BIG – Branschsamverkan i grunden

Forskningsprogram för effektiv och säker grundläggning av vägar och järnvägar

Projekt A2014:07

Grundvattensänkning i morän

KTH VETENSKAP OCH KONST

CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

TRAFIKVERKET

SGI

LULEÅ TEKNISKA UNIVERSITET

BIG – Branschsamverkan i grunden

Forskningsprogram för effektiv och säker grundläggning av vägar och järnvägar

Rapport BIG projekt A2014:07

Grundvattensänkning i morän

LULEÅ TEKNISKA UNIVERSITET

Framtagen inom ramen för BIG av Luleå Tekniska Universitet

Luleå 2015

BIG projekt Rapport Branschsamverkan i grunden

Beställning Web: www.big-geo.se

Upplaga Digital

Förord

Denna rapport är ett första steg i en översyn av krav och anvisningar för grundvattenavsänkning i framförallt morän. Idag är kopplingen svag mellan de undersökningar som utförs i projekteringsskedet, de åtgärder och krav som anges i förfrågningsunderlaget och faktiskt utförande. Det förefaller som om åtgärderna som vidtas för att sänka grundvattenytan under schaktbotten har minskat över tiden utan att kunskapsläget kring detta har förändrats. Denna rapport innehåller en problembeskrivning och en sammanfattning av metoder för grundvattenavsänkning som finns tillgängliga idag.

Denna rapport har finansierats av Trafikverket genom forsknings- och utvecklingsprogrammet Byggande I Grunden (BIG). Trafikverkets representant i projektet har varit Gunnar Zweifel.

Tommy Edeskär
Jonas Strand
Luleå 2015-06-26

Sammanfattning

Det är vanligt att utförandet av grundvattenavsänkningar i moräner vid grundläggning av bro under torra förhållanden skiljer sig från beskrivningen i bygghandlingen. Det beror på att angivna metoder ofta inte är genomförbara i praktiken. Det innebär att utfallet från projekteringen inte är det önskade. Hur entreprenörerna beaktar projekteringsunderlaget i anbudet har stor inverkan på anbudsumman och därmed tilldelning. Avstegen från bygghandlingen resulterar i stora belopp för ändringar och tillägg under byggandet.

Det finns metoder som används idag i stor utsträckning som inte är beskrivna som visat sig fungera relativt väl i praktiken som etappvis zonschakt med återfyll. Det är dock inte utrett under vilka förutsättningar som för vilka moräner, relativa skillnader i vattentryck och tids för utförandemomentet, metoden fungerar.

Det bör övervägas att formulera funktionskrav till grundvattenavsänkning istället för strikta krav på grundvattennivåer i relation till schaktbotten eftersom det skulle rikta fokus mot syftet med kraven. Det skulle verka som stöd för både projektören, som behöver ta fram ett underlag för att säkerställa funktionen, och för entreprenören om avsteg från bygghandlingen av byggtekniska skäl.

Det bör arbetas fram en revidering och komplettering av anvisningar för grundvattenavsänkning inom branschen som inkluderar blandkorniga jordar som moräner, täcker de metoder som används idag, berör projektering och analys av grundvattensänkning och funktionskrav för utförande. Trafikverket bör överväga att inkludera dessa krav i sina tekniska styrdokument.

Innehåll

FÖRORD I

SAMMANFATTNING II

INNEHÅLL III

1 INLEDNING 1

1.1 Problembeskrivning 1
1.2 Syfte och mål 2
1.3 Avgränsningar 2

2 METODER FÖR GRUNDVATTENAVSÄNKNING 2

2.1 Länshållning från schaktbotten 4
2.2 Förhindrande av vattenflöde, avskärmning 5
2.3 Pumpning med djupa filterbrunnar 5
2.4 Wellpoints 6
2.5 Ejektorsystem 7
2.6 Elektroosmos 8
2.7 Schaktning under vatten 8

3 GRUNDVATTEN I BYGGHANDLINGEN 8

4 GRUNDVATTENHANTERING I MORÄN 8

5 METODER VID UTFÖRANDE 10

6 PROJEKTERINGSUNDERLAG 12

6.1 Omfattning av projekteringsunderlag 12
6.2 Undersökningsmetoder 13
6.2.1 Inledning 13
6.2.2 Geofysiska metoder 13
6.2.3 Provpumpning 14
6.2.4 Piezometerförsök (slug- och bail-test) 14
6.3 Indirekta metoder 14
6.3.1 Jordartsklassificering 14
6.3.2 Permabilitetsförsök 14

7 DISKUSSION 15

7.1 Problembeskrivning 15
7.2 Grundvattenavsänkning i morän 15
7.3 Avsteg från bygghandling 15
7.4 Projekteringsaspekter 16
7.5 Funktionskrav 16

8 FORTSATT ARBETE 17

9 LITTERATURFÖRTECKNING 18

BILAGA A ANALYS AV ZONVIS SCHAKT OCH ÅTERFYLLNING 20

1 Inledning

1.1 Problembeskrivning

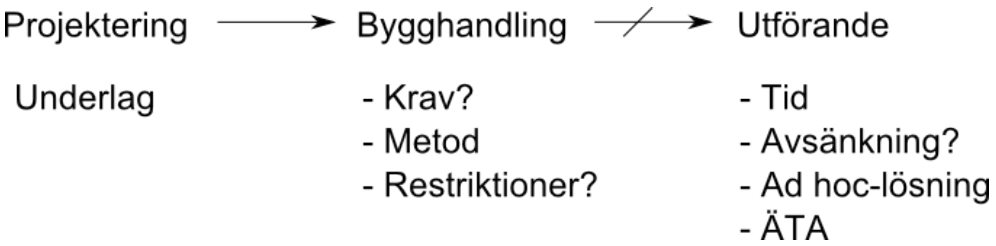
Vid utförande av brogrundläggningen kommer schaktarbetet ofta i kontakt med grundvatten. När schaktning för brostöden utförs ska grundvattnet hanteras så att arbetet kan ske säkert och att bärigheten i jorden bibehålls. Hur detta ska hanteras beror på platsens förhållanden samt jordens och grundvattnets egenskaper. Trafikverket upplever att kraven som finns för grundvattensänkning/-hantering i bygghandlingen många gånger frångås vid utförandet.

I (Strand, 2013) framkom att detta är ett problem som ofta uppkommer när arbetet sker i moränjordar där det nästan uteslutande anges att grundvattnet ska hanteras enligt CBB.51 i AMA (Svensk byggtjänst, 2010), som har ett krav att schakten antingen ska ske i torrhet och att grundvattnet då ska sänkas 0,5 m under schaktbotten eller under grundvattenytan. I vissa fall kan det vara angivet att exempelvis pumpbrunnar ska användas men även fall där försök till dimensionering av grundvattensänkning skett upplevs att det inte uppfyller verkligheten. Det framkom också att inte bara Trafikverket upplevt detta problem utan uppfattningen delas av intervjuade konsulter och entreprenörer. Avstegen från bygghandlingen skapar ofta onödiga diskussioner, tidsförskjutningar och ibland kan de ge betydande ekonomisk effekter. En frångång från bygghandlingen orsakar också att någon måste ta på sig en risk och diskussioner om vem som ska ta på sig den.

Anledningarna till avstegen från bygghandlingen varierar enligt det som framkom i (Strand, 2013). Det kan vara fall där angivna metoden inte är rimlig, där det är för lite tid för metoden ska gå att använda, att jorden varit för tät, att metoden inte blivit rätt utförd, att en tät moräns egenskaper gör att kraven inte är rimliga eller att entreprenörerna använt andra lösningar som av tidigare erfarenhet möjliggör grundläggningen.

Ytterligare anledningar till frångångarna från bygghandlingen kan vara att det finns en omedvetenhet/okunskap om att problemet ofta uppkommer för grundvattensänkning/-hanteringen. De som tar fram bygghandlingen och anger kravet på sänkning 0,5 m är kanske inte lika medvetna om problemet, exempelvis för att de inte får den erfarenhetsåterföringen. Ytterligare problem är att det finns de som inte är medveten om risker eller metoder som finns i området kring grundvattnet och dess hantering, de hamnar i att de gör som de alltid har gjort.

Problemet med att handlingarna inte följs behöver nödvändigtvis inte bero enbart på utförande skedet. Det kan även härröras till projekteringsskedet, se figur 1. Frågan är om rätt undersökningar och rätt omfattning av dessa görs under projekteringsskedet för att kunna beskriva krav, metod och restriktion på ett sådant sätt att åtgärden kan bli kalkylerbar.



Figur 1 Sammanfattning av problembeskrivning. Kedjan projektering – bygghandling – utförande fungerar dåligt i praktiken.

1.2 Syfte och mål

Syftet med projektet är att ta fram en vägledning för hur grundvattensänkning lämpligen utförs vid schakter i tät morän. Handledningen är tänkt som ett komplement till skriften ”Länshållning vid schaktningsarbeten”(SBEF, Vägforskningsgruppen, 1985) och behandlar stegen projektering, bygghandling (AMA) och utförande. Vidare syftar projektet att föreslå förändringar till formuleringar i AMA angående grundvattenavsänkning i tät morän.

Målet med rapporten är att:

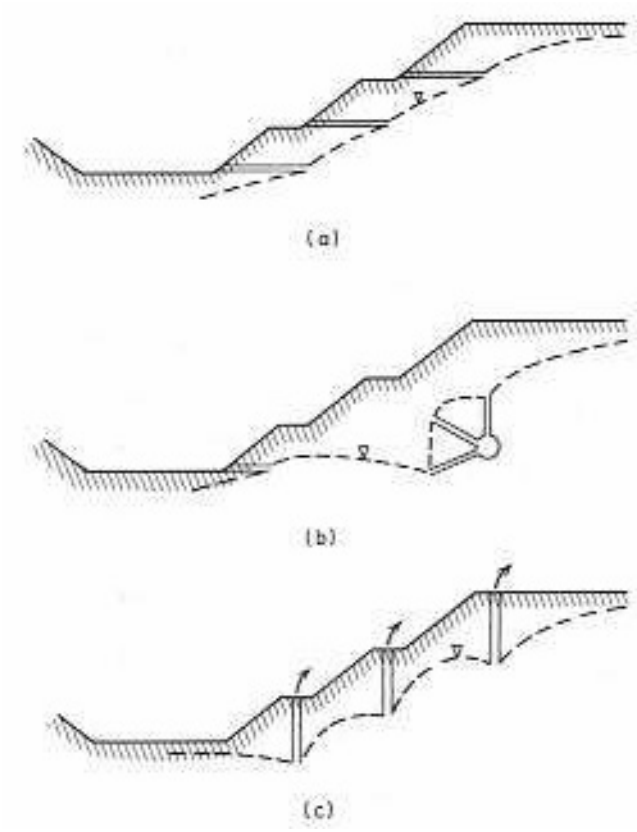
- Beskriva problemet med grundvattensänkning i morän ur ett beställarperspektiv
- Redogöra för grundvattenavsänkningsmetoder som finns tillgängliga och som används
- Diskutera hur ska grundvattenavsänkning formuleras vid kontraktskrivning.
- Föreslå åtgärder för att lösa de problem som finns vid grundvattenavsänkning i morän för grundläggning av bro.

1.3 Avgränsningar

I projektet studeras grundvattenavsänkning för grundläggning av bro under torra förhållanden. Antaget avsänkningsdjup är 0,5 m under schaktbotten. Jordarter som behandlas i denna studie är moräner. Av speciellt intresse är siltiga moräner.

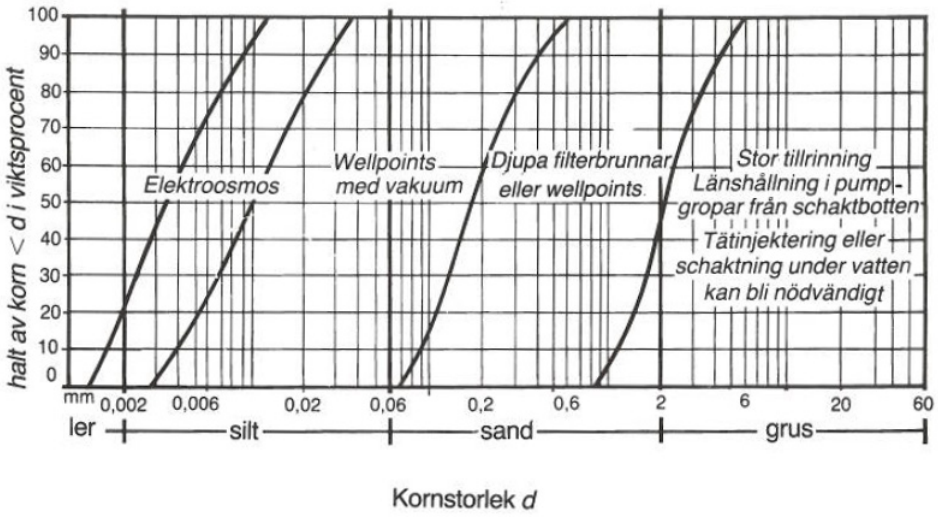
2 Metoder för grundvattenavsänkning

Då schaktarbeten ska utföras under grundvattennivån finns olika metoder och tillvägagångssätt att ta till. Det kan sänkas innan arbetet påbörjas, länshållas från schaktgropen under arbetets gång, skärmas av eller att schaktning sker under vatten. Sänkning av nivån innan man schaktar kan utföras med exempelvis pumpbrunnar, Wellpoints och elektroosmos, att hantera grundvattnet under schaktarbetet gång kan utföras med exempelvis diken och pumpgropar ibland som zonschakt med direkt återfyllning, avskärmning kan utföras med exempelvis en tät spont. Exempel på tillvägagångssätt visas i figur 2.

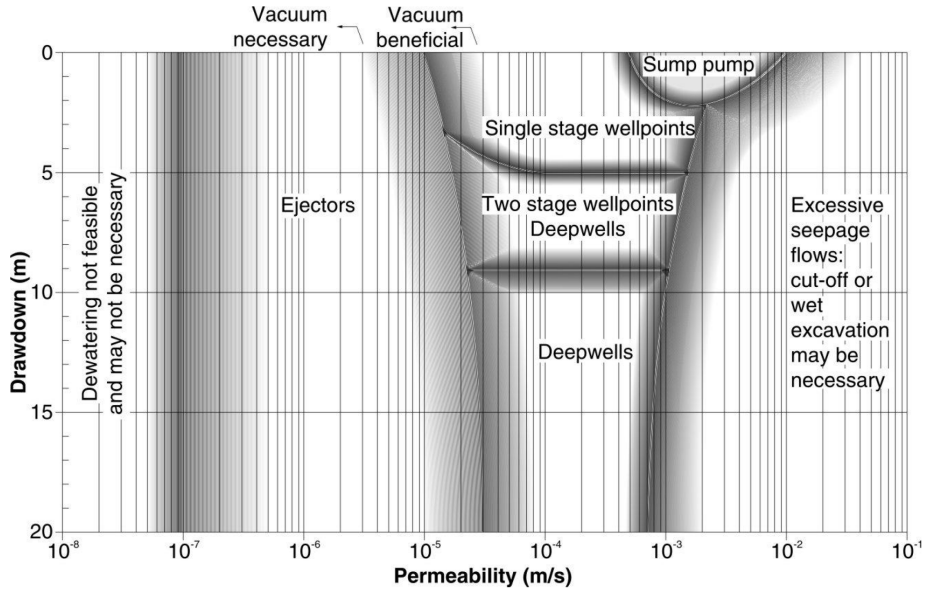


Figur 2. Exempel på utformning av grundvattenavsänkning vid schakter (Freeze & Cherry, 1979) genom (a) horisontell dränering; (b) galleri med radiella dräneringshål; (c) tre-stegs Wellpoint system.

Vilket tillvägagångssätt som ska användas styrs av områdets och projektets förhållanden och förutsättningar. I figur 3 nedan ses ett exempel på vilken grundvattenhanteringsmetod som kan vara lämplig att använda sett till kornfördelning enligt SBEF(Vägforskningsgruppen, 2009). I (Preene, 2012) beskrivs ejektorsystem som ytterligare en metod för att hantera grundvatten, främst för sänkning av portryck i lågpermeabla jordar. Ejektorbrunnars användningsområde som funktion av hydraulisk konduktivitet (permeabilitet) och avsänkningsdjup redovisas i figur 4 tillsammans med andra metoder.



Figur 3. Användningsområde för grundvattenhanteringsmetoder (Svenska byggnadsentreprenörsföreningen , 2009) .



Figur 4. Användningsområde för ejektorbrunnar och andra metoder enligt (Preene, 2012)

2.1 Länshållning från schaktbotten

Ett sätt att hantera tillrinnande vatten och grundvattnet vid schaktning är att pumpa det direkt från schaktbotten eller från grunda pumpgropar/grunda pumpbrunnar. Diken eller dräneringsrör går att använda för att leda vattnet till pumparna eller varianter där man gör en lutande schaktbotten så att vattnet rinner mot pumpgropen. Vid fall där det finns risk för uppluckring/hydrauliska grundbrott kan metoden utföras så att mindre ytor schaktas åt gången och att man fyller på med mothållande material, se figur 5. Det ska utföras så att det mothållande materialet även fungerar som ett skyddsfilter för att förhindra att grundbrottet sprids djupare. Ett sådant filter kan exempelvis bestå av en geotextil som materialskiljande lager med grus-eller makadamfyllning ovanpå. (Hansbo & Möller, 1975) (von Brömsen, Carlstedt, Ejdeling, Gustafson, & Hansbo, 1984) (Powers, Corwin, Schmall, & Kaeck, 2007).



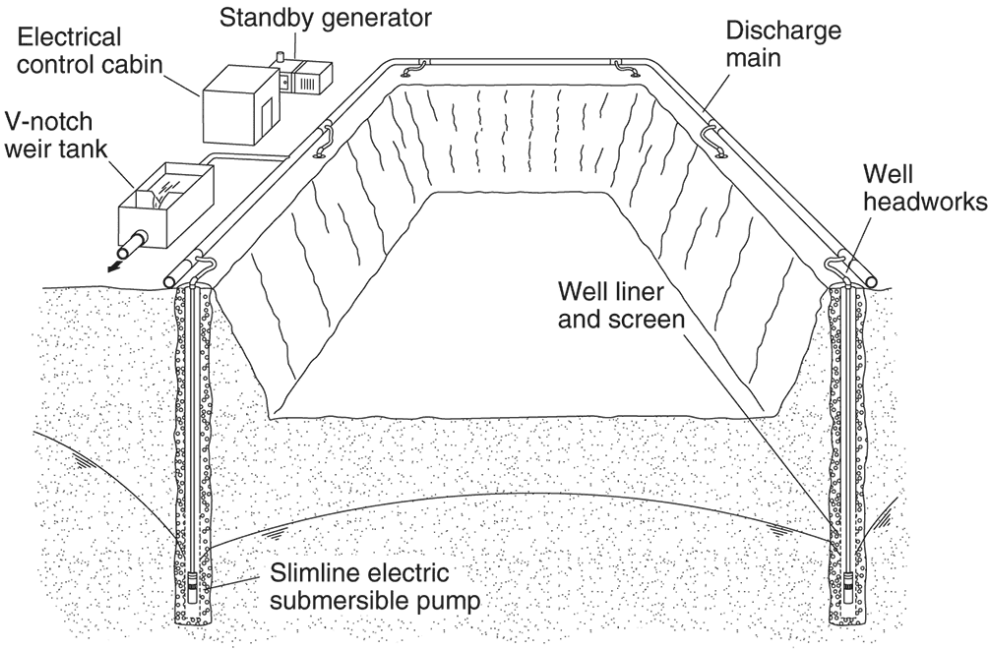
Figur 5. Etappvis schakt med återfyllning. Geotextil används som materialavskiljande lager. Bild från Gunnar Zweifel.

2.2 Förhindrande av vattenflöde, avskärmning

Genom att skapa tätskärmar runt och nedanför schakten förlänger man strömningsvägarna och därigenom sänks vattentrycket/portrycket mot schaktbotten. Dessa tätskärmar kan utgöras av exempelvis tät spont, injektering eller frysning. Syftet är att skapa en tät ”vägg” som vattnet ej tar sig genom. Dessa tätskärmar fungerar även som jordstabilisering för schaktväggarna. Denna metod kan exempelvis användas då vatteninströmningen är så stor att pumpar ej hinner hålla läns eller då man vill undvika att vattenytan utanför schakten påverkas för mycket. (Svenska byggnadsentreprenörsföreningen , 2009)

2.3 Pumpning med djupa filterbrunnar

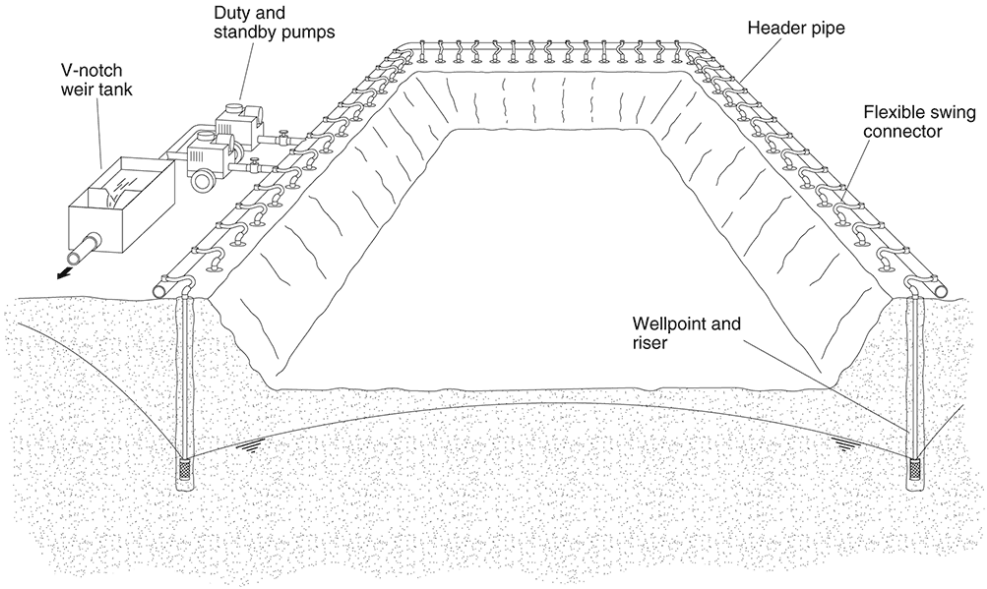
En metod som kan användas för att sänka vattnet innan man schaktar är djupa filterbrunnar, även kallat rörbrunnar. För denna metod finns i huvudsak två principer på funktionen; gravitationsmetoden och vakuummetoden. Med gravitationsmetoden låter man vattnet rinna till brunnarna av egen kraft och med vakuummetoden skapas ett sug för att dra vattnet till brunnen. Dessa brunnar installeras i rader längs schaktslänten, se figur 6, där avståndet mellan brunnarna bland annat styrs av schaktens storlek, brunnarnas djup, jordens hydrauliska egenskaper och nödvändig avsänkning. Installationen kan utföras genom att de grävs ner, borras ner eller spolas ner likt den metod som kan används för Wellpoints. För dessa filterbrunnar finns det rör med färdiga filter att använda eller så kan enklare lösningar där filter utförs genom att rören blir perforerade eller slitsförsedda. Filtervalet styrs av omkringliggande jord, den ska filterar så att material inte transporteras ur marken eller så att filteret sätts igen. (Hansbo & Möller, 1975), (Svenska byggnadsentreprenörsföreningen , 2009) och (Powers, Corwin, Schmall, & Kaeck, 2007)



Figur 6. Principbild för installation av djupa pumpbrunnar (Preene, 2012).

2.4 Wellpoints

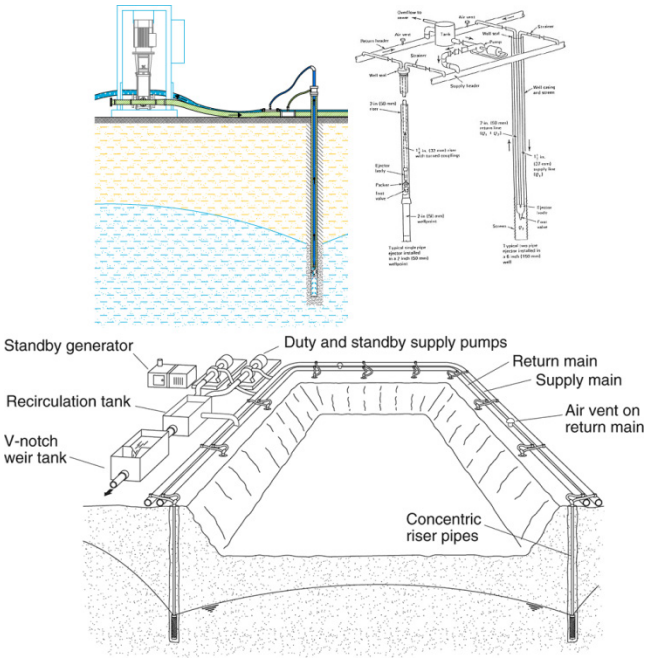
Likt filterbrunnar används även Wellpoints för att sänka vattnet i förväg. Den utförs genom att flera Wellpoints (sugbrunnar/sugfilter) installeras och sammankopplas till en sugpump, se figur 7. De utgörs av relativt klena rör (omkring 50-75 mm) försedda med sugfilter längst ner, vanligen filter med en längd 0,3-1,0m, som installerar längs kanten för schakten. De placeras på grundare djup och tätare jämfört med djupa filterbrunnar. I likhet med djupa filterbrunnar finns det för Wellpoints i huvudsak av två principer för funktionen; tyngdkraftsmetoden eller vakuummetoden. Vakuummetoden är den som används i tätare jordar där större kraft behövs för att flytta vattnet till brunnen. Wellpoints kan installeras genom att spola ner rören eller genom att förborra hål som de installeras i. Om det behövs sand eller grus runt Wellpoint filtret eller markförhållandet på annat sätt kräver det kan de installeras med foderrör som antingen spolats eller borrats ner. (Bell, 1987); (Svenska byggnadsentreprenörsföreningen , 2009) och (von Brömsen, Carlstedt, Ejdeling, Gustafson, & Hansbo, 1984).



Figur 7. Principuppställning för Wellpoints enligt (Preene, 2012).

2.5 Ejektorsystem

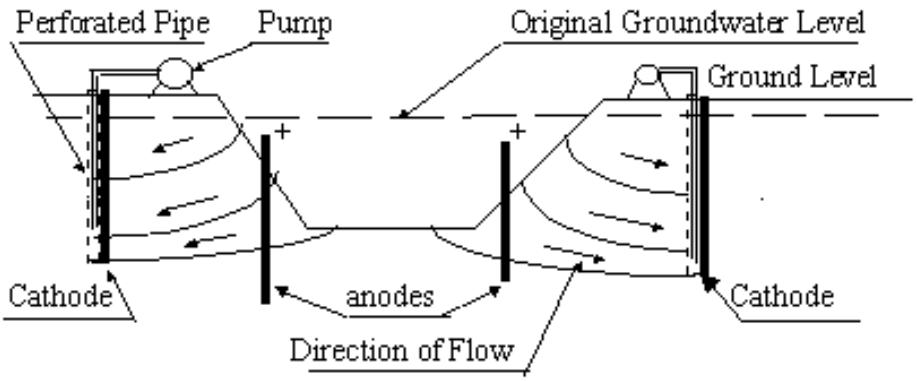
Ejektorsystem är en metod som är till för att reducera portrycket i lågpermeabla jordar med stort innehåll av silt eller lera. Systemet består av rader av brunnar/rör där varje brunn pumpas med en jetpump. Ejektorsystemen installeras normalt i brunnar som normalt installerats på samma sätt som djupa filterbrunnar. Ejektorsystemet fungerar på så sätt att ett undertryck skapas i botten genom att vatten spolas genom ett munstycke i hög hastighet nere i ejektorbrunnen och sen tillbaka upp till ytan och därigenom skapar ett vakuum i brunnen, se figur 8. För att utföra detta kan man använda sig av antingen enkel eller dubbelrör. Detta är ett energikrävande system som normalt används då andra metoder inte är möjliga på grund av låg permeabilitet eller i fall där det är stora djup.



Figur 8. principskiss för ejektorsystem (WJ Groundwater, 2015) (Project Dewatering Ltd, 2015). Vatten pumpas ned och cirkuleras under högt tryck för att skapa ett undertryck för avsänkning.

2.6 Elektroosmos

Detta är en metod som kan användas i täta lerjordar. Den går ut på att man med hjälp av elektriska potentialskillnader skapar en jonvandring mellan en anod och en katod vilket gör att man får en vattenströmning, se figur 9. Anoderna utgörs av nedstuckna järnstänger och katoden av ett perforerat järnrör eller annat filterrör där tillströmmande vatten kan pumpas upp. (Hansbo & Möller, 1975) och (Smoltczyk, 2003)



Figur 9. Principskiss för elektroosmos (El Nimr, 2015).

2.7 Schaktning under vatten

Om det är fall där det inte är ekonomiskt eller praktiskt genomförbart att sänka grundvattnet kan schaktningen utföras under vatten. Det är även en metod som kan användas där bottenupptryckning är en risk. Denna metod kan utföras i kombination med spont som förhindrar att gropen rasar igen. När schaktning utförts till önskat djup gjuts en bottenplatta som plugg på botten, tyngden av denna ska motsvara den lyftkraft grundvattnet har på grundläggningsnivån. Efter att bottenplattan är gjuten kan vattnet pumpas bort. (Svenska byggnadsentreprenörsföreningen , 2009)

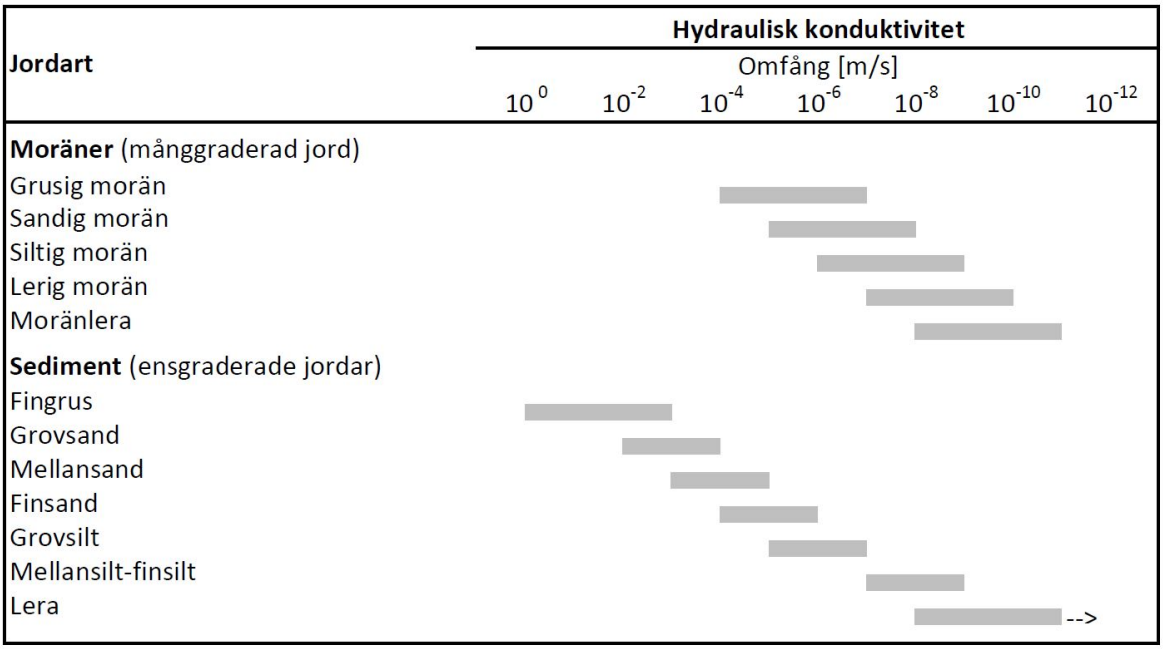
3 Grundvatten i bygghandlingen

Bygghandlingen för broar som grundläggs i morän förefaller i övervägande delar av fallen att innehålla samma information och anvisningar kring grundvattenhantering ges i de flesta fall i den geotekniska beskrivningen. I den ingår vanligen information kring grundvattennivåer, geotekniska förhållanden och jordlagerföljder. Som angivna riktlinjer för utförandet är det normalt kravet enligt CBB.51 i AMA som ges och i många fall att angivet pumpbrunnar ska användas, väldigt sällan utförligare beskrivna kring placering eller djup. I (Strand, 2013) framkom det att lämpliga metoder i många fall väljs rutinmässigt och att ingen extra översyn av grundvattenhanteringen görs om det är grundläggningar i morän. Fokus i bygghandlingen är främst på grundläggningen i de fallen. Till detta kan tilläggas att målgruppen i (Strand, 2013) utgjordes av personer som är verksamma i norra delarna i Sverige och där övervägande del av brogrundläggningar med grundvattenhantering hade skett i någon typ av morän.

4 Grundvattenhantering i morän

De metoder och rekommendationer som finns för grundvattenhantering ger intryck av att de är mest anpassade till engraderade jordar sett till beskrivningar och användningsintervall. Vilka metoder som är lämpliga att använda i moräner finns det flera uppfattningar om. En moränjord kan variera mycket i dess uppbyggnad och därigenom även i dess geohydro-

logiska egenskaper och därför är det troligt att även lämpliga grundvattenhanteringsmetoder varierar beroende på morän. I figur 10 kan typvärden för den hydrauliska konduktiviteten hos några vanliga jordarter ses. Sett till de riktlinjer för grundvattenhantering som finns i exempelvis (Svenska byggnadsentreprenörsföreningen , 2009) och (Hansbo & Möller, 1975), se figur 3, kan ses att metodförslagen är mer inriktade på renare sedimentjordar, en morän med dess blandade kornfördelning hamnar inte i ett tydligt ”metodintervall” utan sträcker sig över flera. De karakteristiska värden som anges på hydrauliska konduktiviteten för olika moräner kan ses att det är ungefär samma intervall som för en siltjord där sandig morän kan liknas med grov- till mellansilt och siltig morän med mellan- till finsilt.



Figur 10 Hydraulisk konduktivitet hos några vanliga jordarter, efter (Larsson, 2008)

I (Wramhed, 1971) anges att tyngdkraftsmetoden är en bra metod att använda i genomsläppliga jordar men inte om man har tätare material med en hydraulisk konduktivitet (K) från10^{-4} till 10^{-7} m/s. Även i (Preene, 2012) anges att vakuum behöver användas när hydrauliska konduktiviteten i en jord är lägre än omkring $5 \bullet 10^{-5}$ m/s (se även figur 3 och 4). Detta för att det i de finare materialen finns det en vidhäftning mellan vatten och jordmaterial som gör att vattnet inte längre strömmar fritt i marken, det finns en kapillärkraft som måste övervinnas för att vattnet ska strömma i marken och röra sig mot brunnarna. Denna kraft kan övervinnas genom att skapa ett vakuum i jorden exempelvis med hjälp av rör/brunnar med sugfilter, Wellpoint metoden. I (Preene, 2012)rekommenderar de ejektorsystem för jordar med en permeabilitet lägre än ungefär 10^{-5} m/s vilket är ett intervall där många moräner hamnar om man ser till de karakteristiska värden som idag finns på den hydrauliska konduktiviteten i olika moräner. Detta är dock en metod som inte är angiven i svensk litteratur. I (Svenska byggnadsentreprenörsföreningen , 2009) så finns det överslagsberäkningar som kan användas för att dimensionera brunnar och pumpinsats. Använder man sig av de ”typvärden” för hydrauliska konduktiviteten som finns för moräner i samma bok så ger även överslagsberäkningar att pumpbrunnar blir orimliga i tätare moräner, exempelvis har en 3 m djup brunn en inverkansradie på knapp 1 m i en sandig-eller siltig morän med $K = 10^{-8}$ m/s. Redan i en jord med hydraulisk konduktivitet på $K = 10^{-6}$ m/s till 10^{-7} m/s börjar pumpbrunnar bli orimliga att använda enligt dessa beräkningar. För dessa genomsläppligheter ger överslagsberäkning med 4 m djupa brunnar (4 m under gvy) att influensradien går från 12 m till 3,8 m. Detta ger en indikation på att pumpbrunnar är svåra att använda redan i sandiga moräner. Då den beräkningen syftar till att beräkna

influensradien i stationära förhållanden så är även beräkningsmodellen kanske något bristfällig för beräkning av brunnar i moräner där sänkningarna oftast ska vara tillfälliga. Ser man till detta och på typvärden för hydraulisk konduktivitet kan ses att grova moränjordar som grusmorän och grövre sandmoräner kan vara i intervallet för pumpbrunnar (tyngdkraftsmetoder) men att vakuummetoder bör användas i finare moräner. Vissa moräner är så täta att det i vissa fall inte är möjligt att sänka grundvattnet eller portrycket tillräckligt även med vakuummetoder. I (Preene, 2012) framkommer det att kan vara svårt att sänka vattennivåerna i en lågpermeabel jord. Däremot inte sagt att det är säkert att schakta i den trotts att lite eller inget vatten kommer in då det är portrycket som utgör risken. Det är i dessa jordar viktigt att sänka portrycket för att minska risken för grundvattenrelaterade problem med schaktbotten eller slänter.

I (Strand, 2013) framkommer även att befintlig litteratur och riktlinjer motsäger varandra om exempelvis metoder med länshållning från schaktbotten är lämpliga i en morän. Vissa menar att det tillvägagångssättet är mest lämplig för grovkorniga jordar medan andra menar att det kan vara fel att använda i grova jordarna och att det kanske är moräner som är bäst lämpade för den metoden. I BRO 2004 anges det under avsnitt 34.22 att länshållning från schaktbotten kan godtas, d.v.s. bortse från 0,5 m under grundvattenytan, om jorden på och under grundläggningsnivån består av grovsand, grus eller jord med minst samma vattengenomsläpplighet. (Powers, Corwin, Schmall, & Kaeck, 2007) menar dock att det fungerar bra att använda länshållning från schaktbotten i hårt packade välgraderade jordar, kanske tillhör moränen den mest stabila jordtypen för användning av pumpning från schaktbotten. I dessa jordar kan det förekomma blödning av vatten från schaktslänterna utan att de blir ostabila. Dock måste stor försiktighet tas vid schaktarbetet och att arbetet ska ske med en medvetenhet om vad som kan dyka upp och tecken och risker man ska se efter. Även i (Hansbo & Möller, 1975) framgår att risken för hydrauliska grundbrott minskar om en jord är fast lagrad, vilket gör att grundvattenhantering oftast kan ske från schaktbotten i normala moräner. Att arbetet ska ske med försiktighet är bland annat för att undvika att jorden i ytan börjar luckra upp då det riskerar att sprida sig djupare ner i jorden samt att man ska ha tillräcklig stabilitet i schaktslänterna. För att undvika att det hydrauliska grundbrottet ska sprida sig djupare kan ett skyddsfilter användas på schaktbotten samt i dikena. Filtret kan bestå av 5 cm sand närmast schaktbotten överlagrat av ett 10 cm tjockt skikt av grus och på det 15 cm singel eller makadam. Det filter som läggs ut kan även utgöras av en geotextil som materialavskiljande lager med grus- eller makadamfyllning ovanpå (Hansbo & Möller, 1975) och (Knutsson, Larsson, Tremblay, & A-L, 1998). Filtret fungerar som en motfyllning vilken ökar effektivspänningarna i jorden samt att det kan förhindra eventuell erosion och därför motverkar uppluckringen. Dock menar (Knutsson, Larsson, Tremblay, & A-L, 1998) bör detta endast användas vid mindre sättningskänsliga konstruktioner som exempelvis vägar. I fall där det uppkommer svåra uppluckringstendenser kan det vara ett alternativ att i ett tidigt stadie gräva pumpgroparna till färdigt djup under schaktbotten där de sedan förses med filter. Schaktningen sker sedan i mindre sektioner, med start närmast pumpgropen, där varje utgrävd del förses med lämpligt filter (Hansbo & Möller, 1975) och (von Brömsen, Carlstedt, Ejdeling, Gustafson, & Hansbo, 1984).

5 Metoder vid utförande

I resultatet från (Strand, 2013) framkom det att den vanligaste slutgiltiga metoden att använda sig av vid schakter i moräner inför brogrundläggningar är varianter av länshållning från schaktbotten. Det blir oftast lösningen i utförandet oavsett vad som framkommer i bygghandling, mycket på grund av att entreprenörerna ser det som en enkel, tidsbesparande och effektiv lösning som av deras erfarenhet fungerar bra i moräner. Det är en metod som använts sedan länge och som de är vana att använda, det är många broar grundlagda på morän som ej har utförts med en sänkning 0,5 m under grundvattenytan och det inte har framkommit att det har orsakat några problem för den färdiga bron. I de fall där lite

uppluckring skett vid schaktarbetet ansågs det att den uppluckringen hinner packas under byggtiden eller att den uppluckrade ytan endast schaktats bort och ersatts med krossmaterial. Det finns alltså många fall, enlig många de flesta fallen, där arbetet i moräner fungerat bra utan att sänka grundvattnet och det istället hanterat det med länshållning från schaktbotten. Vanan att använda metoder som inte sänker grundvattnet så som önskas för broschakter kan ha grund i att det för andra schaktarbeten kan tillåtas högre grundvattennivåer. De koderna finns under BCB.1 och BCB.13, där anges att huvudsakliga vattenströmningen ska riktas ner och bort från schakten. Detta är ett krav som stämmer bättre överrens med effekten av länshållningsmetoder.

Ytterligare kring kan nämnas att CBB.51 nämner andra lösningar än just grundvattensänkning, ett alternativ är att utföra schakten under vatten, d.v.s. att schaktgropen har en vattennivå som ligger i nivå med omgivningens grundvattenyta. Enligt det som framkommit till detta arbete är att det inte heller blir använt när arbetet sker i vanliga moräner. Finns fall där det kan vara föreskrivet som metod i siltmoräner och i de fallen är det troligt att man måste pumpa in vatten i schakten för att få in tillräckligt med vatten i schakten. En synpunkt som hörts från entreprenörer i de sammanhang där schakt skulle ske under vattnet var att det inte var några problem med att vatten kom in i schakten så det gick bra att utföra i ”torrhet”. Troligen med portryck som var höga.

Länshållning från schaktbotten kan utföras på flera sätt. En metod som beskrivs av entreprenörerna i (Strand, 2013) är att man schaktar ner till 1 meter ovan den färdiga schaktbotten och schaktar det försiktigt för att störa ytan så lite som möjligt. Vid sämre markförhållande utförs den sista schakten successivt med direkt återfyllnad av grundläggningsmaterialet, vanligtvis bergkross omkring 0,5-1 meter tjockt lager ovanpå en geotextil. Detta görs direkt för att ytan ej ska börja luckra upp eller häva sig. Hur stor yta som schaktas fram innan återfyllningen styrs av jordtyp och schaktdjupet. I fall där materialet är stabilare så schaktas hela ytan och fyllningen sker när det är klart. Av stabilitetsskäl brukar de oftast schakta ur en sträcka på 5-10 meter och sen fylla igen med sprängsten. Många gånger används avrinningsdiken som görs ute i kanterna där vatten leds bort till en pump. Dessa diken används vid schaktningen av den sista metern och görs så djupa att de ligger ungefär 0,5-1 m under färdig schaktbotten. Ibland har en del använt horisontell dränering också men de riskerar att slamma igen. Entreprenörer menar att sänkningens yta blir större med diken jämfört med pumpbrunnar eftersom brunnar endast bildar en sänkningstratt i några få punkter. Vissa har varit med om fall med lite vatten på botten men det utgjorde inga problem. En annan metod för mindre schakter var att schaktbotten kan göras lutande. Botten fylls med bergkross och en pump installeras i lågpunkten för att ta hand om grund- och ytvatten.

En analys har genomförts för att försöka uppskatta effekterna av etappvis zonschaktning med återfyllning, se appendix. Det går att analysera risken för hydraulisk bottenupptryckning men det är svårt att analysera uppluckringen. För det krävs avancerade materialmodeller och verifiering av modeller med observationer.

I (Strand, 2013) framkom det att entreprenörerna upplever att de sällan lyckas sänka grundvattnet med pumpbrunnar i moräner, vissa gånger har brunnarna inte fått nått inflöde av vatten och i vissa fall har de kunnat sänka vattnet någon centimeter. Deras uppfattning är att pumpbrunnar kan användas då jordarna är mer genomsläppliga. De erfarenheter som framkom kring Wellpoints i (Strand, 2013) var att entreprenörerna inte ansåg det som ett alternativ då de är svåra att installera i en hård morän, vissa hade sett att den fungerar bra i en ren siltjord. Även framkom att den många gånger inte används på grund av den höga kostnaden de anser att den har. Vid kontakt med Wellpoint Maskin AB sas att Wellpoints många gånger installerats i moräner och att grundvattnet gått bra att sänka. När Wellpoints sätts i morän har de använt foderrör vid installationen. Foderöret borras ner och spolas rent, sedan sätts spets och rör ner och filtergrus fylls runt och sedan dras foderröeren upp igen.

På Wellpoint Maskin AB upplever wellpoints användes oftare förr i norra Sverige, senaste 3-5 åren har de knappt haft någon uthyrning dit. Förr användes de generellt oftare och de upplever att det blivit vanligare med schakter där diken och pumpbrunnar använts. Hyran för en normal utrustning med ett 100 m system (50-60 filter) ligger omkring 1300 kr/dygn. (Wramheden, 2014).

6 Projekteringsunderlag

6.1 Omfattning av projekteringsunderlag

Den hydrologiska undersökningen ingår normalt som en del av den geotekniska undersökningen, både när det gäller fältarbeten och tolkning. Mycket underlag är gemensamt. För att fram ett tillräckligt underlag för en teknisk beskrivning av en grundvattenavsänkning krävs (Powers, Corwin, Schmall, & Kaeck, 2007) m.fl.:

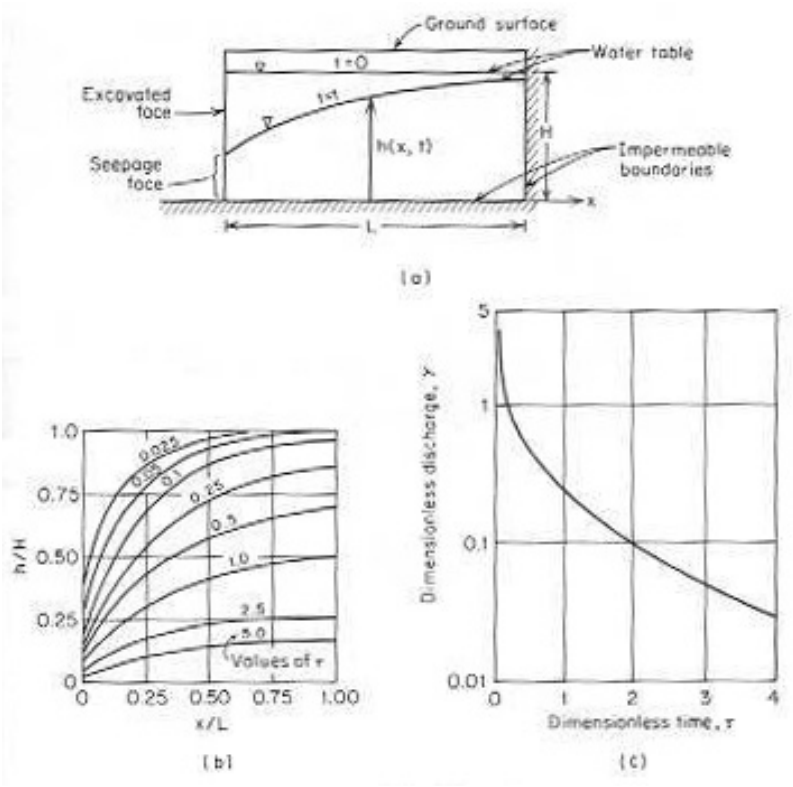
- Lagerföljd i hela den jordprofil som påverkas av grundvattensänkningen
- Hydraulisk konduktivitet för alla de jordlager som påverkas av grundvattensänkningen – även de som kan tillföra vatten.
- Omgivande hydrologiska förutsättningar
- En tillförlitlig beskrivning av akvifären (öppen, sluten mm)
- Variation över året i grundvattennivåer och portryck
- Magasinkoefficient eller transmissivitet för akvifären
- Influensområde (tillåtet och från åtgärden)
- I vissa speciella fall grundvattnets kemiska sammansättning

Det krävs omfattande undersökningar för att sammanställa ett underlag som uppfyller punkterna ovan. Vilken omfattning som krävs beror inte bara på de faktiska förhållandena på plats utan även val av grundläggningsnivå, metod och utförande. (Powers, Corwin, Schmall, & Kaeck, 2007) listar följande punkter som är nödvändiga att beakta för den geohydrologiska undersökningen:

- storlek och djup på schakten
- den planerade schaktningsmetoden och markförstärkning
- befintliga byggnader i omgivningen och dess grundläggning
- tidplanen för projektet
- eventuell förekomst av föroreningar i omgivningen som kan påverka arbetet med grundvattensänkningen

I praktiken genomförs enbart ett fåtal av dessa. En delförklaring till det är att många av dessa punkter fastställs i ett sent skede av projekteringsskedet eller lämnas till entreprenören att lösa. Det innebär en stor osäkerhet vid anbudsskedet för entreprenören, speciellt om krav eller utförandebeskrivningar finns som det inte finns tillräckligt underlag till att fastställa. Konsekvensen blir att de inlämnade anbuden skiljer sig åt i omfattning och pris beroende på om entreprenören inkluderar det förfarande som denne tror är lämpligt eller om entreprenören förutsätter att de kan lösas genom tillägg (Strand, 2013).

Det är viktigt att man utnyttjar möjligheterna till analys i projekteringsunderlaget. Mer analyser kan göras med den information som normalt samlas in. Utvecklingen av enkla kvantitativa metoder för att uppskatta inflöde av vatten i schakter är eftersatt i jämförelse med andra områden inom geohydrologi (Freeze & Cherry, 1979). Ett exempel på en sådan lösning som skulle kunna användas mer i Sverige är en metod utvecklad av Verma, Brutsaert, Ibrahim m.fl. i början av 1970-talet och som illustreras i figur 11. Idag finns möjlighet för liknande analyser med numeriska program som t.ex. Geostudio Seep/W och Plaxis men de verktygen är relativt dyra.



Figur 11. Modell för beräkning av inflöde av vatten i schakter, efter Ibrahim och Brutsaert, 1965 presenterat i (Freeze & Cherry, 1979).

6.2 Undersökningsmetoder

6.2.1 Inledning

De flesta metoder som används för geohydrologisk undersökning är väl kända och används i varierande omfattning i projekt. I det här avsnittet beskrivs kortfattat vilken information som metoderna ger.

6.2.2 Geofysiska metoder

I Sverige är användningen av geofysiska metoder begränsad i merparten av projekt som omfattar grundläggning av bro. Utvärdering av geofysiska metoder behöver i allmänhet verifieras med borrhål. Geofysiska metoder är framförallt användbara för att beskriva akvifärens omfattning, utbredning och är viktig för att verifiera om akvifären kan anses vara öppen eller sluten, tabell 1. Utförande och översiktlig beskrivning av utvärderingar finns t.ex. i (Triumf, 1992).

Tabell 1. Sammanställnign av geofysiska metoder och deras användningaområde vig geohydrologiska undersökningar.

Metod	Huvudsakligt användingsområde
Refraktionsseismik	Berggrundsnivå, utbredning av akvifär
Resistivitetsmätning	Djup, utbredning och volym av akvifär
Georadar	Berggrundsnivå, utbredning och volym av akvifär

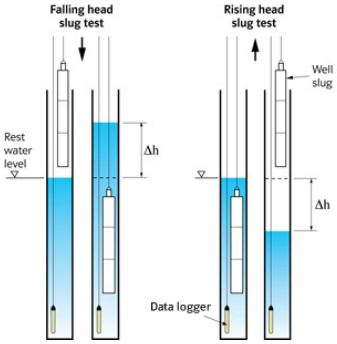
6.2.3 Provpumpning

Provpumpning och mätning av avsänkningstratt används för att uppskatta influensområde vid grundvattenavsänkning, bestämma akvifärens egenskaper (magasinskoefficient eller transmissivitet), verifiering av pumpmetod och nödvändig pumpkapacitet. Nackdelarna med provpumpning är att de är kostsamma, tar tid och kräver en god kännedom om akvifären för att kunna utvärderas korrekt.

6.2.4 Piezometerförsök (slug- och bail-test)

Piezometertest är en snabb indikativ metod för bestämning av in-situ hydraulisk konduktivitet i installerade grundvattenrör. Det ger storleksordningen på den hydrauliska konduktiviteten på den nivå där filtret är aktivt. Piezometerförsök utförs på två principiellt olika sätt, se figur 12:

- Bail-test; en avsänkning görs i röret och återhämtningstiden studeras
- Slug-test; vatten tillsätts i röret och infiltrationshastigheten studeras



Figur 12. Princip för piezometerförsök. Slug-test till vänster och bail-test till vänster.

6.3 Indirekta metoder

Med indirekta metoder avses här metoder där hydrauliska egenskaper bedöms genom annat sätt än mätning på själva akvifären.

6.3.1 Jordartsklassificering

En uppskattning av hydraulisk konduktivitetet kan göras genom jordartsklassificering följt av en empirisk uppskattnign av den hydrauliska konduktiviteten genom tabeller, diagram eller ekvationer (t.ex. Hazen).

6.3.2 Permabilitetsförsök

Permeabilitetsförsök bestämmer den hydrauliska konduktiviteten för jordprovet men tar inte hänsyn till akvifärens förhållanden. För en genomgång av permeabilitetsförsök hänsvisas till (SGF, 2005). Det förekommer att andra försök, tex CRS, används istället för standardiserade permeabilitetsförsök där permeabilitet utvärderas som en sekundär parameter av kostnads eller tidsskäl.
Det är en utmaning att få ostörda prover från moräner för permeabilitetsförsök.

7 Diskussion

7.1 Problembeskrivning

För att hantera den problematik som i dagsläget finns kring grundvattensänkningarna har detta arbete inte ett direkt svar. Det är fortfarande flera möjliga angreppsätt på grund av den breda problembilden. Det som kan det igen konstateras är att bygghandlingen och utförandet inte alltid stämmer överens. Detta kanske man inte kan kräva för alla fall, exempelvis menar (Powers, Corwin, Schmall, & Kaeck, 2007) att problemet med grundvatten är för komplext för att hitta hela lösningen i teorin. Med det i åtanken kan det vara ett alternativ att ändra kraven och bygghandlingen så att lösningen för grundvattenhanteringen tas fram i utförandeskedet. Ändrar man kravet och beskrivningarna i bygghandlingen krävs fortfarande att arbetet ska utföras säkert, att lämna det mer öppet leder även till att det troligen blir större spridning på entreprenörernas anbud. Ser man till alternativet att metoder ska vara mer utförligt beskriva i bygghandlingen måste det först och främst ses över så att föreslagna metoder är fördelaktiga, rimliga och användbara och att även entreprenörerna får den uppfattningen och erfarenheten, annars kvarstår troligen problemen. Exempelvis tyder både teorier och erfarenheter på att pumpbrunnar ej är någon bra metod i tätare moräner samtidigt som detta är den metod som många gånger anges i bygghandlingen. Även koden CBB.51 i AMA är inte andvändbar för alla moränjordar, i en del täta moräner är det orimligt att sänka grundvattnet. Därför bör beskrivningstexten anpassas innan den används i bygghandlingen. Ytterligare en faktor att beakta är att förundersökningarna blir dyrare och att de bör generera förslag som ungefär stämmer överens med verklig utförd metod för att vara motiverad i längden.

7.2 Grundvattenavsänkning i morän

För att ange bra metoder för grundvattenhantering behövs information och fakta om området, upplevelsen är dock att det saknas teori och beskrivning för metoder som vänder sig till moränjordar och vilka metoder som är lämpliga beroende på typen av morän. De flesta metoder som idag finns beskrivna och som rekommenderas syftar till relativt jämt fördelade jordar och inte till en blandjord som morän, och där det nämns metoder som kan användas i morän varierar det i beroende vilken litteratur man läser i. Moräners sammansättning och egenskaper varierar mycket och det kan därför inte generaliseras så att en metod sägas vara lämplig för morän i allmänhet. Rekommendationer för metodval måste anpassas till typen av morän och övriga platsspecifika förhållanden. Många av de grövre mer genomsläppliga moränerna har de egenskaper att man kan använda sig av grundvattenhanteringsmetoder som används i sand och de grövre jordarna. För de tätare moränerna med större finjordsinnehåll där permeabiliteten ofta är väldigt liten skulle det mer kunna liknas vid silt och finare jordar. För dessa finare moräner kan metoder som exempelvis vakuummetoder vara möjliga i vissa fall för att sänka grundvattnet eller portrycket. Men det har också visat sig fungera väldigt bra med att inte sänka vattnet i andra fall utan endast hantera grundvattnet med hjälp av länshållning från schaktbotten. Det är främst för dessa finare moräner som upplevelsen är att det inte finns några direkta riktlinjer och förslag. För att bättre redogöra och undersöka lämpliga metoder kan det vara lämpligt att förbättra kunskaper kring grundvattnets beteende och lämpliga hanteringsmetoder i olika moräner.

7.3 Avsteg från bygghandling

För att minska problemet med diskussionerna kring förändringarna i utförandet jämfört med bygghandlingen måste en förändring ske. Projektering och utförda lösningar bör rimligen överensstämma i de flesta fall. En del i att nå dit är att revidera kunskapsläget om grundvattensänkningsmetoder och deras användbarhet kopplat till krav och rådstexter som används i praxis.
För att andra beskrivningar och metoder ska anges i bygghandlingarna än de som normal görs idag bör dessa alternativa formuleringar och metoder finnas dokumenterade och

beskrivna. Detta så att man för det första kan se över möjliga lösningar samt att det under projekteringen går att hänvisa till och motivera sitt val av kravformulering, metod och tillvägagångsätt. Troligen är det få som skulle ta risken att friskriva sig från AMAs krav utan att det finns andra råd och beskrivningar som man kan grunda sina val på. Ser man på Trafikverkets dokument skulle det exempelvis vara bra att införa rådstext i exempelvis TK Geo eller som tillägg till AMA för att kunna använda det som stöd för moränschakter. Förslagsvis bör även litteratur som beskriver metoder och metodval i moräner framarbetas så att det är enkla att tillgå.

7.4 Projekteringsaspekter

Det är svårt att avgöra vilken nivå ett projekteringsunderlag för en grundvattenavsänkning bör hålla. Om den ska omfatta en utförandebeskrivning, influensområde mm krävs ett mycket omfattande underlag och kostsamma undersökningar. Om det inte kan uppnås bör funktionskrav istället formuleras som är realistiskt ställda. Det ställer höga krav på projektörens kunskap och erfarenhet.

Undersökningar för att bestämma influensområde, magasinskoefficient mm är kostsamma och tidsödande. En stegvis projekteringsmodell där frågan beaktas i ett tidigt skede, så att det finns möjlighet till kompletterande undersökningar är rimliga. Ett exempel på enkla initiala undersökningar är t ex piezometertester som ger in-situinformation om hydraulisk konduktivitet och grundvattenyta på ett snabbt indikativt test. En låg hydraulisk konduktivitet i ett slugtest är en god indikator på att grundvattenavsänkning med wellpoints, pop-brunnar eller etappvis zonschakt är aktuella. Fortsatt projektering kan då inriktas på att antingen beskriva förutsättningarna för detta. En hög utvärderad hydraulisk konduktivitet indikerar istället att vanliga pumpbrunnar troligen är lämpliga och att influensradien av dessa troligen kan bli stor. En tidig indikation på influensradien är också viktig eftersom allt större fokus läggs på omgivningspåverkan. En lite influensradie innebära att påverkansområdet blir litet och undersökningarna på omgivningen kan begränsas i jämförelse med en stor influensradie som kan motivera utförligare pumptester.

7.5 Funktionskrav

Med anledning till att entreprenörerna ofta använder sig av länshållning från schaktbotten oavsett vad som framgår i bygghandlingen kan det vara svårt att motivera en annan metod eller förändringar som inte möjliggör den lösningen. Eftersom erfarenheter visar att det många gånger fungerar kan det vara en bra metod att använda och kanske föreskriva den redan i bygghandlingen. För att beakta om länshållning från schaktbotten ska bli en allmänt accepterad metod att använda i moräner, och en metod som skulle anges redan i bygghandlingen, återstår arbete med att undersöka vilka avgränsningar den metoden kan ha, vilka grundvattennivåer kan tillåtas och i vilka moräner kan den användas. I och med att en moränjord kan variera mycket i dess uppbyggnad så kan även lämpligheten med länshållning från schaktbotten variera, i vissa moräner visar det sig att den fungerar väldigt bra men det är viktigt att veta om det finns fall där den inte är lämplig för att då kunna utesluta den och ha en motivering till varför den inte ska användas. Samt att man även måste vara medveten om vilka nivåer ovan schaktbotten man kan tillåta att grundvattnet ligger på för olika moräner, hur höga vattentryck kan tillåtas. Det är svår att med säkerhet simulera hur höga ryck som kan tillåtas. Klart är att effektivspänningen reduceras mycket snabbt. Om man håller sig inom ramarna för att undvika hydrauliskt grundbrott, återfyller snabbt och tillåter schaktbotten tidsmässigt konsolidera så bör etappvis zonschaktning fungera. Var gränserna går, både för tillåtet tryck och nödvändig tid för konsolidering behöver utredas närmare. Det bör även sättas större krav på övervakningen och medvetenheten om jordens beteende under schaktarbetet, det behöver finnas en bra kunskap om detta hos entreprenörerna som i slutändan utför arbetet. Det gäller att vara observant på hur jorden och grundvattnet uppträder under schaktarbetet man måste observera att inte större

uppluckring eller andra problem uppkommer och om de uppstår ska man vara beredd med åtgärder för att hantera det snabbt. Det krävs därför bra medvetenhet om vad som ska bevakas samt om vad man ska göra om olika problem uppkommer. Ett alternativ för att underlätta och informera entreprenörerna är att det i bygghandlingen anges vad man ska se efter för fenomen i jorden samt vad som kan utföras om problemet uppstår, kan vara att det utförs en risk och åtgärdsplan inriktad på grundvatten i schaktarbetet.

När det gäller framtagandet av bygghandlingen så framkom det i (Strand, 2013)att grundvattenhanteringen för schakten sällan studeras närmare och att den ofta sker nästan slentrianmässigt att man rakt av hänvisar till kravet i AMA, och i vissa fall anges även metoder utan större eftertanke om användbarhet. Problemet med kravet som finns i AMA CBB.51 är att det är det som i många fall orsakar att det blir avsteg från bygghandlingen. Ett alternativ kan vara att man anpassar bygghandling och metodval till branschen. Ser man till att åtgärda problemet med avsteg från bygghandlingen och diskussionerna som det kan leda till är att se över formuleringen som används i bygghandlingen kanske speciellt av AMAs krav eftersom det oftast hänvisas till detta i bygghandlingen. Det kan vara ett alternativ att förändra texten så att inte kravet finns för att grundvattennivån ska sänkas till en viss nivå under schaktbotten utan att detta krav formuleras om så att det är funktionen av metoden som ska vara det viktiga. För en sådan formulering finns ett bra exempel i (Powers, Corwin, Schmall, & Kaeck, 2007):

”Hanteringen av grundvattnet skall ske på ett sådant sätt att hållfastheten för schaktbotten bevaras (jorden under grundläggningen ska ha lika bärighet som före schakten), inte orsakar skred av schaktslänter samt att den inte resulterar i att skada befintliga konstruktioner. Om grundvattennivån måste sänkas i förväg, för att kraven ovan ska vara möjliga att följa, skall grundvattensänkning utföras med pumpbrunnar, wellpoints eller liknande metoder. Vid sänkningen skall grundvattennivån mätas och den ska hållas minst en meter under rådande schaktbotten, eller till 0,6 meter i material med låg permeabilitet.

Pumpning från schaktbotten med diken eller grunda pumpbrunnar kan användas men då tillåts inga bottenupptryckningar, bottenuppluckringar, erodering av finmaterial eller instabila schaktslänter. Brunnar och wellpoints skall utformas med skärmar eller filter på så sätt att finmaterial inte pumpas bort. Anläggningen skall ordnas så att det skall vara möjligt med provtagning på det urpumpade vattnet.

Entreprenören, eller underentreprenören som utför grundvattensänkningen, ska ha erfarenhet av projekt med liknande omfattning, komplexitet och förhållanden som den som finns presenterad på det här området. ”

8 Fortsatt arbete

Förslagsvis ska arbete med att se över grundvattenhanteringsmetoder som är lämpliga i olika moräner utföras då den idag upplevs bristfälligt beskriven gällande metodval jämfört med andra jordarter. Att se över moräners hydrologiska egenskaper för att bygga upp en större kunskapsbank kring moränjordars beteende vid schaktning. Frågor som behöver studeras är bland annat uppluckring kopplat till tidsförlopp. Resultaten behöver implementeras i branschpraxis, tex genom att komplettera i ”Länshållning vid schaktarbeten” (Svenska byggnadsentreprenörsföreningen , 2009) som just nu inte omfattar tätare moräner men som finns tillhands som stöd för planering och utförande av grundvattensänkningar i schaktarbeten. Detta med mål att ta fram beskrivningar och råd på när olika metoder är lämpliga att använda som i sin tur kan öka medvetenheten och kunskapen om området i alla led i projekten. Metoder som i många fall använts med lyckat resultat vid schaktning i moränjordar bör ses över och dokumenteras. Till exempel att se vidare på länshållning från schaktbotten och dess användbarhet och avgränsningar. Detta kan vara en bra infallsvinkel

då den ofta används i utförandet och om det redan i bygghandlingen går att ange detta, med stöd av beskrivningar, skulle det troligen minska fallen med avsteg från bygghandlingen gällande hanteringen av grundvattnet.

Vidare förslag på metoder att studera närmare är Wellpoints. En metod som kanske kan vara möjlig att sänka grundvattnet med i vissa av de finare moränerna men dessa väljs sällan av entreprenörerna vid arbete i moräner. Detta kan vara en intressant metod att testa för schakter i moränjordar för att se dess funktion samt hur stor den kostnaden skulle vara. Det kanske inte alltid sänker grundvattennivån tillräckligt men portrycket minskas troligen samt att vattenströmningen riktas delvis mot wellpointsen vilket troligen gynnar schaktens stabilitet även om dagens krav inte uppfylls. Detta kan vara bra att se över där det framkommer att länshållning från schaktbotten inte är lämplig eller riskfylld att använda.

När det gäller förundersökningar kan det vara bra att se över om exempelvis piezometer-test kan användas för att undersöka om pumpbrunnar är möjliga i den jorden. Finns det samband mellan sänkbarheten med brunnar och möjligheten att utföra slug-test. Detta kan vara en bra metod att undersöka då detta kan utföras i de grundvattenrör som i de flesta fall ändå installeras. En projekteringsguide bör utarbetas som riktlinjer för vilka undersökningar som bör göras och i vilka skeden. Guiden kan aldrig bli allmängiltig men fungera som ett stöd att hitta rätt nivå i projekteringen och ge vägledning för vilken omfattning av underlag som behövs för olika beskrivningar av grundvattenavsänkning i bygghandlingar.

9 Litteraturförteckning

Bell, F. G. (1987). *Drainage and Dewatering Techniques.* London: Butterworth & Co.

El Nimr, A. (2015). *Soil hydraulics*. Hämtat från http://osp.mans.edu.eg/soilhydraulics/ch8.htm den 26 juni 2015

Freeze, A., & Cherry, J. (1979). *Groundwater.* Englewood Cliffs: Prentice Hall.

Hansbo, S., & Möller, P. (1975). *Länshållning och grundvattensänkning.* Stockholm: Ingenjörsförlaget AB.

Knutsson, S., Larsson, R., Tremblay, M., & A-L, Ö.-H. (1998). *Siltjordars egenskaper.* Linköping: Statens Geotekniska Institut.

Larsson, R. (2008). *Jords egenskaper.* Linköping: Sveriges Geotekniska Institut.

Powers, J. P., Corwin, A. B., Schmall, P. C., & Kaeck, W. E. (2007). *Construction Dewatering and Groundwater Control* (1 uppl.). John Wiley & Sons.

Preene, M. (2012). *Groundwater lowering in construction.* CRC Press.

Project Dewatering Ltd. (2015). *Ejector systems*. Hämtat från http://www.project-dewatering.co.uk den 26 06 2015

SGF. (2005). *Permeabilitetsbestämning genom laboratorieförsök.* Stockholm: Svenska Geotekniska Föreningen.

Smoltczyk, U. (2003). *Geotechnical handbook.* Berlin: Ernst & Sohn.

Strand, J. (2013). *Grundvattenhantering vid broschakter.* Luleå: Luleå tekniska universitet.

Svensk byggtjänst. (2010). *AMA Anläggning.* Stockholm: Svensk byggtjänst.

Svenska byggnadsentreprenörsföreningen . (2009). *Länshållning vid schaktarbeten* (5 uppl.). Linköping: Statens Geotekniska Institut.

Triumf, A. (1992). *Geofysik för geotekniker: Metoder och tillämpningar.* Stockholm: Byggforskningsrådet.

WJ Groundwater. (2015). *WJ Groundwater*. Hämtat från http://www.wjgl.com/dewatering/deepwell den 26 juni 2015

von Brömsen, U., Carlstedt, B., Ejdeling, G., Gustafson, G., & Hansbo, S. (1984). Grundvattensteknik. i S. Avèn (Red.), *Handbok Bygg* (ss. 133-144). Stockholm: Liber förlag.

Wramhed, O. (1971). *Kompendium i grundvattensänkning.* Malmö: Svenska Wellpoint.

Wramheden, F. (2014). Personlig kontakt.

Vägverket. (1994). *Jords hållfasthets- och deformationsegenskaper.* Borlänge: Vägverket.

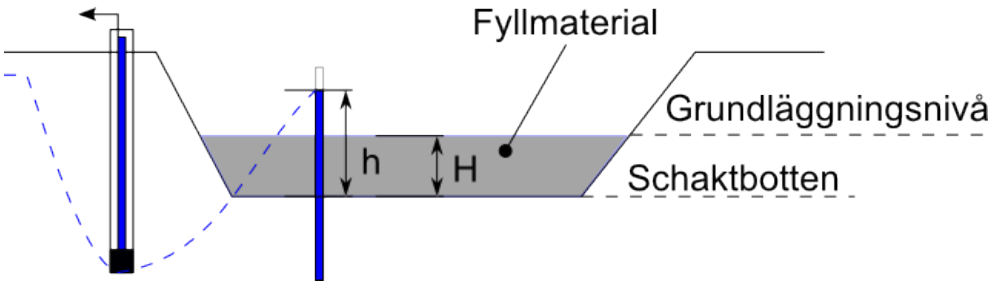
Bilaga A Analys av zonvis schakt och återfyllning

Syftet med analyserna är att studera vilken effekt zonvis schakt utan att uppfylla kravet på grundvattensänkning har. Två aspekter studeras:

- Risk för hydrauliskt grundbrott
- Tidsaspekt för uppluckring

Risk för hydrauliskt grundbrott har analsyrats genom en jämviktsberäkning och tidsaspekter för uppluckring genom FEM-modellering.

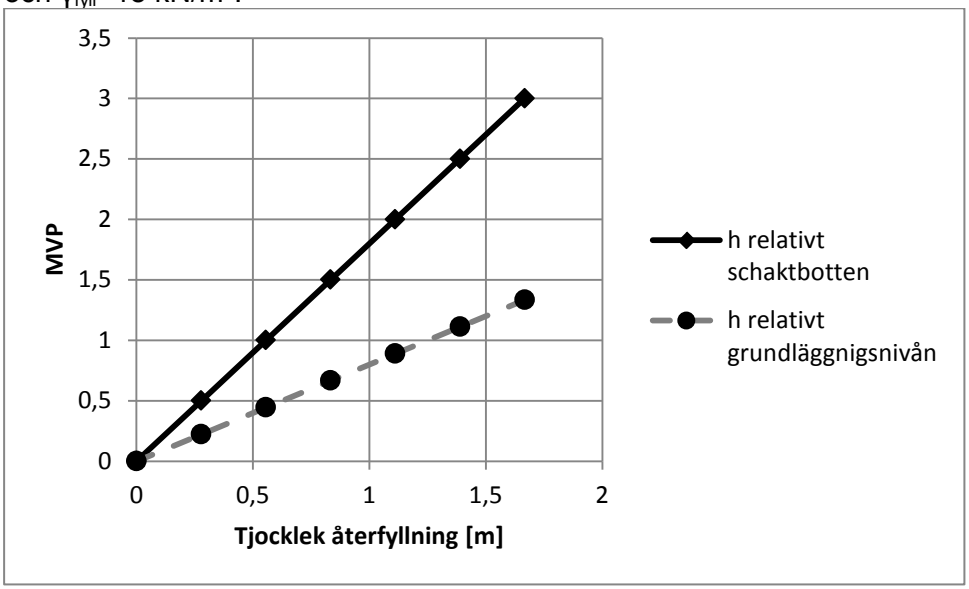
Överslagsberäkning hydrauliskt grundbrott
Överslagsberäkningen för hydrauliskt grundbrott har gjorts genom en jämviktsekvation mellan tyngden på återfyllnadsmaterialet. Beräkningen tar inte hänsyn till tidsaspekter. Modellen som presenteras i figur A1.



Figur A1. Modell för överslagsberäkning av hydrauliskt grundbrott.

$$F \times \gamma_w \leq H \times \gamma_{fyll}$$

Resultatet presenteras i Figur A2. I beräkningarna har totalsäkerhetsfaktor F=1,0 använts och γ_{fyll}=18 kN/m^3.



Figur A2. Förhållandet mellan nödvändig tjocklek på återfyllning (H) för att undvika upptryckning som en funktion av grundvattennivån relativt schaktbotten respektive grundläggningsnivån vid en totalsäkerhetsfaktor F=1 och en fyllningsdensitet på ρ=1,8 t/m^3.

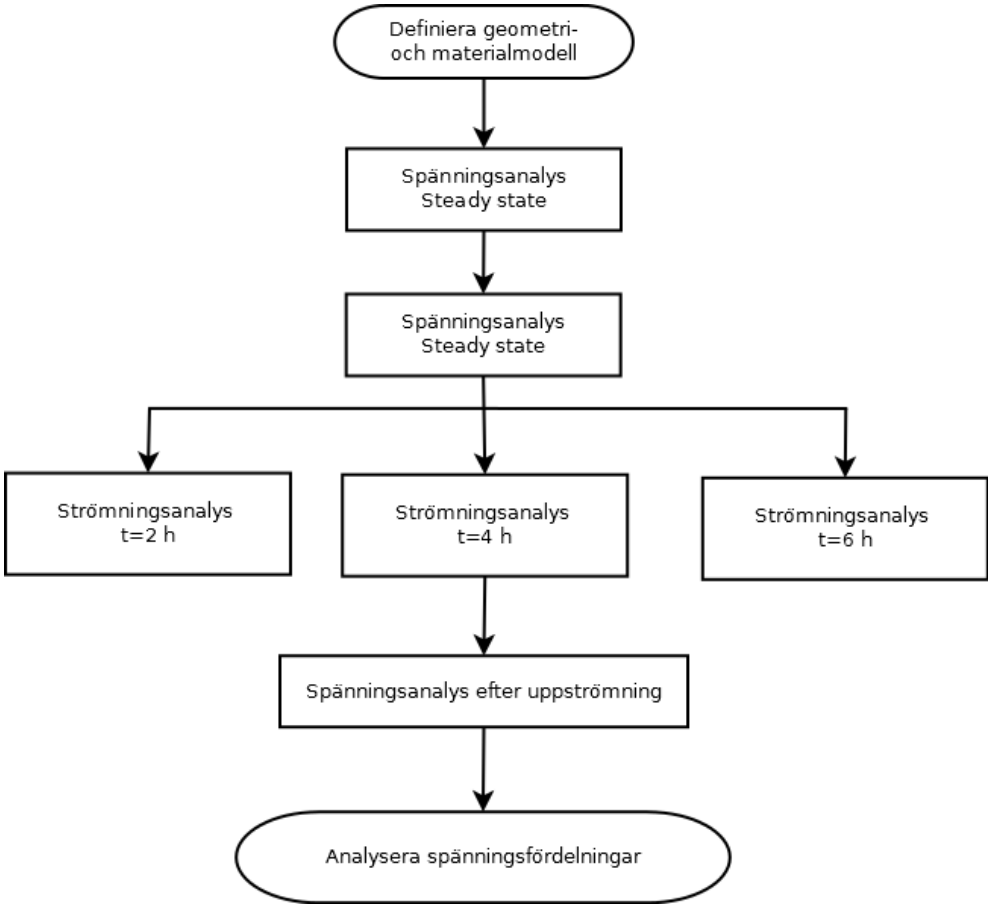
Tidsaspekter vid zonvis schakt
Analysen har genomförts som kombinerad strömnings- och spänningsanalys FEM-programmet Geostudio 2007. Syftet med analysen är att undersöka vilka effekter en urschaktning utan grundvattenavsänkning ned till 0,5 m under grundläggningsnivå har. Den konceptuella modellen för analysen illustreras i figur A3. Jordprofilen antas vara en homogen morän med 20 m mäktighet som underlagras av en fast berggrund. Grundvattenytan är belägen 0,5 m under markytan. Vid urschaktning antas grundvattenytan ligga i nivå med schaktbotten.



Figur A3 Konceptuell modell.

Analysen utförs i de steg som illustreras i figur A4. Modelleringen består av följande steg i kronologisk ordning:

1. Beräkna spänningsfördelningen i jordprofilen före schakt
2. Beräkna spänningstillstånd i jordprofilen direkt efter schakt
3. Genom en strömningsanalys för att simulera grundvattennivåernas inverkan på spänningsfördelning
4. Beräkna spänningstillstånd efter strömningsberäkningen vid olika tidpunkter
5. Analys av spänningstillståndet



Figur A4. Analyssteg.

Analysen utvärderas mot två spänningskriterier:

- Spänningstillstånd om grundvattenavsänkningen uppfyller kravet i AMA på 0,5 m under schaktbotten (här σ´=9 kPa)
- Spänningstillståndet då bärförmågan upphör, dvs σ´=0 kPa

Siltiga moräner, som är huvudfokus i detta arbete, har en hydraulisk konduktivitet i intervallet 10^{-7}-10^{-9} m/s. För att undersöka effekterna på uppluckring har intervallet för hydraulisk konduktivitet utökats till 10^{-4}-10^{-9} m/s.

Tabell A1. Materialegenskaper som använts i analysen.

Materialegenskap	Värde/intervall	Kommentar
Tunghet	21 kN/m^3	SiMn, (Larsson, 2008)
Effektiv tunghet under grundvattenytan	11 kN/m^3	SiMn, (Larsson, 2008)
Friktionsvinkel	32°	(Knutsson, Larsson, Tremblay, & A-L, 1998) och (Vägverket, 1994)
Styvhetsmodul	60 MPa	Fast, (Vägverket, 1994)
Tvärkontraktionstal	0,35	
Permeabilitet	10^{-4}-10^{-9} m/s	Utökat intervall,

(Larsson, 2008)

Resultatet från analyserna visade att tiden inte spelar någon roll för uppluckring. Spänningsförändringarna sker momentant i analyserna eftersom det råder mättade förhållanden. Effektivspänningen kan bestämmas med en enkel analys. För att kunna modellera tidsförlopp krävs betydligt mer avancerade materialmodeller än Mohr-Coloumb.

BIG – Branschsamverkan i grunden
Forskningsprogram för effektiv och säker grundläggning av vägar och järnvägar

BIG

BIG – Branschsamverkan i grunden - är ett forskningsprogram för effektiv och säker grundläggning av transportsystemets infrastruktur. Programmet etablerades under senhösten 2013, och påbörjade sin verksamhet den 1 januari, 2014.

Målsättningen är att sänka kostnader för byggande och underhåll av transportsystemets infrastruktur genom ett långsiktigt och systematiskt utvecklingsarbete inom geoteknikområdet.

I BIG samverkar Trafikverket, Chalmers tekniska högskola, Luleå tekniska universitet, Kungliga tekniska högskolan och Statens geotekniska institut.

Publicerade rapporter

A2014:03 Deformationer i undergrund – Litteratursammanställning och analys
A2014:07 Grundvattensänkning i morän
A2014:13 Höghastighetsspår i Sverige – på bank