

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 (kvikclera) 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.

Bedömning av grundvattenförhållanden för slänter längs Göta älv

Rapporten är riktad till dem som inom Göta älvutredningen planerar för fältundersökningar samt utför stabilitetsberäkningar. Syftet med den är att utgöra ett stöd för bedömning av grundvattenförhållanden i form av grundvattennivåer och portryck i slänterna. Rapporten är skriven utifrån rådande klimat. Klimatförändringarnas inverkan på grundvatten- och portrycksförhållanden, samt hur detta kan hanteras i stabilitetsberäkningar, behandlas i senare publikationer.

För vidare läsning rörande installation och avläsning av mätare för grundvattennivåer och portryck rekommenderas Geoteknisk fälthandbok från SGF eller Information 11 från SGI, vilka båda kan laddas ned från SGI:s hemsida (www.swedgeo.se).

Författare till rapporten är Håkan Persson, Per-Evert Bengtsson, Karin Lundström och Petter Karlsson på SGI. Dessutom har värdefulla kommentarer till rapportens innehåll och utformning lämnats av Göran Sällfors och Claes Alén på Chalmers samt Bo Thunholm på SGU.

Linköping 2011

Marius Tremblay

Uppdragsledare, Göta älvutredningen

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

SAMMANFATTNING	6
1 BAKGRUND	7
1.1 Portryckens inverkan på hållfastheten	7
1.2 Grundvattenförhållanden i Göta älvdalen	7
1.2.1 Nivå i övre grundvattenmagasin.....	9
1.2.2 Nivå i undre grundvattenmagasin.....	9
1.2.3 Fluktuationer	9
1.2.4 Grundvattenförhållanden i olika typer av slänter	10
2 SKAPA EN ENKEL MODELL	11
3 MÄTNING AV GRUNDVATTENFÖRHÅLLANDEN	12
3.1 Tidpunkt för mätning	12
3.2 Plats för mätning.....	13
4 BEDÖMNING AV MAXIMALA GRUNDVATTENNIVÅER OCH PORTRYCK	13
4.1 Nivå i övre grundvattenmagasin.....	13
4.2 Nivå i undre grundvattenmagasin	13
5 IMPLEMENTERING I STABILITETSBERÄKNINGAR	14

SAMMANFATTNING

Stabiliteten i slänterna längs Göta älv påverkas i varierande grad av de i slänten rådande portrycken. Man bör för varje slänt översiktligt gå igenom inom vilka delar av slänten som det är viktigt att vid stabilitetsanalysen mer noggrant känna till portrycksfördelningen i slänten. För dessa delar bör sedan mätningar och analyser av möjliga maximala portryck göras.

Utredningsarbetet bör baseras på metodiken att man skapar en enkel konceptuell modell över portrycksförhållandena i slänten som genom mätning i steg verifieras eller förkastas. Att modellen förkastas innebär då att den måste revideras och kompletteras tills den blir acceptabel i förhållande till resultatet av de mätningar som finns för att spegla verkligheten.

De bedömda grundvattenförhållandena måste sedan på ett korrekt sätt implementeras i stabilitetsberäkningen. I de delar av glidytan där de dränerade parametrarna är dimensionerande bör extra noggrannhet vidtas vid inmatningen. Dessutom måste portrycken och effektivspänningarna längs den kritiska glidytan jämföras med de tryck som bedömts råda i området.

1 BAKGRUND

I detta kapitel ges en kort beskrivning av grundvattenförhållandena i slänterna i Göta älvdalen och hur mätningar av dessa bör göras. Allra först diskuteras dock vid vilka situationer som portryck påverkar hållfastheten samt ges ett förslag till hur en enkel modell över grundvattenförhållandena kan konstrueras.

1.1 Portryckens inverkan på hållfastheten

Man bör för varje slänt översiktligt gå igenom inom vilka delar av slänten som det är viktigt att vid stabilitetsanalysen mer noggrant känna till portrycksfördelningen i slänten. I princip innebär detta att gå igenom inom vilket spänningsintervall som den dränerade skjuvhållfastheten är mindre än den odränerade skjuvhållfastheten. Detta kan göras med relativt enkla medel enligt nedanstående exempel. Normalt blir detta då frågan om de ytliga delarna av glidytan.

Exempel:

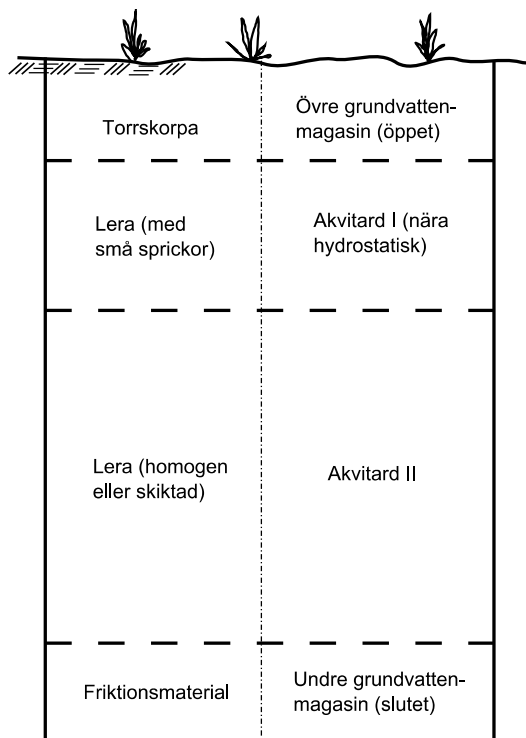
Om man i södra delen av Göta älvdalen har en odränerad skjuvhållfasthet strax under torrskorpan av storleken 10-15 kPa innebär detta att den dränerade skjuvhållfastheten är dimensionerande för effektivspänningar under ca 20-30 kPa. Under älven motsvarar detta ett djup av 3-5 m för en effektiv volymvikt av 6 kN/m^3 , medan det på land motsvarar ett djup av 2-3 m om grundvattenytan antas ligga 0,5 m under markytan. I den norra delen av Göta älvdalen är den odränerade skjuvhållfastheten större och trots att volymvikten där är något större kommer den dränerade skjuvhållfastheten att ha mer avgörande inverkan inom enskilda glidytor vid bedömningen av stabiliteten.

Om ett brott blir dränerat eller odränerat styrs av lerans överkonsolideringsgrad. I starkt överkonsoliderad lera ($\text{OCR} > 2-6$, beroende av lerans plasticitet) blir brotten oftare dränerade än i svagt överkonsoliderad eller normalkonsoliderad lera. Vilket tidsperspektiv som avses påverkar om ett brott kan betraktas som dränerat eller odränerat. Detta kan t.ex. behöva beaktas i de områden där tillfälliga cykliska trafiklaster finns. I dessa områden kan odränerade parametrar vara dimensionerande vid tillfällig trafiklast, medan dränerade parametrar är dimensionerande för stationära laster. Vilken av dessa som totalt sett är dimensionerande skiljer från fall till fall, och bägge måste beräknas om inte det är uppenbart att det ena är dimensionerande.

1.2 Grundvattenförhållanden i Göta älvdalen

Grundvattenförhållandena i ett område styrs, förutom av klimatet, till stor del av områdets geometri och geologi. I den södra delen av älvdalen är jordlagerföljden i huvudsak lös lera som överlagrar friktionsjord och som i sin tur överlagrar berg. I partier med mycket brant berg kan dock lagret av friktionsjord saknas. På vissa platser är leran dessutom överlagrad av svämsediment eller rester från gamla skred. I den norra delen av Göta älvdalen, som är mer kuperad (stor höjdskillnad mellan älv och omkringliggande mark), finns även områden med friktionsjord ovan leran samt större förekomst av svämsediment och rester från tidigare skred.

Eftersom leran i Göta älvdalen har låg permeabilitet påverkas grundvattenförhållandena starkt av eventuell förekomst av vattengenomsläppliga lager. Klassificering av zonerna i en typisk jordprofil, utifrån ett hydrogeologiskt perspektiv, visas i Figur 1.



Figur 1. Klassificering av en typisk jordprofil i Göta älvdalens lerområden, modifierad från Berntson (1983)¹.

Torrskorpeleran närmast markytan är fast och kraftigt uppsprucken med permanenta sprickor som ger hög permeabilitet. Den höga permeabiliteten gör att torrskorpan kan betraktas som ett *övre grundvattenmagasin* med hydrostatisk tryckfördelning. Under torrskorpan återfinns ofta en zon på ett par meter med tätare lera, vilken här kallas *akvitard I*. Dock är även leran i denna zon påverkad av sprickbildning, vilken orsakar förhöjd permeabilitet ($\sim 1\text{-}5 \cdot 10^{-8}$ m/s) och nära hydrostatisk tryckfördelning. På ett djup av storleksordningen 5 m under markytan försvinner vanligtvis dessa sprickor och under denna nivå har leran lägre permeabilitet ($\sim 10^{-9}$ till 10^{-10} m/s). Denna lågpermeabla zon kallas här *akvitard II*. Tryckfördelningen i denna zon är vid stationära förhållanden vanligtvis linjär, men kan avvika kraftigt från en hydrostatisk fördelning. Under leran finns oftast permeabla friktionsmaterial, vilka utgör ett *undre grundvattenmagasin* med hydrostatisk tryckfördelning.

Ibland påträffas skikt med permeabla material också inom lerprofilen. Dessa lager kan vara friliggande linser, eller stå i kontakt med såväl det undre grundvattenmagasinet som älven. Tryckprofilen inom ett sådant lager är nära hydrostatisk. I den ovan beskrivna modellen delar ett sådant skikt vanligtvis akvitard II i två delar, över och under det permeabla skiktet.

¹ Berntson, J. (1983). Portrycksvariationer i leror i Göteborgsregionen. Licentiatuppsats, Institutionen för geoteknik med grundläggning, Chalmers, Göteborg, Sverige.

1.2.1 Nivå i övre grundvattenmagasin

Grundvattennivån i det övre grundvattenmagasinet (nollnivån för porttryck) är normalt inte lägre än i underkant av torrskorpan och inte högre än markytan. Denna grundvattennivå ansluter alltid till älvens vattennivå, vilken därför till stor del styr grundvattennivån i området närmast älven. Förutom just närmast älven, är det främst i flacka partier som grundvattennivån i det övre grundvattenmagasinet kan nå upp till markytan.

1.2.2 Nivå i undre grundvattenmagasin

Infiltrationen till det undre grundvattenmagasinet sker ofta i dalsidorna vid en högre nivå än dalgångens mitt, vilket kan innebära att grundvattennivån i det undre grundvattenmagasinet är högre än markytans nivå. Detta artesiska tryck i dalens mitt kan ofta uppgå till 1-2 m över markytan, men i enstaka områden, i älvdalens södra del har trycknivåer upp till 7 m över markytan uppmätts. Trycknivån i det undre grundvattenmagasinet är uppåt begränsad av bräddningsnivåerna i infiltrationsområdena, och minskar vanligtvis mot dalens mitt. I speciella fall kan tillflöde från sprucket berg påverka nivåerna i det undre grundvattenmagasinet och ge ett avvikande utseende.

På några ställen, speciellt i den norra delen av älvdalen, finns områden där trycknivån i det undre grundvattenmagasinet är lägre än i det övre grundvattenmagasinet. Detta kan bero på att bottenlagren står i kontakt med älven eller att det undre grundvattenmagasinet, i ett annat område, bräddar vid en lägre nivå än markytan i det aktuella området.

1.2.3 Fluktuationer

Grundvattnets fluktuationer är relaterade till klimatet och varierar i Göta älvdalen ofta med årstid på ett liknande sätt från år till år. Den årliga variationsbredden i det undre grundvattenmagasinet ligger vanligtvis i intervallet 1,0-2,5 m. I det övre grundvattenmagasinet sker fluktuationerna normalt snabbare än i det undre grundvattenmagasinet, och nivån varierar snabbt även vid måttligt med regn. Variationsbredden i det övre grundvattenmagasinet kan i vissa områden uppgå till torrskorpans tjocklek, men i områden med tjock eller väl-dränerad torrskorpa samt i områden där marken lutar kraftigt kan variationsbredden antas vara mindre än torrskorpans tjocklek.

I det undre grundvattenmagasinet är tryckfortplantningen snabb eftersom såväl permeabiliteten som ödometermodulen (d.v.s. konsolideringskoefficienten) där är hög. Enligt bl.a. Svensson och Sällfors (1985)² beror variationsbredden i det undre grundvattenmagasinet på det hydrogeologiska läget, så att grundvattenfluktuationerna generellt är större i höglägen (nära infiltrationsområde) än i låglägen (nära dalbotten). Denna dämpning kan delvis vara orsakad av att konsolideringskoefficienten i det undre grundvattenmagasinet inte är så hög som väntat, men antas även bero på att inflöden från flera olika riktningar överlagras varandra i större utsträckning i låglägen än i höglägen, och att variationerna därmed jämnas ut.

I många fall är tryckfortplantningen snabb också i leran, både i akvitard I & II. Detta beroende på att leran är överkonsoliderad för de aktuella spänningsintervallen, och att både avlastnings- samt pålastningsmodulen därmed är hög.

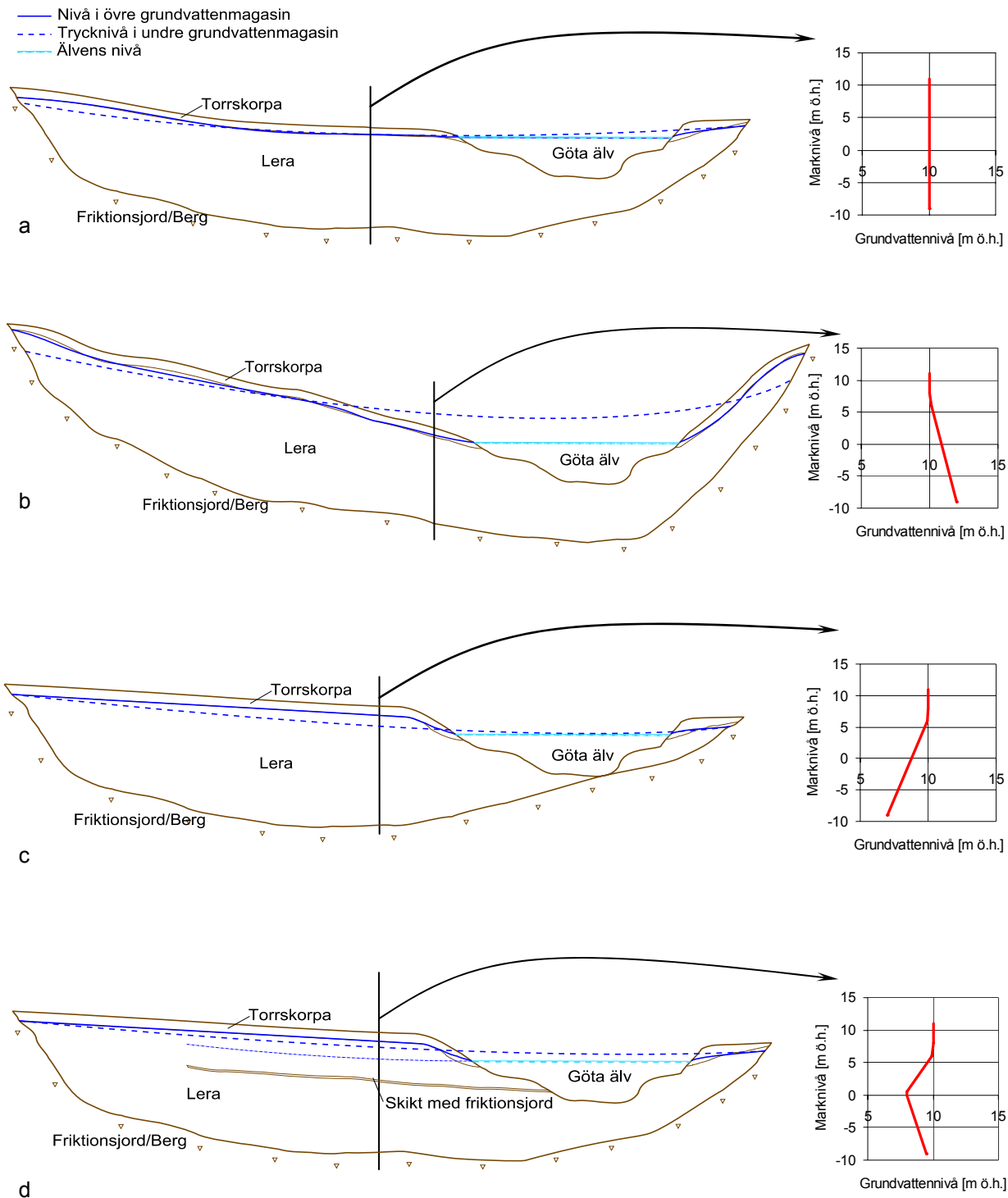
² Svensson, C. och Sällfors, G. (1985). Beräkning av dimensionerande grundvattentryck – 1. Göteborgs-regionen. Institutionerna för Geologi och Geoteknik med grundläggning, Göteborgs universitet och Chalmers, Göteborg, Sverige.

1.2.4 Grundvattenförhållanden i olika typer av slänter

För att illustrera tänkbara grundvattenförhållanden i olika typer av slänter längs Göta älv, visas i Figur 2 sektioner för fyra olika fall. I dessa visas grundvattennivån (trycknivån) i sektionernas genomsläppliga skikt, samt en utvald djupprofil från respektive sektion.

Respektive fall i Figur 2 illustreras med en sektion vinkelrätt mot älven (t.v. i figuren) och grundvattennivån (trycknivån) vid markerad djupprofil i slänten i diagram (t.h. i figuren). De grundvattenförhållanden som illustreras är (från ovan): (a) nära hydrostatiska förhållanden, (b) artesiska förhållanden, (c) kontakt mellan älven och undre grundvattenmagasinet som orsakar nedåtriktad gradient, och (d) dränerande skikt som orsakar nedåtriktad gradient över skiktet samt uppåtriktad gradient under skiktet. För alla fyra fallen gäller att där djupprofilen är markerad har markytan nivån +11 m ö.h. och leran djupet 20 m. För (d) gäller dessutom att skiktet ligger på nivån 0-0,5 m.

I samtliga fall i Figur 2 sker strömning från sektionens kanter och in mot mitten. Detta innebär att hela sektionen inte nödvändigtvis representerar det typfall som rubriceras. Fall (a) återfinns typiskt i områden med yngre lera, medan fall (b) återfinns i områden med äldre lera där älven eroderat ned djupare. Fall (c) och (d) kan finnas inom hela älv-dalen, men bedöms vara vanligare förekommande i den norra delen.



Figur 2. Fyra tvärsektioner med för Göta älv dalen typiska grundvattenförhållanden.

2 SKAPA EN ENKEL MODELL

Utredningsarbetet bör baseras på metodiken att man skapar en enkel konceptuell modell över porttrycksförhållandena i slänten som genom mätning i steg verifieras eller förkastas. Att modellen förkastas innebär då att den måste revideras och kompletteras tills den blir acceptabel i förhållande till resultatet av de mätningar som finns för att spegla verkligheten.

Modellen föreslås bygga på principen att i de aktuella slänterna i Göta älvdalen är det de permeabla lagren som huvudsakligen styr portrycksförhållandena i slänten och då i synnerhet de mellanliggande lerlagren. Detta innebär att de vattenmängder som transporteras genom lerlagren antas vara försumbara (små) i förhållande till de vattenmängder som transporteras i de permeabla lagren.

Skapandet av modellen kräver god kännedom om lagerföljden (geologisk modell) innefattande de permeabla lagrens geometri. Observera att kraven för den geohydrologiska modellen egentligen även är en naturlig del av kraven på den geotekniska modellen. Detta gäller speciellt om den geotekniska modellen även omfattar underlag för bedömning av t.ex. risk för förekomst och utsträckningen av kvicklera.

För dessa bedömningar som underlag för modellen krävs förståelse för de hydrogeologiska förhållandena på den aktuella platsen. Detta kan innebära att identifiera infiltrationsområden och skapa sig en uppfattning om hur vattnet strömmar i de olika delarna av området. En viktig del i detta är att upprätta en bra geologisk modell, där exempelvis förekomst av eventuella permeabla skikt finns kartlagda. För verifiering och uppdatering av den hydrogeologiska bedömningen är mätningar av portryck en nödvändighet.

3 MÄTNING AV GRUNDVATTENFÖRHÅLLANDEN

För att verifiera den hydrogeologiska modell som satts upp utifrån geometri och geotekniska undersökningar behöver mätningar av grundvattenförhållandena göras. Antalet mätningar beror på osäkerheten i modellen, vilket innebär att det ofta lönar sig att göra en bra modell som valideras med ett mindre antal mätningar, snarare än att göra en stor mängd mätningar utan att koppla dessa till en modell. Mätningarna bör i huvudsak fokuseras till de områden där dränerad hållfasthet bedöms vara dimensionerande.

Vidare är det av stor vikt att bedöma rimligheten av uppmätta portryck. Det finns flera orsaker till felaktiga mätvärden och portrycksspetsar som bedöms ge felaktiga värden bör åtgärdas eller ersättas med nya mätare.

Förutom traditionella mätningar av grundvattennivåer och portryck bör portrycket i tjocka lager av friktionsmaterial, samt i det undre grundvattenmagasinet, mätas vid CPT-sondering. Detta görs genom att sonderingen stoppas då spetsen är i friktionsmaterial, och portrycket registreras då övertrycket från neddrivningen avklingat. Genom att använda denna metod kan en bild över grundvattenförhållandena fås även i områden där portrycksstationer saknas.

3.1 Tidpunkt för mätning

Portrycksmätningar kan göras under hela året, men de uppmätta nivåerna måste relateras till den, vid mättillfället, rådande grundvattensituationen (om det är blött eller torrt i marken). För att fånga in dynamiken i nivåvariationerna är det en stor fördel om mätningar utförs under flera årstider, då olika grundvattenförhållanden kan väntas. Vid de tillfällen mätningar görs bör dock samtliga mätpunkter inom ett område registreras. Detta för att få information om tryckgradienter och strömningsförhållanden.

3.2 Plats för mätning

Antalet portrycksspetsar som behövs för att beskriva grundvattenförhållandena i en sektion beror på topografin och jordlagerföljden. I områden med kuperad terräng behövs fler mätpunkter än där terrängen är svagt lutande, och i områden med starkt skiktad jord behövs fler mätnivåer än i områden med homogen jord.

Då det finns permeabla skikt inom lerprofilen bör mätningar göras i dessa skikt, och på samma sätt bör mätning göras i det undre grundvattenmagasinets friktionsmaterial. Till detta kommer sedan utvalda punkter där portryckets mäts i leran, främst vid strandlinjen och i övre delen av slänten. Mätningarna i leran bör fokuseras till de delar av slänten där dränerad hållfasthet är dimensionerande. För att undersöka grundvattennivån i det övre grundvattenmagasinet bör flera portrycksspetsar installeras i ytliga lager, varav en spets på mindre djup än 5 m.

4 BEDÖMNING AV MAXIMALA GRUNDVATTENNIVÅER OCH PORTRYCK

De maximala grundvattennivåer som kan antas uppkomma, måste uppskattas i de övre och undre grundvattenmagasinen såväl som i eventuella, permeabla skikt. Utifrån dessa nivåer, tillsammans med den förhöjda permeabiliteten i akvitard II, kan sedan en bedömning av portrycken i leran göras.

4.1 Nivå i övre grundvattenmagasin

Högsta tänkbara grundvattennivå i det övre grundvattenmagasinet sammanfaller med markytan eller älvnära områden med översvämningsrisk av vattenytan i älven. På släntkrön, i branta slänter, såväl som i områden med mäktig eller högpermeabel torrskorpa finns det dock anledning att anta att den maximala nivån är lägre. Således bör torrskorpans tjocklek undersökas. Detta gäller speciellt i de fall ytliga glidytor kan väntas vara dimensionerande och den dränerade hållfastheten är dimensionerande i en stor del av glidytan.

4.2 Nivå i undre grundvattenmagasin

Högsta möjliga grundvattennivå i det undre grundvattenmagasinet motsvaras av grundvattenmagasinets lägsta bräddnivå i närområdet, vilken kan bedömas från sonderingar tillsammans med kartor eller fältstudier. Trycknivåns förmodade minskning mot dalens mitt bedöms utifrån mätningar.

En metod för att relatera mätningar i det nedre grundvattenmagasinet till rådande grundvattensituation har utvecklats av Svensson och Sällfors (1985), och baseras på att ett fåtal mätningar i ett *prognosrör* relateras till långtidsmätningar i ett någorlunda närbeläget *referensrör*. Programvara för denna beräkning tillhandahålls av SGI, för uppskattning av maximal nivå med 200 års återkomsttid. Resultat från beräkningar med denna metod måste dock analyseras avseende rimlighet, och jämföras med förväntade bräddnivåer bedömda utifrån lokala förhållanden.

5 IMPLEMENTERING I STABILITETSBERÄKNINGAR

De bedömda grundvattenförhållandena måste på ett korrekt sätt implementeras i stabilitetsberäkningen. Olika beräkningsprogram ger olika möjligheter till detta, och det kan i vissa fall vara svårt att i programmet beskriva de portrycksprofiler man avser använda. I de delar av glidytan där de dränerade parametrarna är dimensionerande bör extra noggrannhet vidtas vid inmatningen. Dessutom måste portrycken och effektivspänningarna längs den kritiska glidytan jämföras med de tryck som bedömts råda i området. Om portrycken och effektivspänningarna i beräkningsprogrammet avviker från de bedömda dito, måste inmatningen av portrycken förbättras.



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