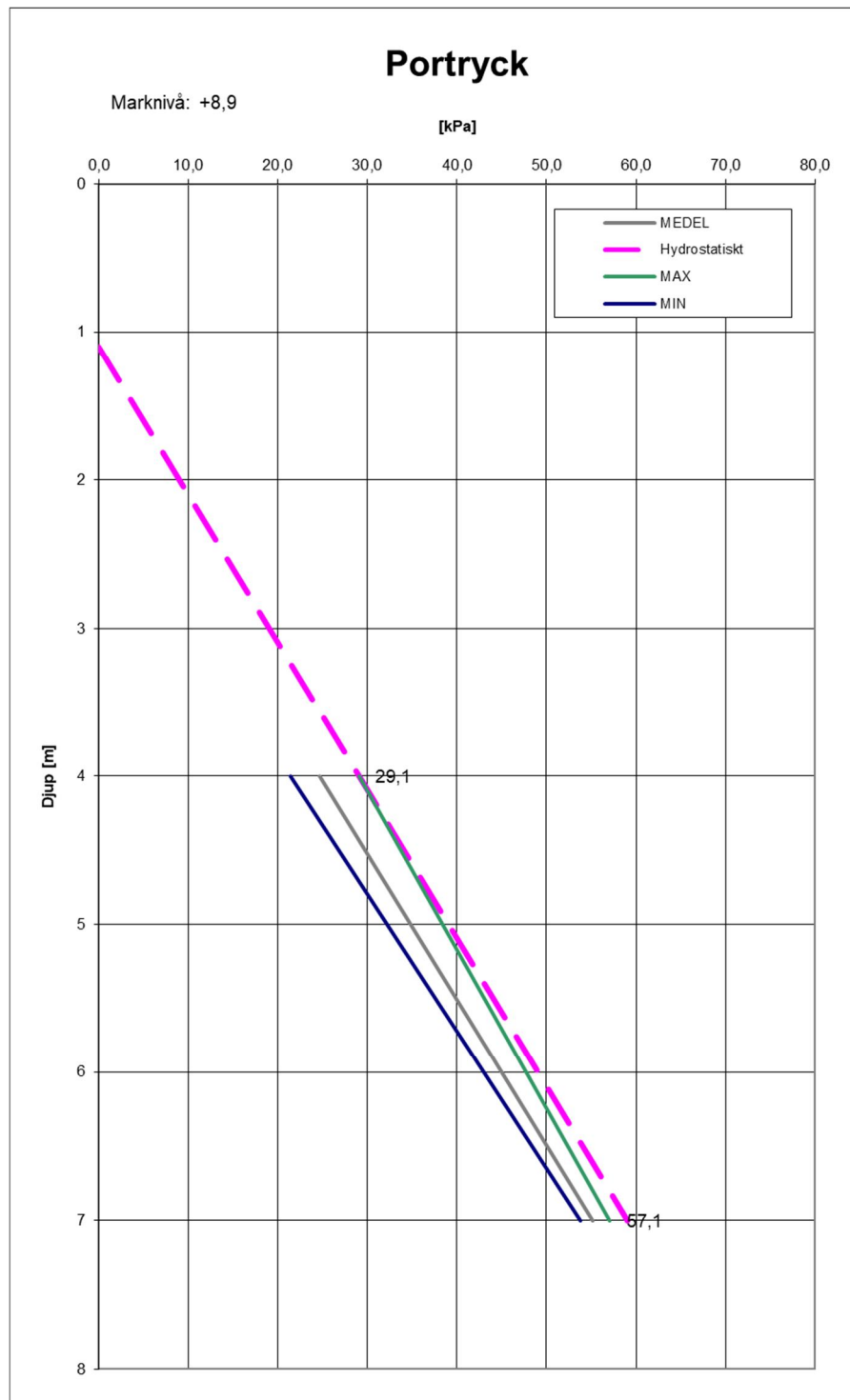
Tabell 27. Vald odränerad skjuvhållfasthet punkt 19WS65.

Nivå	Odränerad skjuvhållfasthet [kPa]
+20 till +6	53
+6 till -11	53 + 2,1 kPa/m

9.11.5 Valda portryck och grundvattenförhållanden

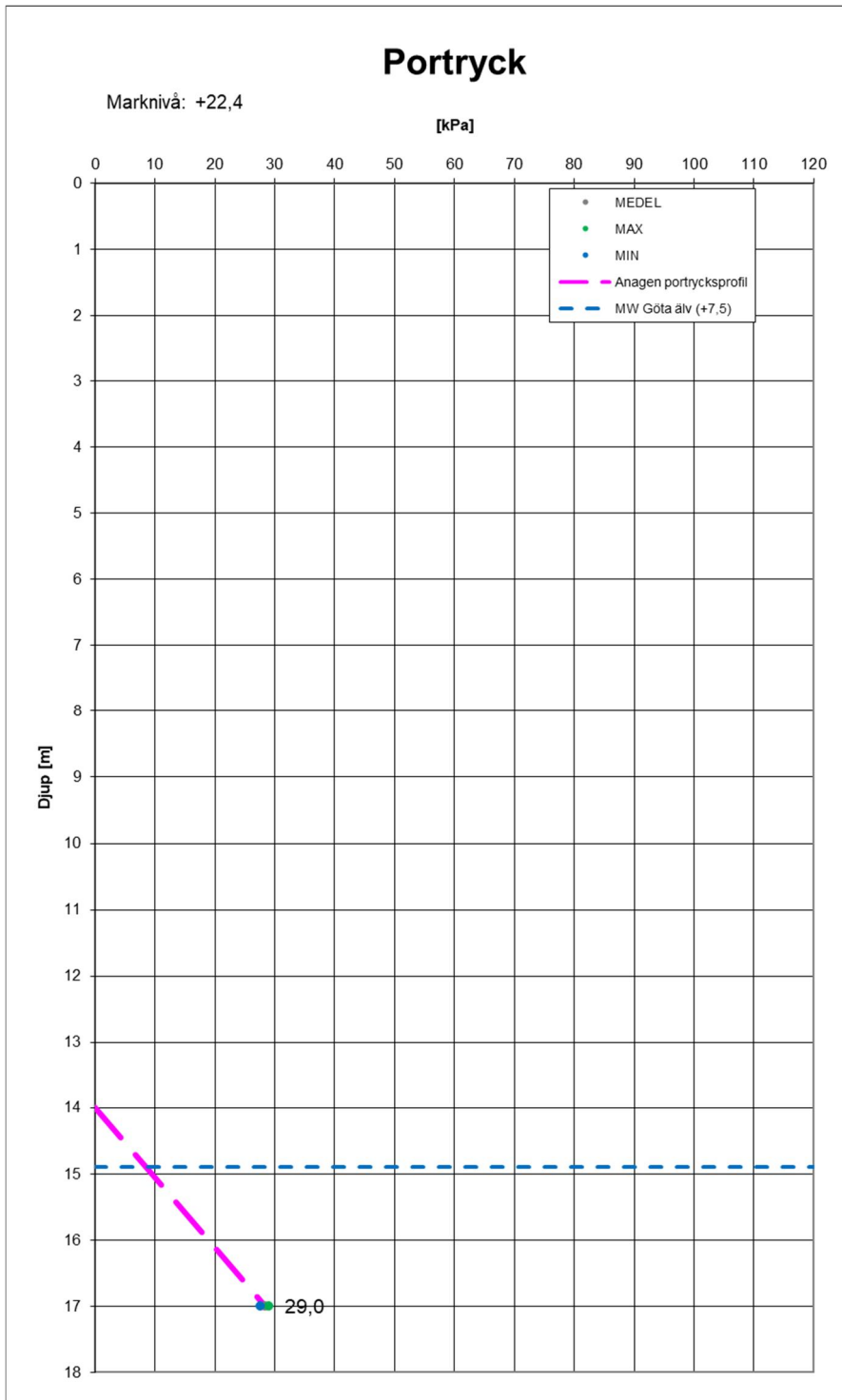
I sektionen har portrycksmätningar utförts under perioden 2019-09-14 till 2019-10-28 i punkterna 19WS64 och 19WS65. 19WS64 är placerad vid släntfot på nivån +8,9 och 19WS65 är placerad invid släntrön på nivån +22,4.

I punkt 19WS64 har portrycksspetsar installerats på djupen 4 m och 7 m. Medelvärdet av uppmätta portryck motsvarar en hydrostatisk portrycksökning mot djupet med utgångspunkt från älvens medelvattennivå +7,5. Maximalt uppmätta portryck är ca 3 kPa högre. Portrycksprofilen i punkt 19WS64 redovisas i Figur 27.



Figur 27. Portrycksprofil i punkt 19WS64.

I punkt 19WS65 har portrycksspetsar installerats på 6, 10 och 17 m djup. På 6 och 10 m djup har negativa portryck uppmätts vid samtliga mätillfällen. Uppmätta portryck på 17 m djup motsvarar en fri grundvattenyta på nivån +8,3. Detta tyder på en dränering mot undre magasin vilket antas stå i hydraulisk kontakt med älven. Portrycket i punkten styrs således av fluktuationerna av älvens vattennivå. Uppmätta portryck på 17 m djup och antagen portrycksprofil i punkt 19WS65 redovisas tillsammans med medelvattennivån i Göta älv i Figur 28.



Figur 28. Uppmätta portryck på 17 m djup och antagen portrycksprofil i punkt 19WS65 samt medelvattennivån i Göta älv.

För *nulägesanalysen* används maximalt uppmätt portryck i punkt 19WS64 vilket är ca 3 kPa högre än uppmätt medelvärde. I punkt 19WS65 antas ett hydrostatiskt portryck från nivå +8,4. I punkterna U05058 och U05057, som är belägna längre från släntkrön och saknar portrycksmätningar, antas den fria grundvattenytan ligga vid torrskorpans underkant på nivåerna +20 och +24. I undre magasin antas samma trycknivå som i punkt U05052. Mellan övre och undre magasin förutsätts portrycket öka linjärt.

För *extremvärdesanalysen* antas grundvattennivån i den övre akvifären vara densamma som marknivån, förutom vid släntkrön där den antas ligga på ca 2,5 m djup. Eftersom den undre akvifären troligtvis har kontakt med älven bedöms den maximala trycknivån i undre magasin närmast älven (punkt 19WS64) vara densamma som älvens dämningshöjd på +7,6. I punkterna 19WS65, U05058 och U05057 ovanför släntkrön höjs trycknivån med 3 mvp jämfört med nulägesanalysen.

9.11.6 Beräkningsresultat

Sammanställning av resultat från utförda stabilitetsberäkningar presenteras i Tabell 28. Beräkningar redovisas i Bilaga 2.

Tabell 28. Sammanställning av beräkningsresultat för sektion V19/310.

Filnamn	Beskrivning	Säkerhetsfaktor
Beräkningar med högre skjuvhållfasthet lokalt vid släntkrön:		
19310VUB1	Odränerad med aktiv anisotropi (vald 19WS58)	1,22
19310VKB6	Kombinerad med aktiv anisotropi (vald 19WS58)	1,13
19310VKB7	Kombinerad utan anisotropi	1,07
19310VKB8	Kombinerad med aktiv anisotropi (vald 19WS58) - Extremvärden portryck	1,05
Känslighetsanalys (Beräkningar utan högre skjuvhållfasthet vid släntkrön):		
19310VUB1	Odränerad med aktiv anisotropi (vald 19WS58)	1,13
19310VKB1	Kombinerad med aktiv anisotropi (vald 19WS58)	1,05
19310VKB2	Kombinerad utan anisotropi	0,99
19310VKB3	Kombinerad med aktiv anisotropi (vald 19WS58) - Extremvärden portryck	1,02

9.11.7 Anmärkningar

Samtliga beräkningar med både odränerad och kombinerad analys visar att säkerhetsfaktorerna ej uppfyller kraven. Stabiliteten är således otillfredsställande inom ett område av ca 50 m från släntkrön. En högre skjuvhållfasthet lokalt vid släntkrön innebär en relativt liten ökning av beräknade säkerhetsfaktorer. Detta eftersom det är den dränerade hållfastheten som är dimensionerande längs den del av glidyten som ligger inom området med högre skjuvhållfasthet.

9.12 SEKTION V19/380

9.12.1 Topografiska förhållanden

Sektionen är belägen i undersökningsområdets södra del och korsar en bäckravin. Stabilitetsberäkningar är utförda för slänten på ravinens östra sida. Inga beräkningar har utförts på den västra sidan p.g.a. små jorddjup. Markytan lutar svagt från nivå ca +24 längst i öster till nivån ca +20 vid släntrönen. Slänten mot ravinens botten har en lutning på ca 1:2,5. I ravinens botten ligger marknivån på ca +10.

9.12.2 Geotekniska förhållanden

Jordlagerföljden utgörs av torrskorpelera ovan lera som vilar på berg. Torrskorpelerans tjocklek varierar från 2 m till 3 m och är som störst vid släntrönet öster om ravinen. Lerans mäktighet är ca 15 m vid ravinens östra sida och minskar mot väster till endast ca 2 m i sektionens västligaste del. Då inga sonderingar utförts i ravinens botten har nivån för lerans underkant interpolerats mellan sonderingar på ömse sidor om ravinen. Ostörd provtagning i punkt 19WS65 visar att leran är högsensitiv men ej kvick.

9.12.3 Valda värden för materialparametrar

Sektionen är belägen inom geologiskt delområde 1 och 2. Valda värden för materialparametrar redovisas i kap. 8.1.

9.12.4 Valda portryck och grundvattenförhållanden

I sektionen har portrycksmätningar utförts i punkt 19WS65 vilken är placerad på släntrönen. Portrycksprofil för denna punkt redovisas i kap. 9.11.5. I ravinens botten antas portrycket vara hydrostatiskt från marknivån på nivå +10,0.

Vid *extremvärdesanalys* antas en fri grundvattenyta i övre magasin på 2,5 m djup vid punkt 19WS65 och en grundvattenyta i marknivå i ravinens botten. Trycknivån i undre magasin antas höjas med 3 mvp jämfört med nulägesanalysen.

9.12.5 Beräkningsresultat

Sammanställning av resultat från utförda stabilitetsberäkningar presenteras i Tabell 29. Beräkningar redovisas i Bilaga 2.

Tabell 29. Sammanställning av beräkningsresultat för sektion V19/380.

Filnamn	Beskrivning	Säkerhetsfaktor
19380VUB1	Odränerad - Med aktiv anisotropi (vald 19WS58)	1,60
19380VKB1	Kombinerad - Utan anisotropi	1,39
19380VKB2	Kombinerad - Med aktiv anisotropi (vald 19WS58)	1,46
19380VKB3	Kombinerad - Med aktiv anisotropi (vald 19WS58) - Extremvärden portryck	1,13

9.12.6 Anmärkningar

Den beräknade säkerhetsfaktorn är högre än den erforderliga vid både odränerad- och kombinerad analys. Beräkningar med extremvärden för portryck resulterar i en betydligt lägre säkerhetsfaktor. Den modellerade portryckssituationen för extremvärdesanalysen är dock möjligen orealistisk.

9.13 SEKTION V19/450

9.13.1 Topografiska förhållanden

Sektionen är belägen mellan en bäckravin och ett parti med berg i dagen i områdets sydligaste del. Sektionen sträcker sig ca 280 m från strandkanten i nordvästlig riktning. Ovanför släntkrön sluttar markytan svagt från nivå ca +30 i bakre delen av sektionen till nivå ca +20 vid släntkrön. Slänten mot strandområdet har en lutning på ca 1:3. I strandområdet ligger marknivån på ca +8. Älvbotten har en lutning på ca 1:6 ned till nivån ca +1 där lutningen blir flackare. Älvbotten ligger som lägst på nivå -3,0.

Vid strandkanten finns ett erosionskydd bestående av sprängsten. Enligt utförd georadmätning är tjockleken ca 1,5 m. Erosionskyddet sträcker sig ca 10 m från strandkanten upp mot land.

9.13.2 Geotekniska förhållanden

Jordlagerföljden utgörs av ca 1,5 – 2 m torrskorpelera ovan lera som vilar på friktionsjord och berg. Lerans mäktighet varierar mellan 2 m och 5 m och är som störst kring släntkrön. Under älven har inga sonderingar utförts som verifierar lerans mäktighet. Ett antagande har gjorts om att lutningen på lerans underkant är densamma under älven som mellan sonderingspunkterna vid slänkfot och släntkrön. Leran underlagras av friktionsjord med en tjocklek som bedöms variera mellan 0,5 och 1 m.

9.13.3 Valda värden för materialparametrar

Sektionen sträcker sig genom de geologiska delområdena 1, 2 och 3. Valda värden för materialparametrar redovisas i kap. 8.1. Friktionsjorden under leran modelleras som en sand med tunghet $\gamma_m=19,5 \text{ kN/m}^3$ och friktionsvinkel $\varphi'=35^\circ$ vilket motsvarar fast lagrad sand enligt SGI Information 1.

9.13.4 Valda portryck och grundvattenförhållanden

Inga portrycksmätare har installerats i sektionen. För en nulägesanalys har ett hydrostatiskt portryck antagits från 1 m djup under markytan. Vid extremvärdesanalys antas ett hydrostatiskt portryck från markytan.

9.13.5 Beräkningsresultat

Sammanställning av resultat från utförda stabilitetsberäkningar presenteras i Tabell 30. Beräkningar redovisas i Bilaga 2. Beräkningsresultaten för 19450VKB1 är identiska med resultaten från beräkning 19450VKB2 eftersom den dränerade hållfastheten som ej påverkas av anisotropifunktionen är dimensionerande längs hela glidyten vid kombinerad analys.

Tabell 30. Sammanställning av beräkningsresultat för sektion V19/450.

Filnamn	Beskrivning	Säkerhetsfaktor
19450VUB1	Odränerad - Med aktiv anisotropi (vald 19WS58)	1,62
19450VKB1*	Kombinerad - Utan anisotropi	1,28
19450VKB2	Kombinerad - Med aktiv anisotropi (vald 19WS58)	1,28
19450VKB3	Kombinerad - Med aktiv anisotropi (vald 19WS58) - Extremvärden portryck	1,13

*Redovisas ej i Bilaga 2.

9.13.6 Anmärkningar

Den beräknade säkerhetsfaktorn är högre än kravet vid odränerad analys och endast marginellt lägre än kravet vid kombinerad analys. På grund av de begränsade jorddjupen är lerans dränerade hållfasthet dimensionerande längs hela den kritiska glidytan vid kombinerad analys. Vid odränerad analys är det friktionsvinkeln i sandlagret mellan berget och lera som är dimensionerande längs en stor del av den kritiska glidytan. Den beräknade säkerhetsfaktorn är därför känslig för ändrade portryck. Ingen kvicklera bedöms dock förekomma i sektionen.

9.14 SEKTION V19/100

9.14.1 Topografiska förhållanden

Sektionen är belägen i områdets nordvästra del och sträcker sig från fastmarksgränsen i väster ner mot en ravinbildning i mitten av undersökningsområdet. Sektionen är placerad där markytans geometri är som minst gynnsam ur stabilitetssynpunkt i den aktuella delen av undersökningsområdet. Eftersom inga inmätningar utförts längs sektionen har markytans nivå erhållits från Lantmäteriets Nationella Höjddatabas. Ovanför släntkrön sluttar markytan från nivå ca +40 i bakre delen av sektionen till nivå ca +30 vid släntkrön. Slänten mot ravinbotten har en lutning på ca 1:3. Vid släntfot ligger markytan på nivå +20.

9.14.2 Geotekniska förhållanden

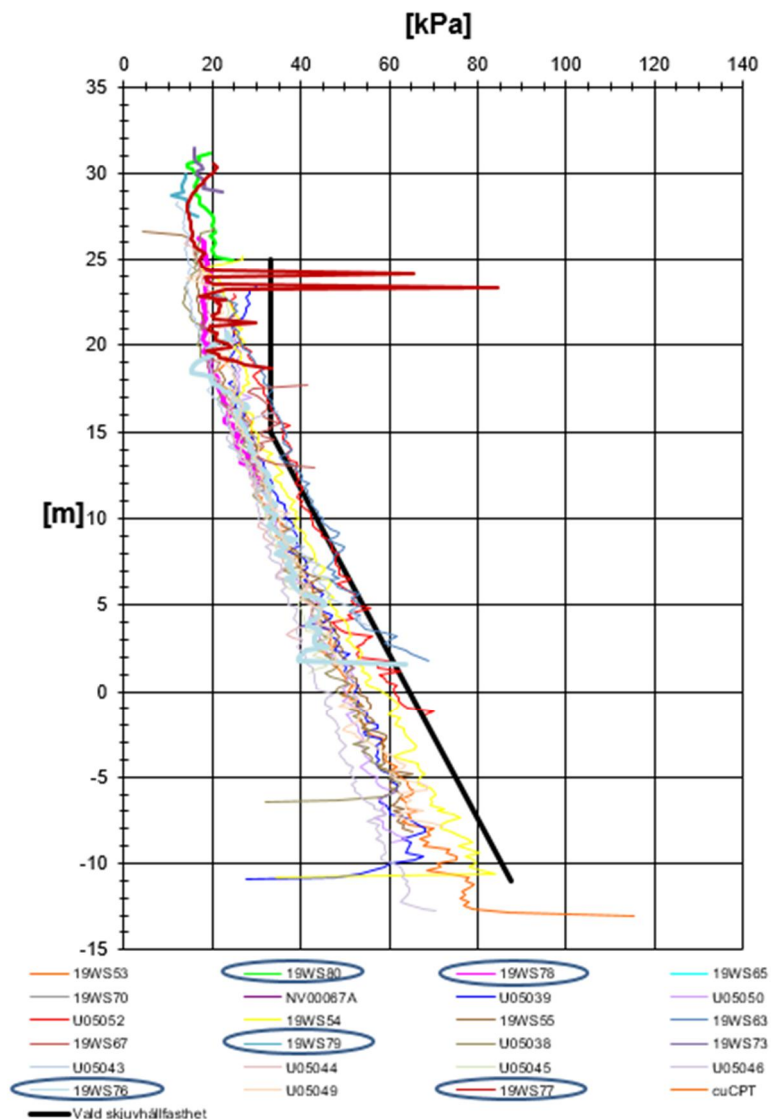
Inga sonderingar har utförts längs sektionen. Jordlagerföljden har därför antagits utifrån sonderingar i de närmaste omkringliggande undersökningspunkterna.

Jordlagerföljden antas utgöras av ca 1 m torrskorpelera ovan lera som vilar på berg. Nivån för lerans underkant har antagits genom interpolering mellan omkringliggande undersökningspunkter som ligger på ca 120 – 140 m avstånd från sektionen. Dessa antaganden är således mycket osäkra. I den västligaste delen av sektionen, som angränsar till fastmarken, antas lerdjupet vara ca 1 m.

9.14.3 Valda värden för materialparametrar

Sektionen bedöms tillhöra geologiskt delområde 1 och de materialparametrar som utvärderats från avancerade laboratorieförsök inom delområdet bedöms kunna nyttjas även i denna sektion. Detta mot bakgrund av att de CPT-sonderingar som utförts i sektionens närhet visar på en liknande skjuvhållfasthetsprofil mot djupet som övriga CPT-sonderingar inom delområdet. Odränerad skjuvhållfasthet utvärderad från CPT-sonderingar inom geologiskt delområde 1 redovisas i Figur 29. Borrpunkter som bedöms vara representativa för den aktuella sektionen är ritade med tjocka linjer i sammanställningen och är inringade i förklaringen.

**Skjuvhållfasthet - odränerad analys, med nivå.
Endast CPT.**



Figur 29. Odränerad skjuvhållfasthet utvärderad från CPT-sonderingar inom geologiskt delområde 1. Borrpunkter som bedöms vara representativa för sektion V19/100 är ritade med tjocka linjer i sammanställningen och är inringade i förklaringen.

Valda värden för materialparametrar för geologiskt delområde 1 redovisas i kap. 8.1.

9.14.4 Valda portryck och grundvattenförhållanden

Inga portrycksmätare eller grundvattenrör har installerats i sektionen. Vid stabilitetsberäkningar har ett hydrostatiskt portryck antagits från 1 m djup under markytan.

9.14.5 Beräkningsresultat

Sammanställning av resultat från utförda stabilitetsberäkningar presenteras i Tabell 31. Beräkningar redovisas i Bilaga 2.

Tabell 31. Sammanställning av beräkningsresultat för sektion V19/100.

Filnamn	Beskrivning	Säkerhetsfaktor
19100VUB1	Odränerad - Med aktiv anisotropi (vald 19WS58)	1,37
19100VKB2	Kombinerad – Utan anisotropi	1,17
19100VKB3	Kombinerad - Med aktiv anisotropi (vald 19WS58)	1,19

9.14.6 Anmärkningar

Den beräknade säkerhetsfaktorn är lägre än kravet både vid odränerad och kombinerad analys. Området med otillfredsställande stabilitet sträcker sig ca 30 m bakom slänkrön. De befintliga byggnader som ligger i sektionens västligaste del berörs inte av de glidytor som har en beräknad säkerhetsfaktor som är lägre än kraven.

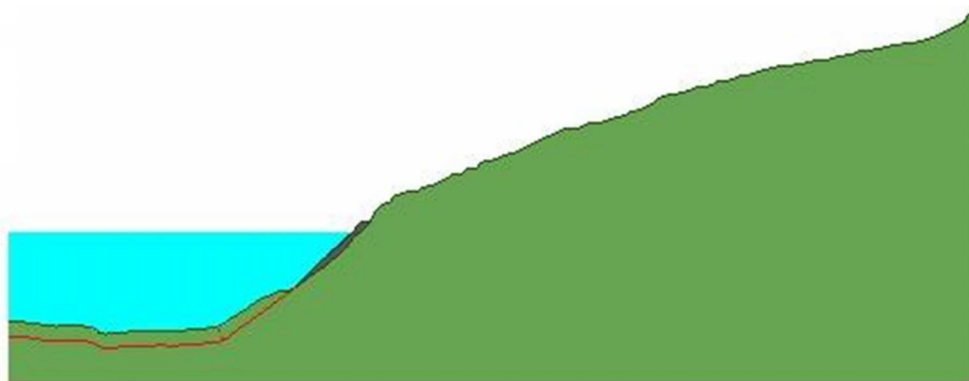
Det skall understrykas att utförda beräkningar är baserade på grova antaganden gällande lerdjup och portrycksfördelning och att sektionen bör utredas vidare. Det bör också klargöras om befintliga byggnader är grundlagda på lera eller på fastmark.

9.15 KÄNSLIGHETSANALYS EROSION

En känslighetsanalys har utförts med avseende på förändrad geometri till följd av erosion i sektion V18/910. Sektionen har valts eftersom det är den sektion som har lägst beräknad säkerhet för de glidytor som slår upp under vattenytan och därmed bör påverkas mest av ev. erosion i älven.

Känslighetsanalysen har utförts för långsträckta glidytor med kombinerad och odränerad analys där anisotropi har medräknats. Vid känslighetsanalysen har bottengeometrin förändrats enligt typsektion A1 i tabell 4.2 i *DGA00XST01 "Riktlinjer för tekniskt arbete"*, se Figur 30.

- Botten i farleden sänks 1 och 2 m.
- Ingen erosion vid underkant erosionsskydd. Slänt eroderas från underkant erosionsskydd med triangulär fördelning mot djupet ned till farledens botten (efter erosion).
- Ingen förändring av geometrin för slänt vid eller ovanför erosionsskyddet



Figur 30. Antagen förändring av geometri till följd av erosion. Typsektion A1.

Resultat från utförd känslighetsanalys redovisas i Tabell 32, beräkningar redovisas i Bilaga 8. Känslighetsanalysen visar att 1 m respektive 2 m förändring av älvbottens geometri, till följd av erosion, endast har marginell inverkan på beräknad säkerhetsfaktor och utbredning av kritiska glidytor.

Tabell 32. Beräkningsresultat för känslighetsanalys med avseende på erosion.

Filnamn	Beskrivning	Säkerhetsfaktor	Säkerhetsfaktor nuläge
18910VKE1	Känslighetsanalys m.a.p. erosion. 1 m sänkning av botten. Kombinerad analys.	1,14	1,15
18910VKE2	Känslighetsanalys m.a.p. erosion. 2 m sänkning av botten. Kombinerad analys.	1,13	1,15
18910VUE1	Känslighetsanalys m.a.p. erosion. 1 m sänkning av botten. Odränerad analys.	1,18	1,19
18910VUE2	Känslighetsanalys m.a.p. erosion. 2 m sänkning av botten. Odränerad analys.	1,17	1,19

9.16 KÄNSLIGHETSANALYS MARKHÖJNING

En känslighetsanalys har utförts med syfte att kontrollera hur stabiliteten påverkas av en eventuell höjning av markytan inom området. Stabilitetsberäkningar har utförts i sektionerna V19/450 och V18/910 med en utbredd last på 10 kPa bakom släntkrön, vilket motsvarar en höjning av markytan med ca 0,5 m. Beräkningarna har utförts med kombinerad analys enligt totalsäkerhetsmetoden med beaktande av anisotropi. Beräkningarna redovisas i Bilaga 12 och beräkningsresultaten är sammanställda i Tabell 33.

Tabell 33. Beräkningsresultat för känslighetsanalys med avseende på markhöjning.

Filnamn	Beskrivning	Säkerhetsfaktor	Säkerhetsfaktor nuläge
19450VKB4	Beräkning med 10 kPa utbredd last bakom släntrön. Kombinerad analys - Med aktiv anisotropi (vald 19WS58)	1,28	1,28
18910VKB8	Beräkning med 10 kPa utbredd last bakom släntrön. Kombinerad analys - Med aktiv anisotropi (vald 19WS58)	1,11*	1,15*

*Avser långsträckt glidyta.

Beräkningarna visar att en höjning av markytan med 0,5 m inte skulle innebära någon signifikant förändring av stabilitetsförhållandena inom undersökningsområdet. I större delen av området, där beräknade säkerhetsfaktorer vid en nulägesanalys ej uppfyller kraven, skulle en markhöjning innebära att säkerhetsfaktorn för den sämsta glidyta blir något lägre och att området med en otillfredsställande stabilitet blir något större. I den sydligaste delen av undersökningsområdet, kring sektion V19/450, är stabiliteten i nuläget tillfredsställande tack vare det begränsade jorddjupet. En höjning av markytan skulle där inte innebära någon försämring av den beräknade säkerhetsfaktorn. Det skall dock understrykas att markhöjningar inte bör utföras inom någon del av undersökningsområdet utan att en stabilitetskontroll utförs för det aktuella fallet.

9.17 BEDÖMNING AV SKREDUTBREDNING

En bedömning av utbredning av bakåtgripande skred har utförts enligt metodik beskriven i SGI Varia 638, kap. 5.3.3. Bedömningen har gjorts för ett urval av beräkningssektionerna och har utgått från en initial glidyta med en lägsta säkerhet av 1,3 för odränerad analys och 1,2 för kombinerad analys. Utbredningen bakåt från släntrön beräknas som en faktor n gånger slänthöjden där n är en funktion av sensitiviteten hos leran som berörs av initialskredet. Då sensitiviteten är högre än 100 i samtliga aktuella beräkningssektioner ansätts $n=15$. Bedömning av skredutbredning redovisas i plan i Bilaga 10. I större delen av undersökningsområdet bedöms att bakåtgripande skred kan sprida sig hela vägen till fastmarksgränsen. Undantaget är den sydvästra delen av området där jorddjupet är begränsat och beräknade säkerhetsfaktorer för primärscred överstiger $F_c = 1,3$ och $F_{komb} = 1,2$.

9.18 STABILITETSFÖRBÄTTRANDE ÅTGÄRDER

Tänkbara stabilitetsförbättrande åtgärder som föreslagits i Göta älvutredningen är t. ex. avschaktning, stödfyllning samt utökning av erosionsskydd. För aktuellt undersökningsområde i Smådala bedöms avschaktning vid släntrön vara den lämpligaste typen av åtgärd eftersom de flesta glidytor är långsträckta och slår upp under älven. Stödfyllning i passivzonen skulle till stor del behöva utläggas i älven vilket skulle innebära en stor förändring av bottengeometrin. I syfte att göra en översiktlig bedömning av erforderlig omfattning av avschaktning har

stabilitetsberäkningar utförts i sektionerna V18/910 och V19/110. Beräkningarna har utförts med kombinerad och odränerad analys enligt totalsäkerhetsmetoden. För jämförelse har en av beräkningarna även utförts enligt partialkoefficientmetoden. Beräkningarna redovisas i Bilaga 11 och sammanställning av beräkningsresultat redovisas i Tabell 34.

Tabell 34. Sammanställning av beräkningsresultat för beräkningar med åtgärdsförslag.

Filnamn	Beskrivning	Säkerhetsfaktor	Krav
Beräkningar enligt totalsäkerhetsmetoden			
18910VKA1	Kombinerad analys. Beräkning med avschaktning vid släntkrön.	1,34	1,3
18910VUA1	Odränerad analys. Beräkning med avschaktning vid släntkrön.	1,40	1,4
19110VKA1	Kombinerad analys. Beräkning med avschaktning vid släntkrön. Kort glidyta i släntens nedre del.	1,29	1,3
19110VKA2	Kombinerad analys. Beräkning med avschaktning vid släntkrön. Kort glidyta i släntens övre del.	1,63	1,3
19110VKA3	Kombinerad analys. Beräkning med avschaktning vid släntkrön. Lång glidyta.	1,41	1,3
19110VUA1	Odränerad analys. Beräkning med avschaktning vid släntkrön. Lång glidyta.	1,44	1,4
Beräkningar enligt partialkoefficientmetoden			
18910VKA2*	Kombinerad analys. Beräkning med avschaktning vid släntkrön.	0,94	1,1

*Beräkningen redovisas ej i Bilaga 11.

Eftersom släntens geometri skiljer sig åt mellan de olika sektionerna varierar utbredningen och omfattningen av den erforderliga avschaktningen. För att uppskatta den ungefärliga utbredningen i plan av erforderlig avschaktning inom undersökningsområdet har ett antagande gjorts om att avschaktning vid släntkrön krävs inom ungefär samma marknivåer i alla sektioner. Utifrån detta antagande bedöms avschaktning krävas inom en yta av ca 62 000 m². I de beräknade sektionerna har den erforderliga avschaktningen ett medeldjup av ca 2,7 m vilket ger en total volym av 167 000 m³.

Skiss över bedömd utbredning av erforderlig avschaktning i kontrollerade sektioner samt i plan redovisas i Bilaga 11.

10 SAMMANFATTNING

I merparten av de beräknade sektionerna uppfyller säkerhetsfaktorerna ej kraven på $F_C \geq 1,4$ och $F_{\text{komb}} \geq 1,3$. Undantaget är de två sydligaste sektionerna där jorddjupet är begränsat och geometrierna är gynnsammare än i övriga delar av området. Utbredningen av de glidytor som ej uppfyller kraven redovisas för respektive sektion i plan i Bilaga 9. Glidytor med otillfredsställande stabilitet sträcker sig generellt ca 100 – 150 m från älvkanten upp mot land.

Vid beräkning med extremvärden för portryck är beräknade säkerhetsfaktorer i många fall lägre än 1,0. De aktuella glidytorerna är dock ofta ytliga och det skall understrykas att antagna portryck är extremvärden som kanske inte alltid är realistiska i förhållande till det troliga maximala portryck som kan uppstå sett i ett långtidsperspektiv.

För undervattensslänter är stabiliteten tillfredsställande.

Sammanställning av säkerhetsfaktorer beräknade med totalsäkerhetsmetod för samtliga sektioner redovisas i Tabell 35.

Tabell 35. Sammanställning av beräknade säkerhetsfaktorer för samtliga sektioner. Beräkningar utförda enligt totalsäkerhetsmetod. Förklaring till färgkodning ges i nedre delen av tabellen.

Sektion	Odränerad	Kombinerad Anisotropi	Kombinerad Utan Anisotropi	Extremvärden Portryck
V18_535	1,28	1,16	1,06	1,02
V18_550	1,29	1,27	1,23	1,03
V18_600	1,1		0,97 ¹	0,91
V18_740	1,21	1,04	1	0,88
V18_910	1,19	1,1 ²	1,11	0,74 ²
V19_080	1,18	1,11	1,06	0,96
V19_110	1,22	1,15	1,1	0,89
V19_140 H-V	1,18	1,1	1,07	1,0
V19_140 V-H	1,18	1,05	1,01 ¹	0,77 ¹
V19_310	1,22	1,13	1,07	1,05
V19_380	1,62	1,46	1,39	1,13
V19_450	1,62	1,28	1,28	1,13
V19_100	1,37	1,17	1,19	
Krav	1,4	1,3	1,3	1,3
Fet	Uppfyller ej Krav			
<i>Kursiv</i>	<i>Uppfyller krav vid avrundning med en decimal</i>			
Normal	Uppfyller Krav			

¹Ytlig glidyta. ²Lokal glidyta vid släntröner.

Vidare visar resultaten från beräkningar utförda i denna utredning säkerhetsfaktorer som är i storleksordningen 10 till 40 % högre jämfört med motsvarande beräkningar utförda under Göta älvutredningen. Ökningen bedöms främst bero på att en högre odränerad skjuvhållfasthet har kunnat tillgodoräknas till följd av att fler avancerade laboratorieförsök har utförts. Detta sammantaget med att kompletterande porttrycksmätningar har givit en bättre bild av rådande porttrycksförhållanden. Erosionsskyddets utbredning och mäktighet har endast en marginell inverkan på beräknad stabilitet p.g.a. att dess mothållande effekt i förhållande till glidyornas storlek är mycket begränsad.

Jämförelse mellan beräknade säkerhetsfaktorer från GÄU och beräknade säkerhetsfaktorer från nu utförd utredning redovisas i Tabell 36.

Tabell 36. Jämförelse mellan beräknade säkerhetsfaktorer från GÄU och beräknade säkerhetsfaktorer från nu utförd utredning. Procentuell ökning av säkerhetsfaktorn redovisas inom parantes.

Sektion	F_c GÄU	F_c	F_c , anisotropi	F_{komb} GÄU	F_{komb}	F_c , anisotropi
V18/550	1,05	1,29 (23%)	1,35 (29%)	1,03	1,23 (19%)	1,27 (23%)
V18/910	0,94	1,13 (20%)	1,19 (27%)	0,84	1,1 (31%)	1,1 (31%)
V19/080	0,89	1,11 (25%)	1,18 (33%)	0,86	1,06 (23%)	1,11 (29%)
V19/140	HV:1,03	1,15 (12%)	1,18 (15%)	HV:0,96	1,07 (11%)	1,1 (15%)
	VH:0,95	1,09 (15%)	1,18 (27%)	VH:0,89	0,99 (11%)	1,05 (18%)
V19/310	0,88	1,09 (24%)	1,13 (28%)	0,76	0,99 (30%)	1,05 (38%)

Vid beräkning med partialkoefficientmetoden enligt IEG Rapport 6:2008 är beräknade säkerhetsfaktorer för samtliga sektioner lägre än den erforderliga $F_{EN} \geq 1,1$. Sammanställning av säkerhetsfaktorer beräknade med partialkoefficientmetoden redovisas i Tabell 37.

Tabell 37. Sammanställning av beräknade säkerhetsfaktorer för samtliga sektioner. Beräkningar utförda enligt partialkoefficientmetoden.

Sektion	Beskrivning	Eurocode Kombinerad
V18_535	Aktiv anisotropi (vald 19WS53)	0,87
V18_550	Aktiv anisotropi (vald 19WS58)	0,91
V18_600	Utan anisotropi	0,65
V18_740	Aktiv anisotropi (vald 19WS58)	0,77
V18_910	Aktiv anisotropi (vald 19WS58)	0,83
V19_080	Aktiv anisotropi (vald 19WS58)	0,82
V19_110	Aktiv anisotropi (vald 19WS58)	0,85
V19_140 H-V	Aktiv anisotropi (vald 19WS58)	0,82
V19_140 V-H	Aktiv anisotropi (vald 19WS58)	0,78
V19_310	Aktiv anisotropi (vald 19WS58)	0,77
V19_380	Aktiv anisotropi (vald 19WS58)	1,07
V19_450	Aktiv anisotropi (vald 19WS58)	0,94
Krav		1,1
Fet	Uppfyller ej Krav	
<i>Kursiv</i>	<i>Uppfyller krav vid avrundning med en decimal</i>	

Avschaktning vid släntrön bedöms vara den lämpligaste typen av åtgärd för att förbättra stabiliteten inom undersökningsområdet. På grund av områdets storlek och den stora utbredningen av glidytor med otillfredsställande stabilitet skulle en sådan åtgärd dock bli mycket omfattande.

11 ÄNDRINGSLOGG

Datum	Ändring
2020-08-20	<ul style="list-style-type: none">• Revideringar enligt synpunkter i yttrande från Planenheten vid SGI daterat 2020-05-14, beteckning 4.2.12-1904-0303.• Justering av tidigare felaktigt redovisade portryck i punkt 19WS82, 4 m djup.

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 13033
402 51 Göteborg
Besök: Ullevigatan 19

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

