

VATTENVERKSAMHET I URBANA OMRÅDEN: TILLSTÅND, UNDERSÖKNINGAR, TEKNISKA ÅTGÄRDER OCH KONTROLL MED FOKUS PÅ INFRASTRUKTURBYGGANDE

FÖRSTUDIE

Åsa Fransson
Johanna Merisalu

VATTENVERKSAMHET I URBANA OMRÅDEN: TILLSTÅND, UNDERSÖKNINGAR, TEKNISKA ÅTGÄRDER OCH KONTROLL MED FOKUS PÅ INFRASTRUKTURBYGGANDE

**Water operations in urban environments: license,
investigations, technical measures, and
monitoring with a focus on construction of
infrastructure**

Åsa Fransson, Göteborgs universitet (tidigare Chalmers Tekniska
Högskola)

Johanna Merisalu, Chalmers Tekniska Högskola

FÖRORD

Byggande av väg och tunnel i jord och berg i urban såväl som rural miljö skall genomföras på ett socialt, ekonomiskt och ekologiskt hållbart sätt. För att skydda, såväl systemet jord-berg-vatten som, vår omgivande miljö vid infrastrukturbyggande betraktas dessa konstruktioner som *vattenverksamheter*. 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.

Denna rapport redovisar en förstudie och syftar till att presentera ett förslag på en geologisk beskrivning och indelning som möjliggör en ökad förståelse för de geologiska, hydrogeologiska och mekaniska egenskaperna för jord och berg för både tidiga och sena skeden av ett infrastrukturprojekt.

Utöver författarna har värdefull input erhållits från Mikael Creütz, Mats Karlsson och Jesper Petersson.

I referensgruppen har Ingvar Rhén (Sweco), Tommy Ellison (Besab), Per Tengborg (BeFo), Sven Liedberg (Skanska) och Mira Andersson Ovuka (Trafikverket) ingått.

Förstudiens mål var att skapa ett ramverk för en doktorandstudie och detta mål uppfylldes; därutöver är rapporten en god introduktion till geologiska typmiljöer och som sådan av stort värde.

Stockholm

Patrik Vidstrand

SAMMANFATTNING

Denna rapport är en förstudie och syftar till att presentera förslag på en geologisk beskrivning och indelning som möjliggör en ökad förståelse för de geologiska, hydrogeologiska och mekaniska egenskaperna för jord och berg som underlag för att bedöma påverkan på grundvatten. Detta är tänkt att fungera som underlag vid en eventuell ansökan om vattenverksamhet och utgöra stöd vid utformning av kontrollprogram och skyddsåtgärder. En relevant beskrivning är också av stor vikt för val av tekniska tätningsåtgärder.

Centralt i förstudien är *geologiska och hydrogeologiska typmiljöer* eller *referensförhållanden*, med detta avses en huvudsaklig indelning som väljs baserat på likheter i tekniska parametrar och egenskaper med fokus på parametrar relaterade till vattentryck och flöde. Arbetet för jord utgår här från huvudstratigrafier (lagerföljder) över och under högsta kustlinjen. Underliggande berg delas in i deformationszoner och mellanliggande bergmassa.

Arbetet beskriver svenska förhållanden men arbetssättet kan överföras till andra geologiska miljöer. Teknisk åtgärd (utförs ofta lokalt i anslutning till blivande väg eller järnväg) baseras på (lokal) typmiljö (referensförhållande) där typmiljöns eventuella hydrauliska koppling till känsligt objekt påverkar både krav och den tekniska åtgärdens omfattning.

Sammanfattning och slutsatser samt förslag på ramverk för fortsatt arbete återfinns i kapitel 5 och 6.

Nyckelord: Vattenverksamhet, tillstånd, undersökning, kontroll, geologisk och hydrogeologisk typmiljö (referensförhållande), konceptualisering, teknisk åtgärd, skyddsåtgärd, tätning, injektering, infrastruktur, urban miljö

SUMMARY

This report is a pilot study, and it aims to present suggestions for a geological description and classification which enables an increased understanding of the geological, hydrogeological and mechanical properties for soil and bedrock as a basis for assessment of groundwater impacts. This is intended to serve as a basis in an eventual judicial proceeding in the Land and Environmental court and in designing monitoring setups and safety measures. A relevant description is also of significant importance in the selection of technical sealing measures.

Central to the pilot study are geological and hydrogeological type settings or reference conditions where the division is primarily based on similarities regarding technical parameters and characteristics with a focus on parameters related to groundwater pressure and flow. The work for soil is based on main stratigraphy's above and below the highest coastline. Underlying bedrock are divided into deformation zones and intermediary rock masses.

The work describes Swedish conditions, but the work procedure is expected to be transferable to other geological environments. Technical measures (often implemented locally in connection with the future road or railway) are based on (local) type settings (reference conditions) where the type settings potential hydraulic connections to sensitive objects influence both the requirements and the magnitude of the technical measure.

Summary, conclusions and framework suggestions for future work is found in chapter 5 and 6 (in Swedish).

Key words: Water operations, permission, investigation, monitoring, geological and hydrogeological type setting (reference condition), conceptualization, technical measure, protective measure, sealing, grouting, infrastructure, urban environment

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

FÖRORD	i
SAMMANFATTNING	iii
SUMMARY	v
INNEHÅLLSFÖRTECKNING	vii
1 INLEDNING	1
1.1 Syfte och mål	5
1.2 Omfattning	5
2 RAMVERK – PLANERINGS- OCH GENOMFÖRANDEPROCESS, KRAV OCH OBSERVATIONSMETODEN	7
2.1 Planerings- och genomförandeprocess	7
2.2 Miljöbalken, vattenverksamhet och krav	7
2.3 Tidiga beskrivningar som länk till observationsmetoden	8
3 GEOLOGISKA OCH HYDROGEOLOGISKA TYPMILJÖER (REFERENSFÖRHÅLLANDEN)	11
3.1 Huvudstratigrafier över och under högsta kustlinjen	11
3.2 Geologiska och hydrogeologiska typmiljöer (referensförhållanden) – förslag	12
3.3 Typmiljöer (referensförhållanden) och observationsmetoden	15
4 TYPMILJÖ (REFERENSFÖRHÅLLANDE), SYSTEMBETEENDE OCH TEKNISK ÅTGÄRD	17
5 SAMMANFATTNING OCH SLUTSATSER	21
6 RAMVERK FÖR FORTSATT ARBETE	23
7 REFERENSER	25
BILAGA A KONCEPTUELL MODELL	27

1 INLEDNING

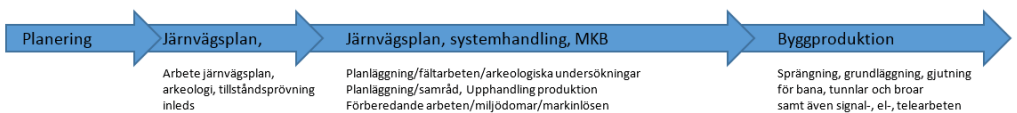
När en tunnel eller ett schakt i jord eller berg tätas görs detta för att minska vattengenomsläpplighet och flöde. Detta för att så långt det är möjligt minska påverkan på grundvattnets trycknivåer i omgivningen och samtidigt få en säker arbetsmiljö. För schakter och grundläggningsarbeten under grundvattenytan är grundvattensänkande åtgärder många gånger en nödvändighet för att undvika t.ex. hydraulisk bottenupprekning, bottenuppluckring och stabilitetsproblem. Blir grundvattensänkningen långvarig kan även grundvattenberoende ekosystem och grundläggning på byggnader och anläggningar skadas.

Titeln på denna förstudie är *Vattenverksamhet i urbana områden: Tillstånd, undersökningar, tekniska åtgärder och kontroll med fokus på infrastrukturbyggande*. Syftet med förstudien är att presentera ett förslag på ett ramverk och en metodik för ett doktorandprojekt som skall fokusera på tillståndsprocessen med avseende på vattenverksamhet vid infrastrukturbyggande och som involverar flera projektskeden (planering, projektering och genomförande) och flera tekniska discipliner.

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).

Ramverket för denna förstudie utgörs av tre delar: *planerings- och genomförandeprocessen* för infrastrukturprojekt; *tillståndsprövning* och krav relaterat till *vattenverksamhet* och; *observationsmetoden*. *Observationsmetoden* (se exempelvis Peck, 1969) innebär i princip att design kan förändras allteftersom ett projekt fortskrider och där identifiering av relevanta geologiska miljöer (bekräftade eller förkastade och reviderade) kan användas som underlag för att välja bland fördefinierade konstruktions- eller injekteringsklasser. Med de senare menas här exempel på tekniskt utförande i tidiga skeden och en preciserad beskrivning såsom exempelvis antal injekteringshål, hålllängd, bruksval, injekteringstider etc under skedet för byggproduktion. Tanken i detta doktorandprojekt är att lyfta in observationsmetodens arbetssätt redan tidigt i ett projekt och att relevanta och principiella geologiska och hydrogeologiska beskrivningar kan fungera som utgångspunkt för eventuell tillståndsprövning och sedan vidareutvecklas och uppdateras under projektering och genomförande. Centralt är att tidigt beskriva geologin med fokus på den tekniska tillämpningen, i detta fall tätning för att hantera vatten.

Med ett järnvägsprojekt som ett principiellt exempel på en *planerings- och genomförandeprocess*, se Figur 1, inleds arbetet med planläggningsprocessen där utredningsarbete, eventuell tillåtlighetsprövning av regeringen och utformning och fastställan av järnvägsplanen ingår (Trafikverket, 2014). Arbetet med järnvägsplanen sker i samråd med myndigheter, kommuner, allmänhet samt andra intressenter och fastställs av byggherren. Parallellt med planarbetet upprättas en miljökonsekvensbeskrivning (MKB), en teknisk beskrivning och en systemhandling (Trafikverket, 2014). Om järnvägsplanen påverkar grundvattennivåerna krävs tillstånd enligt miljöbalken. För att kunna påbörja anläggandet av den planerade tillståndspliktiga järnvägen behöver tillståndet erhållas från Mark- och miljödomstolen.



Figur 1 Enkel beskrivning av planerings- och genomförandeprocessen för järnväg (ett principiellt exempel). Eventuell ansökan om vattenverksamhet utgör del av tillståndsprövningen. Denna inleds tidigt i processen.

Under projekteringen konkretiseras projektet och detaljnivån ökar. Förundersökningen, vilken är en del av projekteringen, ger information om förutsättningarna för projektet och dess omfattningen kan få stor inverkan på säkerheten för projektets tider och kostnader (Tengborg, 1998). Förundersökningarna innefattar både en skrivbordsstudie, där tillgänglig information sammanställs, samt vidare fältundersökningar (observationer, mätningar, provtagning etc.) (Sturk, 1998). Förundersökningen har som målsättning att ge tillräckliga underlag för utformningen av de tekniska lösningarna (Trafikverket, 2014).

Arbetet följs sedan av upphandling där en systemhandling och en bygghandling kan utgöra förfrågningsunderlag. Systemhandlingens syfte är att ge en ingenjörsgelogisk prognos över berg-och/eller jordförhållandena. I bygghandlingen ingår ritningar, digitala modeller, och detaljerade beskrivningar om berg-och/eller jordförhållandena. Vid stora projekt är det vanligt med uppdelade bygghandlingar för olika delsträckor (Trafikverket, 2014). Bristfälliga förundersökningar i kombination med/eller komplexa (hydro)geologiska förhållanden kan förorsaka anbud som ej överensstämmer med verkligheten (Tengborg, 1998). Upphandlingen följs sedan av byggproduktionen, med sådant som sprängning, grundläggning och gjutning för bana, tunnlar och broar. Under denna fas arbetar entreprenören och byggherren gemensamt utifrån det avtal som upprättats. Det är i denna fas som det visar sig om byggherrens geologiska prognos, som entreprenören har baserat sitt anbud på, stämmer överens med verkligheten (Tengborg, 1998). Exemplet ovan rör ett järnvägsprojekt men ansökan om tillstånd för vattenverksamhet kan behöva göras inför annat byggande om det inte är uppenbart att varken allmänna eller enskilda intressen skadas genom inverkan på vattenförhållandena.

Observationsmetoden har sin generella användning i byggproduktionsskedet, se Figur 1, men tanken här är att kunna definiera samt identifiera relevanta geologiska miljöer redan under tillståndsprovningen. De inledande geologiska beskrivningarna föreslås vara enkla och principiella för att sedan bli mer detaljerade och platsspecifika över tid. De identifierade geologiska typmiljöerna e.g. det som utgör förväntade referensförhållanden för vilka tekniska lösningar sedan skall anpassas, se avsnitt 2.3, kan i ett tidigt skede ge underlag för preliminära tekniska lösningar men även identifiera miljöer - referensförhållanden där ytterligare undersökning krävs. Från tidigt stadium (skrivbordstudien) och vidare i projekteringen och byggskedet kan dessa typmiljöer bekräftas eller förkastas och revideras. Detta skulle möjliggöra en systematisk hantering, beskrivning och uppdatering redan från tidiga skeden. Relevanta geologiska miljöer skulle då kunna kopplas till en kunskapsbank som presenterar exempel på möjliga tekniska lösningar och relevant uppföljning och kontroll vid tätning.

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. Då bergets beskaffenhet aldrig kan vara fullständigt känd vid dimensioneringen för en åtgärd behöver planering för tillämpning av observationsmetoden ingå i alla delar av projekteringen (Trafikverket, 2014). Observationsmetoden har som krav att planerade åtgärder skall föreligga som kan användas i byggskedet när oförutsedda geologiska förhållanden upptäcks. Detta förutsätter regelbundna kontroller som gör det möjligt att planera och realisera robusta designlösningar under byggandet. Detta för en säker och ekonomisk hantering. Användandet av observationsmetoden främjar också en aktiv samverkan mellan entreprenör och byggherre med resultatet att valda tekniska åtgärder optimeras med hänsyn till kostnader samt önskad kvalitet och funktion. Observationsmetoden förutsätter alltså större insatser i projekteringsfasen och i kontrollen under byggskedet (Kadefors och Bröchner, 2008). Holmberg och Stille (2007) betonar också att observationsmetoden kan innebära både minskande och ökande förstärknings-/tätningståtgärder. Relevanta geologiska miljöer (inklusive beskrivningen av deras ingenjörsgelogiska egenskaper) i kombination med möjliga tekniska lösningar skulle även utgöra ett underlag för hantering av risker och osäkerheter. När riskbedömningen genomförs från start så blir riskhanteringen en röd tråd genom såväl planering som undersökningar, tillståndsansökan, projektering, byggande och kontroll. Tanken är inte att observationsmetoden skall användas i tidiga skeden men att den ingenjörsgelogiska beskrivningen, uppföljningen och revideringen av denna, redan tidigt skall göras på ett sätt så att den länkar till kommande designlösningar, skyddsåtgärder och kontroller.

Erfarenheter visar att man (vi - branschen) kan bli bättre på att ta in relevant teknisk kompetens i ett tidigt skede. Vidare blir det ibland ett så stort fokus på tillståndsprovningen som sådan att lämpliga/möjliga tekniska lösningar skjuts på framtiden. För att kunna ställa relevanta krav/villkor i tillståndsansökan behöver det säkerställas att kraven är såväl tekniskt relevanta som uppnåbara och mätbara. Därför

behöver de (hydro)geologiska undersökningarna i större grad koppla både till möjliga tekniska lösningar för projektspecifika krav och till hur kontrollprogrammet utformas.

Mycket kunskap finns och att sammanställa en kunskapsbank (t.ex. konkreta exempel på väl genomförda tätande tekniska lösningar) vore av stort värde. Hur fungerar den tätande åtgärden (t.ex. en tätskärm och dess möjliga läckvägar), hur kan dess funktion verifieras och hur bestäms tillhörande övervakning, skyddsåtgärder och kontroll.

För vattenverksamhet är påverkan på grundvattensituationen central. Hur stor påverkan blir beror på de hydrauliska egenskaperna hos jord och berg men också på systemets randvillkor och dess grundvattenbalans. Med randvillkor menas exempelvis om den studerade volymen (jord-berg-vatten) gränsar mot ett vattendrag med kontinuerligt tillflöde eller om volymen har täta kontakter mot omvärlden (fungerar som ett badkar). I grundvattenbalansen ingår: flöde till ett område från volymer eller magasin uppströms; från nederbörd i avrinningsområdet; och från läckage via exempelvis vattenledningar och genom vatten från infiltration. Detta gör att situationen i urban miljö blir mer komplex än situationen utanför städerna i rural miljö. Flöde (grundvattenströmning) från den studerade volymen sker via läckage till tunnlar genom deformationszoner och omgivande bergmassa men också via (yt)avrinning i övre och undre akvifer. Av betydelse är exempelvis om akviferen fungerar som ett badkar (har täta gränser) där avsänkningen kan bli stor och där återhämtningen riskerar att bli långsam. För att länka vattenverksamheten och tekniska åtgärder behöver vi därför studera det (hydro)geologiska systemet både lokalt och i större skala. Större skala för att studera påverkansområdet för exempelvis avsänkning och lokalt i anslutning till det som skall byggas för att utforma den tekniska lösningen.

Ett område med känsliga (skydds)objekt, t.ex. byggnader med grundläggning av trä eller känsliga och skyddsvärda naturområden, som kopplar till en tunnel via en komplex vattenförande deformationszon, kräver särskild uppmärksamhet. En bergmassa med ett glest spricknätverk med sprickor med låg transmissivitet och låg konnektivitet (de kommunicerar dåligt) får en låg vattengenomsläpplighet och behöver beroende på tillåtna flöden till tunneln inte utgöra ett problem. För schakter i jord är jordens vattengenomsläpplighet av stor betydelse. Kontroll av grundvattnets trycknivåer och grundvattenflöde i berg och jord är ofta, som tidigare nämnts, av stor betydelse för infrastrukturprojekt eftersom vattenverksamheter inte får skada varken allmänna eller enskilda intressen. Möjliga konsekvenser när vattenrelaterade problem uppstår vid byggande av tunnlar eller schakt i berg och jord, kan vara försenat slutförande av vägar och järnvägar och påverkan på känsliga skyddsobjekt (både lokala och regionala transporter, skador på byggnader, konstruktioner och miljö och minskad kapacitet för energibrunnar).

För att säkerställa att grundvattnets trycknivåer inte påverkas behövs ett robust kontrollprogram. Exempel kan vara åtgärdsnivåer där mer frekvent mätning av trycknivåer erfordras för att säkerställa eventuell påverkan. Vidare kan åtgärdsnivåer för infiltration av vatten vara en viktig del av kontrollprogrammet. För att bygga upp ett robust kontrollprogram behövs längre mätserier av grundvattnets trycknivå för att, med

statistiska metoder, kunna beskriva de naturliga variationerna och utifrån dessa bestämma åtgärdsnivåerna. Det är också av stor vikt att de observationsrör som valts ut för kontrollprogrammet är representativa för de grundvattenmagasin som behöver övervakas.

Arbetet med att planera och bygga exempelvis en tunnel involverar många olika discipliner (t.ex. geologi, hydrogeologi, geoteknik, bergmekanik och bergbyggnad), intressenter (myndigheter, konsulter, entreprenörer) och projektskeden (planering, projektering, byggande och förvaltning). Vid en tillståndsansökan för vattenverksamhet formuleras tillåtna flöden och trycknivåer men den ömsesidiga kunskapen och kommunikationen om vad som är tekniskt möjligt och ekonomiskt rimligt vad avser tätning behöver lyftas tidigt i projekten för att möjliggöra en god dialog och en utveckling som kan överföras mellan alla skeden. En röd tråd och en spårbarhet genom ett projekt där undersökningar, beskrivningar av jord och berg, tekniska åtgärder samt riskhantering (geologi, hydrogeologi, geoteknik, bergmekanik) på ett transparent sätt länkas till tillstånd och kontroll utgör en god målbild.

1.1 Syfte och mål

Denna rapport är en förstudie och syftar till att presentera förslag på en geologisk beskrivning och indelning som möjliggör en ökad förståelse för de geologiska, hydrogeologiska och mekaniska egenskaperna för jord och berg som underlag för val av tekniska åtgärder. En samverkan inom områdena geologi, hydrogeologi och geoteknik är central för arbetet.

Målet med förstudien är att tydligare formulera hypoteser, metod och genomförande för ett doktorandprojekt som avser hantera vattenverksamhet i urbana områden, för detta är såväl miljöprövning som undersökningar, tekniska åtgärder och kontroll viktiga delar. Arbetet har sitt fokus på vattenflöde och flödeskontroll och avser sammanställa exempel på tekniska åtgärder och tätningstrategier.

1.2 Omfattning

Den i rapporten föreslagna indelningen i geologiska typmiljöer (referensförhållanden) baseras på arbeten med huvudstratigrafier och hydrogeologiska typmiljöer, se Bengtsson och Gustafson (1996) och Eklund (2002). De principiella idéerna bakom *geologiska typmiljöer* och deras relation till exempel på *tekniska typlösningar* utgår exempelvis från Baynes et al. (2005) och Gustafson (2012) där begreppen "*rock classes*" respektive "*pre-defined design classes*" används. Beskrivningen skall i förlängningen möjliggöra analys av beteenden för den specifika geologiska och hydrogeologiska typmiljön i samverkan med möjliga tekniska åtgärder.

2 RAMVERK – PLANERINGS- OCH GENOMFÖRANDEPROCESS, KRAV OCH OBSERVATIONSMETODEN

2.1 Planerings- och genomförandeprocess

Ramverket för detta projekt utgörs av planerings- och genomförandeprocessen för infrastrukturprojekt, krav relaterat till vattenverksamhet och observationsmetoden. En förenklad, principiell beskrivning av processen för järnväg presenteras i Figur 1.

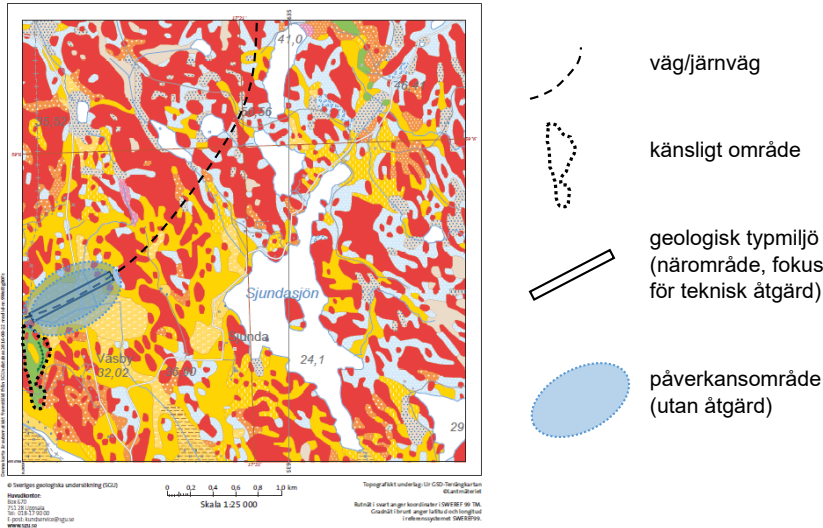
2.2 Miljöbalken, vattenverksamhet och krav

Vattenverksamhet är som tidigare nämnts benämningen på verksamheter och åtgärder som förändrar vattnets djup eller läge, avvattnar mark, leder bort grundvatten eller ökar grundvattenmängden genom tillförsel av vatten. I allmänhet måste man söka tillstånd för sådana verksamheter eller åtgärder hos Mark- och miljödomstolen.

Ansökan om vattenverksamhet förväntas innehålla såväl en miljökonsekvensbeskrivning (MKB) och en teknisk beskrivning (TB). Figur 2 ger en principiell skiss som inkluderar jordartskarta (SGU), väg eller järnväg, känsligt område (i exemplet isälvsavlagring för vattenförsörjning), geologisk typmiljö (för närområde, fokus för teknisk åtgärd) och påverkansområde (större risk för hydraulisk påverkan om akvifer mellan konstruktion och känsligt område är genomsläpplig och kontinuerlig).

Frågor som är centrala för ansökan om vattenverksamhet är:

- Vilka känsliga områden, värden eller objekt finns i anslutning till det som skall byggas (t.ex väg eller järnväg)? Detta kan vara sättningskänsliga områden, förorenade områden eller områden som är dämning- eller översvämningskänsliga. Värden kan vara natur- eller kulturvärden, men också värden relaterade till vatten- och energiförsörjning, jordbruk, skogsbruk, fiske och täkter (t.ex. grus och berg).
- Hur ser det ut i direkt anslutning till det som skall byggas? Här föreslås geologiska- och hydrogeologiska typmiljöer (referensförhållanden) spela en viktig roll.
- Vad skall byggas, hur skall det byggas och hur påverkas omgivningen? Här kan typmiljöer och konstruktioners utformning (t.ex. i spår och profil) ge ett underlag för att bedöma påverkan (både kvalitativt och kvantitativt). För berg kan det handla om tunneldrivning, bergschakt i skärning (tunnel, tråg, skärning) och borrhåll bergschakt. Även för jord handlar det om skärning och schakt. Här kan förslag på möjliga typlösningar i relation till (förväntad och senare bekräftad eller förkastad och reviderad) typmiljö och lagerföljd ha sin plats. Hantering av vatten (länshållning, dränering, infiltration och grundvattennivåer); grundläggning och hantering av massor; och eventuellt arbete i vatten (muddring och schakt) är också centrala delar både för utförande och ansökan om vattenverksamhet.



Figur 2 Exempel med jordartskarta (SGU), väg/järnväg (streckad linje), känsligt område (isälvsvavlagring för vattenförsörjning, prickad linje), geologisk typmiljö (närområde, fokus för teknisk åtgärd, svart box) och hydrauliskt påverkansområde (utan åtgärd, blå cirkel).

2.3 Tidiga beskrivningar som länk till observationsmetoden

Observationsmetoden innebär att design kan förändras allteftersom ett projekt fortskrider och identifiering av (hydro)geologisk typmiljö (bekräftad eller förkastad och reviderad) kan användas som underlag för att välja bland fördefinierade konstruktions- eller injekteringsklasser.

För att underlätta designarbetet, kan geologiska och hydrogeologiska typmiljöer - referensförhållanden, definieras och beskrivas i ett tidigt skede i ett projekt genom att använda relevanta tekniska parametrar och gruppera typmiljöerna i klasser med liknande tekniska egenskaper. De geologiska och hydrogeologiska typmiljöerna kan sedan användas för att definiera t.ex. injekteringsklasser som är utformade i relation till projektspecifika flödeskrav.

Geologisk typmiljö/referensförhållande: I detta arbete utgör detta en huvudsaklig indelning som väljs baserat på likheter i tekniska parametrar och egenskaper. Fokus på parametrar relaterade till vattentryck och flöde. Arbetet för jord utgår här från huvudstratigrafier (lagerföljder) över och under högsta kustlinjen. Underliggande berg delas in i deformationszoner och mellanliggande bergmassa. Arbetet beskriver svenska förhållanden (eller liknande) men arbetssättet kan överföras till andra geologiska miljöer. Teknisk åtgärd (lokal) baseras på (lokal) typmiljö där typmiljöns eventuella koppling till känsligt objekt samt krav påverkar åtgärdens omfattning.

Hydrogeologisk typmiljö/referensförhållande: Geologisk typmiljö/referensförhållande, hydrauliska parametrar och randvillkor.

Injekterings- eller tätningsklass: Injekterings- eller tätningsdesign (teknisk lösning eller designlösning) anpassas till hydrogeologisk typmiljö och projektspecifika krav (t.ex. vattenflöde eller tryck). Detta kan sammanställas i en matris som inkluderar hydrogeologiska typmiljöer, krav och injekteringsklass motsvarande Figur 3 som beskriver ett exempel med bergklass (A-D), krav (I-III) och utförande (utförande 1-3), se Gustafson (2012). I tidiga projektskeden kan de utgöras av exempel på möjliga tekniska lösningar för en viss miljö. Dessa bör dock inte läsas i tidiga skeden och kan gärna relatera till den tekniska lösningens funktion. Under projekteringen görs detaljerade tekniska lösningar (baserat på beräkningar, hävdvunna metoder, modellförsök, observationsmetoden etc. se t.ex. Holmberg och Stille, 2007). Ett exempel som relaterar till den regelmatris som presenteras nedan återfinns i Fransson och Petersson (2017).

		Bergklass			
		A	B	C	D
Krav	I	Utförande 1			
	II		Utförande 2		
	III			Utförande 3	

↑
Regel

Figur 3 Regelmatris för styrning av ett bergprojekt med observationsmetoden (från Gustafson, 2012).

3 GEOLOGISKA OCH HYDROGEOLOGISKA TYPMILJÖER (REFERENSFÖRHÅLLANDEN)

3.1 Huvudstratigrafier över och under högsta kustlinjen

Hydrogeologiska typmiljöer beskrivs exempelvis i Eklund (2002). Eklund (2002) kommenterar att för att identifiera hydrogeologiska typmiljöer under svenska förhållanden krävs, förutom geologisk kunskap, tillgång till geologisk och hydrogeologisk information.

I typmiljöns system ingår:

- Berggrund
- Jordarter
- Geologisk stratigrafi
- Högsta kustlinjen
- Hydrologi och markanvändning

Tabell 1 beskriver de två huvudstratigrafier som finns i Sverige och där högsta kustlinjen spelar en väsentlig roll. Stratigrafin kan vara mer eller mindre fullständig beroende av den geologiska utvecklingen på den specifika platsen. De två huvudstratigrafierna nedan föreslås utgöra basen för både geologiska och hydrogeologiska typmiljöer. Dessa ger underlag för att ta fram geometriskt ramverk, materialegenskaper och rumslig fördelning (se exempel på konceptuell modell i Bilaga A som utgår ifrån Olsson et al., 1994). Miljöns (områdets) randvillkor utgör underlag för att bedöma hydraulisk påverkan (t.ex. ändrat flöde pga bortledning av vatten, sänkning/höjning av trycknivåer).

Tabell 1 Två huvudstratigrafier i Sverige: en för områden över högsta kustlinjen och en för områden under högsta kustlinjen (från Eklund, 2002, vilken är baserad på Bengtsson och Gustafson, 1996). I urban miljö kan delar av lagerföljden kompletteras med/ersättas av fyllnadsmaterial.

Över högsta kustlinjen				Under högsta kustlinjen				
Torv	Vind- sediment	Sväm- sediment	Postglaciäl sediment	Torv	Vind- sediment	Svall- sediment	Sväm- sediment	Postglaciäl sediment
Isälvsmaterial			Glaciäl avlagringar	Lera och/eller gyttja				
Morän				Svallsediment				
Berggrund Kristallin/sedimentär				Lera				Glaciäl avlagringar
			Isälvsmaterial					
			Morän					
				Berggrund Kristallin/sedimentär				

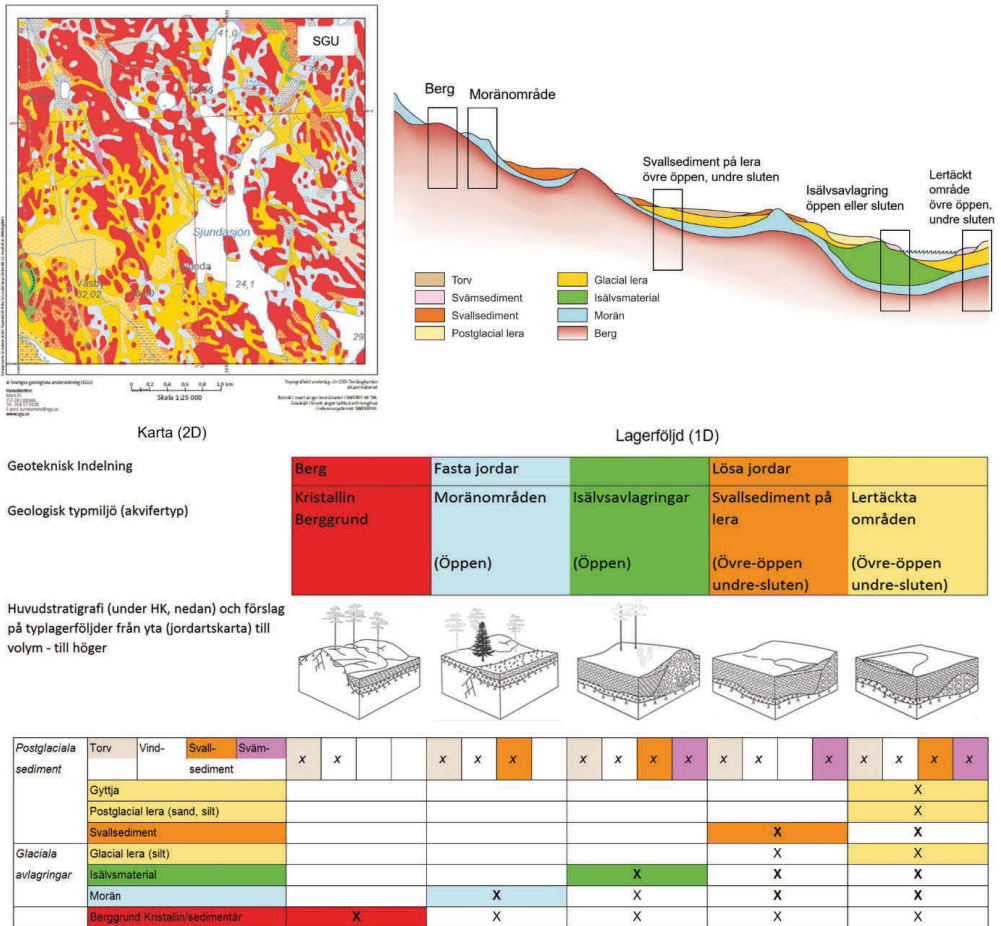
3.2 Geologiska och hydrogeologiska typmiljöer (referensförhållanden) – förslag

Geologiska typmiljöer (referensförhållanden) föreslås beskriva ett antal referensförhållanden för ett område och används för att på ett systematiskt sätt förenkla geologin. De geologiska typmiljöerna antas vara mer eller mindre homogena med avseende på de ingenjörifrågor som studeras. Indelningen har sitt fokus på geologi, hydrogeologi och eventuell påverkan på flöde och trycknivåer men den förväntas också vara användbar för geotekniska frågeställningar då den i sin indelning i princip skiljer på fasta (friktions-) och lösa (kohesions-) jordar.

Arbetet genomförs här genom en beskrivning av geologiska typmiljöer för området. Syftet är att förenkla geologin genom att gruppera geologiska material (lagerföljder) med liknande ingenjörsgelogiska egenskaper. Fem geologiska typmiljöer föreslås:

- Kristallint berg (deformationszoner och mellanliggande bergmassa)
- Moränområden
- Svallsediment på lera
- Isälvsavlagringar
- Lertäckta områden (slutet magasin i morän eller isälvsavlagringar)

Dessa utgår från den huvudstratigrafi (lagerföljd) som kan förväntas för områden under högsta kustlinjen (se t.ex. Eklund, 2002). I övre högra hörnet i Figur 4 visas de fem geologiska typmiljöerna i en principiell skiss av lagerföljder från höga till låga nivåer i terrängen. För nivåer över högsta kustlinjen föreslås de tre första miljöerna (utan lera) representera huvudstratigrafier över högsta kustlinjen (se Tabell 1). Figur 4 ett exempel med jordartskarta (uppe till vänster), huvudstratigrafi under högsta kustlinjen (från Eklund 2002, nere till vänster i tabell) och förslag på förväntade lagerföljder (tidig hypotes) för: berg i dagen (röd på jordartskarta); morän (blå); isälvsavlagring (grön), lertäckta områden (gul) och svallsediment (orange, kan överlagra såväl lera som isälvsmaterial och morän). Detta innebär att man kan ta fram en preliminär beskrivning av området i tre dimensioner (från jordartskarta i 2D och föreslagna principiella lagerföljder i 1D).



Figur 4 Från ytan i en karta (2D) och lagerföljd (1D) kan tidig hypotes för (del)volymen (3D) tas fram. Jordartskarta (yta, uppe till vänster), principiell skiss av lagerföljder från höga till låga nivåer i terrängen (uppe till höger), huvudstratigrafi under högsta kustlinjen (nere till vänster) och förslag på geologiska typmiljöer och förväntade lagerföljder (nere till höger) för: berg i dagen (röd på jordartskarta); morän (blå); isålvavlagring (grön), svallsediment, kan överlagra såväl lera som isålvsmaterial och morän (orange) och lertäckta områden, kan överlagra såväl morän som isålvsmaterial (gul). X innebär att samtliga lager antas som en tidig hypotes, X, visar huvudsaklig akvifer (öppen alternativt slutet). De övre lagren (torv, vind-, svall- och svåmsediment, markerade med x) förväntas utgöra begränsade avlagringar. Arbetet syftar sedan till att verifiera alternativt förkasta och revidera tidig lagerföljd i relation till konstruktionsdjup.

Bokstaven X för lagerföljderna innebär att vi inledningsvis antar att samtliga lager finns, X (fet stil), visar vad som är förväntad(e) huvudsaklig(a) akvifer(er). Baserat på

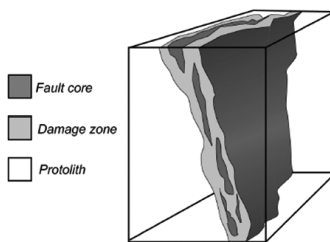
detta verifieras eller förkastas tidigt lagerföljd. Detta för att stratigrafin kan vara mer eller mindre fullständig beroende av den geologiska utvecklingen på den specifika platsen.

Lertäckta områden kan exempelvis återfinnas både i dalar i mer höglänta delar men också i de låglänta områdena. Mäktigheter, storlek (yta), grundvattennivåer (randvillkor) och materialegenskaper kommer att vara av vikt för hantering i senare skeden.

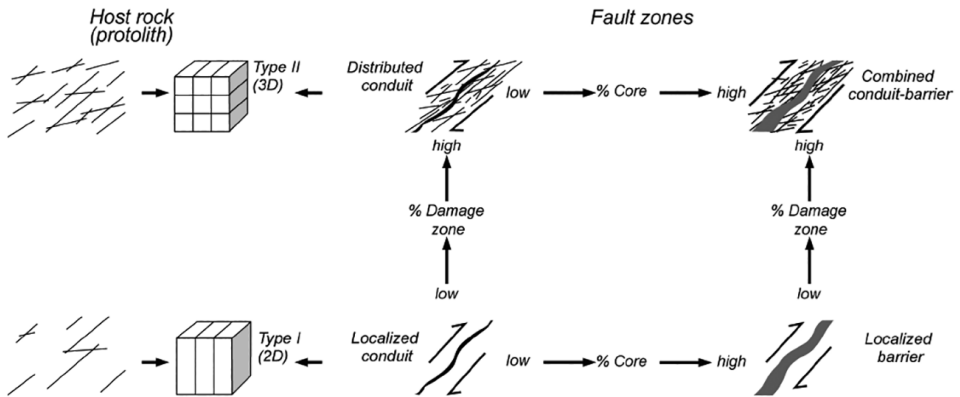
Ovan förväntas ge en generell beskrivning av ett område. Vid sidan av detta kan delsträckor eller delområden hanterats separat för att dokumentera de geologiska förhållanden som baserat på tillgängligt material rimligen kan förutses och beskrivas i ett tidigt skede. Detta gäller såväl dokumenterade eller identifierade överensstämmelser som avvikelser gentemot de ovan föreslagna geologiska typmiljöerna.

På en övergripande nivå i tidiga skeden kan berg förslagsvis utgå ifrån en indelning i (förväntade) deformationszoner och mellanliggande sprickig bergmassa, se Figur 5. Detta kan göras mha exempelvis lineament från topografiska och strukturgeologiska kartor. Den sprickiga bergmassan kan i sin tur vara sprickfattig eller sprickrik, se vänstra delen av Figur 6, och deformationszoner och större enskilda sprickor kan ha olika karaktär och vara olika svåra att hantera under byggande, högra delen.

Även om denna information kanske inte finns i tidiga skeden så är de hydrogeologiska miljöer som finns i Figur 6 något som man potentiellt kan behöva en beredskap för i senare projektskeden. Ett glest spricknätverk med låg transmissivitet och låg konnektivitet förväntas ha en flödesdimension mellan 1D och 2D (Type I) och ett sprickrikt, transmissivt och välkonnekterat nätverk (med begränsad sprickfyllnad) förväntas ha en flödesdimension mellan 2D och 3D (Type II).



Figur 5 Principiell beskrivning av den sprickiga bergmassan med deformationszon (fault zone) med omvandlad kärna (fault core) och skadezon (damage zone) och mellanliggande bergmassa (protolith eller host rock). Figur från Fransson och Hernqvist (2010) med utgångspunkt från Caine et al. (1996).



Figur 6 Konceptuellt schema som beskriver hydrauliska strukturer (eller hydrogeologiska typmiljöer) för stora sprickor och deformationszoner, högra delen av figuren utgår ifrån Caine et al. (1996). Fransson och Hernqvist (2010) vidareutvecklade beskrivningen så att den även inkluderar den omgivande bergmassan, vänstra delen av figuren.

Baserat på geologiska typmiljöer och projektspecifika krav kan exempel på tekniska typlösningar beskrivas. Dessa kan variera beroende på närheten till känsliga objekt, olika utformning (t.ex. konstruktionsdjup), närheten till andra konstruktioner etc.

3.3 Typmiljöer (referensförhållanden) och observationsmetoden

Det är av vikt att lyfta fram att antaganden som baseras på tidiga undersökningar inte alltid visar sig vara korrekta när man jämför med de geologiska förhållanden som visar sig under byggandet. Det är också så att en konstruktion som utformas baserat på den minst fördelaktiga tolkningen av geologin kan resultera i orimliga kostnader för projektet. Observationsmetoden (se t.ex. Peck, 1969) innebär att utformningen kan anpassas baserat på de undersökningar som görs i senare skeden. En indelning i geologiska typmiljöer bidrar till att områden med liknande egenskaper kan jämföras på ett systematiskt sätt. Utvärdering av tidigare tekniska lösningar i miljöer med liknande egenskaper kan sålunda utgöra grunden för den tekniska lösningen. Exempel på relevanta tekniska typlösningar skulle möjliggöra en tidig beskrivning och en successiv uppdatering av kunskap och förståelse över tid. Erfarenhet från typlösningar och dess effekt kan då också ligga till grund för de villkor som formuleras under tillståndsprovningen.

Det kan vara fördelaktigt att i tidiga skeden reducera antalet undersökningar och om möjligt fokusera på undersökningar som kan representera geologiska typmiljöer (referensförhållanden), snarare än undersökningar för alla material. Kunskap från liknande geologiska typmiljöer också utanför det specifika projektområdet kan användas som underlag för teknisk design. Att i ett tidigt projekteringsstadium rikta

undersökningarna för information om typmiljö och vidare i projekteringen rikta undersökningarna för information som kan bekräfta eller förkasta och revidera typmiljön skulle på ett kostnadseffektivt sätt bidra till bättre underlag för både tillståndsprövningen och designarbetet.

4 TYPMILJÖ (REFERENSFÖRHÅLLANDE), SYSTEMBETEENDE OCH TEKNISK ÅTGÄRD

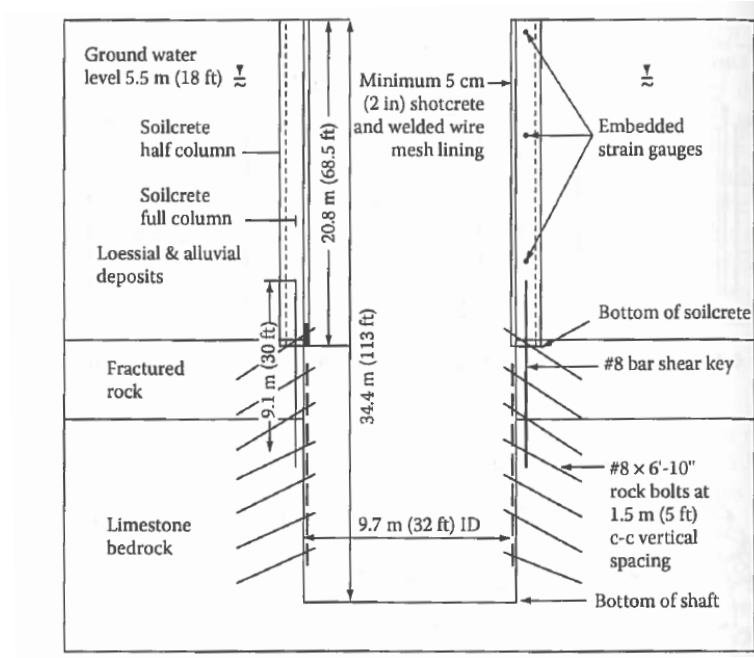
Fokus föreslås vara på att beskriva geometri, parametrar och beteenden för de specifika geologiska och hydrogeologiska typmiljöerna (referensförhållandena) och dess samverkan med möjliga tekniska åtgärder. De fem geologiska typmiljöerna förväntas utgöra det huvudsakliga utfallsrummet (under svenska förhållanden) och de fem miljöerna antas utgöra en god grund för att ge exempel på möjliga tekniska lösningar.

Systemets beteende (typmiljö och teknisk åtgärd) kopplar till centrala processer och parametrar. Med fokus på flöde och deformation är grundvattnets trycknivåer, gradienter och diffusivitet (hur snabbt en tryckpuls rör sig i systemet) av central betydelse. Även för ansökan om vattenverksamhet är trycknivåer och flöden av vikt.

Ändringar i trycknivåer påverkar både flöde och effektivspänningar i systemet vilket länkar hydrogeologi och geoteknik (e.g. Persson, 2007, Olsson, 2013). En ökad gradient innebär en ökad risk för erosion både för jordmaterial och material för tätning. I denna fråga har täta konstruktioner i urban miljö likheter med frågeställningar kopplade till dammkonstruktioner. Sänkning av grundvattentrycket är en möjlig konsekvens vid byggande av tunnlar och schakt, men konstruktionen kan även resultera i en höjning av grundvattentrycket (se Pujades et al, 2012, Pujades et al, 2014 och Ye-Shuang et al., 2014). Pujades et al. (2012) presenterar en analytisk metod som visar den dämmande effekt som täta konstruktioner kan ha på flöde och grundvattentryck.

För berg och tunneldrivning liksom för borrhade bergschakt är det deformationszonerna och den mellanliggande bergmassan som främst behöver beskrivas. För ett tunnelpåslag (tunnel – tråg – skärning) i urban miljö under högsta kustlinjen utgör typmiljön för lertäckta områden ett relevant underlag för att ge exempel på möjliga tekniska lösningar.

Även för jord handlar det om skärning och schakt. Djupet på konstruktionen i relation till lagerföljden är av vikt. En skärning eller schakt i övre akvifer i lertäckta områden kan kräva andra tekniska åtgärder än ett djupt schakt som går ner till undre akvifer och berg och som dessutom kan vara i kontakt med en deformationszon.



Figur 8 Tvärsnitt för schakt (soilcrete, illustration från Kirsch och Bell, 2013).
Section view of soilcrete access shaft.



Figur 9 Byggande av schakt (bild från Kirsch och Bell, 2013).
Shaft excavation in progress.

5 SAMMANFATTNING OCH SLUTSATSER

Målet med denna förstudie var att tydligare formulera hypoteser, metod och genomförande för ett doktorandprojekt som avser hantera vattenverksamhet i urbana områden. För detta utgör såväl eventuell ansökan om vattenverksamhet som undersökningar, tekniska åtgärder och kontroll viktiga delar.

Vattenverksamhet är benämningen på verksamheter och åtgärder som förändrar vattnets djup eller läge, avvattnar mark, leder bort grundvatten eller ökar grundvattenmängden genom tillförsel av vatten. I allmänhet måste man anmäla eller söka tillstånd för sådana verksamheter eller åtgärder hos länsstyrelsen eller Mark- och miljödomstolen.

Förstudien föreslår och presenterar en indelning i geologiska och hydrogeologiska typmiljöer (referensförhållanden) baserad på huvudstratigrafier för jord och de hydrogeologiska typmiljöerna beskrivna i Bengtsson och Gustafson (1996), Eklund (2002). För berg utgår vi ifrån deformationszoner och den mellanliggande bergmassan, se Caine et al. (1996), Fransson och Hernqvist (2010) och Fransson och Petersson (2017). De principiella idéerna bakom *geologiska typmiljöer* och deras relation till exempel på *tekniska typlösningar* utgår här från Baynes et al. (2005) och Gustafson (2012) där begreppen ”*rock classes*” respektive ”*pre-defined design classes*” används.

Geologisk typmiljö (referensförhållande): I detta arbete utgör detta en huvudsaklig indelning som väljs baserat på likheter i tekniska parametrar och egenskaper. Arbetet för jord utgår här från huvudstratigrafier (lagerföljder) över och under högsta kustlinjen. Underliggande berg delas in i deformationszoner och mellanliggande bergmassa.

Hydrogeologisk typmiljö (referensförhållande): Geologisk typmiljö, hydrauliska parametrar och randvillkor.

De geologiska typmiljöerna som föreslås i rapporten antas utgöra det huvudsakliga utfallsrummet (under svenska förhållanden) och de fem miljöerna antas utgöra en god grund för konceptualisering av systemet geologi-konstruktion som underlag för att ge exempel på och i senare skeden detaljutforma möjliga tekniska lösningar utifrån krav på funktion. Arbetet syftar i förlängningen till att man skall kunna verifiera alternativt förkasta och revidera tidig lagerföljd och länka till arbetet med observationsmetoden under ett projekts senare skeden.

Fördelen med en beskrivning som baseras på hydrogeologiska typmiljöer och deras hydrauliska egenskaper (t.ex. genom medelvärdesbildning) är att dessa kan beskrivas tidigt och sedan successivt följas upp (inledningsvis empiriskt men förhoppningsvis också även teoretiskt). Hanteringen innebär att man kan utveckla kunskapen om de olika miljöerna och bekräfta eller förkasta och revidera de flödesprognoser som görs. Observationsmetoden som ses som central i detta arbete innebär att design kan förändras allteftersom ett projekt fortskrider och i detta ramverk kan identifiering av (hydro)geologisk typmiljö (bekräftad eller förkastad och reviderad) länkas till och användas som underlag för design för att i byggskedet kunna välja bland fördefinierade konstruktions- eller injekteringsklasser (designlösningar).

Indelningen möjliggör en preliminär beskrivning av området i tre dimensioner (från jordartskarta, 2D och föreslagna principiella lagerföljder, 1D). Detta är särskilt viktigt för hydrogeologiska frågor där man behöver beskriva en större volym jord-berg-vatten för att identifiera hur vatten tillförs till volymen. Allt annat lika kommer en volym som har god kontakt till omgivande vattendrag påverkas på ett annat sätt än om vattentillförseln är begränsad. Inledningsvis antas att samtliga jordlager finns och förväntad(e) huvudsaklig(a) akvifer(er) identifieras.

Tekniska åtgärder (t.ex. skyddsåtgärder och tätning) bör baseras på de lokala förhållandena (i anslutning till tunnel) och dess eventuella koppling till känsliga (skydds)objekt är central för val av åtgärd och åtgärdens omfattning.

6 RAMVERK FÖR FORTSATT ARBETE

Det fortsatta arbetet syftar till att stärka och förtydliga kopplingen mellan miljöprovning (tillstånd för vattenverksamhet), teknisk utformning för funktionskrav och kontroll samt att förtydliga en röd tråd och spårbarhet genom processen. Projektet avser även ge ett ramverk för tvärvetenskapliga diskussioner (t ex geologi, hydrogeologi, geoteknik och injektering-tätning av jord och berg).

Målet med doktorandprojektet är:

1. En vidareutvecklad beskrivning (konceptualisering) och tillämpning av de föreslagna geologiska och hydrogeologiska typmiljöerna (referensförhållandena) för berg, jord (och tätande konstruktion).
2. En sammanställning av exempel på tekniska (tätning)lösningar för de föreslagna typmiljöerna (referensförhållandena), fallstudier.
3. En beskrivning av flödesdimension och medelvärdebildning för hydrauliska egenskaper (relaterat till typmiljö) före och efter tätning. Detta länkar miljöprovning, typmiljö och det tekniska utförandet (tätning och skyddsåtgärd såsom infiltration).
4. Att använda geologiska och hydrogeologiska typmiljöer för att beskriva geologiska scenarier där kritiska faktorer som relaterar till vattentryck, gradient och diffusivitet (relaterar till hastighet hos tryckpuls) kan identifieras och analyseras med syfte att utveckla teknisk utformning och kontrollprogram. Utveckling av konceptuell, numerisk och (eventuellt) fysisk modell (laboratoriemodell).

Inledningsvis utförs en litteraturstudie och i denna ingår även en sammanställning av verkliga fall där geologi studeras för att relatera till geologisk typmiljö. Detta relateras sedan till teknisk åtgärd. Syftet med detta är att återspegla verklighetens bra lösningar men också att vidareutveckla dem. Tanken är att beskriva relevanta lagerföljder, relevant geometri för underliggande berg och ta fram intressanta typfall för dagens (och framtidens) goda tekniska lösningar. Detta för att tydligare kunna illustrera (och modellera) när systemet fungerar väl och när problem uppkommer. Viktigt är att utveckla typfall och deras förenkling i samverkan mellan hydrogeologi, geoteknik och kunskap om tekniska lösningar.

Geologiska och hydrogeologiska typmiljöer kommer att användas för att gå från kartmaterial (yta) till volym baserat på förväntad lagerföljd. Detta möjliggör en generell analys av problem och risker och kan utgöra underlag för att beskriva och ge exempel på möjliga tekniska lösningar utan att låsa fast lösningen vid en specifik plats. Noggrannheten i kartmaterialet gör att man inte säkert kan fastställa det exakta läget för en viss geologi men genom att länka till observationsmetodens arbetssätt möjliggörs en successiv förfining och gör att man kan ändra typmiljö och förslag på teknisk lösning om/när det visar sig nödvändigt.

Hydrogeologiska typmiljöer för deformationszoner och mellanliggande bergmassa kopplar till flödesdimension. För en sprickrik bergmassa med ett välkopplat spricknätverk föreslås ett 3D-flöde, delar av Hallandsås skulle kunna vara en sådan miljö. För ett sprickfattigt nätverk med begränsad koppling mellan sprickorna föreslås ett flöde närmare ett 1D-flöde. Delar av bergmassan mellan deformationszoner på Äspö skulle kunna vara en sådan miljö. I ett 1D-flöde får strypningarna eller flaskhalsarna stor betydelse. Liknande beskrivningar kan göras för jordlager. I det fortsatta arbetet kommer typmiljö och flödesanalys att integreras och studeras.

De geologiska och hydrogeologiska typmiljöerna används för att utveckla en enkel konceptuell, numerisk och eventuellt fysisk modell (laboratiemodell) för att representera hydraulisk samverkan (flöde, vattentryck, gradient) mellan berg, jord, konstruktion (t.ex. tunnel/schakt). De olika miljöerna utgör grunden för att beskriva scenarier där kritiska faktorer kan identifieras. Målsättningen är att sammanfatta resultatet från fältdata och analyser i en graf som underlättar karakterisering, tidig problemidentifikation och val av utförande. Central input i densamma är vattenflöde och tryck. Sammanställningen är tänkt att ge tidig vägledning om problem och risker för tunnlar eller schakter och är tänkt att främst relatera till typmiljö (referensförhållande) och konstruktionsdjup.

Följande preliminära delsteg föreslås för att länka ansökan om vattenverksamhet, undersökningar, teknisk utformning och kontrollprogram till projekterings- och byggproduktionskedet:

- Identifiera geologiska typmiljöer (referensförhållanden) inom område för konstruktion av väg- eller spår. Använd relevanta ingenjörsgelogiska beskrivningar och konceptualiseringar, se förslag i Bilaga A, med syfte att länka till observationsmetoden i byggskedet.
- Ge verkliga exempel eller principiella förslag på tekniska typlösningar för respektive typmiljö när profilen skär: övre respektive både övre och undre akvifer i jord eller; genomförs som skärning i jord-berg eller som tunnel i berg.
- Formulera (principiella) undersöknings- och kontrollprogram som möjliggör mätning av viktiga parametrar (del av konceptualisering) och kontroll av resultat. Lyft även fram skyddsåtgärder (t.ex. infiltration).
- Identifiera känsliga områden, värden eller (skydds)objekt i anslutning till väg- eller spårlinje.
- Identifiera om akviferen mellan konstruktion och känsligt område, värde eller (skydds)objekt är genomsläpplig och kontinuerlig. Analysera påverkansområde med och utan relevant teknisk åtgärd.
- Använd resultat som underlag för t.ex. teknisk beskrivning och Miljökonsekvensbeskrivning och ansökan om tillstånd för vattenverksamhet. Vidareutveckla och revidera geologisk och hydrogeologisk (ingenjör)beskrivning för projektering och byggande.

7 REFERENSER

- Bengtsson, M-L, Gustafson, G, 1996. Bedömning av grundvatten utgående från grundvattenmiljöer. Chalmers, Geologiska institutionen, Publ B426, Göteborg.
- Baynes, FJ, Fookes, PG, Kennedy, JF, 2005. The total engineering geology approach applied to railways in the Pilbara, Western Australia. Bulletin of Engineering Geology and the environment, Vol. 61, No. 1, s. 67-94.
- Caine J S, Evans J P, Forster C B, 1996. Fault zone architecture and permeability structure, *Geology*, 24, s. 1025-1028.
- Carlsson, L, Gustafson, G, 1997. Provpumpning som geohydrologisk undersökningsmetodik. Publ. C62, Geologiska institutionen, Chalmers tekniska högskola.
- Eklund, Helen S, 2002. Hydrogeologiska typmiljöer Verktyg för bedömning av grundvattenkvalitet, identifiering av grundvattenförekomster samt underlag för riskhantering längs vägar. Geologiska institutionen, Chalmers tekniska högskola, Göteborg.
- Eurocode 1997-1:2004. Eurocode 7: Geotechnical design – Part 1: General rules. European Committee for Standardization.
- Fransson Å, Hernqvist, L, 2010. Geology, Water Inflow Prognosis and Grout Selection for Tunnel Sealing: Case Studies from Two Tunnels in Hard Rock, Sweden. ITA-AITES World Tunnel Congress. Vancouver, Canada, Maj 17-19.
- Fransson, Å, Petersson, J, 2017. Geological and hydrogeological reference conditions for rock engineering: An example for grouting design at Äspö Hard Rock Laboratory, Sweden. In Proceedings of AfriRock 2017, ISRM International Symposium, 30 September - 6 October, Cape Town, South Africa
- Gustafson G, 2012. Hydrogeology for rock engineers, Stockholm, BeFo Rock Engineering Research Foundation.
- Holmberg M, Stille H, 2007. Observationsmetodens grunder och dess tillämpning på design av konstruktioner i berg. Stiftelsen Svensk Bergteknisk Forskning/Swedish Rock Engineering Research.
- Kadefors A, Bröchner, J, 2008. Observationsmetoden i bergbyggande: Kontrakt och samverkan. SveBeFo Rapport K, 28.
- Kirsch, K, Bell, A, ed. 2013. Ground improvement. CRS Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, Florida.
- Naturvårdsverket. 2008. Vattenverksamhet, Handbok för tillämpning av 11 kapitlet i miljöbalken.

- Olsson, O, Bäckblom, G, Gustafson, G, Rhén, I, Stanfors, R, Wikberg, P. 1994. The structure of conceptual models with application to the Äspö HRL Project. TR 94-08. Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co.
- Olsson, M, 2013. On rate-dependency of Gothenburg Clay. Doktorsavhandling, Chalmers tekniska högskola.
- Peck, R B, 1969. Advantages and limitations of the observational method in applied soil mechanics. *Geotechnique*, 19(2), s. 171-187.
- Persson, J, 2007. Hydrogeological Methods in Geotechnical Engineering: Applied on settlement caused by underground construction. Doctoral thesis, Chalmers University of Technology, Gothenburg.
- Pujades E, Lopez A, Carrera J, Vazquez-Sune E, Jurado A, 2012. Barrier effect of underground structures on aquifers. *Engineering Geology* Vol. 145-146, pp 41-49.
- Pujades E, Vazquez-Sune E, Carrera J, Jurado A, 2014. Dewatering of a deep excavation undertaken in a layered soil. *Engineering Geology* Vol. 178, pp 15-27.
- Sturk, R, 1998. Engineering geological information: its value and impact on tunnelling. (Doctoral Thesis), Royal institute of Technology, Stockholm.
- Tengborg, P, 1998. "Risker vid stora undermarksprojekt: planering, produktion och förvaltning." SveBeFo Rapport 38.
- Trafikverket, 2014. Projektering av bergkonstruktioner (2014:144). Retrieved from Trafikverket: https://trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/11641/Ineko.Product.RelatedFiles/2014_144_Projektering_av_bergkonstruktioner_handbok.pdf
- Ye-Shuang X, Shui-Long S, Lei M, Wen-Juan S, Zhen-Yu Y, 2014. Evaluation of the blocking effect of retaining walls on groundwater seepage in aquifers with different insertion depths. *Engineering Geology* Vol. 178, pp 15-27.

BILAGA A KONCEPTUELL MODELL

Konceptuell modell för att fånga faktorer som påverkar flöde- och trycknivåer (utgår från Olsson et al., 1994).

Model Name/Definition	
<p>Tidig konceptuell modell för jord (och berg) med fokus på hydrogeologi: flöde- och trycknivåer (påverkansområden)</p>	
<p>Modellens / beskrivningens syfte Specify the intended use of the model</p> <p>* Identifiera central(a) process(er), geometriska ramverk, materialegenskaper och randvillkor i samband med inventering (vilka data behöver vi)</p> <p>* Underlag för att identifiera geologiska och hydrogeologiska typmiljöer</p> <p>* Typmiljöer underlag för bedömning av påverkan (vattenverksamhet) och för att underlätta val av typlösningar (till exempelvis systemhandling och Teknisk Beskrivning, MKB).</p>	
<p>Processer Specification of the processes accounted for in the model, definition of constitutive equations</p> <p>Hydraulik/hydrologi: Flöde, trycknivåer. Konstitutiv ekvation: Darcy's lag</p>	
CONCEPTS	DATA
Geometriskt ramverk och parametrar	
<p>Dimensionality and/or symmetry of model Specification of what the geometric (structural) units of the model are and the geometric parameters (the ones fixed implicitly in the model and the variable parameters)</p> <p>Lagerföljd (typlagerföljder, se t.ex. Eklund, 2002) och typmiljö/referensförhållande. Mäktighet lager. Berg (bergmassa/deformationszoner, se t.ex. Fransson och Petersson, 2017)</p>	<p>Specify size of modelled volume Specify source of data for geometric parameters (or geometric structure) Specify size of units or resolution</p> <p>SGUs jordartskarta + beskrivning</p> <p>SGUs berggrundskarta + beskrivning Topografisk karta – lineament bergmassa/def. zon SGUs strukturgeologiska och geofysiska kartor</p>
Materialegenskaper	
<p>Specification of the material parameters contained in the model (should be possible to derive from the process and structural descriptions)</p> <p>Transmissivitet, specifik kapacitet, Q/dh Konduktivitet Magasinskoeficient Diffusivitet (stor/snabb spridning avsänkning)</p>	<p>Specify source of data for material parameters (should normally be derived from output of some other model)</p> <p>SGUs brunnsarkiv SGUs hydrogeologiska kartor + beskrivning Tabellvärden eller hydrauliska tester i specifika magasin (Exempel på källor: Utredningar från Trv, Länsstyrelsen, Mark- och miljöödomstol etc)</p>
Rumslig variation / Spatial assignment method	
<p>Specification of the principles for how material (and if applicable geometric) parameters are assigned throughout the modelled volume</p> <p>T.ex. konstanta inom lager</p>	<p>Specify source of data for model, material and geometric parameters as well as stochastic parameters</p>
Randvillkor / Boundary conditions	
<p>Specification of (type of) boundary conditions for the modelled volume</p> <p>Ostörda trycknivåer (startvillkor/randvillkor)</p> <p>Ytan – t.ex. tät Botten – t.ex. tät Ränder – t.ex. tät, öppen, gradient</p>	<p>Specify source of data on boundary and initial conditions</p> <p>Nivåer grundvattenrör Nivåer i vattendrag (sjöar, åar) som potentiellt kan vara i kontakt med magasin längs sträckning. SMHI Nederbörd – evapotranspiration SMHI SGUs jordarts- och berggrundskarta. Bergmassa/Def. zon</p>
Utdata / Output parameters	
<p>Specify parameters and possibly derived parameters of interest</p> <p>Trycknivåer (påverkansområdets storlek), flöde</p> <p>Kan utgöra del av underlag för bedömning av risker relaterat till stabilitet, sättning, erosion</p>	



Box 5501
SE-114 85 Stockholm

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

ISSN 1104-1773