



## ENHETLIG MODELL FÖR PROJEKTERING AV BERGINJEKTERING – UNDERLAGS- RAPPORT

Mikael Creütz

Magnus Eriksson

Thomas Janson

Magnus Zetterlund



# **ENHETLIG MODELL FÖR PROJEKTERING AV BERGINJEKTERING – UNDERLAGSRAPPORT**

## **Unified Design Approach for Rock Grouting – Basis report**

Mikael Creütz, Golder Associates  
Magnus Eriksson, Trafikverket (tidigare Statens Geotekniska Inst.)  
Thomas Janson, Tyréns  
Magnus Zetterlund, Norconsult

BeFo Rapport 167  
Stockholm 2017  
ISSN 1104-1773  
ISRN BEFO-R—167—SE



## FÖRORD

Vid anläggande av tunnlar i berg behöver berget i de flesta fall injekteras för att erhålla dels en tillräckligt torr miljö i tunneln, dels för att undvika skadlig omgivningspåverkan på grund av grundvattenbortledning. Injektering av berget är en omfattande aktivitet i de flesta bergtunnlar som byggs i Sverige och utförs vanligtvis som kontinuerlig förinjektering med cementbaserade injekteringsmedel.

Kostnaden för injektering utgör ofta en stor del av entreprenadsumman och ofta leder arbetena till tidsförskjutningar och ekonomiska tvister. Orsaker till detta är bland annat olika tolkningar av bergets egenskaper och skilda åsikter om hur injekteringen skall projekteras och utföras. Trafikverket har därför inom ramen för PIA, *Produktivitetsförbättringar I Anläggningsbranschen*, tagit initiativ till ett projekt som benämns ”Enhetlig modell för projektering av berginjektering”.

Syftet med detta projekt ”Enhetligt modell för projektering av berginjektering” är att skapa en systematisk och strukturerad projekteringsmetodik. Därvid uppnås förhoppningsvis en effektivare projekteringsprocess där resultatet går att följa upp och därmed möjliggöra förbättringar inom projektering och injekteringslösningar.

Det allmänna arbetet för projektet har letts av en projektgrupp bestående av fyra personer (dvs författarna till denna rapport). För att inhämta branschens åsikter och uppfattningar har ett antal externa aktiviteter anordnats, såsom workshops, webb-enkät och presentationer på branschdagar. Vidare har tre fristående delprojekt utförts med fokus på olika delar av injekteringsprocessen.

Projektet har under arbetes gång haft möten och fått synpunkter från en referensgrupp bestående av Thomas Dalmalm (Trafikverket), Håkan Stille (Geokonsult Stille), Ann Emmelin (Golder), Sven Hultsjö (Golder) och Per Tengborg (BeFo).

Stockholm i april 2017

*Per Tengborg*



## SAMMANFATTNING

Under de senaste decennierna har en ökad kunskap och förståelse om hur cementinjektering i sprickigt hårt kristallint berg betar sig. Den ökade kunskapen och förståelsen har dock inte generellt utnyttjats till fullo. Det förekommer stora variationer i projektering och utförande, även mellan projekt med liknande förutsättningar.

För att strukturera och systematisera projekteringsmetodik för injektering har Trafikverket initierat projektet ”Enhetlig modell för projektering av berginjektering”, vid utförandentreprenader av bergtunnlar. Syftet med projektet är att skapa en branschgemensam och sammanhållen projekteringsmetodik som resulterar i ett enhetligt och likartat genomförande av undersökningar och projektering oberoende av aktör.

För att uppnå ovanstående har i Sverige verksamma inom branschen blivit inbjudna att vara delaktiga i projektet genom tre stycken delprojekt samt via möten, workshops och enkätundersökning.

Som underlag för framtagandet och utformningen av projekteringsmetodik har tre delprojekt genomförts enligt följande:

- Karakterisering och design
- Teknisk beskrivning
- Kontrakt och ersättningsformer

Resultatet av projektets arbete är att det upprättats ett dokument som beskriver projekteringsmetodik. Dokumentet föreslås läggas till som en bilaga till Trafikverkets publikation ”*Projektering av bergkonstruktioner*” /Trafikverket, 2015/.

Därutöver föreslås en uppdatering och revidering av AMA Anläggning och RA anläggning samt MER Anläggning. Inledningsvis rekommenderas att förslagen till justeringar införs via Trafikverket, för att därefter implementeras genom Svensk Byggtjänst försorg i samband med återkommande versionsuppdateringar av ovan nämnda referensverk.

Projekteringsmetodik föreslås baseras på tre olika Projekteringskategorier (PK) beroende på aktuella förutsättningar.

Indelning i Projekteringskategori utgör en grund för omfattning och innehåll av undersökning och injekteringsprojektering för samtliga skeden i en byggprojektering. I de tidigare projekteringskedena är fokus mer på undersökningar/utredningar och dess resultat. I de senare skedena, som bygghandlingsprojekteringen, ligger fokuset på vilka analyser som lämpligen görs för att kunna upprätta en objektsanpassad injekteringsprognos, uttryckt i injekteringsklasser.

De föreslagna projekteringskategorierna (PK) är följande:

- PK1-låga till måttliga krav på täthet. Projekteringen baseras på erfarenheter och hävdvunna metoder/lösningar.
- PK2-måttliga till höga krav på täthet. Projekteringen baseras delvis på erfarenheter och hävdvunna metoder/lösningar, men med krav på vissa analyser och viss övervakning.
- PK3-höga till mycket höga krav på täthet. Projekteringen baseras på välgrundade antaganden och objektsspecifika analyser samt observationsmetoden. Inom denna kategori nyttjas inga hävdvunna metoder/lösningar

Val av projekteringskategorier (PK) och genomförande av projektering görs enligt följande fyra steg:

1. Bedöm typberg genom karakterisering av bergmassans vattenförande egenskaper
2. Bedöm täthetskrav som beror på omgivningen (inläckagekrav) och injekteringens komplexitet (svårighetsgrad) samt om speciella förhållanden förekommer.
3. Välj projekteringskategori(er) (PK) baserat på punkt 1 och 2.
4. Genomför projektering baserat på rekommendationer tillhörande respektive vald projekteringskategori (PK) och projektskede

Omfattning av fastställda injekteringsklasser redovisas i bygghandlingsskedet i bergteknisk prognos med tillhörande teknisk beskrivning (TB) och mängdförteckning (MF).

Denna rapport diskuterar och redogör även för de förslag till kompletteringar som rekommenderas i AMA Anläggning och RA Anläggning samt mall till mängdförteckning som ansluter till MER Anläggning.



## SUMMARY

There has been a large increase in the knowledge and understanding during the last decades in Sweden regarding sealing of rock tunnels using mostly cementitious rock fissure grouting. This increased knowledge, derives from research throughout different rock tunneling works in Sweden, has however not fully resulted in a best grouting design practice. There is still a large variety in design and performance of grouting works, even though comparable rock mass and hydraulic conditions are present.

In order to make sealing of tunnels more efficient the Swedish Transport Administration has initiated a project to develop a unified design approach for rock grouting in hard crystalline rock. The aim of the design approach is to have a coherent and structured process and methodology for grouting design, resulting in an appropriate, similar and transparent design approach independent of designer. The purpose is thus to introduce explicit guidelines for grouting design.

To achieve this, the Swedish grouting industry has been invited to participate in the work, in meetings, workshops, surveys and sub-projects. Accordingly, three sub-projects have been performed as an essential basis for the development of the design approach. The sub-projects are:

- Rock characterisation and design
- Technical specifications
- Contract and plan for payment

The proposed grouting design methodology is based on three different Design Categories (DC) depending on current conditions:

**DC 1** [low to fair sealing demands]: The grouting design is based mainly on experience and a standardized design for the grouting. However, the designer still needs to validate the assumptions and verify that the grouting design is valid for the specific grouting situation.

**DC 2** [fair to high sealing demands]: The assumed grouting design is partly based on experience, which means that it to a certain extent can be applied to a standardized design. There is, however, a higher demand on analysis and monitoring for DC 2 compared to DC 1.

**DC 3** [high to very high sealing demands]: Grouting designs have to be based on well-founded, object-specific analyzes, verification of assumptions and results based on the principles of the observational method. In DC 3 there is no standardized design.

The choice of appropriate Design Categories will aid the designers and have three main objectives:

- to establish a relevant design methodology for the grouting design;

- to specify the amount of grouting design work needed in each design category during the design phases as well as giving recommendations for suitable ground investigations;
- to establish a detailed prognosis for the grouting works expressed as grouting classes for execution.

In the earlier stage, the focus is more on investigation and its results. In the later stage, design of the construction document, is the focus is on which analysis shall be done to establish a custom items prognosis of grouting expressed as grouting classes. The grouting classes will be use in technical specification and bill of quantities and prognosis for further procurement of grouting works in performance contracts.

The unified design approach for grouting in hard crystalline rock is planned to be implemented as follows:

- The unified design approach methodology will be incorporated in the existing “guidelines” for design of underground structures in rock supplied by the Swedish Transport Administration;
- Adjusted default text for technical specifications as basis for an up-date of the Swedish guidance for the preparation of particular conditions for Building and Civil Engineering Works and Building Services Contracts (AMA Anläggning in Swedish);
- Instructions and advices as an aid for carrying out technical specifications as basis for an up-date of the Swedish guidance for the preparation of particular conditions for Building and Civil Engineering Works and Building Services Contracts (RA Anläggning in Swedish);
- Detailed template for bill of quantities as basis for an up-date of the Swedish plan for payment for the preparation of particular conditions for Building and Civil Engineering Works and Building Services Contracts (MER Anläggning in Swedish).

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

FÖRORD.....	I
SAMMANFATTNING.....	III
SUMMARY .....	V
<b>1 INLEDNING.....</b>	<b>1</b>
1.1 ALLMÄNT .....	1
1.2 BAKGRUND.....	1
1.3 SYFTE2 .....	
1.4 FÖRUTSÄTTNINGAR .....	2
<b>2 GENOMFÖRANDE.....</b>	<b>3</b>
2.1 ÖVERGRIPANDE.....	3
2.2 INLEDANDE WEBINARIUM OCH WORKSHOPS .....	4
2.3 ENKÄT .....	5
2.4 DELPROJEKT.....	5
2.4.1 KARAKTERISERING OCH DESIGN .....	6
2.4.2 TEKNISK BESKRIVNING .....	6
2.4.3 KONTRAKT OCH ERSÄTTNINGSFORMER.....	7
2.4.4 GRÄNSSNITT .....	7
<b>3 PROJEKTUNDERLAG .....</b>	<b>9</b>
3.1 WORKSHOPS.....	9
3.2 ENKÄT .....	10
3.3 DELPROJEKT OCH UPPRÄTTANDE AV GRÄNSSNITT .....	12
3.3.1 KARAKTERISERING OCH DESIGN .....	13
3.3.2 TEKNISK BESKRIVNING .....	14
3.3.3 KONTRAKT OCH ERSÄTTNINGSFORMER.....	15
<b>4 DISKUSSION OCH IMPLEMENTERING .....</b>	<b>17</b>
4.1 BILAGA TILL ”PROJEKTERING AV BERGKONSTRUKTIONER”.....	17
4.1.1 BAKGRUND .....	17
4.1.2 IMPLEMENTERINGFÖRSLAG PROJEKTERINGSMETODIK.....	20
4.1.3 SAMMANFATTNING.....	22
4.2 TEKNISK BESKRIVNING ENLIGTAMA ANLÄGGNING OCH RA ANLÄGGNING.....	23
4.2.1 BAKGRUND .....	23
4.2.2 IMPLEMENTERINGFÖRSLAG AMA ANLÄGGNING.....	23
4.2.3 IMPLEMENTERINGFÖRSLAG RA ANLÄGGNING.....	26
4.2.4 SAMMANFATTNING.....	26
4.3 MÄNGDFÖRTECKNING ENLIGT MER ANLÄGGNING.....	27

4.3.1 BAKGRUND .....	27
4.3.2 KONTRAKT OCH ERSÄTTNINGSFORM.....	28
4.3.3 IMPLEMENTERINGSFÖRSLAG MER ANLÄGGNING .....	30
4.3.4 FÖRSLAG TILL VIDAREUTVECKLAD ERSÄTTNINGSFORM .....	33
4.3.5 SAMMANFATTNING.....	36
<b>5 FÖRSLAG PÅ FÖRSATT ARBETE.....</b>	<b>39</b>
<b>REFERENSER.....</b>	<b>41</b>
<b>BILAGOR .....</b>	<b>43</b>
<b>BILAGA 1 ENKÄTUNDERSÖKNING</b>	
<b>BILAGA 2 DELUPPDRAG KARAKTÄRISERING OCH DESIGN</b>	
<b>BILAGA 3 DELUPPDRAG TEKNISK BESKRIVNING</b>	
<b>BILAGA 4 DELUPPDRAG KONTRAKT OCH ERSÄTTNINGSFORM</b>	

# 1 INLEDNING

## 1.1 ALLMÄNT

Vid anläggande av tunnlar i berg behöver berget i de flesta fall injekteras för att erhålla dels en tillräckligt torr miljö i tunneln, dels för att undvika skadlig omgivningspåverkan på grund av grundvattenbortledning. Injektering av berget är en omfattande aktivitet i de flesta bergtunnlar som byggs i Sverige och utförs vanligtvis som kontinuerlig förinjektering med cementbaserade injekteringsmedel.

Kostnaden för injektering utgör ofta en stor del av entreprenadsumman och ofta leder arbetena till tidsförskjutningar och ekonomiska tvister. Orsaker till detta är, enligt branschens uppfattning, bland annat olika tolkningar av bergets egenskaper och skilda åsikter om hur injekteringen skall projekteras och utföras.

Stora framsteg har de senaste decennierna gjorts vad gäller förståelsen av komponenterna i det komplexa systemet berg – injekteringsmedel – injekteringsteknik – styrning vid projektering av och genomförande av berginjektering. Viss förbättring kan konstateras men generellt utnyttjas inte den kunskap och förståelse som forskningen och erfarenheterna bidragit till. I byggskedet har därmed inte bygghandlingarna alltid följts utan istället har injekteringsarbetet utförts med en ad hoc-anpassning. Vilket resulterat i att en uppföljning och utveckling av en branschpraxis inte kunnat göras. Dvs injektering i projekt med liknande förutsättningar projekteras och utförs på olika sätt beroende på aktörernas kompetens och erfarenhet. Detta borde kunna åtgärdas och förbättras genom föreslagna projekteringsmetodik.

För att få till ett lyft i branschen och slippa bygghandlingar som i vissa projekt har upprättats utan förståelse för förutsättningar, med omotiverade lösningar och med en ”copy and paste” princip, behöver dagens kunskap göras mer lättillgänglig.

## 1.2 BAKGRUND

Trafikverket har inom ramen för PIA, *Produktivetsförbättringar I Anläggningsbranschen*, tagit initiativ till ett arbete som benämns ”Enhetlig modell för projektering av berginjektering”. Arbetet inledes med en förstudie av Trafikverket.

Förstudien utgick från att det inte var utveckling av ny kunskap som behövdes utan att befintlig kunskap behöver sättas samman och presenteras på ett tydligt och strukturerat vis. Resultatet var ett förslag till projekt, dvs föreliggande projekt, med en målsättning som utgår ifrån objektsspecifika förutsättningar och som till dessa kopplar projekteringsklasser som anger omfattning på projekteringsprinciper.

För att uppnå detta behöver tillgänglig teoretisk kunskap och förståelse inom berginjektering tillämpas så att projekteringen blir ändamålsenlig och effektiv. Detta föreslås ske på ett likartat eller standardiserat sätt, vilket innebär att accepterade metoder och/eller branschpraxis används så att projektering och därmed utförandet görs efter samma principer utan t ex personlig uppfattning. Ett likartat och strukturerat förfarande skulle även kunna möjliggöra en enklare utvärdering av projekteringen,

utförande och uppnått resultat vilket är en god grund och förutsättning för fortsatt förbättring och effektivisering.

### 1.3 SYFTE

Syftet med detta projekt ”Enhetligt modell för projektering av berginjektering” är att skapa en systematisk och strukturerad projekteringsmetodik. Därvid uppnås förhoppningsvis en effektivare projekteringsprocess där resultatet går att följa upp och därmed möjliggöra förbättringar inom projektering och injekteringslösningar.

Med en branschgemensam och mer sammanhållen projektering skapas även bättre förutsättning för upphandling och ett mer likartat utförande av injekteringsarbeten. På detta sätt torde tiden och kostnaderna kunna minska för injekteringsarbeten.

Ett sätt att nyttogöra och sammanställa branschens kunskaper och erfarenheter är att skapa en tydlig metodik för hur en förinjektering skall projekteras. Det förväntade resultatet av detta projekt är därmed ett dokument som beskriver denna metodik för projektering av förinjektering för bergtunnlar som kan användas främst inom Trafikverkets projekt, men kan självklart kan återopas i andra projekt.

Projekteringsmetodiken skall vara förenlig med branschens övriga gemensamma referensverk och regelverk samt standardavtal såsom AMA Anläggning, RA Anläggning och MER Anläggning.

I rapporten redovisas arbetet med att sammanställa underlag till projekteringsmetodiken och bakgrunden till föreslagna uppdateringar och kompletteringar i AMA-systemet samt diskussion och förslag till vidare arbete med ersättningsform för förinjektering.

Samtliga dessa delar behöver före en implementering genomgå en remiss av branschen och utgående från remissen kan andra ändringar än de som föreslås i föreliggande rapport uppkomma.

### 1.4 FÖRUTSÄTTNINGAR

Projektet/metodiken grundar sig på allmänna och styrande dokument gällande krav, råd och anvisningar för berg- och tätningsarbeten, redovisade i:

- Eurokod EN 1997-1:2004
- IEG 9:2010
- Trafikverkets Krav och Råd Tunnel 11
- Projektering av bergkonstruktioner. Trafikverket publ. 2014:144
- Svenska Byggtjänst AMA, RA och MER Anläggning 13

## 2 GENOMFÖRANDE

### 2.1 ÖVERGRIPANDE

Målet med projektets tillvägagångssätt har varit att tillämpa den kunskap som finns inom branschen för berginjektering, både från forskningsarbete och erfarenheter från utförandet. Därför har arbetet genomförts med olika återkommande aktiviteter och presentationer för branschen, där möjligheter har getts för att aktörer med olika bakgrund och erfarenheter inom branschen skall kunna medverka och/eller delge sina synpunkter.

Det allmänna arbetet har letts av en projektgrupp bestående av fyra personer (dvs författarna till denna rapport). Projektgruppen var ansvarig för planering och genomförande av arbetet och de externa aktiviteterna, såsom att anordna informationsseminarier, presentationer på branschdagar, workshops och webb-enkät.

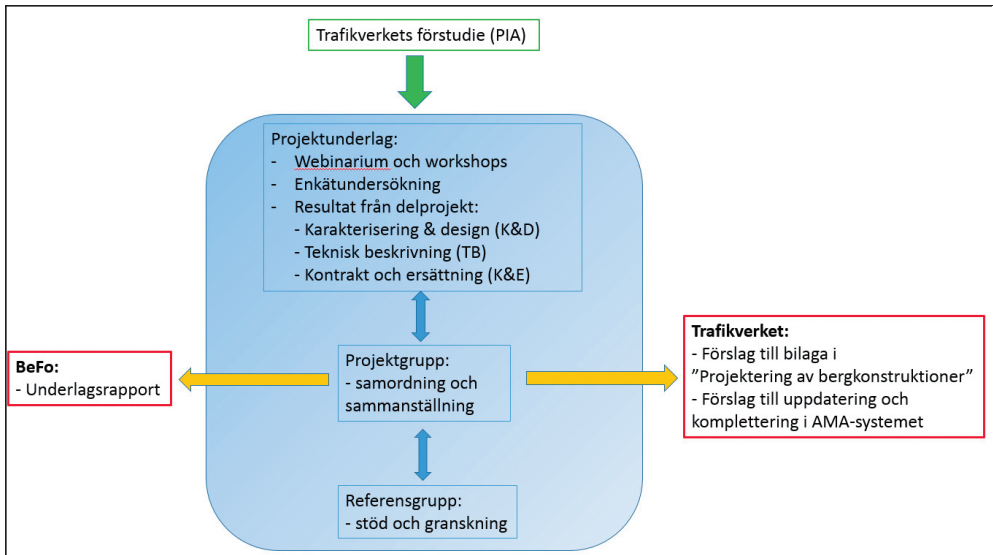
Syftet med de externa aktiviteterna har varit att fånga upp och sammanföra branschens åsikter och uppfattningar för att ta hänsyn till så många olika perspektiv på arbetet som möjligt.

Projektgruppen har också lett tre delprojekt som utförts som konsultavtal med fokus på olika delar av injekteringsprocessen. Resultaten från delprojekten har bearbetats av projektgruppen. Det huvudsakliga innehållet i denna rapport beskriver delprojektets resultat och projektgruppens bearbetning av dessa.

Projektgruppen har haft flera möten och avrapporteringar med en kompetent och erfaren referensgrupp bestående av personer med olika bakgrund inom injekteringsprocessen, och därmed har arbetet kunnat värderas löpande med förbättringsförslag för det fortsatta arbetet med projekteringsmetodiken.

Redovisningen av projektet består av denna underlagsrapport till BeFo samt förslag till bilaga om injekteringsprojektering i Trafikverkets publikation ”*Projektering av bergkonstruktioner*” /Trafikverket, 2015/ och uppdateringar och kompletteringar i AMA-systemet för Trafikverket. Förslagen till Trafikverken ska remissas och är därför ännu inte färdigställda för publikation.

Projektets genomförande och redovisning visas schematisk i figur 2-1 nedan.



**Figur 2-1** Skiss på projektets genomförande och projektreddovisning, där blåmarkering illustrerar genomförandet och röda rutor projektreddovisning.

## 2.2 INLEDANDE WEBINARIUM OCH WORKSHOPS

Den inledningen aktiviteten för att involvera och erhålla bidrag från branschen var en öppen inbjudan till ett webinarium, dvs seminarium via nätet, och därefter en uppföljande workshop. Vid båda tillfällena deltog cirka 30-40 personer med olika bakgrund och erfarenhet inom berginjekteringsarbeten samt med olika roller såsom beställare, konsulter, entreprenörer och universitet/högskolor.

Målet med webinariet var att informera om projektet och kommande workshop.

Målet med workshopen var att gruppera en lista på aktiviteter vid injekteringsutförandet såsom:

- Skärmgeometri (hålavstånd, överlapp, stick)
- Sondering (registrerande borrar, vattentester)
- Injekteringsmedel (produkt, leverantör)
- Material och materiel (slang, manschetttyp)
- Injekteringsmedlens egenskaper
- Injekteringsutrustning (blandare såsom typ och kapacitet, omrörare, pump)
- Injekteringsutförande (hållrengöring, hållordning, hantering av ytläckage och samband)



- Stoppkriterium (injekteringstid, injekteringstryck, maxvolym)
- Kompletterande hål/omgångar
- Kontroll utförande (typ och frekvens brukskontroller)
- Kontroll av erhållet resultat (kontrollhål, mätdammar, grundvattennivåer)

Aktiviteter skulle grupperas om det kunde utföras enligt en gemensam praxis (standardiseras (S)), läsas vid projektering (L) eller om de kunde lämnas öppen till entreprenören (E) att lösa. Dessutom skulle en avvägning tas till vilken svårighetsgrad injekteringen bedömdes till enligt indelningen ”Enkel injektering”, ”Normal injektering” och ”Komplicerad injektering”.

### 2.3 ENKÄT

En annan av aktiviteterna för att involvera och få bidrag från branschen var en enkätundersökning, som nåddes via en länk på BeFo:s hemsida. Vidare fanns möjlighet att besvara enkäten i en monter på Bergmekanikdagen och Bergsprängningskommittédagen 2016.

Enkätundersökningen bestod av totalt 22 frågor. Frågorna är grupperade i kategorier som behandlar, Allmänna frågor, Projekterade handlingar och kontrakt, Kontroller och uppföljning och Injekteringsutförande i tunneln. Exempel på frågor var:

- Bedömer du att det behövs ett mer enhetligt arbetssätt vid projektering och utförande av injekteringsarbeten?
- Anser du branschen har en tillräcklig kompetens avseende injektering?
- Vilka handlingar eller moment anser du behöver förbättras?

### 2.4 DELPROJEKT

För att få med samtliga delar i projekteringsprocessen och erhålla ett bredare underlag strukturerades projektet i tre delprojekt:

- Karakterisering och design (K&D)
- Teknisk beskrivning (TB)
- Kontrakt och ersättningsform (K&E)

De tre olika delprojekteten upphandlades som konsultuppdrag via BeFo för att på bästa sätt utnyttja branschens tillgängliga kompetens. På detta vis erhöles fler aktörer inom branschen att medverka i projektet och därmed delge sina erfarenheter och synpunkter direkt till projektet.

De tre delprojekten arbetade separat med sina frågeställningar men regelbundna möten hölls mellan delprojekten och projektgruppen för att utbyta resultat och bestämma gränssnitt.

#### 2.4.1 KARAKTERISERING OCH DESIGN

Uppgiften för delprojektet Karakterisering och Design (K&D) var att beskriva hur bergmassan kan karakteriseras och hur injekteringen skall projekteras från karakteriseringen. Vidare uppgift var att definiera när detta kan tillämpas och på vilket sätt. Delprojektet utfördes i två faser enligt följande:

1. Klassificera förutsättningar, undersökningsbehov och utförandekoncept i olika projekteringskategorier.
2. Underlag för en branschgemensam projekteringsmetodik inom Trafikverkets publikationer.

Delprojektet fokuserade på ett tillvägagångssätt för projektering och vilka undersökningar och analyser som föreslås utföras så att en injekteringsprognos kan upprättas i förhållande till platsförutsättningarna. Delprojekt ”Karakterisering och design” utfördes av Norconsult och Christiansson GeoEngineering. Resultatet från delprojektet skulle redovisas separat och utgöra underlag för den gemensamma projekteringsmetodiken.

Första fasen i delprojektet utgjordes av framtagande, beskrivning och ansättande av parametrar för olika typberg vilket skulle utmynna i ett förslag till olika projekteringskategorier. I den andra fasen togs förslag fram för undersökningsbehov och analysmetodik beroende på projekteringskategori.

#### 2.4.2 TEKNISK BESKRIVNING

Uppgiften för delprojekt Teknisk beskrivning (TB) var att ta fram, och motivera, standardtexter i teknisk beskrivning samt ange råd och anvisningar för att få branschgemensamma lösningar på hur vissa moment ska provas, utföras och kontrolleras. Vissa av dessa texter och råd är beroende på resultat från Karakterisering och Design (K&D). I delprojektet K&D beskrivs hur man ska utföra karakterisering och injekteringsprojekteringen. I delprojekt TB ska detta konkretiseras så att ett utförande kan göras. Vidare skall projekteringen kunna mängdas och därmed definieras i delprojekt Kontrakt och Ersättningsformer (K&E).

Det framtagna förslaget i delprojektet TB ska kunna bli underlag till uppdateringar och kompletteringar i Svensk byggtjänst beskrivningssystem för utförande- och materialkrav, dvs AMA Anläggning och RA Anläggning.

Delprojektet har genomförts av Tyrens/Chalmers och Besab.

Arbetsgången för delprojektet gjordes i två steg. I steg ett identifieras moment som kopplade till beskrivningstexten i AMA och RA Anläggning. De identifierade momenten specificerades för de olika projekteringskategorierna från K&D. En del av dessa moment ska projekteras specifikt men andra moment kan standardiseras enligt branschpraxis, då de inte har någon påverkan på injekteringslösningen.

I steg två gjordes förslag på beskrivningar och kontroller som kan standardiseras i AMA Anläggning och parallellt med detta beskrevs riktlinjer och råd för lösningar och kontroller som kan användas i RA Anläggning.

### 2.4.3 KONTRAKT OCH ERSÄTTNINGSFORMER

Uppgiften för delprojekt Kontrakt och Ersättningsform (K&E) var att i samverkan med både delprojekt Karakterisering och Design (K&D) och Teknisk beskrivning (TB) klargöra vilka kontraktsformer och ersättningsformer som är ändamålsenliga för upphandling av injekteringsarbeten.

Syftet var att ta fram förslag till kontrakts- och ersättningsformer som är robusta, flexibla och i möjligaste mån anpassade för de injekteringslösningar som redogörs för i förfrågningsunderlaget (injekteringsprognos med tillhörande teknisk beskrivning och mängdförteckning). Följaktligen borde en förbättrad och mer rättvis upphandling och ersättning av injekteringsarbeten kunna uppnås.

Delprojektet har genomförts av Scandinavian Tunneling.

Baserat på resultaten från de andra delprojekten (K&D och TB) skulle ersättningsformer beskrivas i relation till föreslagen entreprenadform, som inom ramen för den föreslagna projekteringsmetodik bestämdes skulle vara utförandentreprenad.

Från de andra delprojekteten finns beskrivningar på moment som i olika hög grad kan varieras/ändras av entreprenören under utförandet utan att påverka injekteringsresultatet negativt. Detta skulle beaktas i K&E med synpunkter och förslag på hur detta ska hanteras mellan kontraktsparterna och hur dessa i sådant fall ska på bästa sätt ersättas samt hur moment och eventuella förutbestämda förändringar i utförandeskedet ska regleras.

### 2.4.4 GRÄNSSNITT

Mellan de olika delprojekten fanns gränssnitt som behövde definieras och koordineras under projektets genomförande. Definitionen och tydliggörandet av gränssnitten hanterades av både projektgruppen och de olika delprojekten och genomfördes enligt följande:

- Projektgruppens samordning och avstämningar med referensgruppen
- Interngranskning av delprojektens resultat?
- Underlag och resultat från den inledande workshopen
- Gemensamma arbetsmöten mellan delprojekten och projektgruppen
- Direktkontakt mellan delprojekten



### 3 PROJEKTUNDERLAG

Resultaten av de i kapitel 2 beskrivna aktiviteterna redovisas i detta kapitel. Dessa resultat utgör underlag för de slutsatser och implementeringar i projektet vilka redovisas i kapitel 4.

#### 3.1 WORKSHOPS

På workshopen deltog ca 30 personer med olika erfarenheter från branschen med avseende på projektering och utförande av berginjektering. Deltagarna indelades i fyra grupper med blandade erfarenheter av injekteringsprocessen, dvs. från projektering till upphandling och utförande. Grupperna arbetade igenom de olika aktiviteter och frågeställningarna, enligt avsnitt 2.2. Därefter redovisades grupperna sina respektive resultat för övriga grupper, se sammanställning i figur 3-1.

	Ange för resp moment vilket av följande som ni förordar		
	S=Standardisera E=Läsa i design E=Upp till Entreprenör att avgöra		
	Genomförandesvärdighet		
	"Enkel injektering"	"Normal injektering"	"Komplicerad injektering"
<b>Skärmgeometri</b>	(S)	L	L
Tex hålavstånd, överlapp, stick	L	L	L
	S	S	S/L
	L/S	S/L	L
<b>Sondering</b>	(S)	L	L
Tex typ (MWD, vfl, inflöde), omfattning	L/S	L	L
	S	S	S
	L	L	L
<b>Injekteringsmedel</b>	E	L(E)	L(E)
Tex typ av medel, blandningsförhållande, tillsatser	L	L	L
	S	S(L)	L
	L	L	L
<b>Injekteringsmaterial</b>	E	E	E
Tex manschetttyp, slangar	E	E/L	E/L
	E	E	E
	S/E	S/E	S/E
<b>Injekteringsutrustning</b>	E	E	E
Tex blandartyp, kapacitet på blandare, omrörare, pump	S/E	S/E	S/E
	E	E	E
	E	E	E
<b>Injekteringsutförande</b>	S	S	(S)
Tex hållrengöring, hålordning, hantering av ytläckage och sambandshål	S	S	S/L
	S	S	S
	S	S	S
<b>Stoppkriterier</b>	L	L	L
Tex injekteringstid, injekteringstryck, maxvolym	L	L	L
	S	L	L
	S	L	L
<b>Kompletterande hål/omgång</b>	-	L	L
Tex kriterier för när, omfattning, utförande	L	L	L
	(L)	L	L
	L	L	L
<b>Kontroll injekteringsutförande, typ och antal</b>	S	S	S
Tex brukskontroller	L	L	L
	S	S	S
	S	S	S
<b>Kontroll av erhållet resultat</b>	S	S	S
Tex kontrollhål, mätningar, grundvattennivåmätningar	L	L	L
	S	S	S
	S	S	S

**Figur 3-1** Resultattabell från workshopen där 4 olika grupper angav vad som kunde standardiseras enligt praxis (S), läsas vid projektering (L) eller lämnas till entreprenörens beslut (E).

Efter presentationerna följde en diskussion och förtydligande om gruppernas val av ansvar för de olika aktiviteterna. Inom grupperna fanns flera kommentarer kopplade till valen. Slutligen erhöles en ganska enhetlig bild av på vilken aktör ansvaret generellt kunde placeras för de flesta aktiviteterna, dvs. att lösas av projektören under projekteringen, standardiseras eller avgörs av entreprenören i samband med avlämnande av anbud samt utförandet, se Tabell 3-1.

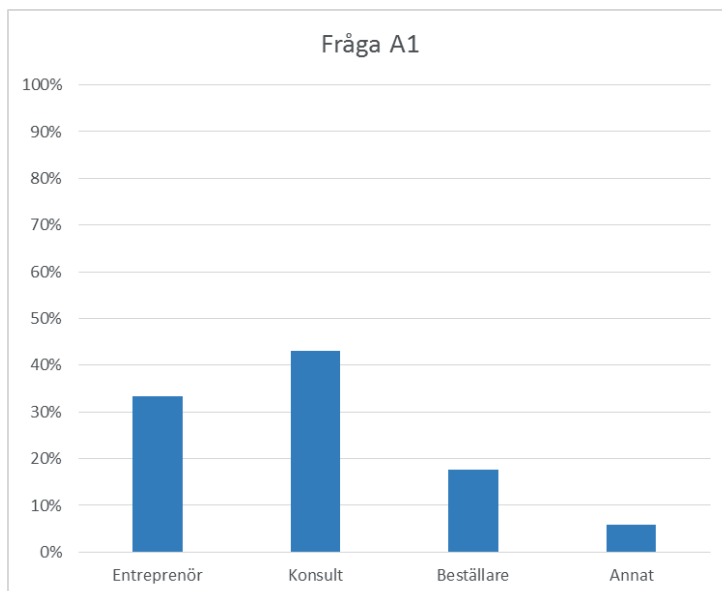
**Tabell 3-1** Sammanställning av resultat från workshopen om vart beslutet bör ske för de olika aktiviteterna.

Aktivitet	Projektering	Standardisering	Entreprenör
Skärmgeometri			
Sondering			
Egenskaper injekteringsmedel			
Material/materiel (cementsort, slang, manschett etc)			
Utrustning			
Utförande			
Stoppkriterium			
Kompletteringar			
Utförandekontroller			
Kontroll av resultat			

En generell intressant slutsats av workshopen var att ansvaret för aktiviteterna för flertalet av aktiviteterna anses vara oberoende av injekterings svårighetsgrad. Det som ansågs vara mest beroende av platsförutsättningarna och svårighetsgraden var skärmgeometrins utformning. Därför ansågs skärmgeometrins utformning både kunna standardiseras eller utformas specifikt vid projekteringen, se Tabell 3-1.

### 3.2 ENKÄT

Totalt ca 60 personer deltog i enkätundersökningen. Deltagarnas roller inom injekteringsbranschen varierade mellan konsulter, entreprenörer och beställare samt övriga, exempelvis leverantörer och forskare, se fördelning mellan deltagarna i figur 3-2.



**Figur 3-2** *Fördelning av deltagarnas roll i injekteringsbranschen.*

I bilaga 1 redovisas frågorna och svaren på enkätundersökningen. Totalt fanns 22 frågor varav fyra stycken var av mer övergripande karaktär och som därefter utvecklades vidare i detaljfrågor, som besvarades i olika grad.

En stor majoriteten av deltagarna ansåg att det fanns ett behov av ett mer enhetligt arbetssätt vid projektering och utförande av injekteringsarbeten, se bilaga 1. Det är möjligt att svaret på denna fråga blir partiskt då deltagarna som har intresserat sig för enkätundersökningen också har ett syfte att påpeka ett förbättringsbehov. Det uppskattades att en stor andel av branschen deltagit i undersökningen och därmed kan det anses finnas en allmän enighet inom branschen för ett mer enhetligt arbetssätt inom injekteringsprojektering och utförande.

I Tabell 3-2 sammanfattas svaren för de fyra huvudfrågorna.

**Tabell 3-2** Sammanfattning av de fyra huvudfrågorna av totalt 22 frågor. Dessa fyra huvudfrågorna utvecklades därefter i mer detaljerade frågor.

Fråga	Ja	Nej
Bedömer du att det behövs ett mer enhetligt arbetssätt vid projektering och upprättande av handlingar?	31 (63%)	18 (37%)
Bedömer du att det är viktigt att utveckla kontroller och uppföljning vid utförandet?	12 (24%)	37 (76%)
Behöver utförandet vid injektering utvecklas?	34 (69%)	15 (31%)
Anser du att branschen har en tillräcklig kompetens avseende injektering?	22 (45%)	27 (55%)

Från de mer detaljerade frågorna framgick det tydligt att en förbättring av tekniska beskrivningen efterfrågades. Vidare efterfrågades mer modernare utrustning vid utförandet såsom ett aktivt styr- och registreringsystem samt flerhålsinjektering (multihålsinjektering). Ytterligare förslag på förbättringar var en högre prestanda på utrustningen såsom rengöringssystem och automatiserade manschetter. Slutligen påpekade många att grunden för en allmän effektivisering och utveckling av injekteringsutförandet låg i en tydligare projektering och bättre prognos.

### 3.3 DELPROJEKT OCH UPPRÄTTANDE AV GRÄNSSNITT

Delprojekt Karaktärisering och Design (K&D) påbörjade sitt arbete före de två övriga delprojekten för att få fram en gemensam beskrivning av förutsättningarna för projektering och för att bedöma/utreda behovet av tätningsåtgärder genom berginjektering.

Baserat på resultat och diskussioner från workshopen beslutades om följande gränssnitt mellan en förinjekterings huvudaktiviteter

- Skärmgeometri: Riktlinjer beskrivs av K&D men standardiserade utformningar kan användas
- Sondering: Kriterier och riktlinjer beskrivs av K&D
- Egenskaper injekteringsmedel: Kriterier och riktlinjer beskrivs av K&D
- Material och materiel: Hanteras genom kravspecifikationer och beskrivs av TB, men entreprenörensval och behöver därmed koordineras med K&E också
- Utrustning: Hanteras med kravspecifikationer och beskrivs TB men entreprenörensval och behöver därmed koordineras med K&E också
- Utförande: Lämpliga moment standardiseras enligt praxis och beskrivs av TB
- Stoppkriterium: Kriterier och riktlinjer beskrivs av K&D, men behöver koordineras med TB också



- Kompletteringar: Beskrivs av K&D men avgörs främst vid utförandet, och behöver därmed beskrivas av både TB och K&E också
- Utförandekontroller: Standardiseras enligt praxis och beskrivs av TB men kan komma att behöva avgöras vid utförandet, och behöver därmed beskrivas av K&E också
- Kontroll av resultat: Standardiseras enligt praxis och beskrivs av TB men kan behöva avgöras vid utförandet och kopplas till projektering, och behöver därmed beskrivas av både K&D och K&E också

Enligt punkterna ovan beskrivs eller specificeras de olika aktiviteterna i huvudsak av K&D eller TB men ska vara förenliga med tillhörande regleringsposter i mängdförteckningen.

### 3.3.1 KARAKTERISERING OCH DESIGN

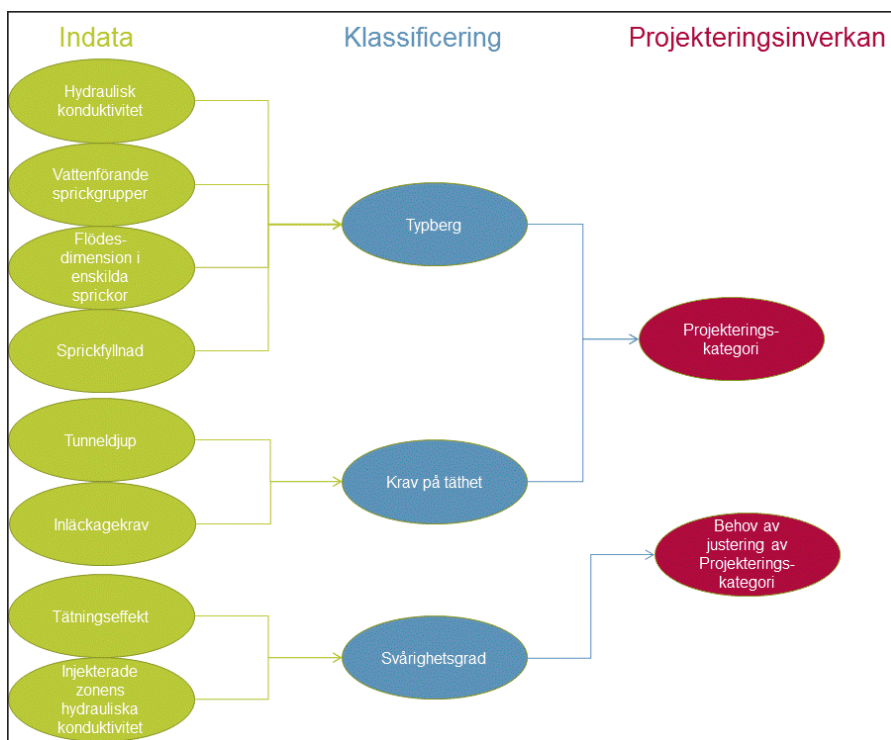
Delprojektet beskrev inledningsvis ett ramverk kring karakterisering och injekteringsprojektering. Därefter hur underlag och föreslagen projektering kan bestäms utgående från projektets förutsättningar, se bilaga 2.

Karakteriseringsdelen bygger på att bergmassan uppdelas i typberg som karakteriseras ur ett injekteringsperspektiv avseende dess svårighetsgrad och med fokus på särskiljande hydrauliska egenskaper. Klassificering av bergmassan, dvs typberget, föreslås baseras på parametrar som kan förväntas i en dominerande del av svensk berggrund och som är av relevans för inträngning av injekteringsmedel och analyser av inläckaget. Föreslagna parametrarna ska vara kvantifierbara för att utgöra en bedömning av avgränsningar mellan olika typberg samt utgöra regler för val.

För att bedöma lämplig projekteringsinsats och upprätta en preliminär projekteringslösning för tätningsarbeten, föreslås en indelning i Projekteringskategorier (PK) utgående från typberg, krav och komplexitet baserat på följande underlag:

- klassificering av berget som ska tätas, d.v.s. typberg.
- vilka krav på täthet som ställs av omgivningen, t.ex. inläckagekrav.
- injekterings komplexitet vid projekteringen, d.v.s. svårighetsgrad.

I figur 3-3 redovisas schematisk indata och arbetsgång för klassificering av Projekteringskategori.



**Figur 3-3** Schematisk redovisning av indata och arbetsgång för klassificering av projekteringskategori (PK).

Projekteringskategori beskriver omfattning och lämplig nivå av undersökningar och projektering från ”enkel injektering” med ett delvis standardiserat förinjekteringskoncept till ”svår injektering” med enbart riktlinjer för projektering och analyser.

Omfattning och lämplig nivå av undersökningar och projektering styrs även av projekteringskedet. De tidigare projekteringskedena anger mer fokus på undersökningar och dess resultat medan de senare skedena, som byggbehandlingsprojekteringen, anger mer vilka analyser i projekteringen som är lämpliga för att kunna bestämma injekteringsklasser och dess omfattning, dvs. injekteringsprognos.

### 3.3.2 TEKNISK BESKRIVNING

Delprojektet Teknisk Beskrivning (TB) utgick i sitt arbete på de aktiviteter som identifierades som möjliga att standardisera, se avsnitt 3.1, samt resultat från Karaktärisering och Design (K&D).

Målet med TB:s beskrivningar var att projektören ska kunna fokusera på projekteringslösningar och inte på utförandemoment som är oberoende av projekteringslösning. Dessutom ska entreprenören veta vilka krav och specifikationer som gäller för material/materiel, utrustning, utförande och kontroller.

Resultaten från delprojekt TB ska kunna vara underlag för uppdatering och komplettering i dagens AMA Anläggning 13 och RA Anläggning 13, då aktuella beskrivningar i AMA och RA anses vara svår att följa och att alltför många obesvarade frågor finns, se avsnitt 3.2.

I bilaga 3 presenteras resultaten från delprojekt TB. Delprojektet redovisar först förslag på standardiserade lösningar för aktiviteter som identifierades som möjliga att standardiseras. Därefter gavs förslag till implementering i AMA och RA. Bland identifierade aktiviteter finns standardiserade lösningar för:

- Material och materiel
- Utförande inför och under injekteringsarbetet
- Kontroller avseende egenskaper på injekteringsmedlet och efter injektering

### 3.3.3 KONTRAKT OCH ERSÄTTNINGSFORMER

I delprojekt Kontrakt och Ersättningsformer (K&E) skulle resultat och beskrivningar från delprojekt K&D och TB hantera kontrakt- och ersättningsformer mellan beställare och entreprenör. Kontrakt- och ersättningsform skulle baseras på att bergtunnlar i Sverige genomförs i huvudsak som utförandeentreprenader.

I bilaga 4 redovisas förslagen från delprojekt K&E. Delprojektet utgick från aktiviteterna som användes vid workshopen, se avsnitt 3.1. För dessa aktiviteter gavs förslag på regleringsform och motiv till varför. I Tabell 3-4 listas aktiviteterna och dess föreslagna regleringsform.

**Tabell 3-4** Sammanställning av underlag till mängdförteckning från deluppdrag K&E

Aktivitet	Regleringsform
Skärmgeometri	Borrning: kr/borrmeter Uppställning: kr/styck
Sondering	Borrning: kr/borrmeter Uppställning: kr/styck
Injekteringsmedlets egenskaper	Ingår i övrig reglering
Material/materiel Injekteringsmedel	Summeras i kr/hål Åtgång: kr/liter
Utrustning	Ingår i övrig reglering
Utförande	Injekteringstid; kr/total pumptid Uppställning; kr/styck
Stoppkriterium	Ingår i övrig reglering
Kompletteringar (injekteringsomgångar)	Som skärmgeometri, injekteringsmedel, material och utförande
Kontroller av injekteringsmedel Kontroll av resultat	Förprovning; ett styck Löpande provning; kr/antal provomgångar Styck

Vidare gavs förslag på uppdatering av mall till mängdförteckning i MER Anläggning 13 och förslag på fortsatt arbete avseende andra kontraktsformer, rådstexter och reglering vid förändrad injekteringsmetodik.

## 4 DISKUSSION OCH IMPLEMENTERING

I detta kapitel beskrivs hur resultaten från kapitel 3 har bearbetats och anpassats så att förslag eller uppdateringar på följande dokument kan göras:

- Förslag på bilaga till Trafikverkets ”*Projektering av bergkonstruktioner*” /Trafikverket, 2015/.
- Uppdatering och komplettering av AMA Anläggning 13 och RA Anläggning 13
- Uppdatering och komplettering i MER Anläggning 13

Bearbetning och anpassning är i huvudsak baserad på synpunkter och diskussioner inom och mellan referens- och projektgrupp. Vid bearbetningen har även obesvarade frågeställningar uppdagats, främst avseende ersättningsform, och dessa frågor har utvecklats vidare.

Denna rapport är en redogörelse för hur arbetet bedrivits i syfte att skapa en systematisk och strukturerad projekteringsmetodik. Rapporten är därmed ett viktigt underlag för att slutligen komma i mål med en bilaga till Trafikverkets publikation ”*Projektering av bergkonstruktioner*” /Trafikverket, 2015/ med avseende på förinjektering av bergtunnlar samt förslagstext på uppdateringar och kompletteringar av AMA, RA och MER Anläggning. Dessa förslag kommer att överlämnas till Trafikverket och genomgå en remiss.

### 4.1 BILAGA TILL ”PROJEKTERING AV BERGKONSTRUKTIONER”

#### 4.1.1 BAKGRUND

I Tabell 4-1 nedan redovisas underlag från deluppdrag K&D gällande förslag på indelning i typberg för bergmassan. I bilaga 2 beskrivs tillvägagångssättet för att bestämma parametrarna mer detaljerat.

**Tabell 4-1** Sammanfattande tabell av parametrar som underlättar bedömningen av typberg.

Typberg	Hydraulisk medelkonduktivitet	Vattenförande sprickgrupper	Flödesdimension i spricksystem	Sprickfyllning	Struktur/sprickavstånd
1	$1 \times 10^{-7}$ - $1 \times 10^{-9}$ m/s	En till två, samt slumpvisa sprickor	(1D)-2D	Öppna sprickor utan väsentligt sprickfyllnad. $J_a \leq 3$	Mycket sprickfattig till storblockig bergmassa. Genomsnittlig kantlängd $s > 0,6$ m.
2	$5 \times 10^{-8}$ - $1 \times 10^{-9}$ m/s	En till tre, samt slumpvisa sprickor	(1D)-2D	Sprickfyllnad i en eller flera sprickgrupper som påverkas flödesbild. $J_a \geq 3$	Mycket sprickfattig till blockig, samt skivig bergmassa. Genomsnittlig kantlängd $s > 0,2$ m.
3	$1 \times 10^{-5}$ - $1 \times 10^{-7}$ m/s	Två eller fler, samt slumpvisa sprickor	(2D)-3D	Sprickfyllnad påverkar ej övergripande flödesbild. $J_a \leq 4$	Blockig, uppsprucken, och skivig bergmassa. Genomsnittlig kantlängd $s < 0,6$ m.

Redovisade typberg i Tabell 4-1 innehåller en övervägande del av svensk berggrund. Det finns dock förhållanden som inte går att inordna i dessa typberg och behöver bedömas specifikt.

Baserat på indelning i typberg samt krav på täthet samt injekteringens komplexitet förslås en klassificering i Projekteringskategorier (PK) enligt figur 4-1 nedan.

Identifiering av projekteringskategori				
	Låga krav >0,25 l/min, 100 m x djupmeter	Måttliga krav 0,15-0,25 l/min, 100 m x djupmeter	Höga krav 0,10-0,15 l/min, 100 m x djupmeter	Mycket höga krav <0,10 l/min, 100 m x djupmeter
Typberg 1	Projekterings- kategori 1	Projekterings- kategori 2	Projekterings- kategori 3	
Typberg 2				
Typberg 3				

Justering av projekteringskategori med hänsyn till svårighetsgrad				
Erforderlig tätningseffekt				
Injekterade zonens hydrauliska konduktivitet K(in) [m/s]		< 90 %	90-99 %	>99 %
	>10 <sup>-7</sup> m/s	Minska ev. projekteringskategori ett steg		
	10 <sup>-7</sup> -10 <sup>-8</sup> m/s			Öka ev. projekteringskategori ett steg
	<10 <sup>-8</sup> m/s			

**Figur 4-1** Bestämning av projekteringskategori (PK). Med "krav" avses maximalt tillåtet inläckage.

Förslag till val av Projekteringskategori är enligt figur 4-1 beroende av identifierade typberg samt inläckagekrav, vilket inte alltid är bestämt vid inledande skeden av projekteringen. Vidare kan det förekomma speciella fall, såsom komplexa bergsgeometrier, liten eller stor bergtäckning med mera, som göra att projektet eller delområden inom projektet inte kan placeras i en projekteringskategori. Vid dessa fall får specifika undersökningar och/eller projekteringslösningar tillämpas men projekteringsmetodikens principer kan ändå utnyttjas efter en bedömning om dess aktualitet.

Generellt kan förutsättningar och projekteringsmetodik för respektive Projekteringskategori sammanfattas enligt följande:

- PK1 tillåter ett relativt större inläckage än övriga PK och utförande av injekteringen baseras i huvudsak på erfarenheter och standardiserade injekteringsskärmar. Dock skall antagande vid projekteringen verifieras med observationer under utförandet.
- PK2 tillåter ett måttligt eller begränsat inläckage och utförandet baseras delvis på erfarenheter och standardiserade injekteringsskärmar men detta skall verifieras både i projekteringen, dvs. analyseras till viss del, och med observationer under utförandet.

- PK3 tillåter små inläckage och utförandet skall analyseras med de projektspecifika förutsättningarna. Vidare skall striktare kontroller och observationer göras under utförandet och av resultatet, jämfört med övriga PK.

#### 4.1.2 IMPLEMENTERINGFÖRSLAG PROJEKTERINGSMETODIK

Det av delprojekt Karakterisering och Design framtagna arbetet har utgjort grunden för projekteringsmetodik för förinjektering av bergtunnlar vilket har arbetats om något för att kunna ingå som bilaga till Trafikverkets ”*Projektering av bergkonstruktioner*” /Trafikverket, 2015/. För att möjliggöra detta har delprojektets texter bearbetats och delvis omstrukturerats av projektgruppen och med synpunkter från referensgruppen. Metodiken utgår främst från arbete som utförts inom delprojekt Karakterisering och Design men även arbete utfört av de övriga delprojekten har inarbetats där det erfordras för att få en helhet. Det ska poängteras att delprojektets syfte främst var att ta fram det teoretiska underlaget och ett koncept till projekteringsmetodik.

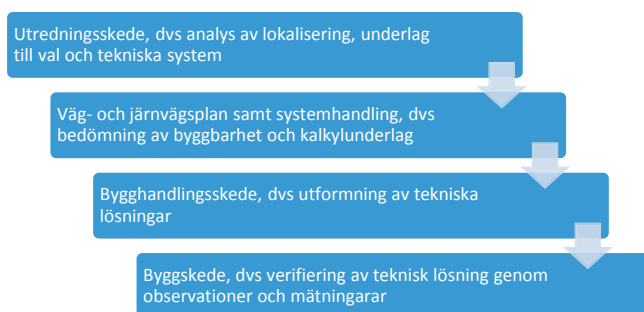
Delprojektets rapport innehåller en omfattande teoribeskrivning av karakterisering och injekteringsprojektering vilket utgör en viktig grund för de indelningar och metodval som gjorts men som inte ska ingå i projekteringsmetodiken. Teoridelarna redovisas enbart översiktligt men i delprojektets rapport finns en dokumentation av hur detta arbete utförts vilket ger en spårbarhet och underlag för den som vill förstå djupare hur arbetet utförts eller för en eventuell framtida översyn av gjorda ställningstagande vid upprättande av projekteringsmetodiken.

Vid bearbetningen av delprojektets rapport till bilaga till ”*Projektering av bergkonstruktioner*” har ett antal förtydliganden utförts. De huvudsakliga utgörs av:

- Inläckagekrav. Beslutsgrunden för indelning i Projekteringskategori baserat på krav på inläckage har justerats till att även inkludera djupet för berganläggningen. Detta innebär att inläckagekrav (i enhet l/min och 100 m tunnel) delas med anläggningens djup.
- Speciella förhållanden. Hantering av speciella förhållanden som inte kan generaliseras, t.ex. komplexa tunnelgeometrier, låg/stor bergtäckning, passage av zoner etc., har utvecklats. Vid förekomst av speciella förhållanden måste det undersökas huruvida den föreslagna undersökningen och/eller projekteras inom projekteringskategorin är lämplig, eller om den bör justeras. Områden med speciella förhållandena *kan* därmed omfattas av undersökningar och lösningar avgivna i projekteringskategorin, alternativt med anpassningar av exempelvis undersökningsmetod, skärmgeometri eller val av injekteringsutrustning. Dessa beslut ska motiveras och dokumenteras.
- Komplettering av injekteringstryck/injekteringstid. Vid test av framtagna metodik mellan delprojekten framkom att det krävdes vissa kompletteringar av underlaget från delprojekt Karakterisering och Design. Detta innebar att riktlinjer avseende injekteringstryck och injekteringstid kopplat till erforderlig inträngningslängd togs fram.
- Riktlinjer för omfattning av provning. Omfattning av provning utgående från framtagna förslag från delprojekt Teknisk Beskrivning har inarbetats.



I bearbetningen har de olika skedena i en byggprojektering tydliggjorts, se figur 4-2.



**Figur 4-2** Olika skeden i en byggprojektering och huvudsakligt innehåll i respektive skede.

Vilken information/dataunderlag som ska beaktas och tas fram som underlag för projektering beror på skede:

**Utredningsskede.** I detta skede är detaljeringsgraden i tillgängligt information/dataunderlag i allmänhet inte tillräckligt för en detaljerad redogörelse av bergmassans egenskaper. Det finns därmed sällan förutsättningar att bedöma injekteringsinsatsen och dess omfattning utan det främsta målet att identifiera undersökningsbehov inför kommande skeden. Information från olika typer av geologiskt och hydrogeologiskt arkivmaterial kan dock möjliggöra en initial identifiering och bedömning av förväntade typberg, storleksordning på inläckagekrav, samt svårighetsgrad för injektering.

I rapporteringen från utredningsskedet ska redovisning och beskrivning minst innehålla; redovisning av tidigare och eventuell nya utförda undersökningar, beskrivning av förutsättningar, beskrivning av planerad anläggning, beskrivning av osäkerheter och hur dessa hanteras samt rekommendationer för fortsatta undersökningar. Specifikt gäller för tätningsarbetena bör dessutom följande beskrivningar redovisas:

- Beskrivning av bedömd indelning i typberg och underlag för indelning
- Beskrivning av bedömda täthetskrav och underlag för indelning
- Bedömning av svårighetsgrad för injektering
- Bestämning och motivering av valda projekteringskategorier
- Riskidentifiering avseende förekomst av speciella förhållanden
- Riskidentifiering avseende tätningsarbeten.

**Väg- och järnvägsplan samt systemhandlingsskede.** I detta skede finns behov av att kunna genomföra byggbarhetsbedömning med en viss kalkylsäkerhet och därmed ökar detaljeringsgraden, bland annat med data från mer detaljerade undersökningar. Med stöd av den geologiska informationen kan både svårighetsgrad för injekteringsarbetet bedömas mer detaljerat och en konceptuell projekteringslösning av injektering tas fram.

Rapportering bör innehålla redovisning av underlag, analyser, antaganden och beräkningar som utförts, vilket innebär:

- Förundersökningsrapport/MUR. Resultat av utförda undersökningar och relevant arkivmaterial redovisas
- Preliminär Projekteringsrapport. Beskrivning av geologisk och hydrogeologiska egenskaper, indata/antaganden, erfarenheter/motiv/analyser till projekteringslösning för tättningsarbeten.
- Beskrivning av injekteringsklasser och dess fördelning och omfattning.
- Riskbedömning inklusive beskrivning av osäkerheterna och rekommendationer hur dessa ska hanteras

**Bygghandlingsskede.** I detta skede tas den slutgiltiga injekteringslösningen fram då exempelvis miljödömdom och kravbilden för bergkonstruktionen fastställs. Detaljeringsgraden för dataunderlaget behöver dock nödvändigtvis inte vara så mycket större i bygghandlingsskedet än tidigare skede (ev. utförs kompletterande undersökningar). I bygghandlingsskedet ska de projekterade lösningarna redovisas i form av Injekteringsklasser. En Injekteringsklass avser en projekterad typlösning som inom respektive klass anger enhetlig utformning av projekteringslösning, kontroll och uppföljning. Omfattning av analyser styrs av Projekteringskategorin (PK). För delar med PK 1 kan erfarenhetsbaserade projekteringslösningar till stor del tillämpas medan i PK 3 redovisas projekteringsanvisningar vilka ska utgöra riktlinjer för lösningar, alternativt ett mellanting av dessa ytterligheter (PK2).

De underlag, analyser, antaganden och beräkningar som utförs i bygghandlingsskedet ska följa krav i Trafikverkets tekniska krav ”*Tunnel 11*” och utgörs oftast en del av ett förfrågningsunderlag. Redovisning ska följa riktlinjer i ”*Projektering av bergkonstruktioner*”, vilket innebär:

- Ingenjörsgelogisk prognos. Redovisar förutsättningar för design.
- Projekteringsrapport – Bergkonstruktioner. Sammanställning och redovisning av dimensioneringen av tättningsarbetena.
- Bergteknisk prognos. Redovisar prognostiserade injekteringsklasser.
- Teknisk beskrivning och ritningar som redovisar och beskriver injekteringsklassernas vilket i sin tur ger underlag till Mängdförteckning.
- Upprättande av Mängdförteckning

Underlag för projekteringsmetodik utgörs av Projekteringskategorier medan injekteringstekniska systemlösningar redovisas som Injekteringsklasser. Detta innebär att inom en Projekteringskategori kan en eller oftast flera Injekteringsklasser förekomma.

**Byggskede.** Under byggskedet ska Injekteringsklasser och dess prognoser följas upp i enlighet med Observationsmetoden. Hur detta ska utföras beskrivs i teknisk beskrivning. Omfattningen av uppföljningen och verifiering av Injekteringsklass bör baseras på projekterade krav och kriterier. En mer omfattande verifiering bör utföras för PK3 medan en enklare verifiering utförs för PK1.

#### 4.1.3 SAMMANFATTNING

Indelning i Projekteringskategori utgör en grund för omfattning och innehåll av injekteringsprojektering för samtliga skeden i en byggprojektering. Då data och

information tillkommer utförs en översyn och uppdatering av Projekteringskategori i respektive projektskede. I bygghandlingsskede utgör kategorierna underlag för projektering av injekteringstekniska lösningar vilka redovisas som Injekteringsklasser. Detta innebär att inom en Projekteringskategori kan en eller oftast flera Injekteringsklasser förekomma.

## 4.2 TEKNISK BESKRIVNING ENLIGTAMA ANLÄGGNING OCH RA ANLÄGGNING

### 4.2.1 BAKGRUND

Delprojekt Teknisk Beskrivning (TB) arbetade med att ta fram generella riktlinjer, råd, utförandebeskrivning och kontroller utgående från resultat från delprojekt Karakterisering och Design (K&D) och utifrån resultatet från workshopen. Detta har varit grunden för de förändringar som kommer att föreslås i AMA och RA Anläggning 13 enligt nedan.

En indelning är gjord av olika aktiviteter utifrån om aktiviteten kan standardiseras eller om aktiviteten är projektspecifik, se avsnitt 3.1. För de fall där aktiviteten bedöms kunna standardiseras kan AMA:s text behöva anpassas för att tydliggöra detta. På samma sätt bedöms RA i förhållande till de projekteringsmetodiker som föreslås, så att den tekniska beskrivningen både är projekterad på ett ”enhetligt sätt”, samt anpassad till AMA. RA ska därmed beskriva ”vad” som ska projekteras men inte ”hur”. För detta finns vägledning i föreslagen projekteringsmetodik.

Resultatet från delprojekt TB var att följande aktiviteter bedömdes kunna beskrivas som standardiserade:

- Material och materiel: slangdimension, manschett, registrering och dess noggrannhet
- Utförande: injekteringsordning, borrhålsdimension, manschettplacering, bormingskriterier, hållrengöring, hantering av ytläckage och sambandshål, väntetid vid standardiserade injekteringsmedelsegenskaper
- Kontroller: injekteringsmedelsegenskaper, läckage ur borrhål efter injektering, kontroll efter injektering, kriterier på minsta injekteringsvolym och godkänd injektering

### 4.2.2 IMPLEMENTERINGSFÖRSLAG AMA ANLÄGGNING

AMA anläggning utgör ett referensverk där målet är att utförande- och materialkrav beskrivs på ett systematiskt sätt.

Ett förslag till reviderad AMA text för koder tillhörande ”CDD Tätning och infiltration av berg kring tunnlar, berggrum o d” har arbetats fram. De finns två huvudsakliga anledningar till föreslagen revideringen.

Den ena anledningen är att föra in de krav på utföranden som bedömts kan standardiseras enligt praxis.

Den andra anledningen är att det bedöms utifrån arbetet att delar i AMA beskrivningen tydligare ska spegla framtagen injekteringsprognos uttryckt i injekteringsklasser samt överensstämma med mängdposter i mängdförteckningen.

I Tabell 4-2 redovisas en sammanställning av vilka aktiviteter som delprojekt TB föreslagit kan standardiseras enligt praxis, samt vilka som workshopen föreslog kan standardiseras. Det fortsatta arbetet har renderat i ett förslag på vilka som sammanfattningsvis bedöms bli standardiserade och dessa presenteras i också i Tabell 4-2.

**Tabell 4-2** Översiktlig redovisning av vad som framkommit som förslag i delprojekt TB och på workshopen som möjligt att standardisera samt vad som efter bearbetning föreslås vid en AMA revidering.

Aktivitet/faktor	Delprojekt TB	Workshopen	Ändring i AMA föreslås
Väntetid innan borring	X	X	X
Borrhålsdiameter	X		X
Rakhetsmätning	X		
Utförande av hållrengöring	X	X	X
Monteringsdjup manschett	X		
Injekteringsordning	X	X	X
Hantering av ytläckage och sambandshål	X	X	X
Slangdimension	X		X
Registrering	X		
Kontrollhål	X		
Mätdammar	X		
Kontroll av bruk (förprovning och löpande provning)	X	X	X*
Vattenförlustmätning	X		
Krav för godkänt resultat	X		X

\*har inarbetats i bilagan till "Projektering av bergkonstruktioner"

Utgående från detta och mot befintlig text i AMA, sammanfattas följande som förslag på huvudsakliga förändringar i AMA.

#### CDD.1 Injektering

Viss text föreslås att tas bort. Det finns text som i hög grad är allmän och som inte är specifik för utförandet av injektering, som bedöms vara omhändertagen i allmän praxis eller lagstiftning. Exempelvis anges att det ska ”anmälas till beställaren då tillåtet inläckage riskerar överskridas” samt att ”om omständigheter föreligger som bedöms innebära fara för stabilitet, yttre miljö....”.

#### CDD.11 Förinjektering

Avsnittet föreslås att kompletteras med text som specificerar vilka aktiviteter som är (kan bli) standardiserade enligt Tabell 4-2. Exempelvis kan avseende för väntetid innan borring anges enligt följande:

*Borring får tidigast utföras x timmar efter avslutad injektering, om inte annat anges.*

På samma sätt anges för respektive standardiserad aktivitet ett standardiserat utförande.

För att ansluta till delprojekt K&D anges att injekteringsklasser ska tillämpas. Dessa ska beskrivas med tillämpning på de faktorer som är specifika för olika injekteringsklasser, dvs minst följande:

- *höga tillåtna injekteringsövertryck*
- *maximal injekteringstid*
- *maximal injekteringsvolym*
- *geometri för skärm*
- *kontroll av täthet*

En ny punkt föreslås som innebär kriterier för godkända hål. Om utförandet brister och exempelvis projekterat injekteringstryck inte nås blir inte hålet godkänt. Det är troligtvis en kontroversiell punkt som behöver verifieras tillämpbar i ett praktiskt fall innan införandet men kan betyda mycket för tydligheten i både ansvar och risker för både entreprenör och beställare. Om dessutom projektören får vara med och följa upp och vid behov anpassa sin design erhålls också ett tydligt ansvar där.

*En injektering av ett borrhål är genomförd om följande är uppfyllt:*

- *Något av stoppkriterierna uppnås:*
  - *Att krav på injekteringstryck och injekteringstid har uppnåtts*
  - *Att krav på minsta injekteringsflöde har nåtts.*
  - *Att krav på maximal injekteringsvolym har nåtts.*
- *Att borrhålet har injekterats minst med en volym motsvarande den teoretiska borrhålsvolymen med  $\pm x\%$ .*
- *Att den löpande provningen visar resultat inom satta toleranser*
- *Att registreringen av tryck, flöde, volym och injekteringstid är utförd*

#### CDD.111 Förinjektering med cementbaserat injekteringsmedel

All text borttagen

## CDD.112 Förinjektering med icke cementbaserat injekteringsmedel

All text borttagen

### 4.2.3 IMPLEMENTERINGSFÖRSLAG RA ANLÄGGNING

Målet med RA är att hjälpa projektören att upprätta en teknisk beskrivning för ett objekt som är beskriven enligt AMA Anläggning.

Målsättningen med föreslagna förändringar är att på ett tydligt sätt beskriva vad som bör anges för varje objekt i den aktuella AMA och vad som inte behöver anges. Detta, tillsammans med föreslagen projekteringsmetodik, bedöms ge den ”enhetlighet” vid projekteringen som projektets övergripande syfte är att nå. Kort uttryckt, att olika projektörer genomför projekteringen på samma tillvägagångssätt för ett gemensamt projekt.

CDD Tätning och infiltration av berg kring tunnlar, berggrum o d

Relativt små förändringar föreslås. Text om åtgärdsvärde och gränsvärde föreslås flyttas och istället anges under respektive underordnad kod. På detta sätt bedöms det bli tydligare vad kraven för projekteringslösningens giltighet är.

Det föreslås även att komplettera respektive kod med att metoder ska anges. Exempelvis är det inte tillräckligt att bara ange att kontroll av inläckage ska göras utan att även lämplig metod för detta ska anges, vilket även ökar kalkylerbarheten.

### CDD.1 Injektering

Under denna kod föreslås en del text som tidigare fanns i AMA. Exempel på text som föreslås flyttas från AMA är text om att grundvattentryck och risk för lyftning mm ska beaktas. Det bedöms vara en fundamental del av en projekteringen och därför bedöms rekommendationen motiverad.

En större förändring är att rubriken Utförandekrav helt föreslås flyttas till CDD.11 i RA då det är förinjektering som avses.

### CDD.11 Förinjektering

Avsnitt rörande utförandekrav föreslås som beskrivits ovan flyttas till denna kod.

### 4.2.4 SAMMANFATTNING

Sammanfattningsvis har arbetet gett förslag på ett antal aktiviteter som bedöms kunna standardiseras enligt praxis i AMA Anläggning 13 och i många olika projekt utföras helt lika. I övrigt bedöms att de tekniska beskrivningarna ska kunna upprättas med ett större fokus på att utvärdera och följa upp projekterings giltighet. För att underlätta denna förändring så föreslås förändringar i AMA och RA. Generellt sett är förändringarna små men i vissa fall kan även mindre förändringar vara betydelsefulla.

Innan eventuella förändringar kan genomföras behöver AMA och RA en remiss.

### 4.3 MÄNGDFÖRTECKNING ENLIGT MER ANLÄGGNING

#### 4.3.1 BAKGRUND

Den vanligaste entreprenadformen som inkluderar kontrakt med berginjektering grundar sig i regel på utförandeentreprenader (AB04). Några andra typer av entreprenadformer har inom ramen för detta projekt inte studerats.

Entreprenadformer utöver utförandeentreprenad kan komma att behöva studeras närmare för att se om det kan vara en väg framåt för framtida ersättningsformer gällande berginjektering. Ingen konflikt bör dock förekomma med att nyttja rekommenderad ersättningsform i samband med utförandeentreprenader i samverkan.

Mät- och ersättningsregler framgår i regel av MER Anläggning. Vid behov av ändringar av eller tillägg till dessa regler, så ska de framgå av en särskild handling, Objektsspecifika mät- och ersättningsregler (OMER), eller av kontrakt.

Bearbetningen och rekommendationer till anpassning av mall till mängdförteckning enligt MER Anläggning är i syfte att förtydliga mät- och ersättningsreglerna avseende koder relaterade till förinjektering av bergtunnlar. Anpassningarna ska underlätta projektörens mängdberäkning, entreprenörens kalkylerbarhet och främja en rättvis ersättning för verkligt utfört arbete.

Den ersättningsform som presenterades och föreslogs av delprojektet K&E baseras på fast pris med reglerbara mängder uttryckt i å-priser/enhetspriser (sk mängdkontrakt).

Mängdberäkning och regleringsupplägg av injekteringsarbetet behöver underlättas genom hela processen, det vill säga från projekteringskedet genom förfrågnings- och anbudsprocessen till byggskedet.

En osäkerhet med traditionell mängdförteckning, är att tidsåtgången för dess genomförande inte på ett kalkylerbart sätt beaktas, eftersom det i förväg inte går att i detalj beskriva verkligt utfall av korrigerande åtgärder i enlighet med observationsmetoden. Vidare finns osäkerheter i verkligt utfall av bl a kontrollhål, åtgång av injekteringsmedel per hål och antal injekteringsskärmar. En tydlig ersättningsform, som bättre beaktar kända osäkerheter torde generera ett lägre riskpålägg i samband med entreprenörens anbudsräkning.

Det underlättar för projektören att upprätta kalkylerbara förfrågningsunderlag och för beställaren att erhålla konkurrensneutrala och jämförbara anbud avseende kostnader relaterade till berginjektering. Dessvärre är dessa kostnader inte fullt ut avgörande för val av entreprenör i upphandlingsskedet, men har en betydande påverkan på tunnels framdrift i produktion om verkliga förutsättningar avviker i för stor grad mot prognosticerad omfattning av injekteringsarbetena.

En diskussion om kontrakt och ersättningsform samt rekommendationer till framtida kontrakt ges i avsnitt 4.3.2. Inom projektet har det även diskuterats en vidareutvecklad ersättningsform där tidsåtgången beaktas. Denna ersättningsform beskrivs konceptuellt i avsnitt 4.3.4.

#### 4.3.2 KONTRAKT OCH ERSÄTTNINGSFORM

Förfrågningsunderlag skall i möjligaste mån undanröja risken för spekulationer orsakade av t ex otydliga injekteringsprognoser, svårlästa tekniska beskrivningar, avsaknaden av mängder etc. vid entreprenörens prissättning. Entreprenörens skall kunna känna sig trygg och veta att de vid en eventuell tilldelning och sedermera utför injekteringsarbetet på för projektet bästa sätt också blir rättvist kompenserad.

Risk- och ansvarsfördelningen i utförandeentreprenader mellan beställare och entreprenör behöver vara väl definierade och tydligt beskrivna i kontraktet. Detta föreslås hanteras genom att bygghandlingarna bli anger tydligt avgränsade objektspecifika injekteringsklasser med en anpassad och en detaljerad mängdförteckning.

Beställaren bär ansvaret för risker relaterade till projekterad injektering, medan entreprenören bär ansvaret för risker relaterade till utförandet.

I kontraktet skall det framgå hur injekteringsarbetet skall omsättas i praktiken ur ett entreprenadjuridiskt perspektiv och hur riskfördelningen mellan beställare och entreprenör skall se ut för att uppfylla kraven på injekteringsarbetet samt hur entreprenören avses bli kompenserad för verkligt injekteringsutfall.

I kontraktshandlingarna föreslås som minimum följande handlingar ingå och som avhandlar ovanstående:

1. Administrativa föreskrifter.
2. Teknisk beskrivning upprättad i enlighet med strukturen i AMA Anläggning.
3. Mängdförteckning upprättad i enlighet med strukturen i MER Anläggning. Vid behov upprättas ”Objektsspecifika mät- och ersättningsregler”.
4. Bergteknisk prognos (ritningar/modeller) som redovisar objektspecifika injekteringsklasser.

Kontrakt för injekteringsarbeten i bergtunnlar utgör ingen egen upphandling, utan är inkluderat som en del i t ex ett bergtunnelkontrakt. Samtidigt är det vanligtvis en underentreprenör som utför injekteringen på uppdrag av huvudentreprenören, varför det inte är självklart att kontraktsformen mellan dessa parter är densamma som mellan huvudentreprenör och beställare. Det rekommenderas att samma ersättningsform även bibehålls i kontrakt som upprättas mellan huvudentreprenör och underentreprenör.

Nuvarande MER Anläggning 13 med tillhörande mall till mängdförteckning, är alldeles för förenklad och speglar inte den injekteringssituation som oftast råder i verkligheten. Därmed finns det en stor spridning i uppfattning bland branschens aktörer kring hur en mall till mängdförteckning bäst representerar en typisk och sedvanlig förinjekteringssituation.

Mallen i MER Anläggning 13 är inte heller tillräckligt flexibel för att kunna hantera utförandetiden, som varierar beroende på observationer och i förväg planerade



korrigering åtgärder. Det uppstår därmed en risk då den verkliga tidsåtgången per injekteringskärm är osäker och hur den ska prissättas.

Tiden som krävs för att färdigställa en viss injekteringskärm tillhörande en viss injekteringsklass är i dag upp till anbudslämnaren att bedöma. I de flesta fall avgör dock beställaren vilka korrigering åtgärder och förändringar som skall göras baserat på uppföljning av injekteringsarbetet i enlighet med observationsmetoden. Det är därmed en nödvändighet att projektörerna tydliggör vad som skall förutsättas vid entreprenörens kalkylering med hänsyn till dessa åtgärder. Det skall även framgå på vilket sätt entreprenören avses ersättas i det fall avvikelser från dessa förutsättningar uppstår.

Om förfrågningsunderlaget inte är komplett eller är otydligt avseende injekteringsarbetena är risken uppenbar att entreprenörens prissättning blir felaktig och/eller att entreprenören påför ett omotiverat riskpåslag. I värsta fall så ingår inte arbetet i anbudet med hänsyn till komplettshetskravet enligt MER Anläggning.

De objektspecifika injekteringsklasser som anges i bygghandlingen skall vara distinkta med avseende på omfattning och inom vilka acceptabla beteenden de gäller för. Entreprenören skall vara fullt på det klara med vad som förväntas inom respektive injekteringsklass och hur korrigering åtgärder skall göras. Genom införande av objektspecifika injekteringsklasser är förhoppningen att entreprenören får ett bättre underlag för prissättning av och bedömning av tidsåtgång för utförande av respektive injekteringskärm.

När ändringar eller tillägg i samband med utförandet krävs på grund av avvikelser rekommenderas att det i kontraktet upprättas en procedur för hur ett sådant scenario skall hanteras. Vid oförutsedda beteenden, t ex ingen av de prognosticerade objektspecifika injekteringsklasserna är applicerbara, föreslås hanteras genom att entreprenören ersätts antingen via en särskilt för projektet upprättad å-prislista eller enligt självkostnadsprincipen (löpande räkning).

Följande punkter rekommenderas som komplement och kompetensutveckling vid upprättande av framtida kontrakt innehållande injekteringsarbeten:

- Införande av avgränsade och tydliga objektspecifika injekteringsklasser som kan prissättas av anbudsgivare på ett konkurrensneutralt vis.
- Förbättrad och likartad kunskap och kompetens inom projektering för att prognosticera objektspecifika mängder relaterade till injekteringsklasser.
- En komplett och detaljerad mall till mängdförteckning som överensstämmer med injekteringsklasserna.
- Ersätta entreprenör även för total pumptid utöver förbrukat injekteringsmedel.

Då ersättningsformerna för injektering är och har varit varierande från objekt till objekt behöver dessa bli både tydligare och anpassade för att uppnå en rättvis ersättning för verkligt utfall. Detta för att uppnå en högre enkelhet att reglera injekteringsarbetena och att entreprenören får ett incitament för att utföra arbetet på för objektet bästa sätt.

Projektören kommer aldrig kunna eliminera samtliga osäkerheter, kända som okända, och risker vid framtagande av prognosticerade objektspecifika injekteringsklasser. Detta innebär att prognostiserat och verklig mängd injekteringsarbete alltid i viss mån kommer att variera i samband med genomförandet. Men variationerna behöver definieras och synliggöras samt vilka variationsintervall som skall förväntas och hur dessa skall hanteras eller när annan ersättningsform t ex löpande räkning istället skall gälla.

Omfattningen av injekteringsarbetena går inte i detalj att förutse. På grund av detta behöver entreprenörens ersättning för verklig utfört arbete regleras med en högre detaljeringsgrad i antalet mängdposter.

Notera även att ersättningsformen i detta fall också baseras på enkelhålsinjektering och inte för eventuell multihålsinjektering.

Med föreslagna rekommendationer till anpassning av mall till mängdförteckning baserat på MER Anläggning skapas möjligheter till både en lägre osäkerhet och en lägre risk med avseende på upphandling, ekonomi och tid för både beställare och entreprenör.

#### 4.3.3 IMPLEMENTERINGSFÖRSLAG MER ANLÄGGNING

MER Anläggning behöver ta hänsyn till injekteringens svårighetsgrad för att uppnå täthetskraven, se avsnitt 3.3.1. Detta ska hanteras via upprättande av objektspecifika injekteringklasser som redovisas i bygghandlingen, se avsnitt 4.1 och 4.2.

Därutöver har ett antal huvudrubriker tagits fram i projektet för att strukturera upp mängdposterna i förslagen mall till mängdförteckning:

- Skärmgeometri inkl. borring av injekteringshål
- Sonderingshål
- Injekteringsmaterial och -materiel
- Egenskaper på injekteringsmedel
- Injekteringsutrustning
- Utförande
- Stoppkriterier vid injektering
- Kompletterande injekteringshål/injekteringsomgångar
- Kontroll och uppföljning av utförande
- Kontroll och uppföljning av erhållet tätningsresultat

Ovanstående rubriker utgör underlag för mängdposter i föreslagna mall till mängdförteckning, se bilaga 4. Vidare förutsätter det att injekteringens svårighetsgrad inte har någon påverkan på mät- och ersättningsreglerna. Detta då separata mängdposter upprättas för olika svårighetsgrader, dvs. posterna grupperas under respektive objektspecifik injekteringsklass.

Vidare föreslås förslagstexter till MER Anläggning för att underlätta vad mängdposterna avser och hur de avses ersättas i samband med genomförandet av entreprenaden.

Eftersom flertalet mängdposter ska hanteras i projekteringskedet och mängdas så behövs rådstexter som underlag till projektören, om hur mängdning ska göras. Detta gäller främst injekteringsmedel, total pumptid samt injekteringsomgångar som entreprenören skall förutsätta i sin kalkyl. Denna rådstext kan och rekommenderas även utgöra ett projekteringsunderlag till upprättad mängdförteckning och knyta an till de objektspecifika injekteringsklasserna.

Vidare skulle denna rådstext vara ett stöd till både beställare och entreprenör för en säkrare bedömning gällande mängder för respektive injekteringsklass. Entreprenörens spekulationer och eventuella riskpåslag i samband med anbud borde därmed kunna minskas. Tydliga riktlinjer för hur mängdning skall utföras torde vara en förutsättning för att åstadkomma en förändring i upprättande av mängdförteckningar. Om inte sådana upprättas är risken stor att de flesta gör på sitt eget sätt och ingen enhetlig branschgemensam förändring uppnås jämfört med dagens praxis.

Föreslagen mall till mängdförteckning behandlar och baserar sig endast på enkelhålsinjektering och på sådant vis blir det tydliga (renodlat) spelregler för, dels hur projektören skall mängdberäkna, dels hur entreprenören skall prissätta posterna i mängdförteckningen.

En framtida utredning av hur föreslagna rådstexter nyttjats skulle kunna innefatta en uppföljning av tidigare projekt avseende mängder och tider för injektering i olika typberg och projekteringskategorier.

I Tabell 4-3 nedan framgår en del av de anpassningar som ingår i rekommenderad mall till mängdförteckning, se även bilaga 4.

**Tabell 4-3** Rekommenderade anpassningar av mall för mängdförteckning.

Text	Enhet	Förklaring och motiv
<b>CDD.111 Förinjektering med cementbaserat injekteringsmedel</b>		
<p>Uppställning av borrhutrustning</p> <p><i>I ersättningen ingår etablering och avveckling av utrustning och renspolning av injekteringshål.</i></p>	st	<p><i>Uppställning (etablering) behövs då antalet injekteringsskärmar är svårt att bedöma eftersom detta är beroende av skärmlängder, ominjektering och om fler omgångar ska användas på samma stufvläge. Därutöver för ev sonderings-, kontrollhålsborrning</i></p>
<p>Injekteringsmedel inklusive eventuella tillsatsmedel</p>	l	<p><i>Avsikten med att ersätta i enheten liter istället för som tidigare kg är att pumpad mängd mäts/registreras i enheten liter och att inträngningsanalyser normalt baseras på volym uttryckt i liter.</i></p> <p><i>Injekteringsmedel av olika typ kommer troligtvis få olika pris vilket kan innebära att projektör så väl som beställare och entreprenör får förändra sitt synsätt på denna mängdpost. Vilket kommer att ställa högre krav på material- och egenskapskänedom.</i></p> <p><i>Mängd injekteringsmedel varierar beroende av injekteringsklass, antal och längd av hål, bergets beskaffenhet etc.</i></p>
<p>I ersättning för pumptid ingår samtliga pumpars totaltid</p> <p><i>Tiden mäts från då pumpning till respektive injekteringshål påbörjas till dess att endera stoppriterier avbryter injektering av respektive hål.</i></p>	tim	<p><i>Förbrukad tid varierar beroende av injekteringsstrategi i tillhörande injekteringsklasser t ex antal och längd av hål, sprickvidder, tätningskrav, bergets beskaffenhet etc.</i></p> <p><i>Ersättningen föreslås baseras på total pumptid, det vill säga om en pump används i 20 timmar får entreprenören betalt för 20 timmar. Om t ex fyra pumpar istället används i 5 timmar vardera så får entreprenören betalt för 20 timmar för ett arbete som utförts på 5 timmar.</i></p> <p><i>Detta ger ett incitament att utföra arbetet så fort som möjligt. Ersättning med reglering av total pumptid blir enklare jämfört med att ställa krav på pumpkapacitet och krav på antal pumpar. Ett sådant upplägg är något som ofta kan bli en ekonomisk diskussion och/eller ge utrymme till spekulation, då det ska bedömas om entreprenören använt rätt kapacitet och rätt antal pumpar under injekteringsarbetet.</i></p>
<p>Kompletterande injekteringshål/ injekteringsomgångar</p> <p><i>Ersätts i enlighet med respektive IK.</i></p>		<p><i>Det kan dock bli nödvändigt att specificera i mängdförteckningen mängden kompletterande hål/omgång för att entreprenören ska få en möjlighet att planera projektet i den omfattning som entreprenören finner lämpligt.</i></p>
<p>Härddningstid för injekteringsmedel</p>	tim	

#### 4.3.4 FÖRSLAG TILL VIDAREUTVECKLAD ERSÄTTNINGSFORM

Oavsett ersättningsform är det oftast tidsförskjutningen i tunneldrivningscykeln (försenad start av efterföljande aktivitet pga ”oväntat” lång injekteringstid för en viss skärm(ar)), som diskuteras och inte alltför sällan leder det till slitsamma kravhanteringsprocesser eller kontraktuella tvister i entreprenaderna.

##### *PROBLEMSTÄLLNING:*

- Varje injekteringsskärm tillhörande en injekteringsklass (IK) innebär att ingen framdrift på den aktuella fronten sker.
- Mängdförteckning enligt MER Anläggning är inte heltäckande för att ersätta entreprenören fullt ut för ”verkliga” kostnader och tidsåtgång.
- Nuvarande ersättningsmodeller inbegriper ingen reglering av tidsåtgång för utförandet och dess eventuella ekonomiska konsekvenser för efterföljande bergarbeten i tunneldrivningscykeln.
- En projektrisk eftersom entreprenörer generellt lägger till en riskkostnad för ev. avvikelser med avseende på tid för utförande av injektering.

##### *VINSTER:*

- Lättare för beställaren att förhålla sig till, istället för ev. kostsamma ÄTA-diskussioner avseende övriga bergarbeten som följd av variationer i tidsåtgång vid utförande av injekteringsklasserna.
- Mindre risk för spekulationer i entreprenörens anbudsräkning.
- Tydliga spelregler för samtliga parter för vad som gäller.
- En osäkerhet i tid slår hårdare mot de entreprenörer, som inte har tidigare erfarenheter av konsekvenserna vid avvikelse i tid, än jämfört med de entreprenörerna som har gjort detta tidigare.

Som ett förslag till att inkludera och reglera tidsåtgången har vi inom ramen för detta arbete diskuterat en sk ”Vidareutvecklad ersättningsform”. Ersättningsformen inbegriper att en mängdpost i mängdförteckningen läggs till som beaktar den merkostnad som entreprenören påförs genom att injekteringsarbetet tagit längre tid än vad som entreprenören rimligtvis borde haft med i sitt pris vid anbudets avlämnande.

Den vidareutvecklade ersättningsformen grundar sig på följande förutsättningar:

- Ansvarig projektör ska upprätta en injekteringsprognos som redovisar objektsspecifika injekteringsklasser (IK) som beskrivs i bygghandlingen med tillhörande mängdförteckning (MF).
- Projekterad omfattning (procentuellt) av respektive IK utmed bergtunneln ska framgå i den bergtekniska prognosen och i MF.

- Mängdberäkning ska baseras på rekommenderad MF enligt bilaga 4 men med tillägg av normaltids och störningskostnad.
- Entreprenören ska därmed i sitt anbud även ange en ”normaltid” i MF för tidsåtgång för respektive IK och en störningskostnad när injekteringsarbetet krävt mer tid än angiven ”normaltid”. Normaltiden skall vara oberoende av IK.

*ADMINISTRATIVA FÖRUTSÄTTNINGAR (AF):*

I AF-delen anges att ersättningsmodellen för injekteringsarbeten skall bibehållas intakt genom eventuella UE-kedjor ned till den entreprenör som utför själva injekteringen.

Denna ersättningsform behöver ses över av en entreprenadjurist så att den inte står i motsatsförhållande till AB04 eller annat.

*NORMALTIDEN OCH STÖRNINGSKOSTNAD:*

Vi anser inte att det är tillräckligt att endast reglera mängderna i MF i det fall bedömd tidsåtgång avviker betydligt från vad som skulle anses vara en fackmässig bedömning. Både entreprenören och beställaren drabbas negativt av ett sådant utfall, dels ekonomiskt, dels tidsmässigt. Det motiverar inte heller entreprenören att successivt söka möjligheter till ständig förbättring vid utförande av injekteringsarbetet.

En sådan ersättningsform behöver vara transparent. Därutöver behöver det också finnas ett förtroende sinsemellan parterna så att inte beställaren känner sig nödgad att ersätta entreprenören för tidsförlängning t ex när entreprenören brister i kompetens och kunskap. Kompetensen behöver också vara matchande på ömse sidor

Ersättningsformen innebär införandet av en “ sk “normaltid” för utförande av injekteringskärm, som entreprenören anger i mängdförteckningen, och är ansvarig för i samband med genomförandet.

Normaltiden ska utgöra underlag för reglering i det fall de objektsspecifika injekteringsklassernas fördelning (procentuellt) förändras pga anledning som ligger utanför entreprenörens kontroll (t ex av beställaren beslutade korrigerande åtgärder och förändringar eller avvikande förutsättningar inom ramen för observationsmetoden).

Normaltiden skall inkludera allt som de objektsspecifika injekteringsklasserna anger i bygghandlingen, såsom t ex etablering och avetablering av borrh- och injekteringsutrustning, tid för borring av injekteringshål, injekterad tid och ev. väntetid för härdning.

Om fördelningen av antalet injekteringskärm tillhörande de objektsspecifika injekteringsklasserna (IK) inte överensstämmer med den bergtekniska prognosen kan entreprenören komma att vara berättigad till ersättning utöver angiven ”normaltid” för respektive IK pga hinder.

*EXEMPEL PÅ REGLERING BASERAT PÅ NORMALTID OCH STÖRNINGSKOSTNAD:*

Exemplet baseras på 100 injekteringskärm med 20 st. injekteringshål/skärm och 3 st. objektsspecifika injekteringsklasser (IK 1-3):

- Hålfyllning = 3 min/injekteringshåll och injekteringstid 10 min. samt 30 % av injekteringshålen har ingen förbrukning av injekteringsmedel.
- Total injekterad tid/skärm =  $[20 \text{ st. håll fylls} \times 3 \text{ min./60 (tim.)} + 20 \text{ st. håll} \times 0,7 \text{ (30 \% injekteras ej.)} \times (10+5 \text{ (innan tryck uppnås) min./60 (tim.)}] = 1,0+3,5 = 4,5 \text{ tim.}$
- Total injekteringstid beräknas av projektören på liknande vis för respektive IK.

Reglering av verklig total injekterad tid baserat på av entreprenören angivna normaltider och angiven störningskostnad:

- Entreprenören har angivit 8 tim., 12 tim. och 16 tim. som normaltider för IK 1-3. Fördelningen av IK 1-3 är samtidigt enligt den bergtekniska prognosen 70 %, 20 % respektive 10 %.
- Detta ger en teoretisk genomsnittlig normaltid på  $8 \text{ tim.} \times 0,7 + 12 \text{ tim.} \times 0,2 + 16 \text{ tim.} \times 0,1 = 9,6 \text{ h/injekteringskärm.}$
- Verklig genomsnittlig normaltid blir istället  $8 \text{ tim.} \times 0,5 + 12 \text{ tim.} \times 0,3 + 16 \text{ tim.} \times 0,2 = 10,8 \text{ tim./injekteringskärm.}$
- Störningskostnad utgår för hinder motsvarande  $10,8 - 9,6 = 1,2 \text{ tim./skärm}$ , oavsett vad den verkliga genomsnittliga normaltiden per injekteringskärm och tillhörande IK var. Vid underskridande av teoretiska genomsnittliga normaltiden, dvs negativt utfall, blir entreprenören kompenserad för effektivt arbete, som denne förfogar fritt över.
- T ex med 100 skärmar enligt ovan och en störningskostnad på 60 000 SEK/tim., erhåller entreprenören  $100 \times 60\,000 \times 1,2 = 7\,200\,000 \text{ SEK}$ , dvs 7,2 Mkr som kompensation för hinder.

Kommentarer:

- I mängdposten normaltid finns risk för spekulation, Säg att entreprenören spekulerar i att fördelningen av IK går mot mer komplexa IK. Då kan entreprenören komma att ange ett högt pris för störningskostnad (stillestånd/hinder). Men med en rättvis ansvarsfördelning mellan entreprenören och beställaren bör rimligen risken för spekulation kunna undvikas.
- Entreprenören behöver dock kunna påvisa att det föreligger en avvikelse i angiven normaltid/IK. Dvs i det fall inga förändringar görs av B i respektive IK och/eller byter IK.
- Entreprenören anger en störningskostnad/timme för hela entreprenaden som gäller oavsett vilken/vilka IK som gett upphov till störningen/hinder.

#### *DISKUSSION AVSEENDE VIDAREUTVECKLAD ERSÄTTNINGSFÖRM*

Den vidareutvecklade ersättningsformen ställer än högre krav på projektören att upprätta relevanta och objektsspecifika injekteringsklasser.

För att underlätta för entreprenören under vilka förutsättningar ersättningsformen gäller kommer det att krävas ett tillägg i form av förklaring och motiv till ersättningsformen.

Farhågor och funderingar:

- Hur hanterar vi väntetid map härdning av injekteringsmedel?
- Byte av injekteringsmedel inom en och samma IK?
- Hur kalkylera pumptid (projektör)/hål (hållfyll+injektering till angivet tryck+injekteringstid)?
- Observationsmetoden – antal injekteringsomgångar, justering av injekteringstryck, samband/ytläckage etc.?
- Ska ”normaltid” anges för värsta scenario inom resp. IK och ev. tidsvinst är entreprenörens ”bonustid”?
- Kommer projektören klara av att upprätta kalkylerbara IK, som underlag för entreprenören att ansätta en normaltid i MF?
- Vad ska anses vara acceptabla avvikelser för när en IK upphör att gälla (tydliga spelregler)?
- Projektör anger ”normaltid” istället för E?
- Kontroller och verifiering av utfört arbete?

#### 4.3.5 SAMMANFATTNING

Delprojekt K&E har baserat sitt uppdrag på att förinjektering för bergtunnlar i framtiden fortsättningsvis huvudsakligen kommer att handlas upp som utförandeentreprenader med ersättningsformen fast pris med reglerbara mängder uttryckt i å-priser/enhetspriser (sk mängdkontrakt).

I sitt arbete har de gett förslag på en mer anpassad och detaljerad mall till mängdförteckning jämfört med den mall som presenteras i MER Anläggning 13. De har även gett förslag på förklaringar och motiv till de anpassade mät- och ersättningsregler med tillhörande förklaringar som råd och stöd till projektören i samband med mängdning.

Föreslagen mall till mängdförteckning skall utgöra en grund till framtida upphandlingar av förinjekteringsarbeten för berg ansluter till de förändringar som rekommenderas för teknisk beskrivning i enlighet med AMA Anläggning och baserat på de objektspecifika injekteringsklasser som tas fram under projekteringen. Varje projekt kommer självklart behöva en viss handpåläggning, vilket ligger inom ramen för ingenjörsmässighet.

Reglering vid annan metodik, exempelvis multihålsinjektering måste studeras närmare. Bedömningen idag är att föreslagen mall till mängdförteckning endast delvis hanterar multihålsinjektering.



De rekommendationer som föreslås inom ramen för detta arbete behöver, innan de implementeras i MER Anläggning, beskrivas i en särskild handling, t ex i Objektsspecifika mät- och ersättningsregler.

Innan implementering till branschen föreslås mallen till mängdförteckning remissas.

Utöver delprojektets uppdrag har projektgruppen även berört en alternativ ersättningsform som även tar hänsyn till genomförandetiden för en injekteringskärm och hur eventuella förändringar i tidsåtgång utöver de som bedömts skulle kunna hanteras utan att entreprenören anser att ett hinder/störning uppstår. Ersättningsformen har inte ännu studerats tillräckligt för att kunna implementeras, utan framtiden får utvisa om intresse att utveckla den vidare finns eller inte.



## 5 FÖRSLAG PÅ FORTSATT ARBETE

Projektet har resulterat i följande förslag:

- Bilaga till Trafikverkets ”Projektering av bergkonstruktioner” /Trafikverket, 2015/.
- Uppdatering och komplettering av AMA Anläggning 13 och RA Anläggning 13
- Uppdatering och komplettering i MER Anläggning 13

Denna rapport redogör för underlagen till förslagen, som har överlämnats till Trafikverket för remissgenomgång.

Under projektets slutskede och sammanställning har förslag på fortsatta arbeten identifierats. Dessa förslag är:

- Att utföra ett oberoende test, dvs. ett sk ”torrsim”, av förslagen projekteringsmetodik. Test bör utgå från underlag från ett eller flera projekt och inkludera samtliga steg från ett tidigt projekteringsskede fram till byggskedet med förfrågningsunderlag som innefattar Teknisk Beskrivning och Mängdförteckning. Metodiken ska baseras på framtagna förslag och syftar till att testa arbetsgången och identifiera eventuella luckor eller överlapp i processen. För att uppnå detta bör testet innefatta förhållanden motsvarande samtliga tre projekteringskategorier.
- Fortsätta arbetet som påbörjats med vidareutveckling av ersättningsform, se avsnitt 4.3.4. Detta bör även inkludera uppföljning av tidigare och/eller fiktivt utförd injektering kopplade till injekteringsklass och ”normaltider”.



## REFERENSER

Anläggning 13 AMA (2014). Allmän material- och anläggningsbeskrivning för anläggningsbranschen. Svensk byggtjänst.

Anläggning 13 RA (2014). Råd och anvisningar för anläggningsbranschen. Svensk byggtjänst.

Anläggning 13 MER (2014). Mät- och ersättningsregler anläggningsarbeten med mall för mängdförteckning. Svensk byggtjänst.

Eriksson P-E., och Hane J. (2014). Entreprenadupphandlingar. Uppdragsrapport 2014:4 åt konkurrensverket ISSN-nr 1652-8069

Trafikverket (2015): Projektering av bergkonstruktioner. Trafikverket publ. 2014:144.



## **BILAGOR**

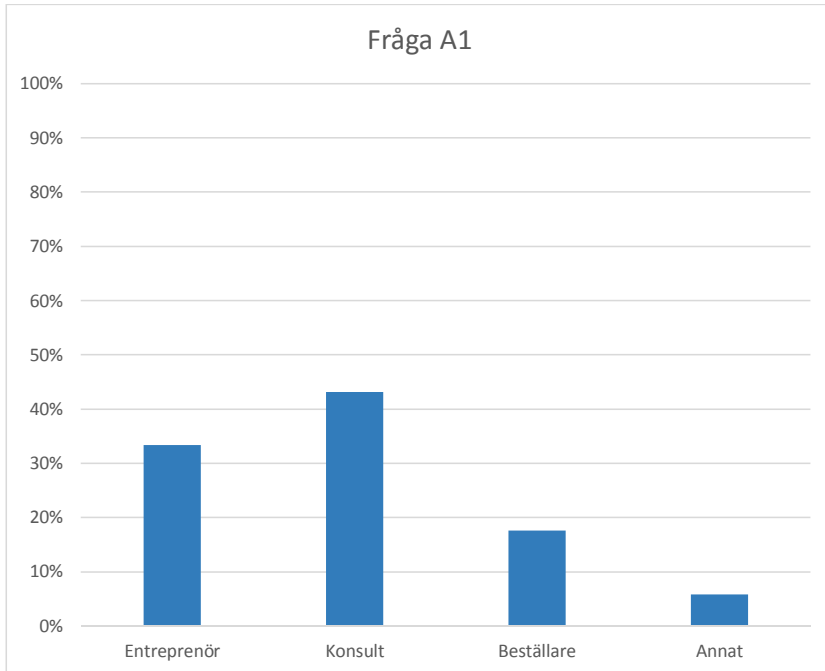
- BILAGA 1 ENKÄTUNDERSÖKNING**
- BILAGA 2 DELUPPDRAG KARAKTÄRISERING OCH DESIGN**
- BILAGA 3 DELUPPDRAG TEKNISK BESKRIVNING**
- BILAGA 4 DELUPPDRAG KONTRAKT OCH ERSÄTTNINGSFÖRM**



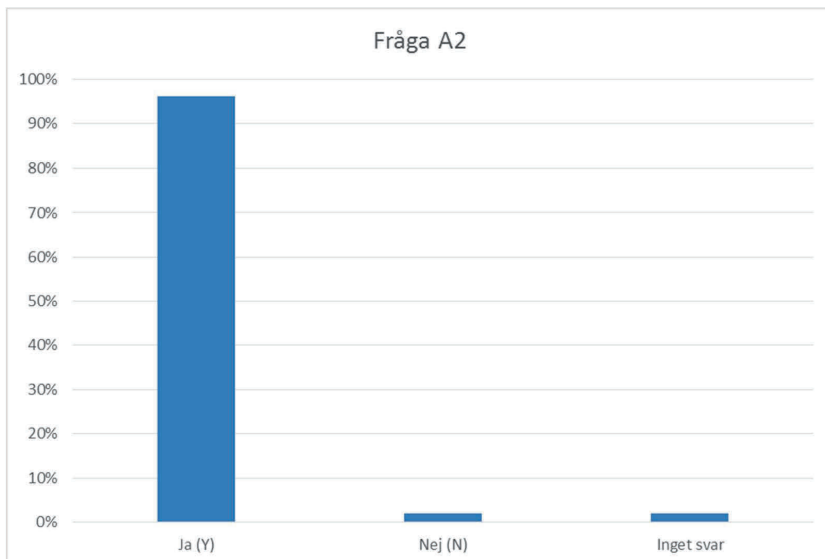


## Bilaga 1: Enkätundersökning:

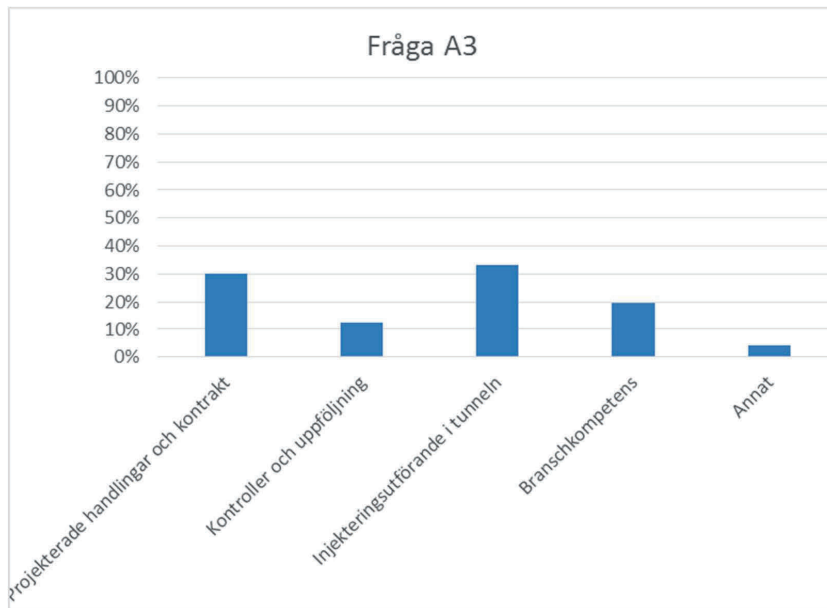
Fråga A1: Vilken yrkeskategori tillhör du?



Fråga A2: Bedömer du att det behövs ett mer enhetligt arbetssätt vid projektering och utförande av injekteringsarbeten?



Fråga A3: Vilken eller vilka av alternativen nedan bedömer du är viktigast att utveckla?

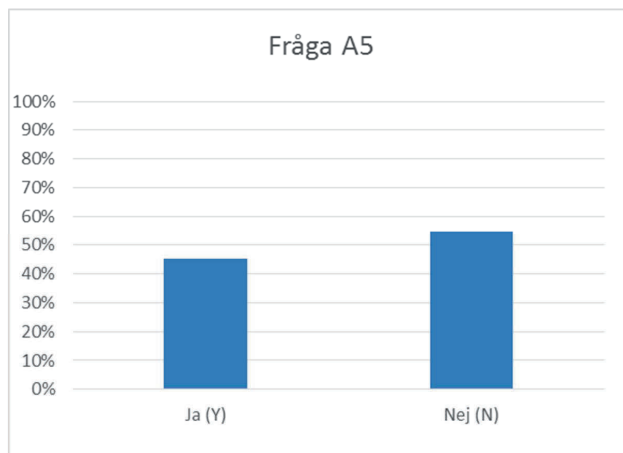


Fråga A4: Vill du utveckla lite kort ditt nej på föregående fråga?

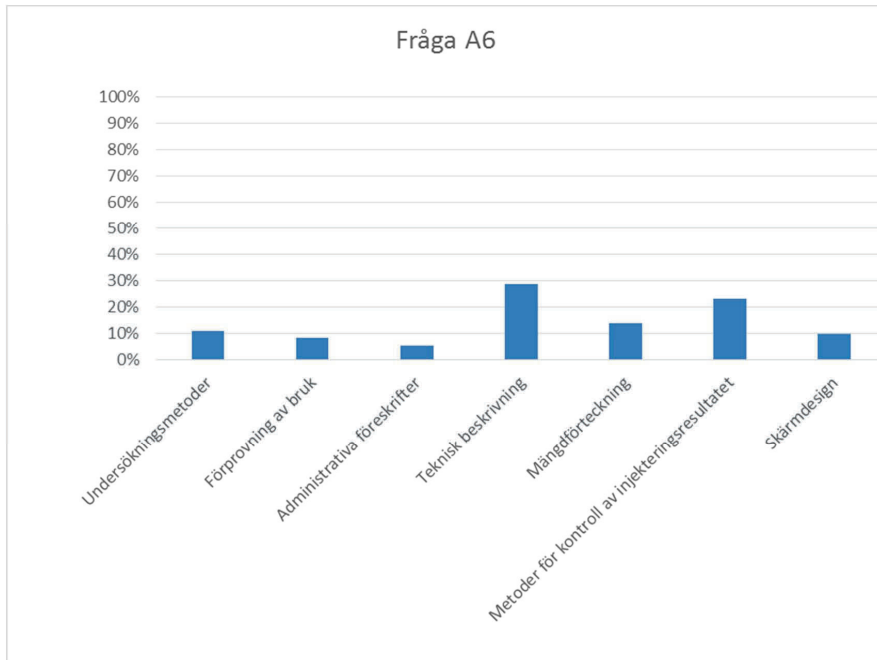
Svar:

- *"Mer krut bör läggas på en mer enhetlig arbetsätt vid projekteringen och utförande göras vid borrhning och sprängning. Bergets egenskaper styr valet av metoder för att förhindra onödigt stora sprickbildningar i berget."*

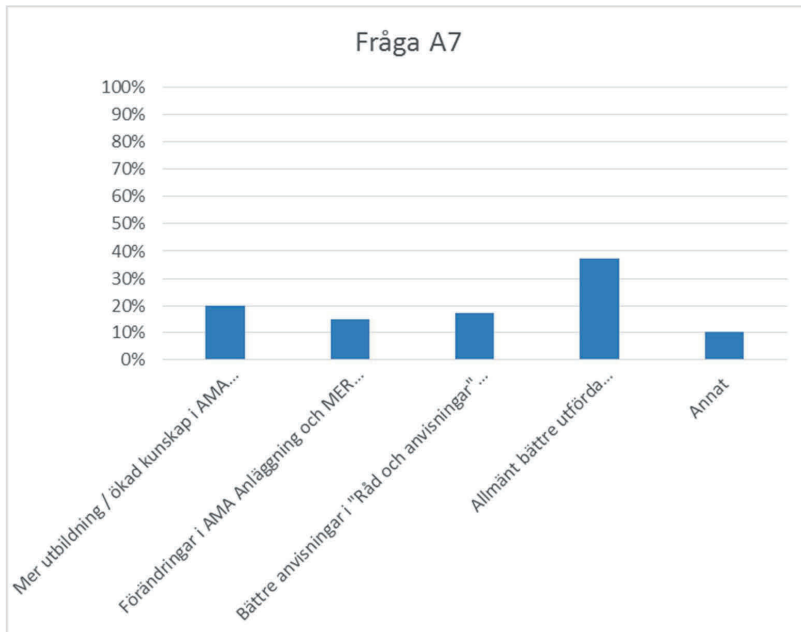
Fråga A5: Anser du att branschen har en tillräcklig kompetens avseende injektering?



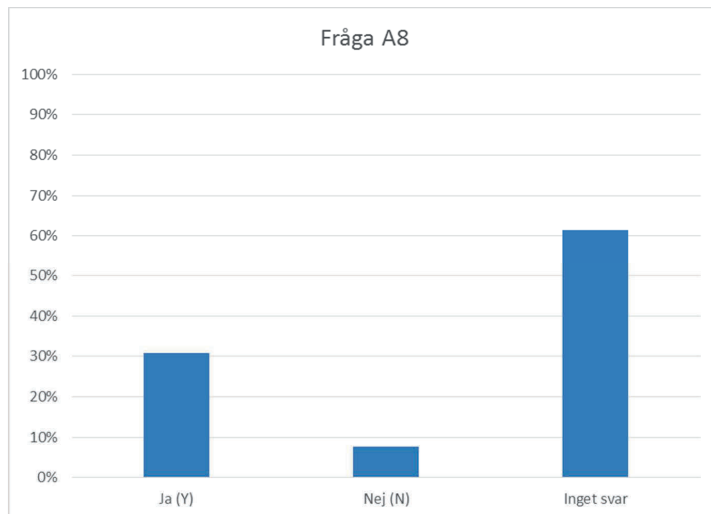
Fråga A6: Vilken eller vilka av följande handlingar eller moment anser du behöver förbättras?



Fråga A7: Anser du att någon eller några av följande insatser är viktiga avseende den tekniska dokumentationen?



Fråga A8: Anser du att det finns förbättringar att göra i AMA AF med avseende på injekteringsarbeten?

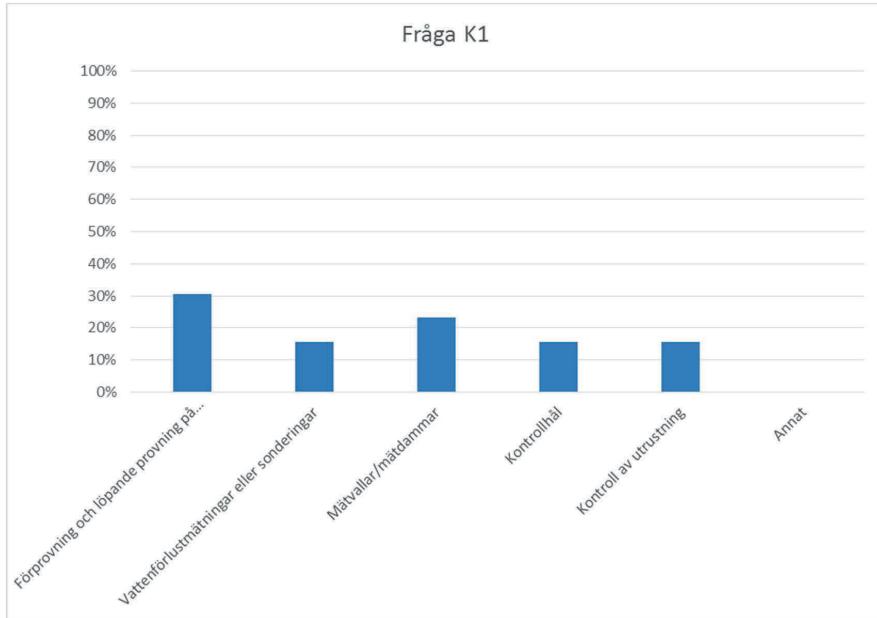


Fråga A9: Vilka förändringar i AMA AF anser du skulle vara positiva?

Svar:

- *"Tidspåverkan för ett tunnelprojekt kan vara enormt om det inte finns en begränsning i mängder och/eller tider"*
- *"Även injekteringstid bör anges med a-pris"*
- *"Skall tydligt framgå vilka tidsaspekter som föreligger vid injekteringsarbete."*
- *"Försök att enas om en standardmodell som därefter anpassa till de specifika förhållande. Gärna enligt en bransch- accepterad modell"*
- *"Krav på utbildning av injekterare"*
- *"Tydligare integrera modern injekteringsforskning."*
- *"Ersättning/liter injekterat bruk"*

### Fråga K1: Vilken eller vilka kontroller eller uppföljningar är det du anser kan förbättras?



### Fråga K2: Vilka förändringar vill du se avseende förprovning och löpande provning på injekteringsbruk?

Svar:

- *"Inträngningslängd och Stabilitet"*
- *"Bygglidningen deltar och gör löpande kontroller på hur arbetet utförs. Provingen måste också entreprenörerna visa att de förstår hur den ska göras och vad de gör om inte kraven uppfylls."*
- *"Se till att man utför förprover och fortlöpande provning på fältet. Annars är det svårt att se orsaken till eventuella problem men injekteringen"*

### Fråga K3: Vilka förändringar vill du se avseende vattenförlustmätningar eller sonderingar?

Svar:

- *"Att använda vattenförlustmätningarna för att bestämma hur injekteringen skall utföras."*
- *"B måste se till att dessa utförs, entreprenören vill oftast slopa dessa för att vinna tid."*

#### Fråga K4: Vilka förändringar vill du se avseende mätvallar/mätddammar?

Svar:

- *"Tätare och kontinuerlig mätning i för att "hitta" läckaget i förhållande till annat inkommande vatten. Även se om det fluktuerar över tid."*
- *"Projektören måste förstå varför de används och att de går att använda i verkligheten. Det viktiga är att säkerställa mängden inläckande vatten."*
- *"Bättre tätning av mätvallar"*
- *"Inga förändringar, utan bara att de vid behov utförs så att man kan följa upp inläckaget."*

#### Fråga K5: Vilka förändringar vill du se avseende kontrollhål?

Svar:

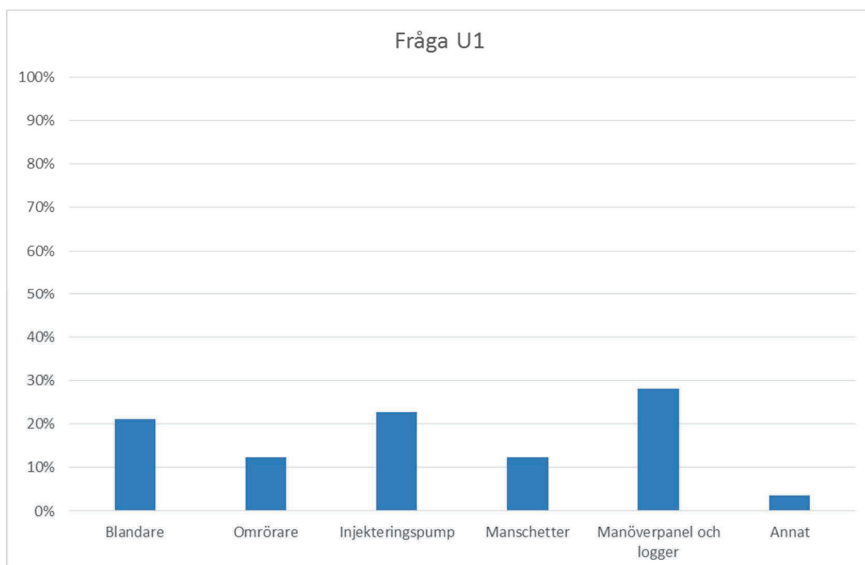
- *"Kontrollhålen är viktiga för att avgöra om injekteringen "tagit" eller ej."*
- *"Större krav på att dessa utförs så att man kan följa upp arbetet, samma som med vattenförlust och sondering, tid att känna för entreprenören."*

#### Fråga K6: Vilka förändringar vill du se avseende kontroll av utrustning och material?

Svar:

- *"Bättre pumpar och flerhålsinjektering"*

#### Fråga U1: Ange vilken eller vilka utrustningsdelar du upplever kan utvecklas eller där du ser behov?

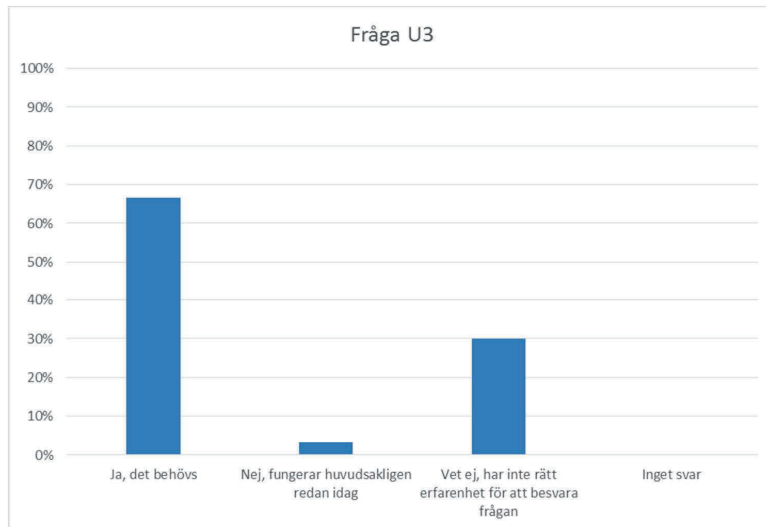


## Fråga U2: Ange vilken eller vilka förändringar du förordar!

Svar:

- *"Utnyttja de tekniska framsteg som gjort avseende loggning etc samt att man ska kunna optimera antalet personer, linjer och riggar för att minska tid och ge ett bättre utförande"*
- *"Att kunna logga enskilda hål även vid multihålsinjektering på ett enkelt sätt."*
- *"Flödesmätare och modernisering av datainsamling"*
- *"Inställningen hos beställare o projektörer: att ny kunskap får ta plats o genomföras. Produkter o ny teknik kommer aldrig få fotfäste innan inställningen ändras"*
- *"Jag saknar en seriös och djupgående studie av flerhålsinjektering, och då menar jag inte 8-9 hål utan 20+ hål. Här behövs större kunskap både inom det teoretiska och praktiska/maskinella områdena. Injektering är det enskilda område där vi har den största förbättringspotentialen."*
- *"Generellt bra men utvecklingen går alldeles för långsamt. Bever loggssystem är på rätt väg men behöver bli stabilare (tappar ofta mycket information)."*
- *"Förbättrade pumpar"*
- *"Har använt en obermann enhet på mitt föra jobb. Var mycket sofistikerad på gränsen till alltför komplicerad. Testning registrering gjordes av tunnel ingenjörer. Pappers arbetet var utmärkt, kopplingen till vad som händer i berget inte alltid lika tydligt. Länken mellan ingenjör operatör är viktig. Byggledningen måste försäkra sig om att detta samarbete fungerar."*
- *"Filma utförandet för att fånga upp ev. avvikelser, spill etc."*
- *"Behöver tryckas på att det är viktigt att all utrustning är rengjord innan nya blandningar görs. Manschetter behöver kunna flyttas vid pågående injektering. Utveckling av nya pumpar, är lite gammalt att använda kolvpumpar."*
- *"Högre kapacitet för att stämna med pumparnas prestanda"*
- *"Pumpar och styrsystem som klarar att leverera och mäta över både de tätaste hålen/sprickorna som behövs för striktare inflödeskrav och de grövre sprickorna, så att uppföljning och analys som RTGC kan tillämpas."*
- *"Måste vara användarvänliga och ge den information som krävs."*
- *"Högre kapacitet"*
- *"Det borde snabbare att montera manchetter."*
- *"Täta manchetter"*

Fråga U3: Upplever du att dagens utrustning kan utvecklas för att bättre kunna styra injekteringarna och exempelvis tillämpa RTGC (Real Time Grouting Control method) och Multihålsinjektering i högre grad?



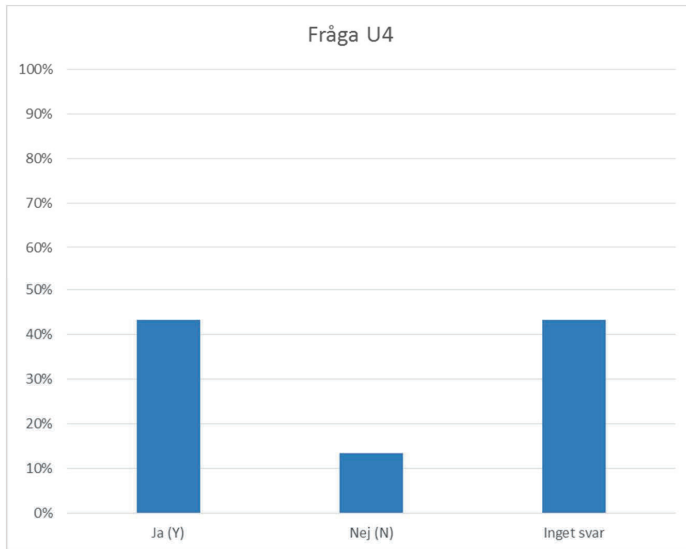


Fråga U31: Beskriv på vilket sätt du anser en vidareutveckling av utrustningen behövs?

Svar:

- *"Genom att våga testa och därmed kunna utveckla metoderna i större omfattning"*
- *"RTGC bör utvecklas stegvis. 1) Visualisering på rigg avseende tryck, flöde och volym per hål underlättar kvalitetssäkring gällande stoppkriterier, 2) Automatisering och styrning av rigg mot givna stoppkriterier"*
- *"Ja det finns redan idag men behöver bli mer standardiserat. RTGC är ett mycket bra verktyg när vi injekterar och skapar större förståelse av vad som händer inne i berget."*
- *"Tidsvinst om flera hål kan köras samtidigt."*
- *"Bättre koll på vilket eller vilka hål som tar bruk och vilket som är klart. Som det är idag har du ingen koll på detta."*
- *"Vid flerhålsinjektering är det viktigt att det finns tillräckligt med personal att hantera de olika uppgifterna som finns. Blir snabbt väldigt stressigt att hinna med vid injektering av flera hål samtidigt."*
- *"Jag är nog inte riktigt insatt i hur detta utvecklats under de senaste 10 åren. Misstänker dock att datainsamling och hur datat hanteras inte möjliggör analyser på ett rimligt sätt."*
- *"Öka kapaciteten på blandare och omrörare"*
- *"Pumpar och styrsystem som klarar att leverera och mäta över både de tätaste hålen/sprickorna som behövs för striktare inflödeskrav och de grövre sprickorna, så att uppföljning och analys som RTGC kan tillämpas. Det är viktigt att framhålla att RTGC inte bör ersätta en ordentlig design, utan ett verktyg för att följa upp resultaten."*
- *"Spara tid"*
- *"RTGC= är en myt då det bygger på vad injekteraren upplever snarare än någon typ av vetenskaplig grund ur produktionssynpunkt. Multihål förordas i en del tekniska beskrivningar, men samtidigt är kravet kvar på registrering av varje håls parametrar vilket är i dag nästa omöjligt då all registrering utgår från pumpen, inte manschetten."*
- *"RTGC är en bra idé men tveksam till att kompetensen finns på plats i fält att hantera detta. Multihålsinjektering kräver stora maskinella resurser och stort manskap."*

Fråga U4: Bedömer du att förändringar på byggarbetsplatsen skulle bidra till effektivare injekteringsarbeten?



Fråga U5: Vilka förändringar skulle du vilja se?

Svar:

- *"Bättre utbildad personal hela vägen från byggledning och arbetsledning till injekterare som har bättre förståelse för syfte bakom projekteringen men även öppna upp för en tvåvägsdialog där optimeringar på arbetsplatsen ska kunna utföras"*
- *"Respektera stoppkriterier. Implementera RTGC"*
- *"Inte skriva fast i kontrakten i detalj hur injekteringen ska utföras utan mera uppdragstaktik. Förutsättningarna är så, vi förslår metoden så, verifieras genom förprovning för att uppnå kravet. Annan metod som kan bevisa fungera lika bra får självklart användas."*
- *"Bättre samförstånd mellan byggledning, projektör och entreprenör. Bättre kommunikation totalt sett."*
- *"Jag tror inte i första hand att det handlar om att enhetsoperationer i sig behöver effektiviseras. Det är samordning, planering och hantering av störningar som behöver styras upp."*
- *"se injekteringen som en egen aktivitet och inte ett hinder för berguttaget"*
- *"Högre prioritering av injekteringen i driftcykeln, öppna för att vid behov injektera i flera omgångar i större utsträckning."*
- *"Viljan att förändra under projektets gång. Lyssna mer på utövare än "doktoranter"."*
- *"Högre kompetens och mindre tro på att injektering är häxkonst"*

Fråga Av1: Har du några övriga kommentarer avseende injektering eller denna enkät som du vill framföra?

Svar:

- *"Mycket bra "glömda" takfällningsmetoder finns för salvor i tunnlar och gruvorter. Metoderna användes då man ville förhindra extra tid på bultning, injektering och nätning med sprutbetong."*
- *"Förinjekteringens utförande borde/måste styras av berget och risken för omgivningspåverkan i mycket högre omfattning. Inte av ett värde baserat på inläckage per tunnelmeter, vilket är normalfallet. Lite mera sund förnuft! Konceptet med systematisk förinjektering tillämpad vid tunneldrivning i Sverige idag leder i lika hög grad till ett systematiskt förstörelse av omgivande berg! Faktum är att 85-90% av alla förinjekteringshål som borras i tunnarna inte tar mer än hålfyllnad=täta!"*
- *"Forskning med tillämpad erfarenhet måste vara styrande fortsättningsvis. Det ska inte vara namn på forskare, eller gamla sanningar som inte håller, som ska styra kunskapen framåt"*
- *"I många kontrakt/avtal är många kriterier redan fastställda, t.ex tryck & volym. Ofta finns mycket lite utrymme för att utföra injektioner utanför dom ramarna, vilket ibland gör det mycket svårt att utföra injektionen på effektivast sätt. Många ifrån den "gamla skolan" åsiker väger ofta väldigt tungt inom injektering's design och utförande. Viktigt att samla in all information (Geo förundersökningar, Katläggningar i "närområdet", MWD data samt att titta på stoffen och se hur berget ser ut, innan man tar ett beslut om hur injektionen ska gå till, samt att man under injektionens gång kan behöva att ändra på hela den ursprungliga planen. Här är RTGC ett väldigt bra verktyg. Mycket forskning är gjorts dom senaste tio åren inom injektion och grout, vilket är mycket bra. Fler borde läsa dom och mer forskning behövs för att inte utvecklingen ska stagnera."*
- *"Injektering har blivit styrda av forskare känns det som. Man måste kunna ta fram något som utförare står bakom. Nu känns det som en skrivbordsprodukt och koncept ändras från ett projekt till ett annat."*
- *"Bra modell på Citybanan där geologerna under borrhningen bedömde om fler hål skulle borras."*
- *"I kontrakt borde det bättre styras hur rätten till tidsförlängning ska hanteras om mängden injektering ökar"*
- *"Skulle vilja se en bättre kommunikation mellan bygglledning, projektör och entreprenör vad gäller utförandet av injekteringar. Som det är idag så får man som entreprenör bara höra att "det står så i TB". Det är idag totalt styvnackat på vissa arbetsplatser i stället för att i samförstånd komma fram till en bra lösning."*
- *"Strategi baserad på förutsättningar d.v.s. teknisk hjälpmedel, geologi samt beställarkrav (kontrakt, tidplan etc.) är av stor vikt för att lyckas."*
- *"Det är viktigt att alla inblandande har full förståelse för varför vi utför injektering vid tunneldrivning. Varför vi ställer olika täthetskrav på våra anläggningar. Skall vi uppnå efterfrågad täthet måste det accepteras att detta emellanåt tar tid att genomföra dessa arbeten."*
- *"Det är viktigt att injekteringen får en högre status eftersom resultatet ger så stora konsekvenser om det misslyckas."*
- *"Bra enkät, men jag undrar fortfarande vad 5+40 blir?"*
- *"Jag hoppas att resultaten ur Enhetlig modell... används till att höja lägstanivån, och inte hämma de mer avancerade designlösningarna."*
- *"Att ta fram en utbildning/certifikat för att säkerställa YA's kompetens. Framförallt när det kommer mycket oerfaren arbetskraft från utländska entreprenörer."*
- *"Injektering är en typisk "aktiv design" eller "design as you go" grej. Hur bra och noggrant man än projekterar behöver alltid ändringar göras under drivningsskedet. Trial and error!"*
- *"Nuvarande tillståndsprocess för tunnlar, där det praktiska injekteringsförfarande många gånger låses upp i miljödom är helt förkastligt och har oftast väldigt stor inverkan på förändringsviljan i projektet."*

- *” Utveckla tillsammans med konsulter och entreprenörer vilka ingångsparametrar som är viktiga för att beskriva injekteringsarbetet och vilka krav/kriterier/enheter som AMA / MER Anläggning ska beskriva, kravställa och mängda. Det verkar som att injekteringsarbetet måste uppfinnas varje gång/varje ny tunnel/bergrum”*
- *” Beställaren bör ta en mer aktiv roll när det gäller utprovning av injekteringsbruk och intrimning av injekteringskonceptet”*

## **Bilaga 2**

# Enhetlig modell för injektering

## - deluppdrag: Karakterisering och Design

Sara Kvartsberg, Peter Wilén, Sid Patel, Norconsult AB  
Rolf Christiansson, Christiansson Geoengineering AB.

## Sammanfattning

Denna rapport redovisar resultat från deluppdraget *Karakterisering och Design* som ingår i BeFo-projektet Enhetlig modell för injektering. Rapporten beskriver dels ett teoretiskt ramverk kring karakteriserings- och designfrågor och dels en metodik/modell som ska kunna ingå i en projekteringshandbok.

Karakteriseringsdelen av modellen bygger på att bergmassan ska karakteriseras med ett tätningsperspektiv och fokus på särskiljande hydrauliska egenskaper. Klassificering av bergmassan (presenterade med typberg) baseras därför på parametrar som är av relevans för inträngning av injekteringsmedel och inläckageanalyser.

Designdelen av modellen introduceras med begreppet projekteringskategori vilket avser att beskriva projekterings omfattning från "enkel injektering" med ett delvis standardiserat förinjekteringskoncept till "svår injektering" med enbart riktlinjer för projektering och analyser. De projekteringskategorier som nyttjas är:

- Projekteringskategori 1: "Enkel injektering"
- Projekteringskategori 2: "Normal injektering"
- Projekteringskategori 3: "Svår injektering"

Ingående steg i modellen är:

1. **Bedöma typberg** (totalt tre stycken exkl. större svaghetszoner) genom karakterisering av bergmassans vattenförande egenskaper.
2. **Identifiera projekteringskategori** genom att väga samman typberg, inläckagekrav (erhålls från miljödom och delas in i fyra kategorier) och svårighetsgrad för injektering.
3. **Erhålla en föreslagen standardiserad designmetodik och/eller riktlinjer för design** baserat på projekteringskategori, inläckagekrav, typberg och förekomst av specialfall.

# Innehållsförteckning

1	Inledning.....	4
1.1	Struktur.....	4
1.2	Definitioner.....	4
2	Teori karakterisering.....	5
2.1	Vattentransport och injekterbarhet i bergmassans spricksystem.....	5
2.2	Kvantifiering av bergmassans genomsläpplighet.....	9
2.3	Vattenförande egenskaper - koppling geologi och tektonik.....	11
2.3.1	Sprickighet i olika bergarter.....	12
2.3.2	Sprickfördelning mot djupet.....	13
2.3.3	Svaghetszoner.....	14
2.4	Bergklassificeringssystem.....	15
3	Teori design av injektering.....	17
3.1	Analysmetoder för design och uppföljning av design.....	17
3.2	Tillämpning av Observationsmetoden inom injektering.....	18
3.3	Informationsuppbyggnad under projektskeden.....	21
3.4	Datafångst under injekteringsarbetet.....	24
3.5	Behovsprövad injektering.....	25
4	Enhetlig modell för injektering.....	27
4.1	Bedöma typberg.....	27
4.2	Identifiera projekteringskategori.....	30
4.2.1	Inläckagekrav.....	31
4.2.2	Typberg.....	32
4.2.3	Svårighetsgrad för injektering.....	32
4.3	Designlösningar i projekteringskategorier.....	32
4.3.1	Skärmgeometri.....	33
4.3.2	Bruksegenskaper.....	33
4.3.3	Beslutskriterier.....	34
4.3.4	Specialfall och justeringar.....	34
4.4	Projekteringskategorier.....	35
4.4.1	Projekteringskategori 1.....	35
4.4.2	Projekteringskategori 2.....	37
4.4.3	Projekteringskategori 3.....	39
4.4.4	Strategier för verifiering av injekteringsdesign.....	40



4.4.5	Nya tekniker .....	40
4.4.6	Förekomst av flera projekteringskategorier inom ett projekt .....	40
5	Referenser .....	41

# 1 Inledning

Denna rapport utgör ett underlag för Projekteringshandbok för injektering och redovisar resultat från deluppdraget *Karakterisering och Design*. Rapporten beskriver dels ett teoretiskt ramverk kring karakteriserings- och designfrågor som baseras på kunskap som tagits fram inom injekteringsforskning, och dels en enhetlig modell som utgör en metodik som ska kunna ingå i en projekteringshandbok.

## 1.1 Struktur

Rapportens struktur är enligt följande:

- 1. Inledning:** Beskrivning av rapportens syfte och struktur, samt definition av viktiga begrepp.
- 2. Teori karakterisering:** Presentation av teoretisk bakgrund för karakterisering med syfte att beskriva bergmassan för injektering.
- 3. Teori design:** Presentation av teoretisk bakgrund för design innehållande förutsättningar för projektering, undersökningsbehov, analysmetoder och koppling till kunskapsuppbyggnad i ett projekt.
- 4. Enhetlig modell för injektering.** Presentation och definition av modellens ingående delar.

## 1.2 Definitioner

Nedan följer en lista på viktiga begrepp ingår i den enhetliga modellen för injektering

Behovsprövad injektering	Injektering utförs enbart på delsträckor där tätningsbehov föreligger. Beslut om injektering baseras på en strukturerad metodik och arbetsgång.
Observationsmetoden	Dimensioneringsmetod presenterad i EN 1997:2004 som innebär att beteendet följs upp genom observationer för att se att de befinner sig inom acceptabla gränser. Om så inte är fallet ändras utförandet genom förutbestämda åtgärder baserat på observationerna.
Projekteringskategori	Riktlinjer för projektering utifrån injekteringens svårighetsgrad. Bedöms från typbergsbeskrivning, inläckagekrav, erforderlig tätningsseffekt och erforderlig hydraulisk konduktivitet i den tätade zonen.
Svårighetsgrad	Avser en bedömning av injekteringens utifrån erforderlig tätningsseffekt och erforderlig hydraulisk konduktivitet i den tätade zonen. Svårigheten kan också relateras till möjligheten att träffa och täta vattenförande sprickor. Begreppet svårighetsgrad är därför tvetydigt.
Typberg	Klassificering av bergmassa ur tätningsperspektiv, utgående från särskiljande hydrauliska egenskaper.
Tätningsseffekt	Den relativa minskning av inläckage som följer av injektering, beräknat som skillnad mellan teoretiskt inläckage före och efter injektering delat med inläckage före injektering.

## 2 Teori karakterisering

Analysmetoder som ligger till grund för upprättande av tekniska lösningar i bygghandlingsskedet avseende tätning utgörs vanligen av analytiska beräkningar, t.ex. beräkningar av inflöden av grundvatten och inträngningslängder. För att kunna utföra dessa beräkningar behövs en karakterisering av bergmassans egenskaper som möjliggör en prognos av inflöden av vatten och bergmassans injekterbarhet (dvs. den valda injekteringsdesignens möjlighet att täta enskilda sprickor). Eftersom grundvatten framförallt transporteras i bergmassans spricksystem så är en god förståelse för sprickors- och spricksystems vattenförande egenskaper en viktig förutsättning för projektering av injekteringsinsatser (se t.ex. Emmelin et al. 2007).

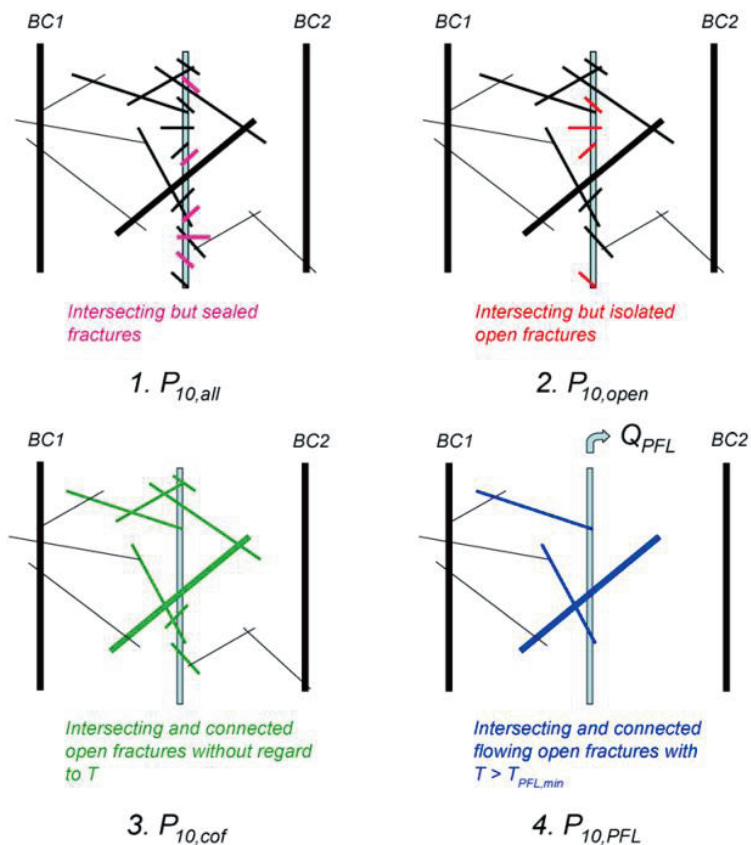
### 2.1 Vattentransport och injekterbarhet i bergmassans spricksystem

Ett flertal forskningsstudier har visat att spricksystemens geometriska uppbyggnad och sprickgeometri (sprickvidd) har konsekvenser för injekterbarheten och påverkar därmed vilken tätningseffekt (relativ reduktion i bergmassans hydrauliska konduktivitet) som är möjlig att uppnå. Till parametrar som kan beskriva spricksystemets geometriska karaktär hör sprickfrekvens, antal sprickgrupper och dess orientering, flödesdimension, samt fördelning av spricktransmissivitet och hydraulisk sprickvidd (se t.ex. Stille 2012, Emmelin et al 2007 och Hernqvist 2011). Dessa parametrar ger tillsammans förutsättningarna för att beskriva spricksystemens konnektivitet, vilket är en indirekt parameter som anger den relativa andelen skärningspunkter mellan sprickor i ett spricksystem och på så sätt styr bergmassans storskaliga hydrauliska egenskaper (se t.ex. NRC 1996).

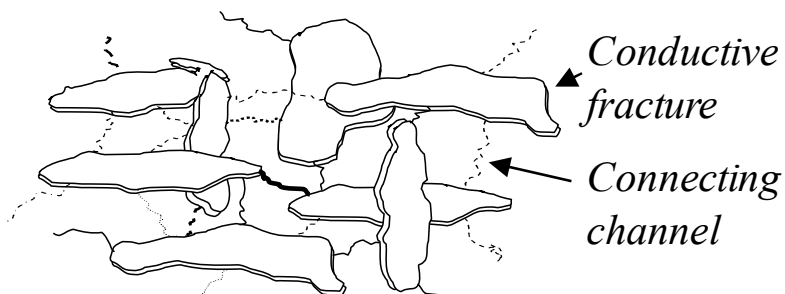
Det är i första hand det vattenförande spricksystemet som är av intresse för injekteringsprojektering och det hydrauliskt konnekterade spricksystemet är bara uppbyggt av en delmängd av alla sprickor i bergmassan. Dessutom är det bara en delmängd av de vattenförande sprickorna som kan identifieras med hydrogeologiska undersökningsmetoder. Detta förhållande illustreras i Figur 2-1. En diskussion av information som kan erhållas genom olika undersökningsmetoder ges t.ex. av Gustafson (2009) och Stille (2015).

Utgående från ovanstående resonemang följer att det är viktigt att ha en förståelse för vilken typ av information som fås från olika undersökningar, samt hur detta påverkar olika typer av prognoser, t.ex. inträngning och inflöden (Hernqvist 2011).

Fransson och Hernqvist (2010) diskuterar att det kan vara svårt att täta vattenförande sprickor i spricksystem med låg frekvens av vattenförande sprickor och stor andel flödeskanaler (1D-flöde) i sprickorna (s.k. 1D-2D system, se Figur 2-2), speciellt när tunneln drivs i liten eller stor vinkel mot dessa sprickor. Detta beror på att injekteringskärmens borrhål har svårt att träffa vattenförande sprickor, men också vattenförande delar av sprickan, samt att spridning via konnekterade sprickor som ej träffas direkt av borrhålen är begränsad. Den begränsade förekomsten av vattenförande sprickgrupper medför att bergmassans hydrauliska egenskaper blir starkt anisotropa.

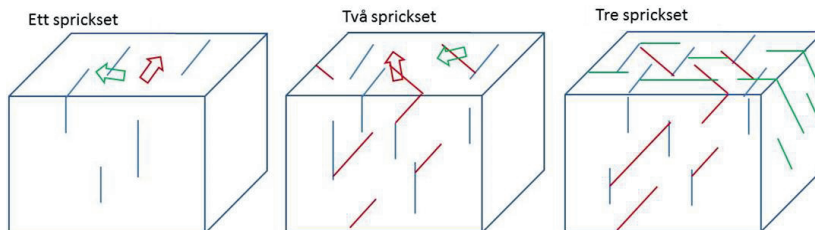


Figur 2-1. Fyra olika beskrivningar av sprickfrekvensen ( $P_{10}$  [ $m^{-1}$ ]) längs ett borrhål, där all= alla öppna sprickor, open= alla öppna sprickor, cof= alla konnektade öppna sprickor och PFL= alla flödande öppna sprickor större än mätgränsen för PFL-metoden (en inflödesmättningsmetod). Efter Follin et al (2005).



Figur 2-2. Konceptuell beskrivning av ett 1D-2D vattenförande spricksystem där flödeskanaler har stor inverkan på flödesegenskaperna (efter Gustafson et al. 2008).

I spricksystem med två vattenförande sprickgrupper (med mindre frekvens flödeskanaler än i ett 1D-2D system) kan borrhål (beroende på drivningsriktning) ha också svårt att träffa vattenförande sprickor, även om konnektiviteten mellan sprickor förväntas öka. I dessa typer av spricksystem har drivningsriktningen stor betydelse för om det uppstår ogynnsamma eller gynnsamma förhållanden, se Figur 2-3.



Figur 2-3. Illustration av hur drivningsriktning i förhållande till sprickorientering påverkar svårighetsgrad att täta sprickor. Pilar visar olika drivningsriktningar; röd: stor svårighet (ogynnsamt), grön: liten svårighet (gynnsamt). En gynnsam eller ogynnsam drivningsriktning bedöms ha större betydelse när det finns ett fåtal vattenförande sprickgrupper.

I ett spricksystem med hög sprickfrekvens och tre eller fler sprickgrupper förväntas ett mer välkonnekterat spricksystem uppstå i vilket förekomst av flödesrestriktioner inte är lika påtaglig. I sådana system förekommer således inte gynnsamma och ogynnsamma orienteringar i samma utsträckning, även om en viss hydraulisk anisotropi ofta förekommer till följd av skillnader i sprickgruppernas frekvens och sprickaperturer. Dock uppstår andra svårigheter i ett sådant spricksystem eftersom ju fler sprickor och ju större spridning i fördelningen av sprickvidder, desto svårare är det uppnå en låg genomsläpplighet och hög tätningseffekt (Emmelin et al 2007).

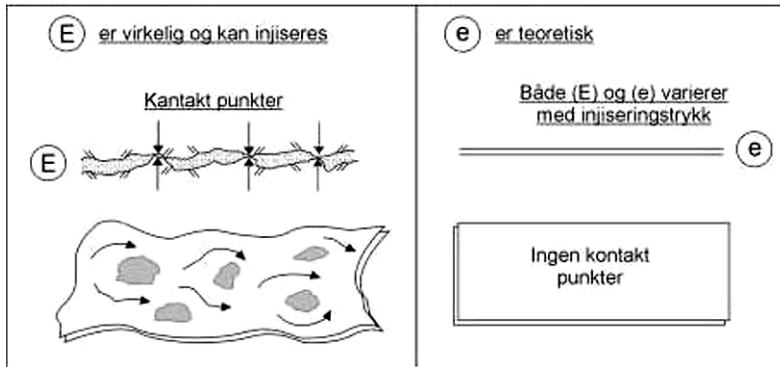
Flödet och inträngningslängden i sprickorna, dvs. om valt injekteringsmedel faktiskt förmår tränga in i och täta enskilda sprickor, kan sättas i relation till sprickvidder och sprickors flödesdimension (Gustafson 2009). Flödande sprickor har varierande sprickvidd som beror av spricktopografin, graden av mineralutfällningar på sprickan, samt typ av mineral och i viss mån normalspänningen över sprickan.

Den verkliga sprickvidden och dess flödesfördelning är ojämn och svår att karakterisera. Istället kan den effektiva hydrauliska sprickvidden  $b_{hyd}$  [m] nyttjas, vilket förenklar sprickan till en idealiserad, planparallell spalt som ger samma medelflöde som den verkliga sprickvidden. Den effektiva hydrauliska sprickvidden kan beräknas med den kubiska lagen (Snow 1968):

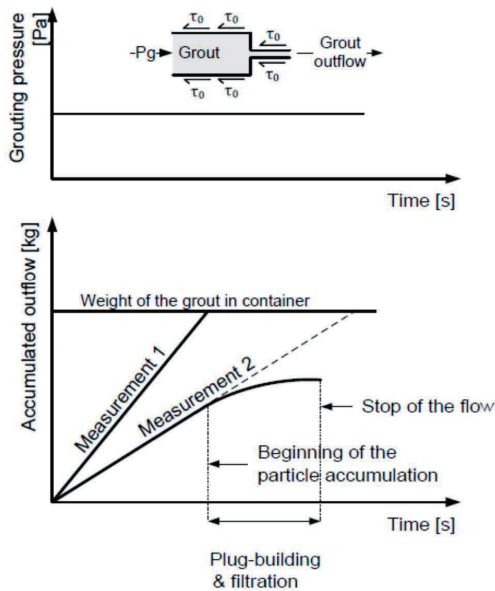
$$b = \sqrt[3]{\frac{12\mu_w T_u}{\rho_w g}} \quad \text{Ekvation 1}$$

I den kubiska lagen är den hydrauliska sprickvidden kopplad till sprickans transmissivitet  $T$  [ $m^2/s$ ], vilket är en proportionalitetskonstant som är direkt proportionell mot den hydrauliska konduktiviteten och akvifärens mäktighet. Spricktransmissiviteten beskriver därmed hur mycket vatten sprickan transporterar

genom att betrakta denna som en tvådimensionell struktur med en spalt genom vilken vattnet flödar. Den verkliga viddvariationen som finns i sprickor (illustrerat i Figur 2-4) medför dock att injekterade bruk filtreras tills de smalaste sprickvidderna har satts igen, se Figur 2-5 (Draganovic 2009). Sprickviddsvariationen är också anledningen till att brukspridningsprognoser baserat på hydrauliska tester tenderar att underskatta den injekterade volymen. Resultat av hydraulisk test styrs av sprickans trånga sektion, medan den injekterade volymen fyller i stort sett hela sprickvolymen.



Figur 2-4 Skillnad mellan verklig och teoretisk sprickvidd (Barton, 2004).

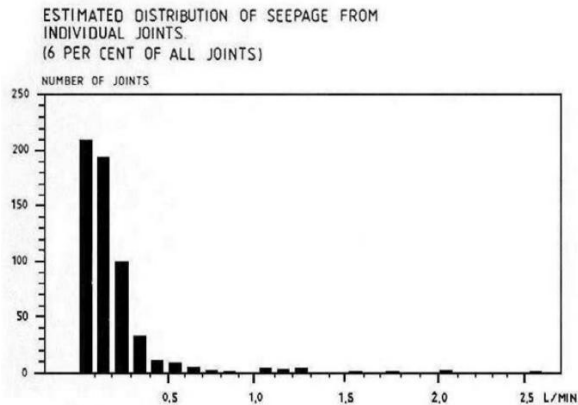


Figur 2-5. Spaltviddens betydelse för brukspridning (Draganovic, 2009).

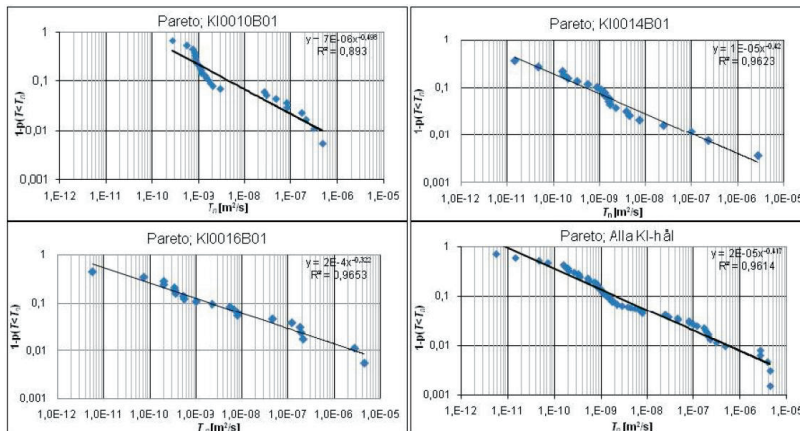
## 2.2 Kvantifiering av bergmassans genomsläpplighet

En konceptuell beskrivning som ofta nyttjas vid injekteringsdesign är att ett fåtal stora sprickor dominerar bergmassans genomsläpplighet och majoriteten av sprickor ger små flödesbidrag. Ett exempel på en sådan fördelning ses i data från SFR, se Figur 2-6.

Vid injekteringsanalyser har det visat sig användbart att kunna beskriva den stora spridning som finns mellan olika sprickors genomsläpplighet (spricktransmissivitet), exempelvis med statistiska fördelningar som Paretofördelningen (se t.ex. Gustafson 2009). Exempel på hur statistiska fördelningar av spricktransmissiviteter har erhållits genom att passa undersökningsdata till Paretofördelningar ges i Figur 2-7.



Figur 2-6. Vattenförande sprickor i SFR:s driftutrymme (Carlsson och Christiansson 1988). Baserat på reguljär tunnelkartering av försvarsområdet och omfattar ca 10 000 sprickor. Cut-off var små fuktfläckar (några dm<sup>2</sup>) som bedömdes ge ca 0,1 l/min.



Figur 2-7. Skattade Paretofördelningar för spricktransmissiviteter för tre kärnbrorhål i en tunnel på 450 m djup vid Äspölaboratoriet (Funehag och Emmelin 2011).

Analys av transmissivitet- och sprickviddsfördelningar som underlag för val av injekteringsparametrar ingår i en designmetodik för injektering som bland annat redovisas i Gustafson (2009) (se Figur 3-1 i Kapitel 3). Andra analyser som ingår i denna designmetodik som är kopplat till karakterisering av bergmassan är beräkningar av inläckage och erforderlig tätningseffekt.

Tätningseffekten kan beräknas enligt följande ekvation (Stille och Eriksson 2005):

$$Tätningseffekt = \frac{q_{oinj} - q_{krav}}{q_{oinj}} \quad \text{Ekvation 2}$$

I ekvation 2 ingår att beräkna inläckage för en oinjekterad  $q_{oinj}$  respektive injekterad tunnel  $q_{inj}$ . Två ekvationer som ofta tillämpas för analytiskt beräkna dessa inläckage är:

$$q_{oinj} = \frac{2\pi \times \bar{K} \times H}{\ln\left(\frac{2H}{r_t}\right) + \xi} \quad \text{Ekvation 3}$$

$$q_{inj} = \frac{2\pi \times \bar{K} \times H}{\ln\left(\frac{2H}{r_t}\right) + \left(\frac{K}{K_{inj}} - 1\right) + \ln\left(1 + \frac{t}{r_t}\right) + \xi} \quad \text{Ekvation 4}$$

Ekvationerna gäller för en cirkulär tunnel (med radien  $r_t$ ) i ett poröst medium, men kan användas för överslagsmässiga beräkningar i ett sprickigt medium och för andra tunnelgeometrier. Parametrar som ingår i ekvationerna är hydraulisk medelkonduktivitet  $\bar{K}$ , grundvattentryck  $H$ , skinfaktor  $\xi$ , den injekterade zonens hydrauliska konduktivitet  $K_{inj}$  och den injekterade zonens tjocklek  $t$ .

För att åstadkomma bra inläckageanalyser baserat på dessa analytiska ekvationer fodras att bra och rimliga värden ansätts för den hydrauliska medelkonduktiviteten, vilket representerar bergmassans hydrauliska egenskaper (Gustafson 2009). Den hydrauliska konduktiviteten kan beräknas från borrhålsdata genom att ansätta  $\bar{K} = \sum T_n / L$  där  $L$  motsvaras av borrhåls längden och  $\sum T_n$  är den summerade transmissiviteten för alla sprickor längs borrhålet. Denna beräkning ger oss det aritmetiska medelvärdet för den hydrauliska konduktiviteten.

Det aritmetiska medelvärdet i liten skala har dock visat sig ofta överskatta bergmassans genomsläpplighet i en större skala och för att kompensera för eventuella skaleffekter kan den hydrauliska medelkonduktiviteten istället väljas från beräkningar av bergmassans effektiva hydrauliska konduktivitet.

Hydrauliska tester i borrhål visar dock att data är oftast är nära lognormalfördelad. Genom att förutsätta att den hydrauliska konduktiviteten är lognormalfördelad med det geometriska medelvärdet  $K_g$  och ln-standardavvikelse  $\sigma = \sigma_{lnK}$  kan den effektiva hydrauliska konduktiviteten erhållas genom att tillämpa Matherons förmodan:

$$K_D = K_g \cdot \exp\left(\sigma^2 \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{D}\right)\right) \quad \text{Ekvation 5}$$

Parametern  $D$  motsvarar flödesdimensionen och för ett tvådimensionellt flöde motsvaras effektivvärdet alltså av det geometriska medelvärdet. För lognormalfördelade data är det geometriska medelvärdet ungefär lika med



medianvärdet (dvs. det värde som den mittersta observationen har). Om bergvolymen betraktas som ett tredimensionellt flödesproblem hamnar den effektiva hydrauliska medelkonduktiviteten någonstans mellan det aritmetiska och geometriska medelvärdet enligt:

$$K_{3D} = K_g \cdot \exp(\sigma^2/6) \quad \text{Ekvation 6}$$

Olika typer av hydrauliska tester som kan nyttjas för att utvärdera den hydrauliska konduktiviteten är exempelvis vattenförlustmätningar, tryckpuppyggnadstest och provpumpningar. För redogörelser av dessa metoder hänvisas exempelvis till Gustafson (2009).

I tidiga skeden av projekt finns sällan hydrauliska tester från borrhål tillgängliga för att beräkna effektiv hydraulisk medelkonduktivitet. Däremot kan det vara möjligt att nyttja data från SGUs brunnarkiv. I arkivet finns data för brunnskapacitet och brunnsdjup varifrån den specifika kapaciteten  $Q/s_w$  kan approximeras. Utgående från den specifika kapaciteten kan transmissiviteten bestämmas approximativt enligt (Gustafson 1986):

$$T = 1,2 \cdot Q/s_w \quad \text{Ekvation 7}$$

Eftersom brunnskapaciteter och brunnsdjup är approximativt lognormalfördelade kan effektivvärdet för ett tvådimensionellt flödesproblem approximeras till det geometriska medelvärdet, dvs. medianvärdet för den specifika kapaciteten  $(Q/s_w)_{50}$ .

En annan parameter som behöver definieras vid inläckageberäkningar är den hydrauliska konduktiviteten i den tätade zonen runt tunneln,  $K_{inj}$ . Detta värde kan väljas erfarenhetsmässigt, men kan också skattas utifrån en teoretiskt beräknad resttransmissivitet,  $T_{inj}$ .

I den teoretiska beräkningen antas transmissiviteten efter injektering motsvaras av den summerade transmissiviteten för de sprickor som inte tätas, dvs. de sprickvidder som är mindre än den dimensionerande hydrauliska sprickvidden (Gustafson, 2009). Detta värde kan skattas från Paretofördelade spricktransmissiviteter för kärnborrhål enligt:

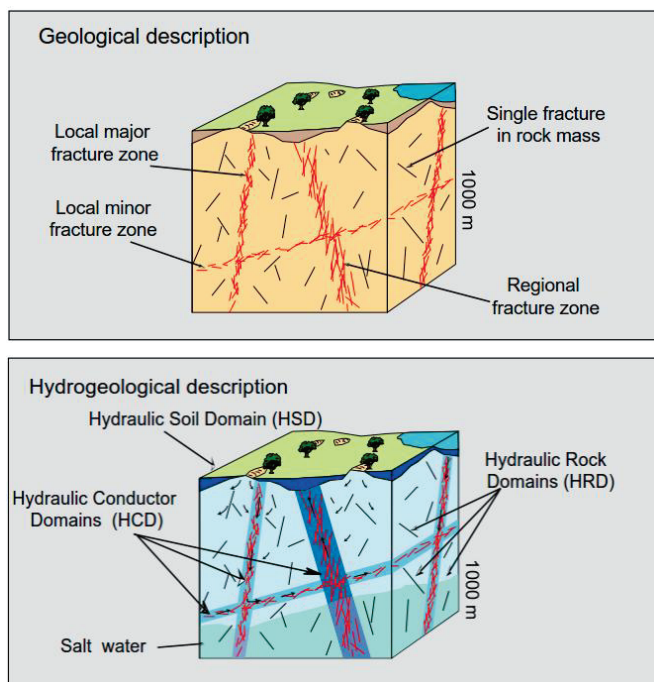
$$T_{inj} = T_{tot} - T_{max} \cdot \sum_1^{r_{inj}} \frac{1}{r^{1/k}} \quad \text{Ekvation 8}$$

där  $T_{tot}$  är transmissiviten för alla testade sektioner och  $r_{inj}$  är antalet injekterade sprickor.  $K_{inj}$  beräknas därefter enligt  $K_{inj} = T_{inj}/L$ .

### 2.3 Vattenförande egenskaper - koppling geologi och tektonik

Den skandinaviska urbergsskölden har utsatts för ett flertal tektoniska aktiviteter, vilket resulterat i både plastiska deformationer och spröda brott. Dessa endogena processer har påverkat jordskorpan till stort djup. De spricksystem som bildats kan senare ha fyllts med ny magma (gångbergarter), eller påverkats av hydrotermala lösningar, vilket medfört utfällning av mineral och/eller vittring. Dessutom har bergytan utsatts för exogena processer. De för Sverige viktigaste processerna är främst erosion av glaciärer och av- och pålastning av inlandsisar.

Berggrundens bildning och tektoniska historia lämnar avtryck i bergmassans spricksystem och det är ofta möjligt att urskilja skillnader i vattenförande egenskaper mellan olika bergarter och mellan svaghetszoner och omgivande berg (Gustafson 2009). I SKB:s modelleringsarbete av berggrundens vattenförande egenskaper skiljs på *hydraulic rock domains* och *hydraulic conductor domains*, dvs. bergmassan och ingående deformationszoner, se Figur 2-8 (t.ex. Rhen et al. 2003). Variationen inom en bergart är dock alltid större än skillnaderna mellan olika bergarter och förekomst av sprickzoner behöver inte alltid medföra vattenproblem (Gustafson 2009).



Figur 2-8. En översikt av geologiska och hydrogeologiska termer SKB använde i sina platsundersökningar. Från SKB rapport R-03-08 (Rhen et al. 2003).

Trots denna stora variationsbredd i bergets vattenförande egenskaper kan det finnas avgörande skillnader i vattenförande egenskaper som möjliggör och stödjer en kvantitativ och/eller kvalitativ indelning av bergmassan i olika typberg. För att indelningen ska kunna användas vid projektering och utförande av injektering måste indelningen baseras på parametrar som är mätbara och som går att följa upp under byggskedet. Det är dock troligt att en konceptualisering av fördelningen av bergets vattenförande egenskaper på geologiska grunder kan vara en framgångsfaktor för indelning av bergmassan för injekteringssyfte.

### 2.3.1 Sprickighet i olika bergarter

Genom att studera den geologiska och tektoniska utvecklingen i ett område är det möjligt att få information om bergartsspecifika egenskaper som påverkar uppsprickningen i bergmassan. För magmatiska bergarter går det exempelvis att

urskilja att genomsläppligheten är högre i sura (felsiska) bergarter än i basiska (mafiska bergarter). Den kemiska vittringen både på bergytor och i sprickor är större för basiska bergarter än sura (Gustafson 2009), och förekomst av gångbergarter och bergartskontakter leder ofta en ökad hydraulisk konduktivitet jämfört med omgivande berg (Holmøy 2013).

Metamorfa bergarter har typiskt en skiktad gnejsstruktur (foliation) som ger anisotropa egenskaper. Dock är det inte säkert att det är foliationssprickorna som är de mest vattenförande (Gustafson 2009). Beroende på sammansättning finns metamorfa bergarter som uppvisar tendenser till omfattande sprickfyllnader och lermomvandling. Detta gäller särskilt för bergarter såsom lerskiffrar, glimmerskiffrar och amfiboliter, men kan även förekomma i gnejs (Statens Vegvesen 2004).

En hög förekomst av sprickfyllnad/leromvandling medför generellt en ökad andel flödesrestriktioner i spricksystemet och i sprickor, vilket kan leda till svårigheter att erhålla god bruksspridning och tätning. Injekteringsutförandet kan därför behöva anpassas med exempelvis reducerad hålllängd, ökat hålantal, samt ökat injekteringstryck.

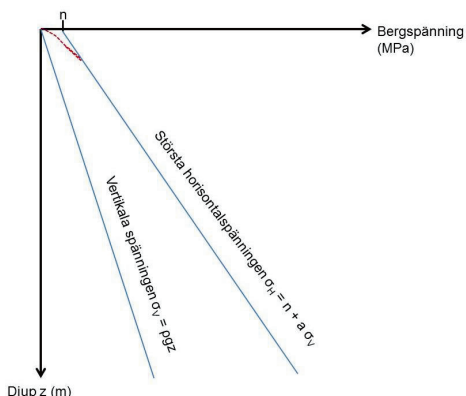
### 2.3.2 Sprickfördelning mot djupet

Erosion av glaciärer, samt av- och pålastning av inlandsisar är troligen en av de främsta orsakerna till ytliga s.k. bankningsplan vilket leder till en ökad uppsprickning i ytberget till varierande djup, se Figur 2-9.

Bergspänningssituationen har betydelse för inspänningsgraden av spricksystemet, speciellt i det yttnära berget, se Figur 2-9. Ju högre sprickfrekvens, desto större sannolikhet att inspänningen av ytberget är låg. Det kan i sin tur innebära att jordmaterial kan ha trängt in i sprickor. I sådana situationer kan det öppna spricksystemet vara mer eller mindre lokalt tätat av finkorniga jordmaterial (silt – lera).



Figur 2-9. Ungefärlig utbredning av ytuppsprucket berg över streckad röd linje. Del av översta pallen i Aitiks dagbrott. Jordlagret är knappt 10 m och första pallen ca 15 m hög. (Foto: R. Christiansson).



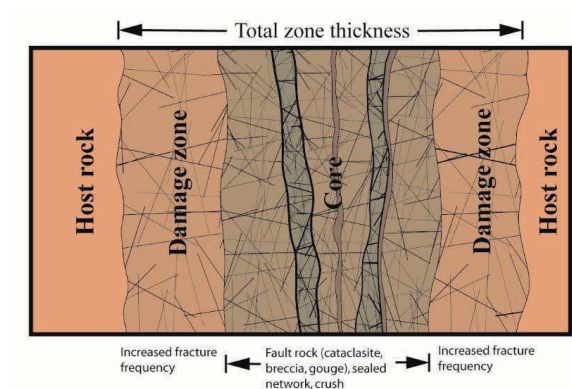
Figur 2-10. Bergspänningsprofil mot djupet för största horisontalspänningen och vertikalspänningen under ett område med relativt plan topografi. Minsta horisontalspänningen ligger ofta mellan dessa gradienter, men kan närma sig vertikalspänningens magnitud mot djupet. Den röda streckade linjen visar en principiellt mer trolig gradient för  $\sigma_H$  i yttoppsprucket berg.

Anläggningens placering under markytan påverkar injekteringsutförandet eftersom en liten bergtäckning medför restriktioner gällande exempelvis hålllängd, injekteringsstryck, stopptid och injekteringsmängd per hål, men innebär samtidigt ett ökat antal injekteringshål och ett större krav på observationer. Även stor bergtäckning kan medföra särskilda krav på injekteringsutförandet eftersom det ofta förekommer höga grundvattentryck, vilket i sin tur ställer krav på utrustning och injekteringsmedel.

### 2.3.3 Svaghetszoner

Svaghetszoner är ett samlingsbegrepp som används för att beskriva strukturer i bergmassan som genom sitt svagare bergmaterial särskiljer sig från omgivande bergmassa. Deformationszon är den strukturgeologiska termen för en lokaliserad skada av tidigare tektoniska processer. Många svaghetszoner utgörs alltså av deformationszoner som uppvisar någon grad av sprödtektoniskt brott, ibland senare påverkad av hydrotermala processer. Vissa deformationszoner har senare läkts och kan ha likartade mekaniska och hydrauliska egenskaper som övrig, mindre påverkad bergmassa.

I injekteringssammanhang brukar sprick- och krosszoner vara förknippade med grundvattenproblematik (Gustafson 2009). Termen sprickzon indikerar att sprickintensiteten i zonen är högre än i omgivande berg, men det kan vara svårt att korrelera typiska hydrogeologiska egenskaper till zoner (Gustafson 2009). Sprickigheten i övergången mellan en deformationszon och omgivande bergmassan kan även ha betydelse. I fall då sprickigheten entydigt ökar mot zonen (s.k. "damaged zone", se Figur 2-11) kan den hydrauliska konduktiva och konnekterade bredden vara betydligt bredare än för den geologiskt bedömda bredden för deformationszonen. Det finns även fall där skadezonen saknas och bergmassan är tämligen tät fram till zonen. Därför kan man behöva skilja på zonens geologiska och hydrauliska bredd.



Figur 2-11. Konceptualisering av en deformationszons struktur (modifierad från Munier m.fl. 2003).

Större svaghetszoner eftersträvas att identifieras i ett tidigt skede eftersom de är viktiga ur både stabilitets- och täthetsproblematik. Dessa lokaliseras och karakteriseras och blir därför deterministiska zoner. Det förekommer även mindre zoner (t.ex. spricksvärmar och enstaka, komplexa sprickor) som kan vara hydrauliskt viktiga, men som kan vara svåra att lokalisera innan tunneldrivningen, s.k. stokastiska zoner. Dessa kan vara möjliga att identifiera med sonderingar, men det är inte alltid som specifika injekteringslösningar utformas för att identifiera och täta mindre zoner. Riktlinjer för att särskilja större, deterministiska svaghetszoner från mindre, stokastiska svaghetszoner är vanligen projekt-specifika. En systematisk sammanställning av frekvens och hydrauliska egenskaper av dessa stokastiska zoner kan dock bidra till att identifiera de mest konduktiva avsnitten i bergmassan mellan deterministiskt bestämda zoner.

Val av lämplig injekteringsmetodik för större, ofta geologiskt komplexa, svaghetszoner beror på zonens egenskaper och blir därmed en projektspecifik lösning (Chang m.fl. 2005). En hög frekvens av sprickor ökar dock sannolikheten för att sprickor med hög genomsläpplighet förekommer och att fler injekteringsomgångar kan behöva utföras innan en tillräckligt hög andel av sprickorna har tätats för att reducera konduktiva flödesvägar till tunneln.

## 2.4 Bergklassificeringssystem

De s.k. klassificeringssystemen, t.ex. RMR, Q-index, RMI och GSI (Bieniawski 1989; Barton 2002 m.fl.) utgör hjälpmedel för att karakterisera berg och uppskatta bergets kvalitet ur byggbarhetssynpunkt. Även om dessa klassificeringssystem inte är direkt applicerbara för att karakterisera bergmassa ur injekteringsynpunkt (se t.ex. Palmström och Broch 2006) ingår parametrar i systemen som beskriver sprickfördelning och sprickors mekaniska egenskaper, vilka kan utgöra underlag för preliminära bedömningar av bergmassans hydrauliska egenskaper. Exempel på parametrar som kan vara användbara vid karakterisering av bergmassa för injektering sammanfattas i Tabell 2-1.

Tabell 2-1. Parametrar i klassificeringssystem som kan bidra till en klassificering ur injekteringssynpunkt.

Parameter	RMR	Q	RMi	GSI	Kommentar
RQD	x	x			Endimensionellt mått på sprickfrekvens.
Sprickavstånd	x		x		RMi tar hänsyn till alla sprickgrupper
Blockstorlek		x	x	x	Endast visuellt i GSI. RMi anger Vb
Antal sprickgrupper		x	x	(x)	Jn i Q-index, Jv och Vb i RMi. Endast visuellt i GSI
Sprickors vittring eller fyllnadsmaterial	x	x	x		Endast beskrivande i RMR och GSI. Ja i Q. Ja i Q och RMi

### 3 Teori design av injektering

Enligt Eriksson och Stille (2005) innebär design av injektering "att beskriva en injekteringsmetod som bedöms uppfylla ställda krav samt metodik att kontrollera och verifiera kraven". I designen ingår:

- Val av analysmetod
- Val av teknik och bruk
- Metodik för utförandekontroll och verifiering av krav.

#### 3.1 Analysmetoder för design och uppföljning av design

Med *val av analysmetod* avses att välja en analysprocess för injekteringsdesign som grundas på enkla empiriska (erfarenhetsmässiga) metoder eller att tillämpa en mer omfattande process med analytiska och/eller numeriska beräkningar. Stille och Eriksson (2005), men även Stille (2012), använder begreppet svårighetsgrad för att avgöra val av analysmetod. Principen är att okomplicerad injektering i högre grad kan baseras på erfarenhet medan komplicerad injektering bör hanteras med projektspecifika analyser och full implementering av Observationsmetoden (se avsnitt 3.2).

I Stille (2012) beskrivs hur svårighetsgrad kan bestämmas från erforderlig tätningseffekt och erforderlig hydraulisk konduktivitet i den tätade zonen enligt Tabell 3-1.

Tabell 3-1. Vägledning för svårighetsgrad utifrån krav på tätningseffekt och krav på hydraulisk konduktivitet i den injekterade zonen (från Stille 2012).

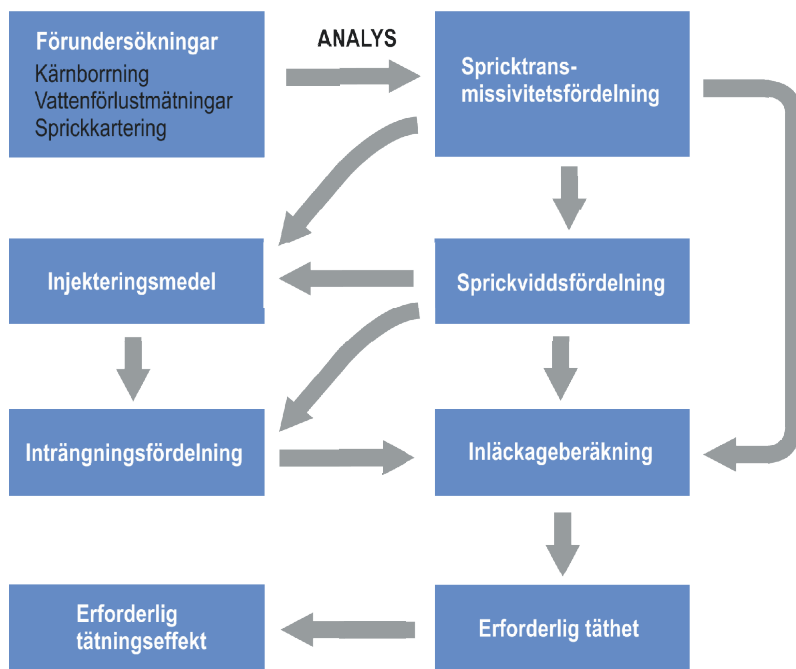
Required hydraulic conductivity <sup>1</sup> [m/s]	Required sealing efficiency <sup>2</sup>		
	< 90 %	90-99 %	> 99 %
> 10 <sup>-7</sup>	Uncomplicated grouting	Fair grouting	Difficult grouting
10 <sup>-7</sup> -10 <sup>-8</sup>	Fair grouting	Difficult grouting	Very difficult grouting
< 10 <sup>-8</sup>	Difficult grouting	Very difficult grouting	Very difficult grouting

<sup>1</sup> Väljs erfarenhetsmässigt eller skattas från Ekvation 8

<sup>2</sup> Ekvation 2

En analysprocess för injekteringsdesign som uppfyller krav på analyser som ställs vid hög svårighetsgrad (bl.a. i TRVK Tunnel 11) redovisas i Gustafson (2009), se Figur 3-1. I designmetodiken ingår att upprätta fördelningar av spricktransmissiviteter och sprickvidder i bergmassan, att analysera inträngning av injekteringsmedel, samt att prognostiserat inläckage utifrån bruksval, sprickviddsfördelning och skärmlayout.

Vid hög svårighetsgrad framhålls även vikten av att kunna verifiera att vald design medför att ställda krav, t.ex. avseende inläckage av vatten i en bergtunnel, befinner sig inom acceptabla gränser. I TRVR Tunnel 11 observationsmetoden som en sådan metod som kan tillämpas för att följa upp resultat och ange åtgärder.



Figur 3-1. Designprocessen för injektering. Modifierad från Gustafson (2009)

### 3.2 Tillämpning av Observationsmetoden inom injektering

Observationsmetoden är en dimensioneringsmetod som enligt EN 1997-1:2004, kapitel 2.7 kan tillämpas för att verifiera gränstillstånd när det är svårt att förutsäga det geotekniska beteendet.

Råd för tillämpning av observationsmetoden i EN 1997-1:2004 lyder:

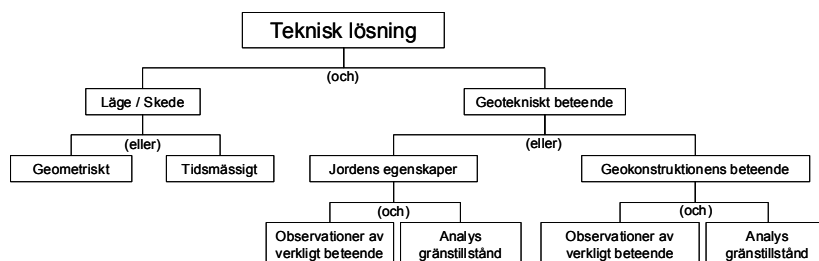
*(1) När förutsägelsen av det geotekniska beteendet är svår kan det vara lämpligt att tillämpa den metod som benämns "observationsmetoden", där dimensioneringen följs upp under byggnadsskedet.*

Fördelningen av bergets vattenförande egenskaper längs en tunnel kan anses vara ett geotekniskt beteende som är svårt att förutsäga till sådan detaljeringsgrad att utförande av varje injekteringsskärm kan definieras i förväg.

Det geotekniska beteendet relaterar till två kategorier av osäkerheter, antingen jordens beteende eller geokonstruktionens beteende (IEG 9:2010), se Figur 3-2. När osäkerheterna främst avser jordens beteende, dvs. mekaniska egenskaper, jordförhållanden samt rymdgeometriska förhållanden (anm. här jämställt med bergmassans vattenförande egenskaper), kan följande principiella tillämpningar av observationsmetoden användas.



- I. "Beroende på osäkerheternas omfattning förbereds det antal alternativa tekniska lösningar som behövs. Observationer och analyser i utförandeskedet skall då inriktas på att reducera osäkerheter om jordens beteende på sätt så att beslut kan fattas om vilken teknisk lösning som skall användas.
- II. Endast en teknisk lösning förbereds. Ett nödvändigt villkor är att praktiska förutsättningarna råder som tillåter projektering av den slutgiltiga tekniska lösningen i utförandeskedet. Observationer och analyser skall då på basis av ovanstående villkor inriktas på att klargöra de verkliga jordförhållandena."



Figur 3-2. Tillämpningen av observationsmetoden skall anpassas till identifierade osäkerheter om det geotekniska beteendet (IEG 9:2010). Här ersätts "jordens egenskaper" med "bergmassans vattenförande egenskaper".

Proceduren för att tillämpa Observationsmetoden innehåller en beslutspunkt med syftet att verifiera den aktuella tekniska lösningen eller att besluta om korrigerande åtgärd (IEG 9:2010). För injektering bör observationsmetoden alltid tillämpas för att säkerställa att designen fungerar. Korrigeringar ska succesivt göras både för att säkerställa tätningseffekten men även för att kunna minska insatsen om förhållandena tillåter detta.

Observationsmetodens tillämpning för injektering beskrivs av Stille (2015) enligt:

1. Bedöm "beteendet", dvs. brukets penetrations- och inträngningsförmåga samt resulterande konduktivitet i det injekterade berget.
2. Systematisk observation och analys av injekteringsarbetet (bruksflöde över tid, tryckutveckling etc.) samt andra observationer (sambandshål, läckage i stuff etc.).
3. Justera utförandet baserat på förutbestämda kriterier.

Exempel på andra observationer utgörs av geologisk kartering, uppmätt inläckage och grundvattensänkning i observationshål. Ett förslag på tillämpning av Observationsmetoden för injektering enligt text i EN 1997-1:2004, kapitel 2.7 ges i Tabell 3-2 .

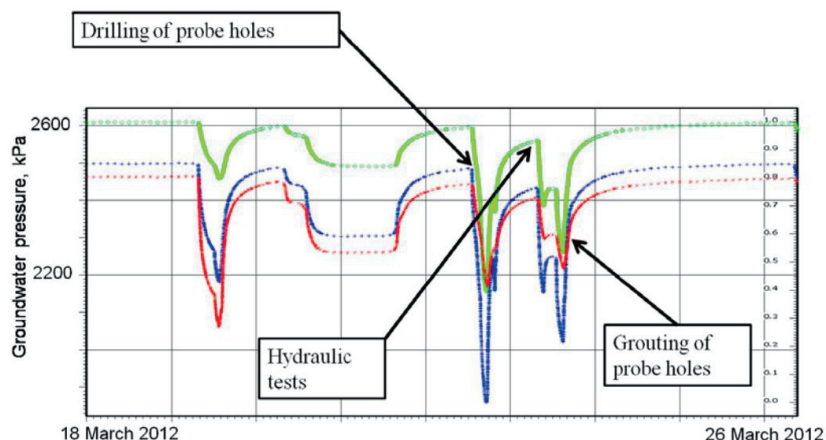
Dimensionering i enlighet med Observationsmetoden bygger på att det finns en projektorganisation som har förutsättningar att hantera gränssnitten som finns mellan arbetet med att verifiera aktuell teknisk lösning under pågående produktion och att fatta beslut och eventuellt genomföra förutbestämda korrigerande åtgärder. De specifika problemställningar som organisationen har att samordna gäller leverans,

kvalitetssäkring och analys av observationer (mätdata, inspektioner, etc.) samt verifiering av tekniska lösningar. Procedurer för detta behöver etableras, kommuniceras och vara accepterade av projektets parter dels genom innehållet i bygghandlingarna, dels genom projektspecifik planering.

Tabell 3-2. Förslag på tillämpning av Observationsmetoden för injektering.

Text enligt EN 1997-1:2004, kap. 2.7	Föreslagen tolkning	Kommentar
Acceptabla gränser för beteendet	Acceptabla gränser tolkas i detta fall till resulterande inläckage, andel ej godkända injekteringshål och/eller tryckavsänkning vid skyddsobjekt efter injektering.	Fastställs baserat på hydrogeologisk utredning och kriterier fastställda i design.
Gräns för möjligt beteende	Möjligt beteende tolkas i detta fall till den tätnings effekt man bedömer kan uppnås med det föreslagna injekteringsarbetet.	Analyseras i detaljprojekteringen. Måste stämmas av mot hydrogeologisk utredning – är det troligt att acceptabla gränser innehålls? Avvikelse som är större än vad som kan hanteras inom beslutad design initierar en justering av design. Initieras av beställaren.
Plan för uppföljning	Observationsparametrarna som möjliggör direkt respons är: 1. Flöde ur sonderingshål 2. Tryckrespons/avsänkning i observationshål (jord eller berg) 3. Systematisk uppföljning av injekteringsarbetet, geologisk kartering, inläckagemätning, och med s.k. Real Time Grout Control (RTGC) 4. Kontrollhål efter utförd injektering	Sonderingshål kan t.ex. användas för val av injekteringsblandning. En utvärdering av utförd skärm direkt efter utförandet (tryckförhållanden och injekterad volym) ger den tidigaste indikationen på resultatet (tillsammans med RTGC).
Plan för korrigerande åtgärder	Avvikelse inom den antagna designlösningen hanteras direkt av entreprenören baserat på klara anvisningar. Det kan t.ex gälla beslut om kompletterande injekteringshål i en skärm eller behov av justering av kommande injekteringsskärm. Standardiserade uppföljningsprogram av injekteringsresultat, inläckage, geologisk kartering mm utgör underlag för beslut.	Kriterier, gränssnitt och ersättningar ska vara tydligt specificerade i kontrakten. Kan kräva extra personella resurser i kritiska passager. Priser för alternativt injekteringsutförande kan behövas i entreprenadskontraktet.

Ett exempel på tillämpning av Observationsmetoden för injektering ges av Olofsson m.fl. (2014) för utbyggnaden av Äspölaboratoriet på 410-m nivån. Kravet var att minimera avsänkningen och observationer av tryckrespons utfördes därför i ett kärnborrhål som fanns ovanför utbyggnadsområdet. Detta möjliggjorde en direkt uppföljning av injekteringsresultatet, se Figur 3-3.



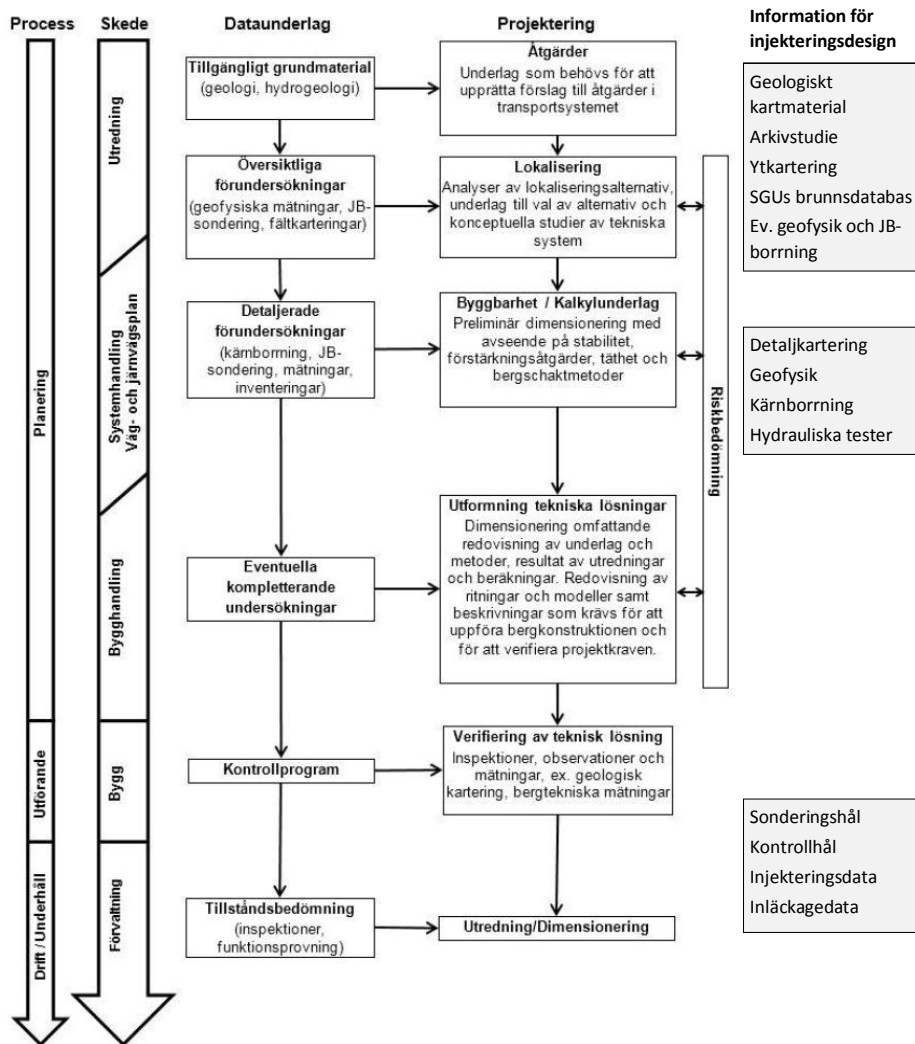
Figur 3-3. Exempel på tryckrespons vid borrhning, testning och tätning av sonderingshål på Äspö (Olofsson m. fl. 2014). Kurvorna är tryck i tre sektioner i observationshålet.

Exemplet är inte direkt representativt för vanliga infrastrukturtunnlar men metodiken kan vara tillämpbar vid komplex geologi i närheten av känsliga områden där grundvattenresponsen sker direkt.

### 3.3 Informationsuppbyggnad under projektskeden

Design av bergkonstruktioner är en process som tidsmässigt startar i en planeringsprocess och som avslutas under byggskedet när tekniska lösningar verifieras. Den principiella arbetsgången för projektering (design) i olika skeden för en bergkonstruktion illustreras i Trafikverkets projekteringshandbok för tunnlar [TRV 2014:144] med ett flödesschema (Figur 3-4). Flödesschemat från Trafikverkets projekteringshandbok är kompletterad med typiska aktiviteter som genomförs för insamling av information för injektering i olika skeden av projekteringen.

Omfattningen av undersökningar under planeringsprocessen fram till och med utförandeprocessen varierar utifrån projektets komplexitet och injekterings bedömda svårighetsgrad. Exempelvis föreligger generellt ett större undersökningsbehov för en tätortstunnel under sättningskänslig bebyggelse jämfört med en landsbygdstunnel genom en bergknalle. Gemensamt för samtliga tunnelprojekt är dock att det inte är realistiskt att få en heltäckande, deterministisk bild av vattenföringen längs den planerade tunneln före uppförandeskedet.



Figur 3-4. Processschema för utredningar i ett tunnelprojekts olika skeden (TRV 2014:144). Processschema är kompletterad med typiska kunskapsinsamlade aktiviteter som utförs för injektering.

I *utredningsskedet* är detaljeringsgraden i tillgängligt dataunderlag i allmänhet inte tillräckligt för en detaljerad redogörelse av hydraulisk konduktivitet och spricksystemens geometriska karaktär. Det finns därmed sällan förutsättningar att klargöra inläckagekrav, omgivningspåverkan, samt utförande och verifikation av injekteringsarbeten.

Information från olika typer av geologiskt och hydrogeologiskt grundmaterial kan dock möjliggöra en initial identifiering av relevanta typberg, storleksordning på

inläckage och inläckagekrav, samt svårighetsgrad för injektering (vilket kan ge en indikation på projekteringskategori, se Kapitel 4). Sådan geologisk information kan exempelvis utgöra en beskrivning av områdets tektoniska historia, generella egenskaper hos bergarter och bergartskontakter, tidigare utförda undersökningar och/eller resultat från närliggande tunnlar eller brunnsutvärdering baserat på SGUs brunnss databas kompletterad med fältrekognoseringar. Tunnelns tänkta placering och markförhållanden samt marknyttjande ger tidigt en indikation om eventuella restriktioner med tanke på omgivningspåverkan.

I *systemhandlingskedet* finns behov av att kunna genomföra byggharhetsbedömning med en viss kalkylsäkerhet och därmed ökar detaljeringsgraden, bland annat med data från kärnborrhålsundersökningar (t.ex. kärnkartering och hydrauliska tester). Med stöd av den geologiska kunskapen kan variationsbredden av hydrauliska egenskaper inom den mest frekvent förekommande bergmassan, samt egenskaper för eventuellt anomala delar av bergmassan (såsom sprickzoner) undersökas. Därmed kan både svårighetsgrad för injekteringsarbetet bedömas och en översiktlig design av injektering tas fram.

Den slutgiltiga injekteringsdesignen tas fram i *bygghandlingskedet* då exempelvis miljödom och kravbilden för bergkonstruktionen fastställs. Detaljeringsgraden för dataunderlaget behöver dock nödvändigtvis inte vara så mycket större i bygghandlingskedet än tidigare skede (ev. utförs kompletterande undersökningar).

För att kunna genomföra injekteringsdesign ställs vissa krav på tillgänglig information och att vissa analyser utförs. Hur dataunderlag, information och parametrar i de olika skedena relaterar till karakterisering av typberg och projekteringskategorier för injektering presenteras i Tabell 3-3 och Tabell 3-4.

Tabell 3-3. Översikt av tillgänglig information i olika projektskedet (för framtagande av typberg).

Typberg				
Skede	Dataunderlag för inj. design		Parametrar	Designinformation
Utredning	Tillgängligt grundmaterial	Kartmaterial Arkivstudie Brunnssdatabas	Tektonisk miljö, storskalig hydraulisk konduktivitet (specifik kapacitet), översikt strukturgeologi och bergarter	Lågupplöst, översiktlig fördelning av typberg och deterministiska zoner
	Översiktliga undersökningar	Ytkartering Geofysik JB-borring Hammarborrhål		
Systemhandling	Detaljerade undersökningar	Detaljarkartering Geofysik Kärnborring Hydrauliska tester	Hydraulisk medelkonduktivitet, bergmassans struktur, sprickfyllning, sprickavstånd, vattenförande sprickgrupper, flödesdimension, ev. spricktransmissiviteter	Högupplöst fördelning av typberg och deterministiska zoner
Bygghandling	Kompletterande undersökningar	Kärnborring och hydrauliska tester	Hydraulisk medelkonduktivitet, bergmassans struktur, sprickfyllning, sprickavstånd, vattenförande sprickgrupper, flödesdimension, ev. spricktransmissiviteter	Högupplöst fördelning av typberg och deterministiska zoner

Tabell 3-4. Koppling mellan dataunderlag, parametrar och möjliga utvärderingar av informationen (för att ta fram projekteringskategori) i olika skeden av ett tunnelprojekt.

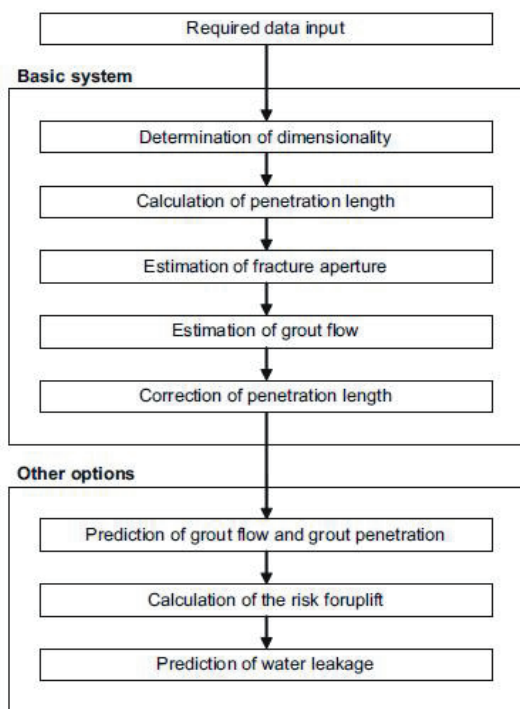
Projekteringskategori				
Skede	Dataunderlag för inj. design		Parametrar	Designinformation
Utredning	Tillgängligt grundmaterial	Kartmaterial Arkivstudie Brunnsdatabas	Storskalig hydraulisk konduktivitet (specifik kapacitet), översikt strukturgeologi, bergarter och jordarter, tunnelgeometri, grundvattentryck, erfarenhetsmässigt bedömd $K_{inj}$	Lågupplöst, översiktlig fördelning av typberg, inläckagekrav och bedömd svårighetsgrad
	Översiktliga undersökningar	Ytkartering Geofysik JB-borring Hammarborrhål		
Systemhandling	Detaljerade undersökningar	Detaljartering Geofysik Kärnborring Hydrauliska tester Underlag till miljödomsöskan	Hydraulisk medelkonduktivitet, ev. spricktransmissiviteter, tätad zon, tunnelgeometri, grundvattentryck, erfarenhetsmässigt bedömd eller analyserad $K_{inj}$	Översiktlig fördelning av typberg, inläckagekrav och bedömd svårighetsgrad
Bygghandling	Kompletterande undersökningar	Miljödomsöskan och/eller miljödom	Angivna inläckagekrav, hydraulisk medelkonduktivitet, ev. spricktransmissiviteter, tätad zon, tunnelgeometri, grundvattentryck, erfarenhetsmässigt bedömd eller analyserad $K_{inj}$	Högupplöst fördelning av typberg, inläckagekrav och bedömd svårighetsgrad

### 3.4 Datafångst under injekteringsarbetet

Systematisk uppföljning av bergets egenskaper under tunneldrivningen ger bättre förutsättningar att förstå bergmassans variabilitet än ett fåtal borrhålsundersökningar utförda under planeringsprocessen. Tunnelkarteringen ger information om sprickors egenskaper och fördelning. Sonderings- och injekteringsborring ger förutsättningar till systematisk uppföljning av bergmassans hydrauliska egenskaper. Ett väl etablerat arbetssätt är att flödets storlek från sonderingshål används för beslut om förutbestämt injekteringsförfarande - eller ingen injektering alls (se behovsprövad injektering i Kapitel 3.5).

Exempel på parametrar att följa upp för att styra injekteringsarbetet är transmissivitet (relaterad till hydraulisk sprickvidd) och tryckstörningar i omgivningen. Transmissiviteten kan beräknas med stöd av flödet ur ett borrhål med kända dimensioner, samt tryckhöjden. Observationshål i jord och berg ger grundvattentrycket på tunnelnivå samt kunskap om tunnelns påverkan på grundvattenstånd i jord och berg.

Även injekteringsparametrar såsom tryck, flöde, injekterad volym och tid kan nyttjas för att utvärdera injekteringsarbetet (se avsnitt 3.2). Under utveckling är utrustning för direkt uppföljning av injekteringsarbetet, s.k. Real Time Grouting Control (RTGC) vari det finns goda förutsättningar för optimering av injekteringsarbetet (se Figur 3-5).



Figur 3-5. Flödesschema för RTGC (Kobayashi m.fl. 2008).

Injekteringbrukets önskade inträngningsförmåga och reologiska egenskaper bestäms i designen, se avsnitt 4.3.2. Men det är mycket viktigt att säkerställa relevant kontroll av vald utrustningsfunktion, kvalitén i ingående produkter (cement, tillsatsmedel) samt hur blandningsförfarandet görs (Stille, 2015). Utan dessa grundläggande kontroller av material och arbete är det inte självklart att utvärdering av injekteringsdata ger relevant information.

### 3.5 Behovsprövad injektering

Nyttan av tätningsinsatser längs en tunnel varierar beroende på omgivningens miljökrav, grundvattenförekomst och injekteringsteknik. I vissa områden är förmodligen bergmassan redan tillräckligt tät för att uppfylla inläckagekrav utan tätning. Förekommer dessa områden med tillräckligt hög frekvens kan det vara mer resurseffektivt att övergå till ett flexibelt förfaringssätt där åtgärder enbart sätts in där de behövs och gör nytta, dvs. utföra behovsprövad injektering (se t.ex. Wilén m.fl. 2015).

En behovsprövad strategi bör baseras på en god förståelse för områdets hydrogeologiska förutsättningar och tätningsinsatser bör koncentreras till områden som är mer genomsläppliga och/eller känsliga för grundvattenpåverkan. Vid projektering är det därför viktigt att etablera en hydrogeologisk modell för att analysera grundvattenbildning till berg, tolka bergmassans hydrauliska beteende och

identifiera känsliga områden. Detta medför att mer omfattande förundersökningar kan behövas och att det tillkommer vissa kostnader för projektering, beslutsfattning och sondering under byggskedet, vilket får vägas mot kostnadsreduceringar för tätningsarbeten.

Vid projektering av behovsprövad injektering behövs fastställande av kriterier för när injektering ska utföras, dvs. när injekteringsskärm ska borraras och injekteras. Hur mycket som undersöks samt vilka parametrar som undersöks under drivning bör kopplas till vilka osäkerheter som finns och vilka undersökningar som utförts i förundersökningsskedet. Användandet av MWD i salvhål (konturhål) skulle kunna ge en bild av geologiska förhållanden och behov av injektering. Alternativt kan MWD användas i områden med förprojekterad injektering för aktiv uppföljning av geologi och inläckage. En viktig förutsättning för att kunna avstå från injektering i vissa områden är att kunna visa att sannolikheten att klara täthetskraven är tillräckligt hög.



## 4 Enhetlig modell för injektering

Detta kapitel avser att beskriva de ingående delar i den enhetliga modellen för injektering som hanterar karakterisering och design. Ingående steg i modellen är:

1. **Bedöma typberg** genom karakterisering av bergmassans vattenförande egenskaper.
2. **Identifiera projekteringskategori** genom att väga samman typberg, inläckagekrav och svårighetsgrad för injektering.
3. **Erhålla en föreslagen standardiserad designmetodik och/eller riktlinjer för design** baserat på projekteringskategori, inläckagekrav, typberg och förekomst av specialfall.

### 4.1 Bedöma typberg

Beskrivningen av det vattenförande spricksystemet i Kapitel 2 utgör grunden för att kunna identifiera typberg för injektering. De typberg som är framtagna beskriver förväntade egenskaper hos en dominerande andel av det svenska urberget. De olika typbergen förslås utgå från särskiljande hydrauliska egenskaper enligt följande indelning:

- Typberg 1. Lågt till måttligt genomsläpplig bergmassa med flödesrestriktioner främst till följd av begränsad sprickkonnektering. I huvudsak öppna sprickor utan väsentlig sprickfyllnad.
- Typberg 2. Lågt till måttligt genomsläpplig bergmassa med flödesrestriktioner främst till följd av sprickfyllnad/leromvandling. Kan även ha begränsad sprickkonnektering, men särskiljs från Typberg 1 genom förekomsten av sprickfyllnad.
- Typberg 3. Ett välkonnekterat spricksystem med måttligt till högt genomsläpplig bergmassa och få flödesrestriktioner. Kännetecknas i huvudsak av hög sprickfrekvens och hög hydraulisk konduktivitet. Sprickfyllnad kan förekomma, men ger ej betydande flödesrestriktioner.

Typbergen avser bergmassa utan stora, geologiskt komplexa deformationszoner (tjocklek minst lika med tunnelns spännvidd), dvs. bergplint med inslag av mindre stokastiska svaghetszoner.

De ovan beskrivna spricksystemen kan vara möjliga att översiktligt urskilja utifrån en geologisk beskrivning. Därför ges förslag på bergmassa som typiskt uppvisar dessa egenskaper, dvs. i respektive kategori av typberg ges exempel på förekommande geologiska enheter som ofta uppvisar de karaktärsdrag som definierar respektive typberg. Se exempel i Tabell 4-1.

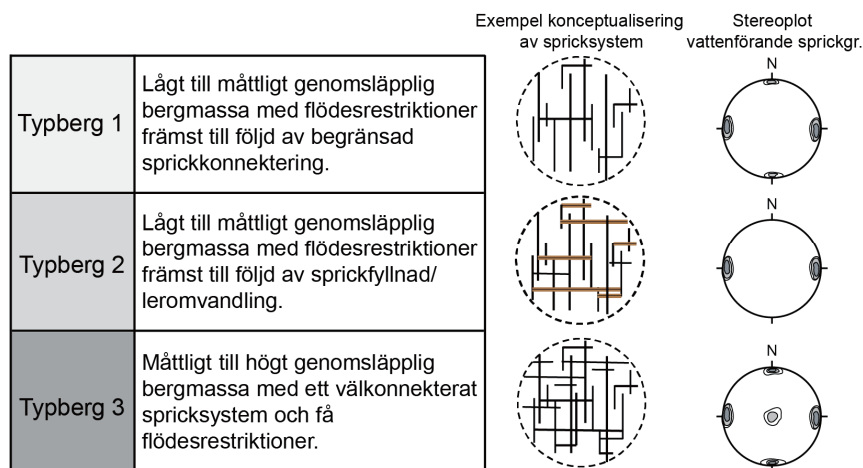
Tabell 4-1. Exempel på bergarter och tektonisk miljö som kan ge upphov till typberg.

Typberg	Exempel – bergart och tektonisk miljö
1	Granit med låg grad av sprödtektonisk påverkan. Gnejs med låg grad av sprödtektonisk påverkan, samt hög grad av plastisk deformation.
2	Omvandlad/ breccierad granit. Glimmerskiffrar, och amfiboliter, lerskiffrar eller förskiffrad gnejs.
3	Ytlig bergmassa. Bergmassa med hög andel bergartskontakter och/eller svaghetszoner utan signifikant leromvandling.

För att på ett tydligt sätt kunna definiera typberg i ett projekt ges förslag på karakteriseringsparametrar i Tabell 4-2. I typbergsbeskrivningen ingår även att markera huvudsakligt vattenförande sprickgrupp. Föreslagna parametrar anges i huvudsak med beskrivningar så att informationen ej reduceras till ett enskilt värde. En exemplifierande illustration av typbergen ges i Figur 4-1.

Tabell 4-2. Sammanfattande tabell av parametrar som underlättar bedömningen av typberg.

Typberg	Hydraulisk medelkonduktivitet	Vattenförande sprickgrupper	Flödesdimension i spricksystem	Sprickfyllning, se Tabell 4-4	Struktur/sprickavstånd, se Tabell 4-3
1	$1 \times 10^{-7}$ - $1 \times 10^{-9}$ m/s	En till två, samt slumpvisa sprickor	(1D)-2D	Öppna sprickor utan väsentligt sprickfyllnad. $J_0 \leq 3$	B1-B4. Mycket sprickfattig till storblockig bergmassa. Genomsnittlig kantlängd $s > 0,6$ m.
2	$5 \times 10^{-8}$ - $1 \times 10^{-9}$ m/s	En till tre, samt slumpvisa sprickor	(1D)-2D	Sprickfyllnad i en eller flera sprickgrupper som påverkas flödesbild. $J_0 \geq 3$	B1-B5, S1 Mycket sprickfattig till blockig, samt skivig bergmassa. Genomsnittlig kantlängd $s > 0,2$ m.
3	$1 \times 10^{-5}$ - $1 \times 10^{-7}$ m/s	Två eller fler, samt slumpvisa sprickor	(2D)-3D	Sprickfyllnad påverkar ej övergripande flödesbild. $J_0 \leq 4$	B5, U1, S1 Blockig, uppsprucken, och skivig bergmassa. Genomsnittlig kantlängd $s < 0,6$ m.



Figur 4-1. Exempel på konceptualisering av spricksystem inom respektive typberg.

Parametern *Hydraulisk medelkonduktivitet* (se avsnitt 2.2) beskriver bergmassans storskaliga hydrauliska egenskaper och indikerar ofta sprickviddsfördelning och om spricksystemet är väl- eller glest konnekterat. Detta eftersom spricksystem med hög sprickfrekvens, god konnektivitet och hög förekomst av stora sprickvidder generellt resulterar i en högre hydraulisk konduktivitet än ett system med låg sprickfrekvens,

gles konnektering och mindre sprickvidder. Olika spricksystemskonfigurationer kan dock ge upphov till liknande fördelningar av hydraulisk konduktivitet. Även hur underökningarna gjorts (sektionslängder etc.) kan påverka bedömningen av medelkonduktiviteten. De behövs därför fler parametrar som beskriver spricksystemets förutsättningar för transport av vatten och injekteringsmedel.

Parametrarna antal *vattenförande sprickgrupper*, *flödesdimension i spricksystemet* och *struktur/sprickavstånd* (se Tabell 4-3) indikerar spricksystemets geometriska uppbyggnad och hydrauliska konnektivitet. Om det enbart är en dominerande vattenförande sprickgrupp uppkommer förmodligen flödesrestriktioner och ett dåligt konnekterat spricksystem. Om spricksystemet har tre eller fler vattenförande sprickgrupper bedöms förutsättningarna för att spricksystemet är välkonnekterat vara goda. Vid två huvudsakligasprickgrupper är det svårare att bedöma om systemet är välkonnekterat eller ej, och det kan behövas fler parametrar för bedöma konnekteringen, såsom sprickorientering, sprickavstånd (sprickfrekvens) och hydraulisk konduktivitet.

Tabell 4-3. Beskrivning av bergmassans struktur (Tabell B15:3 i TRV 2015:144)

Kod	Typ av bergmassa	Beskrivning
B1	Mycket sprickfattig	Huvudsakligen en sprickgrupp samt oregelbundet förekommande sprickor, ingen avgränsning av block
B2	Sprickfattig	Huvudsakligen två sprickgrupper samt oregelbundet förekommande sprickor som ger upphov till avgränsning av enstaka block
B3	Mycket storblockig	Tre sprickgrupper med i princip en storblockig utbildning och en genomsnittlig kantlängd > 2 m
B4	Storblockig	Tre eller flera sprickgrupper med oregelbundet förekommande sprickor med en storblockig utbildning och en genomsnittlig kantlängd 0.6–2 m
B5	Blockig	Blockigt berg med en genomsnittlig kantlängd 0.2–0.6 m
U1	Uppsprucken	Delvis sönderkrossat berg med en genomsnittlig kantlängd 0.06–0.2 m
U2	Mycket uppsprucken	Helt sönderkrossat berg med en genomsnittlig kantlängd < 0.06 m
S1	Skivig	Skivigt berg, skivornas genomsnittliga tjocklek >0.2 m
S2	Tunnskivig	Tunnskivigt berg, skivornas genomsnittliga tjocklek <0.2 m

För att beskriva sprickornas egenskaper föreslås typbergsindelningen ta hänsyn till *sprickfyllnad/mineralisering*, t.ex. beskrivet av *Ja* (sprickomvandlingstal) som ingår i Q-systemet, se Tabell 4-4.

Tabell 4-4. Parametervärden för  $J_a$  enligt Q-systemet. (Tabell B5:9 3 i TRV 2015:144)

Sprickomvandlingstal, $J_a$	Beskrivning	$\phi$ [°]	$J_a$
a) Bergkontakt vid skjuvning (inga fyllnadsmineral, endast ytbeläggning).			
A	Tät, läkt, hård, ej deformationsmjuknande, impermeabel fyllning, dvs. kvarts eller epidot.	-	0.75
B	Opåverkade (ej omvandlade) sprickytor, endast missfärgning av sprickytan (beläggning).	25-35	1.0
C	Svagt omvandlade sprickytor. Ej deformationsmjuknande mineralbeläggning, sandiga partiklar, lerfritt krossat berg, etc.	25-30	2.0
D	Siltig eller sandig lerbeläggning, låg lerfraktion (ej deformationsmjuknande).	20-25	3.0
E	Deformationsmjuknande eller lågfriktionsbeläggning av lermineral, dvs. kaolin och glimmer. Även klorit, talk, gips, och grafit, m.m., och små kvantiteter av svällande lera.	8-16	4.0
b) Bergkontakt uppnås före 10 cm skjuvdeformation (tunn mineralfyllning).			
F	Sandiga partiklar, lerfritt sönderdelat berg, etc.	25-30	4.0
G	Kraftigt överkonsoliderad, ej deformationsmjuknande lermineralfyllning (kontinuerlig, < 5 mm tjocklek).	16-24	6.0
H	Medel- eller lågt överkonsoliderad, deformationsmjuknande, lermineralfyllning (kontinuerlig, < 5 mm tjocklek).	12-16	8.0
J	Fyllning av svällande lera, dvs. montmorillonit (kontinuerlig, < 5 mm tjocklek). Värdet av $J_a$ beror på andel (%) av svällande lerpartiklar och tillgång till vatten, etc.	6-12	8-12
c) Ingen bergkontakt uppnås vid skjuvning (tjock mineralfyllning).			
KLM	Zoner eller band av krossat eller sönderdelat berg och lera (se G, H, J för beskrivning för lerförhållanden).	6-24	6, 8, eller 8-12
N	Zoner eller band av siltig eller sandig lera (ej deformationsmjuknande).	-	5
OPR	Tjocka, kontinuerliga zoner eller band av lera (se G, H, J för beskrivning för lerförhållanden).	6-24	10, 13 eller 13-20

## 4.2 Identifiera projekteringskategori

Identifieringen av projekteringskategori avser att kunna avgöra insatsen vid projektering med variation från ett delvis standardiserat förinjekteringskoncept till ett förfarande som beskriver riktlinjer för projektering och analyser. De projekteringskategorier som nyttjas är:

- Projekteringskategori 1: "Enkel injektering"
- Projekteringskategori 2: "Normal injektering"
- Projekteringskategori 3: "Svår injektering"

Innehållet i respektive projekteringskategori specificeras i 4.3. I detta avsnitt föreslås en vägledning för hur projekteringskategori ska väljas för ett tunnelprojekt och/eller olika delområden för ett tunnelprojekt. Ett översiktligt flödesschema för val av projekteringskategori visas i Figur 4-2.

Identifiering av projekteringskategori				
	Låga inläckagekrav >12 l/min, 100m	Måttliga inläckagekrav 12-8 l/min, 100m	Höga inläckagekrav 4-8 l/min, 100m	Mycket höga inläckagekrav <4 l/min, 100m
Typberg 1	Projekterings- kategori 1		Projekterings- kategori 2	Projekterings- kategori 3
Typberg 2				
Typberg 3				
Deterministisk zon				

Justering av projekteringskategori med hänsyn till svårighetsgrad			
Erforderlig tätningseffekt			
	< 90 %	90-99 %	>99 %
Injekterade zonen hydrauliska konduktivitet $K_{inj}$ [m/s]	>10 <sup>-7</sup> m/s	Minska ev. projekteringskategori ett steg	
	10 <sup>-7</sup> -10 <sup>-8</sup> m/s		Öka ev. projekteringskategori ett steg
	<10 <sup>-8</sup> m/s		

Figur 4-2. Flödesschema för val av projekteringskategori.

#### 4.2.1 Inläckagekrav

Identifieringen av projekteringskategorier tar hänsyn till de *inläckagekrav* (i första hand baserat på miljökra) som ställs på anläggningen. Dessa anges som inläckagekrav med enheten l/min, 100 m tunnel. Den indelning som föreslås är följande:

- Låga krav: > 12 l/min, 100 m.
- Måttliga krav: 12-8 l/min, 100 m
- Höga krav: 8-4 l/min, 100 m
- Mycket höga krav: <4 l/min, 100 m

Projekteringen antas tillgodoseas med inläckagekrav från miljödöm/  
miljödömsansökan. Analys av miljöpåverkan för framtagande av inläckagekrav, t.ex. avseende risk för skada på skyddsobjekt och förutsättningar för inläckageberäkningar, förutsätts därmed ingå i en separat utredning som tillhör tillståndsprcessen. I tidiga projektskeden finns förmodligen inga ställda krav då det oftast saknas miljödöm. En översiktlig indelning av inläckagekrav enligt ovan givna kategorier skulle i tidiga skeden kunna göras enligt en checklista.

#### 4.2.2 Typberg

Valet av projekteringskategorier förutsätts även vara beroende av identifierade *typberg*, indelade enligt beskrivning i Kapitel 4.1. Stora, geologiskt komplexa deformationszoner (tjocklek minst lika med tunnelns spännvidd) utgör en egen geologisk kategori som ej bedöms vara aktuell för projekteringskategori 1.

#### 4.2.3 Svårighetsgrad för injektering

Svårighetsgrad för injektering är ett begrepp som används av Stille och Eriksson (2005) och även Stille (2012). Syftet med att bedöma svårighetsgrad är att kunna avgöra behov av analysmetoder och undersökningar enligt principen att okomplicerad injektering i högre grad kan baseras på erfarenhet medan komplicerad injektering bör hanteras med projektspecifika analyser och full implementering av observationsmetoden.

I Stille (2012) beskrivs hur svårighetsgrad kan bestämmas från erforderlig tätningseffekt och erforderlig hydraulisk konduktivitet i den tätade zonen enligt Tabell 4-5. Som underlag för projekteringen krävs alltså att det fastställs krav i form av hydraulisk konduktivitet i den tätade bergmassan och tillåtet inläckage längs tunnelsträckningen, samt att inläckageberäkningar utförs.

Tabell 4-5. Vägledning för svårighetsgrad utifrån krav på tätningseffekt och krav på hydraulisk konduktivitet i den injekterade zonen (från Stille 2012).

Required hydraulic conductivity <sup>1</sup> [m/s]	Required sealing efficiency <sup>2</sup>		
	< 90 %	90-99 %	> 99 %
> 10 <sup>-7</sup>	Uncomplicated grouting	Fair grouting	Difficult grouting
10 <sup>-7</sup> -10 <sup>-8</sup>	Fair grouting	Difficult grouting	Very difficult grouting
< 10 <sup>-8</sup>	Difficult grouting	Very difficult grouting	Very difficult grouting

<sup>1</sup> Väljs erfarenhetsmässigt eller skattas från en teoretiskt beräknad resttransmissivitet enligt  $K_{inj} = T_{inj}/L$  där  $T_{inj} = T_{tot} - T_{max} \cdot \sum_1^{r_{inj}} \frac{1}{r^{1/k}}$

<sup>2</sup>  $Tätningseffekt = \frac{q_{oinj} - q_{krav}}{q_{oinj}}$

Genom att utvärdera projekteringskategori i förhållande till svårighetsgrad möjliggörs hänsynstagande till grundvattentrycket (via inflödesberäkningen). Ett högre grundvattentryck leder nämligen till att erforderlig tätningseffekt ökar, vilket ökar svårighetsgraden för injektering (vilket kan föranleda ökning av projekteringskategori). Tabell 4-5 är avsedd för vägledning och ses som ett komplement till typbergsindelningen.

#### 4.3 Designlösningar i projekteringskategorier

Den erhållna projekteringskategorin (PK) för ett projekt avgör huruvida erfarenhetsbaserade designlösningar till stor del kan tillämpas i projektet (PK1) eller om projekteringsanvisningar i huvudsak ska utgöras av riktlinjer för design (PK3), alternativt ett mellanting av dessa ytterligheter (PK2). Som inledning av dessa avsnitt beskrivs dock specialfall och justeringar som kan behöva tillämpas inom framförallt PK1 och PK2.

#### 4.3.1 Skärmgeometri

Skärmgeometri avser injekteringskärmens längd, överlappning mot föregående skärm, borrhålens stickning uttryckt som avstånd mellan hålbotten och teoretisk tunnelkontur samt spetsavstånd, dvs avståndet mellan borrhålsbotten i närliggande skärmar. Skärmgeometrier anpassas efter projekteringskategori och bergförhållanden.

Erfarenheter från inmätning av injekteringshål i flera projekt indikerar att en skärmlängd på ca 20 – 25 m oftast kan utföras inom angivna borrhålstoleranser. Skärmländer och överlapp anpassas lämpligen mot planerade salvlängder.

Behovet av inmätning av skärmlängder bestäms lämpligen utifrån projekteringskategori och bergets heterogenitet.

#### 4.3.2 Bruksegenskaper

Injektering ska främst utföras av cementbaserade injekteringsmedel. Icke-cementbaserade injekteringsmedel kan vara aktuella att använda vid skärskilda förutsättningsarmed såsom en mycket finsprickig bergmassa i kombination med strikta krav på tillåtet inläckage. Oavsett val av injekteringsmedel ska de vara granskade och godkända av Trafikverket med beaktande av miljö- och hälsoaspekter. Enligt Trafikverkets kemikaliehanteringssystem Chemssoft är i början av 2016 är cementbaserade injekteringsmedel och dess vanligaste tillsatsmedel klassade som A-Tillåtna.

I designunderlaget bör man ha en verktygslåda av olika cementblandningar att utgå ifrån. Detta bör utgöras av tre olika blandningar:

- Basblandning. Ska motsvara egenskaper för ett injekteringscement med vct ca 0,8
- Grovtättningsblandning. Injekteringscement för tätning av större vattenförande strukturer. Injekteringscement med vct ca 0,5-0,6
- Fintättningsblandning. Injekteringscement för tätning av finsprickigt berg alternativt för att möjliggöra tätning vid striktare inläckagekrav. Motsvarar ett mer finmalt injekteringsmedel med vct 1,0-1,2.

Projektören ska baserat på rådande förhållande avseende krav på inträngningsförmåga, krav på uppnådd täthet samt risk för höga grundvattentryck välja den eller de blandningar som erfordras i respektive projekt. I tabell 2 nedan anges representativa egenskaper för de tre olika blandningarna baserat på materialtillverkarnas uppgifter samt utförda förprovningar i tunnelprojekt. Dessa värden ska ses som riktlinjer och uppföljning ska utföras baserat på erfarenheter samt produktutveckling.

Tabell 4-6. Riktvärden för tre olika blandningar

Parameter	Basblandning	Grovtättningsblandning	Fintättningsblandning
Inträngningsförmåga, $b_{crit}$ [ $\mu\text{m}$ ]	80-120	100-180	50-100
Viskositet [mPas]	10-30	30-60	10-40
Flytgräns [Pa]	0,5-4	4-10	0,2-3

#### 4.3.3 Beslutskriterier

**Stoppkriterier** ansätts baserad på projekteringskategori och beräknad bruks-spridning. Det är lämpligt att mätbara parametrar från injekteringsutrustningen, såsom tryck, flöde/voly m eller tid används som kriterium.

**Kriterier för komplettering** av injekteringen kan behöva anges i projekteringen. Typiska sådana situationer kan vara om stoppkriteriet inte nås inom rimlig tid för del av skärmen, omfattande läckage till stuffen. Ett förslag på kriterier för en godkänd injekteringskärn visas i tabell 4-7. Kriterierna för komplettering varierar för varje projekt och kan även variera för olika delsträckor beroende på inläckagekrav. En grundläggande princip bör vara att kriterierna utgår från tillåtna inläckage och att inläckagets utveckling succesivt dokumenteras under byggskedet, inläckagebudget. Målsättningen är att ligga under budget med viss marginal.

Tabell 4-6. Exempel på beslutstabell för kompletterande omgång.

<b>Inläckage ligger under "budget"</b>	Ingen komplettering, alternativt utför kompletterande hål om minst 40 % hål i sulan och/eller 30 % eller fler närliggande hål i vägg eller tak ej är godkända (max volym alternativt ej nått injekteringstryck inom 10 minuter). Alternativt 40 % av alla injekteringshål är ej godkända.
<b>Inläckage ligger nära eller över "budget"</b>	Komplettering om minst 30 % av hål i sulan och/eller minst 20 % av närliggande hål i vägg eller tak ej är godkända (max volym alternativt ej nått injekteringstryck inom 10 minuter. Alternativt 20 % av alla injekteringshål är ej godkända.

#### 4.3.4 Specialfall och justeringar

För att kunna färdigställa injekteringsdesignlösningar inom projekt behövs identifiering av anläggningstekniska *specialfall* där det bör utföras specifika designlösningar, alternativt mindre justeringar av typtypdesignen. Det förekommer nämligen anläggningstekniska förhållanden som oftast inte omfattas av en framtagen typlösning för injekteringsutförande, t.ex. vid:

- **Komplexa tunnelgeometrier** med stora spännvidder eller avvikande geometrier (t.ex. stationsutrymmen, ramptunnelanslutningar, vertikala schakt)
- Områden med **mycket liten/ingen bergtäckning** (< ca 10 m)



- Områden med mycket **stor bergtäckning** och därmed förväntat högt grundvattentryck (>150 m bergtäckning)
- Områden med **närliggande skadeobjekt** (< ca 20 m ).

Specialfallen medför att det vid förekomst av ovanstående förhållanden måste undersökas huruvida den specificerade designen inom projekteringskategorin (framförallt gällande PK1 och PK2) är lämplig, eller om den bör justeras. Områden med speciella förhållandena *kan* därmed omfattas av lösningar avgivna i projekteringskategorin, alternativt med mindre anpassningar av exempelvis skärmgeometri eller val av utrustning. Dessa beslut ska dock kunna motiveras.

En annan faktor som kan leda till justeringar av designen är hänsyn till förekomsten av vattenförande sprickgrupper/zoner och tunnelns drivningsriktning i förhållande till dessa strukturer, dvs. om det förekommer en ogynnsam eller gynnsam drivningsriktning:

- **Ogynnsam drivningsriktning, ||**, uppstår när de huvudsakligt vattenförande strukturerna förekommer parallellt eller nära parallellt med tunnelns drivningsriktning (< 45°). Kan ha stor betydelse i ett glest spricknätverk.
- **Gynnsam drivningsriktning, †**, uppstår när de huvudsakligt vattenförande strukturerna förekommer vinkelrätt eller nära vinkelrätt med tunnelns drivningsriktning (> 45°).

Skärmlayouter i projekteringskategorierna är anpassade för en generell gynnsam drivningsriktning och kan därmed behöva justeras vid förekomst av ogynnsam drivningsriktning (markerad med ||).

Drivningsriktningen bedöms ha störst betydelse en bergmassa med stor hydraulisk anisotropi, främst i glesa spricknätverk. När frekvensen vattenförande sprickor ökar, och spricknätverket är väl konnekterat spelar drivningsriktningen mindre roll eftersom spridning av injekteringsmedel i bergmassan till viss del förväntas kunna ske via konnekterande sprickor.

## 4.4 Projekteringskategorier

### 4.4.1 Projekteringskategori 1

I projekteringskategori 1 (PK 1) i förutsätts design av förinjektering kunna utgå från tidigare erfarenheter, vilket innebär att en delvis standardiserad design ska kunna tillämpas.

#### Förundersökningsbehov i PK 1:

- Ett fåtal kärnborrhål som främst undersöker zoner, men som även bör ge en bild av den generella bergmassan.
- Hydrauliska tester för att kunna bestämma representativa värden av bergmassans storskaliga hydrauliska konduktivitet.

### Genomförande av design i PK 1:

- En färdig skärmlayout kan tillämpas baserat på inläckagekrav och typberg enligt Tabell 4-.
- Skärmlayouten kan anpassas med hänsyn till ogymsam || drivningsriktning.
- Injekteringsmedlets egenskaper kan väljas baserat på erfarenhetsmässiga riktvärden specificerade i en tabell.
- Injekteringsstryck kan väljas baserat på erfarenhetsmässiga riktvärden specificerade i en tabell.
- Stoppkriterier i form av tid och maxvolym projekteras baserat på projektspecifika analyser av inträngning.
- En prognos över förväntad omfattning av injektering (injekteringsklasser) etableras.
- Kontinuerlig förinjektering övervägas att ersättas med behovsprövad injektering vid låg svårighetsgrad (Tabell 4-5) och låga-måttliga inläckagekrav.

*Tabell 4-8. Skärmlayout i PK 1 anpassad för borrhålsängder mellan 20-25 m. Överlapp mellan skärmar minst 5 m. Vid kortare borrhängder påverkas hålspetsavståndet. Gråfärgad text tillhör ej generellt PK 1, men kan tillämpas beroende på utfall av analys av svårighetsgrad.*

Typberg	Låga inläckagekrav >12 l/min*100m	Måttliga inläckagekrav 8-12 l/min*100m	Höga inläckagekrav 4-8 l/min*100m	Mkt höga inläckagekrav <4 l/min*100m
1	1 inj. omgång 3 m spetsavstånd 5 m stick Ev. behovsprövad inj.	1 inj. omgång 2,5 m spetsavstånd 5 m stick Vid   , anpassa stick/hållriktning Ev. Behovsprövad inj.	1 inj. omgång + kompl. Hål 2,5 m spetsavstånd 5 m stick Vid   , anpassa stick/hållriktning	
2	1 inj. omgång 3 m spetsavstånd 5 m stick Ev. behovsprövad inj.	1 inj. omgång 2,5 m spetsavstånd 5 m stick Ev. Behovsprövad inj. Vid   , anpassa stick/hållriktning		
3	1 inj. omgång 4 m spetsavstånd 5 m stick Ev. behovsprövad inj.	1 inj. omgång 4 m spetsavstånd 5 m stick Ev. Behovsprövad inj.		

### Uppföljning under injektering i PK 1:

- Samtliga injekteringshål loggas avseende tryck, volym, flöde och tid.
- Injekteringsmedlets egenskaper provas i utvalda omgångar.
- Beslut om kompletterande hål/omgång tas utgående från uppföljning av underkända hål under injektering enligt Tabell 4-6.

#### Uppföljning efter injektering i PK 1:

- Inläckage till temporära mätdammar, alternativt differensen mellan tillfört och bortpumpat vatten vid tunnelfront, mäts löpande under produktion.
- Inläckage, geologisk kartering och injekteringsvolymerna kan följas upp som underlag för beslut om justering av skärmlayout och/eller injekteringsmedel i kommande skärmar.

#### 4.4.2 Projekteringskategori 2

I projekteringskategori 2 i förutsätts design av förinjektering delvis kunna utgå från tidigare erfarenheter, vilket innebär att det i viss mån kan tillämpas en standardiserad design. Det ställs dock högre krav på analyser och uppföljning i PK 2 än i PK 1 eftersom designen ska anpassas till lokala förhållanden.

#### Förundersökningsbehov i PK 2:

- Kärnborrhål som dels undersöker zoner och som dels ger en bild av den generella bergmassan.
- Hydrauliska tester för att kunna bestämma representativa värden av bergmassans storskaliga hydrauliska konduktivitet.
- Sektionsvisa hydrauliska tester för att kunna utvärdera sektionstransmissiviteter och utföra sprickviddsanalys.

#### Genomförande av design i PK 2:

- En färdig skärmlayout som baseras på inläckagekrav och typberg finns tillgänglig enligt Tabell 4-9.
- Skärmlayouten anpassas med hänsyn till ogynnsam || drivningsriktning.
- Vid förekomst av ett glest konnekterat spricknätverk kan hållavstånd minska, alternativt utföra 2 omgångar vid höga krav.
- Injekteringsmedlets egenskaper projekteras baserat på projektspecifika analyser av sprickvidder, inläckage och inträngning.
- Injekteringsstryck kan väljas baserat på erfarenhetsmässiga riktvärden specificerade i en tabell.
- Stoppkriterier i form av tid och maxvolym projekteras baserat på projektspecifika analyser av sprickvidder, inläckage och inträngning.
- Stoppkriterier, injekteringsstryck och injekteringsmedelsegenskaper väljs baserat på projektspecifika analyser av sprickvidder, inläckage och inträngningslängder.
- En prognos över förväntad omfattning av injektering (injekteringsklasser) etableras.
- Behov av sonderingsborrhål och/eller kontrollhål vid kritiska passager och/eller i injekteringsklasser utreds.

Tabell 4-9. Skärmlayout i PK 2 anpassad för borrhålslängd mellan 20-25 m. Överlapp mellan skärmar minst 5 m. Vid kortare borrhålsdjup påverkas hålspetsavståndet. Gråfärgad text tillhör ej generellt PK 2, men kan tillämpas beroende på utfall av analys av svårighetsgrad.

Typberg	Låga inläckagekrav >12 l/min*100m	Måttliga inläckagekrav 8-12 l/min*100m	Höga inläckagekrav 4-8 l/min*100m	Mkt. höga inläckagekrav <4 l/min*100m
<b>1</b>	1 inj. omgång 3 m spetsavstånd 5 m stick Ev. behovsprövad inj.	1 inj. omgång 2,5 m spetsavstånd 5 m stick Vid   , anpassa stick/hållriktning Ev. Behovsprövad inj.	1 inj. omgång + kompl. hål 2,5 m spetsavstånd 5 m stick Vid   , anpassa stick/hållriktning	
<b>2</b>	1 inj. omgång 3 m spetsavstånd 5 m stick Ev. behovsprövad inj.	1 inj. omgång 2,5 m spetsavstånd Ev. Behovsprövad inj. 5 m stick Vid   , anpassa stick/hållriktning	1 inj. omg.+kompl. hål 2,5 m spetsavstånd 5 m stick Vid   , anpassa stick/hållriktning	
<b>3</b>	1 inj. omgång 4 m spetsavstånd 5 m stick Ev. behovsprövad inj.	1 inj. omgång 4 m spetsavstånd. 5 m stick Ev. Behovsprövad inj.	1 inj. omg.+kompl. hål alt. 2 inj. omgångar 3 m spetsavstånd 5 m stick	

#### Uppföljning under injektering i PK 2:

- Sonderingshål för att kontrollera bergmassans genomsläpplighet innan injektering kan utföras.
- Samtliga injekteringshål loggas avseende tryck, volym, flöde och tid.
- Injekteringsvolym följs upp som underlag för beslut om justering av injekteringsmedel i en andra omgång/kompletterande omgång.
- Injekteringsmedlets egenskaper provas i varje omgång (löpande provning).
- Kontrollhål kan utföras för att följa upp den tätade zonen genomsläpplighet.
- Beslut om kompletterande hål/omgång tas utgående från uppföljning av underkända hål under injektering.

#### Uppföljning efter injektering i PK 2:

- Inläckage till temporära mätdammar mäts löpande under produktion och/eller differensen mellan tillfört och bortpumpat vatten vid tunnelnfront, mäts löpande under produktion.
- Registrerade injekteringsparametrar (tryck, volym, flöde och tid) jämförs med designantagande för uppföljning av designkoncept.
- Uppföljning av beslut om kompletterande injektering genom utvärdering av registrerade injekteringsparametrar.

#### 4.4.3 Projekteringskategori 3

I projekteringskategori 3 förutsätts design av förinjektering behöva baseras på väl motiverade, projektspecifika analyser med uppföljning av antaganden och injekteringsresultat enligt Observationsmetodens principer. I PK 3 saknas färdiga lösningar för skärmlayout eftersom anpassningar ska ske till lokala förhållanden.

##### Förundersökningsbehov i PK 3:

- Kärnborrhål som dels undersöker zoner och som dels ger en bild av den generella bergmassan.
- Hydrauliska tester för att kunna bestämma representativa värden av bergmassans hydrauliska konduktivitet.
- Sektionsvisa hydrauliska tester för att kunna utvärdera sektionstransmissiviteter och utföra sprickviddsanalys.

##### Genomförande av design i PK 3:

- Skärmlayout, stoppkriterier, injekteringsstryck, injekteringsmedelsegenskaper och behov av alternativa tätningssmedel projekteras baserat på projektspecifika analyser av sprickvidder, resttransmissivitet, inläckage och inträngningslängder (enligt process i Figur 3-1).
- Behov av sonderingsborrhål och kontrollhål vid kritiska passager och/eller i etablerade injekteringsklasser utreds.
- Känslighetsanalyser utförs för kritiska parametrar.
- Etablera en prognos över förväntad omfattning och utförande av injekteringen.

##### Uppföljning under injektering i PK 3:

- Sonderingshål för att kontrollera bergmassans genomsläpplighet innan injektering kan utföras.
- Samtliga injekteringshål loggas avseende tryck, volym, flöde och tid.
- Inläckage samt injekteringsvolym följs upp som underlag för beslut om justering av injekteringsmedel i en andra omgång.
- Injekteringsmedlets egenskaper provas i varje omgång (löpande provning).
- Kontrollhål kan utföras för att följa upp den tätade zonens genomsläpplighet.

##### Uppföljning efter injektering i PK 3:

- Inläckage till temporära mätdammar mäts löpande under produktion.
- Registrerade injekteringsparametrar (tryck, volym, flöde och tid) jämförs med designantagande för uppföljning av designkoncept.
- Uppföljning av beslut om kompletterande injektering genom utvärdering av registrerade injekteringsparametrar.

#### 4.4.4 Strategier för verifiering av injekteringsdesign

Verifiering av injekteringsdesignen bör göras genom en utökad kontroll vid utförandet av de första 2-3 injekteringskärmarna i ett projekt, ett nytt påslag eller när man kommer in i andra bergförhållanden ur injekteringsynpunkt. Kontrollen förslås utgöras av 2-4 kontrollhål med vattenförlustmätning. Tillsammans med uppföljning av injekteringsresultatet, se kapitel 4.3.3 är det ett underlag för eventuell justering av injekteringsdesignen.

#### 4.4.5 Nya tekniker

Framtida teknikutveckling för ska kunna tillämpas allt eftersom nya metoder blir utvärderade och godkända. Ett exempel som kan nyttjas för uppföljning under produktion är MWD som kommer att tillämpas i Förbifart Stockholm. Ett annat exempel på teknik som kan nyttjas för uppföljning av designen är RTGC, "Real Time Grouting Control", som innebär att injekteringstiden kan styras direkt på stuff.

#### 4.4.6 Förekomst av flera projekteringskategorier inom ett projekt

Eftersom förekomsten av typberg, inläckagekrav och utvärderad svårighetsgrad kan variera längs en tunnel innebär det att sannolikt förordas olika skärmlayout och injekteringstryck i ett projekt. Det kan även innebära att flera projekteringskategorier förordas, där den främsta anledningen till ett byte av PK troligen är variationer i inläckagekrav. Vid förekomst av flera projekteringskategorier bör den dominerande PK:n styra den generella projekteringsprocessen.

## 5 Referenser

- Carlsson A, Christiansson R, 1988. Site Investigations for the Swedish Undersea Repository for Reactor Waste. Symposium of the International Society for Rock Mechanics, Rock Mechanics and Power Plants, Madrid.
- Chang Y, Swindell R, Bogdanoff I, Lindström B, Termén J, Starsec P (2005) Study of tunnelling through water-bearing fracture zones Baseline study on technical issues with NE-1 as reference. R-05-25. Svensk Kärnbränslehantering AB
- Draganovic, 2009: Bleeding and filtration of cement-based grout. Doctoral thesis, KTH, Stockholm. ISSN 1950-9501.
- Emmelin A, Brantberger M, Eriksson M, Gustafson G, Stille H, 2007. Rock grouting – Current competence and development for the final repository. R-07-30, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Follin S, Stigsson M, Svensson U, 2005. Regional hydrogeological simulations for Forsmark – numerical modelling using DarcyTools. Preliminary site description Forsmark area – version 1.2. SKB R-05-60, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 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, May 17-19.
- Funehag J, Emmelin A, 2011. Injekteringen av TASS-tunneln Design, genomförande och resultat från förinjekteringen. R-10-39. Svensk Kärnbränslehantering AB
- Gustafson G. (1986). Geohydrologiska förundersökningar i berg. Bakgrund – metodik – användning. BeFo 84:1/86.
- Gustafson G. (2009) Hydrogeologi för bergbyggare. Formas.
- Gustafson G, Butrón C, Fransson Å. Characterisation of the hydraulic properties of fractured rock from grouting data. Proceedings of the XXXVI IAH congress, Toyama, Japan.
- Hernqvist L. 2011. Tunnel grouting: engineering methods for characterization of fracture systems in hard rock and implications for tunnel inflow. Avhandling. Chalmers tekniska högskola. Göteborg.
- IEG 9:2010 - Tillämpningsdokument observationsmetoden inom geotekniken
- Kobayashi S, Stille H, Gustafson G, Stille B. (2008) Real Time Grouting Control Method - Development and application using Äspö HRL data. SKB rapport R-08-133, Svensk Kärnbränslehantering AB
- Munier R, Stenberg L, Stanfors R, Milnes A G, Hermanson J, Triumf C-A. (2003) Geological Site Descriptive Model - A strategy for the model development during site investigations. SKB Rapport R-03-07. Svensk Kärnbränslehantering AB
- Olofsson I, Christiansson R, Holmberg M, Carlsson A, Martin D. (2014) Application of the Observational Method in the Äspö Expansion Project. SKB Rapport R-13-44. Svensk Kärnbränslehantering AB

Palmström A, Broch E (2006). Use and misuse of rock mass classification systems with particular reference to the Q-system. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 22 (4), 363-376.

Rhén I, Follin S, Hermanson J, 2003. Hydrological Site Descriptive Model – a strategy for its development during Site Investigations. SKB R-03-08, Svensk Kärnbränslehantering AB

Statens vegvesen (2004). Berginjeksjon i praksis. Publikasjon nr. 104.

Stille H. (2012). Keynote lecture. Rock grouting in tunnel construction – models and design. Eurock Stockholm 2012.

Stille H. (2015). Rock grouting – theory and applications. BeFo.

Snow D T, 1968. Rock fracture spacings, openings and porosities. *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers* 94 73-91.

Thörn J, Kvartsberg S, Runslätt E, Almfeldt S, Fransson Å. (2015) Beräkningsverktyg för bergkaraktärisering vid injekteringsdesign – teori och användarhandledning. BeFo rapport 143.

Wilén P, Kvartsberg S, Zetterlund M. (2015). Behovsprövd injektering – hydrogeologisk baserad metod för implementering. BeFo rapport 137. BeFo



## **Bilaga 3**



# ENHETLIG MODELL FÖR INJEKTERING DELPROJEKT 2 - TEKNISK BESKRIVNING



### SAMMANFATTNING

Denna handling redovisar resultat från delprojekt Teknisk beskrivning som en del av BeFo-projektet Enhetlig modell för injektering.

Dagens AMA och RA anläggning rubrik och kod CDD.11 gällande förinjektering uppfattas idag av många i branschen som svår att följa och att det är alltför många obesvarade frågetecken relativt svar och rekommendationer. Denna handling redogör förslag på standardiserade lösningar som kan implementeras i AMA och RA anläggning. Detta gäller några av de vanligaste detaljer som ofta kommer upp till diskussion i projekt efter projekt. Nedan redovisas en lista med kategorierna de tillhör:

- Utförande – kopplat till borring
- Utförande av injektering
- Material och varukrav
- Injekteringsutrustning
- Kontroll av erhållet resultat
- Kontroll av injekteringsutförande
- Efter utförd injektering

Lösningarna med krav och råd ligger vidare till grund för att styra ersättningsformer i Mät och Ersättningsregler (MER anläggning).

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

<b>1</b>	<b>INLEDNING.....</b>	<b>6</b>
	1.1 STRUKTUR.....	6
<b>2</b>	<b>TEKNISK BESKRIVNING ENL. AMA OCH RA ANLÄGGNING (UPPL 13).....</b>	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>FÖRSLAG PÅ STANDARDISERADE LÖSNINGAR .....</b>	<b>12</b>
	3.1 UTFÖRANDE.....	12
	3.1.1 BORRHÅLSDIAMETER .....	12
	3.1.2 RAKHET PÅ BORRHÅL, ANSÄTTNING OCH HÅLSPETSTOLERANS.....	12
	3.1.3 HÅLRENGÖRING .....	13
	3.1.4 MONTERINGSDJUP AV MANSCHETT .....	13
	3.2 UTFÖRANDE AV INJEKTERING .....	13
	3.2.1 HÅLORDNING .....	13
	3.2.2 YTLÄCKAGE OCH SAMBANDSHÅL.....	13
	3.3 MATERIAL OCH VARUKRAV.....	13
	3.3.1 MANSCHETTYP .....	13
	3.3.2 SLANGDIMENSION .....	14
	3.3.3 REGISTRERING .....	15
	3.3.4 VAL AV INJEKTERINGSMATERIAL OCH TILLSATSER.....	15
	3.3.5 PUMPKAPACITET .....	16
	3.3.6 BLANDNING OCH OMRÖRNING KAPACITET, ANTAL ETC .....	16
	3.3.7 INJEKTERING AV FLERA BORRHÅL SAMTIDIGT .....	16
	3.3.8 KONTROLLHÅL .....	16
	3.3.9 MÄTDAMMAR .....	17
	3.4 KONTROLL AV BRUK.....	17
	3.5 KONTROLL AV ERHÅLLET RESULTAT .....	18
	3.5.1 HYDRAULISKA TESTER .....	18
	3.5.2 INJEKTERING AV BORRHÅL .....	19
	3.5.3 HELT FYLLEDA BORRHÅL .....	19
	3.5.4 INJEKTERAD VOLYM STÖRRE ÄN BORRHÅLSVOLYM .....	19
	3.6 EFTER UTFÖRD INJEKTERING.....	19
	3.6.1 VÄNTETID .....	19
	3.6.2 OBSERVATIONER EFTER INJEKTERING .....	20
<b>4</b>	<b>IMPLEMENTERING I AMA OCH RA ANLÄGGNING.....</b>	<b>21</b>
	4.1 IMPLEMENTERINGAR I AMA ANLÄGGNING .....	21
	4.2 IMPLEMENTERING I RA ANLÄGGNING .....	24

5	FORTSATT UTREDNING.....	27
6	REFERENSER.....	27

## 1 INLEDNING

Målsättningen med denna handling är att ta fram standardiserade lösningar och moment samt riktlinjer på utförandet och kontroller kopplat till resultatet från delprojekt *Karakterisering och Design*. Vidare skall lösningarna och riktlinjerna kunna mängdas och därmed definieras i delprojekt *Kontrakt och Ersättningsformer*. Den framtagna handlingen skall därefter kunna bli underlag till kompletteringar i Svensk byggtjänst beskrivningsverktyg för utförande- och materialkrav, dvs AMA och RA samt parallellt definierade i mät- och ersättningsregler MER. Möjligheten finns även att komplettera Trafikverkets handling *Projekteringshandboken*.

De lösningar som presenteras ska vara till hjälp för samtliga parter i projektet så att dessa kan specificera och förstå vad som krävs för att uppnå ett tillräckligt injekteringsresultat. Projektören ska kunna fokusera på att ta fram riktlinjer specifika för aktuellt projekt och slippa lägga tid på att uppfinna hjulet om och om igen. Entreprenören ska efter sitt skift känna sig säker på vad som gått bra och vad som gått dåligt och därigenom veta vad han får betalt för eller ej. Genom att följa de föreskrifter som beskrivs i den tekniska beskrivningen och i övrigt gällande handlingar ska det klart framgå vad entreprenören ska få betalt för.

Det koncept som utgör basen för arbetet som gagnar en god "kvalitet" för en injektering är följande riktlinjer:

- Borrhålen ska ha uppnått minst teoretisk borrhålsvolym
- Borrhålen ska ha uppnått designtryck och/eller -tid
- Inget borrhål har tagit mer än maxvolym
- Löpande provning är inom definierade gränser

Detta bör kunna sättas som minimikrav på en injektering som är tänkt att täta berget. Hur dessa fyra minimikrav skall kunna följas upp och i slutändan ersättas är det som diskuteras under respektive rubrik.

### 1.1 STRUKTUR

Lösningarna som tas fram delas upp, där så är möjligt, på vilken typ av anläggning som ska byggas och definieras som:

Projekteringskategori 1	tex "skogstunnel" med låga inläckagekrav
Projekteringskategori 2	tex tunnel i urban miljö med relativt höga krav på inläckage till tunnel
Projekteringskategori 3	tex anläggning/tunnel med komplexa geometrier

Förklaringen av respektive kategori och hur dessa har tagits fram beskrivs i delprojekt *Karakterisering och design* och är en sammanvävning av typberg, inläckagekrav och svårighetsgrad, se figur 1.1 nedan.

Identifiering av projekteringskategori				
	Låga inläckagekrav >12 l/min, 100m	Måttliga inläckagekrav 12-8 l/min, 100m	Höga inläckagekrav 4-8 l/min, 100m	Mycket höga inläckagekrav <4 l/min, 100m
Typberg 1	Projekterings- kategori 1	Projekterings- kategori 2	Projekterings- kategori 3	Projekterings- kategori 3
Typberg 2				
Typberg 3				
Deterministisk zon				

Justering av projekteringskategori med hänsyn till svårighetsgrad				
Erforderlig tätningseffekt				
	< 90 %	90-99 %	>99 %	
Injekterade zonen hydrauliska konduktivitet K <sub>inj</sub> [m/s]	>10 <sup>-7</sup> m/s	Minska ev. projekteringskategori ett steg		
	10 <sup>-7</sup> -10 <sup>-8</sup> m/s			Öka ev. projekteringskategori ett steg
	<10 <sup>-8</sup> m/s			

Figur 1-1. Flödesschema för val av projekteringskategori

Skillnaden mellan kategorierna är inte exakt definierad och en anläggning kan mycket väl bestå av alla tre kopplat till olika inläckagekrav eller komplexa geometrier. Nedan anges kategorierna som PK1, PK2 och PK3.

Lösningar och riktlinjer som presenteras nedan baseras inte alla på exakt vetenskap utan har tillkommit utifrån erfarenhet och praxis i branschen. Där så har varit möjligt har dessa stärkts genom teori och analys.

## 2 TEKNISK BESKRIVNING ENL. AMA OCH RA ANLÄGGNING (UPPL 13)

I bygghandlingar nyttjas oftast Anläggnings AMA vid upprättande av teknisk beskrivning. AMA koder för injektering ligger under kod CDD Tätning och infiltration av berg kring tunnlar, bergtrum od. Texten uppfattas idag av många i branschen som svar att följa och att det är alltför många obesvarade frågetecken relativt svar och rekommendationer. Nedan beskrivs kort hur strukturen i kod CDD är uppbyggd med underliggande koder. I denna handling kommer innehåll i koderna CDD, CDD.1, CDD.11 och CDD.111 att behandlas vilket följer avgränsningen för projektet och de kategorier som är specificerade i delprojekt *Karaktisering och design*.

### CDD Tätning och infiltration av berg kring tunnlar, bergtrum od

I AMA finns det ingen text direkt under denna kod men några stycken under RA (råd och anvisningar). RA rekommenderar att man ska ange mätbara täthetskrav och några olika kontroller kopplat till detta, enligt nedan:

- kontroll av täthetskravet
- kontroll av grundvattennivå och grundvattentryck
- kontroll av inläckage (tex genom mätdammar)
- kontroll av bergmassans täthet

### CDD.1 Injektering

Denna kod är väldigt beskrivande i AMA och tar upp ett stort antal punkter som ska anges. Dessa ska i den tekniska beskrivningen ligga under den rubrik/kod som är relevant.

I AMA beskrivs hur hål ska borras till rådande förhållande kopplat till spricksystem, vad som ska göras om tillåtet inläckage överskrids. Vissa material- och varukrav tas upp såsom förvaring av delmaterial, att dessa är verifierade till viss nivå samt att de ej får försämra korrosionsresistensen hos stål. Några utförande krav nämns såsom:

- Injektering ska utföras enligt SS-EN 12715. Standarden är omfattande och beskriver vad som ska eller bör innefattas och utföras i projekteringsstadiet såväl som i utförandet. Huvudrubrikerna i denna är:
  - Information needed
  - Site investigation
  - Materials and products
  - Design Considerations
  - Execution
  - Execution supervision and control
  - Works documentation
  - Special aspects (environment, site safety)
- Borrhål ska rensas före injektering
- Injekteringsstryck ska anpassas till bergets stabilitet och befintliga anläggningar
- Åtgärd om omständigheter föreligger som bedöms innebära fara för stabilitet, yttre miljö, hälsa eller säkerhet

Därefter står att kontroll ska utföras på egenskapsvärdena samt hur provningsresultatet ska sammanställas.

---



I RA rekommenderas att tätning främst bör ske genom förinjektering med cementbaserat injekteringsmedel. Under aktuell kod och rubrik bör högsta injekteringstryck och -volym anges kopplat till risk för lyftning etc. Vidare nämns allmänt vad som bör beaktas vid:

#### MATERIAL- OCH VARUKRAV

- Krav och hantering av kemiska produkter samt om endast produkter enligt Trafikverkets kemikalielista ska användas.

#### Cementbaserat injekteringsmedel

- Cementbaserat injekteringsmedel (exempelvis vilka egenskapskrav som kan specificeras)

#### Utrustning

- Krav, registrering, inmätning av borrhål och krav för mätning av vattenförlust

#### UTFÖRANDEKRAV

- Om andra krav än i AMA angivna ska styras
- Borrhålskonfiguration, injektering i skärm osv
- En eller flera omgångar i samma skärm och om detta är villkorat av hydrauliska tester eller annat

#### Styrning av utförandet

- Omfattning och syfte med kontrollhål
- Hydrauliska tester före och efter injektering. Hur och vad som ska mätas samt krav på noggrannhet och frekvens
- Om registrerande borring ska utföras, vad i så fall samt krav på bearbetning och dokumentation
- Övriga observationer som ska göras som underlag förbestämning av vidare åtgärder
- Kriterier för utförande och omfattning av ytterligare injekteringsomgång utifrån erhållna resultat
- Vem är ansvarig för att bedöma om kriterierna uppfylls eller ej
- Geometri för skärm (borrhålsdiameter, antal hål, hållängd)
- Ansättning, hålspetsavstånd, stick
- Geometri för kontrollhål
- Manschettplacering
- Överlapp mellan injekteringskärrar

#### Borring för injektering

- Tillåten avvikelse i ansättning, borrhålsavvikelse och åtgärder
- Om registrerande borring ska utföras, noggrannhet och vilka parametrar
- Krav på uppsamling av borrkax, dammskydd och hur renspolning ska utföras

#### Injekteringsteknik

- Injekteringstryck och tid, stoppkriterier
-

- Kriterier för byte av egenskapskrav på bruk, recept eller injekteringsmedel
- Krav på avluftning och evakuering av borrhål och sätt för hålfyllnad för injektering
- Hantering av manschetter (montering, stängning, öppning, borttagning)
- Injekteringsordning, flerhålsinjektering och om samma pump då får användas
- Förfarande vid ytläckage eller sambandshål
- Hantering av spill och överblivet injekteringsmedel, spolvattenhantering

#### KONTROLL

##### Förundersökning av injekteringsmedel

Förundersökning utförs på laboratorium och bör innefatta fältmässiga metoder för att egenskaperna ska kunna verifieras i den fortlöpande provningen.

- Ange om undersökningarna ska utföras på laboratorium eller i fält
- Blandningsutrustning och förfarande
- Vilka egenskaper och med vilka undersökningsmetoder. Antal blandningar och prov
- Krav på resultat, dvs accepterat intervall för värde på egenskap samt åtgärd om värden ej är godkända

##### Fortlöpande kontroll av injekteringsmedel

- Ange om fortlöpande kontroll av injekteringsmedel ska utföras
- Vilka egenskaper ska kontrolleras, frekvens och krav på resultat samt åtgärd om värden ej är godkända

##### Fortlöpande kontroll av utrustning

- Krav på kontroll av upprätthållande av den funktion som specificeras samt kalibreringsintervall

#### CDD.11 Förinjektering

Koden innehåller endast kortfattad text under RA gällande selektiv eller kontinuerlig injektering, väntetid innan borrning och schakt i närheten av injekterat område.

##### CDD.111 Förinjektering med cementbaserat injekteringsmedel

I AMA står att "förinjektering ska utföras så att största möjliga flöde vid högsta tillåtna injekteringsstryck upprätthålls till dess att stoppkriteriet uppnåtts".

I RA endast att ange om annat injekteringsutförande än i AMA angivet ska tillämpas.

Under koden finns även en förslagstext vilken består utav bla samma punkter som under CDD.1, dvs en mängd frågor som är rekommenderade att besvaras och inkludera i den tekniska beskrivningen. Nedan följer de kategorier som koden innefattar. Av dessa kategorier tar denna handling upp rubrikerna som ej är kursiverade.

- *Krav på personal*
  - Produktkrav och bruksegenskaper
  - Utrustning
  - *Design*
  - Ansättning
  - Gränser/påverkan/läckage
-

- Resultat/observation
- *Hydrauliska tester*
- Registrering
- *Arbetsmiljö*
- Utförande
- *Dokumentation*
- Förundersökning
- Fortlöpande provning
- Kontroll av utrustning
- *Kontroll av grundvatten*
- Kontroll av inläckage

### 3 FÖRSLAG PÅ STANDARDISERADE LÖSNINGAR

Nedan redovisas de lösningar som genom teori, erfarenhet, praxis och gemensam diskussion framkommit som möjliga att standardisera. Notera att avsnittet ej på något sätt är komplett och följer heller inte strukturen i AMA. Förhoppningen är dock att lösningarna tydligt kommer underlätta upprättande av teknisk beskrivning där fokus istället kan läggas på de projektspecifika problemen.

#### 3.1 UTFÖRANDE

##### 3.1.1 BORRHÅLSDIAMETER

Borrhålsdiametern styrs av risk för manschettsläpp varför denna måste vara anpassad efter injekteringsstryck. Diametern är även en avgörande faktor på hur raka borrhålen kan utföras, se vidare avsnitt 3.1.2. För injektering i kategori PK1 och PK2 samt vid låga tryck används >48mm borrhålskrona. Vid svårare injektering exempelvis PK3 och vid höga tryck används 63mm. Vid de högre trycken är det viktigt att rätt dimension på manschett används så att mothållande skjuvkrafter kan nyttjas fullt ut, se avsnitt 3.2.2.

##### 3.1.2 RAKHET PÅ BORRHÅL, ANSÄTTNING OCH HÅLSPETSTOLERANS

Vid kategori PK1 och PK2 föreslås inga krav på rakhetsmätning. Därmed heller ingen inmätning av borrhål eller kontroll av borrhålsavvikelse.

Vid mer komplexa anläggningar (PK3) ska rakheten mätas för att exempelvis undvika sammanborrning eller vid risk för att borra på nära närliggande anläggning etc. Det är även i denna kategori som krav bör sättas på hålspets tolerans. Kraven på raket kan då följas upp vid stufinjektering/sonderingsborrning där borrhålen kan mätas in efter varje sprängning. Borrigen med tillhörande utrustning för att få raka borrhål (ex, borrstål, styrning, krontyp etc) som uppfyller rakhetskraven i stufven ska användas genom hela projektet. Om dessa är godkända ska ingen kontroll behövas för de vanligt vinklade skärmarna. I detta fall måste inmätningstoleranser och borrningsavvikelser specificeras. Följande faktorer leder till rakare borrring:

- grova stål
- stor borrhålsdiameter
- erfaren operatör
- kortare borrhål

Ansättning av borrhål har ingen koppling till kvaliteten på en injektering varför några strikta krav ej ska sättas. För Ansättningen av borrhål där toleranserna är vida (PK1, PK2  $\pm 0,5$ ) kan göras på plats av erfaren operatör som då bör placera ut borrhålen så de skär sprickorna på lämpligt sätt (så närliggande spricka skär borrhålet så långt in borrhålet som möjligt).

Tabell 3-1. Ansättning, rakhetskrav och hålspets tolerans kopplat till projekteringskategori

Projekteringskategori (PK)	Raket	Ansättning [m]	Hålspets tolerans [m]
1	-	$\pm 0,5$	-
2	-	$\pm 0,5$	-
3	specificeras	$\pm 0,2$	$\pm 0,2$

### 3.1.3 HÅLRENGÖRING

Hålrengöring bör utföras direkt efter borring med borrhög. Utgångspunkten är då 10bar och 30 lit/min i 2 min alternativt tills klart vatten syns. I sulan är det dessutom av stor vikt att manschett monteras direkt efter spolning så att borrhög ej rinner tillbaka in i hålen.

### 3.1.4 MONTERINGSDJUP AV MANSCHETT

Ur säkerhetssynpunkt ska manschetten placeras på ett visst djup in i borrhålet kopplat till injekteringstryck, se tabell 3-1 nedan. Placeringen ska vidare utföras så att inget läckage sker runt manschetten och får justeras så att detta uppnås.

Tabell 3-1. *Injekteringstryck och monteringsdjup av manschett.*

Tryck [MPa]	Monteringsdjup i borrhål [m]
0-0,3	0,5
0,3-0,5	1,0
>0,5	Pilhöjd*

\*Definieras i projekteringskede

## 3.2 UTFÖRANDE AV INJEKTERING

### 3.2.1 HÅLORDNING

Injekteringen skall alltid ske nedifrån sulan och uppför väggarna och avslutas i tak. Detta för att först ta hand om de största trycken och undvika läckage i sula.

### 3.2.2 YTLÄCKAGE OCH SAMBANDSHÅL

Ytläckage och sambandshål har ingen större påverkan på injekteringsresultatet. Båda fenomenen kan ses som ett bekräftande resultat att bruket åtminstone har spridits sträckan till sambandshålet eller tunnelstuff. Ytläckage kan i miljösynpunkt behöva åtgärdas då det ofta finns restriktioner i lakvattnet.

Vid sambandshål och ytläckage skall det pågående borrhålet alltid injekteras klart om designkriterierna kan uppnås.

Utfödet ur sambandshål åtgärdas genom manschettering av läckande hål med stängd ventil. Sambandshålet skall då det pågående borrhålet är avslutat spolat/borras ur och injekteras enligt samma designkriterium som faststälts.

Detta kan resultera i ett "förlorat" borrhål men alternativet som brukar vara att koppla en slang från samma pump till sambandshålet riskerar istället att ge två "förlorade" borrhål. Alltså är det första alternativet det bättre alternativet.

## 3.3 MATERIAL OCH VARUKRAV

### 3.3.1 MANSCHETTYP

Val av manschetttyp (en- eller flergångs) beror främst på att vissa tenderar att läcka och därmed indirekt ge en sämre kvalitet på injekteringen. Vid en undersökning i Södra Länken, se sammanställning i *SveBeFos 4:e Nordiskt injekteringssymposium år 2001 (Testing of three types of packers in connection with cement-based grouting)* visades att engångsmanschetter tenderar att läcka vid låga tryck. Vidare stryks möjligheten att kontrollera brukets status i borrhålet, vid användande av engångsmanschetter, efter

avslutad injektering. Problemet med engångsmanschetterna är även att de ej går att justera när de väl är monterade och kan därför inte efterjusteras vid strukturella läckage etc. Det finns dock flera fördelar med engångsmanschetterna, tex mindre att rengöra efter injektering och möjlighet att snabbare komma igång med salvbörning.

Kraven bör därför inte sättas utifrån typ av manschett utan snarare att de uppfyller vissa täthetskrav.

1. Under injektering och direkt efteråt är kravet att borrhålen ska vara täta oavsett manschetttyp.
2. Efter demontering av manschetten är kravet att ett borrhål får läcka maximalt 0,05l/min. För en skärm är då kravet kopplat till vilken projekteringskategori injekteringen utförs i enligt nedan:

PK1  $\Sigma 0,5$  l/min

PK2  $\Sigma 0,2$  l/min

PK1  $\Sigma 0,1$  l/min

3. Efter schakt kan andra krav ta vid, tex TRVK Tunnel 11 kopplat till konstruktionens funktion och säkerhet (se avsnitt C.1.4.1 Tunnelns funktion och säkerhet).

Om täthetskriterierna ej uppfylls ska följande åtgärder utföras:

PK 1 Läckande borrhål pluggas men för kommande skärm måste åtgärd planeras och utföras

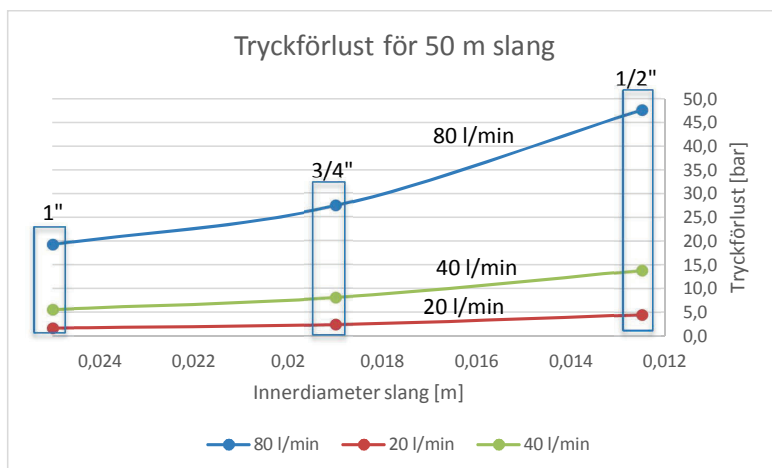
PK 2 Läckande borrhål måste borraras om och ominjekteras enligt ordinarie design så att täthetskriterierna uppfylls

PK 3 Samtliga läckande borrhål ska ominjekteras.

Läckaget från borrhålen skall alltid mätas och följas upp innan injekteringen avetableras. Vid läckage skall beställaren alltid meddelas.

### 3.3.2 SLANGDIMENSION

Slangdimension styrs av tryckförlusterna. Tryckförlusten i en 50m lång slang med dimensionen 1",  $\frac{3}{4}$ " och  $\frac{1}{2}$ " redovisas i figur 3-1 nedan.



Figur 3-1. Tryckförlust i en 50 m injekteringsslang. Vanliga standarder på hydraulslang är markerade i enheten tum.

Slangen från mellan injekteringspump och manschett ska ha dimensionen  $> \frac{3}{4}$ " som standard. När påvisligen låga flöden kommer att användas kan  $> \frac{1}{2}$ " tillåtas. Detta gäller alltså över samtliga projekteringskategorier.

I övrigt skall hydraulslangen vara tryckklassad och av god kvalitet och följa andra normer gällande säkerhet med arbete med höga tryck (där så är relevant).

### 3.3.3 REGISTRERING

Utrustning skall användas som registrerar tryck, volym, flöde och realltid för varje borrhål som injekteras.

Flödet från injekteringspump skall kunna mätas och registreras med en flödesmätare. Mätnoggrannheten över aktuellt flödesområde (50 till 0 l/min) skall vara med 1%. Kalibreringsprotokoll skall kunna uppvisas till beställaren och åtgärd presenteras om mätnoggrannheten inte är tillräcklig.

Trycket skall kunna mätas med en mätnoggrannhet på minst 1% över aktuellt tryckspann.

Total volym som injekterats för varje enskilt borrhål skall utgå från vikten i omröraren (alternativt mängd som blandats). Vikten mäts med våg placerat på omröraren alternativt blandaren. Vågen (oftast i form av lastceller placerade på stödben) skall vara rätt antal och kalibrerade för aktuell situation innefattande också att injekteringsplattformen inte alltid står i horisontellt läge. Med andra ord; det måste finnas minst tre lastceller på omröraren och/eller blandaren och vara kalibrerade för en vikt på mellan 10-200 kg. Kalibreringsprotokoll skall kunna presenteras för beställaren.

### 3.3.4 VAL AV INJEKTERINGSMATERIAL OCH TILLSATSER

Det är upp till entreprenören att välja typ av injekteringsmaterial och dess tillsatser. Valet görs utifrån de krav som ställts på bruksegenskaperna.

### 3.3.5 PUMPKAPACITET

Pumpkapaciteten ska ej kravsättas men underlag för val av kapacitet ska anges av projektören åt entreprenören. Underlaget kan vara i form av att ett visst tryck ska kunna uppnås inom en viss tid och hållas med ett visst flöde.

Pumpkapaciteten relateras till grundvattentryck och flöde ur borrhål. Ju större grundvattentrycket är och större flöden i borrhålen desto större (större apertur) antas sprickorna ha som korsar borrhålet. För stora sprickor krävs en stor pumpkapaciteten för att nå ett högt designtryck.

Förslagsvis används en tabell likt tabell 3-2 som visar på vid vilka grundvattentryck och maximala inflöden i borrhål som pumpkapaciteten där dimensioneras för att klara att uppnå ett givet designtryck inom 5 min.

*Tabell 3-2. visar på vid vilka grundvattentryck och maxflöden som det är rimligt att ha en pumpkapacitet för att nå designtryck inom 5min. De angivna maxflöden innebär att större flöden än detta kan förekomma men då accepteras också en längre tid för att nå designtryck.*

Grundvattentryck	Borrhålsflöden där designtryck måste nås inom 5 min
20	<10 l/min
60	<20 l/min
120	<40 l/min

Designtryck ska uppnås inom en viss tid varför utrustning skall ha kapacitet för detta. Bör ha en standard, tex vid visst flöde ska tryck uppnås inom 5min.

### 3.3.6 BLANDNING OCH OMRÖRNING KAPACITET, ANTAL ETC

Mängden bruk som skall kunna pumpas skall anpassas till pumpflödet. Stillestånd för blandning är inte acceptabelt utom i exceptionella fall (ett borrhål som ger mycket mer flöde än vad kunnat tolkas från design underlaget).

### 3.3.7 INJEKTERING AV FLERA BORRHÅL SAMTIDIGT

Om designunderlaget anger en viss tid för injektering vid ett givet designtryck kan flera pumpar användas samtidigt. Förutsättningen är att varje pump har egen registrering enligt ovan. Det samma gäller för bruksblandningen, att kapaciteten på hela blandningsprocessen medger att flödet till pumparna inte begränsas.

### 3.3.8 KONTROLLHÅL

Kontrollhålen i denna handling avser att säkerställa att den injektering som utförts är av den tänkta kvaliteten.

Kriterierna för antal och syfte med kontrollhål bestäms av design och avser att säkerställa de övergripande målen med injekteringen.

Med syftet att säkerställa kvaliteten av injektering förslås att kontrollhål borrar enligt nedanstående tabell.



Tabell 3-3. Förslag på när kontrollhål ska slås kopplat till projekteringskategori.

Projekteringskategori (PK)	Antal
1	Vid eller mellan borrhål som inte lyckats utföras enligt design
2	Samma som för PK1
3	Som ovan samt vid borrhål som tagit maxvolym (även där sambandshål och /eller ytläckage givit att maxvolym är uppnått)

### 3.3.9 MÄTDAMMAR

Gällande permanenta mätvallar så bestäms position och antal av delprojekt karakterisering och design.

Syftet med temporära dammar är att möjliggöra uppföljning samt justering av design. Alltså ska design även ge förslag på temporära mätvallar. Deras övergripande krav är att nå inläckagekravet medan det övergripande kravet för tekniska beskrivningen är att utförandet/utförandet är funktionella. I tabell 3-4 nedan redovisas förslag på placering och omfattning.

Tabell 3-4. Förslag på placering och omfattning av temporära dammar.

Projekteringskategori (PK)	Antal
1	En före och en efter där PK ändras. Mätning av totalt inläckage i kategorin
2	Som för PK1 samt 1 st var 200m som temporär konstruktion eller då PK ändras
3	Samma som PK2

Rekommendationer på utformning kan fås i *BeFo rapport – Mätning av inläckande vatten till bergtunnlar, rapport nr 104*

## 3.4 KONTROLL AV BRUK

Behovet av provning varierar beroende på vilken projekteringskategori som är aktuell, se tabell 3-5 nedan.

Tabell 3-5. Typ av provning kopplat till projekteringskategori.

	PK1	PK2	PK3
<b>Laboratorium</b>	Nej*	Ja	Ja
<b>Förprovning i fältmässiga förhållanden</b>	Ja	Ja	Ja
<b>Löpande</b>	Ja, en gång per skift	Ja, 4m <sup>3</sup> , en gång per skift, vid varje ny leverans	Ja, 2m <sup>3</sup> , annars som för PK2

\*För bruk med god kännedom om, dvs ej om leverantör ändrat något väsentligt

Den klassiska förprovningen i fält ersätts med att den kan göras i fältmässiga förhållanden dvs med aktuell utrustning, temperatur och vattenkvalitet.

Omfattningen av provning är beroende på vilken del av skedet den är kopplad till men det är viktigt att det blir en röd tråd genom skedena så att egenskaperna kan följas upp med samma metoder i fält som i laboratorium. I tabell 3-6 nedan redovisas provningar som ska utföras i respektive skede.

Tabell 3-6. Omfattning av provning i laboratorium, fältmässiga förhållanden och vid löpande provning.

Egenskap	Laboratorium	Fältmässiga förhållanden	Löpande
<b>Teoretisk densitet ±0,02kg/dm<sup>3</sup></b>	Mudbalance	Mudbalance	Mudbalance
<b>Viskositet (indirekt)</b>	Rheometer och kontroll mot marshkon	Marshkon	Marshkon
<b>Separation</b>	Standard	Nej	Nej
<b>Skjuvgräns</b>	Rheometer och kontroll mot yieldstick (måste utföras enhetligt)	Yieldstick	Yieldstick
<b>Hårdning</b>	Fallkon. Ex 200 kPa vid 3 timmar och kontroll mot kopprover	Kopprov	Kopprov
<b>Inträngnings-egenskaper</b>	Ingen utrustning är i dagsläget lämplig att ange. Typ av utrustning skall anges av projektören. I laboratorium skall dock filterpump användas för att möjliggöra uppföljning i fält.	Filterpump	Filterpump

## 3.5 KONTROLL AV ERHÅLLET RESULTAT

### 3.5.1 HYDRAULISKA TESTER

#### Vattenförlustmätning

Syftet med en vattenförlustmätning är att undersöka vattenföringen i sprickorna som korsar borrhålet. Detta används antingen för att bedöma transmissiviteten (genomsläppligheten) i berget innan injektering eller att bedöma tätheten i ett borrhål efter injektering.

Vattenförlustmätning används företrädesvis framför naturliga inflödestester när borrhålen är svagt till måttligt flödande (<2 l/min) eller om tunneln är förlagd grunt (<50 m). Vattenförlustmätning utförs i de borrhål som designen kräver.

- **Genomförande**  
Vatten injiceras genom en manschett tills borrhålet är helt fyllt. Sedan fortsätter vattenförlustmätningen med ett övertryck på 2 bar över grundvattentrycket. Flödet mäts under 1 minut efter det att ett stabilt förhållande uppnåtts (stabilt flöde). Det bör inte ta längre än maximalt 3 minuter.
- **Mätnoggrannhet**  
Mätnoggrannheten ska vara en 10-potens lägre än den tätningsnivån som teoretiskt ska uppnås. Tätningsnivån mäts då i transmissivitet eller konduktivitet.

### 3.5.2 INJEKTERING AV BORRHÅL

En injektering av ett borrhål anses vara genomförd om följande är uppfyllt: Att vid avslut av injekteringen har designkriterierna för injekteringen följts ex:

- Design tryck nåtts, designen skall ange hur trycket skall kompenseras ifall design tryck ej kan nås, exempelvis längre injekteringstid.
- Stopptryck uppnåtts
- Injekteringstid uppnåtts. Detta innebär att en viss tid vid uppnått designtryck har hållits.
- Att kravet på minsta pumpflöde har nåtts. För att detta krav skall kunna följas skall mätnoggrannheten vara en tiopotens lägre än det satta flödeskriteriet.
- Att borrhålet har injekterats med en volym minst lika stor som den teoretiska borrhålsvolymen (se vidare nedan).
- Att den löpande provningen visar resultat inom satta gränser
- Att registrering av tryck, flöde, volym, och tid är loggad
- Att man dokumenterat försök på lösning för eventuella avvikelser från det ovanstående.

Om flödeskriterierna ej uppfylls så skall borrhålen eftertryckas. Injekteringen görs med lägre tryck och under 5 minuter. Bruket är av typen bult bruk. – se täthetskrav under avsnitt 3.3.1 Manschetttyp.

### 3.5.3 HELT FYLLDA BORRHÅL

Att säkerställa helt fyllda hål innebär att inpumpad volym skall vara  $\pm 1,5$  l från teoretisk borrhålsvolym. Mätnoggrannheten skall vara inom gränserna 0,5 lit.

### 3.5.4 INJEKTERAD VOLYM STÖRRE ÄN BORRHÅLSVOLYM

Injekterad volym skall för samtliga injekterad borrhål vara större än den teoretiska borrhålsvolymen enligt ovan

## 3.6 EFTER UTFÖRD INJEKTERING

### 3.6.1 VÄNTETID

Förslaget är att en utredning av påverkande krafter utförs. Från detta skall projektören kunna säga hur lång härdningstid som behövs för aktuell PK.

Generellt gäller:

- Kontrollhål, kompletterande borrhål får borras och injekteras direkt efter att närliggande borrhål är färdig injekterat samt att borrhålet är försedd med stängd/tät manschett under borrning. Detta gäller för samtliga PK.
- Borrning av salva får påbörjas direkt efter avslutad injektering på samma sätt som för kontrollhål och kompletterande borrhål enligt ovan för PK1.
  1. För PK2 och PK3 måste en utredning av vibrationskrafter och spolvattentryck från bormaskin utredas.

### 3.6.2 OBSERVATIONER EFTER INJEKTERING

Dokumentation från injekteringen av en skärm skall utgöras av

- pVt-data för varje borrhål i skärmen.
- Protokoll från den löpande provningen av bruket
- Protokoll över uppnådda tryck, tider och volymer för varje borrhål.
- Protokoll över andra åtgärder som utförts och eventuella avsteg från design.
- Protokoll över vilka läckande borrhål som finns samt uppmätta flöden.

Kriterier för "godkänd injektering" baserat på:

- Tryck, volym, tid, flöde, toleranser
- Löpande provning, värden på toleranser
- Etc.

Under drivning genom injekterad skärm skall observationer och mätningar av flöden utföras av eventuell läckande sprickor och borrhål. Dokumentation skall överlämnas till ansvarig beställare och gås igenom innan nästa injektering får påbörjas.

## 4 IMPLEMENTERING I AMA OCH RA ANLÄGGNING

De lösningar som tagits fram och redovisats under avsnitt 3 kan med viss omformulering och sammanfattning läggas in i AMA och RA anläggning.

Då framtagna lösningar och riktlinjer endast tagits fram för förinjektering i tunnlar enligt definition i delprojekt Karakterisering och design kan dessa endast vara giltiga för CDD.11 och CDD.111. Strukturen och underrubriker följer den som beskrivs i AMA Anläggning 13 men med viss justering av ordning för att vara mer anpassad till faktiskt förfarande.

Projekteringskategorierna (PK) 1-3 finns idag endast beskrivna i delprojekt Karakterisering och design men bör bli definierade i en Trafikverks handling, tex "Projektering av bergtunnlar". När detta är gjort kan de med fördel nyttjas i AMA och RA på samma sätt som flera andra teknikområden med kategorier och klasser.

### 4.1 IMPLEMENTERINGAR I AMA ANLÄGGNING

#### CDD.11 Förinjektering

#### UTFÖRANDEKRAV

##### *Borrning*

Utförande av borrning för injekteringshål skall ske enligt Tabell 4-7 nedan.

Tabell 4-7. Val av borrhålsdiameter, ansättning och hålspektolerans.

Projekteringskategori (PK)	Borrhålsdiameter [mm]	Ansättning [m]	Hålspektolerans [m]
1	>0,48	±0,5	Inga krav
2	>0,48	±0,5	Inga krav
3	>0,63	±0,2	±0,2

##### *Hållrengöring*

Hållrengöring skall utföras direkt efter borrning med 10 bar och 30 lit/min i 2 min alternativt tills klart vatten syns.

##### *Montering av manschett (gummit)*

Manschett skall monteras tät och bibehålla täthet under injektering och förbli tät när injekteringen avslutas i aktuellt hål. Placering av manschettens gummidel i injekteringshål enligt Tabell 4-8 nedan.

Tabell 4-8. Val av manschettens monteringsdjup i borrhål.

Totaltryck [MPa]	Monteringsdjup i borrhål [m]
0-3	>0,5
3-5	>1,0
>5	>Tunnelfrontens pilhöjd

### *Utförande av injektering*

Injekteringen skall alltid ske nedifrån sulan och uppför väggarna och avslutas i tak.

Efter demontering av manschetten är kravet att borrhålet får läcka maximalt 0,05 lit/min.

Vid sambandshål och ytläckage skall det pågående borrhålet alltid injekteras klart om designkriterierna kan uppnås. Utflödet ur sambandshål åtgärdas genom manschettering av läckande hål med stängd ventil. Sambandshålet skall då det pågående borrhålet är avslutat spolås/borras ur och injekteras enligt samma designkriterium som fastställts.

## MATERIALKRAV OCH VARUKRAV

### *Slangdimension*

Standarddimension på slang mellan injekteringsmanschett och injekteringspump skall vara ¾". Vidare ska slangen vara tryckklassad för att klara designtryck.

### *Registrering*

Utrustning skall användas som registrerar tryck, volym, flöde och realtid för varje borrhål som injekteras.

Flödet från injekteringspump skall kunna mätas och registreras med en flödesmätare. Mätnoggrannheten över aktuellt flödesområde (50 till 0 l/min) skall vara med 1% eller en tiopotens lägre än det satta flödeskriteriet.

Trycket skall kunna mätas med en mätnoggrannhet på minst 1% över aktuellt tryckspann.

Volym per borrhål skall kunna mätas med en mätnoggrannhet på **xx lit per. .**

Kalibreringsprotokoll skall kunna uppvisas till beställaren och åtgärd presenteras om mätnoggrannheten inte är tillräcklig.

## KONTROLL

### *Kontroll av bruk*

Bruk skall alltid kontrolleras i förprovning i fältmässiga förhållanden och löpande under injektering. I laboratorium beror på vilken projekteringskategori anläggningen klassas till, se tabell 4-9 nedan.

Tabell 4-9. Typ av provning kopplat till projekteringskategori.

Projekteringskategori (PK)	Laboratorium	Förprovning i fältmässiga förhållanden	Löpande
1	Nej*	Ja	Ja, en gång per skift
2	Ja	Ja	Ja, 4m <sup>3</sup> , en gång per skift, vid varje ny leverans
3	Ja	Ja	Ja, 2m <sup>3</sup> , annars som för PK2

\*För bruk med god kännedom om, dvs ej om leverantör ändrat något väsentligt

Tabell 4-10 nedan redogör för vilka provningar som skall utföras i respektive skede.

Tabell 4-10. Omfattning av provning i laboratorium, fältmässiga förhållanden och vid löpande provning.

Egenskap	Laboratorium	Fältmässiga förhållanden	Löpande
<b>Teoretisk densitet</b> ±0,02kg/dm <sup>3</sup>	Mudbalance	Mudbalance	Mudbalance
<b>Viskositet (indirekt)</b>	Rheometer och kontroll mot marshkon	Marshkon	Marshkon
<b>Separation</b>	Standard	Nej	Nej
<b>Skjuvgräns</b>	Rheometer och kontroll mot yieldstick	Yieldstick	Yieldstick
<b>Hårdning</b>	Fallkon	Kopprov	Kopprov
<b>Inträngnings-egenskaper</b>	Filterpump	Filterpump	Filterpump

## KONTROLL AV ERHÅLLET RESULTAT

### Injekttering av borrhål

En injekttering av ett borrhål är genomförd om följande är uppfyllt:

- Designtryck och injektteringstid har uppnåtts
- Att kravet på minsta pumpflöde har nåtts.
- Att borrhålet har injekterats med en volym som den teoretiska borrhålsvolymen ±1,5 lit. Mätnoggrannheten skall vara inom gränserna 0,5 lit.
- Att den löpande provningen visar resultat inom satta gränser
- Att registreringen av tryck, flöde, volym, och tid är loggad

Läckaget från borrhålen skall alltid mätas och följas upp innan injekteringen avetableras. För att en skärm skall vara godkänd får det totala läckaget från injekteringsborrhålen maximalt vara:

Tabell 4-11. Krav på största tillåtna totala läckage ur borrhål för en skärm.

Projekteringskategori	Största tillåtna totala läckage ur borrhål för en skärm
1	$\Sigma 0,5$ l/min
2	$\Sigma 0,2$ l/min
3	$\Sigma 0,1$ l/min

Om läckagen överskrider värden i Tabell 4-11 skall beställare meddelas.

#### *Mättdammar*

Temporära mättdammar skall anläggas enligt Tabell 4-12 nedan.

Tabell 4-12. Krav på antal temporära mätvallar kopplat till projekteringskategori.

Projekteringskategori (PK)	Antal
1	En före och en efter där PK ändras. Mätning av totalt inläckage i kategorin
2	Som för PK1 samt 1 st var 200m som temporär konstruktion eller då PK ändras
3	Samma som PK2

## 4.2 IMPLEMENTERING I RA ANLÄGGNING

CDD.11 Förinjektering

### UTFÖRANDEKRAV

#### *Borrning*

Ange under aktuell kod och rubrik om krav på rakhet ska anges.

#### *Montering av manschett*

Ange under aktuell kod och rubrik om manschett ska monteras direkt efter spolning i hål borrade i sulan.

#### *Utförande av injektering*

Ytläckage kan i miljösynpunkt behöva åtgärdas då det ofta finns restriktioner i lakvattnet.



## MATERIALKRAV OCH VARUKRAV

### *Injekteringsutrustning*

Blandning och pumpkapacitet ska ej kravsättas men underlag för val av kapaciteter ska anges. Underlaget kan vara i form av att ett visst tryck ska kunna uppnås inom en viss tid och hållas med ett visst flöde.

## KONTROLL

### *Kontroll av bruk*

Ange om annan utrustning än filterpump skall användas för att visa på inträngningsegenskaper i laboratorium

## KONTROLL AV ERHÅLLET RESULTAT

### *Injektering av borrhål*

Ange hur om alternativ design skall användas om designtryck ej kan uppnås.

Ange åtgärd om flödeskriterierna ej uppfylls. Tex om hål skall eftertryckas. Rekommenderat är att injekteringen då utförs med lägre tryck och under 5minuter. Bruket kan vara av typen bult bruk.

Efter bergschakt vid injekteringsskärm kan andra krav på läckage ta vid, tex *TRVK Tunnel 11* kopplat till konstruktionens funktion och säkerhet (se avsnitt C.1.4.1 Tunnelns funktion och säkerhet).

Om täthetskriterierna enligt Tabell 4-11 (läckage ur borrhål) i AMA CDD.11 ej uppfylls ska följande åtgärder utföras:

- PK1 Läckande borrhål pluggas men för kommande skärm måste åtgärd planeras och utföras
- PK 2 Läckande borrhål måste borras om och ominjekteras enligt ordinarie design så att täthetskriterierna uppfylls.
- PK 3 Samtliga läckande borrhål ska ominjekteras.

### *Kontrollhål*

Ange om kontrollhål skall slås för att kontrollera resultatet på utförd injektering. Förslag på placering och omfattning kopplat till projekteringskategori redovisas i tabell 4-13 nedan.

Tabell 4-13. Förslag på placering och omfattning av kontrollhål

Projekteringskategori (PK)	Antal
1	Vid eller mellan borrhål som inte lyckats utföras enligt design
2	Samma som för PK1
3	Som ovan samt vid borrhål som tagit maxvolym (även där sambandshål och /eller ytläckage givit att maxvolym är uppnått)

### *Mätdammar*

Ange antal och placering av permanenta mätdammar.

Rekommendationer på utformning kan fås i *BeFo rapport – Mätning av inläckande vatten till bergtunnlar, rapport nr 104*.

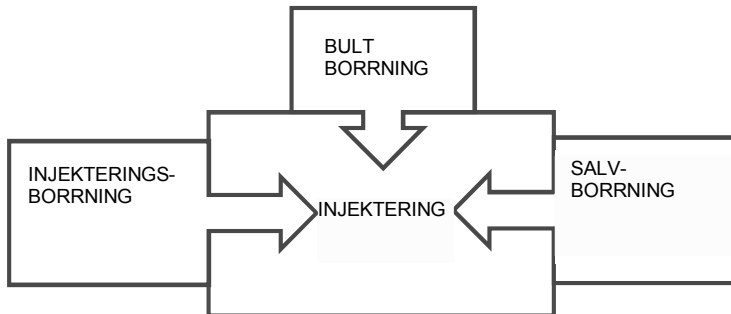
## MATERIAL OCH VARUKRAV

### *Registrering*

Om inte volymsnoggrannheten kan uppfyllas kan den totala volym som injekterats för varje enskilt borrhål utgå från vikten i omröraren (alternativt mängd som blandats). Vikten mäts med våg placerat på omröraren alternativt blandaren. Vägen (oftast i form av lastceller placerade på stödben) skall vara rätt antal och kalibrerade för aktuell situation innefattande också att injekteringsplattformen inte alltid står i horisontellt läge. Detta innebär att det måste finnas minst tre lastceller på omröraren och/eller blandaren och vara kalibrerade för en vikt på mellan 10-200 kg.

## 5 FORTSATT UTREDNING

Allmänt behöver kommunikation/samarbete/ersättning justeras mellan utförande av injektering och de som utför borrningen. Figuren nedan illustrerar informationsflödet som det åtminstone borde se ut. Viss information bör väl även gå tillbaka till borrare av de olika processerna.



Figur 5-1. Illustration av informationsflöde till injektorare.

De punkter som möjliggör ett mer gemensamt synsätt samt moment som påverkar varandra är:

- Ett dåligt borrarat hål bör ej ersättas
- Borrare utför hållrengöring! och manschettering!? och hydrotester?

## 6 REFERENSER

AMA Anläggning 2013

RA Anläggning 2013

SS-EN 12715

TRVK Tunnel 11

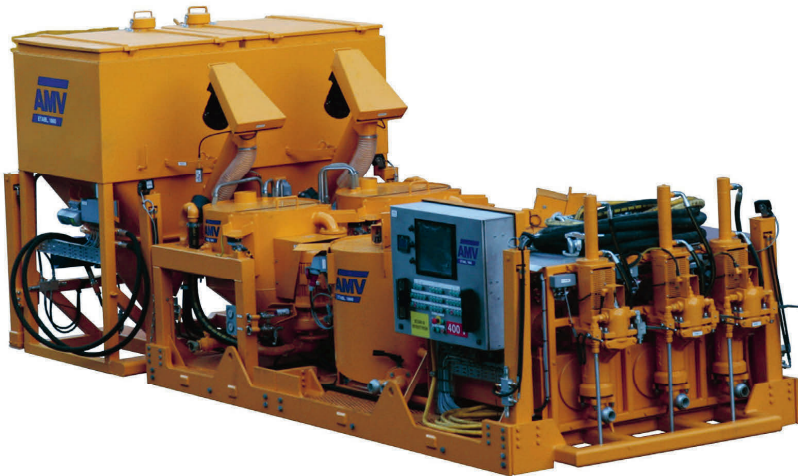
TRVR Tunnel 11

SveBefos 4:e Nordiskt injekteringssymposium år 2001 (Testing of three types of packers in connection with cement-based grouting)

## **Bilaga 4**

# Rapport

## Kontrakts- och Ersättningsfrågor



Johnny Kåhre, Anders Östberg Emil Pettersen, Scandinavian Tunneling AB

Bild: Injekteringsutrustning från AMV

## Innehållsförteckning

1. Bakgrund.....	3
2. Syfte.....	3
3. Inledning.....	3
4. Omfattning.....	4
4.1 Kontrakt.....	4
4.2 Ersättningsregler.....	4
5. Metod.....	4
6. Resultat och slutsatser.....	5
6.1 Skärmgeometri.....	5
6.2 Sondering.....	6
6.3 Injekteringsmedel.....	6
6.4 Injekteringsmaterial.....	6
6.5 Injekteringsegenskaper.....	7
6.6 Injekteringsutrustning.....	7
6.7 Injekteringsutförande.....	7
6.8 Stoppkriterier.....	8
6.9 Kompletterande hål/omgång.....	8
6.10 Kontroll injekteringsutförande, typ och antal.....	8
6.11 Kontroll av erhållet resultat.....	8
7. Förslagstexter till MER.....	9
8. Fortsatt arbete.....	10
8.1 Andra kontraktsformer.....	10
8.2 Rådstexter.....	10
8.3 Reglering vid annan injekteringsmetodik.....	10
9. Referenser.....	11
10. Bilagor.....	12

## 1. Bakgrund

Inom ramen för BEFOs projekt för ”framtida injektering” har Scandinavian Tunneling AB fått i uppdrag att utreda frågor gällande kontrakt- och ersättningsformer för olika injekteringsförfaranden.

Delen ”Kontrakt- och ersättningsformer” ingår som deluppdrag i BEFOs ”Enhetlig modell för injektering” vilket syftar till att sammanställa dagens kunskap om injektering så att hela processen från förundersökning till utförande utförs samordnat och enhetligt. Målet med hela uppdraget är att nå en effektivare injekteringsprocess.

## 2. Syfte

Syftet med deluppdraget, ”Kontrakt och ersättningsformer”, är att förtydliga kontrakt- och ersättningsreglerna i framtida projekt. Förtydligandet ska underlätta kalkylerbarhet, utförande och ersättning för utfört arbete.

## 3. Inledning

Då ersättningsformerna för utfört injekteringsarbete är och har varit varierande från projekt till projekt så måste dessa bli tydligare och enklare att reglera för att skapa en större säkerhet med avseende på ekonomi och tid för både beställare och entreprenör.

Projekterad injekteringsmetodik är baserad på utförda förundersökningar, inläckagekrav och erfarenheter från tidigare närliggande projekt. Då projekterad injekteringsmetodik i stort sätt aldrig kan bli exakt så innebär detta att prognostiserat och verklig mängd injekteringsarbete kan komma att variera. Således kan injektering vara en av de aktiviteter där det är svårt att förutse arbetsinsats och mängd förbrukat material. På grund av detta så innebär det att kostnads- och tidsersättningar av injekteringsarbetet bör regleras i detalj.

## **4. Omfattning**

### **4.1 Kontrakt**

I arbetsgruppen för uppdraget ”Enhetlig modell för injektering” så diskuterades det olika möjligheter till reglering och kontraktformer av injekteringsarbetet. Den vanligaste kontraktformen för tunnelentreprenader är utförandekontrakt (ABO4).

Då delprojektet endast omfattar injekteringsarbeten (inte hela tunnelcykeln) så bedömdes det i arbetsgruppen att man i detta skede fokuserar på utförandekontrakt då arbetet med att se över andra kontrakt- och regleringsformer blir för omfattande.

### **4.2 Ersättningsregler**

I enlighet med punkt 4.1 så fokuserar ersättningsreglerna på utförandekontrakt. Dom ingående arbetsmomenten vad gäller projektering och utförande är gemensamt framtagna i arbetsgruppen. Underkategorierna för ersättning sammanställs under punkt 5.

## **5. Metod**

För att kategorisera svårighetsgraden av injekteringen så har den delas upp i tre genomförandesvårighetsgrader. Detta gäller framför allt i projekteringskedet.

Dessa kategorier är:

- Enkel injektering
- Normal injektering
- Komplicerad injektering

Därefter har ett antal underkategorier framarbetats för att strukturera upp projekterings- och injekteringsarbetet.

Dessa underkategorier är:



- Skärmgeometri
- Sondering
- Injekteringsmedel
- Injekteringsmaterial
- Injekteringsegenskaper
- Injekteringsutrustning
- Injekteringsutförande
- Stoppkriterier
- Kompletterande hål/omgång
- Kontroll injekteringsutförande, typ och antal
- Kontroll av erhållet resultat

Det är bedömt att genomförandesvårighetsgraden inte har någon påverkan på ersättningsreglerna. Då underkategorierna ingår i samtliga genomförandesvårighetsgraderna är det underkategorierna som ska regleras.

## 6. Resultat och slutsatser

Kapitlet redovisar förslag på ersättning och en beskrivning/förklaring av de underkategorier som hanterats under kapitel 5.

Förslag på hanteringar av nedanstående punkter ges i bilaga 1 ”Förslag på mängdförteckning”. Denna mängdförteckning ska läsas i samråd med de punkter som tas upp under punkt 7 ”Förslagstexter till MER”.

### 6.1 Skärmgeometri

Ersättning: Borrning, ersätts med kr/borrmeter  
Upptällning av utrustning ersätts med kr/styck

Förklaring: Borrmeter varierar beroende av skärmgeometri och skärmlängd.

Upptäll behövs då antalet injekteringssskärmar är svårt att bedöma eftersom detta är beroende av skärmlängder, ominjektering och om fler omgångar ska användas på samma stuf läge.

## 6.2 Sondering

Ersättning: Borrning, ersätts med kr/borrmeter  
Uppställning av utrustning ersätts med kr/styck

Förklaring: Borrmeter varierar beroende av skärmgeometri och skärmlängd.

Uppställ behövs då antalet sonderingar i projekten är svåra att bedöma.

## 6.3 Injekteringsmedel

Ersättning: Ersätts med kr/liter

Förklaring: Tydliga krav på egenskaper ger enkel ersättning per liter dock inkluderat eventuella tillsatsmedel. Avsikten med att ersätta i enheten liter istället för som tidigare kg är att pumpad mängd mäts i enheten liter och därigenom undviks den felkälla som en omräkning utgör. Dock kommer bruk av olika typer troligtvis få olika pris vilket kan innebära att projektör så väl som beställare och entreprenör får förändra sitt synsätt på denna mängdpost. Följden kommer också vara att högre krav på materialkännedom kommer att ställas på projektör och entreprenör.

Mängd injekteringsmedel varierar beroende av injekteringsmetodik, antal och längd av hål samt bergets beskaffenhet.

## 6.4 Injekteringsmaterial

Ersättning: Ersätts med kr/hål

Förklaring: Antal hål varierar beroende av skärmgeometri. Kostnadsdrivande per hål är manschetter, montage av dessa samt flytt av slangar.

## 6.5 Injekteringsegenskaper

Ersättning: Ersätts ej separat utan ingår i övriga á priser.

Förklaring: Injekteringsegenskaper beskrivs i tekniskbeskrivning och ersätts inte separat. Injekteringsmedel och skärmgeometrier ersätts under andra underkategorier.

## 6.6 Injekteringsutrustning

Ersättning: Ersätts ej separat skall ingå i övriga á priser.

Förklaring: Det är upp till entreprenör att fördela dessa kostnader på andra underkategorier. Eventuella krav på injekteringsutrustningen sker i den tekniska beskrivningen och kostnadsskillnader mellan olika utrustningar hanteras i övriga underkategorier.

## 6.7 Injekteringsutförande

Ersättning: Injekteringstid ersätts med kr/totalpumptid  
Uppställning av utrustning ersätts med kr/styck

Förklaring: Förbrukad tid varierar beroende av injekteringsmetodik, antal och längd av hål samt bergets beskaffenhet. Ersättningen föreslås baseras på total pump tid, det vill säga om en pump används i 20 timmar får entreprenören betalt för 20 timmar. Om fyra pumpar används i 5 timmar vardera så får entreprenören betalt för 20 timmar för ett arbete som utförts på 5 timmar. Detta ger entreprenören ett incitament att utföra arbetet så fort som möjligt. Regleringen med total pumptid blir enklare än att man ställer kapacitetskrav och krav på antal pumpar, något som ofta kan bli en ekonomisk diskussion då det ska bedömas om entreprenören använt rätt kapacitet och antal pumpar under injekteringstiden. Ersättningen grundas på totalt antal pumptimmar registrerade på injekteringslogg.

Uppställ behövs då antalet injekteringskärmar är svårt att bedöma då detta är beroende av skärmlängder, ominjektering och om fler omgångar ska användas på samma stuff läge.

## 6.8 Stoppkriterier

Ersättning: Ersätts ej separat skall ingå i övriga á priser.

Förklaring: Stoppkriterier ingår i pumptid

## 6.9 Kompletterande hål/omgång

Ersättning: Ersätts enligt samma princip som ordinarie injekteringsförfarande. (se punkt 6.1, 6.3, 6.4 och 6.7)

Förklaring: Det kan dock bli nödvändigt att specificera i mångdförteckningen mängden kompletterande hål/omgång för att entreprenören ska få en möjlighet att planera projektet i den omfattning som entreprenören finner lämpligt.

## 6.10 Kontroll injekteringsutförande, typ och antal

Ersättning: Förprovning ersätts med ett stycke

Fortlöpande provning ersätts som stycken provomgångar.

Förklaring: Godkänd förprovning ersätts som ett stycke per brukstyp oavsett antalet och typer av ingående prov. Antalet och typer av prov beskrivs i tekniskbeskrivning och i kontrollprogram

En provomgång av fortlöpande provning innefattar samtliga typer av prover per föreskriven mängd och brukstyp. Exempelvis om ett antal olika sorters prov skall utföras på bruk 1 (till exempel varje 500 liter) så ersätts detta som 1 st. Antalet och typer av prov beskrivs i tekniskbeskrivning och i kontrollprogram

## 6.11 Kontroll av erhållet resultat

Ersättning: Ersätts per styck.

Förklaring: Punkter behandlar generellt vattenförlustmätning eller likvärdigt provningsätt. Om entreprenör skall utföra t.ex.

vatten förlust/inläckage i hål eller inläckage över en tunnelsträcka. Beskrivningen av det arbete som ska utföras sker i den tekniska beskrivningen.

## 7. Förslagstexter till MER

Förslagstexter syftar till att underlätta för hur injekteringen ska ersättas under gällande projekt. Med klara regler för mät och ersättningsregler så bedöms det att regleringen av injekteringen kan underlättas genom hela processen det vill säga från projekteringskedet genom förfrågnings- och anbudsprocessen till projektskedet.

Nedan ges ett förslag på text till mät- och ersättningsregler:

*CDD.111*

*I ersättningen uppställning för borrhning ingår etablering och avveckling av borrhutrustning, arbete mäts i styck.*

*Borrhning av injekteringshål, sonderingshål och kontrollhål, arbete mäts och ersätts i meter borrhål.*

*I ersättningen uppställning för injektering vid stuff ingår etablering och avveckling av injekteringsutrustning, arbete mäts i styck.*

*Fast kostnad för injekteringshål, arbete mäts i styck.*

*I ersättning för pumptid ingår samtliga pumpars totaltid, arbete mäts i timmar.*

*Injekteringsmedel, arbete mäts och ersätts i liter. I injekteringsmedel ingår eventuella tillsatsmedel*

*Vattenförlustmätningar av helhål, arbete mäts och ersätts i styck.*

*Vattenförlustmätning i sektioner, arbete mäts och ersätts i styck.*

*Brinntid, arbete mäts och ersätts i timmar.*

## **8. Fortsatt arbete**

### **8.1 Andra kontraktsformer**

Då mät- och ersättningsregler som beskrivs under punkt 7 hanterar injekteringsprocessen vid en utförandeentreprenad så finns det möjligheter till att injekteringsprocessen kan mätas- och ersättas under andra kontraktsformer. I denna PM har dessa former inte behandlats men kan komma att behöva studeras närmare för att se om det kan vara en framtida ersättningsmetodik gällande injektering. En genomlysning av andra kontraktsformer och ersättningsformer med de för och nackdelar dessa har, skulle vara nödvändig för att på så vis få den bästa möjliga hanteringen av injekteringsprocessen. Denna genomlysning av kontraktsformer måste hanteras i samråd med de andra deluppgifterna i ”Enhetlig modell för injektering”.

### **8.2 Rådstexter**

Då en mängd poster ska hanteras i projekteringskedet och mängdas av den projektör som arbetar med förfrågningsunderlaget så kan det behövas rådstexter om hur en mängdning ska göras, främst gällande mängd injekteringsmedel och mängd pumptid. Denna rådstext skulle då kunna fungera som ett projekteringsunderlag och vara gällande för olika geologiska kriterier och vara likvärdig mellan olika projekt. Med hjälp av en sådan text så skulle både beställare och entreprenör kunna vara säkrare i sina bedömningar gällande den injekteringsmängd och pumptid som finns i det projekterade underlaget. Spekulationer av entreprenörer och felaktigheter av projekterat underlag skulle då kunna minskas. En framtida utredning gällande denna punkt skulle kunna innefatta en tillbaka blick på tidigare projekt och genomföra en analys på mängder och tider för injektering i olika geologiska förhållanden.

### **8.3 Reglering vid annan injekteringsmetodik**

Reglering vid annan metodik, exempelvis multihålsinjektering måste studeras närmare. Bedömningen idag är att de mängdposter under kapitel 7 endast delvis hanterar en injekteringsmetodik som multihålsinjektering.

## 9. Referenser

**Eriksson P-E., och Hane J. 2014.** Entreprenadupphandlingar.  
Uppdragsrapport 2014:4 åt konkurrensverket ISSN-nr 1652-8069

**AMA Anläggning 13, 2014.** Allmän material- och  
anläggningsbeskrivning för anläggningsbranschen. Svensk byggtjänst.

**MER Anläggning 13, 2014.** Mät- och ersättningsregler  
anläggningsarbeten med mall för mängdförteckning. Svensk  
byggtjänst.

**Möten med arbetsgruppen,** möten under tre tillfällen (11/11-2015  
Lynemöte, 15/12- 2015 i Göteborg, 3/2 – 2016 i Göteborg)

**Möten med referensgruppen,** möten under två tillfällen (14/12-  
2015, 21/1-2016 )

## 10. Bilagor

### Bilaga 1 "Förslag på mängdförteckning"

Kod	Text	R/OR	Enhet	Mängd	å- pris	Belopp
<b>CDD.111</b>	<b>Förinjektering med cementbaserat injekteringsmedel</b>					
	<i>Förundersökning och provning</i>					
	Förundersökning av injekteringsmedel enligt Kontrollprogram Berg	-	-	-	-	
	Vattenförlustmätningar 3 m sektioner vid kalibrering av MWD, antal sektioner	R	st			
	Kontroll av injekteringsborrhålsavvikelse, antal borrhål	R	st			
	Kontroll av injekteringsborrhålsavvikelse, antal meter	R	m			
	<b>Skärm typ A</b>					
	Fortlöpande provning enligt Kontrollprogram Berg, antal provningsomgångar	R	st			
	<i>Borning</i>					
	Uppställning för borring	R	st			
	Borning injekteringshål	R	m			
	<i>Injektering</i>					
	Uppställning för injektering	R	st			
	Fast kostnad per injekteringshål	R	st			
	Total pumptid på samtliga pumpar	R	tim			
	Injekteringsmedel, Blandning 1	R	liter			
	Injekteringsmedel, Blandning 2	R	liter			
	Injekteringsmedel, Blandning 3	R	liter			
	<b>Skärm typ B</b>					
	Fortlöpande provning enligt Kontrollprogram Berg, antal provningsomgångar	R	st			
	<i>Borning</i>					
	Uppställning för borring	R	st			
	Borning injekteringshål	R	m			
	<i>Injektering</i>					



	Uppställning för injektering	R	st			
	Fast kostnad per injekteringshål	R	st			
	Total pumptid på samtliga pumpar	R	tim			
	Injekteringsmedel, Blandning 1	R	liter			
	Injekteringsmedel, Blandning 2	R	liter			
	Injekteringsmedel, Blandning 3	R	liter			
	<b>Skärm typ C</b>					
	Fortlöpande provning enligt Kontrollprogram Berg, antal provningsomgångar	R	st			
	<i>Borring</i>					
	Uppställning för borring	R	st			
	Borring injekteringshål	R	m			
	Borring sonderingshål	R	m			
	Borring kontrollhål	R	m			
	<i>Mätningar i borrhål</i>					
	Vattenförlustmätningar helhål	R	st			
	Brinntid	R	tim			
	<i>Injektering</i>					
	Uppställning för injektering	R	st			
	Fast kostnad per injekteringshål	R	st			
	Total pumptid på samtliga pumpar	R	tim			
	Injekteringsmedel, Blandning 1	R	liter			
	Injekteringsmedel, Blandning 2	R	liter			
	Injekteringsmedel, Blandning 3	R	liter			

\*Olika skärmtypen beskrivs i den tekniska beskrivningen. I detta förslag på mängdförteckning så är skärmtyp A en enklare variant, skärmtyp B en vanlig injekteringskärm medan skärmtyp C innebär två skärmar direkt efter varandra.







Box 5501  
SE-114 85 Stockholm

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

ISSN 1104-1773