Myndigheten för samhällsskydd och beredskap

CHALMERS

SGI Statens geotekniska institut

FORSKNING

Portrycksrespons i den övre markprofilen vid kraftig nederbörd

Faktaruta

Portrycksrespons i den övre markprofilen vid kraftig nederbörd

2012–2017

Statens geotekniska institut, Chalmers tekniska högskola

Hanna Blomén

Projektet har studerat portrycksvariationer de översta metrarna i slänter som främst består av leriga jordar. Fältstudier är utförda i två lokaler i Göteborgsområdet. Generellt kan portrycken sägas vara hydrostatiska de översta 5 metrarna av jordprofilen. Detta är viktigt underlag för stabilitetsberäkningar i slänter där de dränerade förhållandena är dimensionerande.

MSB:s kontaktperson:
Margareta Nisser Larsson, 010-240 53 57

Foto: Johan Eklund, MSB

Publikationsnummer MSB1119 - augusti 2017
ISBN 978-91-7383-761-3

MSB har beställt och finansierat genomförandet av denna forskningsrapport. Författarna är ensamma ansvariga för rapportens innehåll.

Förord

Denna rapport är en sammanfattning av arbetet som skett under åren 2012–2017 inom projektet *Portrycksrespons i den övre markprofilen vid kraftig nederbörd*. Huvudpublikation inom projektet är en Licentiatuppsats, *Pore pressure response in the uppermost part of a clay soil slope- Two case studies in the Gothenburg region*, utförd på Chalmers tekniska högskola. Finansiärer till projektet har varit MSB, inom ramen för den tematiska utlysningen ”Naturhändelser med negativa konsekvenser för samhället i dagens och morgondagens klimat”, Statens geotekniska institut (SGI) samt Chalmers tekniska högskola.

Handledare för projektet har varit Göran Sällfors (Chalmers) och Karin Lundström (SGI). En referensgrupp bestående av Margareta Nisser-Larsson (MSB), Victoria Svahn (Tyréns, tidigare SGI), Marius Tremblay (Tyréns, tidigare SGI) och Karin Odén (SGI, tidigare Geosigma) har också varit delaktiga.

Tack alla som gjort projektet möjligt!

Hanna Blomén

Göteborg 2017-06-30

Innehållsförteckning

1. Bakgrund 5
2. Fältområden 6
2.1 Äsperöd 6
2.2 Linnarhult 7
3. Resultat från mätningar i fält 9
3.1 Äsperöd 9
3.1.1 Portrycksfördelning Äsperöd 9
3.2 Linnarhult 10
3.2.1 Portrycksfördelning Linnarhult slänt 1 11
3.2.2 Portrycksfördelning Linnahult Slänt 2 12
4. Simuleringar 14
5. Slutsatser och rekommendationer 16
5.1 Två typiska portrycksprofiler 16
5.2 Förhållanden under vattendrag och sjöar 17
5.3 Förslag på fortsatta undersökningar 18
6. Tips på ytterligare läsning 19

1. Bakgrund

För många slänter i lera där stabiliteten är otillfredsställande är höga portryck en av parametrar som kan orsaka skred. Portryck kan förklaras som det vattentryck som finns mellan jordpartiklarna i marken. När det regnar tillförs marken vatten som, när det infiltrerar i jorden, försämrar den hållfasthet som är avgörande för om slänten är stabil eller inte. En instabil slänt kan rasa och kan då ta med sig de byggnader, vägar etc. som finns i närheten.

Huvudsyftet med detta forskningsprojekt har varit att studera portryckens förändringar med tid, i huvudsak i de översta 5 metrarna i jordprofilen, för olika nederbördsscenarion och för olika geologiska förutsättningar typiska för sydvästra Sverige. Dessa översta metrar är där skred ofta sker och även där nederbörden kan sägas ha störst betydelse, på större djup under markytan är andra parametrar styrande. I sydvästra Sverige, bl.a. kring Göteborg, består jorden till största del av lera som är en typ av jord där innehållet av vatten kan vara av avgörande betydelse för stabiliteten. Ett antagande som ofta görs vid släntstabilitetsberäkningar är att portrycket är hydrostatiskt de översta 5–10 metrarna i marken, det finns dock begränsat med forskning på detta sedan tidigare. Ett hydrostatiskt portryck innebär att trycket ökar med 10 kPa/meter, dvs lika mycket som i fritt vatten som t.ex. en sjö. Detta kan jämföras med artesiska tryck som innebär att trycket är högre (mer än 10 kPa/m) vilket gör att vatten strömmar (trycks) uppåt i marken, i lera går detta mycket långsamt. Om trycket är lägre än hydrostatiskt mot djupet rör sig vattnet på motsvarande sätt nedåt i profilen.

Den långsiktiga nyttan med projektets resultat är att vi kan göra bättre och mer tillförlitliga prognoser av portrycken i hela jordprofilen, från markytan och ner till fast botten. Därigenom kan stabilitetsanalyserna förbättras. I de fall en stabilitetsanalys görs för en slänt med hänsyn tagen till de förväntade effekterna av klimatförändringar kommer resultaten från detta projekt också bli viktiga ur en ekonomisk synvinkel. Detta eftersom kostsamma förstärkningsåtgärder kanske inte bedöms nödvändigt att utföra i samma omfattning.

För att kunna utföra fältstudier och samla in långa tidserier av portrycksmätningar har två släntområden nära Göteborg valts ut och portrycksmätare är installerade där.

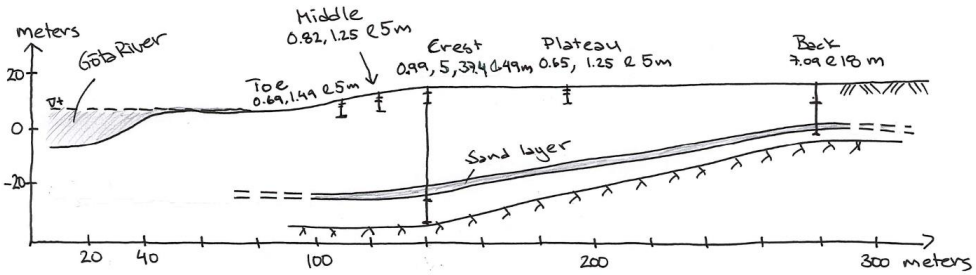
2. Fältområden

Mätningar av portrycken i fält har utförts på två lokaler i Göteborgsområdet, se Figur 1. Äsperöd ligger strax norr om Lilla Edet, på Göta älvs västra sida. Linnarhult ligger i nordöstra delen av Göteborg i Lärjeåns dalgång. I båda platserna har jordarna tekniska egenskaper som är vanliga i sydvästra Sverige. Det var viktigt att resultatet från slänterna inte skulle vara för specifikt utan att det också skulle kunna gå att dra generella slutsatser för större områden grundat på det.

Figur 1. Översikt placering av fältområden.

2.1 Äsperöd

Området kring slänten i Äsperöd består av åkermark. Väster om slänten finns ett bergsparti och en väg, Göta älv avgränsar i den östra delen. Sluttens totallängd är ca 280 m. Markytan är till största del plan, se Figur 2, i området närmast älven lutar marken ca 1:6. Jordprofilen består överst av 1–2 meter torrskorpa följt av lera med en mäktighet av ca 10–45 meter. Leran innehåller delvis silt och det finns ett lager med sand, ca 2–2.5 meter tjockt.



Figur 2. Profil Äsperöd med placering och installationsdjup för portrycksmätare.

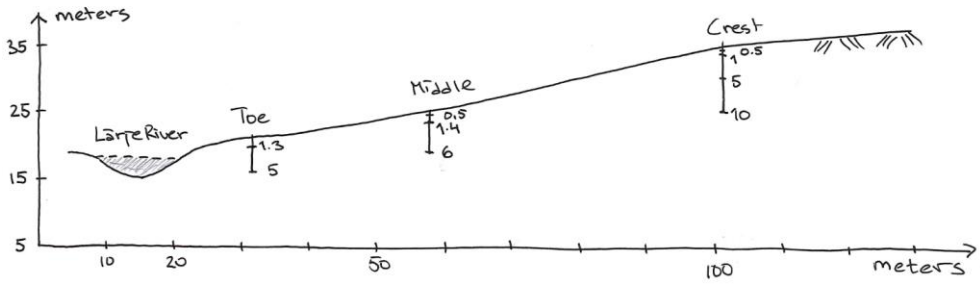
I den västra delen av sektionen finns kvicklera vilket innebär att leran är känslig för störningar och att eventuella skred får stora omfattningar.

Slänten har varit utrustad med totalt 19 stycken portryckmätare. Av dessa har 11 stycken har installerats inom ramen för detta projekt och övriga är installerade i tidigare projekt men har delvis kunnat användas även nu. Mätarna har var 4:e timme registrerat portrycken i marken i fem olika delar av området och på olika djup under markytan. Mätningarna i Äsperöd har pågått från januari 2013 till och med våren 2016. Äldre mätningarna är utförda periodvis under 2007 till 2010. Även en nederbördsmätare har funnits på platsen för att mäta mängden regn i området.

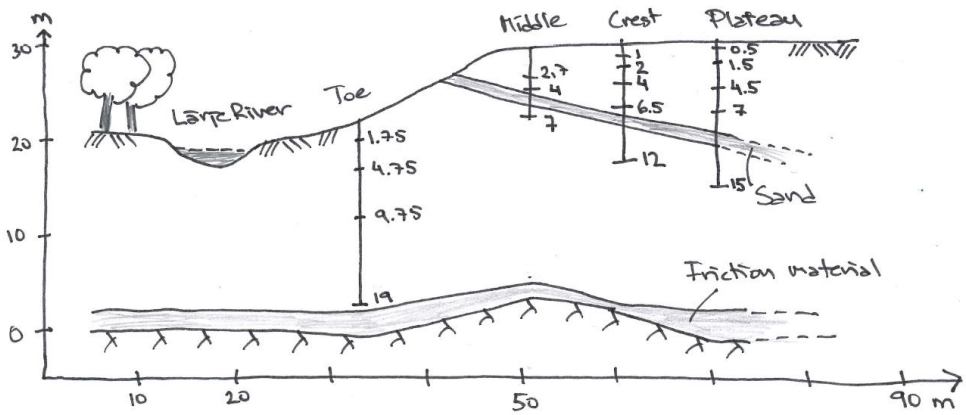
2.2 Linnarhult

Linnarhult ligger längs Lärjeån i den nordöstra delen av Göteborg. Det studerade området ligger på den östra sidan om ån och består till största del av gräsbevuxen betesmark men närmast åfåran växer träd. Inom området har 2 slänter studerats, benämnda Slänt 1 och Slänt 2. De ligger ca 350 meter från varandra och är båda placerade vinkelrät mot ån. Översiktligt utseende på slänterna ses i Figur 3 och Figur 4. I området har geotekniska undersökningar och analyser tidigare utförts både på den östra och västra sidan av ån.

I Slänt 2 har en mer omfattande geoteknisk undersökning gjorts jämfört med Slänt 1. Samma jordparametrar antas gälla för båda slänterna. Jordprofilen består överst av ca 2 meter torrskorpa följt av lera med en mäktighet på ca 30 meter kring släntkrön och ca 20 meter nere vid Lärjeån. I Slänt 2 finns ett skikt med sand i leran, men det är oklart om motsvarande lager finns i Slänt 1. Kvicklera finns i delar av området.



Figur 3. Linnarhult slänt 1.



Figur 4. Linnarhult slänt 2.

Slänt 1 har utrustats med 9 stycken portrycksmätare och i Slänt 2 installerades 17 stycken portrycksmätare. En portrycksmätare installerades även i Lärjeån vid Slänt 2, för mätning av vattennivån i ån. Ingen mätning av nederbörden har gjorts på plats i Linnarhult utan värden har tagits från mätningar som Göteborgs kommun gör i närheten. Portrycksmätarna var i bruk från januari 2015 till juni 2016.

3. Resultat från mätningar i fält

De uppmätta och insamlade mätvärdena från portryckmätarna som installerats i Äsperöd och Linnarhult har analyserats för att se portryckets variation mot djupet, med årstiden och med nederbörden. Även hypotesen om hydrostatiska portryck de översta metrarna av markprofilen undersöktes. Analysen har gjorts dels för respektive mätare, för varje station samt för varje slänt. Jämförelser med nederbörden för motsvarande tidsperiod har också gjorts. För perioder där de uppmätta portrycken verkar felaktiga har dessa värden exkluderats från analysen. Två datum har valts ut från respektive slänt som skall representera höga respektive låga portryck.

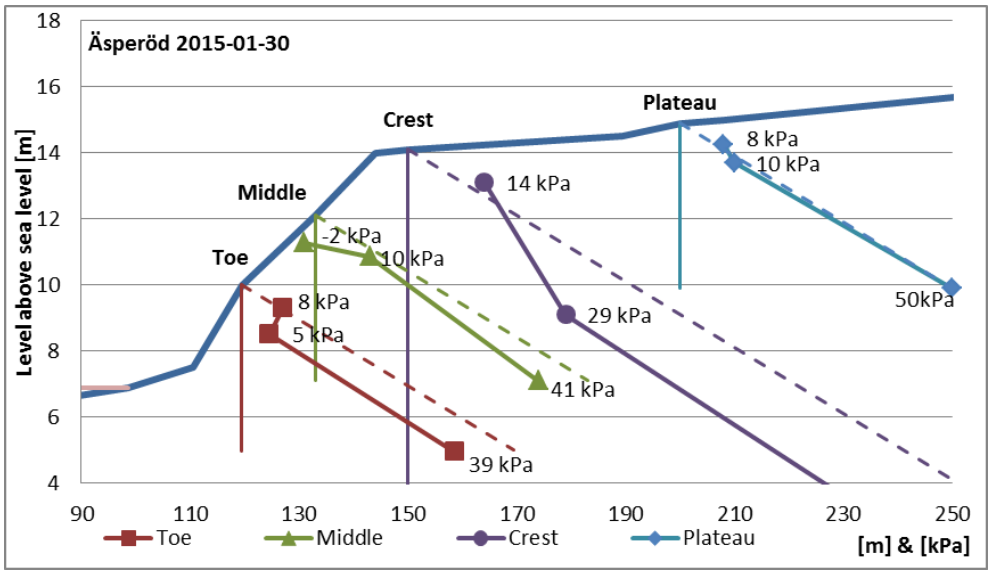
3.1 Äsperöd

Generellt har mätningarna av portryck i Äsperöd resulterat i en lång mätserie med få problem så som batteriproblem, luft i systemen etc. Vissa problem med de äldre mätarna förekom dock. Göta älv är reglerad med slussar och kraftverk i både Trollhättan och Lilla Edet vilket gör att nivån i älven vid Äsperöd är relativt konstant (+6.9- +7.1 m ö h).

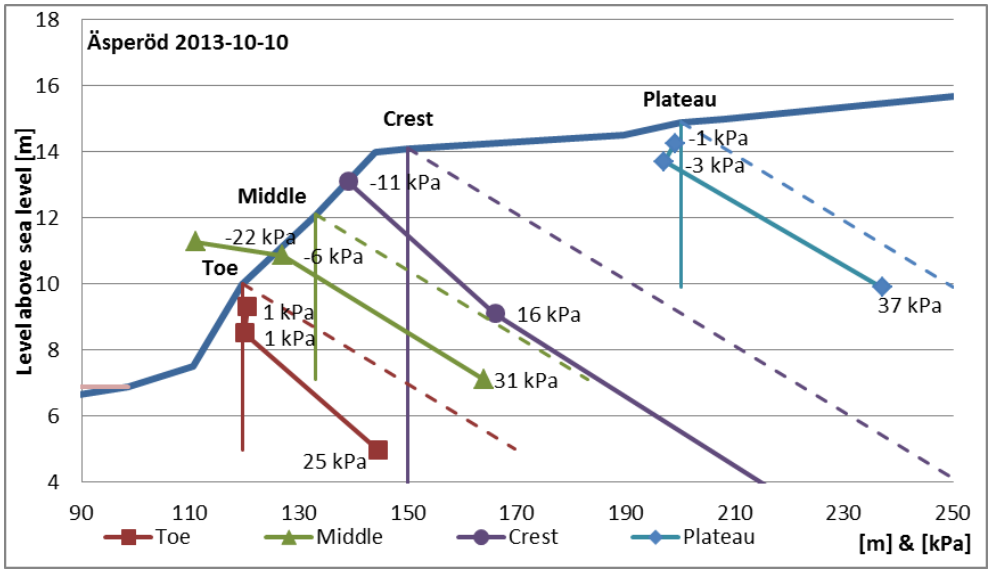
3.1.1 Portrycksfördelning Äsperöd

Portrycksmätningarna i Äsperöd har utvärderats och sammanställts och i Figur 5 och Figur 6 visas portrycksfördelningen i 4 av stationerna för två olika datum som skall representera situationer med höga respektive låga portryck.

- För de höga värdena kan det ses att grundvattenytan ligger nära markytan i stationerna Platå och Krön. Närmast Göta Älv (nivå ca +7 m) är grundvattenytan troligen på samma nivå som älven. För alla stationer förutom Krön är portryckfördelningen hydrostatisk i de översta metrarna av lera (under torrskorpan).
- För datum med låga portryck ligger grundvattennivån ca 2 meter under markytan men portrycksfördelningen är även här i stort sett hydrostatisk med djupet under torrskorpan.



Figur 5. Portrycksprofil för slänten i Äsperöd, datum som representerar höga värden. OBS! olika skala på x- och y-axeln. Portrycksmätarna i stationen längst bak samt på stora djup i station Krön ligger utanför figuren. De streckade linjerna representerar hydrostatiskt portryck.



Figur 6. Portrycksprofil för slänten i Äsperöd, datum som representerar låga värden. OBS! olika skala på x- och y-axeln. Portrycksmätarna i stationen längst bak samt på stora djup i station Krön ligger utanför figuren. De streckade linjerna representerar hydrostatiskt portryck.

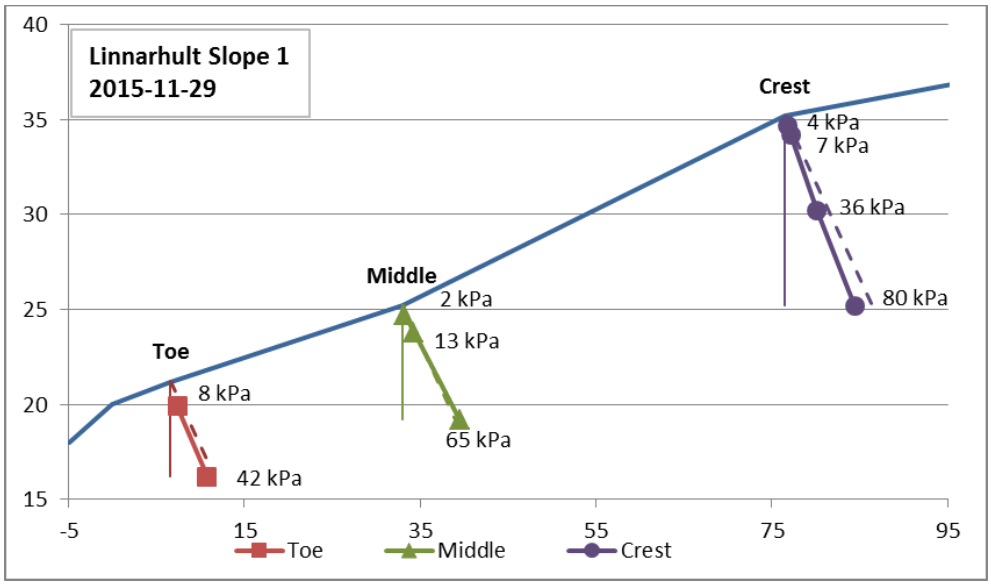
3.2 Linnarhult

Mätserien i Linnarhult är inte lika lång som i Äsperöd och under vissa perioder saknas mätvärden. Lärjeån är ej reglerad och nivån i den mäts inte regelbundet. Försök till mätning av nivån har gjorts inom detta projekt och en variation på nästan 3 meter mellan högsta och lägsta värdet uppmättes under 2015. Uppgifter om nederbörd i området har tagits från Göteborgs kommun och från SMHI.

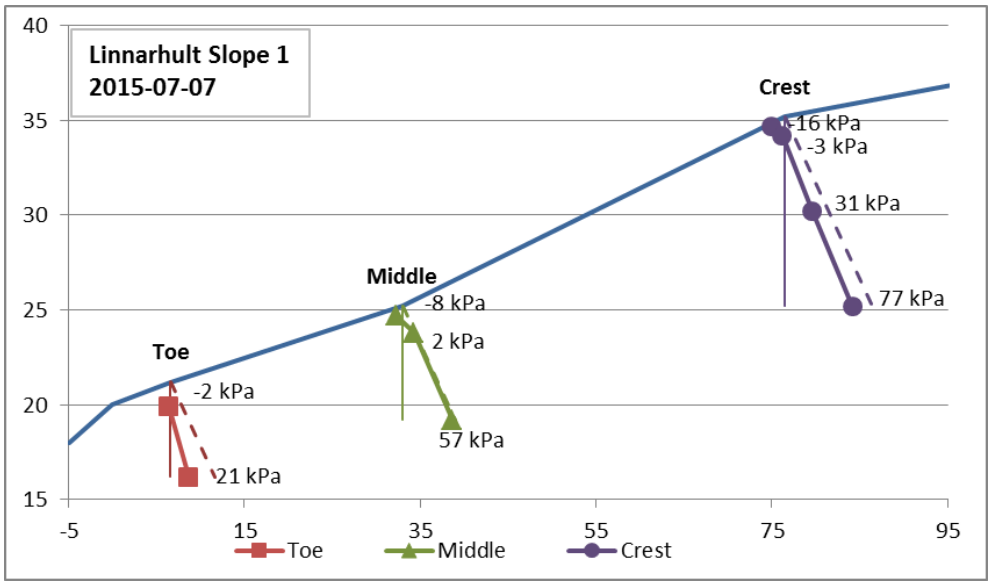
3.2.1 Portrycksfördelning Linnarhult slänt 1

I de tre stationerna i Linnarhult Slänt 1 har portrycksmätningarna utvärderats och sammanställts. I Figur 7 och Figur 8 visas portrycksfördelningen för stationerna för två olika datum som skall representera situationer med höga respektive låga portryck.

- För datumet med höga värden, 2015-11-29, kan ses att grundvattenytan ligger i eller strax under markytan i alla tre stationerna.
- För datumet med låga värden, 2015-07-07, är grundvattenytan dryga metern under markytan.
- För båda datumen ser portrycksfördelningen mot djupet ut att vara i stort sett hydrostatisk, undantaget de ytligaste mätarna vid låga portryck samt vid släntkrön vid höga värden.



Figur 7. Portrycksprofil för Slänt 1, Linnarhult, datum som representerar höga värden. OBS! olika skala på x- och y-axeln. De streckade linjerna representerar hydrostatiskt portryck.



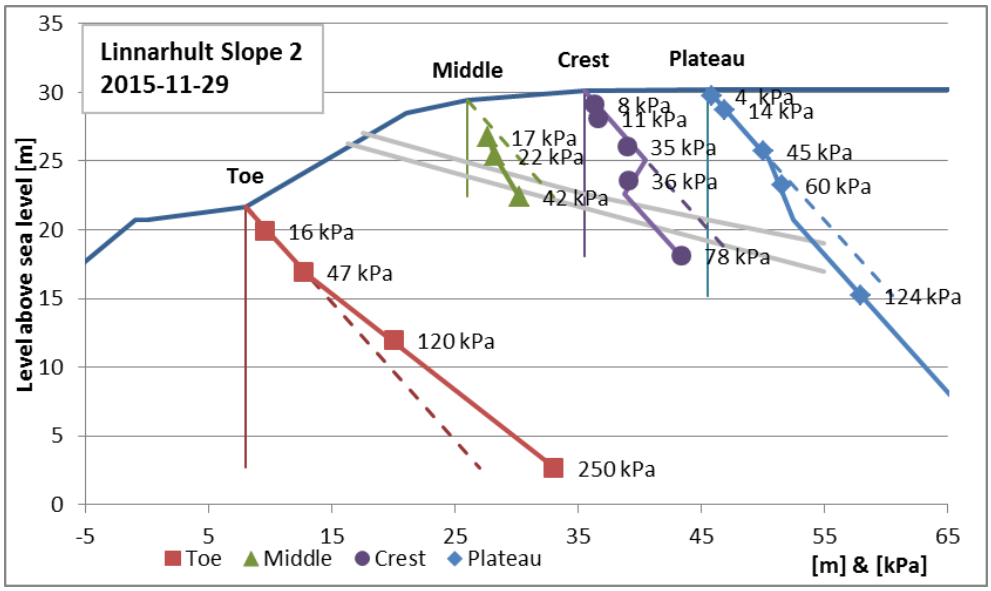
Figur 8. Portrycksprofil för Slänt 1, Linnarhult, datum som representerar låga värden. OBS! olika skala på x- och y-axeln. De streckade linjerna representerar hydrostatiskt portryck.

3.2.2 Portrycksfördelning Linnahult Slänt 2

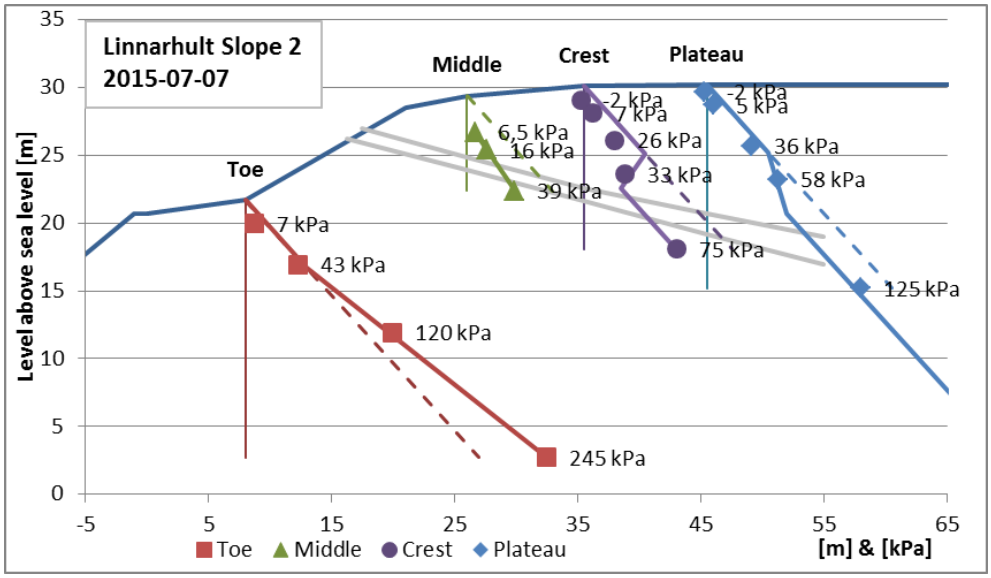
I Linnarhult Slänt 2 har portrycksmätningarna i de fyra stationerna utvärderats och sammanställts. I Figur 9 och Figur 10 visas portrycksfördelningen för stationerna för två olika datum som skall representera situationer med höga respektive låga portryck, samma datum är använda för Slänt 2 som för Slänt 1.

- För datumet med höga värden, 2015-11-29, ses att grundvattenytan ligger i eller strax under markytan i alla stationerna. Lagret med sand som finns i denna sektion påverkar portrycksfördelningen både över och under lagret. Eftersom sanden är mer permeabel (genomsläpplig) än leran kan trycket ändras fortare där. Portycksfördelningen de översta 5 metrarna under markytan är hydrostatisk för alla stationer utom station Mitt som har ett lägre tryck än hydrostatiskt mot djupet. Under 5 meters djup i stationerna Krön och Platå sker en avsänkning av portrycket på grund av det permeabla sandlagret. Under sandlagret återfinns återigen en hydrostatisk portrycksfördelning. Stationen i släntfot påverkas ej av sandlagret och har en något annorlunda profil än övriga stationer på djup större än 5 meter.

- För datumet med låga värden, 2015-07-07, ligger grundvattenytan ca 1 meter under markytan i stationerna Krön och Platå. I station Mitt ligger grundvattenytan på ca 2.5 meters djup under markytan. Förutom grundvattenytans placering är portrycksfördelningen mot djupet i övrigt snarlik den för höga värden.



Figur 9. Portrycksprofil för Slänt 2, Linnarhult, datum som representerar höga värden. OBS! olika skala på x- och y-axeln. De streckade linjerna representerar hydrostatiskt portryck.



Figur 10. Portrycksprofil för Slänt 2, Linnarhult, datum som representerar låga värden. OBS! olika skala på x- och y-axeln. De streckade linjerna representerar hydrostatiskt portryck.

4. Simuleringar

Portryckssituationen i en slänt är en viktig del när stabiliteten skall beräknas. Det är också kopplat till framtida klimatförändringar och hur sluttstabiliteten förändras till följd av kraftig nederbörd. För att kunna förutse framtida portryckssscenarion skulle det därför vara behjälpligt med simuleringar av portrycket som enkelt kan anpassas till den aktuella platsen och situationen.

Tre typer av prognoser av portryck, Typ A, B och C har tagits fram inom projektet. De skiljer sig åt genom den mängd information som finns tillgänglig vid portryckssimuleringens start.

- **Typ A** innebär att den information som finns om jordmaterialet är så omfattande att inga portrycksmätningar behövs för att kunna göra en simulering av portryckssituationen.
- Det är dock sällan informationsmängden är så omfattande att Typ A kan göras med ett tillförlitligt resultat utan det behöver kompletteras med ett antal portrycksmätningar och kallas då **Typ B**.
- När inte heller informationen i en Typ B prognos räcker för att resultatet skall blir tillförlitligt görs en **Typ C** som i stort sett använder uppmätta portryck och jordparametrar för en situation för att simulera värdena mellan de kända punkterna. Det blir alltså ingen ny simulering av en helt annorlunda situation så som var önskvärt att kunna göra för framtida scenarion.

Inom projektet har även simuleringar med programvaran SEEP/W gjorts, dels för en fiktiv typslänt och dels för slänten i Äsperöd. Målet med simuleringarna var att kunna förutspå portrycken i slänten utifrån olika förutsättningar (så som nederbördsmängd etc.). Dessvärre gav inte simuleringarna det resultat som önskades, speciellt inte i den övre delen av jordprofilen. En slutsats är att SEEP/W kan användas för att öka kunskaperna om de hydrauliska förhållandena i slänten utifrån en given indata. Men att kunna förutspå portrycken i hela slänten med gott resultat, baserat på portrycksmätningar i ett fåtal punkter och laboratorieundersökningar, är ej möjligt. Istället rekommenderas följande procedur för att förutspå portrycken i de översta 10 metrarna i en lerprofil:

1. Anta att portrycket är hydrostatiskt från markytan och ner till 5 meters djup.
2. Värsta fallet för grundvattenytan är när den sammanfaller med markytan. Men om slänten är brant eller om portryckmätningar under regniga perioder indikerar att grundvattenytan ligger djupare än markytan så utgå ifrån den nivån istället.
3. Gör ett antagande av det maximala grundvattentrycket i friktionslagret under leran, se t.ex. Skredkommissionen rapport 3:95.

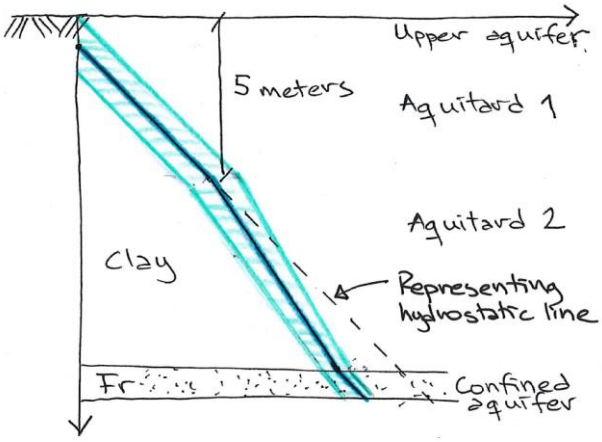
4. Skissa ett flödesnät för lerslänten, antag konstant permeabilitet för all lera djupare än 5 meter under markytan. Här kan en programvara, som exempelvis SEEP/W vara till hjälp.
5. Baserat på flödesnätet tas portycksprofiler fram för ett antal punkter/ stationer att använda i stabilitetsanalysen.
6. Om det är uppenbart, från exempelvis utförda geotekniska undersökningar, att jordprofilen innehåller lager med olika permeabilitet, justera flödesnätet efter det.

5. Slutsatser och rekommendationer

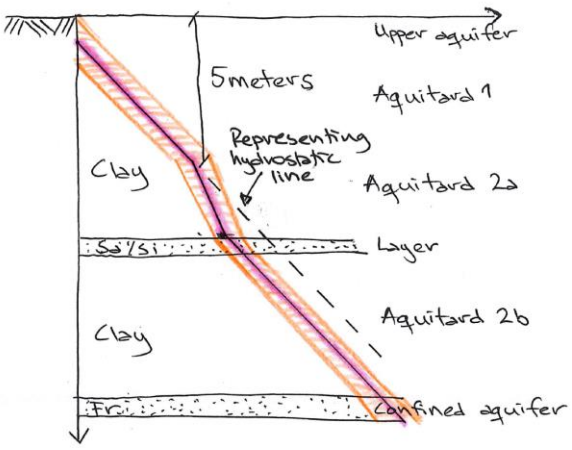
Baserat på resultat från föreliggande projekt och tidigare kunskaper kan portrycket i de flesta fall kan anses vara hydrostatiskt till 5 meters djup under markytan för slänter i lera med egenskaper som är normala i västra Sverige. För slänter där lager av andra material än lera förekommer behöver hänsyn tas till detta. Generella bilder för hur portrycksföredelningen mot djupet ser ut för två typer av lerprofiler presenteras nedan. Förslag till hur man kan beskriva portrycksfördelning under vattendrag och sjöar samt vid strandkanten har också tagits fram. Generellt är portrycken även här hydrostatiska till 5 meters djup men justeringar behöver göras efter den lokala geometrin och geologin. Slutligen ges förslag på framtida forskning, vars resultat kan komplettera det som nu framkommit och även validera resultatet för fler delar av landet.

5.1 Två typiska portrycksprofiler

Mätningar utförda inom detta projekt, samt insamlat material från andra studier (t.ex. Berntson 1983) indikerar att en typisk portrycksprofil i lera kan antas bestå av överst torrskorpa (övre, öppen akvifär), följt av lera (akvitard 1) med hydrostatiskt portryck. Tillsammans är dessa delar ca 5 meter tjocka. Sedan följer en tätare lera (akvitard 2), ett lager med grövre material som sand eller morän och underst berg, se Figur 11. I de fall det finns lager av till exempel sand i leran ser det istället ut som i Figur 12, där sandlagret bryter av i akvitard 2. Portrycket är alltså enligt detta hydrostatiskt de översta 5 metrarna av profilen samt i de lager av grövre material som finns under leran och i vissa fall inbäddat i leran.



Figur 11. Typisk portrycksprofil och variation i lera utan lager. Vattentrycket i friktionsmaterialet i botten är här lägre än hydrostatiskt från grundvattenytan i leran. Tryckfördelningen blir därför lägre än hydrostatiskt i akvitard 2.

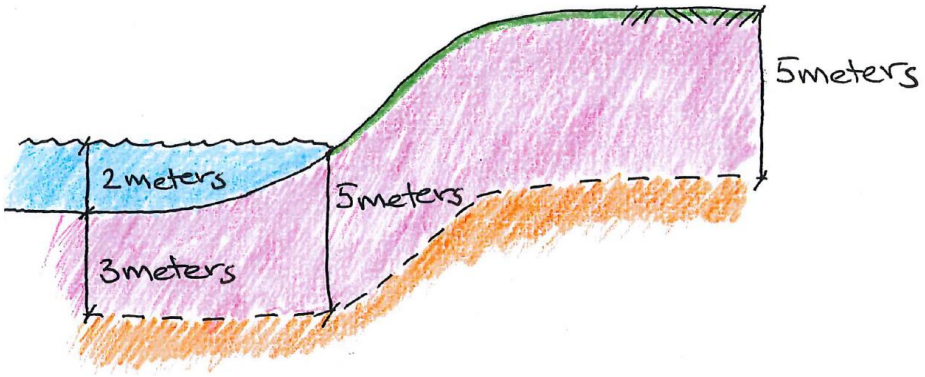


Figur 12. Typisk portrycksprofil och variation i lera med lager av grövre material (t.ex. sand).

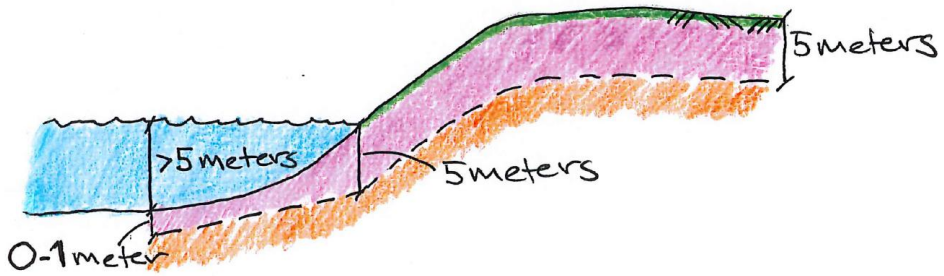
Generellt kan man alltså säga att portrycken i de översta 5 metrarna under markytan har ett hydrostatiskt portryck och där under är portrycken påverkade av de förhållanden som råder i ytterkanterna (randvillkor). Detta gäller främst för områden med relativt horisontell markyta. Kring släntkrön etc. kan det se något annorlunda ut på grund av att det där sker påverkan från flera håll (3D-effekter). Det är viktigt att ta hänsyn till de förhållanden och geometri som råder på den aktuella platsen när en portrycksprofil tas fram.

5.2 Förhållanden under vattendrag och sjöar

De mätningar som är utförda i Äsperöd och Linnarhult visar att portrycken är hydrostatiska till ca 5 meter djup även vid strandkanten. Det är dock inte känt om denna hydrostatiska zon även finns under vattendraget eller sjön. Ett rimligt antagande är att den hydrostatiska zonen fortsätter på samma nivå under vattendraget som vid strandkanten, se Figur 13. Om vattendraget är djupare än 5 meter görs istället antaganden som i Figur 14 där den hydrostatiska zonen är mindre, ca 1 meter under botten på vattendraget och en linje dras som möter den hydrostatiska zonen vid strandkanten. I båda fallen kan portrycken under den hydrostatiska zonen antas vara jämt fördelade i resten av lerprofilen på grund av de homogena förhållanden som råder i de flesta svenska leror. Undantag görs dock i de fall det finns lager av grövre jord (friktionsmaterial) i leran.



Figur 13. Exempel med vattendjup mindre än 5 meter. Den hydrostatiska zonen (lila) sträcker sig nertill 5 meter under markytan och 3 meter under vattenytan (vid vattendjup 2 meter).



Figur 14. Exempel med vattendjup >5 meter. Den hydrostatiska zonen (lila) sträcker sig nertill 5 meter under markytan och 0–1 meter under botten av vattendraget.

5.3 Förslag på fortsatta undersökningar

- Långtidsmätningar av portryck på liknande sätt som inom detta projekt men i andra delar av Sverige för att bekräfta att de rekommendationer som getts här angående portycksmätningar och dimensionerande portryck är giltiga även utanför Göteborgsregionen. Alternativt att dessa nya mätningar kan leda fram till andra rekommendationer för dessa områden.
- Utföra mätningar av portrycket i leran under vattendrag och sjöar för att öka kunskapen om egenskaperna där och bekräfta (eller förkasta) de antaganden och slutsatser som gjorts i detta projekt.

6. Tips på ytterligare läsning

Blomén, H. (2017). *Pore pressure response in the uppermost part of a clay soil slope- Two case studies in the Gothenburg region*. Licentiate thesis. Chalmers University of Technology. Gothenburg, Sweden.

Blomén, H. (2016). *Pore pressure response in the upper open aquifer - Field investigations and modelling*. Nordic Geotechnical Meeting, May 25-28 2016, Reykjavik, Iceland.

Berntson, J.A., 1983. *Pore pressure variations in clay soil in the Gothenburg region* (in Swedish), Licentiate thesis. Chalmers University of Technology. Gothenburg, Sweden.

Implementeringskommission för Europastandarder inom Geoteknik (IEG). (2010). *Tillståndsbedömning/ klassificering av naturliga slänter och slänter med befintlig bebyggelse och anläggningar* (in Swedish). Rapport 4:2010. Implementeringskommission för Europastandarder inom Geoteknik (IEG). Stockholm, Sweden.

Persson, H., 2008. *Estimation of pore pressure levels in slope stability calculations: Analyses and modelling of groundwater level fluctuations in confined aquifers along the Swedish west coast*, Licentiate thesis. Chalmers University of Technology. Gothenburg, Sweden.

Skredkommissionen. (1995). *Anvisningar för släntstabilitetsutredningar* (in Swedish). Rapport 3:95. Skredkommissionen. Linköping, Sweden.

Myndigheten för samhällsskydd och beredskap
651 81 Karlstad Tel 0771-240 240 www.msb.se
Publ.nr MSB1119 - augusti 2017 ISBN 978-91-7383-761-3