

Känslighetsanalys för variationer i grundvattennivå och val av maximala portryck i slänter längs Göta älv

– Exempel från en slänt

Håkan Persson

GÄU - delrapport 8

Linköping 2011





STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT
SWEDISH GEOTECHNICAL INSTITUTE

Göta älvutredningen - delrapport 8

Känslighetsanalys för variationer i grundvattennivå och
val av maximala portryck i slänter längs Göta älv
– Exempel från en slänt

*Sensitivity analysis for ground water level variations and estimation of
maximum pore pressures in slopes along the Göta river
– Example from a slope*

Håkan Persson

**Göta älvutredningen
delrapport 8**

Beställning

Dnr SGI

Uppdragsnr SGI

Statens geotekniska institut (SGI)
581 93 Linköping

SGI
Informationstjänsten
Tel: 013-20 18 04
Fax: 013-20 19 14
E-post: info@swedgeo.se
www.swedgeo.se

6-1001-0037

14095

FÖRORD

Göta älvutredningen (GÄU)

För att möta ett förändrat klimat och hantera ökade flöden genom Göta älv har Regeringen gett Statens geotekniska institut (SGI) i uppdrag att under en treårsperiod (2009-2011) genomföra en kartläggning av stabiliteten och skredriskerna längs hela Göta älv-dalen inklusive del av Nordre älv. Tidigare utförda geotekniska undersökningar har sammanställts och nya undersökningar har utförts längs hela älven. Metoderna för analys och kartering av skredrisker har förbättrats. Nya och utvecklade metoder har tagits fram för att förbättra skredriskanalyser och stabilitetsberäkningar, förbättra kunskapen om erosionsprocesserna längs Göta älv, bedöma effekten av en ökad nederbörd på grundvattensituationen i området, utveckla metodiker för kartläggning och hantering av högsensitiv lera (kvikklera) samt utveckla metodik för konsekvensbedömning. Utredningen har genomförts i samverkan med myndigheter, forskningsinstitutioner samt nationella och internationella organisationer.

Denna delrapport är en del i SGI:s redovisning till Regeringen.

Känslighetsanalys för variationer i grundvattennivå och val av maximala portryck i slänter längs Göta älv

Rapporten är riktad till dem som inom Göta älv-utredningen utför stabilitetsberäkningar. Syftet med dokumentet är att utgöra ett stöd vid känslighetsanalys av släntstabiliteten avseende inverkan av grundvattenförhållandena, samt vid val av maximala grundvattennivåer.

Rapporten utgår från resonemangen i dokumentet *Bedömning av grundvattenförhållanden för slänter längs Göta älv - Allmän vägledning*. Avseende känslighetsanalys beskrivs såväl en allmän, utgående från de idag högsta observerade grundvattennivåerna, som en klimatförändringsspecifik utgående från bedömd maximal nivå vid rådande klimat.

Författare till rapporten är Håkan Persson på SGI. Dessutom har värdefulla kommentarer till rapportens innehåll och utformning lämnats av Göran Sällfors på Chalmers och Per-Evert Bengtsson på SGI.

Linköping 2011

Marius Tremblay

Uppdragsledare, Göta älvutredningen

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

SAMMANFATTNING	6
1 BAKGRUND.....	7
2 UPPMÄTTA PORTRYCK	7
3 KÄNSLIGHETSANALYS UTIFRÅN MAXIMALA UPPMÄTTA PORTRYCK.....	8
4 BEDÖMDA MAXIMALA PORTRYCK	11
5 KÄNSLIGHETSANALYS FÖR KLIMATFÖRÄNDRINGAR UTIFRÅN BEDÖMDA MAXIMALA PORTRYCK	14
BILAGA 1 SVENSSON OCH SÄLLFORS METOD FÖR BEDÖMNING AV MAXIMALA GRUNDVATTEN-NIVÅER. UTDRAK UR EXCEL-FIL	16
BILAGA 2 SEKTIONS-RITNING FÖR ÅKERSTRÖM MED BEDÖMDA MAXIMALA GRUNDVATTENNIVÅER	17

SAMMANFATTNING

Beskrivningarna i denna rapport utgår från att en hydrogeologisk modell satts upp för den aktuella slänten samt att resultat från grundvatten-/portrycksmätningar finns tillgängliga. Sektionen som analyserats ligger i en slänt i Åkerström söder om Trollhättan.

En känslighetsanalys avseende inverkan av varierande portryck på släntens stabilitet har utförts genom att beräkna släntens säkerhetsfaktor för kombinerad analys för tre olika portryckssituationer (grundvattennivåer) (med övriga parametrar konstanta):

1. utifrån maximala uppmätta trycknivåer
2. med en ökning av trycknivåerna i det undre grundvattenmagasinet med 2 m, respektive
3. med en ökning i det övre grundvattenmagasinet med 1 m (dock högst till markytan).

I detta exempel har beräkningar av dessa tre fall bedömts vara tillfyllest, eftersom portrycken i slänten mätts under flera års tid och med stöd av resultatet från mätningarna därmed bedöms vara relativt väl kända. Om så inte är fallet kan det vara aktuellt att öka storleken på nivåökningarna, samt att inkludera en beräkning där nivåerna ökas samtidigt i det undre och i det övre magasinet.

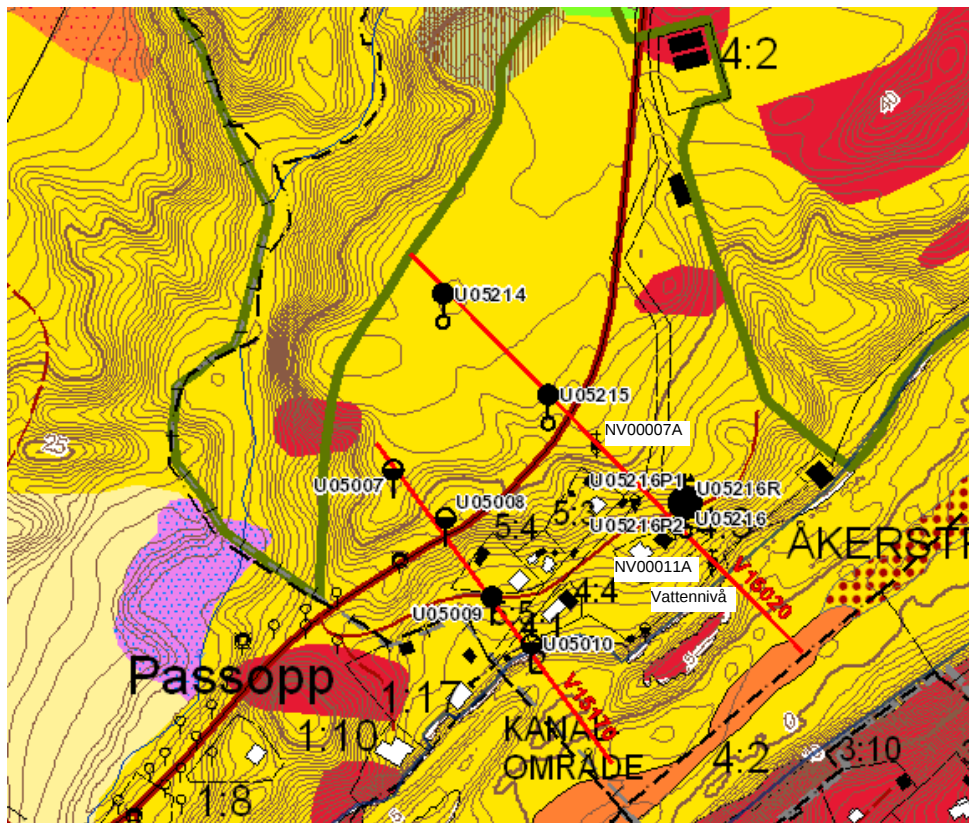
Därefter har maximala portryck bedömts utifrån uppmätta trycknivåer, känslighetsanalys, möjlig bräddnivå i terrängen för det undre grundvattenmagasinet, samt uppskattning av maximala trycknivåer i det undre grundvattenmagasinet utifrån Svensson och Sällfors metod.

Slutligen har en känslighetsanalys för klimatförändringar gjorts utifrån bedömda maximala trycknivåer enligt styrdokumentet 99ST003 (Känslighetsanalys för ett förändrat klimat).

1 BAKGRUND

Beskrivningarna i denna rapport utgår från att en hydrogeologisk modell satts upp för den aktuella slänten samt att resultat från grundvatten-/portrycksmätningar finns tillgängliga. För den här presenterade sektionen har portrycksmätningar gjorts i tre punkter med två till tre nivåer i varje punkt, där mätserierna i några fall spänner över flera år. Metodiken är dock tillämplig även för sektioner där mätseriernas längd är kortare än i den här presenterade sektionen.

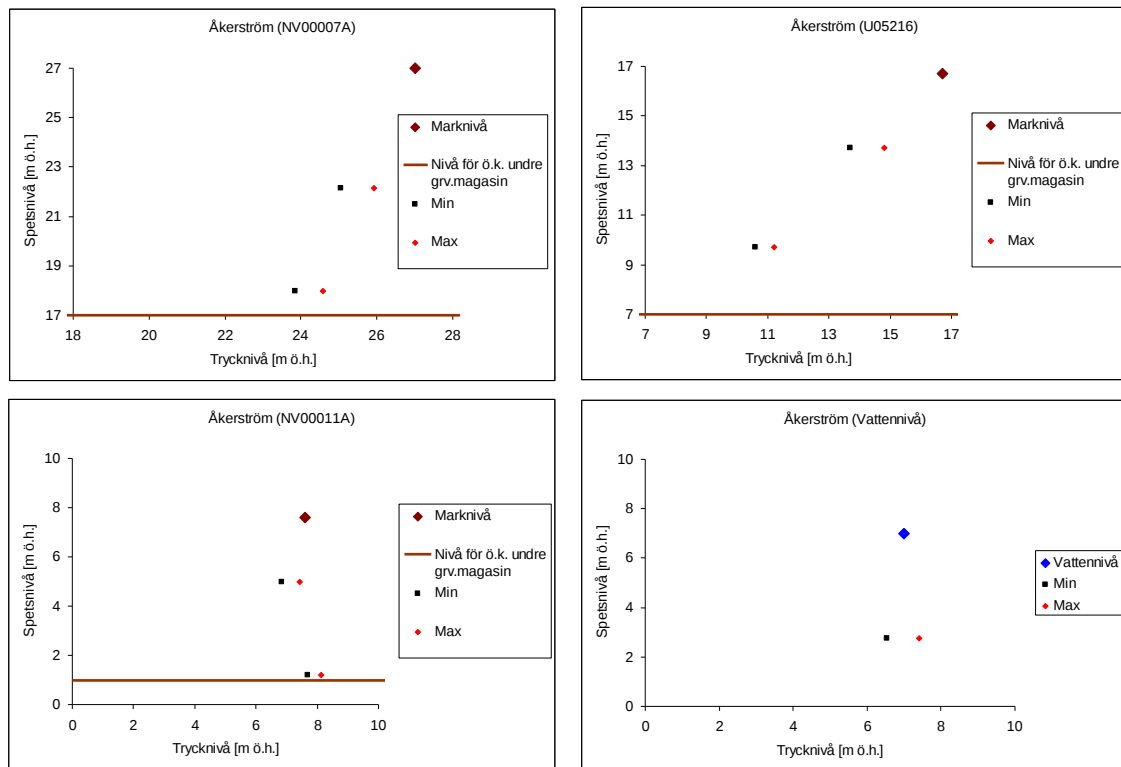
Sektionen som analyserats ligger i en slänt i Åkerström söder om Trollhättan. I Figur 1 visas sektionen, kallad V15020, på en jordartskarta som även omfattar älven. I Bilaga 2 finns även en sektionsritning. De punkter där portrycksmätningar gjorts är *Vattennivå* (i älven), *NV00011A* (12 m från älvstranden), *U05216* (45 m från älvstranden) respektive *NV00007A* (116 m från älvstranden).



Figur 1. Slänten i Åkerström med en jordartskarta som även omfattar älven.
(Kartbild: Sveriges Geologiska Undersökning)

2 UPPMÄTTA PORTRYCK

Minimala respektive maximala uppmätta portrycksnivåer för samtliga portrycksspetsar i sektionen visas i Figur 2. Mätseriernas längd varierar från några månader till ca 2,5 år, i flera fall dock med avbrott i mätserierna. Mätningarna har visat samspel mellan älvens vattennivå och trycknivån i det undre grundvattenmagasinet, vilket visar att kontakt finns mellan dessa båda.



Figur 2. Maximala och minimala uppmätta porttrycksnivåer i Åkerström (sektion V15020). Datumen invid respektive spetsnivå visar under vilken period som mätningarna utförts. Mätintervallen varierar mellan olika porttrycksspetsar och det har ibland förekommit avbrott i mätserierna.

3 KÄNSLIGHETSANALYS UTIFRÅN MAXIMALA UPPMÄTTA PORTTRYCK

En känslighetsanalys avseende inverkan av varierande porttryck på släntens stabilitet har utförts genom att beräkna släntens säkerhetsfaktor för kombinerad analys för tre olika porttryckssituationer (grundvattennivåer) (med övriga parametrar konstanta):

1. utifrån maximala uppmätta trycknivåer
2. med en ökning av trycknivåerna i det undre grundvattenmagasinet med 2 m, respektive
3. med en ökning i det övre grundvattenmagasinet med 1 m¹.

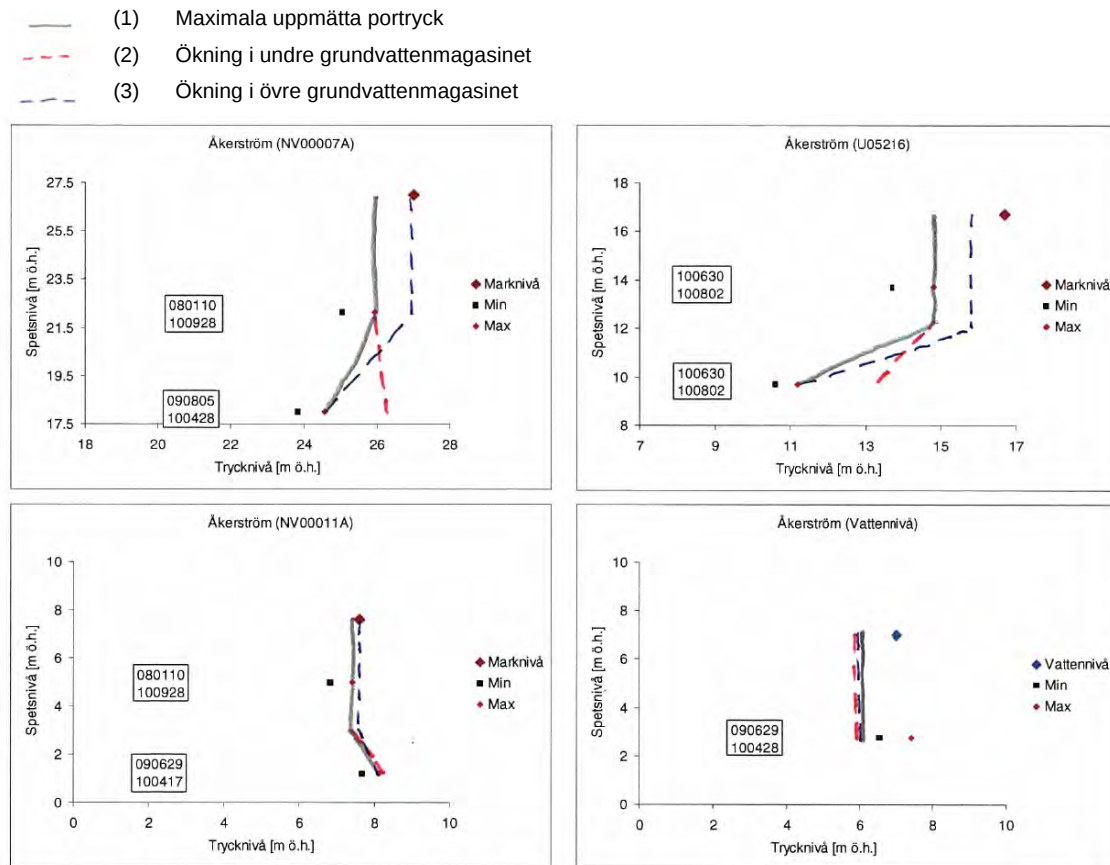
I detta exempel har beräkningar av dessa tre fall bedömts vara tillfyllest, eftersom porttrycken i slänten mätts under flera års tid och med stöd av resultatet från mätningarna därmed bedöms vara relativt väl kända. Om så inte är fallet kan det vara aktuellt att öka storleken på nivåökningarna, samt att inkludera en beräkning där nivåerna ökas samtidigt i det undre och i det övre magasinet.

De tre ovan nämnda fallen för det aktuella exemplet illustreras i Figur 3, där porttrycksprofilen utifrån maximala uppmätta trycknivåer är markerad med grå linje. Ökning av trycknivån i undre grundvattenmagasinet är markerat med streckad röd linje, och ökning

¹ Dock inte högre än till markytan

i övre grundvattenmagasinet med streckad blå linje. Grundvattenförhållandena har bedömts vara hydrostatiska ned till ca 5 m djup under markytan.

I Figur 3 har älvens nivå satts till 6 m ö.h. (meter över havet), vilket är den nivå som är angiven i styrdokumentet². Dessutom har nivån i det undre grundvattenmagasinet i NV00011A inte ökats, då låga vattennivåer i älven och höga grundvattennivåer i NV00011A förmodligen inte är förenliga eftersom kontakt finns mellan det undre grundvattenmagasinet och älven³.



Figur 3. Känslighetsanalys avseende porttryck för Åkerström.

Beräknad säkerhetsfaktor för de olika fallen visas i Tabell 1. Resultatet visar att säkerhetsfaktorn för slänten är tämligen okänslig för ökning av nivån i det undre grundvattenmagasinet, men däremot känslig för ökning av nivån i det övre grundvattenmagasinet. För ökningen i det övre grundvattenmagasinet redovisas två glidytor, där 3a är glidytan med lägst säkerhet och 3b är den stora glidytan med lägst säkerhet.

Notera det orealistiska resultatet att beräknad säkerhetsfaktor är <1 trots att slänten står kvar! Orsaken till detta är inte klarlagd, men beror antagligen på för lågt valda hållfastheter och möjligtvis även på 3D-effekter. För detta dokument, som endast behandlar känslighetsanalys avseende porttryck, har detta dock ingen direkt betydelse.

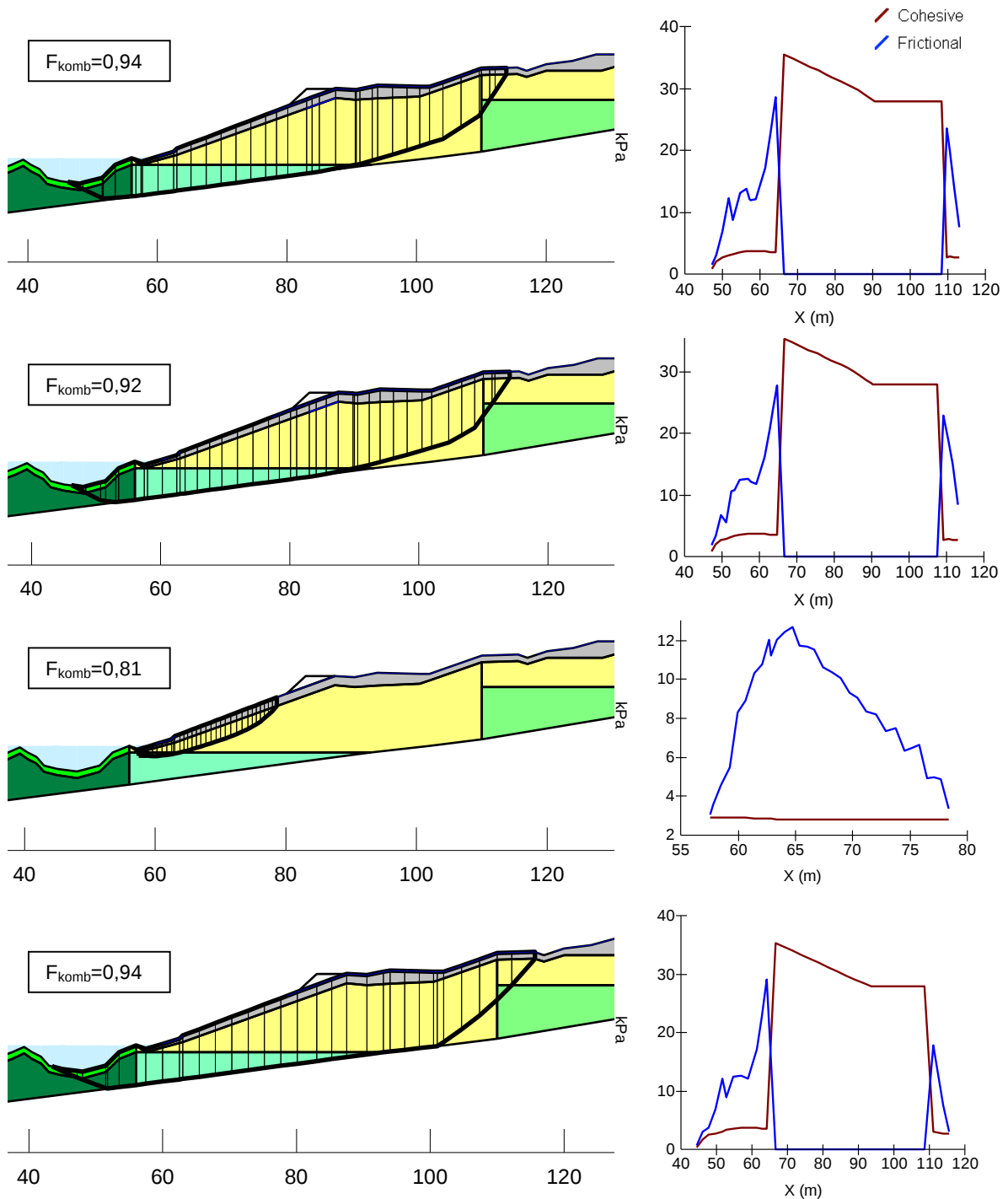
² 99ST002 - Göta älvutredningen, GÄU - Riktlinjer för tekniskt arbete

³ Antagligen är även den kombination som visas orealistisk, men i känslighetsanalysen har det ändå bedömts vara vettigt att ansätta dessa tryck.

Tabell 1. Beräknad säkerhetsfaktor för de tre beräkningsfallen för Åkerström.

Analys	Säkerhetsfaktor, F_{komb}	Ändring av F_{komb} rel. (1) [%]
1. Maximala uppmätta	0,94	-
2. Ökning i undre grundvattenmagasinet	0,92	1
3a/b. Ökning i övre grundvattenmagasinet	0,81/0,94	14

Den farligaste glidyten för analyserna 1, 2 och 3 illustreras i Figur 4 tillsammans med andelen av glidyten som styrs av dränerad respektive odränerad skjuvhållfasthet. Den farligaste glidyten för analyserna 1 och 2 styrs huvudsakligen av den odränerade skjuvhållfastheten, medan den för analys 3 styrs helt av den dränerade skjuvhållfastheten.



Figur 4. De kritiska glidytorerna i analyserna 1, 2, 3a och 3b (uppifrån och ned) tillsammans med grafer över andelen av glidytorerna som är dränerade respektive odränerade.

4 BEDÖMDA MAXIMALA PORTRYCK

Bedömning av maximala portryck har gjorts utifrån uppmätta trycknivåer, känslighetsanalysen i kapitel 3, möjlig bräddnivå i terrängen för det undre grundvattenmagasinet, samt uppskattning av maximala trycknivåer i det undre grundvattenmagasinet utifrån

Svensson och Sällfors metod⁴ som finns tillgänglig i ett Excelark (se exempel för punkt NV00007A i Åkerström i Bilaga 1).

Det finns ingen tydlig bräddnivå i terrängen, men en möjlig maximal nivå för det undre grundvattenmagasinet skulle kunna utgöras av någon av de små bergpartierna sydväst respektive nordost om sektionen, som ser ut att ha bräddnivåer på 25 m ö. h. respektive 11 m ö. h. Den maximala uppmätta nivån i NV00007A är dock ca 25 m ö. h., vilket indikerar att bräddnivån åtminstone inte är 11 m.

För en uppskattning enligt Svensson och Sällfors metod matades ett tiotal slumpmässigt utvalda portrycksobservationer från vardera portrycksspets i det undre grundvattenmagasinet in i Excelarket. Resultaten från denna uppskattning visas tillsammans med maximala uppmätta nivåer i Tabell 2.

Tabell 2. Uppskattade maximala nivåer i det undre grundvattenmagasinet, enligt metod Svensson och Sällfors⁶, tillsammans med maximala uppmätta grundvattennivåer.

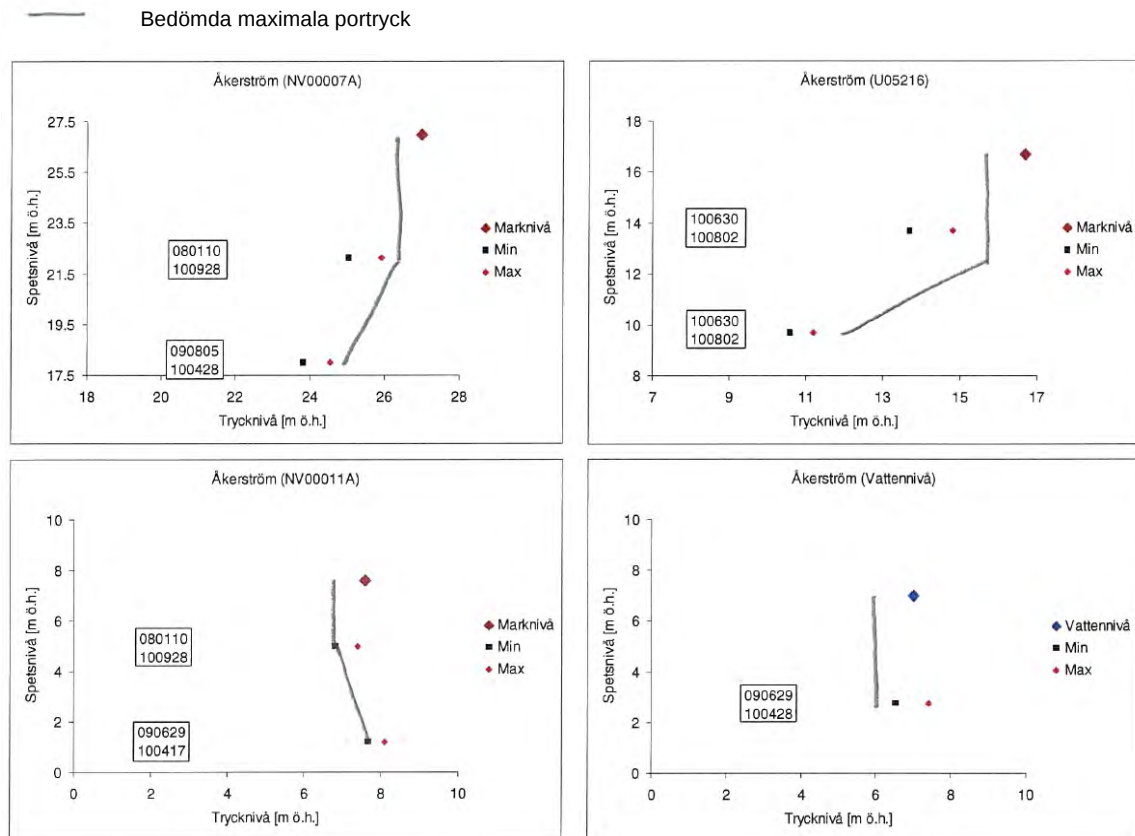
Portrycksspets	Bedömd maximal nivå [m ö.h.]	Uppmätt maximal nivå [m ö.h.]
NV00007A	24,8	24,6
U05216	11,5	11,2
NV00011A	8,1	8,1

De enligt metod Svensson och Sällfors uppskattade maximala nivåerna har redan uppnått i NV00011A, medan de för de övriga två punkterna ligger några decimeter över de maximala uppmätta nivåerna.

Den sammanlagda bedömningen av maximala portrycksnivåer visas i Figur 5 och illustreras även på sektionsritning i Bilaga 2. Anledningen till den större höjningen av nivåer i U05216 än i NV00007A är att mätningarna där gjorts endast under en kortare period. Älvnivån 6 m kommer från styrdokumentet⁵, och anledningen till att portrycken i NV00011A valts lägre än de maximalt uppmätta är att dessa observerats samvariera med älvnivån och inte bedöms kunna vara höga samtidigt som älvnivån är låg.

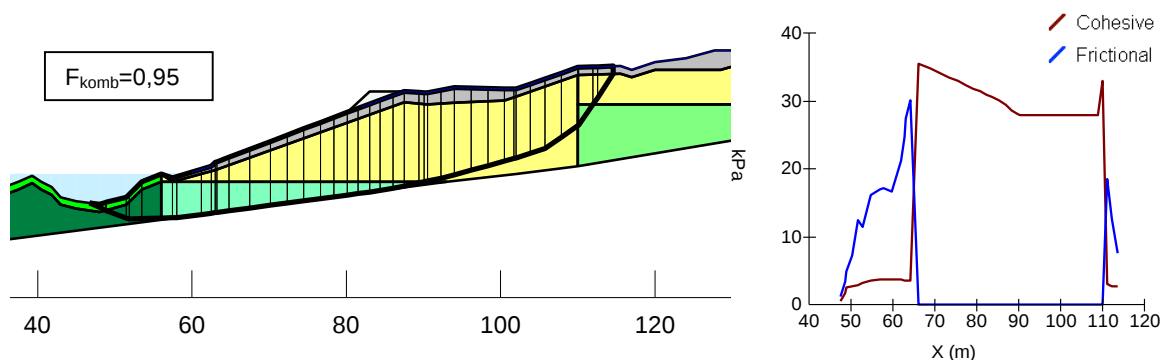
⁴ Svensson, C. och Sällfors, G. (1985). Beräkning av dimensionerande grundvattentryck – 1. Göteborgs-regionen. Institutionerna för Geologi och Geoteknik med grundläggning, Göteborgs universitet och Chalmers, Göteborg, Sverige.

⁵ 99ST002 - Göta älvutredningen, GÄU - Riktlinjer för tekniskt arbete



Figur 5. Bedömda maximala portrycksnivåer.

Denna bedömda grundvattentryckssituation ger säkerhetsfaktorn 0,95 för den farligaste glidytan i en kombinerad analys, vilken redovisas i Figur 6 tillsammans med andelen av glidytan som styrs av dränerad respektive odränerad skjuvhållfasthet. Att säkerhetsfaktorn är högre än för de maximalt uppmätta trycknivåerna beror på att kombinationen av en låg nivå i älven och höga portryck i slänten, vilket var fallet i känslighetsanalysen, inte ansågs vara realistisk. I den bedömda portryckssituationen har därför en mer realistisk uppskattning av portrycksnivån närmast älven gjorts (utifrån älvnivån 6 m ö.h. som är given i styrdokumentet⁶).

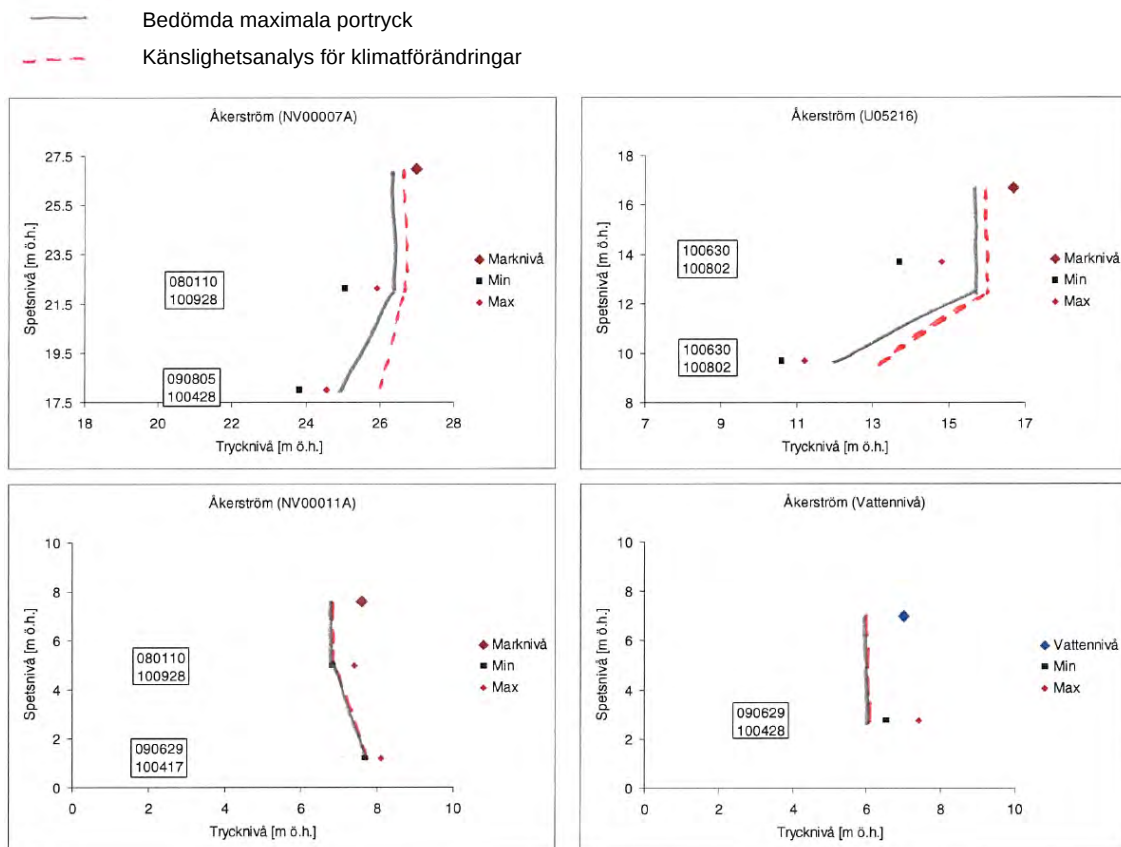


Figur 6. Den kritiska glidytan för bedömda maximala portryck, tillsammans med delarna av glidytan som är dränerade respektive odränerade.

⁶ 99ST002 - Göta älvutredningen, GÄU - Riktlinjer för tekniskt arbete

5 KÄNSLIGHETSANALYS FÖR KLIMATFÖRÄNDRINGAR UTIFRÅN BEDÖMDA MAXIMALA PORTRYCK

Utifrån bedömda maximala trycknivåer i Figur 5 har en känslighetsanalys för klimatförändringar avseende grundvattentrycksförändringar gjorts enligt styrdokumentet 99ST003 (Känslighetsanalys för ett förändrat klimat). Valda trycknivåer redovisas i Figur 7.



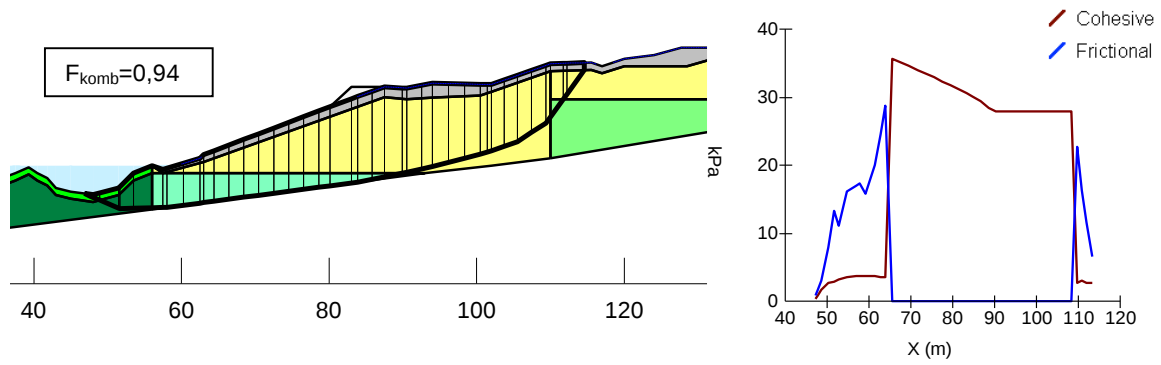
Figur 7. Scenario för klimatförändring utifrån bedömda maximala trycknivåer.

Ändringen i säkerhetsfaktor till följd av använt scenario för klimatförändring visas i Tabell 3. Eftersom säkerhetsfaktorn knappt ändras bedöms aktuell slänt vara tämligen okänslig för klimatförändringspåverkan av grundvattenförhållandena.

Tabell 3. Säkerhetsfaktorns förändring vid använt scenario för klimatförändring. Åkerström

Analys	Säkerhetsfaktor, F_s	Ändring av F_s [%]
1. Uppskattad maximal	0,95	-
4. Scenario för klimatförändring	0,94	-1

Den beräknade farligaste glidyten vid använt scenario för klimatförändring illustreras i Figur 8 tillsammans med andelen av glidyten som styrs av dränerad respektive odränerad skjuvhållfasthet. De beräknade farligaste glidyterna för analyserna 1 och 4 är lika varandra (jämför med Figur 6), och styrs i huvudsakligen av odränerad skjuvhållfasthet.



Figur 8. Den farligaste glidytan vid använt scenario för klimatförändring, tillsammans med delarna av glidytan som styrs av dränerad respektive odränerad skjuvhållfasthet.

Göta älvutredningen, GÄU delrapporter 1-34

- 1 Erosionsförhållanden i Göta älv
- 2 Fördjupningsstudie om erosion i vattendrag
- 3 Hydrodynamisk modell för Göta älv. Underlag för analys av vattennivåer, strömhastigheter och botten-skjuvspänningar
- 4 Transport av suspenderat material i Göta älv
- 5 Ytgeologisk undersökning med backscatter - Analys för Göta älv och Nordre älv
- 6 Bottenförhållanden i Göta älv
- 7 Bedömning av grundvattenförhållanden för slänter längs Göta älv - Allmän vägledning
- 8 Känslighetsanalys för variationer i grundvattennivå och val av maximala portryck i slänter längs Göta älv – Exempel från en slänt
- 9 Bedömd förändring av maximala grundvattennivåer i Göta älvdalen till följd av förändrat klimat
- 10 Studie av portryckens påverkan från nederbörd och vattenståndsvariation i tre slänter längs Göta älv
- 11 Analys av uppmätta portryck i slänterna vid Äsperöd och Åkerström
- 12 Metodik för inventering och värdering av konsekvenser till följd av skred i Göta älvdalen
- 13 Metodik konsekvensbedömning - Känslighetsanalys, klassindelning och applicering av metodik i hela utredningsområdet
- 14 Metodik konsekvensbedömning - Bebyggelse
- 15 Metodik konsekvensbedömning - Kartläggning, exponering, sårbarhet och värdering av liv
- 16 Metodik konsekvensbedömning - Sjöfart
- 17 Metodik konsekvensbedömning - Väg
- 18 Metodik konsekvensbedömning - Järnväg
- 19 Metodik konsekvensbedömning - Miljöfarliga verksamheter och förorenade områden
- 20 Metodik konsekvensbedömning - Naturmiljö
- 21 Metodik konsekvensbedömning - Energi och ledningsnät
- 22 Metodik konsekvensbedömning - VA-system
- 23 Metodik konsekvensbedömning - Näringsliv
- 24 Metodik konsekvensbedömning - Kulturarv
- 25 Metodik konsekvensbedömning - Känslighetsanalyser
- 26 Metodik konsekvensbedömning - Bebyggelse och kartläggning, exponering, sårbarhet och värdering av liv - Fallstudie Ale kommun
- 27 Hydrologiska och meteorologiska förhållanden i Göta älvdalen
- 28 Metodbeskrivning sannolikhet för skred: kvantitativ beräkningsmodell
- 29 Kartering av kvicklereförekomst för skredriskanalyser inom Göta älvutredningen. Utvärdering av föreslagen metod samt preliminära riktlinjer
- 30 Quick clay mapping by resistivity – Surface resistivity, CPTU-R and chemistry to complement other geotechnical sounding and sampling
- 31 Inverkan av förändringar i porvattnets kemi, främst salturlakning, på naturlig leras geotekniska egenskaper – Litteraturstudie
- 32 Hantering av kvicklereförekomst vid stabilitetsbedömning för Göta älv – Riktlinjer
- 33 Metodbeskrivning för SGI:s 200 mm diameter "block-provtagare" - Ostörd provtagning i finkornig jord
- 34 Sjömätning - Göta älv och Nordre älv



Statens geotekniska institut
Swedish Geotechnical Institute
SE-581 93 Linköping, Sweden
Tel: 013-20 18 00, Int + 46 13 201800
Fax: 013-20 19 14, Int + 46 13 201914
E-mail: sgi@swedgeo.se Internet: www.swedgeo.se