

BeFo



STIFTELSEN BERGTEKNISK FORSKNING
ROCK ENGINEERING RESEARCH FOUNDATION

VATTENVERKSAMHET I URBANA OMRÅDEN: MILJÖDOM, UNDERSÖKNINGAR, TEKNISKA ÅTGÄRDER OCH KONTROLL

Åsa Fransson

Pramod Surendran

VATTENVERKSAMHET I URBANA OMRÅDEN: MILJÖDOM, UNDERSÖKNINGAR, TEKNISKA ÅTGÄRDER OCH KONTROLL

**Water operations in urban areas: permit,
investigations, technical measures and
control**

Åsa Fransson, Göteborgs universitet

Pramod Surendran, Göteborgs universitet

FÖRORD

Denna rapport har som syfte att presentera projektet BeFo 389 och konceptet *hydrogeologiska referensförhållanden*. Ramverket för arbetet utgörs av ett infrastrukturprojekts olika skeden, från planering till produktion och kontroll, från ett geologiskt och hydrogeologiskt perspektiv och med förankring i geologisk historia. Vattenverksamhet, miljödömd, tätning och observationsmetoden utgör centrala begrepp.

Hydrogeologiska referensförhållanden med fokus på nordiska (av inlandsisen påverkade) förhållanden föreslås. Detta med syfte att beskriva det geologiska systemet i tidiga projektskeden (hypotes) för att sedan, som i exemplet för Varberg, kunna bekräfta alternativt förkasta och revidera beskrivningen.

För platsen definierade (bekräftade, reviderade) referensförhållanden är tänkta att utgöra utgångspunkt för utformning av tekniska åtgärder och skyddsåtgärder. Resultat från uppföljning av såväl miljödömd (ofta inflöde och grundvattennivåer) som beteendet för det hydrogeologiska systemet (med avseende på tätning) bör kontinuerligt återkopplas till projektör och till produktion. Detta för att kontinuerligt fylla geologiska och hydrogeologiska kunskapsluckor och för att om nödvändigt revidera fördefinierade konstruktions- eller injekteringsklasser i observationsmetodens anda.

Projektledare för forskningsprojektet är docent *Åsa Fransson*, Göteborgs universitet. Arbetet påbörjades på Chalmers tekniska högskola (doktorand *Johanna Merisalu*) och har fortsatt på Göteborgs universitet (doktorand *Pramod Surendran*). Biträdande handledare och examinator på Göteborgs universitet är docent *Mark Johnson* (kvartärgeologi) och professor *Roland Barthel* (hydrogeologi).

Projektets referensgrupp har en bred ämnesmässig kompetens och bidrog till projektet med givande diskussioner och kommentarer: *Mira Andersson Ovuka*, doktor i naturgeografi, miljöansvarig, projekt Västlänken och Olskroken planskildhet, Trafikverket, *Sven Liedberg*, doktor i geoteknik, expert Geoteknik på Skanska Sverige AB, *Tommy Ellison*, lång erfarenhet inom berg och betong, Teknisk chef, Besab, *Ingvar Rhén*, Teknologie licentiat, lång erfarenhet inom hydrogeologi jord och berg, Hydrogeolog, SWECO och *Per Tengborg*, lång erfarenhet inom bergteknik, Forskningsdirektör, BeFo. Projektet har finansierats av BeFo och med viss naturinsats från Chalmers och Göteborgs universitet.

Stockholm, 2021

Per Tengborg

SAMMANFATTNING

Planering, järnvägsplan, systemhandling, MKB, projektering, produktion och uppföljning. I samtliga skeden av ett infrastrukturprojekt behövs beskrivningar av det geologiska och hydrogeologiska systemet. I denna rapport (och relaterat doktorandprojekt) presenteras konceptet *hydrogeologiska referensförhållanden*.

Hydrogeologiska referensförhållanden för en specifik plats har sin utgångspunkt i platsens geologiska historia och är tänkt att kunna utgöra underlag både för ansökan om vattenverksamhet och för utformning av tekniska åtgärder och skyddsåtgärder. Utformningen av de senare bör göras i observationsmetodens anda där hydrogeologiska referensförhållanden har potential att utgöra en viktig komponent som en del av en metodutveckling för hydrogeologi, vattenkontroll och infrastrukturbyggande.

Fokus i rapporten är på presentation och tillämpning av hydrogeologiska referensförhållanden. Tillämpningen sker för Varberg och Göteborg (Västlänken) och för tidiga skeden, se Figur 2.

Tekniska åtgärder och skyddsåtgärder samt uppföljning av tätning och miljödömd beskrivs kortfattat i rapporten för att visa hur hydrogeologiska referensförhållanden kan relatera till senare skeden dvs projektering av tätningsinsats, produktion och kontroll av resultat. Föreslagna referensförhållanden (tidig hypotes baserat på kartmaterial och geologisk historia) för Varberg (Varbergstunneln) och Göteborg (Västlänken) kunde bekräftas (ännu inte förkastas) baserat på borrhålsdata. Geometrisk (geologisk) heterogenitet, såsom uthålliga jordlager och deformationszoner, och konsekvenser, i form av skillnader i hydrauliska egenskaper och beteenden, är centralt både för utformning av tekniska åtgärder och för uppföljning av miljödömd.

Rapporten baseras i huvudsak på följande artiklar:

Surendran, P., Fransson, Å., och M. D. Johnson. (2020, November). Hydrogeological Reference Conditions - A Relevant Basis for Rock Engineering. In ISRM International Symposium-EUROCK 2020. International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering.

Merisalu, J., och Å. Fransson. (2018). Hydrogeological Reference Conditions for Assessment of Environmental Impact and for Grouting Design. In ISRM International Symposium-10th Asian Rock Mechanics Symposium. International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering.

Fransson, Å., Stille, H., och M. El Tani. (2018). An integrated approach to rock grouting. In ISRM International Symposium-10th Asian Rock Mechanics Symposium. International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering.

Nyckelord: vattenverksamhet, miljödömd, hydrogeologiska referensförhållanden, injektering, tätning, observationsmetoden

SUMMARY

Planning, “järnvägsplan”, “systemhandling”, “MKB”, design, production and follow-up. Descriptions of the geological and hydrogeological system are needed at all stages of an infrastructure project. In this report (and a related doctoral project) the concept of hydrogeological reference conditions is presented.

Hydrogeological reference conditions for a specific site are based on the site's geological history and are intended to be able to form the basis both for an application for water operations (permit) and for the design of technical measures and protective measures. The design of the latter should be done in the spirit of the observation method where hydrogeological reference conditions have the potential to form an important component as part of a method development for hydrogeology, water control and infrastructure construction.

The focus of the report is on the presentation and application of hydrogeological reference conditions. The application takes place for Varberg and Gothenburg (Västlänken) and for early stages of a project, see Figure 2.

Technical measures and protective measures as well as follow-up of sealing and permit (water operation) are briefly described in the report to show how hydrogeological reference conditions can relate to later stages, i.e. design of sealing (e.g. grouting), production and control of results. Proposed reference conditions (early hypothesis based on geological maps and geological history) for Varberg (Varberg tunnel) and Gothenburg (Västlänken) could be confirmed (not yet rejected) based on borehole data. Geometrical (geological) heterogeneity, such as continuous soil layers and deformation zones, and consequences, in the form of differences in hydraulic properties and behaviours, are central both for the design of technical measures and for the follow-up.

The report is mainly based on the following papers:

Surendran, P., Fransson, Å., and M. D. Johnson. (2020, November). Hydrogeological Reference Conditions - A Relevant Basis for Rock Engineering. In ISRM International Symposium-EUROCK 2020. International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering.

Merisalu, J., and Å. Fransson. (2018). Hydrogeological Reference Conditions for Assessment of Environmental Impact and for Grouting Design. In ISRM International Symposium-10th Asian Rock Mechanics Symposium. International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering.

Fransson, Å., Stille, H., and M. El Tani. (2018). An integrated approach to rock grouting. In ISRM International Symposium-10th Asian Rock Mechanics Symposium. International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering.

Keywords: water operation, permit, hydrogeological reference conditions, grouting, sealing, observational method

INNEHÅLL

1. INTRODUKTION	1
1.1 Vattenverksamhet och miljödömdom.....	2
1.2 Observationsmetoden	3
1.3 Skeden i ett infrastrukturprojekt	3
2. HYDROGEOLOGISKA REFERENSFÖRHÅLLANDEN	5
2.1 Tillämpning i Varberg och Göteborg	6
2.2 Geologi , topografi och geometri – geologisk historia för platserna	7
2.3 Hypotes: bekräftad alternativt förkastad och reviderad.....	9
2.4 Nästa steg: hydrogeologi – flöde och grundvattennivåer.....	9
3. TEKNISKA ÅTGÄRDER OCH SKYDDÅTGÄRDER.....	11
4. UPPFÖLJNING AV TÄTNING OCH MILJÖDOM	13
5. SLUTSATSER OCH FORTSATT ARBETE	15
6. REFERENSER.....	16

1. INTRODUKTION

När tunnlar, skärningar och schakt byggs i berg (och jord) påverkas trycknivåer och vattenflöden. Detta beskrivs i infrastruktursammanhang som en vattenverksamhet. En verksamhet som i sin tur kan påverka dricksvattenbrunnar, energibrunnar och grundläggningar av trä, det kan skada naturmiljö och det kan leda till sättningar i lera.

Syftet med denna rapport är att översiktligt beskriva den process (de skeden) som hanteras vid infrastrukturbyggande. En process som från ett hydrogeologiskt perspektiv inleds med planering och ansökan om tillstånd för vattenverksamhet (när detta behövs) och som avslutas med kontroll av resultat. Arbetet har sitt fokus på beskrivningen av systemet jord-berg-vatten-konstruktion, Figur 1. För att göra detta på ett systematiskt sätt föreslås, presenteras och tillämpas *hydrogeologiska referensförhållanden*, se Figur 3 i Avsnitt 2.

Texten i Avsnitt 2 utgår från artiklarna Surendran et al. (2020) och Merisalu och Fransson (2018). Detta följs av en kort och övergripande beskrivning av tekniska åtgärder och skyddsåtgärder (Avsnitt 3) samt uppföljning av tätning och miljödömdom (Avsnitt 4). Avsnitt 3 relaterar till artikeln Fransson et al. (2018) med titeln *An integrated approach to rock grouting*. Avsnitt 3 och Avsnitt 4 avser främst länka framåt i processen och ge ett tydligare sammanhang för konceptet hydrogeologiska referensförhållanden. Förhoppningen är att detta kan fördjupas i en fortsättning av projektet.

Beskrivningen utgår ifrån systemets geologi, topografi, geometri och hydrauliska egenskaper, Figur 1. Systemets egenskaper påverkar såväl inflöde och grundvattennivåer som utformning av tekniska åtgärder och skyddsåtgärder. Åtgärder som syftar till att ge en fungerande anläggning men som också syftar till att skydda omgivningen från anläggningen. De krav som ställs på anläggningen (verksamhetsutövaren) under byggnation och drift formuleras i en ansökan om vattenverksamhet och delges som ett tillstånd med olika villkor (miljödömdom).

För att beskriva systemet jord-berg-vatten-konstruktion föreslår vi att hydrogeologiska referensförhållanden kopplas till observationsmetoden. Observationsmetoden bygger på fördefinierade utföranden (t.ex. för injektering) baserat på förväntade förhållanden. Detta för att möjliggöra ett flexibelt förfarande där man kan anpassa konstruktionen till de faktiska förhållandena för en specifik sektion av en tunnel, skärning eller schakt. Anpassningen görs baserat på observerat beteende och genom val bland fördefinierade utföranden.

Rapporten inleds med en kort beskrivning relaterat till vattenverksamhet och miljödömdom, observationsmetoden och de skeden som ingår i ett infrastrukturprojekt. Rapport och relaterade artiklar (Surendran et al. 2020; Merisalu och Fransson, 2018; Fransson et al. 2018) har fokus på hydrogeologi och tätning (injektering) inom ramen för ett infrastrukturprojekt. Titeln *Vattenverksamhet i urbana områden – miljödömdom, tekniska åtgärder och kontroll* är även titeln på det doktorandprojekt där miljödömdom, hydrogeologiska referensförhållanden och observationsmetoden utgör centrala delar.

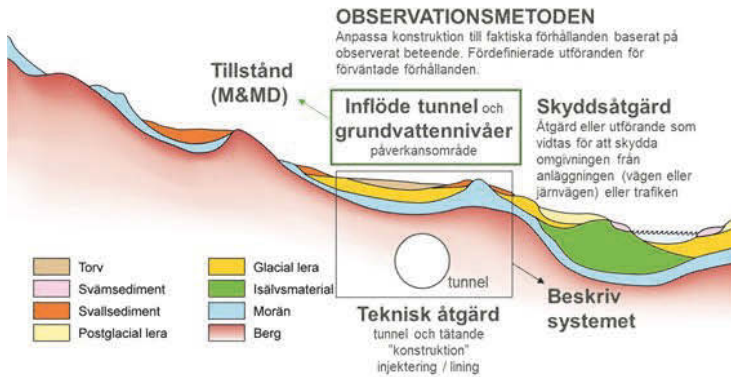


Figure 1. Soil-rock-water and construction (tunnel): inflow and groundwater levels, technical measures, and protective measures. Description of system, its behaviour, and technical and protective measures in the spirit of the observational method.

1.1 Vattenverksamhet och miljödöm

Med vattenverksamhet avses enligt miljöbalkens 11 kap. 3 § verksamheter och åtgärder som exempelvis syftar till att förändra vattnets djup eller läge, avvattna mark, leda bort grundvatten eller öka grundvattenmängden genom tillförsel av vatten. För denna typ av verksamhet kan tillstånd eller anmälan krävas men det kan också vara möjligt att tillämpa en undantagsregel där varken tillstånd eller anmälan behövs "om det är uppenbart att varken allmänna eller enskilda intressen skadas genom vattenverksamhetens inverkan på vattenförhållandena", Miljöbalken 11 kap. 12 §. Detta undantag gäller dock inte markavvattning eller andra åtgärder för avvattning av mark som alltid kräver tillstånd. Den som utför vattenverksamheten och vill tillämpa undantaget måste kunna bevisa att undantagsregeln är tillämplig (Naturvårdsverket, 2008). Villkoren som ges i vattendom kan exempelvis beskrivas som tillåtet inläckage för tunnel eller delsträcka. För att motverka skadlig grundvattenpåverkan till följd av verksamheten kan villkoren även ange att infiltration ska utföras inom områden där kontroll visar att sådan infiltration är nödvändig.

1.2 Observationsmetoden

Observationsmetoden (se exempelvis Peck, 1969) innebär i princip att design kan förändras allteftersom ett projekt fortskrider och där identifiering av relevanta geologiska miljöer eller referensförhållanden (bekräftade eller förkastade och reviderade) kan användas som underlag för att välja bland fördefinierade konstruktions- eller injekteringsklasser. Centralt är att fokusera på de för platsen mest sannolika förhållandena, men att också ha en handlingsplan för de mest ogynnsamma (tänkbara) situationer (avvikelser från mest sannolika) som kan ”avslöjas” som en följd av observationer. Holmberg och Stille (2007) kommenterar att nyttan av att använda observationsmetoden gentemot andra designmetoder (t.ex. beräkningar, hävdvunna metoder, modellförsök, se EN 1997-1:2004) exempelvis kan bestå i möjligheten att rätt teknisk lösning (t.ex. uttag, förstärkning, injektering) utförs i rätt sammanhang och på rätt sätt.

1.3 Skeden i ett infrastrukturprojekt

Beskrivningen av det geologiska och hydrogeologiska systemet utvecklas under ett projekts olika skeden, se Figur 2. En ”enkel” modell baserat på skrivbordsstudier görs i tidiga skeden (planering). Denna beskrivning (som utgör en tidig hypotes) kan bekräftas eller förkastas och revideras baserat på undersökningsdata. Dessa data utgör underlag för exempelvis systemhandling, ansökan om vattenverksamhet och utformning av tekniska åtgärder och skyddsåtgärder (design, projektering). Även under produktion kan beskrivningen bekräftas eller revideras och i detta skede kan man också observera beteendet för systemet jord-berg-vatten-konstruktion, exempelvis uppmätt inflöde i relation till tillåtet inflöde.

Den tillämpning som kort beskrivs för Varberg och Göteborg i nästa avsnitt är att betrakta som en första hypotes och en ”enkel” tidig modell, se övre, vänstra delen av Figur 2. Hydrogeologiska referensförhållanden (HRC1-5, se Figur 3) föreslås baserat på jordartskartan och lagerföljder bekräftas eller förkastas och revideras baserat på borrhålsinformation eller annat underlag. Under produktion kan beteendet (grundvattennivåer i omgivning och inflöde till konstruktion) följas upp kvalitativt och kvantitativt i observationsmetodens anda (observera, bekräfta, revidera, Figur 2).

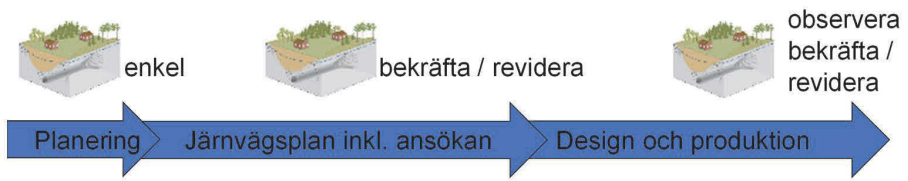


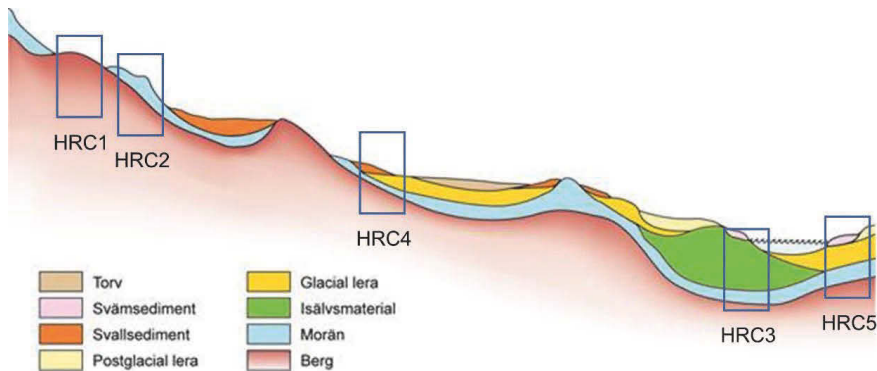
Figure 2. Stages (approximate) in a railway project and development of hydrogeological descriptions (reference conditions).

2. HYDROGEOLOGISKA REFERENSFÖRHÅLLANDEN

Konceptet *hydrogeologiska referensförhållanden*, HRF (*Hydrogeological reference conditions, HRC*), Figur 3, definieras och beskrivs i konferensartiklarna Surendran et al. (2020) och Merisalu och Fransson (2018). I dessa fallstudier föreslår vi fem typer av HRC:

- Kristallint berg (deformationszoner och mellanliggande bergmassa) – HRC1
- Moränområden – HRC2
- Isälvsavlagringar – HRC3
- Svallsediment på lera (vid övergång morän) – HRC4
- Lertäckta områden (slutet magasin i morän eller isälvsavlagringar) – HRC5

Detta är förhållanden som principiellt och förenklat kan förväntas i områden påverkade av en inlandsis (under högsta kustlinjen). Ett liknande koncept men med annat syfte har presenterats exempelvis i Bengtsson och Gustafson (1996). Föreslagen HRC baseras på de jordlager (eller bergarter) som identifieras ytligt baserat på jordartskartor och ger ett tidigt antagande om principiell lagerföljd som funktion av djupet, se Figur 3. Varberg (Surendran et al. 2020) och Göteborg (Merisalu och Fransson, 2018) utgör två områden där de fem föreslagna HRCs återfinns (nordiska förhållanden, områden påverkade av inlandsis). Samma arbetssätt (med utgångspunkt i kartmaterial och geologisk historia) förväntas vara tillämpbart för andra regioner i världen. Ett exempel för Singapore presenteras i Merisalu och Fransson (2018).



Figur 3. Hydrogeologiska referensförhållanden, HRC (vanliga i Norden). Kristallint berg (deformationszoner och mellanliggande bergmassa) - HRC1; Moränområden - HRC2; Isälvsavlagringar - HRC3; Svallsediment på lera (alternativt morän) - HRC4; och Lertäckta områden (slutet magasin i morän eller i isälvsavlagringar) - HRC5. Förenklat förväntas exempelvis enbart berg för HRC1. För HRC2 förväntas morän på

berg och för HRC5 lera på morän (alternativt isälvsmaterial) på berg. Fokus på hydrauliskt systembeteende som underlag för teknisk utformning och för undersökning av omgivningspåverkan.

Figure 3. Hydrogeological reference conditions, HRC (common in the Nordic countries). Crystalline rock (deformation zones and intermediate rock mass, host rock) - HRC1; till areas - HRC2; glaciofluvial deposits - HRC3; Wave washed deposits on clay (alternatively till) - HRC4; and Clay-covered areas (confined aquifer in till or in glaciofluvial deposits) - HRC5. Simplified, for example, only rock is expected for HRC1. For HRC2, till is expected on rock and for HRC5 clay is expected on till (alternatively glaciofluvial material) on rock. Focus on hydraulic system behaviour as a basis for technical design and for investigation of environmental impact.

2.1 Tillämpning i Varberg och Göteborg

För att bedöma de geologiska och hydrogeologiska förhållandena i ett tidigt skede av ett projekt föreslår vi alltså att geologiska- och relaterade hydrogeologiska referensförhållanden används. Grundläggande för vårt tillvägagångssätt med (fem) referensförhållanden är att de utgör en indelning för områden (lagerföljder) med liknande geologiska och hydrogeologiska förhållanden och tekniska egenskaper. För HRC1 - Kristallint berg är undergrupperna deformationszoner, mellanliggande bergmassa (och eventuellt ytligt berg) centrala.

Både i Surendran et al. (2020) och i Merisalu och Fransson (2018) använder vi de fem referensförhållandena som beskrivs i Figur 3. I Merisalu och Fransson (2018) ges även förslag på referensförhållanden för Singapore. Kontrasten mellan geologin i Norden, där inlandsisen har spelat en central roll, och den geologi som återfinns vid ekvatorn, med ett helt annat klimat, visar på vikten av att ha en beskrivning som är väl förankrad i det specifika områdets geologiska historia. Detta gäller såväl jord som berg.

Beskrivningen av respektive referensförhållande inkluderar en beskrivning av det geologiska (geometriska) systemet, hydrauliska egenskaper och förväntat hydrauliskt beteende. Geometrin och parametrarna är viktiga också ur ett tekniskt perspektiv då de utgör designunderlag för injektering (tätning) och eventuell infiltration (pumpning). Avslutningsvis ger artiklarna exempel på tekniska designlösningar för att visa att tillämpningen av referensförhållanden också kopplar till teknisk utformning.

Kort kan man säga att vi använder den geologiska historien för ett visst område för att beskriva generella drag och för att conceptualisera trolig stratigrafi (jordlagerföljd) och relevanta strukturer (berg). I Surendran et al. (2020) användes en kvartärgeologisk karta, Figur 5 (vänster), som utgångspunkt. Förväntade hydrogeologiska referensförhållanden valdes baserat på vad kartan visade på en specifik plats (berg, morän, svallsediment, lera, isälvsavslagringar etc). Vidare nyttjades topografisk karta, den marina gränsen (högsta kustlinjen), känd kvartär stratigrafi, strandlinjekartor, jorddjupskarta och berggrundskartan. Slutligen användes borrhålsinformation för att bekräfta eller revidera antagen HRC. Indelning och fördelning (av HRC) längs en sträcka ger en bra grund för en beskrivning av hydrauliska egenskaper såsom hydraulisk konduktivitet, K , och

transmissivitet, T , för berg och för jord-bergövergångar. Underlaget kan användas för prognoser och för förståelse av (kvalitativt) hydrauliskt beteende, för principiell utformning av teknisk åtgärd (tunnlar och schakt) och för kontroll av flöde och grundvattennivåer. Resultaten från analysen ger en inledande uppfattning om miljöpåverkan och konstruktionsmetoder.

2.2 Geologi, topografi och geometri – geologisk historia för platserna

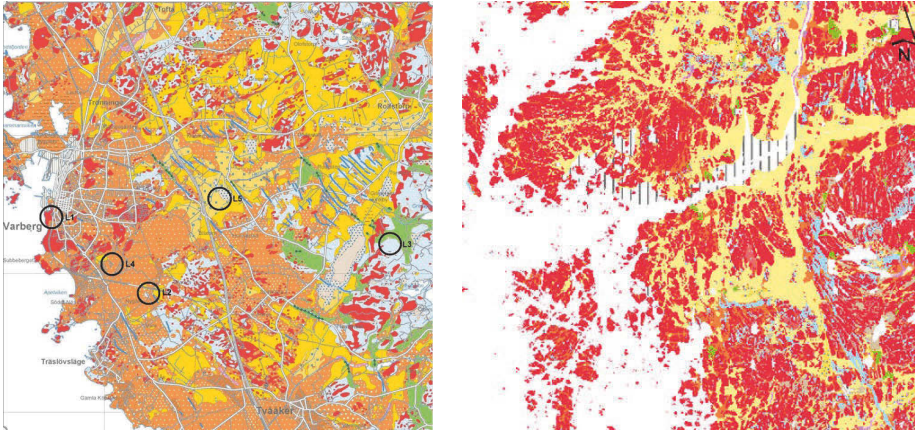
De flesta kvartära avlagringar som finns i Sverige är från Weichselperioden (Lundqvist, 1983) och de är ett resultat av avsmältningen av Weichselperiodens sena istäcke (Stevens et al., 1991). Avsmältningen inträffade omkring 13 000 b.p. i Göteborgsområdet (Lundqvist, 1983) och är förknippad med en komplex historia av strandförskjutning inklusive både regression och transgression till följd av kombinationen av isostatisk landhöjning och eustatisk havsnivåförändring (Lagerlund och Housmark-Nielsen 1993, Miller och Robertsson, 1988). Den marina gränsen eller den högsta kustlinjen är havets höjd vid sin maximala nivå under den senaste avsmältningen och den är cirka 93-104 meter över den nuvarande havsnivån i Göteborgsområdet.

För Varbergsområdet är den lokala marina gränsen cirka 75 meter över havet (Påsse, 1990). Större vattendjup möjliggör sedimentation av fina sediment såsom lera och när havsnivåerna sjönk och stranden försköts svallades jordmaterialen. En förväntad och förenklad stratigrafi beskrivs i Figur 3. Samma färger, berg (röd), morän (blå), isälvsmaterial (grön), lera (gul) och svallat material (orange) återfinns i de två kartorna för Varberg och Göteborg (Figur 4). Yngre sediment som torv och svämsediment visas också.

Berggrunden i Varberg och Göteborg domineras av kristallina bergarter (Figur 5). I Varberg är de baserat på berggrundskartan gnejsiga och i Göteborgsområdet gnejsiga och ställvis skiffrika. I Varberg finns den ovanliga bergarten charnockit.

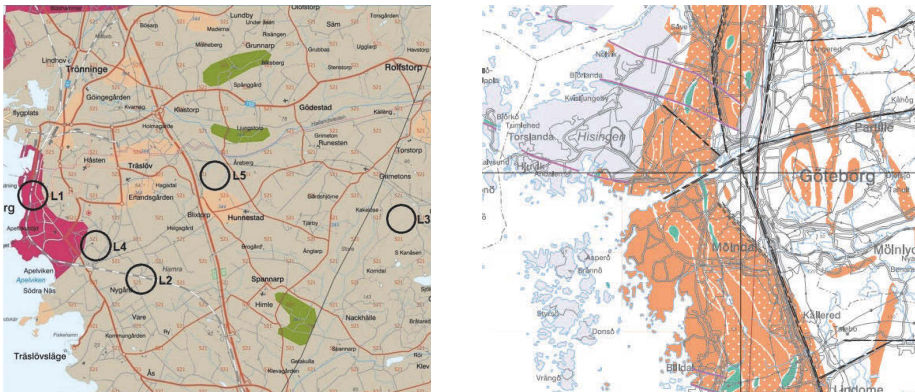
För fallstudien Varberg (Surendran et al., 2020) identifierades de fem hydrogeologiska referensförhållandena på platserna L1-L5, se Figur 5. L1 förväntades motsvara HRC1 (kristallint berg, röd), L2 förväntades motsvara HRC2 (morän på berg, blå) och för L3 förväntades HRC3 (isälvsavlagring, grön). L4 antogs kunna beskrivas med HRC4 (svallsediment på lera) och för L5 förväntades HRC5 (lertäckta områden med slutet magasin i morän eller i isälvsavlagring). För L2 och L4 användes sedan borrhålsdata med syfte att bekräfta alternativt förkasta (revidera) valda referensförhållanden.

För Göteborg (Merisalu och Fransson, 2018) gjordes en mer generell betraktelse kopplad till Västlänkens sträckning.



Figur 4. Varberg och Göteborg – jordartskartor, berg (röd), morän (blå), isälvsmaterial (grön), lera (gul) och svallat material (orange).

Figure 5. Varberg and Gothenburg - quaternary deposit maps, rock (red), till (blue), glaciofluvial deposits (green), clay (yellow) and wave washed deposits (orange), sgu.se.



Figur 5. Varberg och Göteborg – bergartskartor. Vänster - charnockit (djupröd), granit och diorit (beige och rosa), gabbro (grön). Höger - granit, granodiorit (orange), gabbro (grön). Gnejsiga bergarter (båda kartorna) och ställvis förskiffrade (Göteborgsområdet).

Figure 4. Varberg and Gothenburg - bedrock maps. Left – charnockite (deep red), granite and diorite (beige and pink), gabbro (green). Right – granite, granodiorite (orange), gabbro (green). Gneissic rock (both maps) and schisted in places (Gothenburg area), sgu.se.

2.3 Hypotes: bekräftad alternativt förkastad och reviderad

För Varberg och platserna L2 (HRC2, morän på berg) och L4 (HRC4 svallsediment på lera), Figur 5, gjordes en mindre revidering när föreslagen HRC jämfördes med information från borrhål (Surendran et al., 2020).

Stratigrafin vid L2 är en sannolik övergång från svallsediment på morän på berg till morän på berg (HRC2) och borrhål vid L4 bekräftade svallsediment. Även här återfinns en övergång, vid högre topografi underlagras svallsedimenten av morän på berg, och vid lägre topografi och större jorddjup underlagras sedimenten av lera på morän. För en schakt eller tunnel vid L4 (HRC 4) föreslås även möjliga tekniska åtgärder (t.ex. spont, jet-injektering, ridå- och botteninjektering). Precisionen för den kvartärgeologiska kartan såväl som områdets (jordlagrens) utbredning påverkar jämförelsen mellan karta och borrhålsinformation. Detta kan justeras och preciseras i senare skeden.

Syftet med beskrivningen kopplad till Västlänken (Merisalu och Fransson, 2018) var att identifiera de fem föreslagna referensförhållandena som är vanliga under den marina gränsen i västra Sverige. Samtliga HRC utom HRC3 (isälvsavlagring) kunde identifieras för flera delsträckor (områden) längs Västlänken. För HRC4 och de fall där svallsediment underlagras av morän är morän- och sandlager kopplade och utgör en öppen akvifer (i områden där berget går i dagen). I områden där även lera förekommer i jordlagerföljden utgör sand (svallsediment) en öppen akvifer och morän (under leran) en sluten akvifer.

2.4 Nästa steg: hydrogeologi – flöde och grundvattennivåer

Det första steget är alltså tidiga beskrivningar (hypoteser) för förväntad geometri som bekräftas (eller förkastas och revideras) baserat på geologisk historia och med användning av hydrogeologiska referensförhållanden (HRC). I nästa steg och i vårt fortsatta arbete är det av vikt att beskriva systemets hydrauliska (och geotekniska) egenskaper (heterogenitet och anisotropi). Vidare är det av betydelse hur de identifierade geologiska miljöerna (HRCs) kopplar till sin omgivning (randvillkor) och hur de samverkar hydrauliskt med planerade konstruktioner (fokus på tätning). Centralt för beteendet är de vattenförande geologiska strukturernas uthållighet (jordlager, sprickor eller deformationszoner) och om de kan betraktas som öppna eller slutna akviferer. HRC2 (morän på berg) kan beskrivas som ett exempel på en öppen akvifer och HRC4 (Lertäckta områden) ett slutet magasin i morän eller i isälvsavlagringar. För bedömning av skadlig grundvattenpåverkan är *påverkan* (exempelvis tunnel eller schakt), *effekt* (såsom avsänkning) och *konsekvens* (skada) centrala begrepp.

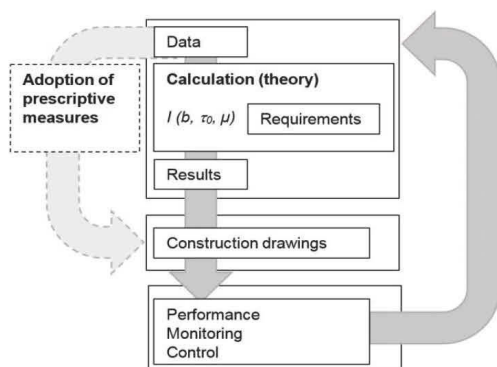
Hydrauliska tester i borrhål (som vi så långt främst har använts för att bekräfta eller förkasta lagerföljd) ger underlag för att ta fram hydrauliska egenskaper för berg och jord runt (ovanför) tunnel och schakt för prognos och kontroll av flöde och tryck, Figur 1. Denna kunskap är också central för detaljerad utformning av tekniska åtgärder och skyddsåtgärder (exempelvis infiltration), Figur 1.

3. TEKNISKA ÅTGÄRDER OCH SKYDDSÅTGÄRDER

För att minska påverkan på grundvattennivåer i en tunnels omgivning och för att minska inflödet behöver den tätas. Ett sätt att göra detta är genom injektering där cementbruk eller annat injekteringsmaterial pumpas ut i spricksystemet för att minska dess porositet och genomsläpplighet. Den information som ingår i beskrivningen av hydrogeologiska referensförhållanden är därför central indata även för utformning av tekniska åtgärder (Figur 1). För utformning av tätande tekniska åtgärder är designprocessen för injektering av betydelse, Figur 6.

Injektering (tätning) behöver liksom beskrivningen av det geologiska och hydrogeologiska systemet hanteras från planering av projekt till uppföljning och långsiktigt underhåll. Detta dels för att geologi, hydrogeologi och miljöpåverkan är centrala för ansökan om vattenverksamhet, dels för att de utgör underlag för utformning av tekniska åtgärder och skyddsåtgärder. Hydrogeologiska förhållanden och egenskaper för injekteringsmaterial i kombination med analytiska lösningar möjliggör uppskattningar av inträngningslängd, $l(b, \tau_0, \mu)$, för injekteringsmaterialet, se Figur 6. För denna skattning används förutom sprickors hydrauliska vidd, b , och injekteringsmaterialets flytgräns och viskositet, τ_0 och μ , även injekteringsövertäck och injekteringstid. Pilen till höger i figuren visar den återkoppling av information som är en viktig del av observationsmetoden.

Både vid projektering (injekteringsdesign) och byggande är ett stegvis tillvägagångssätt baserat på observationsmetoden (inklusive förutsägelse, observation och handling - action) fördelaktig med tanke på de osäkerheter som är förknippade hydrogeologin och den till detta relaterade miljöpåverkan. Fransson et al. (2018) syftar till att presentera teoretisk utveckling (från hävdvunna metoder till vad vi idag ser som en designprocess, baserad på beräkning, se Figur 6) för injektering med hjälp av ett antal referenser och fallstudier. Detta för att belysa vikten och användbarheten av en integrerad och teoretiskt baserad metod för injektering. Integrationen innefattar geologi, hydrogeologi, utformning av tekniska åtgärder och skyddsåtgärder och omgivningspåverkan (se Figur 1).



Figur 6. Designprocess – injektering (från Fransson et al. 2018)
Figure 6. Design process - grouting.

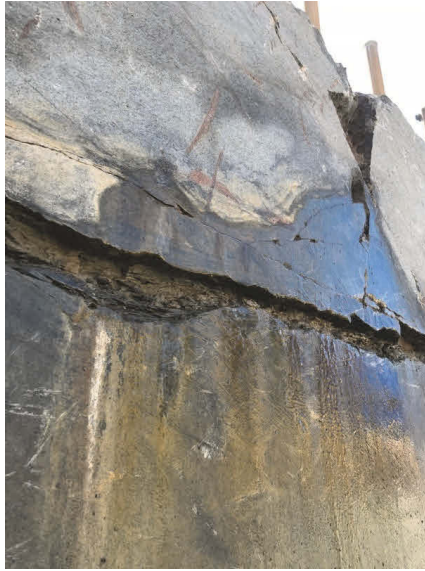
4. UPPFÖLJNING AV TÄTNING OCH MILJÖDOM

Uppföljning av ett tunnelprojekt är central både för att utvärdera tätningsinsatser i enlighet med observationsmetoden (bekräfta alternativt förkasta och revidera förhållanden och utförande) och för att innehålla miljödomen. För miljödomen skall villkor såsom inflöde till tunnel och grundvattennivåer i omgivningen följas upp med syfte att motverka skadlig grundvattenpåverkan till följd av verksamheten. För observationsmetoden skall en anpassning av konstruktion vara möjlig baserat på observerat beteende och genom val bland fördefinierade tekniska utföranden, Figur 1.

För uppföljning i tunnel och i schakt är tunnelkartering och mätning av inflöde viktigt. Tunnelkarteringen kan hjälpa till att svara på frågan *var flödar det in* och användas som vägledning för att anpassa geometri för kommande skärmar baserat på var (huvudsakligt) inflöde observeras, Figur 7. Mätning av inflöde relateras till inflödeskrav i miljödom och svarar på frågan *hur mycket flödar det*. Att mäta inflöde till tunnel eller schakt ger en möjlighet att följa upp arbetet kontinuerligt och identifiera skillnader mellan olika anläggningsdelar. Vad gäller risk för skada så är den nog generellt relaterad till förändringar i grundvattennivåer snarare än till inflödet i sig.

Uppföljning av grundvattennivåer i tunnelns (eller schaktens) omgivning kan användas i observationsmetodens anda för att följa upp beteendet och förståelsen för det hydrogeologiska systemet där tunneln byggs. Uppföljning avser också identifiera var infiltration kan vara nödvändig för att motverka skadlig grundvattenpåverkan till följd av verksamheten. För skadlig grundvattenpåverkan behövs *påverkan* (tunnel), *effekt* (avsänkning) och *konsekvens* (skada).

Ett exempel på grundvattennivåobservationer visas i Figur 8 där en snabbare avsänkning identifieras exempelvis för borrhål No. 1 (och No. 2) för den senare delen av den övre grafen. Detta skulle exempelvis kunna spegla effekten i jordlagren när en tunnel i berg under jordlagren passerar en deformationszon. Den nedre grafen visar en något kortare mätperiod men nivåer också i flera andra mindre påverkade rör förutom de två borrhålen. För borrhål No. 1 och No. 2 har vi alltså en påverkan (förmodas bero av en tunnel) och vi ser en effekt (avsänkning). Hur stor avsänkning som fås i specifika borrhål kan exempelvis påverkas av lokala hydrauliska egenskaper och avståndet till tunnel. Avgörande för om denna avsänkning får någon konsekvens (såsom skada på byggnad pga sättning) relaterar till avsänkning men också till jordens geotekniska egenskaper och byggnadens förmåga att klara en sättning.



Figur 7. Uppföljning, tunnel och schakt - inflöde, kartering.
Figure 7. Monitoring, tunnel and shaft - inflow, mapping.



Figur 8. Uppföljning grundvattennivåer - omgivning.
Figure 8. Monitoring groundwater levels - surroundings.

5. SLUTSATSER OCH FORTSATT ARBETE

Denna rapport beskriver skeden för ett infrastrukturprojekt från ett hydrogeologiskt perspektiv. Vattenverksamhet, miljödöm, hydrogeologiska referensförhållanden och observationsmetoden (med fokus på tätning) föreslås utgöra centrala delar.

Hydrogeologiska referensförhållanden (HRF/HRC) presenteras och tillämpas för två fallstudier, Varberg och Göteborg (Västlänken), för tidiga skeden.

För Varberg och platserna L2 (HRC2, morän på berg) och L4 (HRC4 svallsediment på lera), Figur 4, gjordes en mindre revidering när föreslagen HRC jämfördes med information från borrhål (Surendran et al., 2020). Samtliga HRC utom HRC3 (isälvsavlagring) kunde identifieras för flera delsträckor (områden) längs Västlänken (Merisalu och Fransson, 2018).

Hydrogeologiska referensförhållanden för en specifik plats har sin utgångspunkt i platsens geologiska historia och är tänkt att kunna utgöra underlag både för ansökan om vattenverksamhet och för utformning av tekniska åtgärder och skyddsåtgärder. Utformningen av de senare bör göras i observationsmetodens anda där hydrogeologiska referensförhållanden har potential att utgöra en viktig komponent som en del av en metodutveckling för hydrogeologi, vattenkontroll och infrastrukturbyggande.

I nästa steg och i vårt fortsatta arbete är det av vikt att beskriva systemets hydrauliska egenskaper. Vidare är det av betydelse hur de identifierade hydrogeologiska referensförhållandena kan förväntas vara kopplade till sin omgivning (randvillkor) och hur de samverkar hydrauliskt med planerade konstruktioner (fokus på tätning). Centralt för beteendet är de vattenförande geologiska strukturerna uthållighet (jordlager, sprickor eller deformationszoner) och om de kan betraktas som öppna eller slutna akviferer.

Geometri, hydraulisk heterogenitet och anisotropi samt medelvärdesbildning kommer att undersökas genom fallstudier med hydrogeologiska referensförhållanden som utgångspunkt.

6. REFERENSER

- Bengtsson, M., och G. Gustafson. 1996. Bedömning av grundvatten utgående från grundvatten miljöer (Publication B426, Chalmers University of Technology, Gothenburg).
- Eurocode 1997-1:2004. Eurocode 7: Geotechnical design – Part 1: General rules. European Committee for Standardization.
- Fransson, Å., Stille, H., och M. El Tani. 2018. An integrated approach to rock grouting. In ISRM International Symposium-10th Asian Rock Mechanics Symposium. International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering.
- Holmberg, M., och H. Stille. 2007. Observationsmetodens grunder och dess tillämpning på design av konstruktioner i berg. Stiftelsen Svensk Bergteknisk Forskning/Swedish Rock Engineering Research.
- Lagerlund, E., och M. Housmark-Nielsen. 1993. Timing and pattern of the last deglaciation in the Kattegat region, southwest Scandinavia. *Boreas*, 22(4), 337-347.
- Lundqvist, J. (1983). The glacial history of Sweden. In J. Ehlers (Ed.), *Glacial deposits in north-west Europe* (pp. 77-82). Rotterdam, Netherlands: Balkema.
- Merisalu, J., och Å. Fransson. 2018. Hydrogeological Reference Conditions for Assessment of Environmental Impact and for Grouting Design. In ISRM International Symposium-10th Asian Rock Mechanics Symposium. International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering.
- Miller, U., och A. Robertsson. 1988. Late Weichselian and Holocene environmental changes in Bohuslän, southwestern Sweden. *Geographia Polonica*, 55, 103-111.
- Naturvårdsverket. 2008. Vattenverksamhet, Handbok för tillämpning av 11 kapitlet i miljöbalken.
- Peck, R B. 1969. Advantages and limitations of the observational method in applied soil mechanics. *Geotechnique*, 19(2), s. 171-187.
- Påsse, T. (1990). Description to Quaternary map Varberg No Serie Ae.Nr 102. Sveriges Geologiska Undersökning, Uppsala.
- Stevens, R., Rosenbaum, M., och L. Hellgren. 1991. Origins and engineering hazards of Swedish glaciomarine and marine clays. *Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications*, 7(1), 257-264.
- Surendran, P., Fransson, Å., och M. D. Johnson. 2020. Hydrogeological Reference Conditions-A Relevant Basis for Rock Engineering. In ISRM International Symposium-EUROCK 2020. International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering.



Box 5501
SE-114 82 Stockholm

info@befoonline.org • www.befoonline.org
Besöksadress: Storgatan 19, Stockholm

ISSN 1104-1773