

**R-08-123**

## **Injekteringen av TASS-tunneln**

### **Delresultat t o m september 2008**

Johan Funehag, Chalmers tekniska högskola

December 2008

**Svensk Kärnbränslehantering AB**

Swedish Nuclear Fuel  
and Waste Management Co

Box 250, SE-101 24 Stockholm  
Phone +46 8 459 84 00



ISSN 1402-3091

SKB Rapport R-08-123

# **Injekteringen av TASS-tunneln**

## **Delresultat t o m september 2008**

Johan Funehag, Chalmers tekniska högskola

December 2008

This report concerns a study which was conducted for SKB. The conclusions and viewpoints presented in the report are those of the author and do not necessarily coincide with those of the client.

A pdf version of this document can be downloaded from [www.skb.se](http://www.skb.se).

## Förord

Fintättningsprojektet innebär att en kortare tunnel, TASS-tunneln med tvärsnitt ungefär lika en deponeringstunnel, byggs på 450 m djup i Äspölaboratoriet. Projektet är en del i den på SKB pågående utvecklingen av injekteringsteknik och huvudsyftet är att visa att det med använd designmetodik, material och teknik i övrigt är möjligt att uppnå de täthetsresultat som krävs under de förutsättningar och restriktioner som förutses för slutförvaret.

Projektledare är Martin Bergström, Tyréns, Göteborg, och delprojektledare för injektering är Johan Funehag, Chalmers tekniska högskola. Entreprenör är Bergteamet. Beställare av projektet är SKB:s enhet för slutförvarsteknik, genom undertecknad som är ansvarig för injektering.

Denna rapport utgör redovisning från ett pågående projekt och utgör en begärd delredovisning till Berglinjen. Berglinjen utgör i sin tur en del av underlaget till den säkerhetsredovisning som SKB gör inför ansökan att få uppföra ett slutförvar för använt kärnbränsle. Den innehåller de fältdata som erhållits i projektet fram till och med september 2008. De diskussioner och slutsatser som redovisas i föreliggande rapport bygger på denna delmängd av data. Slutrapporten från injekteringen av TASS-tunneln kommer att omfatta hela projektet. Projektet förbehåller sig rätten att utgående från den totala mängden data som projektet då producerat, dra andra slutsatser.

Stockholm i november 2008

*Ann Emmelin*

# Sammanfattning

SKB:s slutförvarsanläggning planeras att förläggas på ca 400–500 m djup och kraven på dess täthet mot inläckande vatten kommer att vara mycket höga. Anläggningen kommer att förläggas i relativt sprickfritt berg med begränsad vattenföring och tätning kommer att utföras med injektering. Med hänsyn till de mycket fina sprickor som behöver tätas och ett starkt uttryckt önskemål att använda ett injekteringsmaterial som genererar ett lakvatten med pH lägre än 11, genomför SKB studier av silica sol samt cementbaserat bruk med lågt pH i syfte att kunna använda dessa i tätningarbetena.

I fintättningsprojektet byggs en ca 100 m lång tunnel, TASS-tunneln, på 450 m djup i SKB:s berglaboratorium på Äspö. Denna rapport är en begärd delrapportering av fintättningsprojektets resultat till Berglinjerapporten. Rapporten innefattar uppnådda resultat t o m september 2008. Vid detta datum har injekteringsetapp 1, 2 samt halva etapp 3 utförts och berguttag för etapp 3 pågår. Tunneln har nått en längd av 55,5 m och resultat från inläckagemätningar i mätvall föreligger för injekteringsetapp 2 (sektion 10–34 m).

Både cementbaserat bruk med lågt pH och silica sol har använts i injekteringsskärmarna, men det cementbaserade bruket har använts i en relativt liten omfattning. Det cementbaserade bruket är utvecklat speciellt för slutförvarsanläggningen. Silica sol som använts har en partikelstorlek på ca 25 nm och accelerator i form av natriumklorid.

Kravet på inläckage i tunneln är 1 l/min och 60 m tunnel. Grundvattentycket har varit på 3,0–3,5 MPa.

De hittills erhållna resultaten från etapp 2 visar att injekteringsskärmar utanför kontur klarar det uppställda täthetskravet räknat på en 23 meter lång sträcka. De kontrollhål som borrats i skärmarna har använts för att successivt styra injekteringsinsatsen samt påvisa en tätningseffekt direkt i skärmarna. Kontrollhålen visar att en mycket tät bergmassa har uppnåtts.

Etapp 3 utgörs av injekteringsskärmar som hållits innanför tunnelkontur. Kontrollhålen indikerar en ökad täthet runt de injekterade borrhålen. Täthetsökningen för första omgångens injektering i den första skärmen i denna etapp var dock liten. Mätvärden från mätvall för dessa skärmar har ännu inte erhållits. Det finns således inte heller direkta mätvärden på inläckage för denna sträcka.

En styrbar geltid är nödvändig för att få en effektiv och kontrollerbar injektering. Använt blandningsförfarande har visat sig fungera och avsedda geltider har uppnåtts. De två cementbaserade bruksblandningar för sprickinjektering som använts i projektet har robusta och önskvärda egenskaper. Designmetodiken som kopplar borrhålsavstånd mot inträngningslängd har fungerat för skärmar utanför kontur; den innefattar också kontrollerbara parametrar såsom injekteringstid och tryck. Med skärmar innanför kontur måste designen modifieras. En modifiering av placeringen av injekteringshålen och en längre inträngningslängd krävs för att erhålla en tillräcklig utbredning av den tätade zonen utanför tunnelkonturen.

# Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>Bakgrund</b>	9
<b>2</b>	<b>Mål och projektbeskrivning</b>	11
2.1	Kravspecifikation/mål	11
2.2	Projektupplägg	11
2.3	Platsval och hydrogeologiska förutsättningar	12
2.4	Styrning av fältexperimenten	15
<b>3</b>	<b>Metod och genomförande</b>	17
3.1	Metodik för injekteringsdesign	17
3.1.1	Fördelning av spricktransmissivitet och hydraulisk sprickvidd	18
3.1.2	Skattning av inflöde och erforderlig reduktion av transmissiviteten	18
3.1.3	Val av inträngningslängd, tryck och tid, silica sol	20
3.1.4	Val av inträngningslängd, tryck och tid, cementbaserat bruk	21
3.1.5	Kontroll av risken för erosion	22
3.2	Kontrollerande åtgärder	23
3.2.1	Mätvallar	23
3.2.2	Kontrollhål	23
3.2.3	Droppkaraktärisering	24
3.3	Utrustning och material i projektet	25
3.3.1	Silica sol	25
3.3.2	Cementbaserat bruk med lågt pH	26
3.3.3	Utrustning	28
3.4	Design och utförande i fintättningsprojektet	29
3.4.1	Övergripande strategi samt stuffinjekteringshål	30
3.4.2	Basdesign	31
3.5	Design och genomförande av injekterings-skärmarna	33
3.5.1	Skärm 1	33
3.5.2	Skärm 2	35
3.5.3	Skärm 3	37
3.5.4	Skärm 4	38
3.5.5	Skärm 5	39
<b>4</b>	<b>Sammanställning av resultat</b>	41
4.1	Etapp 1	41
4.1.1	Resultat skärm 1	41
4.1.2	Sammanfattning resultat etapp 1: skärm 1	42
4.2	Etapp 2	42
4.2.1	Resultat skärm 2	42
4.2.2	Resultat skärm 3	43
4.2.3	Sammanfattning resultat mätt i borrhål etapp 2: skärm 2 och 3	44
4.2.4	Resultat mätvall, etapp 2: sektion 10–34 m	45
4.2.5	Resultat droppkaraktäriseringen, etapp 2: sektion 10–33	45
4.3	Etapp 3	46
4.3.1	Resultat skärm 4	46
4.3.2	Resultat skärm 5	47
4.3.3	Sammanfattning resultat mätt i borrhål etapp 3: skärm 4 och 5	48
<b>5</b>	<b>Diskussion och slutsatser</b>	49
5.1	Har målen uppnåtts?	49
5.2	Övriga observationer	50
5.2.1	Det cementbaserade bruket	50
5.2.2	Inflöden och injektering	50
5.2.3	Design och genomförande	50
5.2.4	Utrustning	51
5.3	Slutsatser	51
<b>6</b>	<b>Referenser</b>	53

<b>Bilagor</b>	(Bilagorna är numrerade utifrån det kapitel de först hänvisas i.) I bilagorna 4 används enheten bar för trycket men i rapporten används MPa.	
<b>Bilaga 3.1</b>	Utdrag ur ”Arbetsinstruktion injektering skärm 3”	55
<b>Bilaga 3.2</b>	Dripping characterisation results of section 10–33 m	59
<b>Bilaga 3.3</b>	Säkerhetsdatablad för silica sol (Meyco MP320)	64
<b>Bilaga 3.4</b>	Säkerhetsdatablad för 10 % NaCl-lösning (Meyco MP320 accelerator)	67
<b>Bilaga 3.5</b>	Säkerhetsdatablad för cementtypen UF16	70
<b>Bilaga 3.6</b>	Säkerhetsdatablad för cementtypen INJ30	74
<b>Bilaga 3.7</b>	Säkerhetsdatablad för silica fume (Groutaid)	78
<b>Bilaga 3.8</b>	Säkerhetsdatablad för superplasticeraren (Sika Melcrete)	82
<b>Bilaga 3.9</b>	TN Gradients at a grouted tunnel front	86
<b>Bilaga 4.1.a–i</b>	Resultat skärm 1	89
<b>Bilaga 4.2.a–m</b>	Resultat skärm 2	100
<b>Bilaga 4.3.a–l</b>	Resultat skärm 3	120
<b>Bilaga 4.4.a–l</b>	Resultat skärm 4	138
<b>Bilaga 4.5.a–l</b>	Resultat skärm 5	152
<b>Bilaga 5.1</b>	Bruksblandningar skärm 2, 3 och 4	166

# 1 Bakgrund

SKB:s slutförvarsanläggning planeras att förläggas på ca 400–500 m djup och kraven på dess täthet mot inläckande vatten kommer att vara mycket höga. Anläggningen kommer att förläggas i relativt sprickfritt berg med begränsad vattenföring och tätning kommer att utföras med injektering. I samband med ansökan för lokalisering och byggande av slutförvaret måste SKB kunna visa att man har kunskap att tätta slutförvaret. Det projekt som här delrapporteras, Fintättningsprojektet, syftar till att utveckla och verifiera att sådan kunskap finns.

Med hänsyn till de mycket fina sprickor som kommer att behöva tätas och ett mycket starkt uttryckt önskemål att använda ett injekteringsmedel som genererar ett lakvatten med pH lägre än 11, genomför SKB studier av silica sol samt cementbaserat bruk med lågt pH. pH högre än 11 är inte önskvärt då bentonit, som planeras användas i buffert och återfyllning, riskerar att få försämrade svällförmåga vid höga pH. Vanligt cementbaserat injekteringsbruk genererar ett lakvatten med pH 13–14. Genom tillsats av silica fume till cement har Posiva och SKB tagit fram ett cementbaserat injekteringsbruk som klarar önskemålet.

Silica sol är en kolloidal lösning av silicapartiklar i vatten och är ett relativt nytt material för injektering. När silica sol blandas med salt, t ex vanligt koksalt, startar en reaktion och kiselpartiklarna bildar kedjor; materialet ”gelar”, dvs härdar. Geltiden går att styra och är en central parameter för design och utförande av själva injekteringen.

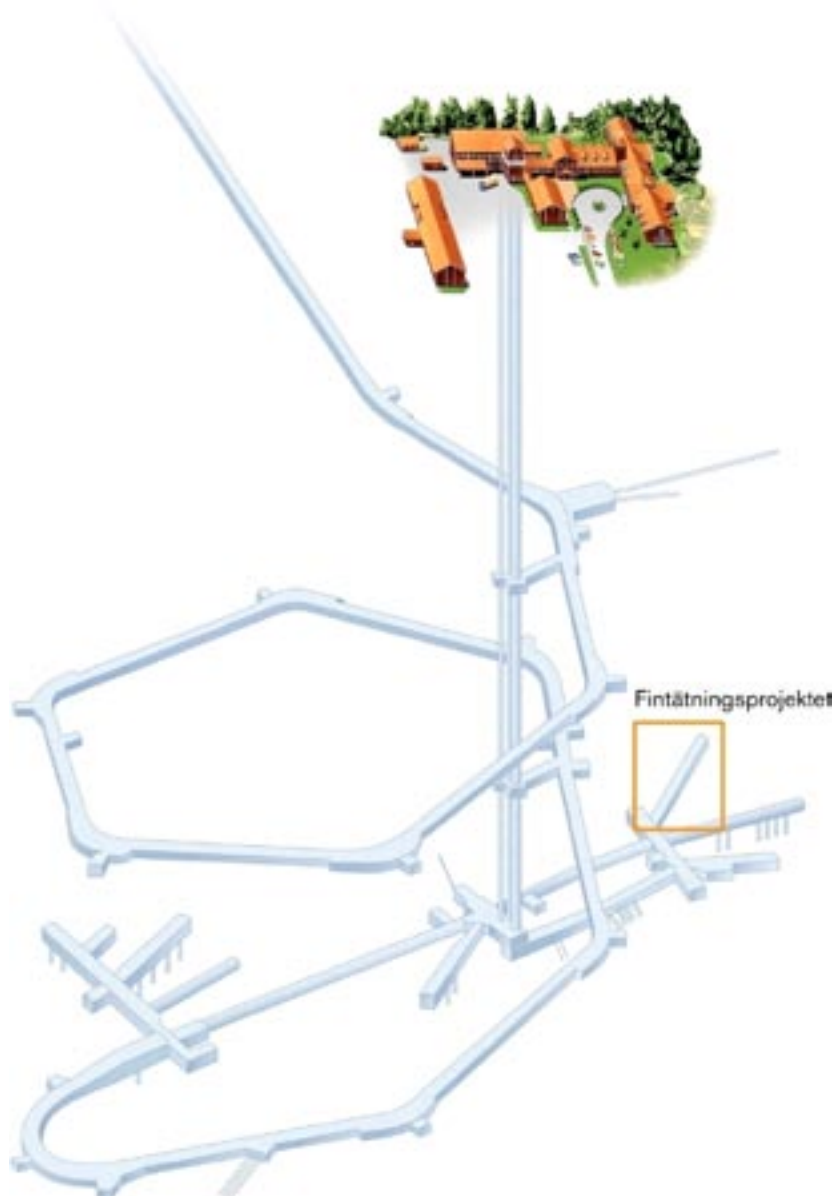
Silica sol är relativt nytt för injektering av sprickor i kristallint berg men har använts till exempel i USA och Japan för stabilisering av jordar samt som tätbarriärer runt deponianläggningar. Även i Europa används silica sol, främst till stabilisering av kraftigt vittrat berg och jord.

I Sverige har tidigare studier av silica sol som injekteringsmaterial i kristallint berg genomförts av SKB, Banverket och Vägverket. SKB:s tidigare studier har hittills innefattat såväl laboratoriestudier av de reologiska och mekaniska egenskaperna /Butron et al. 2007/, som mindre fältförsök i Äspö /Funehag och Fransson 2005/. Den teoretiska kunskapen om vilken reologi och vilka materialegenskaper som krävs i olika injekteringssituationer har också utvecklats. Vidare har begränsade produktionsinjekteringar med systematisk design och utvärderingar genomförts i flera järnvägs- och vägprojekt bland annat i Hallandsås och i Törnskogstunneln, /Funehag 2005/, /Funehag och Gustafson 2005/ och Nygårdstunneln /Butron et al. 2008/. Någon praktisk erfarenhet av användning av silica sol vid ett vattentryck motsvarande planerat förvarsdjup har dock hittills inte funnits.

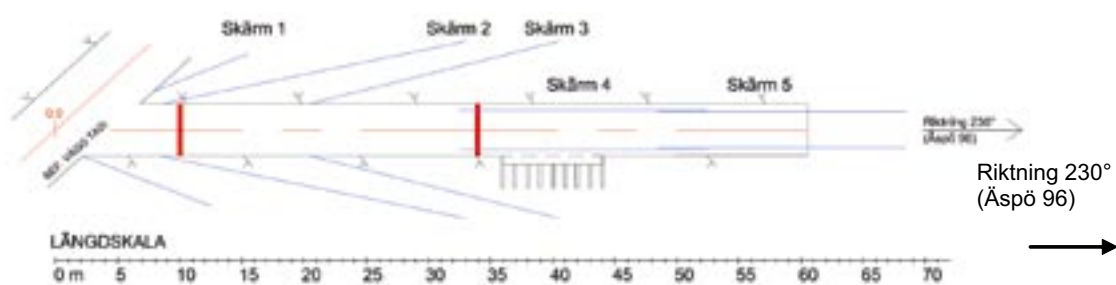
Det cementbaserade låg-pH bruk som använts i TASS-tunneln är huvudsakligen blandat enligt Posivas recept och har en sammansättning som ger ett lakvatten från cementbruket som håller ett pH lägre än 11, se /Sievänen et al. 2006/. Bruket består av cement, silica fume, vatten och superplasticerare.

Fintättningsprojektet initierades inom ramen för den teknikutveckling som genomförs av SKB:s enhet för anläggningsutformning. Den inleddes med en förstudie med representation från Äspölaboratoriet och forskarresurser från Chalmers. Förstudien resulterade i förslag på stegvis drivning av en knappt 100 m lång tunnel på 450-metersnivån i Äspö, uppdelad på fyra injekteringsetapper. Förundersökningar längs den preliminärt valda tunnelsträckningen utfördes våren 2007. En projektplan upprättades där det poängterades att etapperna kan komma att behöva anpassas mot bergförhållanden samt efter erhållna resultat från tidigare etapper. Entreprenadarbeten i fält på Äspö startade i november 2007. Denna rapport är en av SKB begärd delrapportering av projektets resultat till Berglinjerapporten. Samtidigt drivs tunneln vidare. Rapporten innefattar resultat t o m september 2008. Vid detta datum har injekteringsetapp 1–2 samt halva etapp 3 utförts där etapp 1 består av en injekteringsskärm utanför tunnelkontur, etapp 2 består av två skärmar utanför kontur och etapp 3 består av två skärmar innanför kontur. Totalt har således fem injekteringsskärmar utförts. Dessutom har tätning av ett läckande borrhål i etapp 2 skett. Tunneln har, per 1 oktober, 2008, nått en längd av 55 m och resultat från inläckagemätningar i mätvall föreligger för injekteringsetapp 2 (sektion 10–34 m). De fem injekteringsskärmarna kan beskrivas enligt nedan:

1. Den första injekterings-skärmen är en kort skärm från tunnelns påslagsläge med borrhål utanför kontur (etapp 1).
  2. De två efterföljande skärmarna är 20–25 m långa med borrhål utanför kontur (etapp 2).
  3. De två sista skärmarna är 20 m långa vardera med borrhål innanför kontur (etapp 3).
- Läget på tunneln visas i Figur 1-1. Skärmutformning och längdmätning visas i Figur 1-2.



*Figur 1-1. TASS-tunneln är belägen på 450 m nivån i SKB:s Äspöanläggning.*



*Figur 1-2. Planskiss över TASS-tunneln 1 oktober 2008. Längdmätning vid påslaget är 4,47 m.*



## 2 Mål och projektbeskrivning

Nedan redovisas projektets prioriterade mål och relaterade delmål. Dessa avser alla injektering. Projektet har också mål som relaterar till bergkontur och skadezon i det kvarstående berget; dessa behandlas inte i föreliggande rapport. Projektupplägget är, förutom av de prioriterade målen styrt av förutsättningarna på den valda platsen. I upplägget ingår en flexibilitet med anpassning av etapper och genomförande baserat på successivt erhållna data och ökad kunskap. Val av försöksplats utgick från att de hydrogeologiska förhållandena skulle vara lämpliga.

### 2.1 Kravspecifikation/mål

Projektet har följande prioriterade mål:

1. Bekräftelse av silica sols användbarhet vid det vattentryck som är aktuellt för deponeringstunnlar i slutförvaret.
2. Bekräftelse att det på slutförvarsdjup är möjligt att uppnå en täthet motsvarande ett maximalt inläckage på 1 l/min och 60 m tunnel med för slutförvaret tillämpbara bruk.

Projektet har följande delmål som relaterar till de prioriterade målen:

- I. Bekräfta modeller för inträngning och att ökad täthet erhålls.
- II. Visa att täthet kan erhållas med injekteringsskärmar utanför konturen.
- III. Visa att täthet kan erhållas med injekteringsskärmar innanför konturen.
- IV. Visa att efterinjektering ger ökad täthet.
- V. Visa att dropp kan tätas bort med efterinjektering.
- VI. Identifiera gränserna för silica sols användbarhet vad gäller hydrauliska sprickvidder vid det grundvattentryck som är aktuellt för deponeringstunnlar i slutförvaret.
- VII. Identifiera de särskilda krav på genomförande och utrustning som krävs för att silica sol ska vara användbart.
- VIII. Erhålla övriga erfarenheter, bl a om genomförande och handhavande, som krävs för ett kontrollerat och effektivt utförande.

### 2.2 Projektupplägg

För att uppnå de prioriterade målen beslöts att bygga en tunnel och utföra fältförsök i stegvisa etapper. Ett projekt sattes upp med ämnesansvarig för injektering på SKB som beställare och projektledare från Tyréns. Ett särskilt delprojekt ”Delprojekt Injektering” med delprojektledare från Chalmers fick ansvar för injektering och de injekteringsrelaterade målen. Övriga delprojektledare och stödfunktioner bemannades med resurser från Äspö.

Injekteringen planerades som fem etapper med följande indelning:

- Etapp 1 – Test av utrustning och metod, ett mindre fälttest och en injekteringsskärm.
- Etapp 2 – Injektering med traditionell skärmgeometri, borrhål utanför kontur, två skärmar.
- Etapp 3 – Injektering med borrhål innanför kontur, två skärmar.
- Etapp 4 – Efterinjektering på delsträckor som inte uppfyller täthetskravet.
- Etapp 5 – Planerad efterinjektering, där berget är förberett med en sk grovtätning.

De kontrollmetoder som används för att testa och verifiera att målen kan uppfyllas med injektering med silica sol och cementbaserat bruk är kontrollhål (ger indikation på ökad täthet), droppkaraktärisering samt mätvallar (ger direkt kontroll på om täthetskravet uppnåtts).

## 2.3 Platsval och hydrogeologiska förutsättningar

Utgående från projektmålen formulerades krav på försöksplats. Dessa relaterade till hydrogeologi, sprickfrekvens och tillgänglighet, men även till övrig verksamhet på Äspö.

De potentiella försöksplatserna utvärderades enligt följande med punkt 1 som starkaste krav:

- 1) Längden på försöksplatsen bör vara minst 100 m. Ingen av de vattenförande sprickzonerna (NE-1, EW-1) på Äspölaboratoriet skall finnas inom 150 m från påslaget av tunneln.
- 2) Bergmassan skall ha sprickor enligt rangordningen:
  - a) Sprickorna skall gå så vinkelrätt som möjligt mot den planerade tunneln, 70–90 grader.
  - b) Försöksplatsen skall ha i medeltal fler än två sprickor per meter.
  - c) Sprickorna skall ha varierande hydraulisk sprickvidd men vara i det lägre intervallet från 10–300 µm.
- 3) 25 meter in i berget bör trycket uppgå till minst 3,5 MPa.

I förstudien inventerades olika platser där de hydrogeologiska förutsättningarna beskrevs utifrån befintliga data. En preliminär tunnelsträckning valdes och en inledande fältetapp utfördes i syfte att kontrollera om platskraven uppfylldes, men även för att ge indata till basdesignen av injekteringen.

Den preliminärt valda platsen låg på 450 m djup med påslag från den befintliga TASI-tunneln. Tunnelsträckningen för den nya tunneln planerades i riktning 230°, för att ligga i det närmaste vinkelrätt mot den största huvudspänningsriktningen så att också de största sprickorna skulle ligga vinkelrätt mot drivningsriktningen. Den inledande fältetappen omfattade tre 100 m långa kärnborrhål, KI0010B01, KI0014B01 och KI0016B01.

Den preliminärt valda platsen bedömdes uppfylla kraven. Tunneln gavs namnet TASS. En förutsättning för arbetet var att tvärsektionen skulle vara så lik referensutformningen för en deponeringstunnel som möjligt. Längdmätningen för tunneln utgår från centrumlinjen på TASI-tunneln.

Undersökningarna som gjordes i borrhålen var följande:

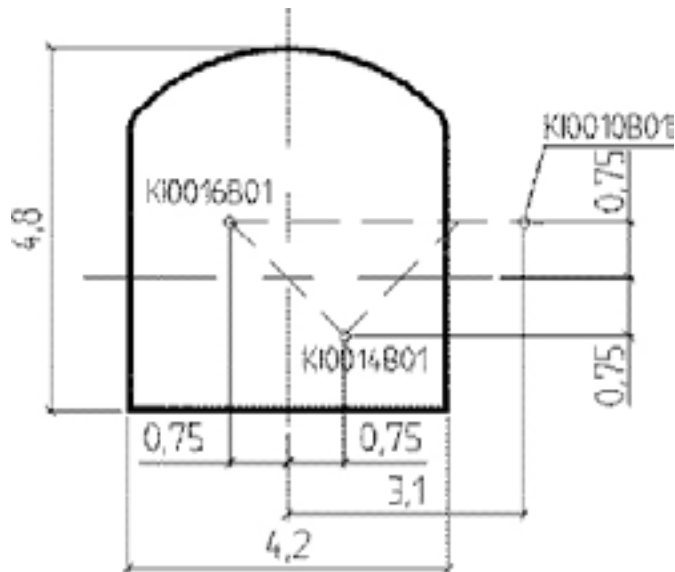
- **Naturliga inflödestester.** Flödet mättes sektionsvis då flödet stabiliserats. Två utrustningar för inflödesmätningar användes: Posiva flow log (PFL) och Äspös UHT-1 (Underground Hydraulic Test system). PFL mäter inflödet för en testsektion på 0,1 meter medan UHT-utrustningen mäter inflödet för en testsektion på 3,0 meter. Mätsektionen avgränsas med två manschetter.
- **Naturligt grundvattentryck** mättes vid varje kärnupptag.
- **Naturligt inflöde** mättes som helhålmätningar med successivt ökad hållängd – mätsektion. Dessa mätningar gjordes genom manschettering av borrhålet.
- **BIPS-undersökning** (Borehole Image Processing System) av hela kärnborrhålet. BIPS-bilderna användes till att orientera kärnan samt okulärt bedöma större krosszoner.

Med fokus på sprickor utfördes en översiktlig kärnkartering under pågående borrhning.

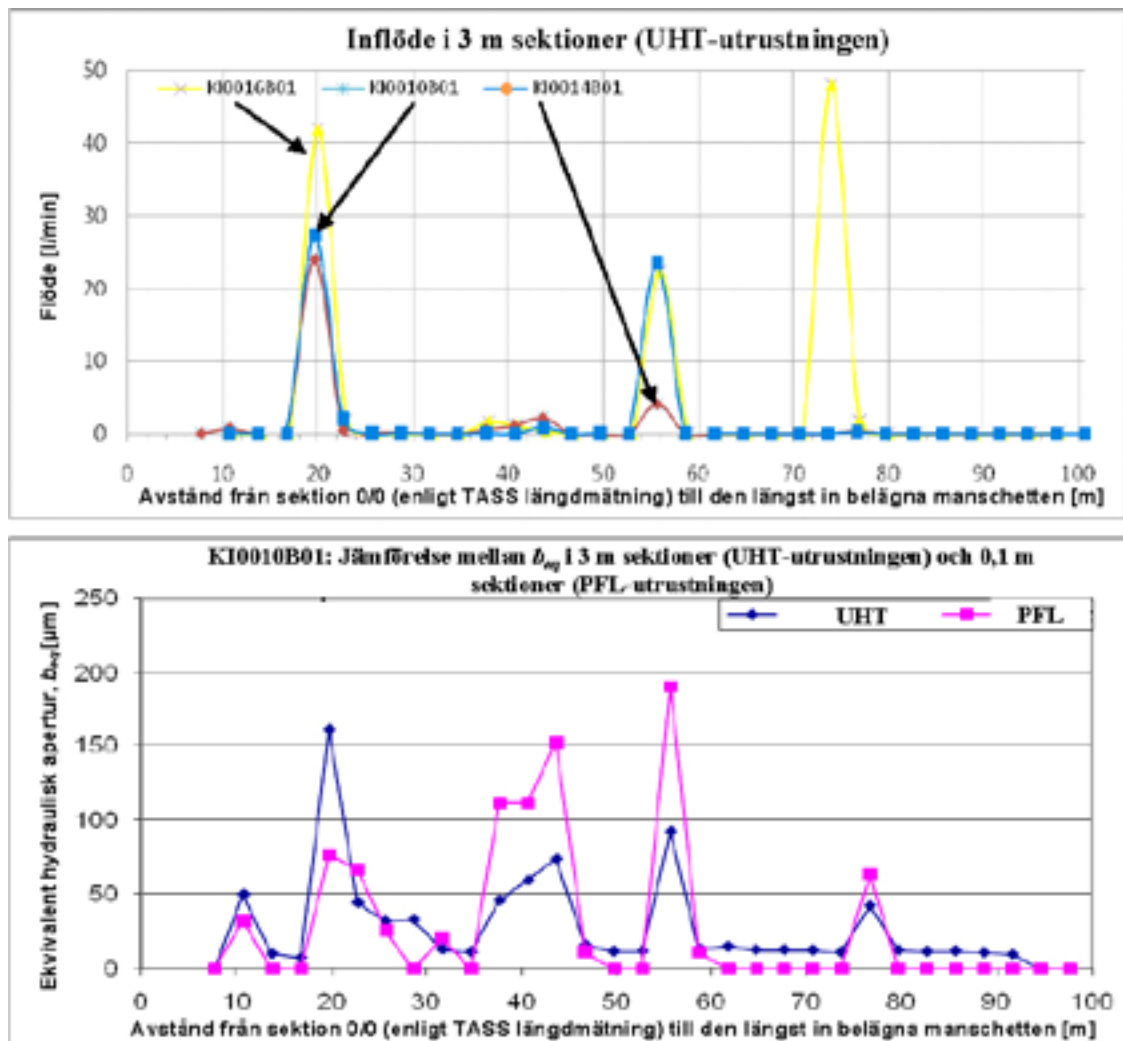
Undersökningen gav kontinuerlig information om krav 2b, ovan, dvs att försöksplatsen i genomsnitt ska ha fler än två sprickor per meter. Läget för kärnborrhålen i förhållande till TASS-tunneln redovisas i Figur 2-1.

Efter borrhning av kärnborrhålen mättes inflödet. De uppmätta sektionsflödena i tre meters sektioner med UHT-utrustningen längs kärnborrhålen samt resultatet av den Posiva flow log mätning som utfördes i 0,1 meters sektioner i kärnborrhål KI0010B01 presenteras i Figur 2-2.

Figur 2-2 påvisar god överensstämmelse i flöde mätt med UHT-utrustningen mellan samtliga tre kärnborrhål förutom vid ca 75 m. KI0016B01 uppvisar stort flöde med UHT-utrustningen. KI0010B01 uppvisar enbart en liten ökning med både UHT-utrustningen och PFL i denna sektion. KI0014B01 uppvisar ingen ökning med mätning med UHT-utrustningen. Att poängtera är att PFL enbart utfördes i borrhål KI0010B01. Generellt är de utvärderade hydrauliska sprickvidderna relativt små, inflödena är mellan 0–50 l/min och de hydrauliska sprickvidderna är ca 20–200 µm. Totalflödet för de tre 100 meter långa kärnborrhålen visas i Tabell 2-1.



Figur 2-1. Kärnbrorrhålens läge sett i förhållande till TASS-tunneln.



Figur 2-2. Inflöden mätt i tre meters sektioner med UHT-utrustningen. Undre diagrammet: jämförelse mellan Posiva flow logmätning och mätningarna i tre meters sektioner med UHT-utrustningen för kärnbrorrhål K10010B01. Längdangivelsen är från sektion 0/0 till den längst in belägna manschetten. Den hydrauliska sprickvidden,  $b_{eq}$ , är utvärderad från kubiska lagen, enligt kapitel 3.1.1.

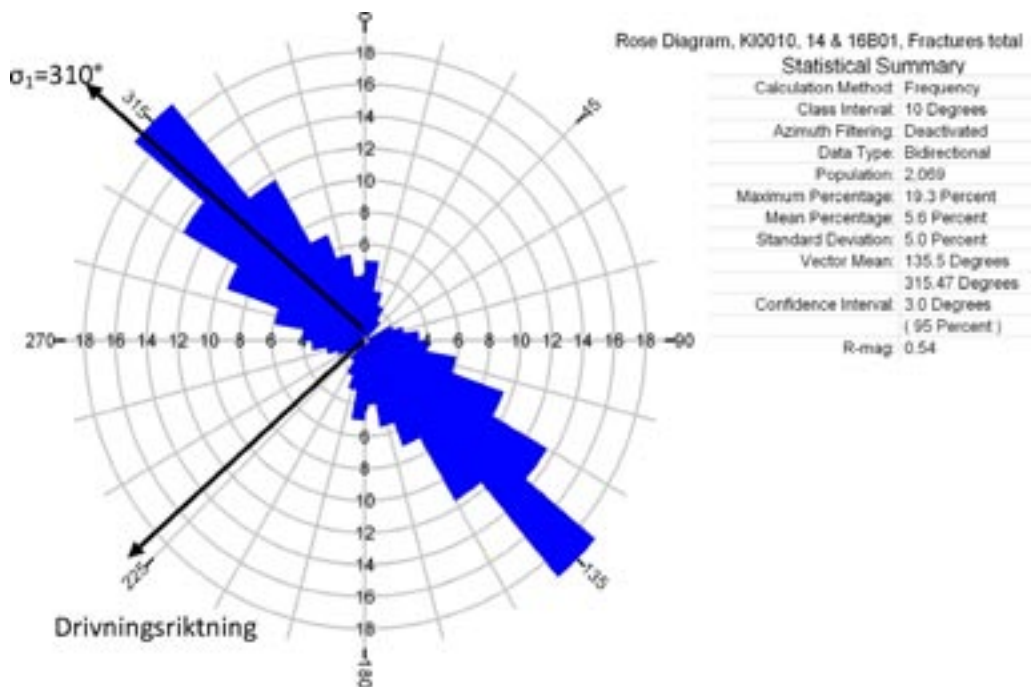
**Tabell 2-1. Helhålsinflödet (ej stabiliserade värden) samt läge för största ökning av flödet mätt under borring.**

Borrhål	Läge för största ökning av flödet i tunnelns längdmätning, (sektion/flöde)	Totalt helhåls-inflöde mätt direkt efter borring
KI0010B01	Ca 21 m\30 l/min	45 l/min
KI0014B01	Ca 20 m\12 l/min	78 l/min
KI0016B01	Ca 21 m\35 l/min	95 l/min

Sektion ca 20 m är den sektion som ger den största ökningen av flödet för samtliga borrhål. Detta stämmer mycket bra överens med UHT- och PFL-mätningarna i Figur 2-2.

Borrhålen hade en inbördes påverkan på både tryck och flöde. Detta orsakades troligtvis av en större struktur som utgjorde en hydraulisk kontakt. Vid registrering av helhålsinflödet inväntades ej stationära flöden, eftersom dessa enbart användes som en bekräftelse på att vattenförande strukturer med tillräckligt flöde fanns i det planerade läget för tunneln.

Karteringen av de tre långa borkärnorna visade att den dominerande bergarten är Äspödiorit. Två av kärnorna innehåller även mindre mängd av finkornig diorit/gabbro. Pegmatit- och finkorniga granitgångar finns i alla tre kärnor. Vissa mineral är oxiderade och epidot är rikligt förekommande. Vissa underordnade delar är vittrade. Huvudsprickriktningen är  $136^{\circ}$ – $316^{\circ}$ , det vill säga nästan vinkelrätt mot tunnelns drivningsriktning på  $230^{\circ}$ . Sprickplanen har mestadels brant stupning men det finns även komponenter med flacka plan, se Figur 2-3.



**Figur 2-3.** Sprickros över samtliga sprickor karterade från kärnborrhålen. Den största huvudspänningen,  $\sigma_1$ , går i riktningen  $310^{\circ}$ . Tunneln drivs i riktningen  $230^{\circ}$ .

## 2.4 Styrning av fältexperimenten

En ursprunglig prognos och basdesign upprättades från förundersökningen. Resultaten från den inledande injekterings-skärmen gav input till nästa omgång injektering och till nästa injekterings-skärm. Nedan beskrivs detta utförligare.

PM som beskriver design och utförande av varje enskild skärm upprättas löpande av delprojektledare för injektering. Referensgruppen för injektering är granskare av dessa dokument och projektledaren godkänner dokumentet. SKB:s arbetsledare tar emot det godkända PM:et och skriver en arbetsberedning för injekteringen där varje ingående moment beskrivs i detalj. Arbetsbeskrivningen godkänns av delprojektledare för injektering. Arbetsledaren har genomgång med entreprenören om utförandet på uppföljnings- och arbetsmöten. Arbetsledaren är med i tunneln under hela injekteringsprocessen samt är den person som har mest kunskap om injekteringsutrustningen. Under arbetet skrivs protokoll som direkt efter hydrauliska tester i borrhålsomgången skickas till delprojektledaren som kontrollerar data och skriver in hur injekteringen av nästa injekteringsomgång skall utföras. Vid regelbundna möten samlas referensgruppen och delprojektledaren för en muntlig redovisning om hur injekteringen har utförts samt för att belysa hur kommande injektering bör utföras.

Den styrande dokumentationen för detta arbetssätt är projektplan, delprojektplan, aktivitetsplan, PM, arbetsinstruktion för injekterings-skärm samt protokoll från injekteringen.

I en aktivitetsplan ingår en detaljerad beskrivning av ingående moment. I delprojekt injektering finns en aktivitetsplan för själva utförandet av injekteringen, en aktivitetsplan för droppkaraktiseringen samt en för mätning och kontroll av mätvallarna. I en arbetsinstruktion för en injekterings-skärm för detta projekt, har en mer detaljerad arbetscykel beskrivits; hela 38 steg för exempelvis skärm 3 (Bilaga 3.1).

### 3 Metod och genomförande

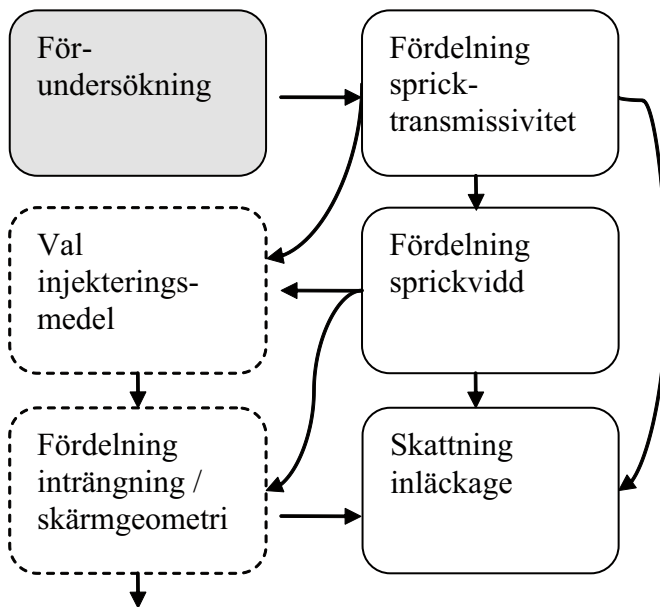
Metodikerna för injekteringsdesign i detta projekt och de åtgärder som genomförs för att kontrollera genomförande och resultat beskrivs. Vidare beskrivs den utrustning som använts i projektet samt design och genomförandet för varje injekteringskärm.

#### 3.1 Metodik för injekteringsdesign

Förundersökningarna från kärnborrhål ger data i form av sprickfrekvens längs kärnborrhålet samt sektionvis inflöde. Dessa data bearbetas och analyseras statistiskt med hjälp av en sk-paretofördelning. En paretofördelning förutsätter, vilket har visat sig stämma bra för svenska kristallina bergarter, att det finns ett fåtal sprickor med stor sprickvidd och många sprickor med liten sprickvidd. Utifrån fördelningen kontrolleras vilken den minsta spricka är som måste tätas, för att klara täthetskravet. Baserat på hydraulisk sprickvidd görs val av brukstyp. Principerna för hur en paretofördelning tas fram samt kopplingen till vilka sprickvidder som måste tätas för att klara täthetskravet beskrivs i /Gustafson och Fransson 2005/. Metodiken illustreras i Figur 3-1 och är beskriven i /Fransson 2008/.

Den beräknade inträngningslängden av injekteringsmedlet i sprickorna som korsar injekteringsborrhålen är av central betydelse för metodiken. Inträngningslängden beror av

- sprickornas hydrauliska sprickvidd,
- injekteringstrycket och injekteringstiden,
- bruksegenskaperna; viskositeten samt för cement skjuvgränsen och för silica sol geltiden.



Figur 3-1. Metodik för design med data från kärnborrhål /Fransson 2008/.

### 3.1.1 Fördelning av spricktransmissivitet och hydraulisk sprickvidd

Sprickorna beskrivs genom den hydrauliska sprickvidden. Beräkning av den hydrauliska sprickvidden görs utifrån sprickkarteringen där antal sprickor per meter, inflödet mätt i sektioner längs borrhålen samt grundvattenstrycket utnyttjas.

Sprickorna som korsar borrhålen antas vara individuella sprickplan där de hydrauliska egenskaperna är statistiskt oberoende och därmed antas flödet vara två-dimensionellt. Vidare antas att den totala transmissiviteten är lika med summan av de enskilda sprickornas transmissivitet /Fransson 2002/. Transmissiviteten för en enskild spricka,  $T$ , bestäms av den specifika kapaciteten,  $Q/dh$  (flödet dividerat med trycket i borrhålet) medan den hydrauliska sprickvidden,  $b$ , bestäms av "cubic law" där transmissiviteten är proportionell mot den hydrauliska sprickvidden i kubik, se /de Marsily 1986/.

Paretofördelningen ger en fördelning av spricktransmissiviteter längs hela kärnborrhålet. Indata är sektionssvisa inflöden eller vattenförluster, vilka omräknas till sektionssvisa transmissiviteter genom nedanstående ekvation,

$$P(T < T_n) = 1 - \frac{(T_{\max}/T_n)^k}{N+1} \quad (\text{Eq 3-1})$$

där  $P(T < T_n)$  är sannolikheten för att transmissiviteten,  $T$ , är mindre än  $T_n$ .  $n$  är antal sektionssvisa transmissiviteter sorterade efter storlek och  $k$  är en konstant för paretofördelningen.  $N$  är det totala antalet sprickor för kärnborrhålet och  $T_{\max}$  är transmissiviteten för den största sprickan.

Konstanten,  $k$ , tas fram genom kombinatorik /Fransson 2002/. Sannolikheten att transmissiviteten för en enskild spricka i en sektion är mindre än sektionstransmissiviteten beräknas. Värdet som är framräknat plottas i ett diagram med  $\log(1-P(T < T_n))$  mot  $\log(T_n)$ . Konstanten,  $k$ , blir således lutningen av den linje som passas mot punkterna i diagrammet. När fördelningen av transmissiviteterna är framtagen kan de hydrauliska sprickvidderna beräknas genom "cubic law".

### 3.1.2 Skattning av inflöde och erforderlig reduktion av transmissiviteten

Resultatet från paretofördelningen kopplas till den minsta hydrauliska sprickvidd som behöver tätas för att klara täthetskravet. Varje individuell spricka ger ett bidrag till det totala inläckaget. Genom att dra ifrån varje sprickas bidrag till inläckaget erhålls en minsta sprickvidd som behöver tätas. För den minsta sprickvidden görs beräkningar av erforderlig inträngningslängd för injekteringsmedlet.

Inläckage till en tunnel eller borrhål beräknas enligt ekvationen nedan /Alberts och Gustafson 1983/.

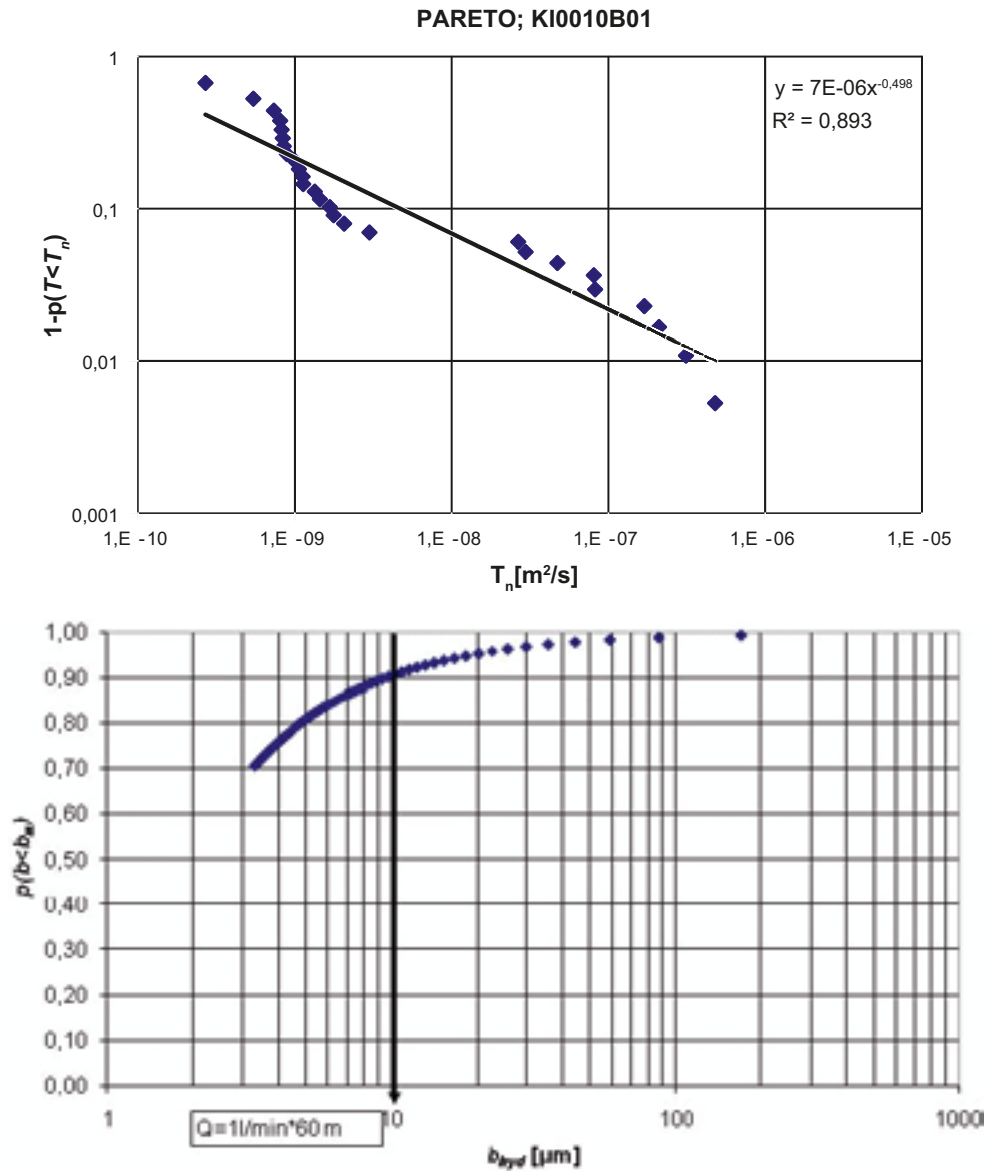
$$q_{\text{grou}} = \frac{2\pi T_{\text{tot}} H / L}{\ln(2H / r_t) + (T_{\text{tot}} / T_{\text{grou}} - 1) \cdot \ln(1 + t / r_t) + \xi} \quad (\text{Eq 3-2})$$

där  $T_{\text{tot}}$  är transmissiviteten för det otätade berget och  $T_{\text{grou}}$  är transmissiviteten för den tätade zonen. Inläckaget till tunneln efter injektering är  $q_{\text{grou}}$ . Vidare är  $H$  djupet till tunneln från grundvattenytan,  $L$  är längden av tunneln,  $r_t$  är radien på tunneln. Tjockleken på den tätade zonen,  $t$ , erhålls från skärmstick och inträngningslängd. Skinfaktorn,  $\xi$ , är ett numeriskt värde baserat på tidigare erfarenheter, här ansatt till värdet 5, men kan ligga mellan 0 och 10 för kristallint berg /Rhén et al. 1997/. Skinfaktorn kan ses som en korrigeringsfaktor som beror av att inflödet till ett borrhål inte alltid är idealt. Flödet påverkas exempelvis av att luft diffunderar in i sprickorna samt att borring eller utsprängning ändrar spänningarna i berget runt tunneln vilket förändrar flödesbilden.

I Figur 3-2 visas paretofördelning av transmissiviteten och den beräknade hydrauliska sprickvidden för kärnborrhål KI0010B01. I figuren visas också kopplingen mellan minsta sprickvidd som behöver tätas och beräknat inläckage.

Utifrån Figur 3-2 visas att samtliga sprickvidder ner till ca 10  $\mu\text{m}$  måste tätas för att klara kravet på inläckaget på 1 l/min och 60 m tunnel. Den dimensionerande minsta sprickvidden är härmed bestämd.





**Figur 3-2.** Överst: Paretofördelning för transmissiviteterna för kärnbrorrhålet KI0010B01. Nederst: beräknade hydrauliska sprickvidder baserat på transmissiviteterna i paretofördelningen som visar vilken minsta sprickvidd som behöver tätas för att klara kravet på 1 l/min och 60 m tunnel (heldragen linje).  $N = 195$ ,  $T_{max} = 3,8 \times 10^{-6} m^2/s$ .



### 3.1.3 Val av inträngningslängd, tryck och tid, silica sol

Injekteringstryck samt injekterings- och geltid på injekteringsmedlet måste anpassas så att en tillräcklig inträngningslängd erhålls i den dimensionerande minsta sprickan.

Bestämningen bygger på det teoretiska förhållandet mellan inträngningslängd och injekteringstid. Det finns en teoretisk maximal inträngningslängd för en given sprickvidd, reologi, tryck och flödesdimension. Förhållandet innebär att kvoten mellan faktisk inträngningslängd och maximal inträngning, dvs den relativa inträngningen,  $I_D$ , är densamma i alla sprickor som injekteras från ett borrhål. Med hjälp av förhållandet kan man på basis av erforderlig inträngningslängd bestämma erforderlig pumpetid. Metoden har utvecklats av /Gustafson och Stille 2005/ och vidareutvecklats för silica sol av /Gustafson och Funehag 2008ab/. I projektet har som designparameter två-dimensionellt flöde förutsatts.

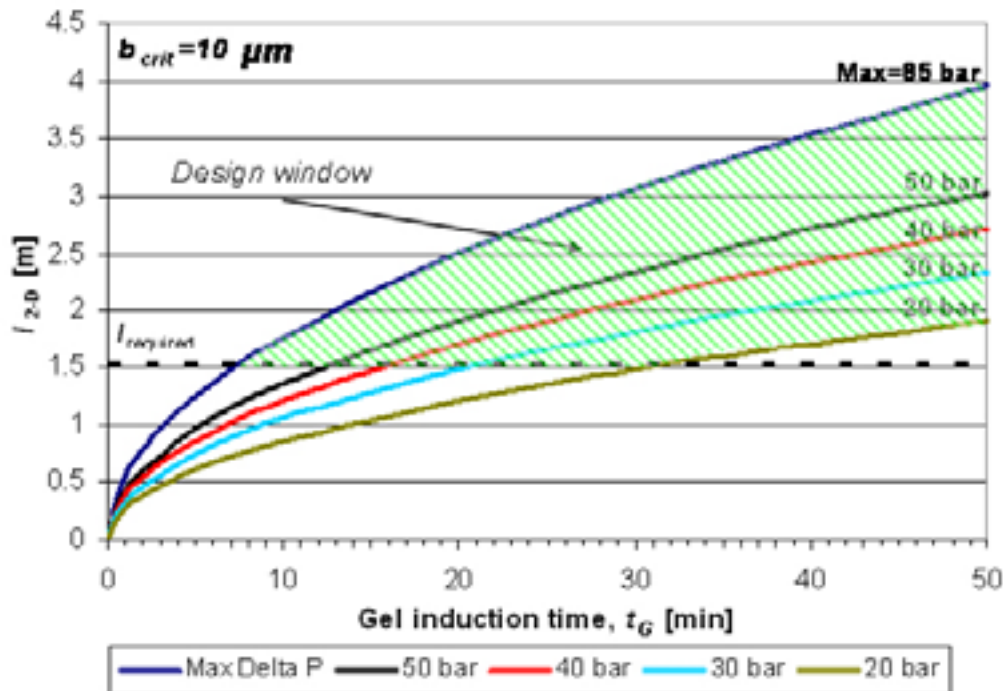
Den maximala inträngningslängden för 2-dimensionellt flöde med silica sol,  $I_{max, 2-D}$ , beskrivs av /Gustafson och Funehag 2008ab/

$$I_{max, 2-D} = 0.45 \cdot b \cdot \sqrt{\frac{\Delta p t_G}{6\mu_0}} \quad (\text{Eq 3-3})$$

där  $b$  är den hydrauliska sprickvidden,  $\Delta p$  är pålagt övertryck,  $t_G$  är gelinduktionstiden och  $\mu_0$  är den initiala viskositeten hos silica sol.

Gelinduktionstiden är den tid det tar för den initiala viskositeten att fördubblas. Efter gelinduktionstiden är viskositetstillväxten snabb, och inträngningsförmågan minskar drastiskt. En tumregel är att gelinduktionstiden är 1/3 av geltiden, /Funehag 2007/. Gelinduktionstiden skall inte förväxlas med geltiden.

Inträngningslängden är således ett resultat av designen och det finns en mängd olika kombinationer som kan ge en tillräcklig inträngningslängd. I Figur 3-3, kallat ett designfönster, ses hur inträngningslängden för silica sol varierar med injekteringstryck och gelinduktionstid för en hydraulisk sprickvidd om 10  $\mu\text{m}$ . Den erforderliga inträngningslängden (streckad linje i Figur 3-3) bestäms utifrån borrhålens inbördes avstånd och behovet att få en viss utbredning på den tätade zonen.



**Figur 3-3.** Exempel på designfönster som ger inträngningslängden (y-axeln) beroende på valet av injekteringstryck och bruksegenskap (i detta fall gelinduktionstiden) för silica sol för en dimensionerande hydraulisk sprickvidd på 10  $\mu\text{m}$ .

### 3.1.4 Val av inträngningslängd, tryck och tid, cementbaserat bruk

Cementbaserat bruks inträngningsförmåga i fina sprickor begränsas av partikelstorleken. I projektet har begränsningen mindre betydelse då silica sol används i de finare sprickorna. När det fastställts att cementbruket kan tränga in i den aktuella sprickvidden kan inträngningslängden beräknas.

För cementbruket är inträngningslängden beroende av övertrycket, sprickvidden och det cementbase-  
rade brukets skjuvgräns,  $\tau_0$ ,

$$I_{\max, \text{cement}} = \frac{\Delta p \cdot b}{2\tau_0} \quad (\text{Eq 3-4})$$

där  $I_{\max, \text{cement}}$  är den maximala inträngningslängd som kan nås utan begränsning av injekteringstiden. Att nå full inträngningslängd med ovanstående ekvation är möjligt teoretiskt men injekteringstiden blir mycket lång. I realiteten pumpar man en viss tid för att nå en önskvärd inträngningslängd. Inträngningslängd kan styras med injekteringstiden på samma sätt som för silica sol, se /Gustafson och Stille 2005/. Ekvationerna där även tiden tas hänsyn till är något mer komplicerade då även viskositeten på bruket,  $\mu_g$ , ingår;

$$t_0 = \frac{6\mu_g \cdot \Delta p}{\tau_0^2} \quad (\text{Eq 3-5})$$

där  $t_0$  är en karakteristisk tid som relateras till viskositeten på bruket,  $\mu_g$ , och skjuvgränsen för bruket,  $\tau_0$ , och pålagt tryck,  $\Delta p$ . Vi får således ett värde på den karakteristiska tiden med enheten sekunder. För att kunna beräkna inträngningslängden av bruket omvandlas tiden till en dimensionslös tid,  $t_D$  genom att relatera den faktiska injekteringstiden,  $t$  till den ovan beskrivna karakteristiska tiden.

$$t_D = \frac{t}{t_0}, \quad (\text{Eq 3-6})$$

Genom att sätta in, till att börja med, en önskvärd injekteringstid, säg 60 minuter (3 600 sekunder) så fås ett värde på den dimensionslösa tiden som används i nedanstående ekvation för att få ut beräkningsfaktorn,  $\theta_{2D}$ . Denna beaktar att inträngningen är tvådimensionell.

$$\theta_{2D} = \frac{t_D}{2(3 + t_D)}, \quad (\text{Eq 3-7})$$

Beräkningsfaktorn,  $\theta_{2D}$ , används sedan för att beräkna den radiella (2D) dimensionslösa inträngningslängden,  $I_{D,2D}$ .

$$I_{D,2D} = \sqrt{\theta_{2D}^2 + 4\theta_{2D}} - \theta_{2D} \quad (\text{Eq 3-8})$$

Den dimensionslösa inträngningslängden får ett värde mellan 0 och 1 som sedan används för att justera den maximala inträngningslängden,  $I_{\max, \text{cement}}$  i ekvation (4). Då erhålls den verkliga radiella inträngningslängden,  $I_{2D}$  med enheten meter.

$$I_{2D} = I_{D,2D} \times I_{\max, \text{cement}} \quad (\text{Eq 3-9})$$

Innebörden av detta är att när hänsyn tas till injekteringstiden och viskositeten blir inträngningslängden alltid kortare än den maximala beräknade inträngningslängden.

### 3.1.5 Kontroll av risken för erosion

Vid djupt belägna tunnlar finns risk för att injekteringsmedlet eroderas på grund av den höga gradient som uppstår mot tunneln. Erosion i vid bemärkelse innefattar flera fysikaliska processer vilka ger en mekanisk degraderande påverkan på injekteringsmedlet. /Axelsson 2009/ beskriver dessa som erosion, bakåtflyde och ”fingering”. Erosion uppstår då ett flödande vatten tar bort och för med sig (eroderar) injekteringsmedel, och enkelt uttryckt vattnet ”äter” på bruket. Bakåtflyde är när injekteringsmedlet trycks tillbaka genom sprickan och/eller borrhålet. Fingering är när vattenkanaler skapas i bruksfronten på ett bruk i rörelse.

Villkor som enligt /Axelsson 2009/ bör vara uppfyllda för att förhindra ovanstående processer har valts att följas i projektet. Villkoren är följande: 1) För att förhindra erosion måste skjuvhållfastheten på bruket vid avslut av injekteringen vara stor nog att motstå vattnets eroderande skjuvspänning. 2) För att förhindra bakåtflyde ska inträngningslängden vara tillräckligt lång för att mobilisera friktionskrafter mot sprickytan så att den pådrivande kraften från vattentrycket balanseras. Alltså  $I_{dim, 2-D}$ , ska vara större än kvoten mellan grundvattentrycket och injekteringsövertrycket,  $p_w/\Delta p$ . 3) Fingering motverkas så länge det är injekteringsbruket som trycker undan vattnet och inte tvärtom. Vidare motverkas risken för fingering då viskositeten på bruket är högre än vattnets viskositet. Fingering motverkas genom att det valda injekteringsstrycket påläggs direkt och resolut. Sammantaget ställer ovanstående villkor krav på både utförandet av injekteringen och brukets egenskaper.

I Tabell 3-1 visas hur en cementinjektering kan designas för olika injekteringsövertryck och ett rådande grundvattentryck på 2,6, 3,0 respektive 3,5 MPa. Beräkningen är gjord för ett bruk med en skjuvgräns på 15 Pa, en viskositet på 25 mPas, en injekteringstid på 60 minuter samt en hydraulisk sprickvidd på 150  $\mu\text{m}$ .

Den beräknade dimensionslösa inträngningslängden i 2D redovisas i den färgade raden i Tabell 3-1. Värdena ska jämföras med tryckförhållandet som redovisas i den nedre delen av tabellen. Vid exempelvis 3 MPa grundvattentryck (streckad ram) uppfylls kravet,  $I_{D, 2D} \geq p_w/\Delta p$  vid minst 5 MPa övertryck (gröna rutor), medan röda rutor anger att kravet inte klaras. Vid en kortare injekteringstid måste trycket ökas, t.ex. för 45 minuter måste övertrycket vara 7 MPa, (visas inte här).

Från tabellen ses också att den teoretiska radiella inträngningslängden,  $I_{2D}$  i en spricka med vidden 150  $\mu\text{m}$  är ca 15 meter vid 5 MPa övertryck. Den radiella inträngningslängden för en 100  $\mu\text{m}$  spricka, som inte visas här, är ca 10 m.

**Tabell 3-1. Val av injekteringsstryck för att klara det ansatta kravet avseende bakåtflyde. Grön ruta markerar att kravet  $I_{D, 2D} > p_w/\Delta p$  är uppnått. Vid större tryck är kravet också uppnått. Den för beräkningen ansatta hydrauliska sprickvidden är 150  $\mu\text{m}$ , skjuvgränsen är 15 Pa, viskositeten är 25 mPas, injekteringstiden är 60 minuter.**

Parameter	$\Delta p$ [MPa]=				
	=1	=3	=4	=5	=7
$t_0$	666,7	2 000	2 666,7	3 333,3	4 666,7
$t_D$	5,40	1,80	1,35	1,08	0,77
$\theta_{2D}$	0,32	0,19	0,16	0,13	0,10
$I_{D, 2D}$	0,86	0,70	0,65	<b>0,61</b>	0,55
$I_{max}$	5,0	15,0	20,0	25,0	35,0
$I_{2D}$	4,3	10,5	13,0	15,2	19,1
$p_w$ [MPa]	$\Delta p$ [MPa]=				
	=1	=3	=4	=5	=7
0	$P_w/\Delta p$				
2,5	2,5	0,8	0,6	0,5	0,4
3,0	<b>3,0</b>	<b>1,0</b>	<b>0,8</b>	<b>0,6</b>	<b>0,4</b>
3,5	3,5	1,2	0,9	0,7	0,5

Ovan beskrivna designfönster för cement ger då krav på injekteringstryck för att ej få bakåtflyde. Gällande erosion med krav på skjuvhållfasthet på bruket vid avslut av injekteringen måste vattnets skjuvspänning beaktas. Det bruk som designen i fintättningsprojektet baseras på har en skjuvgräns på 15 Pa. Vattnets eroderande kraft återspeglar sig i vattnets gradient. Hög gradient ger stor risk för erosion. Som exempel kan gradienten vid 450 m grundvattentryck och 10 m från en oinjekterad tunnelfront vara ca 25 m/m vilket för en spricka med en hydraulisk sprickvidd på 150 µm innebär en eroderande kraft på ca 20 Pa. Denna kraft är större än cementets skjuvgräns. Med överlapp mellan injekterings-skärmar samt användning av stoffinjektering minskas risken för höga gradienter markant. Stoffinjektering medför att tryckdifferensen mellan grundvattentrycket i berget och tunneln fördelas ut på en längre sträcka och därmed sänks gradienten. Kravet på skjuvgränsen kan då sänkas. Med ovanstående utförande av injekterings-skärmen minskas risken för erosion.

Vid en beräknad hydraulisk sprickvidd över 150 µm används i detta projekt cementbaserat bruk. Cementet tränger in i sprickor ner till minst ca 100 µm, men i mindre sprickor är vattnets erosionskraft mindre och kravet uppfylls även i dessa finare sprickor.

Silica sol har en snabb viskositetstillväxt efter gelinduktionstiden. Vid 4/5 av geltiden är skjuvhållfastheten på silica sol närmare 50 Pa vilket är mycket större än vattnets skjuvspänning. Sprickvidderna som silica sol skall täta är mindre än de för cement vilket leder till att risken för bakåtflyde är mindre. Eftersom det nyoinjekterade cementbaserade bruket har en långsammare hållfasthetstillväxt än silica sol, krävs längre injekteringstider än för silica sol för att inte riskera bakåtflyde.

## 3.2 Kontrollerande åtgärder

Från kontrollhål erhålls indikation på ökad täthet i den injekterade bergmassan under pågående injekteringsarbete. Mätvallar byggs vid etappgränserna för att kunna mäta inläckaget från respektive injekteringsetapp efter utsprängningen av etappen. Mätvallarna används också för att kontrollera uppfyllelse av det övergripande målet på ett inläckage om maximalt 1 l/min och 60 m tunnel.

### 3.2.1 Mätvallar

En mätvall i TASS-tunneln består av en betongvall som placeras mot bergytan på tunneln. Vallen går över hela tvärsnittet och en typisk höjd på vallen är ca 0,3 m (Figur 3-3). Höjden är anpassad för att kunna hålla kvar vattnet innanför mätvallen.

I TASS-tunneln finns, per den 1 oktober 2008, två mätvallar. Mätvall nr 1 finns på sektion 10 m och mätvall nr 2 på sektion 34 m. I mätvall nr 1 mäts inläckaget för etapp 2 för injekterings-skärmar utanför kontur och i mätvall nr 2 kommer inläckaget för skärmar innanför kontur att mätas.

Principen för mätning är att sektionen innanför vallen fylls med vatten och att utflödet genom ett rör i vallen mäts. När utflödet genom röret nått ett stabilt värde motsvarar detta inläckaget för sektionen.

I juli 2008, installerades en elektronisk flödesmätare i mätvall nr 1. Manuella mätningar utförs för att verifiera den automatiska registreringen. Mätvall nr 1 har mätts kontinuerligt varje helg sedan april 2008. Utöver detta har mätning skett under längre sammanhängande perioder när tunnelproduktionen har haft längre uppehåll; t.ex. under semester. För mätvall nr 2 började mätningarna under juli, 2008.

### 3.2.2 Kontrollhål

En injekterings-skärm byggs upp av flera injekteringsomgångar kallade omgång A, B och C. Borrhålen i varje omgång testas hydrauliskt och injekteras därefter. Efter hydrauliska tester och injektering av omgång A borrar ett antal borrhål, placerade mittemellan och parallellt med omgång A:s borrhål. De nya injekteringsborrhålen benämns omgång B och utgör först kontrollhål till omgång A. Kontrollhålen har två syften: 1) ge information om tidigare omgångs injektering haft effekt på tätheten, och 2) möjliggöra ytterligare tätning.

För det första syftet placeras fem av kontrollhålen jämnt fördelade längs periferin på tunneln i skärmomgång B och C. För det andra syftet väljs lägen för kontrollhålen där det antas att injekteringen har tätat sprickorna som sämst: 1) kontrollhålen placeras mitt emellan borrhål med störst inflöden och vattenförlust, 2) kontrollhålen placeras mitt emellan borrhål som har största injekterad volym, och 3) kontrollhålen placeras alltid mellan borrhål som har uppvisat hydrauliskt samband. I samtliga

borrhål i alla omgångar mäts trycket, det naturliga inflödet till borrhålet samt vattenförlusten. En jämförelse mellan värden i borrhål i omgång A och i omgång B, ger alltså ett svar på hur väl injekteringen i omgång A tätat. Detta förlopp upprepas ännu en gång och utgör då omgång C. Omgång C injekteras alltid men inga fler kontrollhål borras.

Utvärderingen av en injekteringsomgång görs genom att beräkna medianvärdet av inflödet i borrhålen före injektering och sedan jämföra detta med medianvärdet i nästa borrhålsomgång. Förändringen av medianvärdet används som ett mått på vilken effekt tätningen har haft. Medianvärdet kan utvärderas dels direkt från borrhålsomgångens samtliga inflöden, dels från anpassade log-normalfördelningar. I Funehag /2007/ används metoden med tolkade medianvärden från den anpassade log-normalfördelningen frekvent för att påvisa effekten av injekteringen i varje injekteringsskärm. Att en log-normalfördelning kan användas för att beskriva fördelningen av individuella borrhålsinflöden är visat av /Gustafson och Krazny1994/.

En nedre mätgräns för inflödesmätningar har fastställts baserat på de praktiska mätresultat som har kunnat erhållas i tunneln. Flöden på 0,002 l/min har mätts (några få droppar per minut). Mätgränsen har sedan satts ca en tiopotens lägre, alltså 0,0001 l/min. För vattenförlustmätningen är mätgränsen högre, 0,1 l/min vilket beror på den flödesmätare som använts.

### 3.2.3 Droppkaraktisering

Dropp bildas nästan alltid i tunneltak. Antal och storleken på dropp visar effekten av en injektering.

I detta projekt karakteriseras dropp avseende storlek (flöde), och läge (se vidare Bilaga 3.2). Läget bestäms med en precision på 0,5x0,5 m<sup>2</sup>. Flöden bestäms från fuktiga områden till flöde > 0,3 l/min (= rinnande områden). Inom detta intervall kategoriseras droppflödet inom fyra grupper; fukt, fukt med sporadiskt dropp, kontinuerligt dropp och flöde.

Droppkaraktisering utförs i samband med att en mätvall byggs. Den del av tunneln som är utsprängd sedan det tidigare mätvallsbygget karakteriseras.

I metoden ingår att gruppen med minst droppflöde, dvs fukt, mäts genom att blöjor som monteras i taket suger upp fukt. Hänsyn tas till den omgivande fukten genom att ett antal blöjor, kallat "blanks" hängs fritt i tunneln och ger ett korrigeringsvärde.

De övriga tre grupperna av droppflöde mäts genom att fänga upp dropparna i ett mätkärl under en viss tid.



**Figur 3-4.** Funktionskontroll av mätvall nr 1. Vatten är fyllt innanför mätvallen och nedströms mätvall är berget rensat. Underkant av mätvallen besiktigas okulärt med avseende på vattenläckage mellan betongkonstruktion och berg. Bild: Magnus Kronberg, SKB.



### 3.3 Utrustning och material i projektet

I detta avsnitt beskrivs de två injekteringsmedlen som använts, silica sol och cementbaserat bruk. Även den använda pumpen och blandningsutrustningen presenteras. Miljöpåverkan för båda injekteringsmedlen och medlens ingående komponenter redovisas.

#### 3.3.1 Silica sol

Silica sol består av amorfa silicapartiklar i en vattenlösning. Partiklarna varierar i storlek mellan ca 2 nm och ca 100 nm. Som jämförelse har cement av typen Ultrafin 16 en partikelstorlek på ca 16 µm. Silica sol blandas med en saltlösning då det ska användas som ett injekteringsmedel. I detta projekt har följande silica sol/saltlösning använts:

Silica sol: Meyco MP320; 40 % lösning.

Saltlösning: Meyco MP320 accelerator (10 % NaCl-lösning).

Produkterna är tillverkade av Eka Chemicals, Bohus och levererade av BASF. Silica solen, Meyco MP320 betraktas inte som hälsofarlig. De toxikologiska och ekotoxikologiska effekterna är mycket låga. Vid hudkontakt kan silica solen verka uttorkande eftersom pH är 9–10. Säkerhetsdatabladet återfinns i Bilaga 3.3. Saltlösningen, Meyco MP320, kan irritera ögonen. Den toxikologiska effekten bedöms som låg. För den ekotoxikologiska effekten finns inga data. Säkerhetsdatabladet återfinns i Bilaga 3.4.

Då silica sol blandas med saltlösningen påskyndas den naturliga aggregeringen av silicapartiklarna, s k gelning. Inledningsvis är blandningen vattenlik, d v s den har låg viskositet. Mängden saltlösning styr hastigheten på gelningen så att ju högre saltkoncentrationen är, desto snabbare är gelningen. Den låga initiella viskositeten tillsammans med den kontrollerbara och styrbara snabba viskositetsökningen är centrala egenskaper som möjliggör beräkning av inträngningslängder samt design av injekteringen med silica sol.

Geltiden är även starkt temperaturberoende; som en tumregel ger en dubbling av temperaturen (dubbla värdet i °C) en halverad geltid. Temperaturen mäts vid varje påbörjad injektering som ett kvalitetsvärde för efterkontroll om avvikande geltider erhållits.

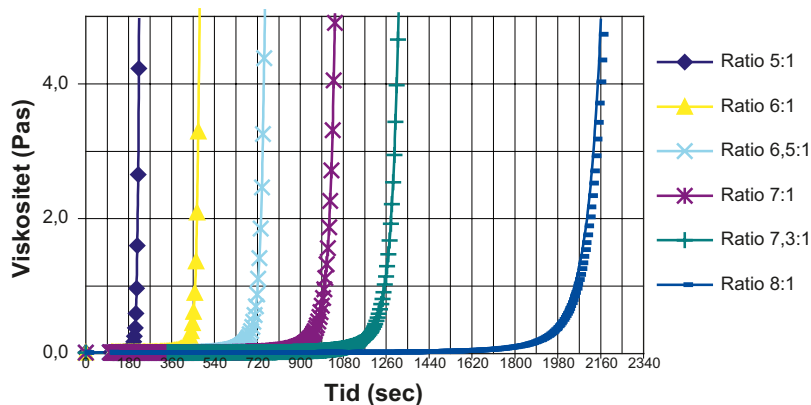
Blandningen av silica sol och salt görs i ett blandningskärl på injekteringsplattformen, se kapitel 3.3.3. Doseringen sker med hjälp av två fatpumpar som styrs av ett receptvägningssystem (DOSAC) vilket doserar med hjälp av lastceller kopplade till ett vågsystem. Silica sol vägs upp direkt i ett blandningskärl med tre lastceller samtidigt som saltlösningen vägs upp i en tillsatstank med en lastcell ovanför blandningskärl. Normalt blandas satsen på ca 200–250 kg. När silica sol är färdigdoserat tillsätts saltlösningen automatiskt samtidigt som omröraren är igång. När saltet är tillsatt får omröraren gå i 30 sekunder innan ett referensprov/kopptest tas. Injekteringen kan därefter starta.

#### **Silica sol-tester**

I fält utförs tester för att mäta geltiden; dels utförs ett så kallat kopptest på varje blandning; dels mäts temperaturen vilket ger möjlighet att finna eventuellt avvikande geltider.

Kopprovet tas från blandningen och märks med borrhålsnummer och klockslag när blandningen var färdig. Geltiden kontrolleras genom att vända koppen 90 grader. Geltiden är uppnådd då silica sols yta förblir fast, utan minsta tillstymmelse att rinna. Ett kopprov tas på varje injekteringsats. I projektet används en ny sats för varje injekteringshål.

I detta projekt görs också laborietester bestående av reologimätningar på silica sol där viskositeten plottas mot tiden och diagram av typen enligt Figur 3-5 erhålls. Oblandad silica sol åldras med tiden med påföljd att geltiden i den blandade silica solen förändras, gelningen sker snabbare för en äldre (några månader) än för en ny silica sol. Reologimätningarna utförs inför varje leverans för att följa upp silica sols egenskaper över tiden.



**Figur 3-5.** Illustration av viskositetstillväxten över tiden för olika blandningsförhållanden mellan silica sol och salt vid 8 °C. Observera att dessa blandningsförhållanden inte använts i detta projekt utan endast utgör exempel på viskositetstillväxten.

### 3.3.2 Cementbaserat bruk med lågt pH

I projektet har tre typblandningar av cementbaserat bruk valts, två olika recept för injektering och ett för hålfyllnad. Samtliga består av cement, silica fume, vatten och superplasticerare. Skillnader i recepten är mängden vatten samt typ av cement, antingen Cementa Ultrafin 16 (UF 16) eller Cementa Injektering 30 (INJ 30). Den huvudsakliga skillnaden mellan cementen är att INJ 30 har större korn och en något större spridning av partiklarnas storlek.

Båda cementtyperna består av strävt dammande pulver och klassas som irriterande. Irritation fås i slemhinnor och ögon samt vid långvarig kontakt även frätskador i ögonen. Vid kontakt med vatten bildas kalciumhydroxid vilket har ett högt pH (12,5–15,5). Det finns ingen känd ekotoxikologisk information. Avfallet (härdad cement) kan deponeras som byggnadsavfall, se säkerhetsdatabladen för UF16 (Bilaga 3.5) och för INJ30 (Bilaga 3.6).

Silica fume består av microsilica, i detta fall dispergerad i vatten med en koncentration av ca 50 % fasta partiklar. Partiklarna är i storleksordningen mikrometer ( $d_{90}=1 \mu\text{m}$ ). Silica fume, med produktnamnet GroutAid, är inte hälsofarlig eller miljöfarlig och inte heller klassad som farligt avfall. pH-värdet ligger mellan 5 och 7. Om GroutAiden skulle torka eller damma kan den irritera ögon och slemhinnor, se säkerhetsdatabladet för GroutAid (Bilaga 3.7).

Det cementbaserade bruket med lågt-pH som använts är i huvudsak det recept som utvecklats av Posiva /Sievänen et al. 2006/. Använd superplasticerare är en naftalensulfonat-baserad produkt som i Finland benämns ”Mighty 150”. I Sverige säljs denna produkt som ”SIKA Melcrete”, vilken har lägre torrhalt; 35 % jämfört med 40 % för Mighty 150. Receptet i fintättningsprojektet har samma viktsandel Melcrete som Posivas recept har med Mighty. SIKA Melcrete är inte klassad som miljöfarlig men ingående konserveringsmedel har i hög koncentration hög toxicitet för vattenlevande organismer. Avfallet klassas som farligt avfall. De toxikologiska effekterna är sveda och irritation i slemhinnor och ögon, se säkerhetsdatabladet för SIKA Melcrete (Bilaga 3.8).

På grund av den stora mängden tillsatt silica fume är det traditionella begreppet för blandningsförhållande mellan vatten och cement, vattencementtalet vct, mindre relevant. I enlighet med den terminologi som etablerades när bruket utvecklades, används istället förhållandet mellan mängden vatten och torrmaterial, W/DM (water to dry material).

UF 16 samt INJ 30 levereras i 20 kg säckar av Cementa och är sulfatbeständigt Ordinary Portland cement med  $d_{95}$  på 16  $\mu\text{m}$  för UF 16 och  $d_{95}$  på 30  $\mu\text{m}$  för INJ 30. Silica fume med produktnamnet GroutAid, levereras i fat om 200 l och säljs av Elkem AS, Norge. Den, för detta projekt, använda GroutAid levereras från Holland. Superplasticeraren med produktnamnet SIKA Melcrete levereras i fat om 200 l eller i 20 l dunkar och säljs av SIKA.

För injekteringen används främst injekteringsbruk typ 1, se Tabell 3-1.

**Tabell 3-1. Ingående material för grundblandningen: Injekteringstyp 1, W/DM 1,4.**

Material	Typ	Injekteringsbruk typ 1, i viktförhållande
Vatten	Dricksvatten	1,67 ± 0,01
Cement	Ultrafin 16	1,00 ± 0,01
Silica fume	Grout Aid	1,37 ± 0,01
Superplasticerare	Melcrete	0,068 ± 0,001

Samtliga borrhål fylls med cementbaserat bruk (hålfyllnadsbruk) efter injektering. I Tabell 3-2 redovisas receptet för hålfyllnadsbruket och injekteringsbruk typ 2 med ingående material och viktförhållande. För att inte förändra förhållandet mellan mängderna silica fume och Portlandcement har enbart tillsatt mängd vatten ändrats jämfört med injekteringsbruk typ 1. För injekteringsbruk typ 2, vilket används när bruksåtgången är stor, används samma recept som för hålfyllnadsbruket men cementet (INJ 30) är utbytt mot UF 16.

**Tabell 3-2. Ingående material för injekteringsbruk typ 2 och hålfyllnadsbruk.**

Material	Typ	Injekteringsbruk typ 2, viktförhållande	Hålfyllnadsbruk, viktförhållande
Vatten	Dricksvatten	0.64	0.64
Cement	UF 16/INJ 30	1.00 (UF 16)	1.00 (INJ 30)
Silica fume	Grout Aid	1.37	1.37
Superplasticerare	Melcrete	0.07	0.07
W/DM		0.8	0.8

I projektet har hittills totalt 23 borrhål, av totalt 207, injekterats med cementbaserat bruk, se vidare avsnitt 3.6 Design och genomförande av injekteringskärmarna.

Utrustningen som har använts för kontroll av egenskaperna i fält på injekteringsbruket redovisas i Tabell 3-3. Filterpumpstest och fallkontest utförs med lägre intervall/vid behov, medan övriga tester görs på varje blandad sats.

**Tabell 3-3. Fältnättningsutrustning samt egenskaper som kontrolleras.**

Utrustning	Egenskap
Mud-balance	Densitet
Filterpump	Inträngningsförmåga
Marsh-cone	Flödesegenskaper
Yield stick	Skjuvgräns
Fallkon	Hållfasthet

För fälttester av det cementbaserade bruket används en av Chalmers nyutvecklade produkt, kallad yield stick. En rundsvarvad trästicka med en tyngd i ena ändan släpps ned i ett mätglas med bruk. Sjunkdjupet mäts och läses av i ett diagram där densiteten finns med. Från detta diagram kan skjuvgränsen för bruket utläsas.

I Tabell 3-4 anges värden på egenskaper som bruket måste ha. De ställda kriterierna baseras främst på hög skjuvhållfasthet för att förhindra erosion samtidigt som egenskaper som pumpbarhet och blandning måste behållas. Utifrån förprovningar i fält samt löpande provtagning under injektering godkänns injekteringsbruk typ 1 om två av tre kriterier uppfylls, men om samma resultat erhålls för påföljande blandning måste detta utredas innan injekteringen kan fortsätta. Om fler värden ligger utanför gränserna ska injekteringsbruk typ 1 kasseras.

För hålfyllnadsbruket (W/DM = 0.8) är det framför allt de lägre gränserna som är kritiska. Om högre värden än riktvärdena erhållits för hålfyllnadsbruket ska justering av blandningsförfarandet utföras men det är tillåtet att pumpa in den blandande satsen.



**Tabell 3-4. Kontroller och erforderliga egenskaper på det använda låg-pH cement i projektet. Kontrollerna görs på varje sats.**

Parameter	Enhet	W/DM 1.4 injekteringsbruk typ 1	W/DM 0.8 hålfyllnadsbruk samt injekteringsbruk typ 2
Densitet, (mudbalance)	kg/m <sup>3</sup>	1 310–1 350	1 470–1 570
Flödesegenskaper (Marsh-cone)	S	39–55	Noteras endast
Skjuvgräns (yield stick)	Pa	>10	>10

En och samma blandningsprocedur har använts i projektet. Denna är framtagen delvis genom laborietester utförda på Chalmers men framförallt genom fältstudier under uppstarten av projektet. Blandningen i laboriet har utförts med en mixer av typen Desoi AKM 70D som har en mycket hög blandningshastighet likt den man får vid fältblandning med Unigrouten. Följande blandningsprocedur har använts för blandning av cementbaserat bruk med blandaren AC CEMIX 203 HWB som är monterad på Unigrouten:

- 1) Tillsats av vatten i mixern .
- 2) Tillsats av cement, ska ske successivt under ca 1 min och den ska tillsättas i mitten av mixern.
- 3) Mixning i 2 min efter att all cement är tillsatt.
- 4) Samtidig tillsats av silica fume och superplastiserare. Tillsats ska ske långsamt, under ca 1 min.
- 5) Mixning i ytterligare 3 min efter att doseringen är klar.
- 6) Blandningen förs över till omröraren.
- 7) Provtagning
  - a) Mud-balance för test av densitet
  - b) Marsh-cone för test av flödesegenskaperna
  - c) Yield stick för test av skjuvgräns.
- 8) Injektering utförs om egenskaperna uppfyller de krav som ställs.
- 9) Filterpumpstester och fallkonsförsök utförs som ytterligare kontroll exempelvis vid uppstart av injektering samt om ordinarie provtagning visar flera påföljande provningar med negativt utfall.

### 3.3.3 Utrustning

Tunneln har ett litet tvärsnitt och därför valdes att använda en liten, automatiserad mobil injekteringsplattform från Atlas Copco, Unigrout EH22 200–140 AWB-SS, med följande utrustning monterad på plattformen:

- Blandare AC CEMIX 203 HWB
- Omrörare AC CEMAG 403 HWB
- Pump PUMPAC BASIC 80/110HD
- Kompressor LE15-10SE120M
- Receptvägningssystem DOSAC
- Registreringsutrustning LOGAC G5
- Flödesgivare METER UNIT CP 150
- Fatpumpar.

De modifieringar av injekteringsutrustningen som var beställda av projektet bestod av anpassningar för att enkelt kunna blanda silica sol. Omröraren är placerad på tre lastceller för att få stor noggrannhet i uppvägningen. Pumpen klarar tryck på 15 MPa.

Borrmaskinen för injekteringsborrning är den samma som för salvborrningen och är en Atlas Copco, typ Rocket Boomer E2C (två-bomsrigg), med en effekt på 30 kW.

### **Manschetter**

Borrhålen borrar nominellt med en diameter om 64 mm. Manschetterna levereras av GMA (Gurlita GMA AB, Torsby). De klarar borrhål med diameter mellan 62 och 66 mm. De är av typ flergångsmanschett (används ca 3 ggr innan de kasseras), har en innerdiameter på 22 mm och är utrustade med kulventil och snabbkoppling. Manschetten består av tre gummipackningar för att klara det höga grundvattentrycket (dimensionerad för 25 MPa, PN250). Borrhålen avluftas innan injektering med en egen utvecklad vakuumpump för att minimera risken att luft pressar ut manschetten.

### **Vakuumpump**

Ett problem finns med att luft och vatten finns i borrhålet när injekteringen skall börja. Detta gäller framförallt i de nedåtlutande borrhål som finns i sulan. Vattnet medför en effektivitetssänkning då detta måste pressas ut i sprickorna innan injekteringsmedlet fyllt borrhålet. Luften utgör ett säkerhetsproblem då den instängda luften kan leda till att manschetterna trycks ut vid pumpning. För att undvika dessa problem används en evakueringsutrustning baserad på vakuumpumpning för att tömma borrhålen på vatten och luft innan injektering utförs. Vakuumsystemet består av två delar; en pump med tank 150 liter som skapar vakuum, denna del tillverkas av Busch Vakuumenteknik, respektive ett ventilpaket som sätts på manschetten, som tillverkas av Chalmers. På ventilpaketet sitter en anordning som används för att föra ner och täta mot en slang som skall föras ner till borrhålsbotten. Slangen (10 mm i diameter) är i ena ändan kontakt med luften och den andra i borrhålsbotten vilket gör att vakuumsugning blir mycket effektiv. När vakuumpumpen startar, sugts vatten ut först. När borrhålet har tömts på vatten dras slangen ut och borrhålet vakuumpumpas.

### **Hantering av spill och dräneringsvatten**

Injekteringsmedlet blandas batchvis. Detta möjliggör en enkel styrning av geltiden för silica sol. När satsen/batchen tar slut eller blir för gammal blandas en ny. Det gamla medlet kasseras. Batchstorlekarna anpassas till prognosticerad volym för att minimera spill.

Vid ett vanligt använt blandningsförhållande på 5:1 mellan silica sol och 10 % NaCl-lösning blir saltkoncentrationen i injekteringsmedlet 1,7 %. En normalstor sats är ca 240 kg vilket ger ca 4 kg salt. Allt injekteringsmedel injekteras inte i berget utan en stor del, uppskattningsvis ca 50 % blir över, finns kvar i slangar eller kommer tillbaka som ytläckage. För en injekteringsskärm bestående av 40 borrhål med blandningssatser om 240 kg går det åt ca 10 ton injekteringsmedel. 50 %, eller 5 ton injekteras och 5 ton blir spill. Detta bedöms som den maximala volymen som uppkommer vid en skärm i projektet, oftast blir det mindre. Saltmängden som injekteras är då ca 80 kg och 80 kg går till spill. Saltbelastningen är således ca 80 kg för en injekteringsskärm. Spillet samlas upp i kärl där det får gela. Denna del står för den största delen av spillet. Det spill som kommer från ytläckage eller spill ifrån slangar blandas upp med vattnet som finns vid tunnelfronten. Vattnet inklusive borrhålskax och injekteringsmedel pumpas till sedimentationstankar. Där sedimenterar injekteringsmedel och borrhålskax som sedan grävs upp ur tankarna och körs till deponi eller destruktion. Vattnet uppblandat med injekteringsmedel som samlats upp i kärlet består av mycket vatten vilket gör att silica solen behöver lång tid för gelning. Inga vätskor får deponeras varför salt (vägsalt) tillsätts för att påskynda gelningen.

## **3.4 Design och utförande i fintättningsprojektet**

Designen och genomförandet i detta projekt utgår från en basdesign där främst borrhålsavstånd, injekteringstryck och injekteringstid anpassas. Basdesignen upprättades utgående från förundersökningarna. Inför varje ny injekteringsskärm analyserades resultaten från föregående injekteringsskärm för att anpassa och förfinna design och injekteringsteknik inför nästa skärm. Nedanstående text beskriver hur basdesignen utformades samt hur varje injekteringsskärm genomfördes.

### 3.4.1 Övergripande strategi samt stuffinjekteringshål

Vallet mellan att använda cementbaserat bruk eller silica sol görs utifrån den beräknade hydrauliska sprickvidden hos sprickan som korsar borrhålet under antagandet att det endast finns en vattenförande spricka. Strategin nedan har valts att användas för varje individuellt borrhål:

#### **Hydraulisk sprickvidd:**

- 0–130 µm; silica sol, lång geltid
- 130–150 µm; silica sol, kortare gel tid
- 150 µm eller större; låg-pH cementbaserat bruk

Cementbaserat bruk klarar att tränga in i sprickvidder ner till ca 100 µm, baserat på partikelstorleken samt vid mycket god och kontrollerad blandning /Eriksson 2002, Eklund 2002, m fl/. I varje borrhål mäts inflödet för att beräkna den hydrauliska sprickvidden. I och med att cement kan tränga in i sprickvidder ner till 100 µm men borrhålen som väljs att injekteras med cement har en hydraulisk sprickvidd på 150 µm eller större så finns ett intervall där båda injekteringsmedlen tätar sprickorna.

En injekteringsskärm består av följande delar, vilka utförs i följande ordning:

1. Stuffinjekteringshål borrar och injekteras för att minska gradienten framför fronten samt risken för erosion.
2. Borrhålen i själva injekteringsskärmen borrar och injekteras för att minska inläckaget till tunneln.

Stuffhålen är tre till fyra injekteringshål som är borrhålen parallellt med tunneln till en längd motsvarande injekteringsskärmen, typiskt 20 m. Injekteringen av dessa har syftet att sänka den hydrauliska gradienten för kommande skärms injektering (se Bilaga 3.9).

Följande cykel används för samtliga borrhål i en injekteringsskärm för de hydrauliska testerna och injekteringen:

1. Borrning och manschettering av hålen i en borrhålsomgång; ”stuffhål”, A, B eller C i den aktuella injekteringsskärmen.
2. Hydrauliska tester utförs som helhålmätningar i samtliga hål:
  - a. Naturligt grundvattentryck
  - b. Naturliga inflödestester
  - c. Vattenförlustmätningar
3. Analys av resultatet av de hydrauliska testerna utförs. Ett utförande av injekteringen bestäms för varje individuellt borrhål.
4. Injektering av första omgångens borrhål, omgång A. Efter injektering låts silica sol härda åtminstone 1 timme och cementbruk åtminstone 6 timmar.
5. Borrning av andra omgångens borrhål, omgång B. Antal och placering bestäms av delprojektledaren för injektering enligt tidigare beskrivna metod för placering av kontrollhål.
6. Hydrauliska tester genomförs i borrhålen i omgång B, samma tester som ovan.
7. Analys av resultat görs enligt punkt 3, ovan.
8. Injektering utförs i samtliga borrhål enligt punkt 4, ovan.
9. Eventuell borrning av tredje omgångens borrhål, omgång C, om inflödet i borrhålen i omgång B, är större än 0,1 l/min.
10. Hydrauliska tester genomförs i borrhålen i omgång C, samma tester som ovan.
11. Injektering utförs i samtliga borrhål i omgång C.
12. Rapportering och kvalitetskontroll av data.

Målet enligt designen är att täta samtliga sprickor med hydrauliska sprickvidder ner till 10 µm. Det är denna gräns som injekteringen är designad för. Denna gräns gäller för hela tunneln och ger teoretiskt ett inläckage till tunneln på 1 l/min och 60 m tunnel.

Ett kriterium för att injektera eller inte injektera ett enskilt borrhål har valts. Vid mätning av inflödet i ett borrhål fås totalflödet från samtliga sprickor som korsas av borrhålet. Genom att anta att inflödet i borrhålet enbart kommer från en spricka överskattas sprickvidden. Det är alltså ett inflödeskriterium i varje borrhål som används för att bedöma behov/resultat av injektering.

I detta projekt bedöms således borrhålen som täta då inflödet  $< 0,09$  l/min (motsvarar en hydraulisk sprickvidd på  $20 \mu\text{m}$  vid ett grundvattentryck på  $3 \text{ MPa}$ ) eller otäta då inflödet  $\geq 0,09$  l/min. Den slutgiltiga kontrollen av det övergripande målet att inläckaget till tunneln är  $1 \text{ l/min}$  och  $60 \text{ m}$  tunnel görs med mätvallarna.

Tillkommande arbeten utöver injekteringscykeln enligt ovan är i varje injekteringsskärm inmätning och krökhetsmätning samt cementfyllning av alla borrhål. I ovanstående cykel utvärderas de hydrauliska egenskaperna efter varje injekteringsomgång och möjliggör en eventuell anpassning av basdesignen. Utifrån detta finns möjlighet att stoppa injekteringen då önskat resultat uppnåtts, eller att fortsätta för att få ytterligare tätning.

### 3.4.2 Basdesign

Basdesignen innefattar injekteringsutförande med baskärm och kontrollåtgärder. Baskärmen omfattar avståndet mellan borrhålen i borrhålsomgången, längden på injekteringsskärmen samt överlappet för kommande injekteringsskärm, alltså stuffläge där injekteringsskärmen skall borras. Även hur borrhålen borras avseende stick och riktning ingår i baskärmen. Variablerna för injekteringsutförandet, injekteringstryck, injekteringstid och injekteringsmedel väljs utgående från hydrauliska sprickvidder.

Basdesignen har utarbetats från förundersökningsresultaten. Undersökningarna visade, med utgång från de tre kärnborrhålen, att de hydrauliska sprickvidderna varierade från mycket små sprickvidder upp till ca  $200 \mu\text{m}$ . Grundvattentrycken mättes till  $3,2\text{--}3,5 \text{ MPa}$ . Sprickfrekvensen varierade mellan kärnborrhålen och för kärnborrhål KI0010B01 varierade de typiska värdena från en spricka per meter till fyra sprickor per meter, mätt i  $10 \text{ meters}$  sektioner.

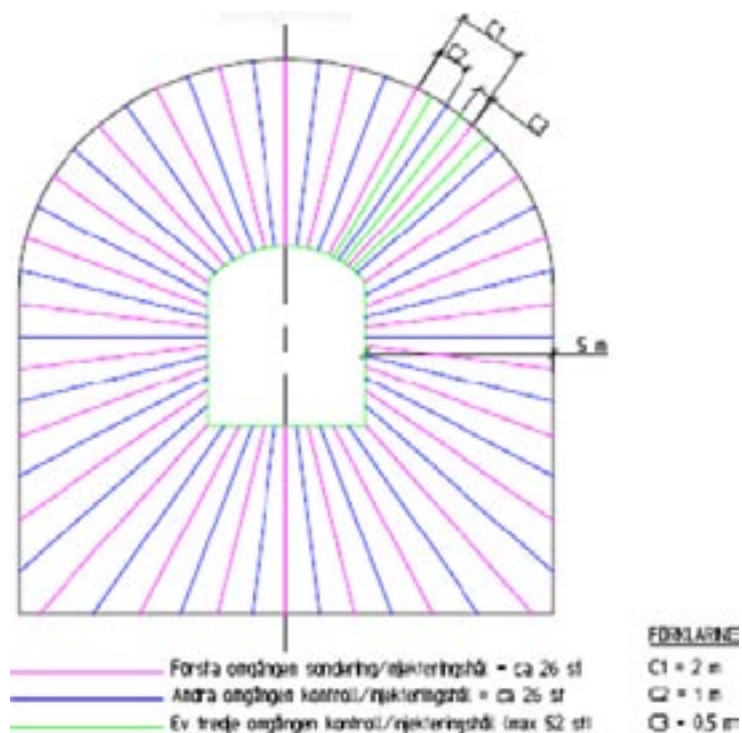
Den teoretiska inträngningslängden i den dimensionerande minsta sprickan anpassas till avståndet mellan borrhålen. I detta projekt har inträngningslängden valts så att inträngningen från varje injekteringshål ska vara  $75 \%$  av avståndet mellan borrhållspetarna, vilket motsvarar ett överlapp på  $50 \%$ . Det valda överlappet kompenserar för att vissa sprickor inte korsar borrhålet vinkelrätt samt att flödesvägen inte alltid är den kortaste mellan borrhålen. En inträngningslängd på  $1,5 \text{ m}$  i den dimensionerande sprickan ( $10 \mu\text{m}$ ) samt ett önskvärt överlapp på  $50 \%$  av injekteringsmedlet mellan injekteringshålen ger ett borrhålsavstånd på  $2 \text{ m}$ . Redan vid en sprickvidd på  $20 \mu\text{m}$  fås ett överlapp på  $100 \%$  mellan borrhålen.

Följande parametrar, fixa och variabla, valdes som basdesign:

FIXA PARAMETRAR	Parametervärde	Kommentar
Borrhålsavstånd, c-avstånd	$2 \text{ m}$	Gäller för första omgångens borrhål.
Injekteringsskärmens längd	$20 \text{ m}$	Gäller för första omgångens borrhål, kommande borrhålsomgångar i skärmen görs en meter kortare än tidigare omgång.
Överlapp mellan skärmomgångarna	$\geq 4 \text{ m}$	Begränsar hur långt berguttaget får vara.
Injekteringsskärmens stick	$4 \text{ m}$	Rätvinkligt avstånd från tunnelkontur till borrspets (alltså vid skärmens slut på $20 \text{ m}$ ).
Dimensionerande minsta hydrauliska sprickvidd	$10 \mu\text{m}$	Beräknat utifrån metodik för injekteringsdesign.
Önskvärd/dimensionerande inträngningslängd, i $10 \mu\text{m}$ sprickan, $l_{dim}$	$1,5 \text{ m}$	$l_{dim} = \frac{1}{4}$ av borrhålsavståndet $= 2 \times \frac{1}{4} = 1,5 \text{ m}$ .
Begränsad inträngningslängd i de större sprickorna $\leq 200 \mu\text{m}$	$20 \text{ m}$	En begränsning av den teoretiska inträngningslängden görs då TASS-tunneln är belägen mellan $20$ och $40 \text{ m}$ från prototyp-tunneln.
Gelinduktionstid, $t_G$ , för silica sol	$1/3$ av geltiden	Givet från viskositetskurvor för silica sol.
Injekteringstid för silica sol	$4/5$ av geltiden	Teoretisk och laboratoriebestämd med hänsyn till risk för erosion.
Injekteringstid för cementbaserat bruk	$45 \text{ minuter}$	Baseras på teoretiska samband där hänsyn är tagen till erosion.

VARIABLA PARAMETRAR	Parametervärde baseras på	Kontroller	Villkor, valt värde, kommentarer
Injekteringsmedel	Hydraulisk sprickvidd	Inflöde och vattenförlustmätningar i borrhålen	0–150 $\mu\text{m}$ = silica sol. > 150 $\mu\text{m}$ = Cementbaserat bruk, typ 1.
Geltid för silica sol	Hydraulisk sprickvidd	Inflöde och vattenförlustmätningar i borrhålen	0–130 $\mu\text{m}$ = vald geltid (39 eller 63 min) 130–150 $\mu\text{m}$ = halverad geltid (19,5 eller 31,5 min).
Injekteringsövertryck $\Delta p = p_{tot} - p_{grv}$	Injekteringsmedel, geltid samt möjligt maximalt tryck (givet utrustningen)	Hydraulisk sprickvidd	Cementbaserat bruk: 7 MPa Silica sol: 3 MPa med 63 min geltid 5 MPa med 39 min geltid Möjligt maximalt totaltryck = 13 MPa.
Kontrollerande borrhålsomgång, omg. B, placering och antal	Inflöde, vattenförlust, bruksåtgång och borrhål som uppvisat hydrauliskt samband	Hydrauliska tester samt data och observationer från injektering	Alltid minst 5 borrhål i split spacing för att påvisa förändring i tätheten. Kontrollhål skall placeras mellan/intill injekteringshål med ett inflöde $\geq 0,09$ l/min, har haft stor bruksåtgång eller uppvisar samband med intilliggande borrhål.
Kontrollerande borrhålsomgång, omg. C, placering och antal	Inflöde, vattenförlust, bruksåtgång och borrhål som uppvisat hydrauliskt samband	Hydrauliska tester samt data och observationer från injektering	Kontrollhål skall alltid borraras mellan/intill borrhålen i tidigare omgång som har ett inflöde $\geq 0,09$ l/min. Kontrollhål borraras inte då täta borrhål uppvisats (inflöde < 0,09 l/min).

I Figur 3-6 visas basskärmen.



**Figur 3-6.** Baskärm; borrhålavstånd första omgången=2 m, Enbart 3 borrhål i omgång C är utritad för tydlighetens skull.

I genomförandet kan både injekteringstryck och geltider justeras beroende på observationer som görs vid stufv enligt de variabla parametrarna ovan. Val av brukstyp görs på basis av inflödet och beräknad hydraulisk sprickvidd.

Injekteringstiden är satt till 4/5 av geltiden vilket är kopplat till styrkan på gelen vid aktuell tidpunkt. Laboratorietester i en sprickreplik utförda på Chalmers visar att när injekteringen avslutas vid 4/5 av geltiden är skjuvhållfastheten tillräckligt hög och risken för bakåtflyde av silica sol är minimal. När observationer och analyser indikerar att skärmen inte blir tät, eller vid ändrade förutsättningar anpassas det fortsatta arbetet för att uppnå täthet. Följande förändringar har varit aktuella.

Parameter	Kriterium	Åtgärd
Borrhålsavstånd, c- avstånd	Medianvärde av inflödet i omg B $\geq$ Omg. A	Minska borrhålsavstånd.
Borrhålslängd	Samtliga borrhål skall penetrera förmodad struktur/sprickzon tolkad från förundersökningarna	Öka borrhålslängden.
Borrspetsens slutläge, stick	Används i skärmar innanför kontur	Ansättning och rikt/stick anpassas.
Användning av stufv injekteringshål	Extra säkerhet mot höga gradienter för kommande skärm, se kapitel 3.2.2.	3–4 borrhål borras i stufven, längd motsvarande skärmlängden. Injekteringsutförandet följer som för basskärm.
Injekteringstryck	Medianvärde av inflödet i omg A $\geq$ Omg. B	Öka injekteringstryck.
Geltid	Medianvärde av inflödet i omg A $\geq$ Omg. B	Öka geltid.
Stor bruksåtgång	Stor bruksåtgång, mer än 400 l.	Injektera stoppsats.

Borrhålsavståndet, c- avståndet, kan ändras på basis av resulterande medianinflöde för borrhålsomgångarna. Har inflödet minskat behålls borrhålsavståndet, om ingen minskning kunnat urskiljas trots att pumpningen fungerat som planerat minskas borrhålsavståndet. En stor bruksåtgång kan observeras när borrhålet tar mycket bruk, ytläckage detekteras på bergytter eller då hydrauliskt samband finns med andra borrhål. I samtliga dessa fall injekteras hela den första satsen, sedan injekteras en stoppsats (kortare geltid för silica sol, eller injekteringsbruk typ 2).

### 3.5 Design och genomförande av injekteringsskärmarna

I detta avsnitt visas hur projektet i varje skärmläge utgått från basdesignen varefter anpassning skett beroende på resultat av kontrollåtgärder och observationer.

#### 3.5.1 Skärm 1

Skärm 1A borrades med ett spetsavstånd på 2 m mellan borrhålen och totalt utfördes 21 borrhål i omgången. Borrhålen utfördes i olika längder, mellan 8–11,5 m. Borrgeometrierna följde således inte basskärmens utan anpassades i syftet att ge ett rätvinkligt påslag av skärm 2. Sticket var 4 m.

Inflöde, grundvattentryck och vattenförlust mättes i samtliga borrhål. Samtliga borrhål injekterades med silica sol då de beräknade hydrauliska sprickvidderna från inflödet var mindre än 150  $\mu\text{m}$ .

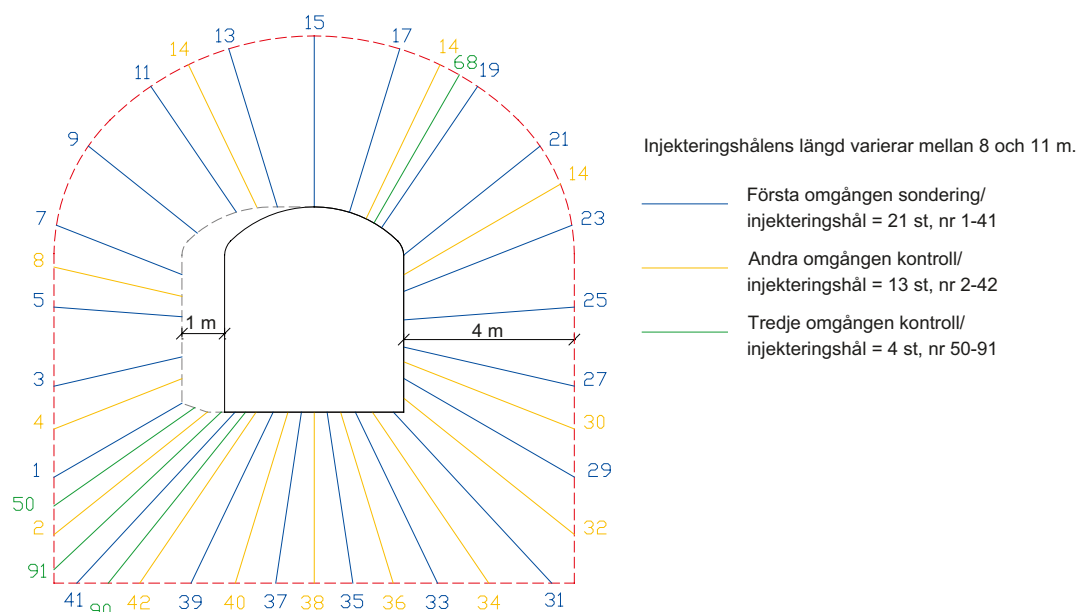
Övertrycket för injektering samt injekteringstiden var satt till 5 MPa respektive 31 min för borrhålen i höger vägg och 3 MPa respektive 50 min för vänster vägg. Geltiderna var 39 min för de högra borrhålen och 63 min för de vänstra. De kortare geltiderna på 39 minuter valdes med hänsyn till att begränsa inträngningen till Prototyp-tunneln som ligger till höger om TASS-tunneln. Geltider på 21 minuter användes efter det att ytläckage och hydrauliskt samband noterats i vägg.

Under injekteringen av omgång A användes 1 543 l silica sol som effektiv injekterad volym (= totalt pumpad volym – teoretisk borrhålsvolym).

I skärm 1B borrades 13 borrhål med samma stick. De placerades ut enligt kriterierna för kontrollhål. Tio av dessa borrhål bedömdes som täta, dvs med inläckage på mindre än 0,1 l/min eller en beräknad hydraulisk sprickvidd på mindre än 20  $\mu\text{m}$ . Tre av borrhålen läckte, bh nr 2, 40 och 42 och behövde åtgärdas, läget för dessa tre var i det nedre vänstra hörnet, se Figur 3-7.

Hydrauliska tester utfördes och utifrån utvärderingen injekterades samtliga 13 borrhål med silica sol. De tre läckande borrhålen injekterades sektionvis i två omgångar på grund av ytläckage. Den innersta sektionen från ca 4–11,5 m injekterades först och sedan den yttre sektionen från 1–4 m som innefattade den läckande sektionen med ytläckage. Ytläckaget noterades redan under vattenförlustmätningen. Den effektiva injekterade volymen var 107 l för samtliga 13 borrhål.





Figur 3-7. Borrhålslayout för skärm 1.

I skärm 1C borrades fyra kontrollhål för att kontrollera injekteringen i de tre föregående (läckande) borrhålen. Hydrauliska tester utfördes på nytt och utvärderingen visade att de skulle injekteras med silica sol. Totalt effektiv injekterad volym för dessa fyra borrhål var 408 l. Samtliga fyra borrhål uppvisade hydrauliskt samband med närliggande borrhål.

Resultat från skärm 1 sammanfattas i Tabell 3-5 och 3-6.

Tabell 3-5. Inflöde och tryck, skärm 1.

	Antal borrhål	Medelvärde inflöde [l/min]	Medianvärde inflöde [l/min]	Största inflöde [l/min]	Största mätta grundvattentryck [MPa]
Skärm 1A	21	2,7	0,3	27	3
Skärm 1B	13	1	0,01	8,4	3,1
Skärm 1C	4	0,6	0,003	2,2	3

Tabell 3-6. Injektering, skärm 1.

	Antal injekterade med silica sol	Antal injekterade med cement	Använda geltider [min]/ /Cementrecept	Effektivt injekterad volym [liter]	Kommentar
Skärm 1A	21	0	63, 39 och 21	1 543	Samband samt ytläckage
Skärm 1B	13	0	63, 39 och 21	107	Samband med närliggande bh
Skärm 1C	4	0	39	408	Samband med närliggande borrhål för alla 4 bh

### 3.5.2 Skärm 2

I skärm 2 anpassades spetsavståndet till 1,5 m. Detta gjordes då risk förelåg att påverka Prototyp-tunneln vilken är belägen ca 20 m från högra tunnelväggen. Ett mindre spetsavstånd gjorde att en mindre dimensionerande inträngningslängd kunde användas vilket begränsar inträngningslängden i den största förmodade hydrauliska sprickvidden, här bedömd till 150 µm.

Stuffhålen i skärm 2 bestod av tre stuffinjekteringshål samt ett observationshål. Längden på stuffhålen var 20 m.

På samma sätt som tidigare, för skärm 1, utfördes hydrauliska tester. Utifrån resultaten injekterades ett av stuffhålen med injekteringsbruk typ 1, se ovan kapitel 3.4.2, medan två hål injekterades med silica sol med en giltid på 25 min. Observationshålet manschetterades. Injekteringsbruk typ 1 valdes då flödet var relativt stort men framförallt för att vattenförlusten var stor och indikerade en hydraulisk sprickvidd på större än 150 µm. Totalt injekterades 273 liter som effektiv volym varav 109 liter var cementbaserat bruk och 164 liter silica sol.

Skärm 2A borrades med ett spetsavstånd på 1,5 m mellan borrhålen och totalt utfördes 31 borrhål i omgången. Borrhålen var 25 meter långa med ett stick på 5 m. En längre skärm valdes, då det fanns en indikation från förundersökningen att en tidigare identifierad kraftigt vattenförande struktur skulle passeras, se /Andersson et al. 2002 /, och längre borrhål behövdes för att fullständigt penetrera strukturen. Både längd på borrhål och sticket anpassades således.

Hydrauliska tester i skärm 2A utfördes; det största inflödet var 96 l/min, medan flertalet låg mellan 40 och 60 l/min. Resultaten från utvärderingen medförde att åtta borrhål injekterades med injekteringsbruk typ 1; totaltryck på 10 MPa och injekteringstid på 45 min, tre borrhål injekterades med silica sol med en giltid på 25 min; totaltryck på 7 MPa och en injekteringstid på 20 min medan 20 borrhål injekterades med silica sol med giltid på 39 min; totaltryck på 6 MPa och injekteringstid på 31 min.

Under injekteringen av omgång A användes 1 287 l som effektivt injekterad volym. Tre av borrhålen stod för den största bruksåtgången: 787, 287 respektive 188 l. Det första borrhålet som injekterades tog 787 l cementbaserat bruk. Bruksåtgången var större än förväntat och i detta hål fick en så kallad stoppsats injekteras. Stoppsatsen blandades på samma sätt som halfyllnadsbruket fast med UF 16 istället för INJ 30, se ovan kapitel 3.4.2. I skärm 2A konstaterades omfattande hydrauliskt samband med andra borrhål vilket också antyds av de stora bruksåtgångarna.

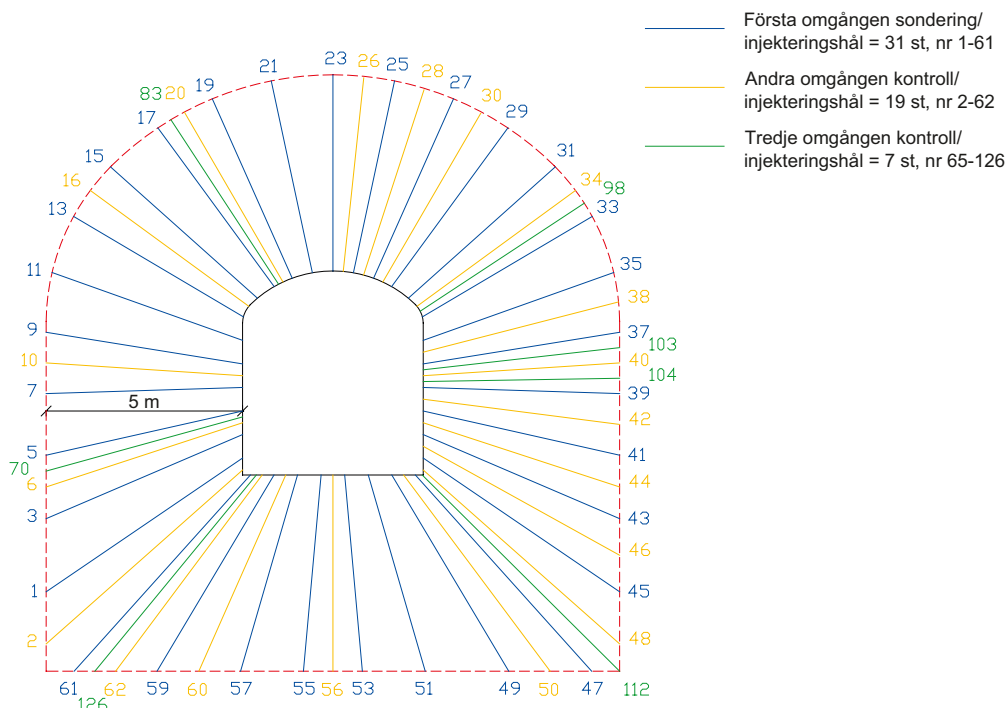
I skärm 2B borrades 19 borrhål, ansatta enligt kriterierna för kontrollhål, vilket resulterade i att hålen blev relativt jämnt utspridda över skärmen. Från de hydrauliska testerna bedömdes 12 av de 19 kontrollhålen som täta, och inga ytterligare kontrollhål behövde borraras intill dessa. Sju av borrhålen läckte och behövde åtgärdas: bh nr 6, 16, 26, 38, 40, 42 och 48. De tre första borrades mellan tidigare silica sol-injekterade borrhål och de fyra sista borrhålen borrades där cementbaserat bruk tidigare var injekterat, se Figur 3-8.

Injektering av samtliga 19 borrhål i skärm 2B utfördes med silica sol, giltid 25 min, totaltryck på 8 MPa och en injekteringstid på 20 min. Effektiv injekteringsvolym var 132 l och i denna skärm sågs tre hydrauliska samband med andra hål samt två större ytläckage.

I skärm 2C borrades sju kontrollhål. Det största inflödet var i borrhål 98 med ett flöde på 0,19 l/min. Övriga sex borrhål hade inflöden på mindre än 0,08 l/min. Samtliga sju borrhål injekterades med silica sol på samma sätt som för skärm 2B. En effektiv injekterad volym av 218 l gick åt och inga ytterligare kontrollhål borrades.

Resultat från skärm 2 sammanfattas i Tabell 3-7 och 3-8. Observationshålet manschetterades och testades hydrauliskt mellan varje injektering. Observationshålet ingår inte som stuffinjekteringshål och utgör således inte del av medel- och medianvärden.





Figur 3-8. Borrhålslayout för skärm 2.

Tabell 3-7. Inflöde och tryck, skärm 2 med stuffinjekteringshål.

	Antal borrhål	Medelvärde inflöde [l/min]	Medianvärde inflöde [l/min]	Största inflöde [l/min]	Största mätta grundvattentryck [MPa]
Observationshål	1	17,4			3,1
Stuffinjekteringshål	3	7,3	8,5	9,2	3,1
Observationshål	1	5,4	–	–	3,1
Skärm 2A	31	22,7	10,0	96	2,9
Observationshål	1	0,3	–	–	2,2
Skärm 2B	19	0,1	0,1	1,2	2,7
Observationshål	1	0,1	–	–	2,1
Skärm 2C	7	0,1	0,0	0,2	–
Observationshål	1	0,1	–	–	–

Tabell 3-8. Injektering, skärm 2.

	Antal injekterade med silica sol	Antal injekterade med cement	Använda geltider [min]/ /Cementrecept	Effektivt injekterad volym [liter]	Kommentar
Stuffinj.hål	2	1	25/Inj.bruk typ 1	273	
Skärm 2A	23	8	39 och 25 / Inj.bruk typ 1 samt ett modifierat hållfyllnadsbruk	1 287	Samband samt ytläckage
Skärm 2B	19	0	25 och 38	132	Samband med närliggande borrhål
Skärm 2C	7	0	25	218	Samband

\* Bruksatgången var stor och ett mer trögflytande bruk valdes. Grundreceptet var hållfyllnadsbruket med INJ30 utbytt mot UF16, se också text ovan.

Injekteringen visade generellt på flertalet hydrauliska samband mellan borrhålen.

### 3.5.3 Skärm 3

Samma design som för skärm 2 användes, men borrhåls längden valdes att återgå till ursprungsplanen med 20 m långa borrhål. Stuffhålen i skärm 3 bestod av fyra stuffinjekteringshål varav ett var det tidigare långa kärnborrhålet KI0014B01 från förundersökningarna. Längden på stuffhålen var 20 m. Det stuffinjekterade kärnborrhålet från föregående injekteringskärm läckte varvid det valdes att borra upp det till en längd av 20 m. De hydrauliska testerna visade att det största inflödet var i kärnborrhålet, 61 l/min, medan de tre andra hade ett inflöde på 3,4; 3,0 respektive 0,4 l/min. Samtliga borrhål injekterades med injekteringsbruk typ 1. Under pumpningen av kärnborrhålet var bruksåtgången stor och efter att 350 l hade pumpats in blandades en stoppsats och ytterligare 100 l pumpades in. Trycket kom inte upp i designtrycket på 10 MPa vid den första pumpningen med typ 1 medan ett tryck på nära 10 MPa uppnåddes under den sista pumpningen. Totalt injekterades 422 l där kärnborrhålet stod för den största volymen, 393 l.

Skärm 3A borrades med ett spetsavstånd på 1,5 m mellan borrhålen och totalt utfördes 31 borrhål i omgången. Längderna på borrhålen var 20,5 m med ett stick på 5 m.

Hydrauliska tester i skärm 3A visade att det största inflödet var på 4,5 l/min medan flertalet borrhål hade ett inflöde på mindre än 1 l/min. Samtliga borrhål injekterades med silica sol, totaltryck på 7,7 MPa, geltid på 25 min och en injekteringstid på 20 min. Ett av hålen fick injekteras i två sektioner då ytläckage noterades vid vattenförlustmätningen.

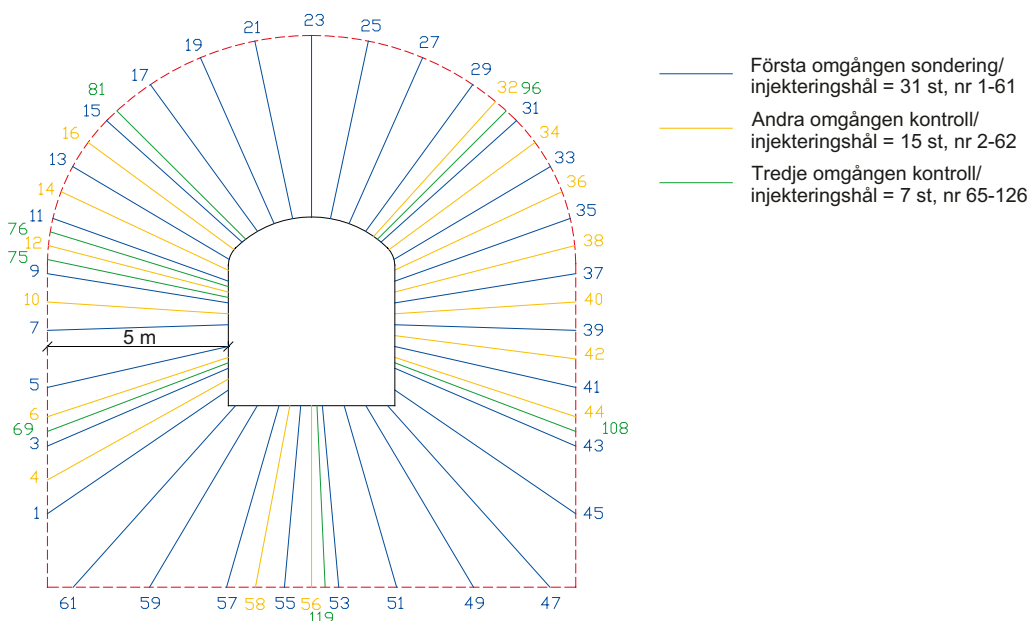
Under injekteringsomgång A användes 225 l som effektivt injekterad volym. Fyra av hålen pumpades ej till sluttid eller kom ej upp till designtryck p g a ytliga slag eller stor bruksåtgång. I dessa hål pumpades en stoppsats med kortare geltid (11–15 min).

I skärm 3B borrades 15 borrhål till en längd av 19,5 m relativt utspritt över skärmen. Sex av de 15 kontrollborrhålen bedömdes täta. Borrhål nummer 42, placerat i höger vägg hade det största inflödet (1,8 l/min), se Figur 3-9.

Injektering av samtliga 15 borrhål i skärm 3B utfördes med silica sol. Ett borrhål valdes att injekteras med en kort geltid (11 min) då vattenförlustmätningen visade på tydligt ytläckage. Övriga borrhål injekterades som skärm A; geltid 25 min. Effektiv injekteringsvolym var 350 l varav två av borrhålen stod för den största bruksåtgången; 121 respektive 181 l. Vid pumpning av fyra av hålen sågs ytläckage i stuffen och till ett av borrhålen fick en stoppsats blandas.

I skärm 3C borrades sju kontrollhål. Utifrån inflödet bedömdes samtliga borrhål vara täta. Borrhålen injekterades med silica sol på samma sätt som för skärm 3B. Ett borrhål från skärm 3B ominjekterades då ytläckage noterades under injekteringen. En effektiv volym på 66 l injekterades.

Resultat från skärm 3 sammanfattas i Tabell 3-9 och 3-10.



Figur 3-9. Borrhålslayout för skärm 3.

**Tabell 3-9. Inflöde och tryck, skärm 3.**

	Antal borrhål	Medelvärde inflöde [l/min]	Medianvärde inflöde [l/min]	Största inflöde [l/min]	Största mätta grundvattentryck [MPa]
Stuffinj.hål	4	16,9	3,2	61	3,2
Skärm 3A	31	0,7	0,3	4,5	3,4
Skärm 3B	15	0,3	0,1	1,8	3,1
Skärm 3C	7	0,02	0,02	0,07	1,5

**Tabell 3-10. Injektering, skärm 3.**

	Antal injekterade med silica sol	Antal injekterade med cement	Använda geltider [min]/ /Cementrecept	Effektivt injekterad volym [liter]	Kommentar
Stuffinj.hål	0	4	Typ 1	422	
Skärm 3A	31	0	25 och 14 min	425	
Skärm 3B	15	0	25 och 11 min	350	Ytläckage i stuff samt stor bruksåtgång
Skärm 3C	7	0	25 min	66	Geltiderna 4 min för långa för 4 av borrhålen

### 3.5.4 Skärm 4

Skärm 4 utfördes med borrhålen innanför tunnelkonturen, där både ansättning och slutpunkt skall ligga innanför tunnelkontur. Designen gällande tryck och tider samt borrhål med 1,5 m spetsavstånd och överlapp för inträngningen i minsta dimensionerande spricka om 50 % behövs. Dock var borrhålsayouten helt annorlunda då samtliga borrhål var innanför tunnelkonturen.

Stuffhålen i skärm 4 bestod av tre stuffinjekteringshål. Längden på stuffhålen var 20 m. De hydrauliska testerna visade att det största inflödet var 0,8 l/min och att grundvattentrycket som mest var 2,9 MPa. Samtliga borrhål injekterades med injekteringsbruk typ 1 med ett totaltryck på 10 MPa och en injekteringstid på 45 minuter. Totalt injekterades 36 l som effektiv injekteringsvolym.

Skärm 4A borrades med ett spetsavstånd på 1,5 m och totalt utfördes nio borrhål i omgången. Riktningen var i både höjd- och sidled parallell med tunnelriktningen. Längderna på borrhålen var 20 meter. Ansättningen var 60 cm innanför teoretisk tunnelkontur.

De hydrauliska testerna i skärm 4A visade att det största inflödet var 0,6 l/min medan flertalet borrhål hade ett inflöde på mindre än 0,1 l/min. Samtliga borrhål injekterades med silica sol; totaltryck på 6,2 MPa, geltid på 39 min och injekteringstid på 31 min vilket gav en teoretisk inträngningslängd på 1,2 m i den dimensionerande sprickvidden på 10 µm.

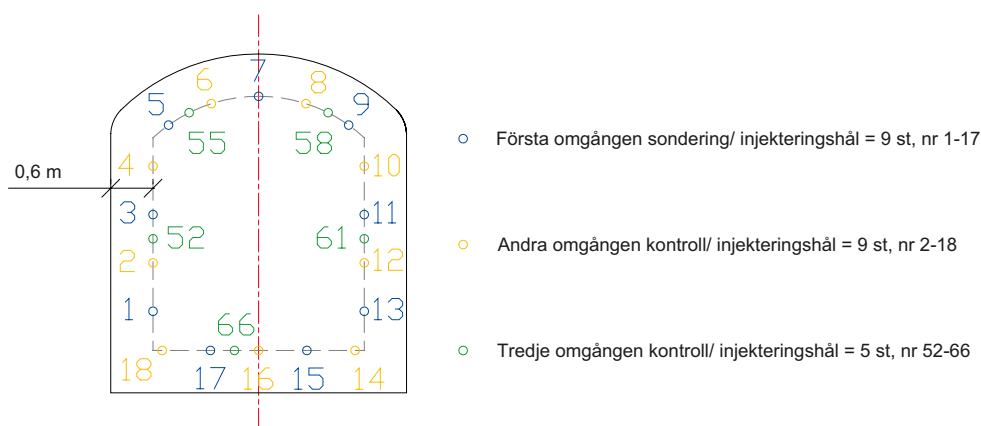
Under injekteringen av omgång 4A användes 46 l som effektivt injekterad volym. I ett av borrhålen var geltiden 2 minuter för lång och i ett annat 3 minuter för kort.

I skärm 4B borrades nio borrhål till en längd av 19 m. Sju av de nio kontrollborrhålen bedömdes vara täta. De två mindre täta borrhålen hade ett inflöde på 0,4 respektive 0,3 l/min och är placerade i höger vägg respektive i vänstra delen av sulan, Figur 3-10.

Injektering av samtliga nio borrhål i skärm 4B utfördes med silica sol på samma sätt som för skärm 4A; totaltryck 6,2 MPa, injekteringstid 31 min. Effektiv injekteringsvolym var 52 l med en relativt jämn fördelning av bruksåtgång mellan alla nio borrhålen.

I skärm 4C borrades fem kontrollhål, jämt fördelade runt skärmen. Största inflödet var 0,1 l/min. Tre borrhål var täta. Borrhålen injekterades med silica sol på samma sätt som för skärm 4A och 4B. En effektiv volym på 21 l injekterades.

Resultat från skärm 4 sammanfattas i Tabell 3-11 och 3-12.



Figur 3-10. Borrhålslayout för skärm 4.

Tabell 3-11. Inflöde och tryck, skärm 4.

	Antal borrhål	Medelvärde inflöde [l/min]	Medianvärde inflöde [l/min]	Största inflöde [l/min]	Största mätta grundvattentryck [MPa]
Stuffinj.hål	3	0,5	0,5	0,8	2,9
Skärm 4A	9	0,1	0,1	0,6	2,8
Skärm 4B	9	0,1	0,0	0,4	–
Skärm 4C	5	0,0	0,0	0,1	–

Trycket mättes inte i skärm 4B och C.

Tabell 3-12. Injektering, skärm 4.

	Antal injekterade med silica sol	Antal injekterade med cement	Använda geltider [min]/ /Cementrecept	Effektivt injekterad volym [liter]	Kommentar
Stuffinj.hål	0	3	Typ 1	36	
Skärm 4A	9	0	39	46	
Skärm 4B	9	0	39	52	
Skärm 4C	5	0	39	20	

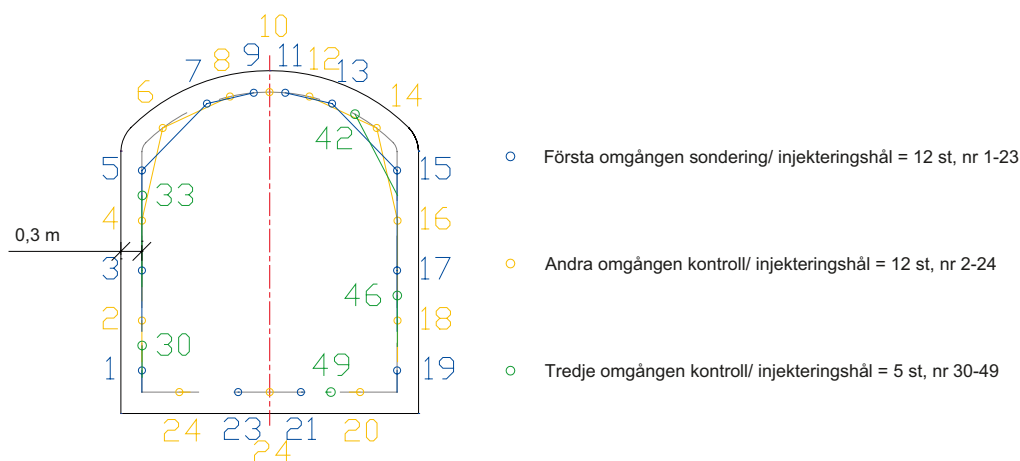
### 3.5.5 Skärm 5

Skärm 5 är liksom skärm 4 utförd innanför tunnelkontur. Däremot skiljer de sig genom att borrhålsriktningen i skärm 5 generellt var riktad så att det ena borrhålets ansättningspunkt var det närliggande borrhålets slutpunkt. Detta gjordes för att öka möjligheten för borrhålen att penetrera även de flackt lutande sprickplanen. Ansättningspunkterna skulle alla ligga 30 cm innanför teoretisk tunnelkontur. Basdesignen ändrades således när det gällde hålspetsavståndet men också injekteringsmässigt med generellt sett längre geltider för att få en längre inträngningslängd och på så sätt en större tätad zon.

Stuffhålen i skärm 5 bestod av fyra stuffinjekteringshål. Längden på stuffhålen var 20 m. De hydrauliska testerna visade att det största inflödet var 2,7 l/min och grundvattentrycket var 3,5 MPa, som mest. Samtliga borrhål injekterades med silica sol; totaltryck på 7,5 MPa, geltid på 39 min och en injekteringstid på 31 min. Detta ger en teoretisk inträngningslängd i minsta dimensionerande spricka om 1,4 m. Totalt injekterades 485 l som effektiv injekteringsvolym, varav två av borrhålen stod för den största bruksåtgången.

I Skärm 5A utfördes tolv borrhål, spetsavstånden varierade mellan ca 1,5 m till 2,5 m. Längd på borrhålen var 20 m.

Hydrauliska tester i skärm 5A visade att det största inflödet var 2,6 l/min medan flertalet borrhål hade ett inflöde på mindre än 0,1 l/min. Samtliga borrhål injekterades med silica sol; totaltryck på 10 MPa, geltid på 89 min och en injekteringstid på 71 min vilket gav en teoretisk inträngningslängd på 2,5 m i den dimensionerande sprickvidden.



Figur 3-11. Borrhålslayout för skärm 5.

Under injekteringen av omgång A användes 126 l som effektivt injekterad volym. I ett av borrhålen var geltiden 10 minuter för lång.

I skärm 5B borrades tolv borrhål till en längd av 19 m. Elva av de tolv kontrollhålen bedömdes vara täta. Det största inflödet var i borrhål 10 (0,1 l/min), se Figur 3-11.

Samtliga tolv borrhål injekterades på samma sätt som för borrhålen i omgång A. Effektiv injekteringsvolym var 322 l. Två hydrauliska samband med andra borrhål noterades. Borrhål nr 6 hade störst bruksåtgång.

I skärm 5C borrades fem kontrollhål, jämnt fördelade runt skärmen. Samtliga borrhål bedömdes som täta. Det största inflödet var 0,01 l/min. Borrhålen injekterades med silica sol; totaltryck var 10 MPa, geltid på 25 min och en injekteringstid på 20 min. En effektiv volym på 14 l injekterades.

Resultat från skärm 5 sammanfattas i Tabell 3-13 och 3-14.

Tabell 3-13. Inflöde och tryck, skärm 5.

	Antal borrhål	Medelvärde inflöde [l/min]	Medianvärde inflöde [l/min]	Största inflöde [l/min]	Största mätta grundvattentryck [MPa]
Stuffinj.hål	4	0,8	0,3	2,7	3,5
Skärm 5A	12	0,4	0,1	2,6	3,4
Skärm 5B	12	0,0	0,0	0,1	0,2
Skärm 5C	5	0,0	0,0	0,01	–

Tabell 3-14. Injektering, skärm 5.

	Antal injekterade med silica sol	Antal injekterade med cement	Använda geltider [min]/Cementrecept	Effektivt injekterad volym [liter]	Kommentar
Stuffinj.hål	4	0	39	485	
Skärm 5A	12	0	89	126	
Skärm 5B	12	0	89	322	
Skärm 5C	5	0	25	14	Samband med två borrhål

## 4 Sammanställning av resultat

Resultat i detta kapitel redovisas som inflödet i borrhålen för varje borrhålsomgång. Utifrån medianinflödet beräknas även en transmissivitet för omgången. Där data finns redovisas även flödet i mätvallarna.

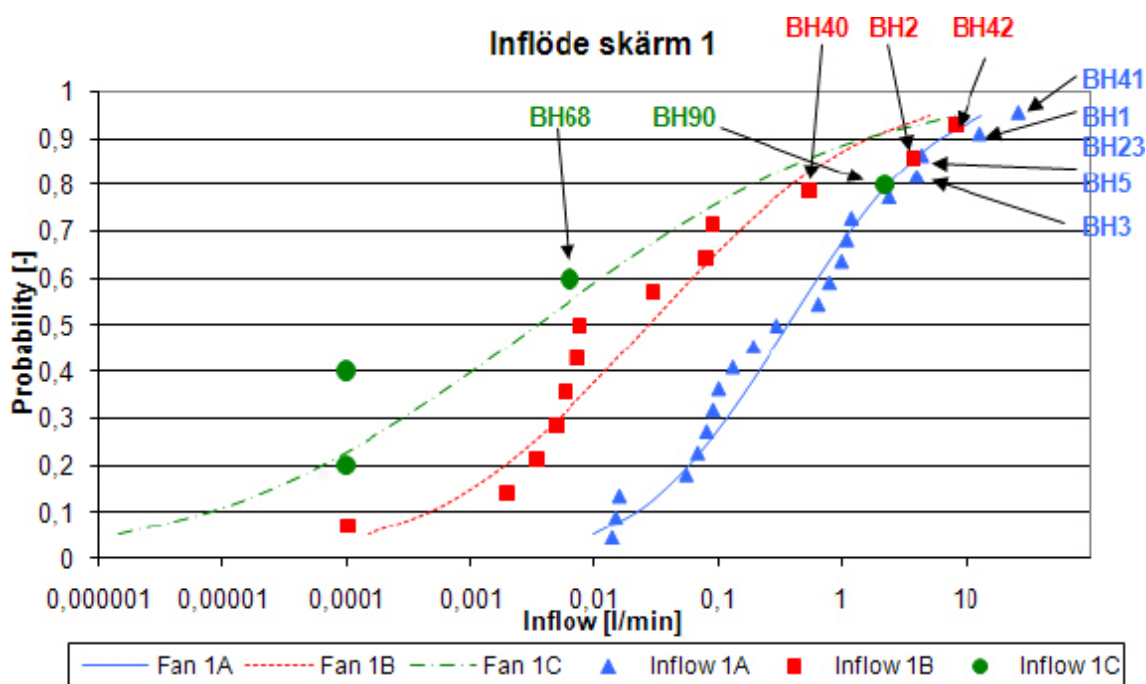
### 4.1 Etapp 1

Etapp 1 omfattar resultat från skärm 1.

#### 4.1.1 Resultat skärm 1

Alla resultat återfinns i tabeller i Bilaga 4.1.a-i. I Figur 4-1 visas inflödet som mätta inflöden plottade som en kumulativ fördelning samt den anpassade log-normalfördelningen i syfte att åskådliggöra tätningseffekten. I diagrammet är även vissa borrhål markerade för att tydliggöra deras placering i skärmen, se Figur 3-6, borrhålslayout för skärm 1.

Medianvärdena ( $p = 0,5$ ) av inflödet för varje omgång är summerade i Tabell 4-1. Transmissiviteten är antagen att vara lika med den specifika kapaciteten ( $Q/dh$ ). Flödet är medianinflödet som utläses från diagrammet. Trycket varierar längs tunnelsträckningen i det oinjekterade berget, från ca 3 MPa i skärm 1, till 3,5 MPa i skärm 5.



Figur 4-1. Inflöden och anpassade log-normallinjer för varje borrhålsomgång.

Tabell 4-1. Beräknad mediantransmissivitet för skärm 1, utifrån log-normalkurvorna. Grundvattentryck = 3 MPa.

Omgång	Medianinflöde [l/min]	Beräknad median transmissivitet ( $T=Q/dh$ ) [ $m^2/s$ ]
A	0,366	$2,0 \times 10^{-08}$
B	0,027	$1,5 \times 10^{-09}$
C	0,003	$1,9 \times 10^{-10}$

### 4.1.2 Sammanfattning resultat etapp 1: skärm 1

Den första etappen hade syftet att utrustning och metodik skulle testas under full produktion samtidigt som rutiner för datahantering och beslutsvägar kontrollerades. Skärmens geometri anpassades efter det sneda påhugget. Injekteringen av skärm 1 var fullgod efter tre omgångar och totalt 38 borrhål. Totalt sänktes inflödet i kontrollhålen med en faktor 100, från 0,4 l/min till ca 0,004 l/min. Flera hydrauliska samband och injekteringsmedel som flödade tillbaka ut ur bergväggen noterades.

Geltiderna stämde bra, ungefär  $\pm 1$  min. Gelningskontrollerna visade att geltiderna kan variera mellan olika silica sol-leveranser varför beslut togs att fortsättningsvis göra minst en provblandning inför varje injekteringsomgång.

Injekteringsutrustningen gav stabila tryck och kapaciteten på pumpen medförde att injekteringstrycket uppnåddes snabbt. Datahanteringen från utrustningen krävde dock mycket manuellt arbete, bland annat utfördes handskrivna protokoll, vilket inte hade varit nödvändigt i samma utsträckning om en mer automatiserad injekteringsutrustning hade använts.

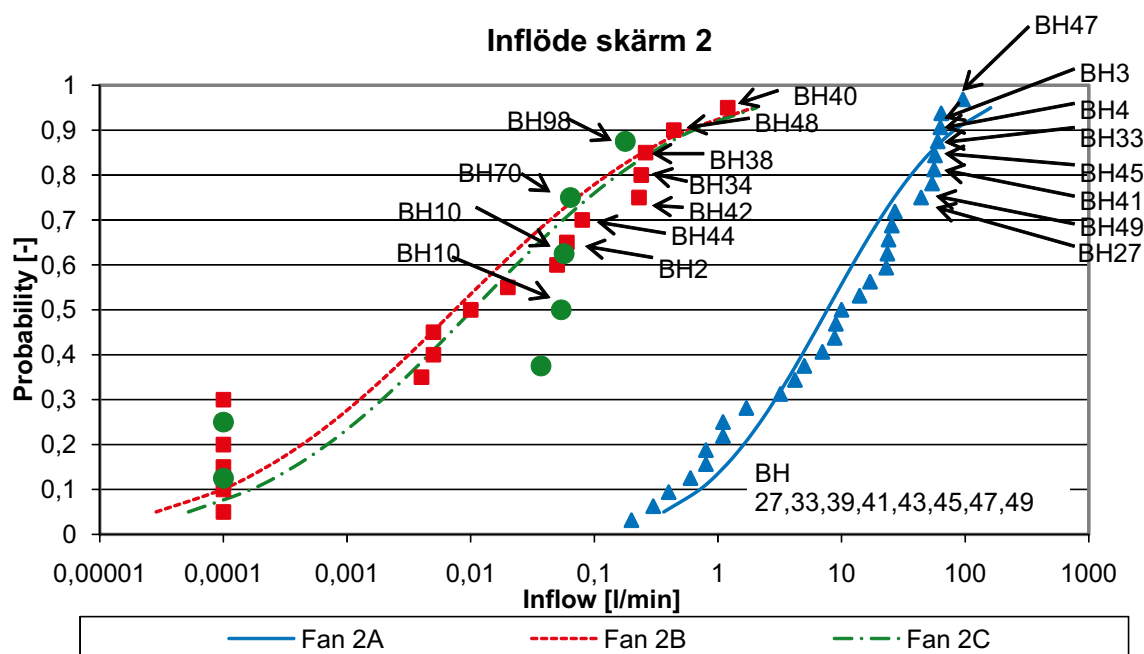
## 4.2 Etapp 2

Etapp 2 innefattar resultat från skärm 2 och skärm 3, vilka redovisas separat nedan.

### 4.2.1 Resultat skärm 2

Alla resultat för skärm 2 återfinns i tabeller i Bilaga 4.2.a–m. I Figur 4-2 visas inflödet som de mätta inflödena plottade som en kumulativ fördelning samt den anpassade log-normalfördelningen i syfte att åskådliggöra tätningseffekten. I diagrammet är även vissa borrhål markerade för att tydliggöra deras placering i förhållande till hur skärmen borrades, se Figur 3-7, layout för skärm 2.

Medianvärdena ( $p = 0,5$ ) för varje omgång är summerade i Tabell 4-2. Transmissiviteten är antagen att vara lika med den specifika kapaciteten ( $Q/dh$ ). Flödet är medianinflödet som utläses från diagrammet.



Figur 4-2. Inflöden och anpassade log-normallinjer för varje borrhålsomgång.

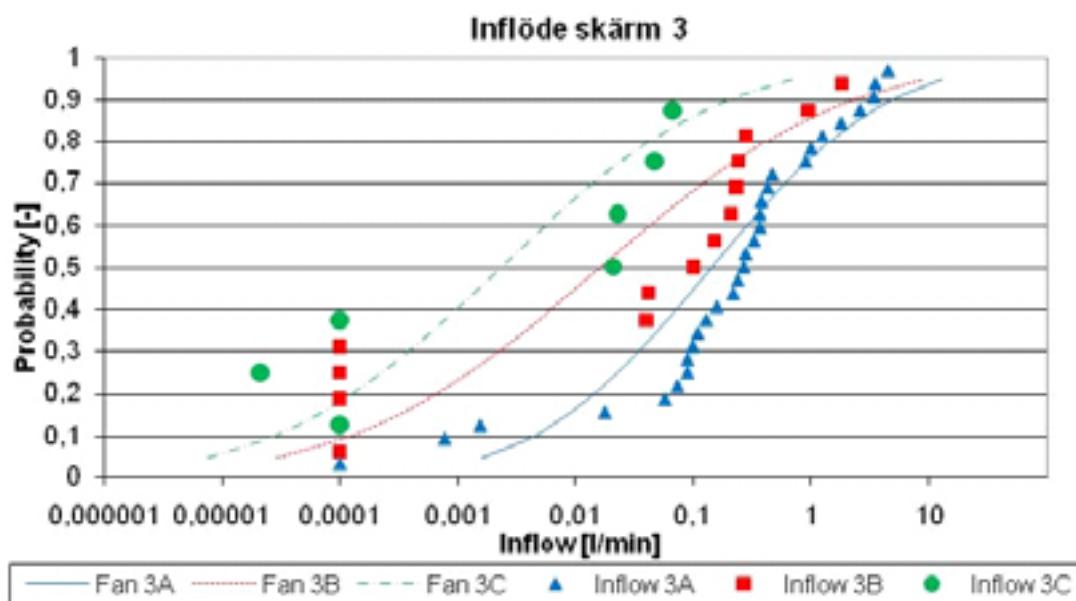
**Tabell 4-2. Beräknad mediantransmissivitet för skärm 2, utifrån log-normalkurvorna. Grundvattentryck = 3,1 MPa.**

Omgång	Medianinflöde [l/min]	Beräknad median transmissivitet ( $T=Q/dh$ ) [ $m^2/s$ ]
A	7,666	$4,1 \times 10^{-07}$
B	0,007	$4,0 \times 10^{-10}$
C	0,010	$5,6 \times 10^{-10}$

#### 4.2.2 Resultat skärm 3

Alla resultat för skärm 3 återfinns i tabeller i Bilaga 4.3.a–l. I Figur 4-3 är en log-normalfördelning anpassad till inflödena.

Medianvärdena ( $p = 0,5$ ) för varje omgång är summerade i Tabell 4-3. Transmissiviteten är antagen att vara lika med den specifika kapaciteten ( $Q/dh$ ). Flödet är medianinflödet som utläses från diagrammet. Det högsta trycket mätt i skärmen är 3,4 MPa.



*Figur 4-3. Inflöden och anpassade log-normallinjer för varje borrhålsomgång.*

**Tabell 4-3. Beräknad mediantransmissivitet för skärm3, utifrån log-normalkurvorna. Grundvattentryck = 34 MPa.**

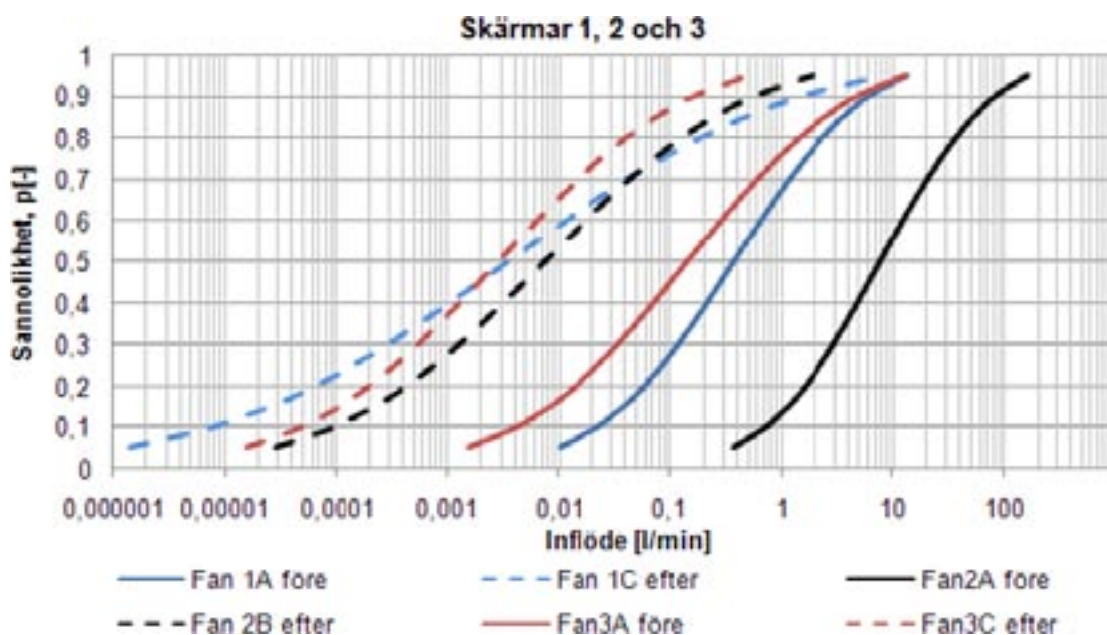
Omgång	Medianinflöde [l/min]	Beräknad median transmissivitet ( $T=Q/dh$ ) [ $m^2/s$ ]
A	0,143	$7,0 \times 10^{-09}$
B	0,016	$7,9 \times 10^{-10}$
C	0,002	$1,1 \times 10^{-10}$



### 4.2.3 Sammanfattning resultat mätt i borrhål etapp 2: skärm 2 och 3

Syftet med den andra etappen var att visa att kravet på inläckage på 1 l/min och 60 m tunnel kan nås med injekteringsskärmar placerade utanför tunnelkontur. För att åskådliggöra tätningseffekten för samtliga skärmar utanför kontur redovisas även skärm 1 i Figur 4-4. I figuren visas inflödet i borrhålen före injektering i omgång A och resulterande kontrollomgångens (B eller C) inflöde. Efter att de hydrauliska testerna är utförda injekteras alla borrhål enligt basdesign eller anpassad basdesign.

De tolkade medianinflödena och beräknade resulterande transmissiviteterna är sammanställda i Tabell 4-4. För beräkning av transmissiviteten har det största uppmätta trycket använts.



Figur 4-4. Skärm 1, 2 och 3: inflöden före injektering samt resulterande inflöden i kontrollhålen.

Tabell 4-4. Resulterande medianinflöden och transmissiviteter för kontrollhålen i skärm 1, 2 och 3.

Skärm Nr	Medianinflöde före injektering [l/min]	Medianinflöde efter injektering [l/min]	Beräknad resulterande mediantransmissivitet ( $T=Q/dh$ ) [ $m^2/s$ ]
1	0,366	0,003	$1,9 \times 10^{-10}$
2	7,666	0,007	$4,0 \times 10^{-10}$
3	0,143	0,002	$1,1 \times 10^{-10}$

#### 4.2.4 Resultat mätvall, etapp 2: sektion 10–34 m

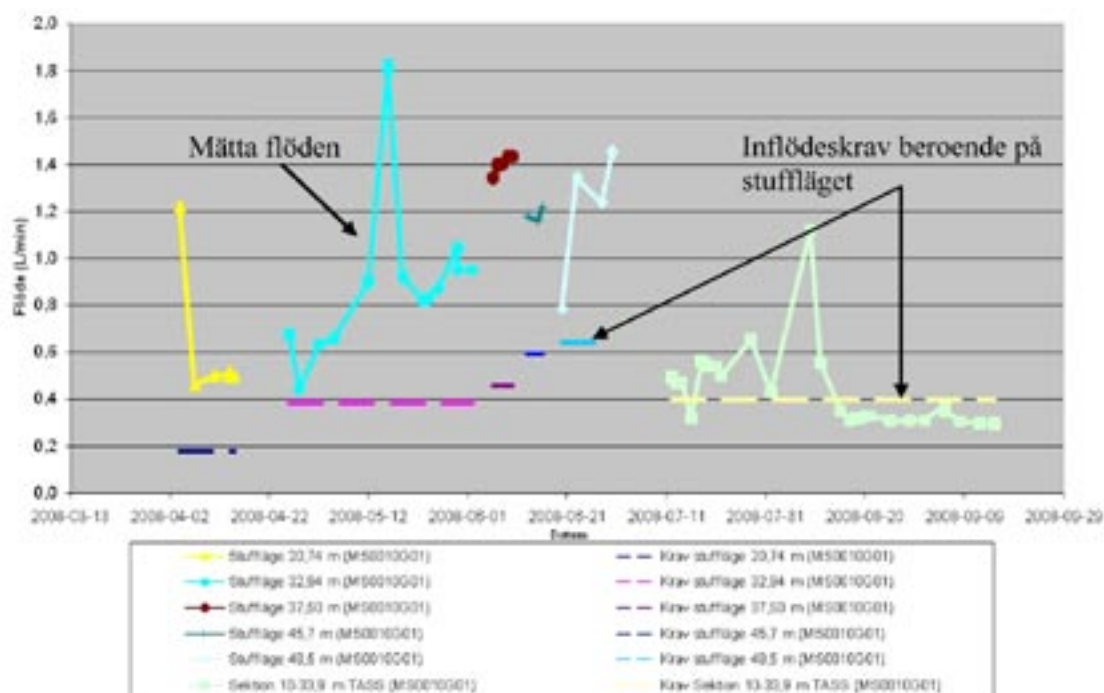
Mätvall 1 som mäter inläckaget för etapp 2 är placerad i sektion 10 m. Detta innebär att mätvallen mäter inläckaget i sektion 10–34 m, se Figur 1-2.

Mätt flöde i mätvall nr 1 redovisas i Figur 4-5.

Under juli 2008 utfördes en fullständig sulrensning för att upptäcka eventuella punktläckage. Under denna aktivitet upptäcktes ett läckande borrhål i sulan i skärm 3 (borrhål SS0020A04 i vänster vägg/sula). Sedan det läckande borrhålet efterinjekterats den 15 augusti 2008 sjönk flödet från ca 0,5 l/min till 0,3 l/min. Det lägre flödet på 0,3 l/min i mätvallen registrerades direkt efter åtgärden med flödesgivaren, och bekräftades också av de manuella mätningarna. De höga topparna i diagrammet visar tidpunkter då mätvallen är fylld, varefter flödet stabiliseras.

#### 4.2.5 Resultat droppkaraktiseringen, etapp 2: sektion 10–33

Den senaste droppkaraktiseringen av sektionen 10–33 m utfördes under juli 2008. Karteringen visar att det finns ca fem ställen varifrån det droppar eller rinner i taket. Samtliga ställen hamnar inom gruppen med flöden mellan 0,001 till 0,03 l/min (6 till 200 droppar per minut). Det totala inläckaget till tunneln, i sektionen 10–33 m som utgörs av takdropp är ca 0,03 l/min, se Tabell 4-5.



*Figur 4-5. Flödet i mätvall nr 1 (fullständig benämning MS0010G01) mätt med digital flödesgivare, samt täthetskrav (streckat) vid aktuella stufflägen. Mätvallen har fyllts med vatten inför varje helg och sedan har flödet mätts kontinuerligt under helgen samt måndag morgon.*

**Tabell 4-5. Resultat av droppkaraktisering mellan sektion 10 m och 33 m, innanför mätvall 1. Se även Bilaga 3.1.**

Grupp	Antal dropp [droppar/min]	Flöde [l/min]	Kategori
D1	–	0.0041	Fukt
D2	–	0.0039	Fukt med sporadiskt dropp
D3	122	0.0219	Kontinuerligt dropp
D4	–	0	Flödande
Total	122	0.0299	

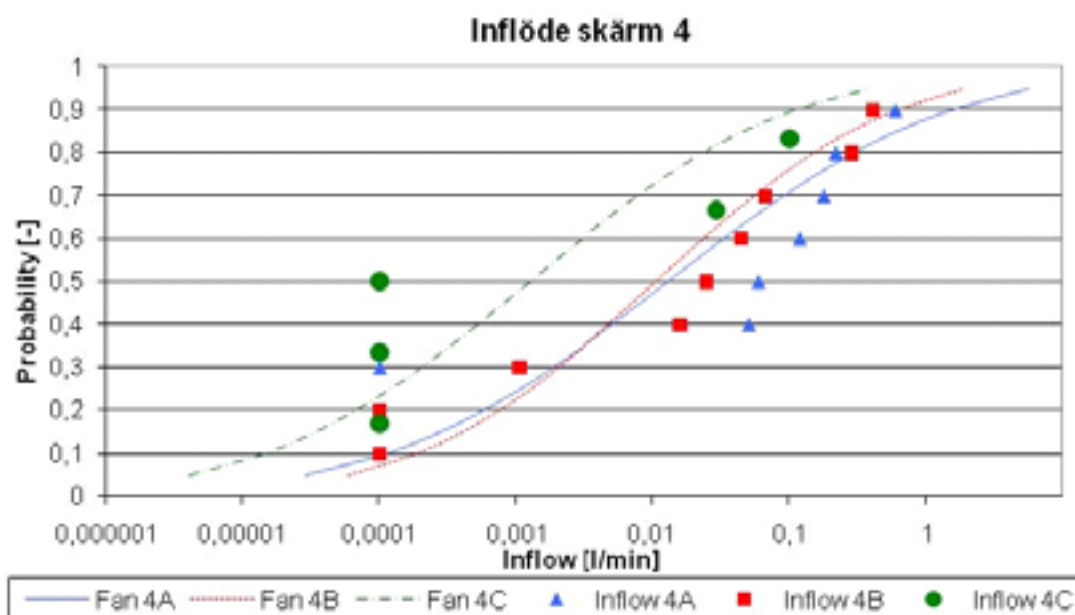
### 4.3 Etapp 3

Nedan redovisas resultaten från skärm 4 och 5, dvs etapp 3.

#### 4.3.1 Resultat skärm 4

Alla resultat för skärm 4 återfinns i tabeller i Bilaga 4.4.a-l. På samma sätt som tidigare är en log-normalfördelning anpassad till inflödena i Figur 4-6.

Medianvärdena ( $p = 0,5$ ) för varje omgång är summerade i Tabell 4-6 tillsammans med de beräknade transmissiviteterna. I läget för denna injekteringsskärm sågades i tunnelväggen ut ca 0,5 m djupa block för att studera EDZ (Excavated Damaged Zone). Genomförandet av sågningen innebär att 18 borrhål ca 2–2,5 m långa, med diametern ca 300 mm borrhades vinkelrätt ut i väggen. Sektionen som blocken sågades ut i var mellan 36–44.



Figur 4-6. Inflöden och anpassade log-normallinjer för varje borrhålsomgång.

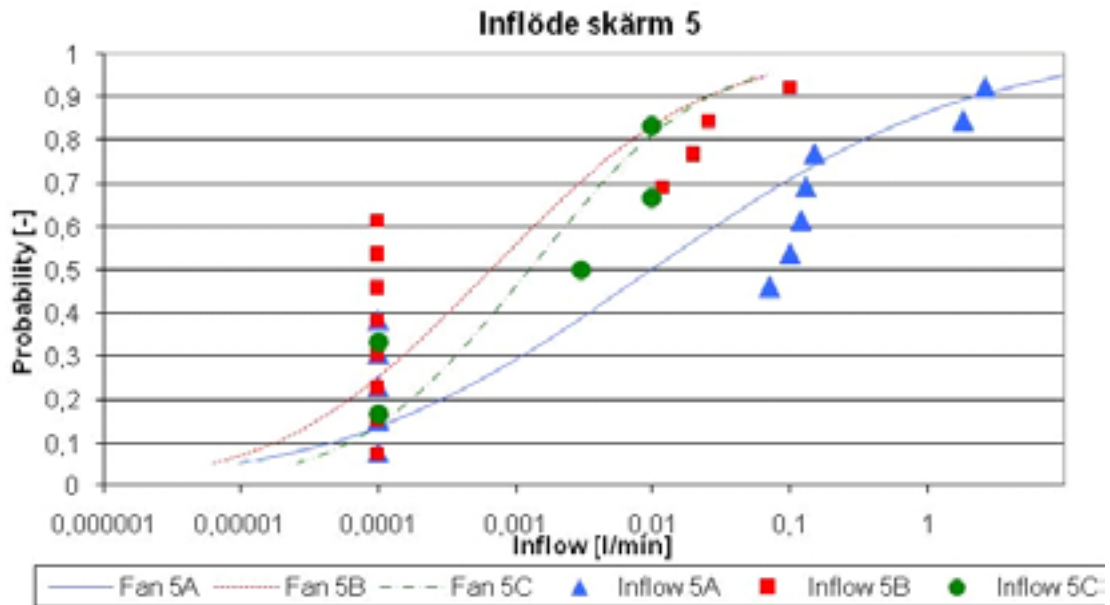
Tabell 4-6. Beräknad mediantransmissivitet för skärm 4, utifrån log-normalkurvorna. Grundvattentryck = 2,9 MPa.

Omgång	Median inflöde [l/min]	Beräknad median transmissivitet ( $T=Q/dh$ ) [ $m^2/s$ ]
A	0,013	$7,3 \times 10^{-10}$
B	0,010	$6,0 \times 10^{-10}$
C	0,001	$7,1 \times 10^{-11}$

### 4.3.2 Resultat skärm 5

Alla resultat från skärm 5 återfinns i tabeller i Bilaga 4.5.a-1. På samma sätt som tidigare är en log-normalfördelning anpassad till inflödena i Figur 4-7.

Medianvärdena ( $p = 0,5$ ) samt de beräknade transmissiviteterna för varje omgång är summerade i Tabell 4-7.



Figur 4-7. Inflöden och anpassade log-normallinjer för varje borrhålsomgång.

Tabell 4-7. Beräknad mediantransmissivitet för skärm 5, utifrån log-normalkurvorna. Grundvattentryck = 3,5 MPa.

Omgång	Median inflöde [l/min]	Beräknad median transmissivitet ( $T=Q/dh$ ) [ $m^2/s$ ]
A	0,010	$4,7 \times 10^{-10}$
B	0,001	$3,1 \times 10^{-11}$
C	0,001	$5,9 \times 10^{-11}$

### 4.3.3 Sammanfattning resultat mätt i borrhål etapp 3: skärm 4 och 5

Inga tidigare erfarenheter finns från injekterings-skärmar innanför kontur. Designen av skärm 4 utgick ifrån att ansättningen av borrhålen av spräng- och borrhåletekniska skäl skulle vara 60 cm innanför teoretisk kontur samt att samtliga borrhål skulle vara parallella med tunnelriktningen. Vidare var utgångspunkten i basdesignen som tidigare, baserat på ett överlapp av inträngningslängden av injekteringsmedel mellan borrhålen på minst 50 % i den dimensionerande sprickvidden. Inträngningslängden var dimensionerad till att vara 1,1 m i minsta sprickan. Med borrhål 0,6 m innanför kontur blir den tätade zonen efter utsprängning endast 0,5 m. Efter injektering av omgång A i skärm 4 visades ingen direkt sänkning av inflödet i kontrollhålen. När omgång B injekterats sågs dock en sänkning i kontrollhålen. Att observera är att inflödet var litet redan innan injektering.

För skärm 5 var ansättningen 30 cm från teoretisk kontur och riktningarna var mer anpassade mot läget på strukturerna än mot tunnelriktningen vilket resulterade i en skärm med icke parallella hål men som ändå hölls innanför kontur. Borrningen var till viss del misslyckad i denna skärm då konturkravet inte hölls; både stick och ansättning var för en del av borrhålen utanför 30 cm gränsen. Önskemålet om att hålla sticken innanför kontur uppfylldes dock. För skärm 5 ökades antalet kontrollhål från nio i skärm 4, till 12 i skärm 5, vilket ger en 25 % ökning av antal borrhål. Vidare förlängdes geltiden från 39 minuter till 89 minuter samtidigt som totaltrycket ökades från ca 6 till 10 MPa. Förändringarna av dessa parametrar medförde en ökad inträngningslängd i förhållande till skärm 4, från 1,1 m till 2,5 m i den dimensionerande sprickan. Motsvarande tätad zon efter utsprängning ökades från 0,5 m till 2,2 m.

Mätning av kontrollhålen i båda skärmarna visar att medianvärdet på inflödet i borrhål i den slutliga kontrollomgången, omgång C, hamnar i samma storleksordning som för skärmarna utanför kontur (=0,001 l/min).

Sammanfattningsvis kan sägas att erfarenheterna från etapp 3 visar att borrningen måste utföras bättre. Vidare behövs tydligare designkriterier avseende inträngning. Dock är en sänkning av inflödet i kontrollhålen visat.

## 5 Diskussion och slutsatser

I detta kapitel diskuteras om målen med projektet är uppfyllda samt vilka delmål som kvarstår. I avsnittet ”slutsatser” sammanfattas tidigare diskussioner. Avslutningsvis beskrivs övriga observationer som gjorts. Där diskuteras också vilka delar som bör utvecklas vidare inom eller utanför ramen för detta projekt.

### 5.1 Har målen uppnåtts?

Nedan förs, för varje uppsatt delmål, en diskussion huruvida delmålet uppfyllts.

1. Bekräftelse av silica sols användbarhet vid det vattentryck som är aktuellt för deponeringstunnlar i slutförvaret.  
Basen för bedömningen är begränsad (fem skärmar och ca 55 m tunnel) men resultaten visar att silica sol fungerar för tunneltätning på detta djup, inom redovisade gränser. Aktuellt vattentryck har legat på 3,0–3,5 MPa och tätade sprickor har haft en hydraulisk sprickvidd på 10–170  $\mu\text{m}$ . Flödet i kontrollhålerna har givit en omedelbar information om förändrad täthet i bergmassan.
2. Bekräftelse att det på försvarsdjup är möjligt att uppnå en täthet motsvarande ett maximalt inläckage på 1 l/min och 60 m tunnel med för slutförvaret tillämpbara bruk.  
Inläckaget i mätvallarna mäts sektionvis, och kravet på 1 l/min och 60 m tunnel proportioneras till sektionen. För etapp 2, sektion 10–34 m är inläckaget i mätvall nr 1 ca 0,3 l/min för en sträcka på 24 m. Jämnt fördelat till 60 meters tunnel motsvarar det ett inläckage på ca 0,8 l/min. För etapp 3, sektion 34–60 m, är inflödet ej mätt.
- I. Bekräfta modeller för inträngning och att ökad täthet erhålls.  
I den begränsade bergmassa som fälttestet utförts har en ökad täthet uppnåtts. Modellerna för inträngningslängd samt anpassning av utförandet med inträngningslängden som grund har givit eftersträvat resultat.
- II. Visa att täthet kan erhållas med injekteringsskärmar utanför konturen.  
Det största inflödet före injektering mätt i kontrollhål var ca 60 l/min. Ökad täthet har påvisats genom jämförelse mellan medianinflöde i kontrollhål före och efter injektering. Kontrollhålerna visar att en täthet motsvarande en transmissivitet på  $1 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$  eller ett inflöde på 0,004 l/min kan fås. Inläckaget till tunneln efter injektering mätt i mätvall nr 1, ger ett inflöde motsvarande eller bättre än det ställda kravet för en sträcka på 23 m.  
I skärmarna utanför kontur har inflödet i borrhålen markant reducerats redan efter den första injekteringsomgången. För samtliga 3 skärmar utanför kontur var efter första omgångens injektering medianvärdet från log-normalfördelningarna lägre eller lika med 0.1 l/min.
- III. Visa att täthet kan erhållas med injektering innanför konturen.  
Ökad täthet i bergmassan har påvisats genom jämförelse mellan medianinflöde i kontrollhål före och efter injektering. För båda de utförda skärmarna ger den sista resulterande omgångens kontrollhål ett medianinflöde lika litet som för skärmarna utanför kontur (= 0,001 l/min). Kontrollhålerna är dock belägna inom kontur och det intressanta är tätheten i bergmassan kring tunneln. Denna kan inte bekräftas innan tunneln är uttagen.
- IV. Visa att efterinjektering ger ökad täthet.  
Någon efterinjektering är ej utförd i projektet (oktober, 2008).
- V. Visa att dropp kan tätas bort.  
Någon droppätning är ej utförd i projektet (oktober, 2008).
- VI. Identifiera gränserna för silica sols användbarhet vad gäller hydrauliska sprickvidder vid det grundvattentryck som är aktuellt för deponeringstunnlar i slutförvaret.  
En gräns på hydraulisk sprickvidd har ej identifierats. I projektet har som förutsättning den övre gränsen för att använda silica sol satts till 150  $\mu\text{m}$  (räknat som hydraulisk sprickvidd). Den största sprickvidden som tätats med silica sol är ca 130  $\mu\text{m}$  (skärm 2). Resultatet av injekteringen av den aktuella skärmen var fullgott vilket ger en indikation på att silica sol fungerar åtminstone upp till 130  $\mu\text{m}$ .

- VII. Identifiera de särskilda krav på genomförande och utrustning som krävs för att silica sol ska vara användbart.
- Ettapp 1 resulterade i en utrustningslista för projektet samt principer för hur injekteringen skall utföras, se vidare avsnitt 5.2. Utrustning som använts finns huvudsakligen på marknaden. Vissa anpassningar av utrustning har genomförts för projektet. Unigrouten kompletterades med ett vågsystem med tre lastceller samt med utrustning för automatisk blandning av silica sol. Den automatiska blandningen för det cementbaserade bruket fick tas bort. Den manschetttyp som använts i detta projekt används sedan tidigare framförallt i Norge där höga injekteringstryck är vanliga. Avluftningen av borrhålen är av yttersta vikt både ur säkerhetsaspekt och som effektivitetsåtgärd. ”Yield stick” för att mäta skjuvgränsen på det cementbaserade bruket med lågt pH fungerade enligt kravspecifikationen. Yield stick är en rundsvarvad trästicka som släpps ned i ett mätglas med bruk. Sjunkdjupet mäts och läses av i ett diagram där skjuvgränsen för bruket utläsas givet att densiteten är känd.
- VIII. Vinna övriga erfarenheter, bl a om genomförande och handhavande, som krävs för ett kontrollerat och effektivt utförande.
- Arbetsättet som använts ger kvalitetssäkrade data men kräver en stor arbetsinsats. Resultaten för varje injekteringsskärm kan följas och uppdateringar utföras om det anses nödvändigt. För varje injekteringsskärm har resultatet från kontrollhålen varit godkänt innan berguttaget startat.
- Projektet är ett forskningsprojekt där stor vikt ligger på fullständiga och kvalitetssäkrade data samt på ett noggrant specificerat utförande. Målet är att skapa underlag för förståelse för injekteringsprocessen och i förlängningen ge möjlighet för optimering och effektivisering i verklig produktion. Övriga erfarenheter redovisas i avsnitt 5.2.

## 5.2 Övriga observationer

### 5.2.1 Det cementbaserade bruket

Gällande det cementbaserade bruket har repeterbarhet kunnat fås i blandningarna genom att manuellt väga upp superplasticeraren. Utrustningen var från början beställd för att automatiskt kunna blanda alla ingredienser. Efter testkörningar noterades dock att noggrannheten inte var tillräcklig, varför en manuell blandningsprocedur fastställdes. För projektet fungerade detta manuella arbete och gav specificerade bruksegenskaper med god repeterbarhet, men för framtiden måste automatisk blandning fungera. Cementbruket har uppvisat goda egenskaper för injektering där grundvattentrycket är högt. Enbart två injekteringsbruk har använts, ett basinjekteringsbruk (typ 1) samt ett stoppbruk (typ 2) som använts när de föreskrivna stoppkriterierna ej kunnat uppnås. Under de förhållanden som varit har det inte funnits anledning att använda fler typer av bruksblandningar.

### 5.2.2 Inflöden och injektering

En viktig observation gjordes i den kontinuerliga mätningen av inflödet i mätvall nr 1. Vid en analys av inflödet mellan stuff och mätvall noterades att inläckaget från stuff och den innersta delen av tunneln står för en oproportionerligt stor andel av inläckaget. Detta fenomen har inte varit beaktat i den inledande designen och fortsättningsvis måste detta förhållande beaktas.

En omfattande sulrensning och detaljerad översyn av sulan för att identifiera läckagepunkter genomfördes av ettapp 2. Ett läckande borrhål identifierades och injekterades. Resultatet av injekteringen var lyckad; flödet i mätvallen reducerades motsvarande läckaget i borrhålet, ca 0,3 l/min. Insatsen var omfattande, men avgörande för att täthetskravet skulle uppnås på sträckan.

### 5.2.3 Design och genomförande

För injektering med borrhål innanför kontur har anpassningar gjorts för skärm 5 utifrån resultaten av skärm 4. Anpassning av borrhålsgeometrier och inträngningslängd har genomförts.

I projektet användes höga injekteringstryck (upp till 10 MPa). Det var nödvändigt för att klara de dimensionerande inträngningslängderna, speciellt för de i projektet använda cementbaserade



bruksblandningarna. De höga trycken medförde att berget ibland ”knakade”. För att minska risken för uttryckning av ytberget, fördes manschetten ytterligare 0,4 m in i borrhålet. Manschetten var i utgångsläget placerad 1,3 m in i berget.

Under injekteringen har tester genomförts för att kunna koppla injekteringsvolymen mot vattenförlusten i borrhålet. Detta är inget nytt men har tidigare inte gjorts för silica sol. Att minska spillet har i sig inte varit ett prioriterat mål utan bör betraktas som en utvecklingspotential. En första observation indikerar att mängderna förefaller kunna uppskattas vid små vattenförluster. Detta har utnyttjats i projektet genom att blandningssatsen minskats då vattenförlusten varit liten.

#### 5.2.4 Utrustning

Injektering med Unigrouten har generellt fungerat bra. Vid några tillfällen har Logac-utrustningen, som registrerar tryck, flöde och tid hängt sig vilket inneburit att digital data förlorats. Detta har i möjligaste mån kompenseras med manuell protokollföring.

Under automatisk blandning av silica sol uppstod problem med det känsliga vågsystemet. Lastcellerna registrerade en ojämn vikt då omröraren slungade runt silica sol i kärlet. Detta fick till följd att materialet inte kvitterades i receptblandningssystemet och blandningsprogrammet stannade. Lösningen på detta var att manuellt slå på omröraren efter att silica sol vägts upp, precis innan saltet tillsätts.

Silica sol som sitter kvar på borrhållsväggarna bildar en glatt yta som avsevärt minskar manschetternas förmåga att stanna kvar i hålen. Under framförallt injektering av skärm 1 uppstod problem med manschetter som började tryckas ut. Manschetter bör därför inte installeras i borrhål som tidigare injekterats med silica sol utan att en grundlig rengöring av borrhållsväggarna utförs, exempelvis med högtryckstvätt och iller (avloppsrensare).

Borning av skärmar utanför kontur har fungerat bra. Uppsättningen bestod av styrstål samt styva borrhåll med längder på 1,8 m och detta gav tillsammans med täta byten av borrhåll mycket bra resultat. Vid borning innanför kontur krävs ytterligare precision.

### 5.3 Slutsatser

- Kärnborrhålen har kunnat användas för att förutsäga de hydrogeologiska förhållanden som krävs som indata för utförande av injekteringsdesignen. Läge och storlek på flöde samt hydraulisk sprickvidd har utvärderats.
- Designmetodiken, som är baserad på den minsta spricka som måste tätas, har fungerat. Utifrån beräkningar kunde borrhållsavstånd och inträngningslängd väljas. Det teoretiskt beräknade inflödet till tunneln stämmer bra med det faktiskt uppmätta.
- Silica sol har fungerat, och geltiderna har kunnat styras.
- Det cementbaserade bruket med lågt pH har fungerat, och repeterbarhet i blandningarna har kunnat uppnås.
- Med injekteringsskärmar utanför kontur uppfylldes kravet på maximalt kvarvarande inläckage, inflödet i sektionen motsvarar mindre än 1 l/min och 60 m tunnel.
- Med skärmar innanför kontur uppnåddes en reduktion av inflödet i kontrollhålen för de två utförda skärmarna. Ännu finns inga direkta mätningar på inläckage.
- Utrustningen som använts har inte fungerat helt enligt specifikationen vilket inneburit avsevärt mer manuellt arbete. Det bedöms inte ha påverkat resultat och noggrannhet i utförande, men försämrar möjligheten till analys av injekteringsdata.



## 6 Referenser

- Alberts C, Gustafson G, 1983.** Undermarksbyggande i svagt berg – 4 Vattenproblem och tättningsåtgärder. BeFo nr 106, Stockholm, Sweden. *In Swedish.*
- Andersson P, Byegård J, Dershowitz B, Doe T, Hermansson J, Meier P, Tullborg EL, Winberg A, 2002.** Final Report of the TRUE Block Scale Project, 1. Characterisation and model development. SKB TR-02-13, Svensk Kärnbränslehantering AB, pp 90–91.
- Axelsson M, 2009.** Prevention of Erosion of Fresh Grout in Hard Rock. Dissertation, Doktorsavhandlingar vid Chalmers tekniska högskola. Ny serie. 2915. Chalmers University of Technology, Göteborg.
- Butron C, Axelsson M, Gustafson G, 2007.** Silica Sol for Rock Grouting – Tests on Mechanical Properties. Report – Department of Civil and Environmental Engineering, Chalmers University of Technology, ISSN 1652-9162; nr 6, Sweden.
- Butron C, Gustafson G, Funehag J, 2008.** Grouting in Nygård tunnel: pre-grouting design for drip sealing and evaluation. Report 2008:2. Chalmers tekniska högskola, Institutionen för geologi och geoteknik, 2008.
- Carlsson L, Gustafson G, 1991.** Provpumpning som geohydrologisk undersökningsmetodik. Rapport R66: Byggeforskningsrådet, Stockholm, Sweden.
- de Marsily G, 1986.** Quantitative Hydrogeology. Groundwater Hydrology for Engineers. Academic Press, Inc. Orlando, USA.
- Eklund D, 2002.** Penetrability for cementitious injection grouts. Licentiate Thesis. Division of Soil and Rock Mechanics, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.
- Eriksson M, 2002.** Prediction of grout spread and sealing effect. A probabilistic approach. Doctoral Thesis. Division of Soil and Rock Mechanics, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.
- Fransson Å, 2002.** Nonparametric method for transmissivity distributions along boreholes. Ground Water, Vol. 40, no. 2, pp 201–204. Academic Research Library.
- Fransson Å, 2008.** Grouting design based on characterization of the fractured rock – Presentation and demonstration of a methodology. SKB R-08-127, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Funehag J, 2005.** Sealing of Narrow Fractures in Hard Rock – A Case Study in Hallandsås, Sweden. Tunneling and Underground Space Technology, incorporating Trenchless Technology Research, 19 (4–5) s. H12.
- Funehag J, Fransson Å, 2005.** Sealing Narrow Fractures with a Newtonian Fluid: Model Prediction for Grouting Verified by Field Study. Tunneling and Underground Space Technology, 21 492–296.
- Funehag J, Gustafson G, 2005.** Grouting with silica in the Törnskog Tunnel – Grouting design for silica sol in full production. Report 2005:12. Chalmers tekniska högskola, Institutionen för geologi och geoteknik.
- Funehag J, 2007.** Grouting of Fractured Rock with Silica Sol Grouting design based on penetration length. Dissertation, Doktorsavhandlingar vid Chalmers tekniska högskola. Ny serie. 2560. Chalmers University of Technology. Göteborg.
- Gustafson G, Krasny J, 1994.** Crystalline Rock Aquifers: Their Occurrence, Use and Importance. Hydrogeology Journal, Vol. 2, Issue 2, pp. 64–75. Springer Link.
- Gustafson G, Fransson Å, 2005.** The use of the Pareto distribution for fracture transmissivity assessment. Hydrogeology Journal, 1435-0157.
- Gustafson G, Stille H, 2005.** Stop criteria for cement grouting. Felsbau, Vol. 23, No. 3, pp. 62–68.
- Gustafson G, Funehag J, 2008a.** Design of grouting with silica sol in hard rock – New methods for calculation of penetration length, Part I. Tunneling and underground space technology, 23 (2008) (1) s. 1–8.

**Gustafson G, Funehag J, 2008b.** Design of grouting with silica sol in hard rock – New design criteria tested in the field, Part II. Tunnelling and underground space technology, 23 (2008) (1) s. 9–17.

**Rhén I, Gustafson G, Wikberg P, 1997.** Äspö HRL – Geoscientific evaluation 1997/4. SKB TR 97- 05, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, Sweden.

**Sievänen U, Raivio P, Vuorinen U, Hansen L, Norokallio J, Syrjänen P, 2006.** Optimisation of the Technical Properties of Low pH Cementitious Injection Grout, Laboratory tests and pilot field test 3. Working Report 2006-85. Posiva Oy.

### Utdrag ur ”Arbetsinstruktion injektering skärm 3”

Författare: Henrik Svensson

#### Arbetsmetod

1. Gerry Johansson skickar ritning på injekteringsborrplan till Jens Andersson, Bergteamet. Jens skapar borrplan som skickas till Stellan vilken laddar ner denna på minneskort och lämnar till Björn och Daniel.
2. Borra stuffinjekteringshål.
3. Samtliga borrhål renspolas från borkax med borrhagen direkt efter borring. Hål spolas tills spolvattnet är fritt från föroreningar alternativt under minst en minut med fullt vattenflöde.
4. Inmätning av borrhålen. Henrik kontaktar Gerry Johansson och bestämmer lämplig tid för inmätning.
5. Manschettering av borrhålen. Manschetten spänns upp med dubbelpackern ca 0,3 m in i borrhålet från tunnelvägg, borrhålet vattenfylls och ventilen stängs.
6. När alla manschetter är satta skall de efterdras, börja efterdra den manschett som sattes först och gå varvet runt. Följ säkerhetsinstruktionerna för arbete med manschetter. Under första åtdragningen ska de dras åt så att de håller tätt, under andra åtdragningen ska de minst dras åt till de nedanstående totala gänglängderna. För en borrhålsdimension på 63 mm ska manschetten dras åt minst 25 mm, för en dimension på 66 mm ska den dras åt minst 30 mm. 76 mm manschetten dras åt och förankras i berget.
7. Etablering av injekteringsutrustning.
8. Utför kompletterande hydrotester i två borrhål på höger vägg. Mät inflöde under 1 minut från borrhålen och sprickorna på väggen. Gör vattenförlustmätningar med 3 bars övertryck alternativt 10 bars totaltryck om inget grundvattentryck kan mätas. Utför en mätning med det andra hålet öppet och en med det andra hålet stängt. Mät flödet från sprickorna vid hålen under vattenförlustmätningen.
9. Hydrotester i stuffinjekteringshål. Grundvattentryck och naturligt inflöde i samtliga borrhål. Vattenförlustmätning i samtliga borrhål med injekteringsriggen. Protokoll från hydrotesterna lämnas till Henrik direkt.
10. Injektering av stuffinjekteringshålen enligt PM Injektering skärm 3, arbetsinstruktion injektering skärm 3 samt injekteringsprotokoll. Henrik förser entreprenören med ovanstående dokument samt håller en kort genomgång av ev förändringar från föregående skärm före injektering.
11. Mät inflöden från borrhål och sprickor på högervägg.
12. Borra borrhålen i borrhålsomgång A. Borrhålen skall passa till manschetter med en ytterdiameter på 62 mm. Maximal borrhålsdimension får ej överstiga 66 mm. Borrprotokoll lämnas till arbetsledaren. Markera borrhålen med en gul märkfärg.
13. Samtliga borrhål renspolas från borkax med borrhagen direkt efter borring. Hål spolas tills spolvattnet är fritt från föroreningar alternativt under minst en minut med fullt vattenflöde.
14. Inmätning av borrhålen. Henrik kontaktar Gerry Johansson och bestämmer lämplig tid för inmätning.
15. Rakhetsmätning av borrhålen. Entreprenören ansvarar för att Ulf Domeij kontaktas i god tid innan borring är klar och avtalar lämplig tid för mätning. Minst 6 borrhål kommer att mätas, 2 i tak, 2 i sula samt 1 i vardera väggen. Mätningar utöver dessa beslutas av Henrik i samråd med Johan Funehag. Data från mätningen skickas till Johan (johan.funehag@chalmers.se).

16. Manschettering av borrhålen. Manschetten spänns upp med dubbelpackern ca 0,3 m in i borrhålet från tunnelvägg, borrhålet vattenfylls och ventilen stängs.
17. När alla manschetter är satta skall de efterdras, börja efterdra den manschett som sattes först och gå varvet runt. Följ säkerhetsinstruktionerna för arbete med manschetter. Under första åtdragningen ska de dras åt så att de håller tätt, under andra åtdragningen ska de minst dras åt till de nedanstående totala gänglängderna. För en borrhålsdimension på 63 mm ska manschetten dras åt minst 25 mm, för en dimension på 66 mm ska den dras åt minst 30 mm.
18. Hydrotester: Grundvattentryck, antal hål som ska testas avgörs av Henrik i samråd med Johan. Naturligt inflöde i samtliga borrhål. Vattenförlustmätning i samtliga borrhål med injekteringsriggen. Protokoll från hydrotesterna lämnas till Henrik direkt.
19. Injektering av injekteringshålen enligt PM Injektering skärm 3, arbetsinstruktion injektering skärm 3 samt injekteringsprotokoll vilket tas fram efter analys av ovanstående hydrotester. Henrik förser entreprenören med ovanstående dokument samt håller en kort genomgång av ev förändringar från föregående skärm innan injektering.
20. Mät inflöden från borrhål och sprickor på högervägg.
21. Borrning av injekteringshål omgång B. Hur många hål som borrar i den andra omgången injekteringshål beror på inflöden, vattenförluster och mängden injekterat bruk i första omgången. Detta beslutas av delprojektledaren efter analys. Markera borrhålen med en gul märkfärg.
22. Samtliga borrhål renspolas från borrhålen med borrhålen direkt efter borrning. Hål spolas tills spolvattnet är fritt från föroreningar alternativt under minst en minut med fullt vattenflöde.
23. Inmätning av borrhålen. Henrik kontaktar Gerry Johansson och bestämmer lämplig tid för inmätning.
24. Rakhetsmätning av borrhålen. Minst 1/5 av borrhålen i omgång B ska mätas. Mätningar utöver dessa beslutas av Henrik i samråd med Johan Funehag. Data från mätningen skickas till Johan (johan.funehag@chalmers.se).
25. Manschettering av borrhålen. Manschetten spänns upp med dubbelpackern ca 0,3 m in i borrhålet från tunnelvägg, borrhålet vattenfylls och ventilen stängs.
26. När alla manschetter är satta skall de efterdras, börja efterdra den manschett som sattes först och gå varvet runt. Följ säkerhetsinstruktionerna för arbete med manschetter. Under första åtdragningen ska de dras åt så att de håller tätt, under andra åtdragningen ska de minst dras åt till de nedanstående totala gänglängderna. För en borrhålsdimension på 63 mm ska manschetten dras åt minst 25 mm, för en dimension på 66 mm ska den dras åt minst 30 mm.
27. Hydrotester: Grundvattentryck, antal hål som ska testas avgörs av Henrik i samråd med Johan. Naturligt inflöde i samtliga borrhål. Vattenförlustmätning i samtliga borrhål med injekteringsriggen. Protokoll från hydrotesterna lämnas till Henrik direkt.
28. Injektering av injekteringshålen enligt PM Injektering skärm 3, arbetsinstruktion injektering skärm 3 samt injekteringsprotokoll vilket tas fram efter analys av ovanstående hydrotester. Henrik förser entreprenören med ovanstående dokument samt håller en kort genomgång av ev förändringar från föregående skärm före injektering.
29. Mät inflöden från borrhål och sprickor på högervägg.
30. Borrning av injekteringshål omgång C. Hur många hål som borrar i den tredje och sista omgången injekteringshål beror på inflöden, vattenförluster och mängden injekterat bruk i andra omgången. Detta beslutas av delprojektledaren efter analys. Markera borrhålen med en blå märkfärg.
31. Samtliga borrhål renspolas från borrhålen med borrhålen direkt efter borrning. Hål spolas tills spolvattnet är fritt från föroreningar alternativt under minst en minut med fullt vattenflöde.
32. Inmätning av borrhålen. Henrik kontaktar Gerry Johansson och bestämmer lämplig tid för inmätning.

33. Rakhetsmätning av borrhålen. Minst 1/5 av borrhålen i omgång C ska mätas. Mätningar utöver dessa beslutas av Henrik i samråd med Johan Funehag. Data från mätningen skickas till Johan (johan.funehag@chalmers.se).
34. Manschettering av borrhålen. Manschetten spänns upp med dubbelpackern ca 0,3 m in i borrhålet från tunnelvägg, borrhålet vattenfylls och ventilen stängs.
35. När alla manschetter är satta skall de efterdras, börja efterdra den manschett som sattes först och gå varvet runt. Följ säkerhetsinstruktionerna för arbete med manschetter. Under första åtdragningen ska de dras åt så att de håller tätt, under andra åtdragningen ska de minst dras åt till de nedanstående totala gänglängderna. För en borrhålsdimension på 63 mm ska manschetten dras åt minst 25 mm, för en dimension på 66 mm ska den dras åt minst 30 mm.
36. Hydrotester: Grundvattentryck, antal hål som ska testas avgörs av Henrik i samråd med Johan. Naturligt inflöde i samtliga borrhål. Vattenförlustmätning i samtliga borrhål med injekteringsriggen. Protokoll från hydrotesterna lämnas till Henrik direkt.
37. Injektering av injekteringshålen enligt PM Injektering skärm 3, arbetsinstruktion injektering skärm 3 samt injekteringsprotokoll vilket tas fram efter analys av ovanstående hydrotester. Henrik förser entreprenören med ovanstående dokument samt håller en kort genomgång av ev förändringar från föregående skärm före injektering.
38. Mät inflöden från borrhål och sprickor på högervägg. Anpassningar och ändringar av ovanstående arbetsmetod beslutas av beställaren i samråd med entreprenören.

## Dripping characterisation results of section 10–33 m

<b>1. Introduction</b>	<b>59</b>
<b>2. Method</b>	<b>59</b>
<b>3. Results</b>	<b>59</b>
<b>4. Discussion and analysis</b>	<b>61</b>
<b>4.1 Assessment of the method</b>	<b>61</b>
<b>4.2 Dripping characterisation in section 1 (10 to 33 m)</b>	<b>62</b>

### 1 Introduction

The purpose of this PM is to present the result of the dripping characterisation conducted in section 1 (10 to 33 m) of the TASS tunnel in order to characterise the seepage from the tunnel roof. These results include the recognition, localisation and quantification of the inflow from the tunnel roof in the specified section. This PM also includes the result from a previous pre-test carried out in order to assess the different suggested methods and have results to be compared. Results are categorised in four groups, each group identify a range of flow and the corresponding impression observed during the field work, see Table 1.

The pre-test field work was carried out from the 17<sup>th</sup> to the 20<sup>th</sup> March, 2008 and a short section of the tunnel roof was characterised (8 to 20 m). Subsequently, the first complete characterisation was carried out from the 5<sup>th</sup> to the 16<sup>th</sup> of May, 2008 and the section of the tunnel roof characterised this time went from 8 to 33 m. The walls of the tunnel were not characterised since the method was not suitable.

### 2 Method

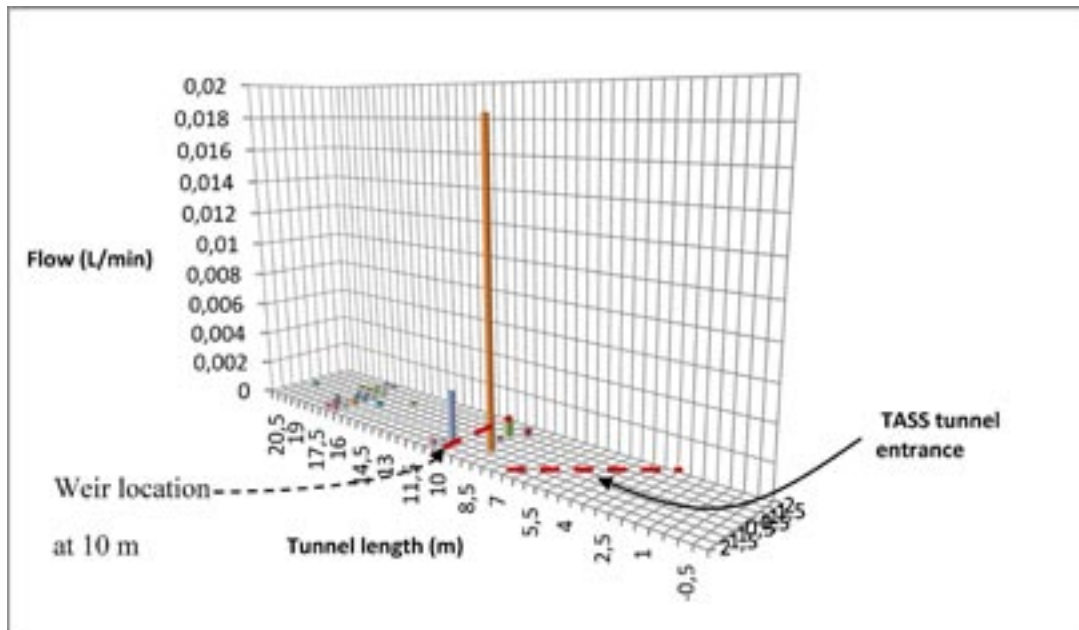
Summarizing, the method covered an analysis of the tunnel mapping system as a first approach. Later, a source identification and group-flow division was conducted; this step gave the most suitable way to collect the inflow from the tunnel roof according to the specified ranges of inflow (Table 1), at the end the area where to put panels or use simple measuring glasses was selected. The complete method description can be found in the AP TD SU32516-07-062.

### 3 Results

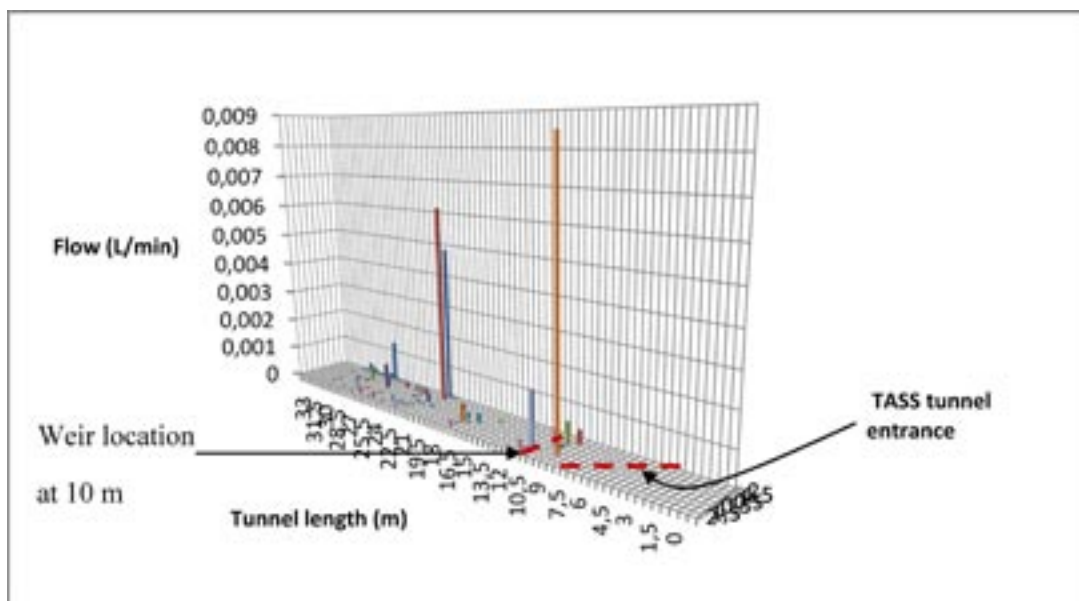
Figure 1 shows the location of the observed dripping spots and the estimated inflow after the pre-test conducted (8 to 20 m). Figure 2 shows the location of the recognised dripping spots and the estimated inflow after a complete characterisation conducted in section 1 (8 to 33 m). Both figures show a representation of the tunnel ceiling as a horizontal plane divided in areas of 0.5 x 0.5 m. In addition the location of the weir and the tunnel entrance are shown.

**Table 1. Categorisation of the different dripping groups and field impression.**

Group	Number of drops [drops/min]	Flow [l/min]	Field impression
D1	$N < 1$	$Q \approx 0$	Humid
D2	$1 < N < 6$	$0 < Q < 0.001$	Humid with sporadic dripping
D3	$6 < N < 200$	$0.001 < Q < 0.03$	Continuous dripping
D4	$N > 200$	$Q > 0.03$	Flow



**Figure 1.** Dripping spots location and calculated inflow in section 8 to 20 m after the pre-test characterisation; the grid represents the tunnel roof.



**Figure 2.** Dripping spots location and calculated inflow in section 8 to 33 m after the first dripping characterisation; the grid represents the tunnel roof.

Taking into account the dripping characterisation conducted in section 10 to 33 m and that the tunnel roof is divided in small areas of  $0.5 \times 0.5$  m, the following cumulative distribution function could be obtained (see Figure 3). This distribution curve shows that approximately 70% of the studied area does not give an inflow to the tunnel.

On the other hand, Figure 4 shows only the cumulative distribution and fitted log-normal distribution function of the dripping areas (30% of the whole area). This fitted curve shows a median value of around  $3.0 \cdot 10^{-5}$  L/min and that approximately 97% of the located dripping spots give an inflow lower than  $1.0 \cdot 10^{-3}$  L/min.



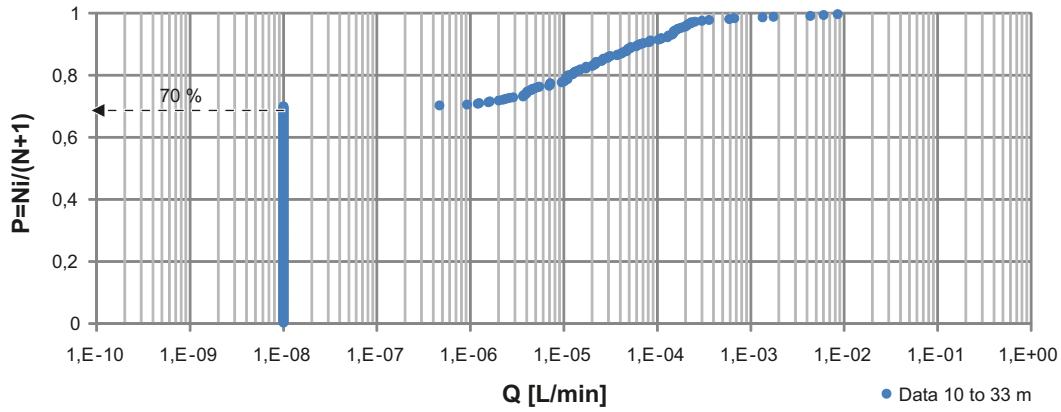


Figure 3. Cumulative distribution function for the whole studied area (dripping and non-dripping areas).

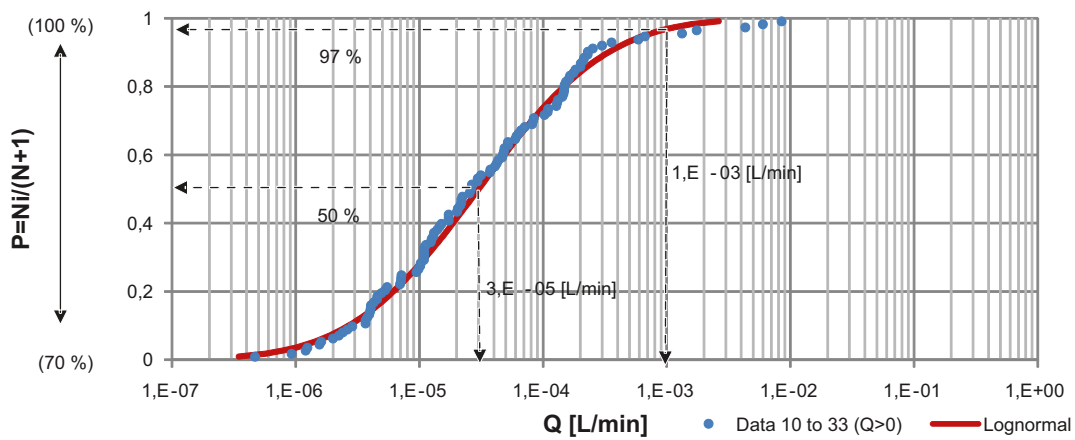


Figure 4. Cumulative distribution function for the dripping areas (tunnel roof). Take into account that this graph starts at 70% from Figure 3.

## 4 Discussion and analysis

### 4.1 Assessment of the method

Review of the data collection, daily logs and analysis through regular discussions between field-work and activity personal resulted in several recommendations for improvements to testing and categorisation of the inflow; no major changes on the method were done which indicates that the AP TD SU32516-07-062 can be used for further characterisations.

During the pre-test (section 8 to 20 m) the recorded ambient temperature was approximately 11°C and the relative humidity was around 99%. Six absorbing blankets were used to measure the influence of the ambient humidity on the rest of the blankets during time; the average value obtained was  $3.5 \cdot 10^{-6}$  L/min which was subtracted from each blanket measurement in order to get values without the additional volume given by the conditions of the tunnel during the testing period.

Further, during the first characterisation (10 to 33 m) 17 blankets were used to obtain the additional volume given by the ambient humidity during the testing period, as it was done during the pre-test. The recorded ambient temperature was approximately 11°C, and the relative humidity close to 99%. The average value obtained from the 17 blankets was  $4.6 \cdot 10^{-6}$  L/min which was subtracted from each blanket measurement for its posterior analysis. Comparing both results, pre and complete characterisation, it shows that on both occasion this value was similar. This could imply that when both characterisations were made the influence of the tunnel conditions on the absorbing blankets were the same meaning that both measurements may be comparable.

## 4.2 Dripping characterisation in section 1 (10 to 33 m)

Figure 5 presents the results obtained from the dripping characterisation carried out in section 1 (10 to 33 m) in which the boundaries are the weirs constructed at 10 m and 33 m. Pre-test values are included in this analysis. The total flow calculated in this section was 0.0299 L/min which was obtained from groups D1, D2 and D3. No group D4 was observed during the characterisation, neither during the pre-test. These results and the total inflow collect by the weir, i.e. from tunnel roof, walls and floor, will be used for a posterior analysis.

Results show that, the flow from each group can be calculated, and after field observations no further update of the AP TD SU32516-07-062 is needed before conducting the next dripping characterisation in section 2 (33 to 64 m). The dripping hydraulic characteristics and time dependency will not be discussed in this PM.

Comparing the fracture with the dripping characterisation mapping, see Figure 5, it can be seen that the location of the dripping spots suggest which fractures were not completely sealed during the pre-excavation grouting. These fractures are marked with red colour, see Figure 5, and in some occasions the characterised dripping did not completely follow a fracture plane. But in general it shows a good correlation which is not so remarkable though. Structure 5 was also characterised and it is shown in the same figure.

From Figure 4 and Figure 5 can be seen that: 30% of the tunnel roofs gives a contribution to the total inflow in section 1 (10 to 33 m). From this 30% the median obtained value is around  $3.0 \cdot 10^{-5}$  L/min and from there only 3% correspond to inflows higher than  $1.0 \cdot 10^{-3}$  L/min; and from Figure 5 it can be seen that inflows categorised as D4 were not observed. Therefore, only 3% of the total amount of dripping spots observed and measured are categorised as group D3 and give an inflow between 0.001 and 0.03 L/min. This inflow interval corresponds to a field impression of humid with sporadic dripping (1 to 6 drops/min).

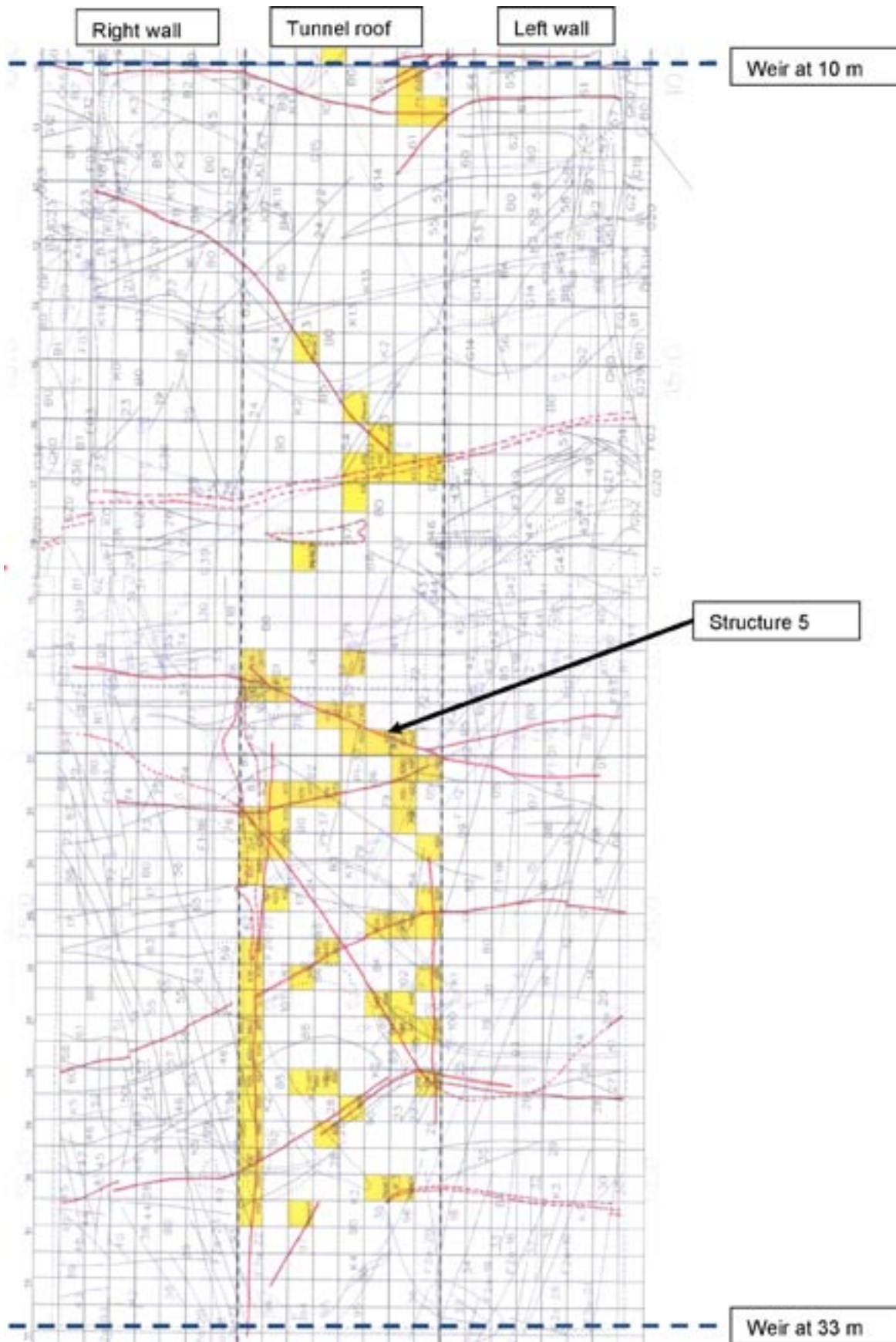
An approach can be obtained if assuming that the gradient is nearly 1 around the tunnel (damaged zone) then the cubic law (Equation 1) could be used to determine the median hydraulic aperture that corresponds to a flow ( $Q$ ) of  $3.0 \cdot 10^{-5}$  L/min (median value).

$$b = \sqrt[3]{\frac{Q \cdot \mu \cdot 12}{B \cdot \rho \cdot g}} \quad (1)$$

Assuming a water viscosity ( $\mu$ ) of  $1.31 \cdot 10^{-3}$  kg/m s, a density ( $\rho$ ) of  $999.727$  kg/m<sup>3</sup>, a gravity acceleration ( $g$ ) of  $9.81$  m/s<sup>2</sup> and a section length ( $B$ ) of  $0.5$  m (cell size), the median hydraulic aperture obtained for the dripping sections is approximately  $12 \mu\text{m}$ . The same procedure can be used to calculate the median hydraulic aperture for an inflow of  $1.0 \cdot 10^{-3}$  L/min which is approximately  $38 \mu\text{m}$ .

**Table 2. Dripping characterisation result from section 1 (10 m to 32 m).**

Group	Number of drops [drops/min]	Flow [L/min]	Field impression
D1	-	0.0041	Humid
D2	-	0.0039	Humid with sporadic dripping
D3	122	0.0219	Continuous dripping
D4	-	0	Flow
Total		0.0299	



**Figure 5.** Comparison of the fracture mapping and the dripping characterisation mapping; TASS tunnel (10 to 33 m).



The Chemical Company

# Säkerhetsdatablad

## Meyco MP 320

Utfärdande datum: 2005-02-03

Versionsnummer: 1.0

### 1. NAMN PÅ PRODUKTEN OCH FÖRETAGET

Tillverkare:

BASF Construction Chemicals Sweden AB  
Sjöflygvägen 44  
183 62 Tåby

Handelsnamn: Meyco\*MP320

Komp. A

Produkttyp/användning: Injektionsgel/Tätning

Kontaktperson:

Håkan Nykvist, tel 08-756 01 65

### 2. SAMMANSÄTTNING/ÄMNEAS KLASSIFICERING

Farliga ämnen	CAS-nr	Halt %	Symbol	R-fraser
Inga				
Övriga ämnen				

Natriumhydroxid 0,4%, Kiseldioxid amorf 40,4%, Vatten 59,2%

### 3. FARLIGA EGENSKAPER

Hälsofarliga egenskaper: Inga kända

Miljöfarliga egenskaper: Ej klassad som miljöfarlig. Se "ekotoxikologisk information" rubrik nr 12.

Övriga farliga egenskaper: Inga kända.

### 4. FÖRSTA HJÄLPEN

Inandning: Förflytta personen till frisk luft om irritation eller andningssvårigheter uppstår.

Hudkontakt: Tvätta med tvål och vatten. Kontakta läkare om irritation uppstår.

Stänk i ögonen: Skölj grundligt med mycket vatten, även under ögonlocken. Sök läkare vid bestående ögonirritation.

Förtäring: Skölj genast munnen med vatten. Drick avskutningsvis vatten. Vid behov kontakta läkare.

### 5. ÅTGÄRDER VID BRAND

Släckningsmedel: Bestäms av omgivande material/produkter

Olämpligt släckningsmedel: Ej känt

Speciell skyddsutrustning: Ingen

Särskild exponeringsfara: Ingen



The Chemical Company

## 6. ÅTGÄRDER VID SPILL/OAVSIKTLIGA UTSLÄPP

Saneringsmetoder: Valla in och absorbera med sand, jord eller annat inert material. Samla upp så mycket som möjligt i en lämplig behållare för (företrädesvis) återanvändning eller vidare avfallshantering. Spola rent det förorenade området med vatten. Vid större utsläpp, kontakta räddningstjänsten.

Personlig skyddsutrustning: Skyddsglasögon, gummi/PVC handskar och skyddskläder rekommenderas

## 7. HANTERING OCH LAGRING

Hantering: Iakttag normal varsamhet som vid hantering av industrikemikalier.

Lagring: Lagras mellan 5 och 25°C i slutna, mörka tankar tillverkade av korrosionsbeständigt material.

Tål ej fryszning

## 8. BEGRÄNSNING AV EXPONERING/PERSONLIGA SKYDDSÅTGÄRDER

Inandring: Vid dammande hantering använd andningskydd med dammfiltar P2 (IIB).

Hudkontakt: Använd gummi/PVC handskar. Även skyddskläder rekommenderas.

Ögonkontakt: Skyddsglasögon rekommenderas. Tillgång till ögonspolning bör finnas.

Hygieniskt gränsvärde: Inga data funna

## 9. FYSIKALISKA OCH KEMISKA EGENSKAPER

Form	Vätska
Färg	Svagt opalescent
Lukt	Ingen lukt
pH:	9-10
Smältpunkt/Kokpunkt °C:	Stelningspunkt 0°C, kokpunkt 100°C
Viskositet:	Låg viskositet
Flampunkt °C:	Ingen
Tändtemperatur °C:	Ingen
Densitet g/cm <sup>3</sup> :	ca 1,30 +/- 0,03 kg/lit
Ångtryck vid 20 °C:	Inga data funna
Löslighet i vatten vid 20°C:	Dispergerbar i vatten
Explosionsområde i luften	Ingen

## 10. STABILITET OCH REAKTIVITET

Farligt sönderfall: Inga kända.

Farliga reaktioner: Inga kända.

Betingelser att undvika: Frost eller inblandning av syra leder till att produkten gelar. Undvik inborkning av solen då detta kan leda till dammbildning.

Material att undvika: Inga kända.

BASF Construction Chemicals Sweden AB  
Head office, Sjöbyggvägen 44, SE-182 61 Täby, Sweden  
Tel: +46-8-756 01 02, Fax: +46-8-756 01 07, [www.basf-cc.se](http://www.basf-cc.se)



The Chemical Company

## 11. TOXIKOLOGISK INFORMATION

Akut toxicitet:	LD50 (oralt/råtta) 15 000 mg/kg. Mycket låg akuttoxicitet.
Hälsoeffekter:	
Inandning:	Inandning av aerosoler kan orsaka irritation i andningsorganen.
Hudkontakt:	Svagt irriterande.
Ögonkontakt:	Svagt irriterande *
Allergena effekter:	Förväntas ej vara allergiframkallande.
Förtäring:	Kan vara irriterande för slemhinnor i mun, strupe, mage och tarmsystemet.
Övrig information:	Produkten innehåller amorft kiseloxid. Inga kända fall av sjukos har rapporterats med amorft kiseloxid.

## 12. EKOTOXIKOLOGISK INFORMATION

Blötdrygbarhet:	Ej tillämpligt på oorganisk produkt som denna
Akvatisk toxicitet:	Fisk: Zebra fisk LC50 (96 tim) > 5000 mg/l. Daphnia: Ceriodaphnia EC50 (48 tim) = 7600 mg/l. Alg: Selenastrum capricornutum IC50 (48 tim) = 440 mg/l. IC10 = 140 mg/l. Loec = 120 mg/l, Noec = 60 mg/l.
Övrig information:	Inga data funna.

## 13. AVFALLSHANTERING

Produkt avfall:	Beakta lokala föreskrifter, kan deponeras
Emballage avfall:	Som produkten.

## 14. TRANSPORTINFORMATION

Internationella transportklasser:	Ej klassat som farligt gods.	
land:	ADR /RID:	Ej klassat.
sjö:	IMDG:	Ej klassat.
flyg:	ICAO / IATA:	Ej klassat

## 15. GÄLLANDE BESTÄMMELSER

Klassificering/märkning: Ej klassificerad enligt KIFS 1999:3

Faroklass:	Ej klassat.
Farosymbol:	
Ej märkningspliktig	-

## 16. ÖVRIG INFORMATION

BASF Construction Chemicals Sweden AB  
Head office, Sjöflygvägen 44, SE-182 61 Tåby, Sweden  
Tel +46-8-756 01 05, Fax +46-8-756 01 07, [www.basf-cc.se](http://www.basf-cc.se)





The Chemical Company

# Säkerhetsdatablad

## Meyco<sup>®</sup>MP 320

Utfärdande datum: 2003-07-20

Versionsnummer: 1.0

### 1. NAMN PÅ PRODUKTEN OCH FÖRETAGET

#### Leverantör:

BASF Construction Chemicals Sweden AB

Huvudkontor

Sjöflygvägen 44, 183 62 Tåby

Tel.nr 08-756 01 65, fax nr 08-756 01 67

www.basf-cc.se

Kontaktperson: Håkan Nykvist Tel. 08-756 01 65

Handelsnamn: Meyco<sup>®</sup>MP 320 Accelerator

Tel. vid akuta olyckstillbud, begär Giftinformationscentralen: 112

### 2. SAMMANSÄTTNING/ÄMNEAS KLASSIFICERING

Farliga ämnen: Inga

Övriga ämnen:

Ämne	CAS nr	EG nr	Halt Interval	Klassificering
<u>HGV</u> Natriumkloridlösning	7647-14-5		5-15 %	

### 3. FARLIGA EGENSKAPER

Hälsorärliga egenskaper: Kan irritera ögonen

Miljöfarliga egenskaper: Ej klassad som miljöfarlig

Övriga farliga egenskaper: Inga kända

### 4. FÖRSTA HJÄLPEN

Hudkontakt: Tvätta noggrant med tvål och vatten. Ta av förorenade kläder.

Stänk i ögon: Skölj grundligt med vatten i minst 15 min. och kontakta läkare.

Inandning: Frisk luft.

Förtäring: Skölj genast munnen med vatten, drick avslutningsvis vatten.

Vid ihållande besvär kontakta läkare.

### 5. ÅTGÄRDER VID BRAND

Släckningsmedel: Utgör ingen brandfar, alla typer av släckningsmedel kan användas

Speciell skyddsutrustning: Använd tryckluftsapparat vid släckning av brand.

BASF Construction Chemicals Sweden AB  
 Head office, Sjöflygvägen 44, SE-183 62 Tåby, Sweden  
 Tel: +46-8-756 01 65, Fax: +46-8-756 01 67, www.basf-cc.se





The Chemical Company

## 6. ÅTGÄRDER VID SPILL/OAVSIKTLIGA UTSLÄPP

Större spill: samla upp så mycket som möjligt i en lämplig behållare för återanvändning eller vidare avfallshandling.

Mindre spill: Som vid större spill

Personlig skyddsutrustning: Skyddsglasögon, gummi/PVC handskar och skyddskläder rekommenderas.

## 7. HANTERING OCH LAGRING

Förvaring: Ska förvaras torrt och svaltt

Hantering: Inga speciella krav

Olämpligt material: Metaller (förutom rostfritt)

## 8. BEGRÄNSNING AV EXPONERING/PERSONLIGA SKYDDSÅTGÄRDER

Inandning: Vid dammande hantering, använd andningskydd med dammfiltar P2

Hudkontakt: Använd gummihandskar

Ögonkontakt: Skyddsglasögon rekommenderas

Hygieniskt gränsvärde: Inga data funna

## 9. FYSIKALISKA OCH KEMISKA EGENSKAPER

Utseende: Svag opalescent vätska

Lukt: Luktfrött

Densitet: ca 1,07 kg/lit.

Löslighet i vatten: Fullständigt löslig vid 20°C

Kokpunkt: 100°C

Flampunkt: --

pH-värde: ca 7

Fasta partiklar: 100 %

Viskositet: < 2MPas

## 10. STABILITET OCH REAKTIVITET

Produkten har ingen känd reaktivitet.

Produkten är stabil vid föreskriven användning och förvaring.

Frost kan leda till att emballaget bryter och läckage uppstår

## 11. TOXIKOLOGISK INFORMATION

Hudkontakt: Inga data funna

Ögonkontakt: Svagt irriterande

Inandning: Inga data funna

Akut toxicitet: LD50 (oral/råtta) 3000 mg/kg.

## 12. EKOTOXIKOLOGISK INFORMATION

Inga data funna

## 13. AVFALLSHANTERING

Normalt inga speciella krav.

Små mängder kan deponeras ihop med hushållsavfall.

Rekommendation: Större mängder levereras till godkänd destruktionsanläggning.

BASF Construction Chemicals Sweden AB

Head office, Sjöflygvägen 44, SE-182 62 Täby, Sweden

Tel: +46-8-756 01 65, Fax: +46-8-756 01 67, www.basf-cs.se



The Chemical Company

#### 14. TRANSPORTINFORMATION

Produkten är inte transportklassificerad som farligt gods

#### 15. GÄLLANDE BESTÄMMELSER

Ej klassificerad enligt KIFS 1999:3

#### 16. ÖVRIG INFORMATION

Uppgifterna grundas på våra aktuella kunskaper men utgör ingen försäkring om att informationen är fullständig. De representerar heller ingen garanti beträffande produktens egenskaper och gäller inte om produkten används tillsammans med annan produkt eller på annat sätt än vad som föreskrivs i vår samlade produktinformation.

BASF Construction Chemicals Sweden AB  
Head office, Sjöbyggvägen 44, SE-182 61 Täby, Sweden  
Tel: +46-8-756 01 65, Fax: +46-8-756 01 67, [www.basf-cc.se](http://www.basf-cc.se)

## Säkerhetsdatablad – Ultrafin 16

### 1. NAMNET PÅ PRODUKTEN OCH FÖRETAGET

<i>Produktnamn</i>	Ultrafin 16
<i>Användning</i>	Bindemedel i injektionsbruk.
<i>OmARBETAD</i>	2006-03-17
<i>ERÅTTER</i>	2003-04-04
<i>Tillverkare och leverantör</i>	Cementa AB Box 47210 100 74 Stockholm
<i>Kontaktperson</i>	Sven-Erik Johansson, telefon 040-36 15 00
<i>Nödtелефон</i>	020-99 60 00 giftinformation (ERC)

### 2. SAMMANSÄTTNING/ÄMNEENS KLASSIFICERING

<i>Ämnen</i>	Portlandcement	
<i>Halt</i>	75–100 %	
<i>CAS-nr</i>	65 997-15-1	
<i>EG-nr</i>	2660434	
<i>Klassificering</i>	Xi	Irriterande.
<i>R-fraser</i>	R 37/38	Irriterar andningsorgan och hud.
	R 41	Kan ge allvarlig ögonskada.

### 3. FARLIGA EGENSKAPER

<i>Xi</i>	Irriterande.
<i>R 37/38</i>	Irriterar andningsorgan och hud.
<i>R 41</i>	Kan ge allvarlig ögonskada.

Vid kontakt med vatten bildas kalciumhydroxid vilket har högt pH och därför irriterar huden.

### 4. FÖRSTA HJÄLPEN

<i>Inandning</i>	Frisk, ej dammig luft.
<i>Hudkontakt pulver</i>	Borsta bort och tvätta med tvål och vatten.
<i>Hudkontakt blöt massa</i>	Tag av kläder, tvätta med tvål och vatten.
<i>Ögonkontakt</i>	Gråd inte! Skölj omedelbart med mycket vatten i minst 15 minuter.
<i>Försöring</i>	Ge OMEDELBART dryck i riklig mängd. Framkalla ej kräkning. Kontakta sjukhus eller läkare.
<i>Allmän information</i>	Vid minsta osäkerhet eller om besvär kvarstår, kontakta läkare.

**5. ÅTGÄRDER VID BRAND**

Inte relevant då produkten ej  r br nbar.

**6. ÅTGÄRDER VID SPILL/OAVSIKTIGA UTSLÄPP**

<i>Personliga skyddsåtgärder</i>	Undvik damm. Undvik kontakt med hud och ögon.
<i>�tg�rder för att skydda miljön</i>	Förhindra att större mängder hamnar i avlopp, vattendrag eller mindre vattensamlingar.
<i>Saneringsmetoder</i>	För att förhindra dammbildning b�r cement sugas upp. Cement som blandats med vatten hårdnar och kan deponeras som byggnadsavfall.

**7. HANTERING OCH LAGRING**

<i>Hantering</i>	Undvik dammbildning
<i>Lagring</i>	Förvaras åtkomligt för barn och i sin originalförpackning på torr plats.  S�ck: För att minska risken för kromallergi �r produkten kromatreducerad. Om den förvaras enligt anvisning �r reduktionseffekten effektiv. Lagringstiden för cement i säck f�r inte överstiga sex månader från f�rpackningsd�g på obruten plastad pall och får inte överstiga en månad efter att plasten runt pallens brutits (dock längst sex månader från f�rpackningsd�g). Sex månader efter f�rpackningsd�g finns en ökad risk för inneh�ll av sexvärt krom vilket ger en ökad risk för krom�kem och kromallergi.  Bull: Reduktionseffekten hos silolagrad cement är effektiv minst 1 år efter tillverkningsdatum.

**8. BEGRÄNSNING AV EXPONERING/PERSONLIGA SKYDDSÅTGÄRDER**

<i>Hygieniska gränsvärden (enl. AFS 2005:17)</i>	Damm, organiskt	NGV Inhalebart damm 10 mg/m <sup>3</sup> NGV Respirabelt damm 5 mg/m <sup>3</sup>
<i>Tekniska skyddsåtgärder</i>	Punktutslag kan behövas om risk för inandning av cementdamm föreligger. Detta gäller även vid slipning av och/eller b�rning i härdad produkt.	
<i>Personlig skyddsutrustning</i>	T�tst�tande skyddsglasögon samt skyddshandskar.  Andningskydd med filter P2 fasta partiklar b�r användas i miljö där cementdamm förekommer, samt vid slipning av och/eller b�rning i härdad produkt.  Cementet �r kromatreducerat, varför risken för att en kromallergi skall förvärvas �r reducerad.  Personer med kromallergi bör dock undvika att med oskyddad hud beröra f�rsk�n/nyblandade produkter som innehåller cement.	

**9. FYSIKALISKA OCH KEMISKA EGENSKAPER**

<i>Form</i>	Finkornigt, strävt dammande pulver.
<i>Färg</i>	Grön
<i>pH i brukslösning</i>	12,8
<i>Kompaktv�rde (kg/m<sup>3</sup>)</i>	3 100–3 200
<i>Skrymteviskosit�t (kg/m<sup>3</sup>)</i>	800–1 500

**10. STABILITET OCH REAKTIVITET**

<i>Stabilitet</i>	Produkten är stabil under rekommenderade lagrings- och hanteringsf�rh�llande (se punkt 7).
<i>Reaktivitet</i>	Cement som reagerar med vatten bildar kalciumhydroxid och ger direkt ett högt pH (12,5–13,5). Cement reagerar med vatten och hårdnar.

**11. TOXIKOLOGISK INFORMATION**

<i>Inandning</i>	Inandning av cementdamm kan irriteras slemhinnor.
<i>Hudkontakt</i>	Långvarig kontakt med blandning av cement och vatten kan ge f�r�tskador på oskyddad hud.
<i>�gonkontakt</i>	Torr cementdamm eller st�sk från en blandning av cement och vatten kan snabbt ge upphov till allvarlig ögonskada.
<i>F�r�ring</i>	Kan ge irritation i mun eller matsmältningssystem.

**12. EKOTOXIKOLOGISK INFORMATION**

Produkten har ingen känd ekotoxikologisk inverkan.

**13. AVFALLSHANtering**

S rre mängder av spill kan deponeras efter överenskommelse med lokala myndigheter.  
Cement som blandas med vatten hårdnar och kan deponeras som byggnadsavfall.

**14. TRANSPORTINFORMATION**

Cement  r ej farligt gods.

**15. GÄLLANDE BESTÄMMELSER**

	Irriterande.
<i>R 37/38</i>	Irriterar andningsorganen och huden.
<i>R 41</i>	Kan ge allvarlig ögonskada.
<i>S 2</i>	Förvaras åtkomligt för barn.
<i>S 22</i>	Undvik inandning av damm.
<i>S 24</i>	Undvik kontakt med huden.
<i>S 26</i>	Vid kontakt med ögonen, spola g�rset med mycket vatten (15 minuter) och kontakta läkare.
<i>S 36/37</i>	Använd lämpliga skyddshandskar samt skyddsg�r�gon eller ans�ttskydd.

## 16. ÖVRIG INFORMATION

Ej märkt med R 43 eftersom cementet ej anses kunna ge kromallergi då det   kromatreducerat, se vidare punkt 7 och 8.

### CEMENTA AB

Box 47210, 100 74 Stockholm  
Telefon 08-625 68 00  
Telefax 08-753 36 20  
E-post [info@cementa.se](mailto:info@cementa.se)  
Hemsida [www.cementa.se](http://www.cementa.se)

# Säkerhetsdatablad – Injektering 30

## 1. NAMNET PÅ PRODUKTEN OCH FÖRETAGET

<i>Produktnamn</i>	Injektering 30
<i>Användning</i>	Bindemedel i injektionsbruk.
<i>Ömarbetad</i>	2006-03-17
<i>Ersätter</i>	2003-04-04
<i>Tillverkare och leverantör</i>	Cementa AB Box 47210 100 74 Stockholm
<i>Kontaktperson</i>	Sven-Erik Johansson, telefon 040-36 15 00
<i>Nödtелефон</i>	020-99 60 00 giftinformation (ERC)

## 2. SAMMANSÄTTNING/ÄMNEAS KLASSIFICERING

<i>Ämnen</i>	Portlandcement	
<i>Halt</i>	75–100 %	
<i>CAS-nr</i>	65 997-15-1	
<i>EG-nr</i>	2660434	
<i>Klassificering</i>	Xi	Irriterande.
<i>R-fraser</i>	R 37/38	Irriterar andningsorgan och hud.
	R 41	Kan ge allvarlig ögonskada.

## 3. FARLIGA EGENSKAPER

<i>Xi</i>	Irriterande.
<i>R 37/38</i>	Irriterar andningsorgan och hud.
<i>R 41</i>	Kan ge allvarlig ögonskada.
	Vid kontakt med vatten bildas kalciumhydroxid vilket har högt pH och därför irriterar huden.

## 4. FÖRSTA HJÄLPEN

<i>Inandning</i>	Frisk, ej dammig luft.
<i>Hudkontakt pulver</i>	Borsta bort och tvätta med tvål och vatten.
<i>Hudkontakt blöt massa</i>	Tag av kläder, tvätta med tvål och vatten.
<i>Ögonskada</i>	Gnid inte! Skölj omedelbart med mycket vatten i minst 15 minuter.
<i>Förtäring</i>	Ge OMEDELBART dryck i riklig mängd. Frankalla ej kräkning. Kontakta sjukhus eller läkare.
<i>Allmän information</i>	Vid minsta osäkerhet eller om besvär kvarstår, kontakta läkare.



**5. ÅTGÄRDER VID BRAND**

Inte relevant då produkten ej  r br nbar.

**6. ÅTGÄRDER VID SPILL/OAVSIKTUGA UTSLÄPP**

<i>Personliga skyddsåtgärder</i>	Undvik damm. Undvik kontakt med hud och ögon.
<i>�tg�rder för att skydda miljön</i>	Förhindra att större mängder hamnar i avlopp, vattendrag eller mindre vattensamlingar.
<i>Saneringsmetoder</i>	För att förhindra dammbildning b�r cement sugas upp. Cement som blandats med vatten hårdnar och kan deponeras som byggnadsavfall.

**7. HANTERING OCH LAGRING**

<i>Hantering</i>	Undvik dammbildning
<i>Lagring</i>	Förvaras åtkomligt för barn och i sin originalförpackning på torr plats.  S�ck: För att minska risken för kromallergi �r produkten kromatreducerad. Om den förvaras enligt anvisning �r reduktionseffekten effektiv. Lagringstiden för cement i säck f�r inte överstiga sex månader från f�rpackningsdag på obruten plastad pall och får inte överstiga en månad efter att plasten runt pallen brutits (dock längst sex månader från f�rpackningsdag). Sex månader efter f�rpackningsdag finns en ökad risk för inneh�ll av sexvärt krom vilket ger en ökad risk för kromexem och kromallergi.  Bulv: Reduktionseffekten hos silolagrad cement är effektiv minst 1 år efter tillverkningsdatum.

**8. BEGRÄNSNING AV EXPONERING/PERSONLIGA SKYDDSÅTGÄRDER**

<i>Hygieniska gränsvärden (enl. AFS 2005:17)</i>	Damm, oorganiskt	NGV Inhalerbart damm 10 mg/m <sup>3</sup> NGV Respirabelt damm 5 mg/m <sup>3</sup>
<i>Tekniska skyddsåtgärder</i>	Punktugsug kan behövas om risk för inandning av cementdamm föreligger. Detta gäller även vid slipning av och/eller b�rning i härdad produkt.	
<i>Personlig skyddsutrustning</i>	Tätslutande skyddsglasögon samt skyddshandskar.  Andningsskydd med filter P2 fasta partiklar b�r användas i miljö där cementdamm förekommer, samt vid slipning av och/eller b�rning i härdad produkt.  Cementet �r kromatreducerat, varför risken för att en kromallergi skall förvaras �r reducerad.  Personer med kromallergi bör dock undvika att med oskyddad hud beröra f�riska/hybridade produkter som innehåller cement.	

**9. FYSIKALISKA OCH KEMISKA EGENSKAPER**

<i>Form</i>	Finkornigt, strävt dammande pulver.
<i>Färg</i>	Grått
<i>pH i brukslösning</i>	12,8
<i>Kompaktdensitet (kg/m<sup>3</sup>)</i>	3 100–3 200
<i>Skrymdensitet (kg/m<sup>3</sup>)</i>	800–1 500

#### 10. STABILITET OCH REAKTIVITET

<i>Stabilitet</i>	Produkten är stabil under rekommenderade lagrings- och hanteringsförhållande (se punkt 7).
<i>Reaktivitet</i>	Cement som reagerar med vatten bildar kalciumhydroxid och ger direkt ett högt pH (12,5–13,5). Cement reagerar med vatten och hårdnar.

#### 11. TOXIKOLOGISK INFORMATION

<i>Inandning</i>	Inandning av cementdamm kan irritera slemhinnor.
<i>Hudkontakt</i>	Långvarig kontakt med blandning av cement och vatten kan ge frätskador på oskyddad hud.
<i>Ögonkontakt</i>	Torr cementdamm eller strålk från en blandning av cement och vatten kan snabbt ge upphov till allvarlig ögonskada.
<i>Förtäring</i>	Kan ge irritation i mun eller matsmältningsorgan.

#### 12. EKOTOXIKOLOGISK INFORMATION

Produkten har ingen känd ekotoxikologisk inverkan.

#### 13. AVFALLSHANtering

Större mängder av spill kan deponeras efter överenskommelse med lokala myndigheter.  
Cement som blandas med vatten hårdnar och kan deponeras som byggnadsavfall.

#### 14. TRANSPORTINFORMATION

Cement är ej farligt gods.

#### 15. GÄLLANDE BESTÄMMELSER



	Irriterande.
<i>R 37/38</i>	Irriterar andningsorganen och huden.
<i>R 41</i>	Kan ge allvarlig ögonskada.
<i>S 2</i>	Förevaras oåtkomligt för barn.
<i>S 22</i>	Undvik inandning av damm.
<i>S 24</i>	Undvik kontakt med huden.
<i>S 26</i>	Vid kontakt med ögonen, spola genast med mycket vatten (15 minuter) och kontakta läkare.
<i>S 37/39</i>	Använd lämpliga skyddshandskar samt skyddsglasögon eller ansiktsskydd.

**16. ÖVRIG INFORMATION**

Ej märkt med R 43 eftersom cementet ej anses kunna ge kromallergi då det  r kromreducerat, se vidare punkt 7 och 8.

**CEMENTA AB**

Box 47210, 100 74 Stockholm  
Telefon 08-625 68 00  
Telefax 08-753 36 20  
E-post [info@cementa.se](mailto:info@cementa.se)  
Hemsida [www.cementa.se](http://www.cementa.se)



## S akerhetsdatablad

### 1. Namnet på ämnet/preparatet och bolaget/företaget

Handelsnamn:	<b>GroutAid<sup>®</sup></b>
Produktanvändning:	F�r injekt�ring i berg och l�s massa i kombination med hydraulisk cement eller kalk.
Adress/Tel.nr.:	<b>Elkem AS, Materials</b> P.O.Box 8126 Vaagsbygd N-4675 Kristiansand, Norway Telephone: + 47 38 01 75 00 Telefax: + 47 38 01 49 70 <a href="http://www.materials.elkem.com">http://www.materials.elkem.com</a>
Kontaktperson:	Arne Skagen, e-mail: <a href="mailto:arne.skagen@elkem.no">arne.skagen@elkem.no</a>
Nödtelefon:	Ej tillämpligt

### 2. Sammansättning/uppgifter om beståndsdelar

Består av:	Vidaref�r�dlad Elkem Microsilica <sup>®</sup> slurry
Synonymer:	Vattenbaserad dispersion av amorf kiseldioxid (H <sub>2</sub> O + SiO <sub>2</sub> ), Silica slurry, Silica stoft.
IUPAC-namn:	Kiseldioxid
CAS No.:	69012-64-2
EINECS No.:	273-761-1
Sammansättning (analys):	Vkt %
Amorf silica <sup>1)</sup> , (85% < amorf SiO <sub>2</sub> < 98%)	48.0 – 52.0
Vatten	Resterande kvantitet

<sup>1)</sup> Produkten kan innehålla små mängder kristallin kvarts (10,5%).

### 3. Farliga egenskaper

GroutAid<sup>®</sup> tills tsmaterial medför inte fara för hälsa, miljö eller säkerhet vid förvaring och hantering enligt föreskrifter. Se sektion 7.

  Copyright Elkem AS 2006

508/SWD  
Rev. 04, March 27 - 2006

Sida 1 av 4

#### 4. Första hjälpen

INANDNING:	Ej tillämpligt.
HUDKONTAKT:	Tvätta med tvål och vatten.
ÖGONEN:	Skölj med vattervögonsköljningsvätska. Kontakta läkare vid kvardröjande obehag.
FÖRTÄRING:	Ej tillämpligt.

#### 5. Brandbekämpningsåtgärder

GroutAid<sup>®</sup> tillsatsmaterial är inte brännbart. Om slurryn torkar, förorsakar stoffet inte fara för explosion.

Släckningsmedel: Ej tillämpligt.

#### 6. Åtgärder vid oavsiktliga utsläpp

Utsläpp skall samlas upp i lämplig behållare.

#### 7. Hantering och lagring

Hantering: Om slurryn torkar, undvik arbetssituationer som medför uppvirvling av damm. Se sektion 8.

Lagring: Förvaras åtskild från fluorvätesyra (HF). Förvaras ej vid en temperatur i närleken av eller under 0°C.

#### 8. Begränsning av exponeringen/personligt skydd

##### A) Yrkeshygienisk exponeringskontroll

Om slurryn torkar: Undvik inandning av damm. Sörj för god ventilation vid dammande arbetsoperationer. Använd CE-märkt andningskydd med dammfilter P2/P3 enl. EN 149 eller motsvarande i områden med otillräcklig ventilation. Använd skyddshandskar och skyddsglasögon. Vattenögdroppar måste finnas tillgängliga.

Hygieniska gränsvärden (AFS 2005:17)

	NGV		KTV		Anm	Noter
	ppm	mg/m <sup>3</sup>	ppm	mg/m <sup>3</sup>		
Damm, organisk						
inhalerbart	-	10	-	-		1
respirabelt	-	5	-	-		1
Kvarts [14808-60-7]					M	1
- respirabelt damm	-	0,1	-	-		

##### B. Begränsning av miljöexponeringen

Se sektion 6, 7 och 12.

## 9. Fysikaliska och kemiska egenskaper

Utseende:	Slurry.
Färg:	Grå.
Lukt:	Ingen.
Löslighet:	Olöslig i vatten, löslig i alkalier.
Löslighet (organisk):	Olöslig/svåröslig.
Specifik täthet (vatten =1):	Normalt 1.4
pH:	Normalt 5-7
Partikelstorlek, i medeltal (µm):	= 0.4 Normalt har 90 vikt% av partiklarna en diameter på <1µm.
Specifik yta (m <sup>2</sup> /g):	15-30

## 10. Stabilitet och reaktivitet

Förhållanden som bör undvikas: Bör inte förvaras vid temperatur nära eller under 0 °C.

Ämnen som bör undvikas: Fluorvätesyra (HF).

### Farliga sönderdelningsprodukter:

Reagerar med fluorvätesyra och bildar giftig gas (kisel tetrafluorid, SiF<sub>4</sub>). Uppvärmning av GroutAid<sup>®</sup> över 1000°C kan resultera i bildningar av kristallinska SiO<sub>2</sub>- modifieringar (kristobalit /tridymit) som kan förorsaka lungfibros (silikos). Ombildningar går snabbare ju högre temperaturen är.

## 11. Toxikologisk information

### Akuta effekter:

FÖRTÄRING:	Damm från torr GroutAid <sup>®</sup> tillsatsmaterial kan irritera och verka uttorkande på slemhinnor.
INANDNING:	Damm från torr GroutAid <sup>®</sup> tillsatsmaterial kan irritera och verka uttorkande på slemhinnor.
HUDEN:	Damm från torr GroutAid <sup>®</sup> tillsatsmaterial kan irritera och verka uttorkande.
ÖGONEN:	Damm från torr GroutAid <sup>®</sup> tillsatsmaterial kan irritera och verka uttorkande.

### Kroniska effekter:

GroutAid<sup>®</sup> tillsatsmaterial som slurry:

Ej tillämpligt.

Torr GroutAid<sup>®</sup> tillsatsmaterial:

GroutAid<sup>®</sup> kan innehålla små mängder kristallinsk kvarts (<0,5%). Inandning av GroutAid<sup>®</sup> stoft antas medföra minimal risk för silikos (lungfibros), men kronisk obstruktiv lungsjukdom är misstänkt vid exponering över lång tid (år) för koncentrationer över hygieniska gränsvärden.

## 12. Ekologisk information

GroutAid<sup>®</sup> tillsattematerial är inte karakteriserat som miljöfarligt.

MOBILITET:	Produkten är lite mobilt vid normala miljöförhållanden.
NEDBRYTBARHET:	Ej relevant för organiska substanser.
BIOACKUMULERING:	Ej relevant.
EKO-TOXICITET:	Elkem Microsilica: <i>Daphnia magna</i> : 24 h EC <sub>50</sub> > 1002 mg.l <sup>-1</sup> 24 h EC <sub>100</sub> > 1002 mg.l <sup>-1</sup> NOEC 319 mg.l <sup>-1</sup>

Grovkornig Microsilica (närbesiktad produkt) har varit föremål för Microtox<sup>™</sup> Screening Test. Inga akuta toxikologiska effekter har observerats på testade organismer.

## 13. Avfallshandtering

Materialet återvinnes där detta är möjligt.

I den form den levereras är produkten inte definierad som farligt avfall enligt Kommissionsbeslutena 2000/532/EG och 2001/118/EG.

Produktrester och -avfall deponeras för övrigt enligt gällande regelverk och efter överenskommelse med lokala myndigheter.

## 14. Transportinformation

UN:	-
IMDG/IMO:	Ej klassifieringspliktig
ADR/RID:	Ej klassifieringspliktig
ICAO/IATA:	Ej klassifieringspliktig

## 15. Gällande föreskrifter

Produktklassificering och -märkning:

Färsymboler och färbeteckningar:	Ej märkningspliktigt
R-fraser:	Inga
S-fraser:	Inga

Texten i varuinformationsbladet är författad enligt:

- Rådets direktiv 1999/45/EG och Kommissionens direktiv 2001/58/EG

## 16. Annan information

Litteraturhänvisningar kan fås från tillverkaren.

GroutAid<sup>®</sup> är ett registrerat varumärke som innehas av Elkem ASA.




**SÄKERHETSDATABLAD Sika Melcrete**
**1. NAMNET PÅ PRODUKTEN OCH FÖRETAGET**

<i>Produktnamn:</i>	Sika Melcrete
<i>Kemisk/teknisk produktbeteckning:</i>	Flyttillsats/vattenreducerare för betong
<i>Leverantör/tilverkare:</i>	Sika Sverige AB, Box 6009, 175 06 JÄRFÄLLA <i>Telefon:</i> 08-621 89 00 <i>Telefax:</i> 08-621 89 89
<i>Utförare:</i>	Ekologi & Miljö
<i>Vid olycksfall:</i>	Giftinformationscentralen, Karolinska Sjukhuset, telefon 08-33 12 31

**2. SAMMANSÄTTNING/ÄMNENAS KLASSIFICERING**

Ämnen	CAS Nr	Halt %	Klass; R-fraser*
Polymeriserad naftalensulfonat		30 – 50	
1,2-Benzisotiazol-3(2H)-on <sup>1)</sup>	2634-33-5	0,0029	Xn; R22 Xi; R38-41 R43 N; R50
2-Metyl-2H-isotiazol-3-on <sup>1)</sup>	2682-20-4	0,0029	C; R20/22 R34 R43 N; R50

1) Konserveringsmedel. Produkten är en vattenlösning.

\* *Klassificering och R-fraser för hälsafarlighet som de angivits i Kemikalieinspektionens föreskrifter (KIFS 1994:12; 2001:3) och för brandfarlighet enligt Sprängämnesinspektionens föreskrifter (SÄIFS 1989:3 och 1993:5).*

Angivna R-fraser finns förklarade under punkt 16.

**3. FARLIGA EGENSKAPER**

<i>Hälsorisker:</i>	Långvarig hudkontakt kan ge sveda och rodnad. Stänk i ögonen ger sveda.
<i>Miljöfara:</i>	Produkten är inte klassificerad som miljöfarlig men innehåller en mycket liten mängd konserveringsmedel som i hög koncentration har mycket hög toxicitet för vattenlevande organismer.
<i>Brand:</i>	Ej brandfarlig.
<i>Fysikaliska/kemiska risker:</i>	-

**4. FÖRSTA HJÄLPEN**

<i>Inandning:</i>	Frisk luft.
<i>Hudkontakt:</i>	Tag av nedstänkta kläder. Skölj huden med mycket vatten.
<i>Ögonkontakt:</i>	Skölj med mycket vatten. Håll ögonlocken brett isär, avlägsna eventuella kontaktlinser. Kontakta läkare om besvär kvarstår.
<i>Förtäring:</i>	Ge ett par glas mjölk eller vatten. Kontakta läkare om större mängd svalts.

**5. ÅTGÄRDER VID BRAND**

Kan släckas med pulver, skum, koldioxid eller vatten i spridd stråle.

**6. ÅTGÄRDER VID SPILL/OAVSIKTLIGA UTSLÄPP**

Förhindra utsläpp till avloppet. Mindre mängd torkas upp. Större mängd suggs upp med något absorberande material t ex sand, jord eller liknande. Samlas ihop och behandlas som farligt avfall.

**7. HANTERING OCH LAGRING**

Undvik direktkontakt med produkten. Förvaras i sin originalförpackning.

**8. BEGRÄNSNING AV EXPONERINGEN/PERSONLIGA SKYDDSÅTGÄRDER**

Möjlighet till ögonspolning bör finnas.

Tekniska skyddsåtgärder

-

Personlig skyddsutrustning

Skyddshandskar ska användas. Vid risk för stänk kan ögonskydd behövas.

Hygieniska gränsvärden enligt *Arbetskyddsstyrelsens Författningssamling (AFS 2000:3)*

- mg/m<sup>3</sup> (NGV)

**9. FYSIKALISKA OCH KEMISKA EGENSKAPER**

Varubeskrivning: Mörkbrun vätska utan speciell lukt.

Densitet: 1,175 g/cm<sup>3</sup>

pH: 8

**10. STABILITET OCH REAKTIVITET**

Stabilt vid normal hantering.

**11. TOXIKOLOGISK INFORMATION**

<i>Inandning:</i>	Inandning av stora mängder ånga eller dimma kan ge sveda i näsa och svalg.
<i>Hudkontakt:</i>	Långvarig hudkontakt kan ge sveda och rodnad.
<i>Kontakt med ögon:</i>	Stänk i ögonen ger sveda och övergående irritation.
<i>Förtäring:</i>	Förtäring kan ge sveda i mun och svalg, illamående.
<i>Toxikologiska data:</i>	Konserveringsmedel Acticide LD <sub>50</sub> oralt råttor >2500 mg/kg
	MBS baserat på 2,5% lösning av LD <sub>50</sub> dermalt råttor >2000mg/kg
	respektive: LC50/4h, inhalation råttor aerosol >5mg/l
	1,2-Benzisotiazol-3(2H)-on och
	2-Metyl-2H-isotiazol-3-on:
	Polymeriserad naftalensulfonat: LD <sub>50</sub> oralt råttor > 2000 mg/kg

**12. EKOTOXIKOLOGISK INFORMATION**

Produkten innehåller konserveringsmedel som i hög koncentration har mycket hög toxicitet för vattenlevande organismer. Polymeriserad naftalensulfonat har låg toxicitet för vattenlevande organismer och är ej lättnedbrytbar.

**Akvatisk toxicitet**

2-Metyl-2H-isotiazol-3-on:	LC <sub>50</sub> fisk 96h 12,4 mg/l (Bluegill sunfish) 6,0 mg/l (Oncorhynchus mykiss) EC <sub>50</sub> Daphnia 48h 1,6 mg/l (Daphnia magna) EC <sub>50</sub> bakterier 16h 2,3 mg/l (Pseudomonas putida) LC <sub>50</sub> fisk 96h <1 mg/l
1,2-Benzisotiazol-3(2H)-on:	EC <sub>50</sub> Daphnia 48h 1,6 mg/l (Daphnia magna) LC <sub>50</sub> fisk 96h 3,4 mg/l (Bluegill sunfish) 1,3 mg/l (Rainbow trout) EC <sub>50</sub> Daphnia 48h 1,5 mg/l EC <sub>50</sub> bakterier 16h 0,4 mg/l (Pseudomonas putida)
Polymeriserad naftalensulfonat:	LC <sub>50</sub> fisk 48h 400 mg/l (Salmo gairdneri) EC <sub>50</sub> Daphnia 48h >200 mg/l (Daphnia magna)

**Nedbrytbarhet**

Polymeriserad naftalensulfonat:	BOD <sub>5</sub> /COD 0,03
---------------------------------	----------------------------

**Rörlighet och bioackumulering**

1,2-Benzisotiazol-3(2H)-on:	Log Pow: +0,4
2-Metyl-2H-isotiazol-3-on:	Log Pow: -0,3
Polymeriserad naftalensulfonat:	Log Pow: -0,91

**13. AVFALLSHANTERING**

Behandlas som farligt avfall, EWC-kod 16 05 08, enligt Avfallsförordningen (SFS 2001:1063).

**14. TRANSPORTINFORMATION**

Produkten omfattas ej av reglerna för transport av farligt gods.

**15. GÄLLANDE BESTÄMMELSER****Farosymboler**

-

**R/S-fraser och övrig märkningsinformation**

Ej märkningspliktig enligt Kemikalieinspektionens föreskrifter KIFS 1994:12 med ändringar.

**Övriga bestämmelser:**

-



## 16. ÖVRIG INFORMATION

Information om ingående ämnen har huvudsakligen hämtas från följande referenser:

Fregert S., Björkner B., Bruze M., Dahlquist I., Gruvberger B., Persson K., Trulsson L.  
(1990) Yrkesdermatologi, Studentlitteratur, Lund

Kemikalieinspektionens ämneslista i Kemikalieinspektionens Föreskrifter om Klassificering och Märkning av Kemiska produkter (KIFS 2001:3)

Lewis, R.J. (1992) Sax's Dangerous Properties of Industrial Materials, 8th ed., Van Nostrand Reinhold, New York.

Skyddsblad och miljöskyddsblad för kemiska produkter, Sveriges Kemiska Industrikontor, Stockholm.

Databaserna: Toxline, HSDB, Riskline, Medline.

Kemiska Ämnen 8.0 (cd-rom), Prevent 2001.

Information från tillverkaren

Angivna riskfraser under punkt 2.

R 20/22	Farligt vid inandning och förtäring	R 41	Risk för allvarliga ögonskador
R 22	Farligt vid förtäring		
R 38	Irriterar huden	R 34	Frätande
		R 43	Kan ge allergi vid hudkontakt
		R 50	Mycket giftigt för vattenlevande organismer

Detta varuinformationsblad är omarbetat med avseende på följande punkter:  
Sammansättning, pga sänkt innehåll av konserveringsmedel.

## TN Gradients at a grouted tunnel front

### The problem

The groundwater pressure outside an air filled tunnel causes a hydraulic gradient towards the tunnel. The flowing groundwater may erode fresh grout and/or drive the grout back to the tunnel. In the following a simple analysis of the gradient is made based on continuum theory. It may be used as a rule of thumb for analyses of erosion and back-flow of fresh grout.

### Gradient towards an ungrouted tunnel

When the leakage only occurs in the front area we assume that this area may be approximated by a half-sphere with the same radius as the tunnel, see Figure 1.

Knowing the hydraulic gradient,  $-dh/dr$ , at the distance  $r$  from the sphere the ingress can be calculated to be:

$$Q = -4\pi r^2 \cdot dh/dr \cdot K \quad (1)$$

$K$  is the hydraulic conductivity of the rock. Integrating the head from the sphere surface to the groundwater table and the radius from the tunnel radius,  $r_t$ , to the influence radius,  $R_0$ , gives the approximate solution keeping in mind that the drawdown equals the negative driving head:

$$H = \int_{r_t}^{R_0} \frac{Q}{4\pi K} \cdot \frac{dr}{r^2} = \frac{Q}{4\pi K} \cdot \left( \frac{1}{r_t} - \frac{1}{R_0} \right) \quad (2a)$$

If the drawdown of the groundwater table,  $s$ , is reasonably small, we can approximate the influence radius by image well theory to be  $R_0 \approx 2H \gg r_t$ . Here we use the level of the tunnel floor as depth below the groundwater table because of the gravity effect on drawdown at the tunnel face. Thus:

$$Q \cong 4\pi K H r_t \quad (2b)$$

Combining Equations 1 and 2b gives the hydraulic gradient at the tunnel front:

$$-\frac{dh}{dr}(r = r_t) = \frac{H}{r_t} \quad (3)$$

This gives the order of magnitude of the gradient provided that the front is ungrouted. Interestingly enough it is independent of both the leakage and the hydraulic conductivity.

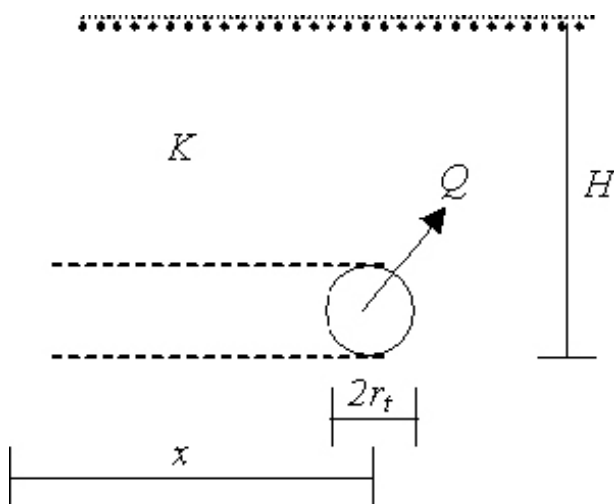


Figure 1. Ingress to the tunnel front area only.  $x$  denotes a reach of the tunnel behind the front.

## Gradient towards a grouted tunnel

A grouted tunnel is surrounded by a grouted zone, where the original hydraulic conductivity of the rock,  $K_0$ , is reduced to  $K_i$ , see Figure 2. Here we assume that also the front is grouted.

The reduction is typically one order of magnitude or more. The tunnel front can be approximated by a half-sphere with a grouted zone of thickness  $t$ . The radius of the tunnel is  $r_t$  and the thickness of the grouted zone  $t$ . Two points are of special interest. See Figure 3.

- A. Immediately behind the tunnel front in the grouted zone. Here the gradient is the highest but the largest fractures are grouted which makes the resistance for backflow and erosion of a fresh grout better.
- B. Immediately outside the grouted zone in the fresh rock.

The ingress to the half-sphere is:

$$Q = 2\pi r_i^2 \cdot -\frac{dh}{dr}(A) \cdot K_i = 2\pi (r_t + t)^2 \cdot -\frac{dh}{dr}(B) \cdot K_0 \quad (4)$$

Thus in analogy with Equation 2a:

$$dh(A) = -\frac{Q}{2\pi K_i} \cdot \frac{dr}{r^2} \quad \text{which integrated gives:} \quad \Delta h_A = \frac{Q}{2\pi K_i} \left( \frac{1}{r_t} - \frac{1}{r_t + t} \right) \quad (5 \text{ a \& b})$$

$$dh(B) = -\frac{Q}{2\pi K_0} \cdot \frac{dr}{r^2} \quad \text{which integrated gives:} \quad \Delta h_B = \frac{Q}{2\pi K_0} \left( \frac{1}{r_t + t} - \frac{1}{2H} \right) \quad (6 \text{ a \& b})$$

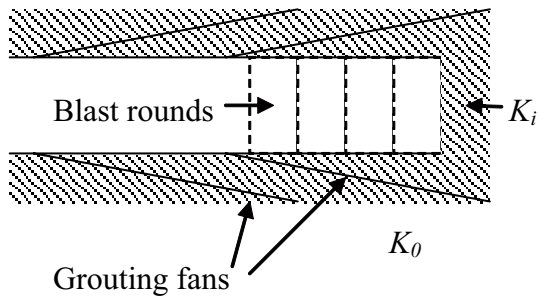


Figure 2. Grouted zone around a pre-grouted tunnel.

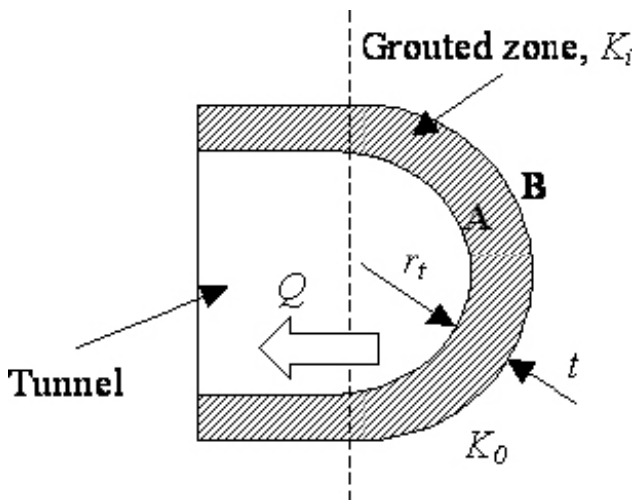


Figure 3. Ingress to a grouted tunnel front area.

Since  $2H \gg r_i + t$ , we can write:

$$H = \Delta h(A) + \Delta h(B) = \frac{Q}{2\pi K_0} \left[ \frac{K_0}{K_i} \cdot \left( \frac{1}{r_i} - \frac{1}{r_i + t} \right) + \frac{1}{r_i + t} \right] \quad (7)$$

This can be developed to become:

$$Q = 2\pi K_0 H \cdot \frac{K_i(r_i + t)r_i}{K_0 t + K_i r_i} \quad (8)$$

Inserting in 5a and 6a gives:

$$\boxed{-\frac{dh}{dr}(A) = \frac{H}{r_i} \cdot \frac{K_0(r_i + t)}{K_0 t + K_i r_i}} \quad (9a)$$

$$\boxed{-\frac{dh}{dr}(B) = \frac{H}{r_i + t} \cdot \frac{K_i r_i}{K_0 t + K_i r_i}} \quad (9b)$$

### Simplifications at the extremes

If the tunnel is ungrouted,  $K_i = K_0$ , simplification of Equation 9a gives:

$$\boxed{-\frac{dh}{dr}(A) = \frac{H}{r_i}} \quad (3)$$

Which is exactly Equation 3, as it should be. If the grouting behind the front is very effective,  $K_i \ll K_0$  Equation 9a is reduced to:

$$\boxed{-\frac{dh}{dr}(A) \approx \frac{H}{r_i} \cdot \left( 1 + \frac{r_i}{t} \right)} \quad (10)$$

If  $r_i \approx t$  which is commonly the case we get:

$$\boxed{-\frac{dh}{dr}(A) \approx 2 \frac{H}{r_i}} \quad (11)$$

Interestingly enough the gradient in the grouted zone for this case does not go to infinity but is roughly doubled.

For the ungrouted tunnel,  $t = 0$ , Equation 9b as it should gives:

$$-\frac{dh}{dr}(A) \approx \frac{H}{r_i} \quad (3)$$

If the grouting behind the front is very effective,  $K_i \ll K_0$  Equation 9b is reduced to:

$$\boxed{-\frac{dh}{dr}(B) \approx \frac{H}{r_i + t} \cdot \frac{K_i r_i}{K_0 t}} \quad (12)$$

Here we see that the ratio between the ungrouted and grouted conductivities has a large influence. This is an important design parameter for grouting in that it also governs the magnitude of the ingress in a grouted tunnel. It is commonly designed to be in the order of 1 – 3 orders of magnitude. If  $r_i \approx t$  we get:

$$\boxed{-\frac{dh}{dr}(B) \approx \frac{H}{r_i} \cdot \frac{K_i}{2K_0}} \quad (13)$$

Thus, front grouting and having an overlap of the fans are very efficient measures in reducing the hydraulic gradient of the ungrouted rock outside the grouted zone.



## Bilaga 4.1.a

### Inflödes- och tryckmätningar

Skärm nr: 1A

Sektion tunnel: 4,47

Verklig sektion inmätt: 4,47

Datum: 2007-11-19

Tid: 14:00

Vattentemp: 12,8 °C

Borrhåls diameter: 0,062 m

Mättid: 1 min

Antaget tryck: 30 bar

Uppmätt data							Beräknad data
Borrhåls-namn [-]	Borrhåls-nummer [nr]	Borrhåls-längd [m]	Tryck borrhål [bar]	Flödes- tid [min]	Volym [liter]	Kommentarer	Inflöde, Q [l/min]
SS0004A01	1	8,5	30	1	13,2		13,2
SS0004A05	3	8	0,4	1	2,4	Packer läcker i svetsen	2,4
SS0004A09	5	8	0,1	1	4		4
SS0004A13	7	8	0,1	1	0,016		0,016
SS0004C01	9	8,5	0,1	1	0,014		0,014
SS0004H03	11	9,5	12	1	0,1		0,1
SS0004H07	13	10	1,7	1	0,13		0,13
SS0004H11	15	10,5	8	1	0,09		0,09
SS0004I07	17	10,5	9,2	1	1,2		1,2
SS0004I03	19	10,5	9,3	1	0,8		0,8
SS0004D01	21	11	10	1	0,08		0,08
SS0004B16	23	11	10	1	4,4		4,4
SS0004B12	25	11	9	1	0,19		0,19
SS0004B08	27	11	9	1	1,1		1,1
SS0004B04	29	11,5	7,5	1	1		1
SS0004G01	31	11,5	7,5	1	0,65		0,65
SS0004G05	33	11,5	0,8	1	0,3		0,3
SS0004G09	35	11	1,5	1	0,015		0,015
SS0004G13	37	11	1	1	0,055		0,055
SS0004G17	39	11,5	1,5	1	0,068		0,068
SS0004G21	41	11,5	29	1	27		27
<b>Antal</b>	21	<b>Max</b>	30	<b>Summa</b>	56,808		<b>max</b> 27,0
							<b>medel</b> 2,7
							<b>median</b> 0,3

Vid mätt tryck på 0 bar antas trycket till 0,1 bar, markeras med

Vid mätt inflöde på 0 l/min antas volymen vara 0,0001 l, markeras med

Om flödet mäts i droppar antas en droppe vara 0,070 milliliter



max

medel

median

## Bilaga 4.1.b

### Vattenförlustmätning

Skärm nr: 1A

Sektion tunnel: 4,47 Verklig sektion inmätt: 4,47

Datum: 2007-11-21

Borrhåls diameter: 0,062 m

Tid: 13:00

Mättid: 5-10 min

Vattentemp: 14,3 °C

Injektionsövertryck: 5 bar

Uppmätt data									Beräknad data		
Borrhål namn [-]	Borrhåls nummer [nr]	Borrhåls- längd [m]	Tryck borrhål [bar]	Injektio- ns- tryck [bar]	Flödes tid [liter]	Volym under injektion	Vikt i blandaren [kg]		Kommentarer	Flöde via flödemätare [l/min]	Flöde via våg [l/min]
							Före	Efter			
SS0004A01	1	8,5	30	35	10	64	123,5	58,6		6,4	6,49
SS0004A05	3	8	0,4	5,4	5	1,4	158,3	156,5		0,28	0,36
SS0004A09	5	8	0,1	5	5	0,1	136,7	136,5		0,02	0,04
SS0004A13	7	8	0,1	5	5	0,1	116,3	116		0,02	0,06
SS0004C01	9	8,5	0,1	5	5	0,1	96	95,6		0,02	0,08
SS0004H03	11	9,5	12	17	5	1,1	73,9	72,2		0,22	0,34
SS0004H07	13	10	1,7	6,7	5	3,3	43,7	39,3		0,66	0,88
SS0004H11	15	10,5	8	13	5	0,1	240,4	240,3		0,02	0,02
SS0004I07	17	10,5	9,2	14,2	5	0,1	218,4	218,2	Registrerades i Logac som 15 igen pga felskrivning	0,02	0,04
"	"	"	"	"	"	"	"	"			
SS0004I03	19	10,5	9,3	14,3	5	9,2	211,5	200,8		1,84	2,14
SS0004D01	21	11	10	15	5	0,8	179,3	178,2		0,16	0,22
SS0004B16	23	11	10	15	5	15	163,7	146,3		3	3,48
SS0004B12	25	11	9	14	5	2,2	125,3	122,8		0,44	0,5
SS0004B08	27	11	9	14	5	3,9	117,4	111,2		0,78	1,24
SS0004B04	29	11,5	7,5	12,5	5	3,8	110,4	105,8		0,76	0,92
SS0004G01	31	11,5	7,5	12,5	5	1,7	103,7	101,4		0,34	0,46
SS0004G05	33	11,5	0,8	5,8	5	1	93,9	83		0,2	2,18
SS0004G09	35	11	1,5	6,5	5	0,1	78,9	78,8		0,02	0,02
SS0004G13	37	11	1	6	5	0,3	76,7	76,1		0,06	0,12
SS0004G17	39	11,5	1,5	6,5	5	0,1	73,9	73,5		0,02	0,08
SS0004G21	41	11,5	29	34	5	52	65	11,8		10,4	10,64
<b>Antal</b>	21		<b>Max</b>	30							

Vid mätt tryck på 0 bar antas trycket till 0,1 bar, markeras med

Vid mätt flöde med flödesgivaren på 0 l/min är flödet antaget till 0,1 l/min, markeras med



## Bilaga 4.1.c

### Injektoring

Skärm nr: **1A**  
 Sektion tunnel: **4,47** Verklig sektion inmätt: **4,47**

Datum: 2007-11-26-29 Antaget grv tryck: 30 bar  
 Tid: \_\_\_\_\_ Brukstemp: 12,2 °C  
 Lufttemp: 11,9 °C

Borrhålsdata				Valda injekteringsparametrar				
Borrhål namn	Borrhåls nummer	Borrhåls-längd	Grv tryck borrhål	Injekterings-tryck	Vald geltid och ungefärlig ratio		Effektiv inj tid	Antal satsar
[-]	[nr]	[m]	[bar]	[bar]	[min]	Ratio [X:Y]		[-]
SS0004A 01	1	8,5	30	60	63	5,8:1	50,4	1
SS0004A 05	3	8	0,4	60	63	5,7:1	50,4	1
SS0004A 09	5	8	0,1	60	63	5,7:1	50,4	0,5
SS0004A 13	7	8	0,1	60	63	5,7:1	50,4	0,5
SS0004C01	9	8,5	0,1	60	63	5,7:1	50,4	0,5
SS0004H03	11	9,5	12	60	63	5,7:1	50,4	1
SS0004H07	13	10	1,7	80	39	5,2:1	31,2	1
SS0004H11	15	10,5	8	80	39	5,2:1	31,2	1
SS0004I07	17	10,5	9,2	80	39	5,2:1	31,2	1
SS0004I03	19	10,5	9,3	80	39	5,2:1	31,2	1
SS0004D01	21	11	10	80	39	5,2:1	31,2	1
SS0004B16	23	11	10	80	39	5,2:1	31,2	1
SS0004B12	25	11	9	80	39	5,2:1	31,2	1
SS0004B08	27	11	9	80	39	5,2:1	31,2	1
SS0004B04	29	11,5	7,5	80	39	5,2:1	31,2	1
SS0004G01	31	11,5	7,5	80	39	5,2:1	31,2	1
SS0004G05	33	11,5	0,8	80	39	5,2:1	31,2	1
SS0004G09	35	11	1,5	80	39	5,2:1	31,2	1
SS0004G13	37	11	1	80	39	5,2:1	31,2	1
SS0004G17	39	11,5	1,5	60	63	5,8:1	50,4	1
SS0004G21	41*	11,5	29	60	21	4,4:1	16,8	1

1 sats  
240 kg  
193-196 l

Geltid	Kg sol	kg salt
63	206	34
39	200	40
21	192	48

Blandning  
5,7:1  
5,0:1  
4,4:1

Geltid	Kg sol	kg salt
63	199,5	35
39	200	40
21	176	40

\* OBS sänkt geltid då större sprickvidd

**Om det bedöms att satsen kommer att ta slut innan den effektiva injekteringstiden är uppnådd skall en ny sats göras med 21 minuters geltid vid ca 10 l kvar i kärlet, sänks flödet men med bibehållet tryck och sats blandas snabbt. Ny injekteringstiden blir 4/5 av 21 min = 17 min.**

Inj.volym hämtad från logacfilen för BH 1,3,5,7,13,19 och 25

OBS för BH 5 gick det in 143 l vid 1 m manchett placering sedan 30 liter i andra vid 3 m manchett placering

Borrhålsdata		Protokollföres under injektering					
Borrhål namn	Borrhåls nummer	Start inj	Stoppat vid fullgjord tid	Uppnått tryck efter start inj	Inj. volym	Gel tid	Kommentarer (samband, läckage, stoppat på annat än tid, alltid vid Nej)
[-]	[nr]	[Tid]	[Ja/Nej]	[min]	[l]	[min]	
SS0004A01	1	1,45	Ja	2,50	135	68	Glömde stoppa Logac innan rengöring
SS0004A05	3	1,58	Nej	-	322	63	Stora sprickor i väggen. Fick blanda en sats 4,4:1 med geltid 21 min, kom aldrig upp i 60 bar.
SS0004A09	5	1,25	Nej	2,40	181	39	Stort återslag vid första försöket. Försöker med längre manschett, 3m in i hålet och nu går det bättre, fast manschetten läcker ca 0,4 l/min får in totalt 30l. Sätter sedan en plugg utanför med kort geltid, 35:1 och 10 min geltid.
SS0004A13	7	1,47	Ja	2,20	70	65	Glömde stoppa Logac innan rengöring
SS0004C01	9	1,36	Ja	2,23	25	64	Ytliga slag i taket läcker, blandar en sats till 4,4:1 med geltid 17min.
SS0004H03	11	2,39	Ja	3,10	43	65	Läckage i Gurlita koppling. Packning byts till nästa inj. Läckaget mäts till ca 10 l totalt.
SS0004H07	13	2,40	Nej	3,23	303	40	Ytliga spickor+ en extra sats blandad
SS0004H11	15	1,48	Ja	2,25	32	34	
SS0004I07	17	2,28	Ja	3,20	45	46	
SS0004I03	19	2,50	Ja	3,30	69	39	Glömde stoppa Logac innan rengöring
SS0004D01	21	1,45	Ja	2,25	40	38	
SS0004B16	23	1,27	Nej	2,30	96	23	Avbröt ty för snabb gelning
SS0004B12	25	2,05	Ja	2,40	33	33	Glömde stoppa Logac innan rengöring
SS0004B08	27	2,05	Ja	2,43	35	39	Glömde stoppa Logac innan rengöring
SS0004B04	29	1,30	Ja	2,30	50	38	Geltiden blev alldeles för kort, oklart varför.
SS0004G01	31	1,30	Ja	2,04	18	40	Startade Logac lite för sent, ca 40s vilket gör att volymen inte riktigt stämmer.
SS0004G05	33	2,00	Nej	2,45	275	41	Samband till 35, 37 och KS0005F01. Blandade en extra sats 4:1 med geltid 17 min
SS0004G09	35	2,00	Ja	2,40	25	41	
SS0004G13	37	1,50	Ja	2,25	30	35	
SS0004G17	39	1,00	Ja	1,30	50	70	Pumptid 60min, Samband med KS0005F06 och KS0006F01
SS0004G21	41*	1,30	Nej	2,30	240	21	Blandade 243 kg i första satsen men fick komplettera med 148 kg till och dessutom gå ner i tryck och flöde. Sats 2 med geltid 21 min
"	"						

Summa 2117 Teoretisk borrhålsvolym 573,6 Effektivt inj volym = 1543,2

Protokollföra re: Daniel Lignell och Henrik Svensson

## Bilaga 4.1.d

### Inflödes- och tryckmätningar

Skärm nr: **1B**  
 Sektion tunnel: **4,47** Verklig sektion inmätt: **4,47**

Datum: 2007-12-04 Borrhåls diameter: 0,06 m  
 Tid: 07:00 Mättid: 1 min  
 Vattentemp: 11,9 °C Antaget tryck: 30 bar

Uppmätt data							Beräknad data
Borrhål namn [-]	Borrhåls nummer [nr]	Borrhåls- längd [m]	Tryck borrhål [bar]	Flödes tid [min]	Volym [liter]	Kommentarer	Inflöde, Q [l/min]
SS0004A03	2	10	31	1	3,8		3,8
SS0004A07	4	8	1	1	0,0049	70 droppar	0,0049
SS0004A15	8	8	0,1	1	0,00196	28 droppar	0,00196
SS0004H09	14	10	0,1	1	0,00588	84 droppar	0,00588
SS0004I01	20	10,5	0,1	1	0,00336	48 droppar	0,00336
SS0004B14	24	11	10	1	0,09		0,09
SS0004B02	30	11,5	17	1	0,03		0,03
SS0004G03	32	11,5	0,1	1	0,0001		0,0001
SS0004G07	34	11,5	0,5	1	0,00777	111 droppar	0,00777
SS0004G11	36	11	0,1	1	0,08		0,08
SS0004G15	38	11	0,1	1	0,00728	104 droppar	0,00728
SS0004G19	40	11,5	29	1	0,56		0,56
SS0004G23	42	11,5	31	1	8,4		8,4
<b>Antal</b>	13	<b>Max</b>	31	<b>Summa</b>	12,99		<b>max</b> 8,400
							<b>medel</b> 0,999
							<b>median</b> 0,008

Vid mätt tryck på 0 bar antas trycket till 0,1 bar, markeras med   
 Vid mätt inflöde på 0 l/min antas volymen vara 0,0001 l, markeras   
 Om flödet mäts i droppar antas en droppe vara 0,070 milliliter

## Vattenförlustmätning

Skärm nr: 1B

Sektion tunnel: 4,47 Verklig sektion inmätt: 4,47

Verklig sektion (inmätt): 4,47

Borrhåls diameter: 0,062 m

Tid: 10:00

Mättid: 5 min

Vattentemp: 11,9 °C

Injektionsövertryck: 5 bar

Uppmätt data									Beräknad data		
Borrhål namn	Borrhåls nummer	Borrhåls-längd	Tryck borrhål	Injektions-tryck	Flödes tid	Volym under injektion	Vikt i blandaren [kg]		Kommentarer	Flöde via flödemätare	Flöde via våg
[-]	[nr]	[m]	[bar]	[bar]	[minuter]		Före	Efter		[l/min]	[l/min]
SS0004A03	2	10	31	36	5	12			Vikt ej mätt, glömde	2,4	
SS0004A07	4	8	1	6	5	0,1	362	362	Manschett placeras 3m in pga slag	0,02	0
SS0004A15	8	8	0,1	5,1	5	0,1	314	314	Manschett släpper. Vfl görs om	0,02	0
SS0004H09	14	10	0,1	5,1	5	0,1	284	284		0,02	0
SS0004I01	20	10,5	0,1	5,1	5	0,1	256	256		0,02	0
SS0004B14	24	11	10	15	5	0,1	238,3	238,3		0,02	0
SS0004B02	30	11,5	17	22	5	0,1	365	365		0,02	0
SS0004G03	32	11,5	0,1	5,1	5	0,1	367	367		0,02	0
SS0004G07	34	11,5	0,5	5,5	5	0,1	369	369		0,02	0
SS0004G11	36	11	0,1	5,1	5	0,1	374,4	374,4		0,02	0
SS0004G15	38	11	0,1	5,1	5	0,1	374	374		0,02	0
SS0004G19	40	11,5	29	34	5	0,7			Vikt ej mätt, glömde	0,14	
SS0004G23	42	11,5	31	36	5	26			Vikt ej mätt, glömde	5,2	
<b>Antal</b>	0	<b>Max</b>	31								

Vid mätt tryck på 0 bar antas trycket till 0,1 bar, markeras med Vid mätt flöde med flödesgivaren på 0 l/min är flödet antaget till 0,1 l/min, markeras med

## Bilaga 4.1.f

### Injekttering

Skärm nr: **1B**  
 Sektion tunnel: **4,47**      Verklig sektion inmätt: **4,47**

Verklig sektion (inmätt): 4,47      Antaget grv tryck: 30 bar  
 Datum: 2007-12-04      Brukstemp: 11,9 °C  
 Tid: 14:48      Lufttemp: 14,6 °C

Borrhålsdata				Valda injekteringsparametrar				
Borrhål namn	Borrhåls nummer	Borrhåls-längd alt sektions-längd	Grv tryck borrhål	Injekterings-tryck	Vald geltid och ungefärlig ratio		Effektiv inj tid	Antal satser
[-]	[nr]		[bar]	[bar]	[min]	Ratio [X:Y]	[min]	[-]
SS0004A03	2	10	30	60	63	5,8:1	50,4	1,5
SS0004G19	40	11,5	29	50	21	4,4:1	16,8	1,5
SS0004G23	42	11,5	31	50	21	4,4:1	16,8	1,5
SS0004A03	2	3		5 bar + grv P	21	4,4:1	16,8	1
SS0004G19	40	3		5 bar + grv P	21	4,4:1	16,8	1
SS0004G23	42	3		5 bar + grv P	21	4,4:1	16,8	1
<b>Övriga täta hål</b>								
SS0004A07	4	8	1	60	39	5,2:1	31,2	1
SS0004A15	8	8	0,1	60	39	5,2:1	31,2	1
SS0004H09	14	10	0,1	60	39	5,2:1	31,2	1
SS0004I01	20	10,5	0,1	60	39	5,2:1	31,2	1
SS0004B14	24	11	10	60	39	5,2:1	31,2	1
SS0004B02	30	11,5	17	60	39	5,2:1	31,2	1
SS0004G03	32	11,5	0,1	60	39	5:1	31,2	1
SS0004G07	34	11,5	0,5	60	39	5:1	31,2	1
SS0004G11	36	11	0,1	60	39	5:1	31,2	1
SS0004G15	38	11	0,1	60	39	5,2:1	31,2	1

1 sats 240 kg 193-196 l	Geltid	kg sol
	63	206
	39	200
	21	192

Blandning	Geltid	kg sol
5,7:1	63	199,5
5,0:1	39	200
4,4:1	21	176

Om det bedöms att satsen kommer att ta slut innan den effektiva injekteringstiden är uppnådd skall en ny sats göras med 21 minuters geltid vid ca 10 l. kvar i kärlet, sänks flödet men med bibehållet tryck och sats blandas snabbt. Ny injekteringstiden blir 4/5 av 21 min = 17 min.



Borrhålsdata		Protokollföres under injektering						Kommentarer
Borrhål namn	Borrhåls nummer	Start inj	Stoppat vid fullgjord tid	Uppnått tryck efter start inj	Inj. volym	Gel tid	Manchett placering från borrhåls-vägg	Kommentarer (samband, läckage, stoppat på annat än tid, alltid vid Nej)
[-]	[nr]	[Tid]	[Ja/Nej]	[Tid]	[l]	[min]	[m]	
SS0004A03	2	2,12	JA	2,45	40	56	3	Samband 1
SS0004G19	40	1,25	JA	2,10	18	21	3	
SS0004G23	42	1,28	JA	2,00	76	21	3	
SS0004A03	2	1,4	JA	1,5	7,9	21	1	Liten volym dock såg slag från skärm 1B
SS0004G19	40	1,3	JA	1,5	6,9	21	1	Liten volym dock såg slag från skärm 1B
SS0004G23	42	1,4	JA	2,13	5,5	21	1	Liten volym dock såg slag från skärm 1B
<b>Övriga täta hål</b>								
SS0004A07	4	1,50	JA	2,10	15	40	1	
SS0004A15	8	1,38	JA	2,10	22	39	1	Samband 7
SS0004H09	14	1,58	JA	2,22	29	40	1	
SS0004I01	20	1,50	JA	2,50	54	39	1	Samband 19
SS0004B14	24	2,10	JA	2,50	31	36	1	
SS0004B02	30	2,20	JA	3,00	40	35	1	Samband 29
SS0004G03	32	2,50	JA	3,23	50	32	1	Samband 33
SS0004G07	34	2,10	JA	2,40	47	32	1	Samband 33
SS0004G11	36	1,53	JA	2,37	25	32	1	Manschett släpp. Hålet var fyllt när loggning startade därför bör denna volym adderas till inj. volym.
"	"							
SS0004G15	38	1,49	JA	2,30	20	37	1	

Protokollförare: Daniel Lignell

## Bilaga 4.1.g

### Inflödes- och tryckmätningar

Skärm nr: 1C

Sektion tunnel: 4,47 Verklig sektion inmätt: 4,47

Datum: 2007-12-06

Borrhåls diameter: 0,062 m

Tid: 16:00

Mättid: 1 min

Vattentemp: 11,9 °C

Antaget tryck: 30 bar

Uppmätt data							Beräknad data
Borrhål namn	Borrhåls nummer	Borrhåls-längd	Tryck borrhål	Flödes tid	Volym	Kommentarer	Inflöde, Q
[-]	[nr]	[m]	[bar]	[min]	[liter]		[l/min]
SS0004A02	50	8	0,1	1	0,0001		0,0001
SS0004I02	68	10,5	0,1	60	0,38		0,0063
SS0004G22	90	11,5	30	1	2,2		2,2
SS0004G24	91	8	0,1	1	0,0001		0,0001
<b>Antal</b>	4	<b>Max</b>	30	<b>Summa</b>	2,5802		<b>max</b>
							<b>medel</b>
							<b>median</b>
							2,200
							0,552
							0,003

Vid mätt tryck på 0 bar antas trycket till 0,1 bar, markeras med

Vid mätt inflöde på 0 l/min antas volymen vara 0,0001 l, markeras

Om flödet mäts i droppar antas en droppe vara 0,070 milliliter

**Vattenförlustmätning**Skärm nr: **1C**Sektion tunnel: **4,47** Verklig sektion inmätt: **4,47**Datum: 2007-12-06Borrhåls diameter: 0,062 mTid: 17:00Mättid: 5 minVattentemp: 11,9 °CInjektionsövertryck: 5 bar

Uppmätt data								Beräknad data			
Borrhål namn	Borrhåls nummer	Borrhåls-längd	Tryck borrhål	Injektions-tryck	Flödes tid	Volym under injektion	Vikt i blandaren [kg]		Kommentarer	Flöde via flödemätare	Flöde via våg
[-]	[nr]	[m]	[bar]	[bar]	[minuter]	[l]	Före	Efter		[l/min]	[l/min]
SS0004A02	50	8	0,1	5,1	5	18,5	42,3	23,2	Samband hål 2	3,7	3,82
SS0004D02	68	10,5	0,1	5,1	5	0,1	172,3	172,3	Samband hål 19	0,02	0
SS0004G22	90	11,5	30	35	5	1,7	104,28	101,9		0,34	0,476
SS0004G24	91	8	0,1	5,1	5	0,1	119,2	119,4		0,02	-0,04
<b>Antal</b>	4	<b>Max</b>	30								

Vid mätt tryck på 0 bar antas trycket till 0,1 bar, markeras med Vid mätt flöde med flödesgivaren på 0 l/min är flödet antaget till 0,1 l/min, markeras med

## Bilaga 4.1.i

### Injekttering

Skärm nr: 1C

Sektion tunnel: 4,47 Verklig sektion inmätt: 4,47

Datum: 2007-12-07

Tid: 10:15

Antaget grv tryck: 30 bar

Bruks temp: 14,8 °C

Lufttemp: 13,3 °C

(Temp. togs efter halva geltiden)

Borrhålsdata				Valda injektionsparametrar				
Borrhål namn	Borrhåls nummer	Borrhåls-längd alt sektion-längd	Grv tryck borrhål	Injektions-tryck	Vald geltid och ungefärlig ratio	Effektiv inj tid	Antal sats	
[-]	[nr]		[bar]	[bar]	[min]   Ratio [X:Y]	[min]	[-]	
SS0004A02	50	8	0,1	60	39   5,2:1	31,2	1	
SS0004I02	68	10,5	0,1	60	39   5,2:1	31,2	1	
SS0004G22	90	11,5	30	60	39   5,2:1	31,2	1	
SS0004G24	91	8	0,1	60	39   5,2:1	31,2	1	

1 sats	Geltid	kg sol	kg salt
240 kg	63	206	34
193-196 l	39	200	40
	21	192	48

Blandning	Geltid	kg sol	kg salt
5,7:1	63	199,5	35
5,0:1	39	200	40
4,4:1	21	176	40

Borrhålsdata		Protokollföres under injekttering						Kommentarer (samband, läckage, stoppat på annat än tid, alltid vid Nej)
Borrhål namn	Borrhåls nummer	Start inj	Stoppat vid fullgjord tid	Uppnått tryck efter start inj	Inj. volym	Gel tid	Manchett placering från borrhålsvägg	
[-]	[nr]	[Tid]	[Ja/Nej]	[Tid]	[l]	[min]	[m]	
SS0004A02	50	1,39	JA	2,07	165	40	1	Samband med 2
SS0004I02	68	3,30	JA	4,10	70	39	1	Samband med 19
SS0004G22	90	1,38	NEJ	1,50	248	40	1	Samband med 41. Tryck minskas till 50 bar eftersom närliggande manchetter börjar tryckas ut. När 160 l sol gått åt efter 29 min sänks tryck & flöde varefter sats på 4,4:1 med geltid 20min. Efter 34min uppe i ett tryck på 50 bar igen.
"	"							
SS0004G24	91	3,06	JA	3,31	25	40		Samband med 1

Protokollförelse: Daniel Lignell och Henrik Svensson

**Inflödes- och tryckmätningar**Skärm nr: **2** StuffinjSektion tunnel: **8,47** Verklig sektion (inmätt): **8,60**Datum: 2008-01-02  
Tid: 14:30  
Vattentemp: 14,2 °CBorrhåls diameter: 0,062 m  
Mättid: 1 min  
Antaget tryck:          bar

Uppmätt data							Beräknad data	
Borrhål namn [-]	Borrhåls nummer [nr]	Borrhåls- längd [m]	Tryck borrhål [bar]	Flödes tid [min]	Volym [liter]	Kommentarer	Inflöde, Q [l/min]	Inflöde enbart stuffinjekteringshålen [l/min]
SS0008F01	1	20	29,5	1	8,5		8,5	8,5
SS0008F02	2	20	26	1	4,1		4,1	4,1
SS0008F03	3	20	31	1	17,4	Obshål	17,4	
SS0008F04	4	20	31	1	9,2		9,2	9,2
<b>Antal</b>	<b>4</b>	<b>Max</b>	<b>31</b>	<b>Summa</b>	<b>39,2</b>		<b>max</b>	<b>9,2</b>
							<b>medel</b>	<b>7,3</b>
							<b>median</b>	<b>8,5</b>

Vid mätt tryck på 0 bar antas trycket till 0,1 bar, markeras med Vid mätt inflöde på 0 l/min antas volymen vara 0,0001 l, markeras med 

Om flödet mäts i droppar antas en droppe vara 0,070 milliliter

**Efter stuffinjektering**

Datum: 2008-01-09 11:00

SS0008F03	3	20	30,5	1	5,4	Obshål		5,4
-----------	---	----	------	---	-----	--------	--	-----

När borrhålet öppnas igen efter stuffinjekteringen (2008-01-09 10:25) kommer färgat vatten ut, troligen silica sol.

**Efter injekteringsomgång A**

Datum: 2008-01-28 07:30

SS0008F03	3	20	21,7	1	0,3	Obshål		0,3
-----------	---	----	------	---	-----	--------	--	-----

**Efter injekteringsomgång B**

Datum: 2008-02-04 08:30

SS0008F03	3	20	21	1	0,14	Obshål		0,14
-----------	---	----	----	---	------	--------	--	------

**Efter injekteringsomgång C**

Datum: 2008-01-28 07:30

SS0008F03	3	20	19	1	0,11	Obshål		0,11
-----------	---	----	----	---	------	--------	--	------

## Bilaga 4.2.b

### Vattenförlustmätningar

Skärm nr: 2 Stuffinj

Sektion tunnel: 8,47 Verklig sektion (inmätt): 8,60

Datum: 2007-11-21

Borrhåls diameter: 0,062 m

Tid: 13:00

Mättid: 5-10 min

Vattentemp: 14,3 °C

Injektionsövertryck: 5 bar

Uppmätt data									Beräknad data		
Borrhål namn [-]	Borrhåls nummer [nr]	Borrhåls-längd [m]	Tryck borrhål [bar]	Injektions-tryck [bar]	Flödes tid [min]	Volym under injektion	Vikt i blandaren [kg]		Kommentarer	Flöde via flöde mätare [l/min]	Flöde via våg [l/min]
							Före	Efter			
SS0008F01	1	20	29,5	35	5	41				8,2	0
SS0008F02	2	20	26	31	5	7,5				1,5	0
SS0008F03	3	20	31	36	5	6,9			Obs hålet	1,38	0
SS0008F04	4	20	31	36	5	17			Aterslag i ett gammalt kors et hål, 5F05?	3,4	0
<b>Antal</b>	4		<b>Max</b>	31							

#### Efter stuffinjering

Datum: 2008-01-09 11:12

SS0008F03	3	20	30,5	35,5	5	15			Obs hålet			3	0
-----------	---	----	------	------	---	----	--	--	-----------	--	--	---	---

#### Efter injektionsomgång A

Datum: 2008-01-09 11:12

SS0008F03	3	20	21,7	27	5	0,1	242	242	Obs hålet			0,02	0
-----------	---	----	------	----	---	-----	-----	-----	-----------	--	--	------	---

#### Efter injektionsomgång B

Datum: 2008-01-09 11:12

SS0008F03	3	20	21	26	5	0,1	317	317,9	Obs hålet			0,02	-0,17
-----------	---	----	----	----	---	-----	-----	-------	-----------	--	--	------	-------

#### Efter injektionsomgång C

Datum: 2008-01-09 11:12

SS0008F03	3	20	19	24	5	0,1			Obs hålet			0,02	0
-----------	---	----	----	----	---	-----	--	--	-----------	--	--	------	---

Vid mätt tryck på 0 bar antas trycket till 0,1 bar, markeras med

Vid mätt flöde med flödesgivaren på 0 l/min är flödet antaget till 0,1 l/min, markeras med



**Injektering**Skärm nr: **2 Stuffinj**Sektion tunnel: **8,47** Verklig sektion (inmätt): **8,60**Datum: 2008-01-08 (F01)Antaget grv tryck: 31 barDatum: 2008-01-09 (F02 och 4)Bruktemp:            °CLufttemp: 13,0 °C

Borrhålsdata				Valda injekteringsparametrar				
Borrhål namn	Borrhåls nummer	Borrhåls-längd	Grv tryck borrhål	Injekterings-tryck	Vald geltid och ungefärlig ratio		Effektiv inj tid	Antal satser
[-]	[nr]	[m]	[bar]	[bar]	[min]	Ratio [X:Y]		[-]
SS0008F01	1	20	29,5	81	Recept 1		45	1
SS0008F02	2	20	26	71	25	4,5:1	20	1
SS0008F03	3	20	31	--	--	--	--	--
SS0008F04	4	20	31	71	25	4,5:1	20	1

1 sats	Geltid	Kg sol	kg salt
240 kg	63	206	34
193-196 l	39	200	40
	21	192	48

Löpande provning, LP görs för cementen. Skrivs på separat protokoll

**Cement injektering***Cement egenskaper*

Aperture, b           152 mm  
Yield stress           20 Pa  
Viscosity              25 mPas

*Cement design*

Grouting time        45 min  
Delta P                5 Mpa  
Ger l<sub>d</sub>>pw/deltaP  
l2-D=                 12,5 m

**Silica sol injektering**

Gel tid                25 min  
tG                     8 min  
Delta P                40 bar  
Ger l max (150 mym)= 17 m  
Ger l max (10 mum)= 1,125 m

**Recept 1 viktförhållande**

Vatten                1,68  
Cement                1  
Groutaid             1,37  
SP                    0,07

**2 säckar****För en sats**

67,2 kg  
40 kg  
54,8 kg  
2,8 kg



**Protokollföres under injektering**

<b>Borrhål namn</b> [-]	<b>Borrhåls nummer</b> [nr]	<b>Start inj</b> [Tid]	<b>Stoppat vid fullgjord tid</b> [Ja/Nej]	<b>Uppnått tryck efter start inj</b> [Tid]	<b>Inj. volym</b> [l]	<b>Gel tid/löpande provning</b> [min]	<b>Kommentarer (samband, läckage, stoppat på annat än tid alltid vid Nej OBS Ja om vaccumpump)</b>
SS0008F01	1	0,00	Ja	1,10	167	LP	Å terslag i KI0014B01, 0,85 cm från hålet ca 3 min efter det att injekteringen startade. Efter ca 40 min pumptid rinner rent vatten ur KI0014B01.
"	"						
SS0008F02	2	2,20	Ja	2,50	88	26	Gammlt hål till höger om F02 var manschetterat men manschetten trycktes ut under injekteringen, trycket minskades och manschetten byttes ut. Trycket byggdes upp igen. Den nya manschetten började även den tryckas ut och ventilen öppnades därför något för
"	"						
"	"						
SS0008F03	3						
SS0008F04	4	2,20	Ja	2,50	191	26	Å terslag i KI0016B01 och KI0005F05 samt att även denna injektering trycker ut manschett som vid injektering i F02.

**Protokollförare:** Henrik Svensson och Daniel Lignell

## Bilaga 4.2.d

### Inflödes- och tryckmätningar

Skärm nr: 2A

Sektion tunnel: 8,47 Verklig sektion (inmätt): 8,60

Datum: 2008-01-16

Borrhåls diameter: 0,062 m

Tid: 08:00

Mättid: 1 min

Vattentemp: 13,4 °C

Antaget tryck: 30 bar

Uppmätt data								Beräknad data
Borrhål namn	Borrhåls nummer	Borrhåls-längd	Tryck borrhål	Flödes tid	Volym en manch. öppen	Volym alla öppna	Kommentarer	Inflöde, Q
[-]	[nr]	[m]	[bar]	[min]	[liter]	[liter]		[l/min]
SS0008A04	1	25	28	1	14	0,0001		14
SS0008A08	3	25	29	1	8,8	0,0001		8,8
SS0008A12	5	25	28	1	0,8	0,0001		0,8
SS0008A16	7	25	25	1	1,1	0,08		1,1
SS0008A20	9	25	12	1	0,6	0,00035	5 droppar	0,6
SS0008A24	11	25	0,1	1	0,2	0,00308	44 droppar	0,2
SS0008C01	13	25	27	1	0,3	0,00665	95 droppar	0,3
SS0008H02	15	25	28	1	4,2	0,3		4,2
SS0008H06	17	25	29	1	1,7	0,1		1,7
SS0008H10	19	25	28	1	0,8	0,1		0,8
SS0008H14	21	25	28	1	3,2	0,2		3,2
SS0008I18	23	25	29	1	9	1,2		9
SS0008I14	25	25	29	1	24	0,00637	91 droppar	24
SS0008I10	27	25	29	1	44	2,2		44
SS0008I06	29	25	28	1	17	1,1		17
SS0008I02	31	25	29	1	10	1,6		10
SS0008D01	33	25	29	1	60	0,2		60
SS0008B24	35	25	27	1	23,5	0,2		23,5
SS0008B20	37	25	29	1	25,5	3,2		25,5
SS0008B16	39	25	29	1	64	1		64
SS0008B12	41	25	26	1	56	0,0001		56
SS0008B08	43	25	28	1	63	3,5		63
SS0008B04	45	25	29	1	57	5		57
SS0008G01	47	25	26	1	96	12		96

Uppmätt data								Beräknad data
Borrhål namn	Borrhåls nummer	Borrhåls-längd	Tryck borrhål	Flödes tid	Volym en manch. öppen	Volym alla öppna	Kommentarer	Inflöde, Q
[-]	[nr]	[m]	[bar]	[min]	[liter]	[liter]		[l/min]
SS0008G05	49	25	29	1	54	3,2		54
SS0008G09	51	25	26	1	0,4	0,00112	16 droppar	0,4
SS0008G13	53	25	26	1	1,1	0,0001		1,1
SS0008G17	55	25	29	1	5	0,53		5
SS0008G21	57	25	29	1	7	0,18		7
SS0008G25	59	25	28	1	27	7,5		27
SS0008G29	61	25	29	1	23	0,63		23
<b>Antal</b>	31	<b>Max</b>	29	<b>Summa</b>	702,2	44,0377	<b>max</b>	96,0
							<b>medel</b>	22,7
							<b>median</b>	10,0

Vid mätt tryck på 0 bar antas trycket till 0,1 bar, markeras med

Vid mätt inflöde på 0 l/min antas volymen vara 0,0001 l, markeras med

Om flödet mäts i droppar antas en droppe vara 0,070 milliliter

**Vattenförlustmätning**Skärm nr: **2A**Sektion tunnel: **8,47** Verklig sektion (inmätt): **8,60**

Datum: 08-01-16 Borrhåls diameter: 0,062 m  
 Tid: 17:00 Mättid: 5 min  
 Vattentemp: 13,3 °C Injektionsövertryck: 5 bar

Uppmätt data									Beräknad data		
Borrhål namn [-]	Borrhåls nummer [nr]	Borrhåls- längd [m]	Tryck borrhål [bar]	Injektions- tryck [bar]	Flödes- tid [min]	Volym under injektion [liter]	Vikt i blandaren [kg]		Kommentarer	Flöde via flödemätare [l/min]	Flöde via våg [l/min]
							Före	Efter			
SS0008A04	1	25	28	33	5	30	318	287		6	6,2
SS0008A08	3	25	29	34	5	18	270	251		3,6	3,8
SS0008A12	5	25	28	33	5	2,7	238	233		0,54	1
SS0008A16	7	25	25	30	5	3,8	222	217		0,76	1
SS0008A20	9	25	12	17	5	1	181	180		0,2	0,2
SS0008A24	11	25	0,1	5,1	5	8,2	164	156		1,64	1,6
SS0008C01	13	25	27	32	5	2,8	152	150		0,56	0,4
SS0008H02	15	25	28	33	5	11	143	133		2,2	2
SS0008H06	17	25	29	34	5	7,8	125	117		1,56	1,6
SS0008H10	19	25	28	33	5	8,4	271	262		1,68	1,8
SS0008H14	21	25	28	33	5	23	258	235		4,6	4,6
SS0008H18	23	25	29	34	5	59	227	164		11,8	12,6
SS0008H4	25	25	29	34	5	61	145	77		12,2	13,6
SS0008H0	27	25	29	34	5	53	60	7,1		10,6	10,58
SS0008D6	29	25	28	33	5	66	82	17		13,2	13
SS0008D2	31	25	29	34	5	44	251	208		8,8	8,6
SS0008D01	33	25	29	34	5	142	198	49		28,4	29,8
SS0008B24	35	25	27	32	5	48	381	329		9,6	10,4
SS0008B20	37	25	29	34	5	71	291	215		14,2	15,2
SS0008B16	39	25	29	34	5	81	486	407		16,2	15,8
SS0008B12	41	25	26	31	5	82	399	318		16,4	16,2
SS0008B08	43	25	28	33	5	120	240	113		24	25,4
SS0008B04	45	25	29	34	5	172	258	82		34,4	35,2
SS0008G01	47	25	26	31	5	166	259	89		33,2	34

Uppmätt data										Beräknad data	
Borrhål namn	Borrhåls nummer	Borrhåls-längd	Tryck borrhål	Injektions-tryck	Flödes tid	Volym under injektion	Vikt i blandaren [kg]		Kommentarer	Flöde via flöde mätare	Flöde via våg
[-]	[nr]	[m]	[bar]	[bar]	[min]	[liter]	Före	Efter		[l/min]	[l/min]
SS0008G05	49	25	29	34	5	147	180	30		29,4	30
SS0008G09	51	25	26	31	5	1	228	227		0,2	0,2
SS0008G13	53	25	26	31	5	3,4	244	239		0,68	1
SS0008G17	55	25	29	34	5	9	255	246	Y tåga sprickor	1,8	1,8
SS0008G21	57	25	29	34	5	26	280	256		5,2	4,8
SS0008G25	59	25	28	33	5	64	353	285		12,8	13,6
SS0008G29	61	25	29	34	5	85	450	368	Y tåga sprickor i högerväggen, läcker ut där	17	16,4
<b>Antal</b>	31		<b>Max</b>	29							

Vid mätt tryck på 0 bar antas trycket till 0,1 bar, markeras med

Vid mätt flöde med flödesgivaren på 0 l/min är flödet antaget till 0,1 l/min, markeras med

Protokollförrare: Daniel Lignell

## Bilaga 4.2.f

### Injektering

Skärm nr: **2A**  
 Sektion tunnel: **8,47** Verklig sektion (inmätt): **8,60**

Datum: 2008-01-22 Antaget grv tryck: 30 bar  
 Tid: 07:40 Brukstemp: 12,7 °C  
 Lufttemp: 12,2 °C

Borrhålsdata				Valda injekteringsparametrar					
Borrhål namn	Borrhåls nummer	Borrhåls-längd	Grv tryck borrhål	Injekterings-tryck	Vald geltid och ungefärlig ratio		Effektiv inj tid	Antal satser	Inj.ordning
[-]	[nr]	[m]	[bar]	[bar]	[min]	Ratio [X:Y]	[min]	[-]	
SS0008A 04	1	25	28	60	39	5,2:1	31,2	1,5	13
SS0008A 08	3	25	29	60	39	5,2:1	31,2	1,5	14
SS0008A 12	5	25	28	60	39	5,2:1	31,2	1	15
SS0008A 16	7	25	25	60	39	5,2:1	31,2	1	16
SS0008A 20	9	25	12	60	39	5,2:1	31,2	1	19
SS0008A 24	11	25	0,1	60	39	5,2:1	31,2	1	20
SS0008C01	13	25	27	60	39	5,2:1	31,2	1	23
SS0008H02	15	25	28	60	39	5,2:1	31,2	1	24
SS0008H06	17	25	29	60	39	5,2:1	31,2	1	27
SS0008H10	19	25	28	60	39	5,2:1	31,2	1	28
SS0008H14	21	25	28	60	39	5,2:1	31,2	1,5	29
SS0008H18	23	25	29	60	39	5,2:1	31,2	3	30
SS0008H14	25	25	29	70	25	4,5:1	20,0	3	31
SS0008H10	27	25	29	100	recept 1	--	45,0		22
SS0008H06	29	25	28	60	39	5,2:1	31,2	3	26
SS0008H02	31	25	29	60	39	5,2:1	31,2	2	25
SS0008D01	33	25	29	100	recept 1	--	45,0		21
SS0008B24	35	25	27	70	25	4,5:1	20,0	2	18
SS0008B20	37	25	29	70	25	4,5:1	20,0	3	17
SS0008B16	39	25	29	100	recept 1	--	45,0		12
SS0008B12	41	25	26	100	recept 1	--	45,0		11
SS0008B08	43	25	28	100	recept 1	--	45,0		10
SS0008B04	45	25	29	100	recept 1	--	45,0		9
SS0008G01	47	25	26	100	recept 1	--	45,0		2
SS0008G05	49	25	29	100	recept 1	--	45,0		1
SS0008G09	51	25	26	60	39	5,2:1	31,2	1	3
SS0008G13	53	25	26	60	39	5,2:1	31,2	1	4
SS0008G17	55	25	29	60	39	5,2:1	31,2	1	5
SS0008G21	57	25	29	60	39	5,2:1	31,2	1,5	6
SS0008G25	59	25	28	80	39	5,2:1	31,2	2	7
SS0008G29	61	25	29	60	39	5,2:1	31,2	3,5	8

antal 25 m in 3  
 antal 39 m in 20  
 antal cement 8

Blandning	Geltid	Kg sol	kg salt
5,7:1	<b>63</b>	199,5	35
5,0:1	<b>39</b>	200	40
4,4:1	<b>21</b>	176	40

1 sats	Geltid	Kg sol	kg salt
240 kg	<b>63</b>	206	34
193-196 l	<b>39</b>	200	40
	<b>21</b>	192	48

Borrhålsdata		Protokollföres under injektering					
Borrhål namn	Borrhåls nummer	Start inj	Stoppat vid fullgjord tid	Uppnått tryck efter start inj	Inj. volym	Gel tid	Kommentarer (samband, läckage, stoppat på annan tid, annan inj ordning)
[-]	[nr]	[Tid]	[Ja/Nej]	[Tid]	[l]	[min]	
SS0008A04	1	2,15	Ja	2,30	67	39	VP. Två försök innan Vakuum sugning lyckas. Gelad silica från tidigare inj förmodligen i hål 61 har fyllt hålet. En del åker ut vid avluftning men mycket blir kvar.
SS0008A08	3	2,20	Ja	2,38	21	39	VP. Gelad silica från tidigare inj förmodligen i hål 61 har fyllt hålet. En del åker ut vid avluftning men mycket blir kvar. Återslag i KI0016B01, 5F03 och 4F01 (korset), Stuffinjhål 1, utanför manschett i hål 1. KI0014B01 börjar läcka vatten igen under i
SS0008A12	5	2,08	Ja	2,29	119	39	VP. Återslag i KI0016B01, 5F03 och 4F01 (korset), Stuffinjhål 1, utanför manschett i hål 1.
SS0008A16	7	3,07	Ja	3,48	92	39	VP. Återslag i KI0016B01, 5F03 och 4F01 (korset), Stuffinjhål 1, utanför manschett i hål 1.
SS0008A20	9	1,44	Ja	2,53	122	39	VP. Återslag i KI0016B01, 5F03 och 4F01 (korset), Stuffinjhål 1, utanför manschett i hål 1.
SS0008A24	11	1,55	Ja	3,10	131	39	VP
SS0008C01	13	2,30	Ja	3,34	67	38	VP
SS0008H02	15	2,35	Ja	3,46	86	39	VP
SS0008H06	17	2,07	Ja	3,20	91	39	VP. obs glömde stoppa logac
SS0008H10	19	3,20	Ja	4,40	102	39	VP
SS0008H14	21	2,20	Ja	3,05	39	39	Fyllt med cement och silica sol som till viss del rann ur hålet, uppskattningsvis en tredje del av borrhålsvolymen (25l) rann ut. Hålet injekterades trots detta. Glömde stoppa logac.
SS0008H18	23	1,59	Ja	2,45	64	39	VP
SS0008H14	25	1,55		3,03	72		VP
SS0008H10	27		Ja		311		
SS0008D6	29	Fullt med cement och silica sol, hårdat & stelhat som en tjock massa. Cement har tidigare inj i hål 27 och sol i hål 31 precis intill. Hålet injej & lämnas stängt.					
SS0008D2	31	2,15	Ja	3,20	79	38	VP
SS0008D01	33		Ja		?		VP, fel i logac
SS0008B24	35	2,41	Ja	3,10	38	39	VP. Mycket cement i hålet vid avluftning. Skulle vara en GT på 25 min men glömde.
SS0008B20	37	2,30	Ja	2,55	29	39	VP. Mycket cement i hålet vid avluftning. Först efter mycket jobb med slangen går den längre in i hålet. Skulle vara GT25 min men glömde
SS0008B16	39				37		VP. PVC slang kunde föras in 15 m.
SS0008B12	41				35		VP. PVC slang kunde föras in 11,5 m.
SS0008B08	43				44		VP
SS0008B04	45				34		VP. Vakumslang kunde föras in 20 m.
SS0008G01	47		Ja		261		Kom bara upp i 95 bar
SS0008G05	49		Nej		860		Stor åtgång. Blandar stoppsats enligt recept för fyllnadsbruk fast med UF 16 för att få stopp på flödet. Trycker totalt i 60 min men med lägre tryck.
SS0008G09	51	3,1	Ja	4,2	46	38	VP
SS0008G13	53	2	Ja	2,53	55	38	VP
SS0008G17	55	2,2	Ja	2,2	147	38	VP. Silica sol kommer ut när hålet öppnas för inj.
SS0008G21	57	1,48	Ja	4,48	120	38	VP. Silica sol kommer ut när hålet öppnas för inj.
SS0008G25	59	1,33	Ja	1,33	143	39	VP. Silica sol kommer ut när hålet öppnas för inj.
SS0008G29	61	1,31	Ja	1,31	99	39	VP. Silica sol kommer ut när hålet öppnas för inj. Silica tränger ut utanför manschett i hål 1, i sprickor ovanför hål 59. Det bubblar från cementplugg i 5F01 (korset)
"	"						



## Cerment design

Recept 1 viktförhållande		2 säckar
		För en sats
Vatten	1,68	67,2 kg
Cement	1	40 kg
Groutaid	1,37	54,8 kg
SP	0,07	2,8 kg

## Design parametrar

Aperture, b	152 mm
Yield stress	15 Pa
Viscosity	25 mPas
Grouting time	45 min
Delta P	7 Mpa
Ger l d > pw / delta P	

## Silica sol design

### b < 130 mym

Gel tid	39
tG	13
Delta P	30
Ger l max (150 mym)=	17
Ger l min (10 mym)=	1,24

### 130 < b < 150 mym

25 min
8 min
40 bar
17 m
1,1 m

Silica sol Om det bedöms att satsen kommer att ta slut innan den effektiva injekteringstiden är uppnådd skall en ny sats göras med 21 minuters gelltid; vid ca 10 liter kvar i kärlet, sänks flödet men med bibehållet tryck och satsen blandas snabbt. Ny injekteringstiden blir 4/5 av 21 min = 17 min.  
Cement Löpande provning, LP görs för cementen. Skrivs på separat protokoll, blandning görs löpande

## Bilaga 4.2.g

### Inflödes- och tryckmätningar

Skärm nr: **2B**

Sektion tunnel: **8,47** Verklig sektion (inmätt): **8,60**

Datum: 2008-01-29

Borrhåls diameter: 0,062 m

Tid: 08:00

Mättid: 1 min

Vattentemp: 13,4 °C

Antaget tryck: 30 bar

Uppmätt data							Beräknad data	
Borrhål namn	Borrhåls nummer	Borrhåls-längd	Tryck borrhål	Flödes tid	Volym en manch. öppen	Volym alla öppna	Inflöde, Q	
[-]	[nr]	[m]	[bar]	[min]	[liter]	[liter]	[l/min]	
SS0008A 02	2	25	0,1	1	0,06	0,06	0,06	
SS0008A 10	6	25	0,1	1	0,0001	0,0001	0,0001	
SS0008A 18	10	25	0,1	1	0,05	0,02	0,05	
SS0008C03	16	25	0,1	1	0,005	0,001	0,005	
SS0008H08	20	25	0,1	1	0,02	0,02	0,02	
SS0008I16	26	25	0,1	1	0,01	0,01	0,01	
SS0008I12	28	25	0,1	1	0,004	0,003	0,004	
SS0008I08	30	25	0,1	1	0,005	0,005	0,005	
SS0008D03	34	25	0,1	1	0,24	0,24	0,24	
SS0008B22	38	25	20	1	0,26	0,26	0,26	
SS0008B 18	40	25	20	1	1,2	1,06	1,2	
SS0008B 14	42	25	18	1	0,23	0,23	0,23	
SS0008B 10	44	25	18	1	0,08	0,16	0,08	
SS0008B06	46	25	0,1	1	0,0001	0,0001	0,0001	
SS0008B02	48	25	27	1	0,44	0,42	0,44	
SS0008G03	50	25	0,1	1	0,0001	0,0001	0,0001	
SS0008G15	56	25	0,1	1	0,0001	0,0001	0,0001	
SS0008G23	60	25	0,1	1	0,0001	0,0001	0,0001	
SS0008G27	62	25	0,1	1	0,0001	0,0001	0,0001	
<b>Antal</b>	19	<b>Max</b>	27	<b>Summa</b>	2,6046	2,4896	<b>max</b>	1,200
							<b>medel</b>	0,137
							<b>median</b>	0,010

Vid mätt tryck på 0 bar antas trycket till 0,1 bar, markeras med

Vid mätt inflöde på 0 l/min antas volymen vara 0,0001 l, markeras med

Om flödet mäts i droppar antas en droppe vara 0,070 milliliter

## Bilaga 4.2.h

Borrhål namn [-]	Borrhåls nummer [nr]	Borrhåls- längd [m]	Tryck borrhål [bar]	Injektions- tryck [bar]	Flödets tid [min]	Volym under injektion [liter]	Vikt i blandaren [kg]		Kommentarer	Flöde via flödemätare [l/min]	Flöde via våg [l/min]
							Före	Efter			
SS0008A 02	2	25	0,1	5	5	0,1	456	456		0,02	0
SS0008A 10	6	25	0,1	5	5	1,5	438	436	samband 3-5-8	0,3	0,4
SS0008A 18	10	25	0,1	5	5	0,1	382	382		0,02	0
SS0008C03	16	25	0,1	5	5	2,3	328	327		0,46	0,2
SS0008H08	20	25	0,1	5	5	0,1	266	266	samband med 19	0,02	0
SS0008I16	26	25	0,1	5	5	7,6	218	212		1,52	1,2
SS0008I12	28	25	0,1	5	5	0,1	101	101		0,02	0
SS0008I08	30	25	0,1	5	5	0,1	108	108		0,02	0
SS0008D03	34	25	0,1	5	5	0,1	102	102		0,02	0
SS0008B22	38	25	20	25	5	0,1	94	94		0,02	0
SS0008B 18	40	25	20	25	5	0,2	92	92		0,04	0
SS0008B 14	42	25	18	23	5	0,4	89	89		0,08	0
SS0008B 10	44	25	18	23	5	0,1	86	86		0,02	0
SS0008B06	46	25	0,1	5	5	0,1	83	83		0,02	0
SS0008B02	48	25	27	32	5	0,8	82	81		0,16	0,2
SS0008G03	50	25	0,1	5	5	0,1	57	57		0,02	0
SS0008G15	56	25	0,1	5	5	0,1	61	61		0,02	0
SS0008G23	60	25	0,1	5	5	0,1	31	31		0,02	0
SS0008G27	62	25	0,1	5	5	0,1	33	23		0,02	2
<b>Antal</b>	19		<b>Max</b>	27							

Vid mätt tryck på 0 bar antas trycket till 0,1 bar, markeras med   
 Vid mätt volym under injektion på 0 liter är volymen antagen till 0,1 liter, markeras med

**Protokollförare:** Daniel Lignell

## Bilaga 4.2.i

## Vattenförlustmätning

Skärm nr: 2B (2)

Sektion tunnel: 8,47 Verklig sektion (inmätt): 8,60

Datum: 2008-01-30  
Tid: 07:40  
Vattentemp: 13,5 °CBorrhåls diameter: 0,062 m  
Mättid: 5 min  
Injektionsövertryck: 5 bar

Uppmätt data										Beräknad data	
Borrhål namn [-]	Borrhåls nummer [nr]	Borrhåls- längd [m]	Tryck borrhål [bar]	Injektions- tryck [bar]	Flödes tid [min]	Volym under injektion [liter]	Vikt i blandaren [kg]		Kommentarer	Flöde via	Flöde via
							Före	Efter		flödemätare	våg
									[l/min]	[l/min]	
SS0008A 02	2	25	4	35	2	0,5	359,7	359,3		0,25	0,2
SS0008A 10	6	25	0,1	35	2	3,9	357,1	353,1		1,95	2
SS0008A 18	10	25	5	35	2	0,1	277,2	277,2		0,05	0
SS0008C03	16	25	7	35	2	0,7	282,5	281,8		0,35	0,35
SS0008H08	20	25	0,1	35	2	16	308,8	293,3		8	7,75
SS0008I16	26	25	11	35	2	0,1	374	374	OBS logac fil s aknas , går ej att hämta ut från logac.	0,05	0
"	"										
SS0008I12	28	25	18	35	2	0,6	380,5	379,7		0,3	0,4
SS0008I08	30	25	22	35	2	0,1	387,5	387,5		0,05	0
SS0008D03	34	25	26	35	2	0,6	395,7	394,8	OBS logac filen heter nr 36	0,3	0,45
SS0008B22	38	25	21	35	2	1	402,7	401,8		0,5	0,45
SS0008B18	40	25	28	35	2	2,2	411,8	408,8		1,1	1,5
SS0008B14	42	25	26	35	2	0,2	419,8	419,5		0,1	0,15
SS0008B10	44	25	21	35	2	0,2	425,2	424,5		0,1	0,35
SS0008B06	46	25	20	35	2	0,1	428,8	428,7		0,05	0,05
SS0008B02	48	25	22	35	2	0,2	292,2	291,9		0,1	0,15
SS0008G03	50	25	19	35	2	0,1	297,3	297,3		0,05	0
SS0008G15	56	25	18	35	2	0,1	303,3	303,3		0,05	0
SS0008G23	60	25	4	35	2	4,7	312,8	307,8		2,35	2,5
SS0008G27	62	25	4	35	2	19	349,6	329,8	OBS logac filen heter nr 10	9,5	9,9
<b>Antal</b>	19		<b>Max</b>	28							

Vid mätt tryck på 0 bar antas trycket till 0,1 bar, markeras med

Vid mätt flöde med flödesgivaren på 0 l/min är flödet antaget till 0,1 l/min, markeras med

Protokollförare: Daniel Lignell

## Bilaga 4.2.j

### Injektering

Skärm nr: **2B**  
 Sektion tunnel: **8,47**      Verklig sektion (inmätt): **8,60**

Datum: 2008-01-29      Antaget grv tryck: 30 bar  
 Tid: 09:10      Brukstemp: 13.1 °C  
    Lufttemp: 14.5 °C

Borrhålsdata				Valda injektionsparametrar					
Borrhål namn	Borrhåls nummer	Borrhåls-längd	Grv tryck borrhål	Injektions-tryck	Vald geltid och ungefärlig ratio	Effektiv inj tid	Antal satser	Inj.ord ning	
[-]	[nr]	[m]	[bar]	[bar]	[min]   Ratio [X:Y]	[min]	[-]		
SS0008A02	2	25	0,1	80	25   4,5:1	20	1	6	
SS0008A10	6	25	0,1	80	25   4,5:1	20	1	10	
SS0008A18	10	25	0,1	80	25   4,5:1	20	1	13	
SS0008C03	16	25	0,1	80	25   4,5:1	20	1	15	
SS0008H08	20	25	0,1	80	25   4,5:1	20	1	17	
SS0008I16	26	25	0,1	80	25   4,5:1	20	1	19	
SS0008I12	28	25	0,1	80	25   4,5:1	20	1	18	
SS0008I08	30	25	0,1	80	25   4,5:1	20	1	16	
SS0008D03	34	25	0,1	80	25   4,5:1	20	1	14	
SS0008B22	38	25	20	80	25   4,5:1	20	1	12	
SS0008B18	40	25	20	80	25   4,5:1	20	1	11	
SS0008B14	42	25	18	80	25   4,5:1	20	1	9	
SS0008B10	44	25	18	80	25   4,5:1	20	1	8	
SS0008B06	46	25	0,1	80	25   4,5:1	20	1	7	
SS0008B02	48	25	27	80	25   4,5:1	20	1	5	
SS0008G03	50	25	0,1	80	25   4,5:1	20	1	3	
SS0008G15	56	25	0,1	80	25   4,5:1	20	1	1	
SS0008G23	60	25	0,1	80	25   4,5:1	20	1	2	
SS0008G27	62	25	0,1	80	25   4,5:1	20	1	4	

Blandning	Geltid	Kg sol	kg salt
5,7:1	<b>63</b>	199,5	35
5,0:1	<b>39</b>	200	40
4,4:1	<b>21</b>	176	40

1 sats	Geltid	Kg sol	kg salt
240 kg	<b>63</b>	206	34
193-196 l	<b>39</b>	200	40
	<b>21</b>	192	48

*Silica sol Om det bedöms att satsen kommer att ta slut innan den effektiva injektions tiden är uppnådd skall en ny sats göras med 21 minuters geltid; vid ca 10 liter kvar i kärlet, sänks flödet men med bibehållet tryck och satsen blandas snabbt. Ny injektions tiden blir 4/5 av 21 min = 17 min.*

Protokollförelare: Daniel Lignell

**Protokollföres under injektering**

Borrhål namn	Borrhåls nummer	Start inj	Stoppat vid fullgjord tid	Uppnått tryck efter start inj	Inj. volym	Gel tid	Kommentarer (samband, läckage, stoppat på annan tid, annan inj ordning)
[-]	[nr]	[Tid]	[Ja/Nej]	[Tid]	[l]	[min]	
SS0008A02	2	1,34	JA	2,25	74	25	Stora återslag. Silican pumpas ut i närliggande hål från omgång A.
SS0008A10	6	1,36	JA	2,39	128	25	Samb. 3,5,9
SS0008A18	10	2,09	JA	3,23	67	24	
SS0008C03	16	1,09	JA	3,10	66	25	
SS0008H08	20	2,10	JA	3,30	137	25	Samband med 17,19,21. Stora inflöden. Sänkte flödet på riggen och trycket till ca 17-18 bar.
"	"						
SS0008H6	26	2,11	JA	3,20	70	25	
SS0008H2	28	1,50	JA	3,02	69	25	
SS0008D8	30	1,41	JA	3,17	97	25	
SS0008D03	34	3,10	JA	4,50	76	25	
SS0008B22	38	1,50	JA	3,25	73	25	
SS0008B18	40	1,35	JA	3,10	111	25	
SS0008B14	42	2,20	JA	3,45	58	25	
SS0008B10	44	1,10	JA	2,35	60	25	
SS0008B06	46	2,08	JA	3,03	49	24	Mycket gelad sol i hålet vid avluftning osäkert om allt kom ut
SS0008B02	48	2,17	JA	3,10	70	25	
SS0008G03	50	1,40	JA	2,30	51	25	
SS0008G15	56	2,55	JA	3,35	34	38	
SS0008G23	60	1,59	JA	2,45	94	24	Samband 62,57
SS0008G27	62	1,38	JA	2,30	140	24	Stort samband med hål 61. all sol som pumpas in åker ut igen. Ett lågt tryck(5-10 bar) bibehålls tiden ut. Mycket gelad sol trycks ut ur hål 61.
"	"						

**Inflödes- och tryckmätningar**

Skärm nr: 2C

Sektion tunnel: 8,47      Verklig sektion (inmätt): 8,60

Datum: 2008 02 04

Borrhåls diameter: 0,062 m

Tid: 19:30

Mättid: 1 min

Vattentemp: 12,5 °C

Antaget tryck: 30 bar

Uppmätt data							Beräknad data
Borrhål namn	Borrhåls nummer	Borrhåls-längd	Tryck borrhål	Flödes tid	Volym en manschett öppen	Volym alla manschetter öppna	Inflöde, Q
[-]	[nr]	[m]	[bar]	[min]	[liter]	[liter]	[l/min]
SS0008A 13	70	25		1	0,059	0,064	0,059
SS0008H07	83	25		1	0,033	0,037	0,033
SS0008D02	98	25		1	0,188	0,178	0,188
SS0008B 19	103	25		1	0,044	0,054	0,044
SS0008B 17	104	25		1	0,079	0,057	0,079
SS0008B01	112	25		1	0,0001	0,0001	0,0001
SS0008G28	126	25		1	0,0001	0,0001	0,0001
<b>Antal</b>	7	<b>Max</b>	0	<b>Summa</b>	0,4032	0,3902	<b>max</b>
							<b>medel</b>
							<b>median</b>

Vid mätt tryck på 0 bar antas trycket till 0,1 bar, markeras med Vid mätt inflöde på 0 l/min antas volymen vara 0,0001 l, markeras med 

Om flödet mäts i droppar antas en droppe vara 0,070 milliliter

## Bilaga 4.2.I

### Vattenförlustmätning

Skärm nr: 2C

Sektion tunnel: 8,47 Verklig sektion (inmätt): 8,60

Datum: 2008-02-04  
 Tid: 18:30  
 Vattentemp: 12,5 °C

Borrhåls diameter: 0,062 m  
 Mättid: 5 min  
 Injektionsöverttryck: 5 bar

Uppmätt data									Beräknad data		
Borrhål namn	Borrhåls nummer	Borrhåls-längd	Tryck borrhål	Injektions-tryck	Flödes tid	Volym under injektion		Kommentarer	Flöde via flödemätare	Flöde via våg	
[-]	[nr]	[m]	[bar]	[bar]	[minuter]	Före	Efter				[l/min]
SS0008A13	70	25		35	5	9,4	147,6	137,9	Samband med hål nr. 5, 6, 7	1,88	1,94
SS0008H07	83	25		35	5	12	245,4	232,3	Samband med hål nr. 20, Sol plugg trycks ut.	2,4	2,62
SS0008D02	98	25		35	5	0,7	65,6	64,3		0,14	0,26
SS0008B19	103	25		35	5	0,7	131	129,8	Läcker lite runt manschett, troligen långsgående spricka	0,14	0,24
SS0008B17	104	25		35	5	4,8	206,9	201	Samband med hål nr. 40	0,96	1,18
SS0008B01	112	25		35	5	0,1	290,8	290,8		0,02	0
SS0008G28	126	25		35	5	55	241,3	185,6	Samband med hål nr. 1, 61, 62. Sol-plugg trycks ut ur	11	11,14
"	"								61, 62.		
<b>Antal</b>	7	<b>Max</b>	0								

Vid mätt tryck på 0 bar antas trycket till 0,1 bar, markeras med

Vid mätt flöde med flödesgivaren på 0 l/min är flödet antaget till 0,1 l/min, markeras med



**Injektering**Skärm nr: **2C**Sektion tunnel: **8,47**      Verklig sektion (inmätt): **8,60**Datum: 2008-02-05Tid: 17:40Antaget grv tryck: 30 barBruktemp: 14,2 °CLufttemp: 12,3 °C

Borrhålsdata				Valda injekteringsparametrar					
Borrhål namn	Borrhåls nummer	Borrhåls-längd alt sektions-längd	Grv tryck borrhål	Injekterings-tryck	Vald geltid och ungefärlig ratio		Effektiv inj tid	Antal satser	Inj.ordning
[-]	[nr]		[bar]	[bar]	[min]	Ratio [X:Y]		[-]	
SS0008A13	70	25		80	25	4,5:1	20	1	5
SS0008H07	83	25		80	25	4,5:1	20	1	6
SS0008D02	98	25		80	25	4,5:1	20	1	7
SS0008B19	103	25		80	25	4,5:1	20	1	4
SS0008B17	104	25		80	25	4,5:1	20	1	3
SS0008B01	112	25		80	25	4,5:1	20	1	2
SS0008G28	126	25		80	25	4,5:1	20	1	1

**Protokollföres under injektering**

Borrhål namn [-]	Borrhåls nummer [nr]	Start inj [Tid]	Stoppat vid fullgjord tid [Ja/Nej]	Uppnått tryck efter start inj [Tid]	Inj. volym [l]	Gel tid [min]	Kommentarer (samband, läckage, stoppat på annat än tid alltid vid Nej)
SS0008A 13	70	2,17	JA	3,40	122	24	Samband med 5,7,8. Manschett i 5 och 7, 5 var stängd under hela inj. i 7 monterades manchett under inj, flödet stoppades helt när denna stängdes.
"	"						
SS0008H07	83	2,33	JA	3,50	128	24	Samband med 20, stort inflöde, fick sänka tryck och flöde manschetten i 20 pressades ut.
"	"						
SS0008D02	98	2,37	JA	4,00	82	25	Kom sol ur sprickor mellan 98 och 34, sol-plugg trycks ut ur 34.
SS0008B 19	103	2,00	JA	3,10	70	25	
SS0008B 17	104	1,30	JA	2,50	ca 150	25	Glömde starta logac. Samband med 40, manschetten ville åka ut men kunde till slut stängas.
"	"						
SS0008B01	112	1,50	JA	2,50	73	24	Samband med 48, ingen manchett, sol-plugg trycks ut.
SS0008G28	126	2,06	JA	3,20	106	24	Samband med 1,2,61,62,59, manschetter installerade i alla hålförutom nr 1, det var bara lite flöde ur det.
"	"						

1 sats  
240 kg  
193-196 l

Geltid	Kg sol	kg salt
63	206	34
39	200	40
21	192	48

Blandning  
5,7:1  
5,0:1  
4,4:1

Geltid	Kg sol	kg salt
63	199,5	35
39	200	40
21	176	40

Protokollföra re : Daniel Lignell

## Bilaga 4.3.a

### Inflödes- och tryckmätningar

Skärm nr: 3 Stuffinj

Sektion tunnel: 20,47 Verklig sektion (inmätt): 20,74

Datum: 2008-03-25

Borrhåls diameter: 0,062/0,076 m

Tid: 19:00

Mättid: 1 min

Vattentemp: 12,8 °C

Antaget tryck: bar

Uppmätt data							Beräknad data		
Borrhål namn	Borrhåls nummer	Borrhåls-längd	Tryck borrhål	Flödes tid	Volym En mansche tt öpen i taget [liter]	Volym Alla manschet ter öppna [liter]	Kommentarer	Inflöde, Q [l/min]	
[-]	[nr]	[m]	[bar]	[min]	[liter]	[liter]		[l/min]	
KI0014B01	1	20	32	1	61	67		61	
SS0020F01	2	20	0,1	1	0,4	0,2	Litet flöde gör troligen att trycket byggs upp långsamt.	0,36	
SS0020F02	3	20	0,1	1	3,4	0,17	Litet flöde gör troligen att trycket byggs upp långsamt.	3,4	
SS0020F03	4	20	32	1	3	2,1		3	
<b>Antal</b>	4	<b>Max</b>	32	<b>Summa</b>	67,76	69,47		<b>max</b>	61,00
								<b>medel</b>	16,94
								<b>median</b>	3,20

Vid mätt tryck på 0 bar antas trycket till 0,1 bar, markeras med



Vid mätt inflöde på 0 l/min antas volymen vara 0,0001 l, markeras med

Om flödet mäts i droppar antas en droppe vara 0,070 milliliter

Protokollförare: Henrik Svensson

**Vattenförlustmätningar**Skärm nr: **3 Stuffinj**Sektion tunnel: **20,47** Verklig sektion (inmätt): **20,74**Datum: 2008-03-25Borrhåls diameter: 0,062/0,076 mTid: 16:30Mättid 5 minVattentemp: 12,8 °CInjektionsövertryck: 5 bar

Uppmätt data									Beräknad data		
Borrhåls namn	Borrhåls nummer	Borrhåls-längd	Tryck borrhål	Injektions-tryck	Flödes tid	Volym under injektion	Vikt i blandaren [kg]		Kommentarer	Flöde via flödemätare	Flöde via våg
[-]	[nr]	[m]	[bar]	[bar]	[min]	[liter]	Före	Efter		[l/min]	[l/min]
KI0014B01	1	20	32	37	5	2,5	125,7	123,4		0,5	0,46
SS0020F01	2	20	0,1	37	5	2	128,9	125,9		0,4	0,6
SS0020F02	3	20	0,1	37	5	0,6	61,9	61,1		0,12	0,16
SS0020F03	4	20	32	37	5	2,2	108,9	106,6		0,44	0,46
<b>Antal</b>	4	<b>Max</b>	32								

Vid mätt tryck på 0 bar antas trycket till 0,1 bar, markeras med   
 Vid mätt flöde med flödesgivaren på 0 l/min är flödet antaget till 0,1 l/min, markeras med 

Protokollförare: Henrik Svensson

## Bilaga 4.3.c

### Injekttering

Skärm nr: 3 Stuffinj

Sektion tunnel: 20,47 Verklig sektion (inmätt): 20,74

Datum: 2008-03-25 och 26

Tid: 20:30

Antaget grv tryck: 32 bar

Brukstemp: 13,3 °C

Lufttemp: 12,8 °C

Borrhålsdata				Valda injektteringsparametrar				
Borrhål namn	Borrhåls nummer	Borrhåls-längd	Grv tryck borrhål	Injektterings-tryck	Vald geltid och ungefärlig ratio		Effektiv inj tid	Antal satser
[-]	[nr]	[m]	[bar]	[bar]	[min]	Ratio [X:Y]		[-]
KI0014B01	1	20	32	100	Recept 1		45	
SS0020F01	2	20	0,1	100	Recept 1		45	
SS0020F02	3	20	0,1	100	Recept 1		45	
SS0020F03	4	20	32	100	Recept 1		45	

1 sats  
240 kg  
193-196 l

Geltid	Kg sol	kg salt
63	206	34
39	200	40
21	192	48

Löpande provning, LP görs för cementen. Skrivs på separat protokoll

Protokollföres under injekttering							
Borrhål namn	Borrhåls nummer	Start inj	Stoppat vid fullgjord tid	Uppnått tryck efter start inj	Inj. volym	Gel tid/löpande provning	Kommentarer (samband, läckage, stoppat på annat än tid alltid vid Nej OBS Ja om vaccumpump
[-]	[nr]	[Tid]	[Ja/Nej]	[Tid]	[l]	[min]	
KI0014B01	1	0,00	Nej		451	LP	Stort flöde, kommer inte upp i tryck. Stoppsats blandas och efter 343 l inj.volym pumpas denna istället. Trycket sjönk under ca 2,5 min pga av att stoppsatsen inte var färdigblandad. Trycket hölls under inj vid ung 70 bar. Total pumptid 28 min.
"	"						
"	"						
SS0020F01	2	0,00	Ja	4,00	66	LP	Ja
SS0020F02	3	0,00	Ja	1,20	64	LP	Ja
SS0020F03	4	0,00	Ja	2,30	72	LP	Ja

Protokollföres: Henrik Svensson och Daniel Lignell

**Cement injektering***Cement egenskaper*

Aperture, b	152 mm
Yield stress	20 Pa
Viscosity	25 mPas

*Cement design*

Grouting time	45 min
Delta P	5 Mpa
Ger l <sub>d</sub> >pw/deltaP	
l <sub>2</sub> -D=	12,5 m

**Silica sol injektering**

Gel tid	25 min
tG	8 min
Delta P	40 bar
Ger l max (150 mym)=	17 m
Ger l max (10 mum)=	1,125 m

**Recept 1 viktförhållande**

Vatten	1,68
Cement	1
Groutaid	1,37
SP	0,07

**2 säckar****För en sats**

67,2 kg
40 kg
54,8 kg
2,8 kg

## Bilaga 4.3.d

### Inflödes- och tryckmätningar

Skärm nr: **3A**  
 Sektion tunnel: **20,47**

Verklig sektion (inmätt): **20,74**

Datum: 2008-03-31  
 Tid: 09:00  
 Vattentemp: 14 °C

Borrhåls diameter: 0,062 m  
 Mättid: 1 min  
 Antaget tryck: 35 bar

Uppmätt data							Beräknad data	
Borrhål namn	Borrhåls nummer	Borrhåls-längd	Tryck borrhål	Flödes tid	Volym en manch. öppen	Volym alla öppna	Kommentarer	Inflöde, Q
[-]	[nr]	[m]	[bar]	[min]	[liter]	[liter]		[l/min]
SS0020A04	1	20,6	29	1	2,6	1,5		2,6
SS0020A08	3	20,6	31	1	0,9	0,09		0,9
SS0020A12	5	20,6	28	1	4,5	1,9		4,5
SS0020A16	7	20,6	31	1	3,5	0,52		3,5
SS0020A20	9	20,6	34	1	3,4	0,07		3,4
SS0020A24	11	20,6	22	1	0,11	0,00154		0,11
SS0020C01	13	20,6	27	1	0,27	0,0001		0,27
SS0020H02	15	20,6	24	1	0,22	0,016		0,22
SS0020H06	17	20,6	17	1	0,09	0,00245		0,09
SS0020H10	19	20,6	9	1	0,09	0,00427		0,09
SS0020H14	21	20,6	12	1	0,1	0,0021		0,1
SS0020H18	23	20,6	20	1	0,33	0,017		0,33
SS0020H4	25	20,6	22	1	0,28	0,077		0,28
SS0020H10	27	20,6	23	1	0,37	0,057		0,37
SS0020D6	29	20,6	22	1	0,37	0,99		0,37
SS0020D2	31	20,6	22	1	0,43	0,15		0,43
SS0020D01	33	20,6	23	1	0,47	0,21		0,47
SS0020B24	35	20,6	16	1	0,16	0,029		0,16
SS0020B20	37	20,6	28	1	1,8	0,047		1,8
SS0020B16	39	20,6	28	1	1	0,55		1
SS0020B17	41	20,6	22	1	0,0001	0,011		0,0001
SS0020B08	43	20,6	24	1	0,0001	0,00098	14 droppar	0,0001
SS0020B04	45	20,6	3	1	0,00077	0,0001	11 droppar	0,00077
SS0020G01	47	20,6	0,1	1	0,00154	0,00063	22 droppar och 9 droppar resp.	0,00154

Uppmätt data							Beräknad data		
Borrhål namn	Borrhåls nummer	Borrhåls-längd	Tryck borrhål	Flödes tid	Volym en manch. öppen	Volym alla öppna	Kommentarer	Inflöde, Q	
[-]	[nr]	[m]	[bar]	[min]	[liter]	[liter]		[l/min]	
SS0020G05	49	20,6	22	1	0,058	0,014		0,058	
SS0020G09	51	20,6	28	1	0,018	0,00119	17 droppar	0,018	
SS0020G13	53	20,6	24	1	0,074	0,024		0,074	
SS0020G17	55	20,6	28	1	0,24	0,033		0,24	
SS0020G21	57	20,6	23	1	0,38	0,12		0,38	
SS0020G25	59	20,6	27	1	0,13	0,015		0,13	
SS0020G29	61	20,6	32	1	1,25	0,5		1,25	
<b>Antal</b>	31	<b>Max</b>	34	<b>Summa</b>	23,14251	6,95316		<b>max</b>	4,5
								<b>medel</b>	0,7
								<b>median</b>	0,3

Vid mätt tryck på 0 bar antas trycket till 0,1 bar, markeras med

Vid mätt inflöde på 0 l/min antas volymen vara 0,0001 l, markeras med

Om flödet mäts i droppar antas en droppe vara 0,070 milliliter

**Protokollförare:** Björn Stjärnström, Daniel Lignell, Henrik Svensson



## Bilaga 4.3.e



### Vattenförlustmätningar

Skärm nr: **3A**  
 Sektion tunnel: **20,47** Verklig sektion (inmätt): **20,74**

Datum: 08-03-31 Borrhåls diameter: 0,062 m  
 Tid: 15:30 Mättid: 3 min  
 Vattentemp:            °C Injektionsövertryck: 5 bar

Uppmätt data										Beräknad data	
Borrhål namn [-]	Borrhåls nummer [nr]	Borrhåls-längd [m]	Tryck borrhål [bar]	Injektions-tryck [bar]	Flödes-tid [min]	Volym under injektion [liter]	Vikt i blandaren [kg]		Kommentarer	Flöde via flödemätare [l/min]	Flöde via våg [l/min]
							Före	Efter			
SS0020A04	1	20,6	29	39	3	6,3	205	197,4	provtryck 100 bar	2,10000	2,53333
SS0020A08	3	20,6	31	39	3	1	211,1	209,5		0,33333	0,53333
SS0020A12	5	20,6	28	39	3	14	249,4	234,7	provtryck 100 bar ok	4,66667	4,90000
SS0020A16	7	20,6	31	39	3	13	272,8	260,3	provtryck 100 bar ok flyttar dock in manchett lite	4,33333	4,16667
SS0020A20	9	20,6	34	39	3	13	160,6	148,7		4,33333	3,96667
SS0020A24	11	20,6	22	39	3	0,3	138,6	138,4	provtryck ej ok se nedan	0,10000	0,06667
SS0020C01	13	20,6	27	39	3	1	195,9	194,8		0,33333	0,36667
SS0020H02	15	20,6	24	39	3	1,9	64,5	62,7		0,63333	0,60000
SS0020H06	17	20,6	17	39	3	0,3	117,8	117,2	provtryck 100 bar ok	0,10000	0,20000
SS0020H10	19	20,6	9	39	3	1	120,3	119,4		0,33333	0,30000
SS0020H14	21	20,6	12	39	3	3,3	183,3	174,9		1,10000	2,80000
SS0020I18	23	20,6	20	39	3	0,6	261,7	261	provtryck 100 bar ok	0,20000	0,23333
SS0020I14	25	20,6	22	39	3	1	118,4	117,1		0,33333	0,43333
SS0020I10	27	20,6	23	39	3	0,7	22,7	21,2		0,23333	0,50000
SS0020I06	29	20,6	22	39	3	7,3	84,9	76,2	provtryck 100 bar ok	2,43333	2,90000
SS0020I02	31	20,6	22	39	3	9,9	130,3	119,9		3,30000	3,46667
SS0020D01	33	20,6	23	39	3	4,7	190,2	184,6		1,56667	1,86667
SS0020B24	35	20,6	16	39	3	1,3	115,7	114,3	provtryck 100 bar ok	0,43333	0,46667
SS0020B20	37	20,6	28	39	3	5	177,8	170,9		1,66667	2,30000
SS0020B16	39	20,6	28	39	3	7,5	228,6	220,1		2,50000	2,83333
SS0020B17	41	20,6	22	39	3	0,5	270,7	269,7	provtryck 100 bar ok	0,16667	0,33333
SS0020B08	43	20,6	24	39	3	0,4	273,3	272,7		0,13333	0,20000
SS0020B04	45	20,6	3	39	3	1	274,5	274,6		0,33333	-0,03333

Uppmätt data									Beräknad data		
Borrhål namn	Borrhåls nummer	Borrhåls-längd	Tryck borrhål	Injektions tryck	Flödets tid	Volym under injektion	Vikt i blandaren [kg]		Kommentarer	Flöde via flödemätare	Flöde via våg
[-]	[nr]	[m]	[bar]	[bar]	[min]	[liter]	Före	Efter		[l/min]	[l/min]
SS0020G01	47	20,6	0,1	39	3	0,1	280,7	280,3	provtryck 100 bar ok	0,03333	0,13333
SS0020G05	49	20,6	22	39	3	0,3	282,7	282,4		0,10000	0,10000
SS0020G09	51	20,6	28	39	3	0,2	284,9	284,4		0,06667	0,16667
SS0020G13	53	20,6	24	39	3	0,7	291,9	291,1	provtryck 100 bar ok	0,23333	0,26667
SS0020G17	55	20,6	28	39	3	1	294,6	293,5		0,33333	0,36667
SS0020G21	57	20,6	23	39	3	1,3	298,3	290,7		0,43333	2,53333
SS0020G25	59	20,6	27	39	3	0,7	302,4	301,8	provtryck 100 bar ok	0,23333	0,20000
SS0020G29	61	20,6	32	39	3	9,1	316,5	305,9		3,03333	3,53333
<b>Antal</b>	31	<b>Max</b>	34								

Vid mätt tryck på 0 bar antas trycket till 0,1 bar, markeras med   
Vid mätt flöde med flödesgivaren på 0 l/min är flödet antaget till 0,1 l/min, markeras 

Bh 11: Stuffen knäpper till lite och sen väller vatten ut ur en spricka mitt i stuff. Först trycks cement ut och sedan kommer vatten. Det börjar pysa i bh 7 och vatten läcker ut vid manschetten; troligen trycks vatten ut mellan enkel och dubbelpackern. Va

**Protokollförelse:** Henrik Svensson

# Injektering

Skärm nr: **3A**  
 Sektion tunnel: **20,47**    Verklig sektion (inmätt): **20,74**

Datum: 2008-04-01    Antaget grv tryck: 37 bar    (från TUT i stuffinjekteringshål)  
 Tid: 10:00    Brukstemp: 18,2 °C  
 Lufttemp: 14,7 °C

## Bilaga 4.3.f

Borrhålsdata				Valda injekteringsparametrar					
Borrhålsnamn	Borrhålsnummer	Borrhålslängd	Grvtryck borrhål	Injekteringstryck	Vald geltid och ungefärlig ratio		Effektiv inj tid	Antal satser	Inj.ordning
[-]	[nr]	[m]	[bar]	[bar]	[min]	Ratio [X:Y]	[min]	[-]	
SS0020A04	1	20,6	29	40+37	25	4,5:1	20	0,7	12
SS0020A08	3	20,6	31	77	25	4,5:1	20	0,7	13
SS0020A12	5	20,6	28	77	25	4,5:1	20	0,7	14
SS0020A16	7	20,6	31	77	25	4,5:1	20	0,7	18
SS0020A20	9	20,6	34	77	25	4,5:1	20	0,7	19
SS0020A24	11	20,6	22	77	25	4,5:2	20	0,7	20
SS0020A24	11 (2)	20,6	22	60	14	3,5:1	11	1	32
SS0020C01	13	20,6	27	77	25	4,5:1	20	0,7	24
SS0020H02	15	20,6	24	77	25	4,5:1	20	0,7	25
SS0020H06	17	20,6	17	77	25	4,5:1	20	0,7	26
SS0020H10	19	20,6	9	77	25	4,5:1	20	0,7	27
SS0020H14	21	20,6	12	77	25	4,5:1	20	0,7	30
SS0020I18	23	20,6	20	77	25	4,5:1	20	0,7	31
SS0020I14	25	20,6	22	77	25	4,5:1	20	0,7	29
SS0020I10	27	20,6	23	77	25	4,5:1	20	0,7	28
SS0020I06	29	20,6	22	77	25	4,5:1	20	0,7	23
SS0020I02	31	20,6	22	77	25	4,5:1	20	0,7	22
SS0020D01	33	20,6	23	77	25	4,5:1	20	0,7	21
SS0020B24	35	20,6	16	77	25	4,5:1	20	0,7	17
SS0020B20	37	20,6	28	77	25	4,5:1	20	0,7	16
SS0020B16	39	20,6	28	77	25	4,5:1	20	0,7	15
SS0020B17	41	20,6	22	77	25	4,5:1	20	0,7	11
SS0020B08	43	20,6	24	77	25	4,5:1	20	0,7	10
SS0020B04	45	20,6	3	77	25	4,5:1	20	0,7	9
SS0020G01	47	20,6	0,1	77	25	4,5:1	20	0,7	8
SS0020G05	49	20,6	22	77	25	4,5:1	20	0,7	7
SS0020G09	51	20,6	28	77	25	4,5:1	20	0,7	4
SS0020G13	53	20,6	24	77	25	4,5:1	20	0,7	3
SS0020G17	55	20,6	28	77	25	4,5:1	20	0,7	1
SS0020G21	57	20,6	23	77	25	4,5:1	20	0,7	2
SS0020G25	59	20,6	27	77	25	4,5:1	20	0,7	5
SS0020G29	61	20,6	32	77	25	4,5:1	20	0,7	6

Blandning	Geltid	Kg sol	kg salt
5,7:1	<b>63</b>	199,5	35
5,0:1	<b>39</b>	200	40
4,4:1	<b>21</b>	176	40

1 sats	Geltid	Kg sol	kg salt
240 kg	<b>63</b>	206	34
193-196 l	<b>39</b>	200	40
	<b>21</b>	192	48

Borrhållsdata		Protokollföres under injektering					
Borrhål namn	Borrhålls nummer	Start inj	Stoppat vid fullgjord tid	Uppnått tryck efter start inj	Inj. volym	Gel tid	Kommentarer (samband, läckage, stoppat på annan tid, annan inj ordning)
[-]	[nr]	[Tid]	[Ja/Nej]	[Tid]	[l]	[min]	
SS0020A04	1	1,35	Ja	2,3	43	25	Vid första inj försöket har förmodligen vakuumugningen inte fungerat som den ska eftersom endast 20 l går in. Injekteringen avbryts och görs om med bättre resultat.
SS0020A08	3	1,1	Ja	2,2	54	25	
SS0020A12	5	1,1	Ja	2,1	70	25	
SS0020A16	7	2	Ja	2,5	72	25	
SS0020A20	9	1,5	Nej	2,45	141	25	När 80l gått in blandas en stoppsats med 10 min gelltid. Återslag i slag i stuff och utanför lång manschett i hål
SS0020A24	11	1,35	Ja	2,35	54	25	Injektering med enkel manschett placerad 4m in i hålet pga av ytliga slag.
SS0020A24	11 (2)	2,02	Ja	2,3	12	11	Injektering av yttersta sektionen.
SS0020C01	13	1,5	Nej	2,58	151	25	Satsen tog slut. Blandade en ny stoppsats (3,5:1) gelltid 12 min. Samband med hål nr 11 där det läcker ut utanför lång manschett. Återslag i slag i stuff.
SS0020H02	15	2,1	Ja	3,2	72	25	
SS0020H06	17	1,45	Ja	2,53	63	25	
SS0020H10	19	1,55	Ja	3,25	78	25	
SS0020H14	21	2,26	Ja	3,3	63	25	
SS0020I18	23	2,35	Ja	3,4	63	25	
SS0020I14	25	1,45	Ja	3	66	25	
SS0020I10	27	1,5	Ja	3,1	61	25	
SS0020I06	29	1,48	Ja	2,5	51	25	
SS0020I02	31	2,4	Nej	3,5	115	25	Satsen tog slut. Blandade en ny stoppsats (3,5:1) gelltid 11min.
SS0020D01	33	3,1	Ja	4,3	77	25	
SS0020B24	35	1,3	Ja	2,27	78	25	
SS0020B20	37	1,35	Ja	2,38	50	25	Approx. 50 ty missade att starta Logac.
SS0020B16	39	1,5	Nej	2,5	137	25	Satsen tog slut. Blandade en ny stoppsats (3,5:1) gelltid 13min.
SS0020B17	41	1,38	Ja	2,3	48	25	
SS0020B08	43	2,02	Ja	2,55	46	25	
SS0020B04	45	1,4	Ja	2,3	45	25	
SS0020G01	47	1,46	Ja	2,32	42	25	
SS0020G05	49	1,15	Ja	2	42	25	
SS0020G09	51	2,4	Ja	3,2	39	25	
SS0020G13	53	2,25	Ja	3,15	47	25	
SS0020G17	55	3,2	Ja	4,02	38	25	
SS0020G21	57	2,25	Ja	3,1	44	25	
SS0020G25	59	2,15	Ja	3	43	25	
SS0020G29	61	3,3	Ja	4,09	58	25	

## Cement design

		2 säckar	
Recept 1 viktförhållande		För en sats	
Vatten	1,68	67,2 kg	
Cement	1	40 kg	
Groutaid	1,37	54,8 kg	
SP	0,07	2,8 kg	

### Design parametrar

Aperture, b	152 mm
Yield stress	15 Pa
Viscosity	25 mPas
Grouting time	45 min
Delta P	7 Mpa
Ger l d > pw / delta P	

## Silica sol design

b < 130 mym	Ökar tryck sänker geltid än tidigare
Gel tid	25 min
tG	8 min
Delta P	40 bar
Ger l max (150 mym)=	17 m
Ger l min (10 mym)=	1,1 m

Vid ytliga slag, använd Geltid=14 min.

Silica sol: Om det bedöms att satsen kommer att ta slut innan den effektiva injekteringstiden är uppnådd skall en ny sats göras med 21 minuters geltid; vid ca 10 liter kvar i kärlet, sänks flödet men med bibehållet tryck och satsen blandas snabbt. Ny injekteringstiden blir 4/5 av 21 min = 17 min.  
Cement: Löpande provning, LP görs för cementen. Skrivs på separat protokoll, blandning görs löpande

Protokollförare: Daniel Lignell

## Inflödes- och tryckmätningar

Skärm nr: 3B

Sektion tunnel: 20,47 Verklig sektion (inmätt): 20,74

Datum: 2008-04-07

Borrhåls diameter: 0,062 m

Tid: 08:00

Mättid: 1 Min

Vattentemp: °C

Antaget tryck: 30 bar

Uppmätt data								Beräknad data
Borrhål namn	Borrhåls nummer	Borrhåls- längd	Tryck borrhål	Flödes tid	Volym en manch. öppen	Volym alla öppna	Kommentarer (uppmätt data)	Inflöde, Q
[-]	[nr]	[m]	[bar]	[min]	[liter]	[liter]		[l/min]
SS0020A06	4	19,5	3	1	0,0001	0,0001		0,0001
SS0020A10	6	19,5	4	1	0,0001	0,015	s lumphål	0,0001
SS0020A18	10	19,5	16	1	0,28	0,0001		0,28
SS0020A22	12	19,5	22	1	0,23	0,35		0,23
SS0020A26	14	19,5	14	1	0,042	0,012		0,042
SS0020C03	16	19,5	10	1	0,1	0,015	s lumphål	0,1
SS0020I04	32	19,5	19	1	0,24	0,045		0,24
SS0020D03	34	19,5	14	1	0,15	0,1	s lumphål	0,15
SS0020B26	36	19,5	20	1	0,04	0,024		0,04
SS0020B22	38	19,5	1	1	0,21	0,016		0,21
SS0020B18	40	19,5	21	1	0,94	1,9		0,94
SS0020B14	42	19,5	31	1	1,8	0,26		1,8
SS0020B10	44	19,5	4	1	0,0001	0,006	s lumphål	0,0001
SS0020G15	56	19,5	10	1	0,0001	0,007	s lumphål	0,0001
SS0020G19	58	19,5	0,1	1	0,0001	0,01		0,0001
<b>Antal</b>	15	<b>Max</b>	31	<b>Summa</b>	4,0325	2,7602	<b>max</b>	1,800
							<b>medel</b>	0,269
							<b>median</b>	0,100

Vid mätt tryck på 0 bar antas trycket till 0,1 bar, markeras med Vid mätt inflöde på 0 l/min antas volymen vara 0,0001 l, markeras med 

Om flödet mäts i droppar antas en droppe vara 0,070 milliliter

Protokollförelse: Björn Stjärnsström

## Bilaga 4.3.h

### Vattenförlustmätning

Skärm nr: 3B

Sektion tunnel: 20,47 Verklig sektion (inmätt): 20,74

Datum: 2008-04-07

Borrhåls diameter: 0,062 m

Tid: 10:00

Mättid: 3 Min

Vattentemp: °C

Injektionsövertryck: 5 bar

Uppmätt data									Beräknad data		
Borrhål namn [-]	Borrhåls nummer [nr]	Borrhåls- längd [m]	Tryck borrhål [bar]	Injektions tryck [bar]	Flödes tid [min]	Volym under injektion [liter]	Vikt i blandaren [kg]		Kommentarer	Flöde via flödemätare [l/min]	Flöde via våg [l/min]
							Före	Efter			
SS0020A06	4	19,5	3	36	3	0,2	417,3	416,7		0,067	0,2
SS0020A10	6	19,5	4	36	3	0,6	411,5	410,7		0,2	0,267
SS0020A18	10	19,5	16	36	3	3,1	352,9	348,4		1,033	1,5
SS0020A22	12	19,5	22	36	3	1,5	303,2	302,3	Flödet ur slag i stuffen ökar	0,5	0,3
SS0020A26	14	19,5	14	36	3	0,6	249,2	248,8		0,2	0,133
SS0020C03	16	19,5	10	36	3	0,6	194,8	194,0		0,7	0,267
SS0020I04	32	19,5	19	36	3	2,1	334,5	330,6		0,833	1,3
SS0020D03	34	19,5	14	36	3	2,5	278,0	274,9		0,4	1,033
SS0020B26	36	19,5	20	36	3	1,2	220,4	219,1		0,5	0,433
SS0020B22	38	19,5	1	36	3	1,5	166,2	165,0		0,3	0,4
SS0020B18	40	19,5	21	36	3	0,9	299,7	298,2		0,067	0,5
SS0020B14	42	19,5	31	36	3	0,2	294,7	294,2		0,1	0,167
SS0020B10	44	19,5	4	36	3	0,3	290,6	290,1		0,1	0,167
SS0020G15	56	19,5	10	36	3	0,3	431,3	431,0		0,1	0,1
SS0020G19	58	19,5	0,1	36	3	0,1	428,0	425,6		0,033	0,8
<b>Antal</b>	15		<b>Max</b>	31							

Vid mätt tryck på 0 bar antas trycket till 0,1 bar, markeras med

Vid mätt flöde med flödesgivaren på 0 l/min är flödet antaget till 0,1 l/min, markeras



Protokollförelse: Daniel Lignell

## Bilaga 4.3.i

### Injekttering

Skärm nr: **3B**  
 Sektion tunnel: **20,47** Verklig sektion (inmätt): **20,74**

Datum: 2008-04-07

Tid: 16:03

Antaget grv tryck: 30 bar

Brukstemp: 13,3 °C

Lufttemp: 14,2 °C

Borrhålsdata				Valda injektteringsparametrar					
Borrhål namn	Borrhåls nummer	Borrhåls- längd	Grv tryck borrhål	Injektterings- tryck	Vald geltid och ungefärlig ratio		Effektiv inj tid	Antal satser	Inj.ord ning
[-]	[nr]	[m]	[bar]	[bar]	[min]	Ratio [X:Y]	[min]	[-]	[-]
SS0020A06	4	19,5	3	77	25	4,5:1	20	0,7	6
SS0020A10	6	19,5	4	77	25	4,5:1	20	0,7	7
SS0020A18	10	19,5	16	77	25	4,5:1	20	0,7	8
SS0020A22	12	19,5	22	77	11	3,5:1	9	1	13
SS0020A26	14	19,5	14	77	25	4,5:1	20	0,7	14
SS0020C03	16	19,5	10	77	25	4,5:1	20	0,7	15
SS0020I04	32	19,5	19	77	25	4,5:1	20	0,7	12
SS0020D03	34	19,5	14	77	25	4,5:1	20	0,7	11
SS0020B26	36	19,5	20	77	25	4,5:1	20	0,7	10
SS0020B22	38	19,5	1	77	25	4,5:1	20	0,7	9
SS0020B18	40	19,5	21	77	25	4,5:1	20	0,7	5
SS0020B14	42	19,5	31	77	25	4,5:1	20	0,7	4
SS0020B10	44	19,5	4	77	25	4,5:1	20	0,7	2
SS0020G15	56	19,5	10	77	25	4,5:1	20	0,7	1
SS0020G19	58	19,5	0,1	77	25	4,5:1	20	0,7	3

Blandning	Geltid	Kg sol	kg salt
5,7:1	63	199,5	35
5,0:1	39	200	40
4,4:1	21	176	40

1 sats 240 kg 193-196 l	Geltid	Kg sol	kg salt
	63	206	34
	39	200	40
	21	192	48

#### Silica sol design

##### b < 60 m ym

Gel tid	25
tG	8
Delta P	50
Ger l max (150 m ym)=	18
Ger l min (10 m ym)=	1,3



Borrhålstdata		Protokollföres under injektering					
Borrhål namn	Borrhåls nummer	Start inj	Stoppat vid fullgjord tid	Uppnått tryck efter start inj	Inj. volym	Gel tid	Kommentarer (samband, läckage, stoppat på annan tid, annan inj ordning)
[-]	[nr]	[Tid]	[Ja/Nej]	[Tid]	[l]	[min]	
SS0020A06	4	1,40	Ja	2,25	51	25	
SS0020A10	6	1,48	Ja	2,40	49	24	
SS0020A18	10	1,37	Nej	2,28	177	25	Å terslag i stuff på vänster sida, blandade en stoppsats med geltid 11 min
SS0020A22	12	1,25	Ja	2,45	102	11	Å terslag i stuff och utanför manschett i hål nr 11. Stuffen knakar till två gånger under inledningen av injekteringen, trycket sänks och stuffen kontrolleras men inga bomma partier hittas och injekteringen fortsätter med lägre tryck.
SS0020A26	14	1,38	Nej	2,30	237	26	Å terslag i stuff + vänster vägg, blandade en stoppsats med geltid 12 min.
SS0020C03	16	1,40	Ja	3,10	57	25	
SS0020D04	32	1,25	Ja	2,40	63	24	
SS0020D03	34	1,20	Ja	2,30	74	25	
SS0020B26	36	1,33	Ja	2,35	59	25	
SS0020B22	38	1,50	Ja	2,50	54	24	Fullt med silica sol i hålet vid avluftning, troligen från en tidigare inj i hål bredvid.
SS0020B18	40	1,36	Nej	2,20	83	25	Stort flöde i början, fick blanda en stoppsats med geltid 10 min.
SS0020B14	42	2,40	Ja	3,20	53	26	
SS0020B10	44	1,37	Ja	2,20	47	25	
SS0020G15	56	2,08	Ja	2,55	46	25	
SS0020G19	58	2,30	Ja	3,20	40	26	

*Silica sol Om det bedöms att satsen kommer att ta slut innan den effektiva injekteringstiden är uppnådd skall en ny sats göras med 11 minuters geltid; vid ca 10 liter kvar i kärlet, sänks flödet men med bibehållet tryck och satsen blandas snabbt. Ny injekteringstiden blir 4/5 av 11 min= 9 min.*

**Protokollförelse:** Daniel Lignell

## Bilaga 4.3.j

### Inflödes- och tryckmätningar

Skärm nr: 3C

Sektion tunnel: 20,47 Verklig sektion (inmätt): 20,74

Datum: 2008 04 08 Inflowe en manchett öppen och tryck

Tid: 18:40 mätt den 9 april på förmiddagen.

Vattentemp: 14 °C

Borrhåls diameter: 0,062 m

Mättid: 1 Min

Antaget tryck: 30 bar

Uppmätt data							Beräknad data		
Borrhål namn	Borrhåls nummer	Borrhåls-längd	Tryck borrhål	Flödes tid	Volym en manchett öppen [liter]	Volym alla manschetter öppna [liter]	Kommentarer	Inflöde, Q	
[-]	[nr]	[m]	[bar]	[min]	[liter]	[liter]		[l/min]	
SS0020A09	69	18,5	0,1	1	0,0001	0,0001	slumphål	0,0001	
SS0020A21	75	18,5	0,1	1	0,067	0,015		0,067	
SS0020A23	76	18,5	0,1	1	2,1E-05	0,016	3 droppar	0,000021	
SS0020H05	81	18,5	15	1	0,047	0,0075	slumphål	0,047	
SS0020I03	96	18,5	0,1	1	0,023	0,02	slumphål	0,023	
SS0020B09	108	18,5	10	1	0,0001	0,0001	slumphål	0,0001	
SS0020G12	119	18,5	0,1	1	0,021	0,018	slumphål	0,021	
<b>Antal</b>	7	<b>Max</b>	15	<b>Summa</b>	0,15822	0,0767		<b>max</b>	0,067
								<b>medel</b>	0,023
								<b>median</b>	0,021

Vid mätt tryck på 0 bar antas trycket till 0,1 bar, markeras med

Vid mätt inflöde på 0 l/min antas volymen vara 0,0001 l, markeras med

Om flödet mäts i droppar antas en droppe vara 0,070 milliliter

Protokollförare: Björn Stjärnström

**Vattenförlustmätning**Skärm nr: **3C**Sektion tunnel: **20,47** Verklig sektion (inmätt): **20,74**Datum: 2008-04-08  
Tid: 19:25  
Vattentemp: 13,2 °CBorrhåls diameter: 0,062 m  
Mättid: 5 Min  
Injektionsövertryck: 5 bar

Uppmätt data									Beräknad data		
Borrhål namn [-]	Borrhåls nummer [nr]	Borrhåls- längd [m]	Tryck borrhål [bar]	Injektions- tryck [bar]	Flödes tid [minuter]	Volym under injektion	Vikt i blandaren [kg]		Kommentarer	Flöde via	Flöde via
							Före	Efter		flödemätare [l/min]	våg [l/min]
SS0020A09	69	18,5		37	3	0,1	362	361,7		0,033	0,1
SS0020A21	75	18,5		37	3	0,2	249,1	248,9		0,067	0,067
SS0020A23	76	18,5		37	3	0,4	133	132,8	Problem med att få manschetten att stanna kvar. Stoppar in längre manschett ca 3 m in i hålet och då går det bättre.	0,133	0,067
SS0020H05	81	18,5		37	3	0,2	192,8	192,6		0,067	0,067
SS0020I03	96	18,5		37	3	2,9	256	253,8	Återslag i hål 32, monterar manschett i hål 32 och gör en ny VFL.	0,967	0,733
SS0020I03	96.2	18,5		37	3	1,2	57,1	55,8	Inget återslag längre.	0,4	0,433
SS0020B09	108	18,5		37	3	0,1	181,6	181,6		0,033	0
SS0020G12	119	18,5		37	3	0,2	370,3	369,7			
<b>Antal</b>	<b>7</b>	<b>Max</b>	<b>0</b>								

Vid mätt tryck på 0 bar antas trycket till 0,1 bar, markeras med

Vid mätt flöde med flödesgivaren på 0 l/min är flödet antaget till 0,1 l/min, markeras med



Protokollförelse: Henrik Svensson

## Bilaga 4.3.I

### Injektering

Skärm nr: **3C**  
Sektion tunnel: **20,47**

Verklig sektion (inmätt): **20,74**

Datum: 2008-04-09  
Tid: 10:45

Antaget grv tryck: 30 bar  
Brukstemp: 11,9 °C  
Lufttemp: 12,5 °C

Blandning	Geltid	Kg sol	kg salt
5,7:1	63	199,5	35
5,0:1	39	200	40
4,4:1	21	176	40

Borrhålsdata				Valda injektionsparametrar					
Borrhål namn	Borrhåls nummer	Borrhåls-längd alt sektion-längd	Grv tryck borrhål	Injektions-tryck	Vald geltid och ungefärlig ratio		Effektiv inj tid	Antal satser	Inj.ordning
[-]	[nr]		[bar]	[bar]	[min]	Ratio [X:Y]		[-]	
SS0020A09	69	18,5	0,1	77	25	4,5:1	20	1	4
SS0020A21	75	18,5	0,1	77	25	4,5:1	20	1	5
SS0020A23	76	18,5	0,1	77	25	4,5:1	20	1	6
SS0020H5	81	18,5	15	77	25	4,5:1	20	1	7
SS0020I03	96	18,5	0,1	77	25	4,5:1	20	1	3
SS0020B09	108	18,5	10	77	25	4,5:1	20	1	2
SS0020G12	119	18,5	0,1	77	25	4,5:1	20	1	1
SS0020A22	12	19,5		77	12	3,5:1			8

1 sats  
240 kg  
193-196 l

Geltid	Kg sol	kg salt
63	206	34
39	200	40
21	192	48

Ominjektering

### Protokollföres under injektering

Borrhål namn	Borrhåls nummer	Start inj	Stoppat vid fullgjord tid	Uppnått tryck efter start inj	Inj. volym	Gel tid	Kommentarer (samband, läckage, stoppat på annat än tid alltid vid Nej)
[-]	[nr]	[Tid]	[Ja/Nej]	[Tid]	[l]	[min]	
SS0020A09	69	1,32	Ja	2,10	45	29	Lite lång geltid, kompenserar med längre pumptid. Justerad blandning pga av lång geltid i förra hålet.
SS0020A21	75	3,10	Ja	4,22	74	28	"
SS0020A23	76	1,45	Ja	2,38	95	25	"
SS0020H5	81	1,50	Ja	2,40	57	25	
SS0020I03	96	1,35	Ja	2,40	75	29	Lite lång geltid, kompenserar med längre pumptid.
SS0020B09	108	1,33	Ja	2,30	37	27	
SS0020G12	119	1,44	Ja	2,38	52	26	
SS0020A22	12	2	Ja	2,3	58	11	Ominjektering från skärm 3B. Läckte genom yttliga sprickor i vänsterväggen.

Protokollförelse: Daniel Lignell

**Inflödes och tryckmätningar**Skärm nr: **4 Stuffinj**Sektion tunnel: **32,47**      Verklig sektion (inmätt): **32,94**Datum: 2008-05-21Borrhåls diameter: 0,062 mTid: 07:20Mättid: 1 minVattentemp: 14 °CAntaget tryck:          bar

Uppmätt data								Beräknad data
Borrhål namn	Borrhåls nummer	Borrhåls- längd	Tryck borrhål	Flödes tid	Volym En manschett öppen i taget [liter]	Volym Alla manschetter öppna [liter]	Kommentar er	Inflöde, Q  [l/min]
[-]	[nr]	[m]	[bar]	[min]	[liter]	[liter]		
SS0032F01	1	20	29	1	0,8	0,74		0,8
SS0032F02	2	20	28	1	0,1	0,059		0,095
SS0032F03	3	20	24	1	0,52	0,36		0,52
<b>Antal</b>	<b>3</b>	<b>Max</b>	<b>29</b>	<b>Summa</b>	<b>1,415</b>	<b>1,159</b>	<b>max</b>	<b>0,800</b>
							<b>medel</b>	<b>0,472</b>
							<b>median</b>	<b>0,520</b>

Vid mätt tryck på 0 bar antas trycket till 0,1 bar

Vid mätt inflöde på 0 l/min antas volymen vara 0,0001 l

Om flödet mäts i droppar antas en droppe vara 0,070 milliliter

**Protokollförare:** Henrik Svensson

## Bilaga 4.4.b

### Vattenförlustmätningar

Skärm nr: **4 Stuffinj**

Sektion tunnel: **32,47** Verklig sektion (inmätt): **32,94**

Datum: 2008-05-21

Borrhåls diameter: 0,062 m

Tid: 07:50

Mättid: 3 Min

Vattentemp: 12,8 °C

Injektionsövertryck: 5 bar

Uppmätt data									Beräknad data		
Borrhåls namn	Borrhåls nummer	Borrhåls-längd	Tryck borrhål	Injektions-tryck	Flödes tid	Volym under injektion	Vikt i blandaren [kg]		Kommentarer	Flöde via flödemätare	Flöde via våg
[-]	[nr]	[m]	[bar]	[bar]	[min]	[liter]	Före	Efter		[l/min]	[l/min]
SS0032F01	1	20	29	36	3	1,8			ej mätt vikten, ty packning under blandare läcker	0,6	0
SS0032F02	2	20	28	36	3	0,2			ej mätt vikten, ty packning under blandare läcker	0,067	0
SS0032F03	3	20	24	36	3	0,8			ej mätt vikten, ty packning under blandare läcker	0,267	0
<b>Antal</b>	3		<b>Max</b>	29							

Vid mätt tryck på 0 bar antas trycket till 0,1 bar

Vid mätt flöde med flödesgivaren på 0 l/min är flödet antaget till 0,1 l/min.

**Protokollföra re:** Henrik Svensson

**Injekttering**

Skärm nr: **4 Stuffinj**  
 Sektion tunnel: **32,47** Verklig sektion (inmätt): **32,94**

Datum: 2008-05-21 Antaget grv tryck: 32 bar  
 Tid: 08:00 Bruktemp: 19,3 °C  
 Lufttemp: 17,9 °C

Borrhålsdata				Valda injekteringsparametrar				
Borrhål namn	Borrhåls nummer	Borrhåls-längd	Grv tryck borrhål	Injekterings-tryck	Vald gel tid och ungefärlig ratio		Effektiv inj tid	Antal satser
[-]	[nr]	[m]	[bar]	[bar]	[min]	Ratio [X:Y]		[-]
SS0032F01	1	20	29	100	Recept 1		45	
SS0032F02	2	20	28	100	Recept 1		45	
SS0032F03	3	20	24	100	Recept 1		45	

1 sats	Gel tid	Kg sol	kg salt
240 kg	63	206	34
193-196 l	39	200	40
	21	192	48

Löpande provning, LP görs för cementen. Skrivs på separat protokoll

Protokollföres under injekttering					
Start inj	Stoppat vid fullgjord tid	Uppnått tryck efter start inj	Inj. volym	Gel tid/löpande provning	Kommentarer (sam band, läckage, stoppat på annat än tid alltid vid Nej OBS Ja om vaccumpump)
[Tid]	[Ja/Nej]	[Tid]	[l]	[min]	
	Ja		80		Ja
	Ja		63		Ja Cementfärgat vatten kom ut ur borrhålet vid vakuumpumpning.
	Ja		66		Ja Pumpen stängdes av misstag av under ett par minuter, trycket sjönk då till 45 bar innan det uppmärksammades och pumpen kom igång igen. Pumpningen fortsatte ytterligare några minuter över tiden för att kompensera för detta.

Protokollförelse: Daniel Lignell och Henrik Svensson

### Cement injektering

<i>Cement egenskaper</i>	mm
Aperture, b	152 Pa
Yield stress	20 mPas
Viscosity	25

<i>Cement design</i>	min
Grouting time	45 Mpa
Delta P	5
Ger $l > pw / \Delta P$	m
$l - D =$	12,5

### 2 säckar

<b>Recept 1 viktförhållande För en sats</b>		
Vatten	1,68	67,2 kg
Cement	1	40 kg
Groutaid	1,37	54,8 kg
SP	0,07	2,8 kg



## Inflödes- och tryckmätningar

Skärm nr: 4A

Sektion tunnel: 32,47 Verklig sektion (inmätt): 32,94

Datum: 2008-05-21

Borrhåls diameter: 0,062 m

Tid: 22:00

Mättid: 1 min

Vattentemp: 14 °C

Antaget tryck: 32 bar

Borrhålsdata							Beräknad data
Borrhål namn	Borrhåls nummer	Borrhåls-längd	Tryck borrhål	Flödes tid	Volym en manch. öppen	Volym alla öppna	Inflöde, Q
[-]	[nr]	[m]	[bar]	[min]	[liter]	[liter]	[l/min]
SS0032A 02	1	20	22	1	0,6	0,16	0,6
SS0032A 06	3	20	24	1	0,0001	0,0001	0,0001
SS0032H01	5	20	21	1	0,06	0,044	0,06
SS0032H05	7	20	19	1	0,0001	0,0001	0,0001
SS0032I01	9	20	23	1	0,18	0,12	0,18
SS0032B06	11	20	25	1	0,0001	0,0001	0,0001
SS0032B02	13	20	26	1	0,12	0,126	0,12
SS0032G03	15	20	24	1	0,051	0,041	0,051
SS0032G07	17	20	28	1	0,22	0,15	0,22
<b>Antal</b>	9	<b>Max</b>	28	<b>Sum ma</b>	1,2313	0,6413	<b>m ax</b>
							<b>m edel</b>
							<b>m e dian</b>
							0,600
							0,137
							0,060

Vid mätt tryck på 0 bar antas trycket till 0,1 bar, markeras med

Vid mätt inflöde på 0 l/min antas volymen vara 0,0001 l, markeras

Om flödet mäts i droppar antas en droppe vara 0,070 milliliter

Proto kolförare: Bjöm Stjämström

**Vattenförlustmätningar**Skärm nr: **4A**Sektion tunnel: **32,47** Verklig sektion (inmätt): **32,94**Datum: 08-05-21Borrhåls diameter: 0,062 mTid: 22:50Mättid: 3 minVattentemp: 14 °CInjektions övertryck: 5 bar

Borrhålsdata									Beräknad data		
Borrhål namn [-]	Borrhåls nummer [nr]	Borrhåls- längd [m]	Tryck borrhål [bar]	Injektions- tryck [bar]	Flödes tid [min]	Volym under injektion [liter]	Vikt i blandaren [kg]		Kommentarer	Flöde via flödemätare [l/min]	Flöde via våg [l/min]
							Före	Efter			
SS0032A02	1	20	22	36	3	0,4	239,82	239,30		0,1333	0,1733
SS0032A06	3	20	24	36	3	0,3	155,10	154,54		0,1	0,1867
SS0032H01	5	20	21	36	3	0,4	212,60	212,26		0,1333	0,1133
SS0032H05	7	20	19	36	3	0,8	275,30	271,48		0,2667	1,2733
SS0032I01	9	20	23	36	3	0,8	329,20	328,60		0,2667	0,2
SS0032B06	11	20	25	36	3	2,8	368,52	365,58		0,9333	0,98
SS0032B02	13	20	26	36	3	1	64,60	63,40		0,3333	0,4
SS0032G03	15	20	24	36	3	0,7	120,56	119,90		0,2333	0,22
SS0032G07	17	20	28	36	3	0,4	180,14	179,56		0,1333	0,1933
<b>Antal</b>	<b>9</b>	<b>Max</b>	<b>28</b>								

Vid mätt tryck på 0 bar antas trycket till 0,1 bar, markeras med

Vid mätt flöde med flödesgivaren på 0 l/min är flödet antaget till 0,1 l/min, markeras

**Protokollförrare** : Daniel Lignell

## Bilaga 4.4.f

### Injekttering

Skärm nr: **4A**  
 Sektion tunnel: **32,47** Verklig sektion (inmätt): **32,94**

Datum: 2008-05-22 Antaget grv tryck: 32 bar  
 Tid: 10:00 Brukstemp: 14 °C  
 Lufttemp: 14,7 °C

Borrhålsdata				Valda injektteringsparametrar					
Borrhål namn	Borrhåls nummer	Borrhåls-längd	Grv tryck borrhål	Injektterings-tryck	Vald geltid och ungefärlig ratio		Effektiv inj tid	Antal satser	Inj.ordning
[-]	[nr]	[m]	[bar]	[bar]	[min]	Ratio [X:Y]	[min]	[-]	
SS0032A02	1	20	32	62	39	5,2:1	31	0,7	3
SS0032A06	3	20	32	62	39	5,2:1	31	0,7	4
SS0032H01	5	20	32	62	39	5,2:1	31	0,7	7
SS0032H05	7	20	32	62	39	5,2:1	31	0,7	9
SS0032I01	9	20	32	62	39	5,2:1	31	0,7	8
SS0032B06	11	20	32	62	39	5,2:1	31	0,7	6
SS0032B02	13	20	32	62	39	5,2:1	31	0,7	5
SS0032G03	15	20	32	62	39	5,2:1	31	0,7	2
SS0032G07	17	20	32	62	39	5,2:1	31	0,7	1

Bländning	Geltid	Kg sol	kg salt
5,7:1	<b>63</b>	199,5	35
5,0:1	<b>39</b>	200	40
4,4:1	<b>21</b>	176	40

1 sats	Geltid	Kg sol	kg salt
<b>240 kg</b>	<b>63</b>	206	34
<b>193-196 l</b>	<b>39</b>	200	40
	<b>21</b>	192	48

Protokollföres under injekttering					
Start inj	Stoppat vid fullgjord tid	Uppnått tryck efter start inj	Inj. volym	Gel tid	Kommentarer (samband, läckage, stoppat på annan tid, annan inj ordning)
[Tid]	[Ja/Nej]	[Tid]	[l]	[min]	
1,42	Ja	2,37	65	39	
1,30	Ja	2,25	57	39	
2,10	Ja	3,10	62	39	
1,50	Ja	2,45	61	40	
1,45	Ja	3,00	64	39	
1,45	Ja	2,50	62	40	
1,58	Ja	2,56	63	39	
1,39	Ja	2,41	65	41	Pga av lite kort geltid i hål 17 ökades mängden Silca sol något till 5,6:1
1,36	Ja	2,40	66	36	Blandningsförhållande 5,5:1, logacens startades innan avluftningen var klar detta har dock dragits bort från den injektterade volymen.

---

*Silica sol Om det bedöms att satsen kommer att ta slut innan den effektiva injekteringstiden är uppnådd skall en ny sats göras med 21 minuters gelltid; vid ca 10 liter kvar i kärlet, sänks flödet men med bibehållet tryck och satsen blandas snabbt. Ny injekteringstiden blir 4/5 av 21 min = 17 min.*

Protokollförare: Daniel Lignell och Henrik Svensson

### Silica sol design

#### b<130 mym

Gel tid	39
tG	13
Delta P	30
Ger I max (150 mym)=	17
Ger I min (10 mym)=	1,24

#### 130<b<150 mym

25 min
8 min
40 bar
17 m
1,1 m

**Inflödes- och tryckmätningar**Skärm nr: **4**Sektion tunnel: **32,47** Verklig sektion (inmätt): **32,94**Datum: 2008-05-26Borrhåls diameter: 0,062 mTid: 15:10Mättid: 1 minVattentemp: 14,2 °CAntaget tryck:          bar

Borrhålsdata							Beräknad data
Borrhål namn	Borrhåls nummer	Borrhåls-längd	Tryck borrhål	Flödes tid	Volym en manch. öppen	Volym alla öppna	Inflöde, Q
[-]	[nr]	[m]	[bar]	[min]	[liter]	[liter]	[l/min]
SS0032A04	2	19		1	0,067	0,046	0,067
SS0032A08	4	19		1	0,0001	0,0001	0,0001
SS0032H03	6	19		1	0,0001	0,0001	0,0001
SS0032D03	8	19		1	0,016	0,016	0,016
SS0032B08	10	19		1	0,00105	0,0001	0,00105
SS0032B04	12	19		1	0,41	0,39	0,41
SS0032G01	14	19		1	0,025	0,024	0,025
SS0032G05	16	19		1	0,045	0,053	0,045
SS0032G09	18	19		1	0,29	0,27	0,29
<b>Antal</b>	<b>9</b>	<b>Max</b>	<b>0</b>	<b>Summa</b>	<b>0,85425</b>	<b>0,7993</b>	<b>max</b>
							<b>medel</b>
							<b>median</b>
							0,410
							0,095
							0,025

Vid mätt tryck på 0 bar antas trycket till 0,1 bar, markeras med   
 Vid mätt inflöde på 0 l/min antas volymen vara 0,0001 l, markeras   
 Om flödet mäts i droppar antas en droppe vara 0,070 milliliter

**Protokollförare:** Björn Stjämström

## Bilaga 4.4.h

### Vattenförlustmätning

Skärm nr: 4B

Sektion tunnel: 32,47 Verklig sektion (inmätt): 32,94

Datum: 2008-05-26

Borrhåls diameter: 0,062 m

Tid: 16:10

Mättid: 3 Min

Vattentemp: 14,2 °C

Injektionsövertryck: 5 bar

Borrhålsdata									Beräknad data		
Borrhål namn	Borrhåls nummer	Borrhåls-längd	Tryck borrhål	Injektions-tryck	Flödes tid	Volym under injektion	Vikt i blandaren [kg]		Kommentarer	Flöde via flödemä	Flöde via våg
[-]	[nr]	[m]	[bar]	[bar]	[min]	[liter]	Före	Efter		[l/min]	[l/min]
SS0032A 04	2	19		36	3	0,9	431,18	429,64		0,3	0
SS0032A 08	4	19		36	3	0,1	218,2	217,94		0,033333	0
SS0032H03	6	19		36	3	0,0001	275,58	275,39		3,33E-05	0
SS0032I03	8	19		36	3	0,6	331,22	331		0,2	0
SS0032B08	10	19		36	3	0,4	386,32	385,98		0,133333	0
SS0032B04	12	19		36	3	1,7	214,28	212,5		0,566667	0
SS0032G01	14	19		36	3	0,3	268,02	261,92		0,1	0
SS0032G05	16	19		36	3	0,6	322,4	321,36		0,2	0
SS0032G09	18	19		36	3	0,3	379,6	278,8		0,1	0
<b>Antal</b>	9		<b>Max</b>	0							

Vid mätt tryck på 0 bar antas trycket till 0,1 bar, markerat med

Vid mätt flöde med flödesgivaren på 0 l/min är volymen antagen till 0,0001 l, markerat med



Protokollförelse: Daniel Lignell och Henrik Svensson

## Bilaga 4.4.i

### Injekttering

Skärm nr: **4B**  
 Sektion tunnel: **32,47** Verklig sektion (inmätt): **32,94**

Datum: 2008-05-26 Antaget grv tryck: 32 bar  
 Tid: 18:00 Bruk stemp: 14,7 °C  
 Lufttemp: 16,7 °C

Borrhålsdata				Valda injektionsparametrar					
Borrhål namn	Borrhåls nummer	Borrhåls-längd	Grv tryck borrhål*	Injektions-tryck	Vald geltid och ungefärlig ratio		Effektiv inj tid	Antal satser	Inj.ord ning
[-]	[nr]	[m]	[bar]	[bar]	[min]	Ratio [X:Y]	[min]	[-]	
SS0032A04	2	19	32	62	39	5,4:1	31	0,5	4
SS0032A08	4	19	32	62	39	5,4:1	31	0,5	6
SS0032H03	6	19	32	62	39	5,4:1	31	0,5	8
SS0032I03	8	19	32	62	39	5,4:1	31	0,5	9
SS0032B08	10	19	32	62	39	5,4:1	31	0,5	7
SS0032B04	12	19	32	62	39	5,4:1	31	0,5	5
SS0032G01	14	19	32	62	39	5,4:1	31	0,5	3
SS0032G05	16	19	32	62	39	5,4:1	31	0,5	2
SS0032G09	18	19	32	62	39	5,4:1	31	0,5	1

Blandning	Geltid	Kg sol	kg salt
5,7:1	<b>63</b>	199,5	35
5,0:1	<b>39</b>	200	40
4,4:1	<b>21</b>	176	40

1 sats	Geltid	Kg sol	kg salt
<b>240 kg</b>	<b>63</b>	206	34
<b>193-196 l</b>	<b>39</b>	200	40
	<b>21</b>	192	48

Protokollföres under injekttering					
Start inj	Stoppat vid fullgjord tid	Uppnått tryck efter start inj	Inj. volym	Gel tid	Kommentarer (samband, läckage, stoppat på annan tid, annan inj ordning)
[Tid]	[Ja/Nej]	[Tid]	[l]	[min]	
1,29	Ja	2,30	64	39	Gjömde starta logac direkt, inj volym är ca 64 liter (avläst på våg).
1,36	Ja	2,35	58	38	
1,25	Ja	2,20	53	40	
1,20	Ja	2,15	55	39	
1,23	Ja	2,25	59	39	
2,20	Ja	3,55	67	36	
1,38	Ja	2,33	61	39	
1,30	Ja	2,28	62	39	
1,48	Ja	2,49	64	32	Snabb geltid, oklart varför, satsen efter är bättre.

### Silica sol design

b<130 mym

Gel tid

tG

Delta P

Ger l max (150 mym)=

Ger l min (10 mym)=

130<b<150 mym

39 25 min

13 8 min

30 40 bar

17 17 m

1,24 1,1 m

Silica sol Om det bedöms att satsen kommer att ta slut innan den effektiva injektteringstiden är uppnådd skall en ny sats göras med 21 minuters geltid; vid ca 10 liter kvar i kärlet, sänks flödet men med bibehållt tryck och satsen blandas snabbt. Ny injektteringstiden blir 4/5 av 21 min = 17 min.

\* Antaget grundvattenstryck

Protokollförare: Daniel Lignell

## Bilaga 4.4.j

### Inflödes- och tryckmätningar

Skärm nr: **4C**  
 Sektion tunnel: **32,47**      Verklig sektion (inmätt): **32,94**

Datum: 2008 05 27      Borrhåls diameter: 0,062 m  
 Tid: 14:30      Mättid: 1 min  
 Vattentemp: 14,2 °C      Antaget tryck: 31 bar

Uppmätt data							Beräknad data
Borrhål namn	Borrhåls nummer*	Borrhåls-längd	Tryck borrhål	Flödes tid	Volym en manschett öppen	Volym alla manschetter öppna	Inflöde, Q
[-]	[nr]	[m]	[bar]	[min]	[liter]	[liter]	[l/min]
SS0032A05	52	18		1	0,0001	0,0001	0,0001
SS0032H02	55	18		1	0,0001	0,0001	0,0001
SS0032I02	58	18		1	0,0001	0,0001	0,0001
SS0032B05	61	18		1	0,1	0,1	0,1
SS0032G06	66	18		1	0,029	0,028	0,029
<b>Antal</b>	<b>5</b>	<b>Max</b>	<b>0</b>	<b>Summa</b>	<b>0,1293</b>	<b>0,1283</b>	<b>max</b>
							<b>medel</b>
							<b>median</b>

Vid mätt tryck på 0 bar antas trycket till 0,1 bar, markeras med   
 Vid mätt inflöde på 0 l/min antas volymen vara 0,0001 l, markeras   
 Om flödet mäts i droppar antas en droppe vara 0,070 milliliter



**Vattenförlustmätning**Skärm nr: **4C**Sektion tunnel: **32,47**      Verklig sektion (inmätt): **32,94**Datum: 2008-05-27Borrhåls diameter: 0,062 mTid: 15:00Mättid: 3 minVattentemp: 14,2 °CInjektionsövertryck: 5 bar

Uppmätt data							Beräknad data				
Borrhål namn	Borrhåls nummer	Borrhåls- längd	Tryck borrhål	Injektions- tryck	Flödes tid	Volym under injektion	Vikt i blandaren [kg]		Kommentarer	Flöde via flödemätare	Flöde via våg
							Före	Efter			
[-]	[nr]	[m]	[bar]	[bar]	[minuter]						
SS0032A05	52	18		36	3		449,50	449,50			0
SS0032H02	55	18		36	3		393,50	393,46			0,0133
SS0032I02	58	18		36	3		335,62	335,60			0,0067
SS0032B05	61	18		36	3		284,82	283,96			0,2867
SS0032G06	66	18		36	3		228,16	227,86			0,1
<b>Antal</b>	5		<b>Max</b>	0							

Vid mätt tryck på 0 bar antas trycket till 0,1 bar, markeras med

Vid mätt flöde med flödesgivaren på 0 l/min är flödet antaget till 0,1 l/min, markeras



## Bilaga 4.4.I

### Injekttering

Skärm nr:

4C

Sektion tunnel:

32,47 Verklig sektion (inmätt): 32,94

Datum:

2008-05-27

Antaget grv tryck: 32 bar

Tid:

07:00

Bruks temp: 15,1 °C

Luft temp: 15,8 °C

Blandning	Geltid	Kg sol	kg salt
5,7:1	63	199,5	35
5,0:1	39	200	40
4,4:1	21	176	40

1 sats	Geltid	Kg sol	kg salt
240 kg	63	206	34
193-196 l	39	200	40
	21	192	48

Borrhålsdata				Valda injektteringsparametrar						Borrhåls nummer	Silica sol i blandaren före injekttering	Silica sol i blandaren efter injekttering	Injektterad vikt
Borrhål namn	Borrhåls nummer	Borrhåls-längd alt sektions-längd	Grv tryck borrhål*	Injektterings-tryck	Vald geltid och ungefärlig ratio		Effektiv inj tid	Antal satser	Inj.ordning				
[-]	[nr]		[bar]	[bar]	[min]	Ratio [X:Y]		[-]					
SS0032A 05	52	18	32	62	39	5,4:1	31	1	4	52	169,86	101,64	68,22
SS0032H02	55	18	32	62	39	5,4:1	31	0,5	5	55	165,48	108,74	56,74
SS0032I02	58	18	32	62	39	5,4:1	31	0,5	3	58	156,08	87,6	68,48
SS0032B05	61	18	32	62	39	5,4:1	31	0,5	2	61	170,02	102,42	67,6
SS0032G06	66	18	32	62	39	5,4:1	31	0,5	1	66	160,48	85,32	75,16

\* Antaget stationärt grundvatten tryck

### Protokollföres under injekttering

Start inj	Stoppat vid fullgjord tid [Ja/Nej]	Uppnått tryck efter start inj	Inj. volym	Gel tid	Kommentarer (samband, läckage, stoppat på annat än tid alltid vid Nej)
[Tid]	[Ja/Nej]	[Tid]	[l]	[min]	
1,20	Ja	2,25	54	39	
1,57	Ja	2,45	44	38	
1,10	Ja	2,30		39	Loggningen fungeade inte så vikten avlästes istället
1,22	Ja	2,10		38	Loggningen fungeade inte så vikten avlästes istället
1,55	Ja	3,00		38	Loggningen fungeade inte så vikten avlästes istället

Protokollföra re : Daniel Lignell

## Inflödes- och tryckmätningar

Skärm nr: 5 Stuffinj

Sektion tunnel: 48,47 Verklig sektion (inmätt): 48,67

Datum: 2008-08-26  
Tid: 08:00  
Vattentemp: 16,4 °CBorrhåls diameter: 0,062 m  
Mättid: 1 min  
Antaget tryck: 35 bar

Uppmätt data							Beräknad data		
Borrhål namn	Borrhåls nummer	Borrhåls-längd	Tryck borrhål	Flödes tid	Volym, en manschett öpen i taget	Volym, alla manschetter öppna	Kommentarer	Inflöde, Q	
[-]	[nr]	[m]	[bar]	[min]	[liter]	[liter]		[l/min]	
SS0048F01	1	20	11	1	0,21	0,14		0,21	
SS0048F02	2	20	0,1	1	0,055	0,043		0,055	
SS0048F03	3	20	35	1	2,7	2,5		2,7	
SS0048F04	4	20	33	1	0,36	0,34	litet läckage från gångorna på manschett	0,36	
<b>Antal</b>	4	<b>Max</b>	35	<b>Summa</b>	3,325	3,023		<b>max</b>	2,700
								<b>me del</b>	1,038
								<b>median</b>	0,360

Vid mätt tryck på 0 bar antas trycket till 0,1 bar, markeras med   
 Vid mätt inflöde på 0 l/min antas volymen vara 0,0001 l, markeras med   
 En droppe antas vara 0,070 milliliter

Protokollförare: Henrik Svensson

## Bilaga 4.5.b

### Vattenförlustmätningar

Skärm nr: 5 Stuffinj

Sektion tunnel: 48,47 Verklig sektion (inmätt): 48,67

Datum: 2008-08-26

Tid: 08:40

Vattentemp: 16,4 °C

Borrhåls diameter: 0,062 m

Mättid: 3 min

Injektionsövertryck: 5 bar

Antaget stationärt tryck: 35 bar

Uppmätt data									Beräknad data		
Borrhåls namn	Borrhåls nummer	Borrhåls-längd	Tryck borrhål	Injektions-tryck	Flödes-tid	Volym under injektion	Vikt i blandaren [kg]		Kommentarer	Flöde via flödemätare	Flöde via våg
[-]	[nr]	[m]	[bar]	[bar]	[min]	[liter]	Före	Efter		[l/min]	[l/min]
SS0048F01	1	20	11	40	3	2,4	244,2	240,4		0,8	1,2667
SS0048F02	2	20	0,1	40	3	0,2	180,3	180,6		0,0667	-0,1
SS0048F03	3	20	35	40	3	8,7	321,8	308,7		2,9	4,3667
SS0048F04	4	20	33	40	3	0,3	358,4	357,8	Det droppar lite från gängorna på manschetten	0,1	0,2
"	"										
<b>Antal</b>	4	<b>Max</b>	35								

Vid mätt tryck på 0 bar antas trycket till 0,1 bar, markerat med

Vid mätt flöde med flödesgivaren på 0 l/min är flödet antaget till 0,1 l/min, markerat



Protokollförare: Daniel Lignell och Henrik Svensson

**Injektering**

Skärm nr: **5 Stuffinj**  
 Sektion tunnel: **48,47** Verklig sektion (inmätt): **48,67**

Datum: 2008-08-26  
 Tid: 12:30

Antaget grv tryck: 35 bar  
 Brukstemp: 16 °C  
 Lufttemp: 19,1 °C

Borrhålsdata				Valda injekteringsparametrar					
Borrhål namn	Borrhåls nummer	Borrhåls- längd	Grv tryck borrhål	Injekterings- tryck	Vald geltid och ungefärlig ratio		Effektiv inj tid	Antal satser	Inj. ordn.
[-]	[nr]	[m]	[bar]	[bar]	[min]	Ratio [X:Y]	[min]	[-]	[-]
SS0048F01	1	20	11	75	39	5,8:1	31	0,5	1
SS0048F02	2	20	0,1	75	39	5,7:1	31	0,5	3
SS0048F03	3	20	35	75	39	5,7:1	31	2	2
SS0048F04	4	20	33	75	39	5,7:1	31	0,5	4

Borrhålsdata		Protokollföres under injektering					
Borrhål namn	Borrhåls nummer	Start inj	Stoppat vid fullgjord tid	Uppnått tryck efter start inj	Inj. volym	Gel tid/löpande provning	Kommentarer (samband, läckage, stoppat på annat än tid alltid vid Nej OBS Ja om vaccumpump)
[-]	[nr]	[Tid]	[Ja/Nej]	[Tid]	[l]	[min]	
SS0048F01	1	1,44	Nej	2,55	235	42	Ja
"	"						Sats 1 tog slut & en 25 min sats (4,9:1) blandades, geltid blev 27 min. Justerar blandn till nästa hål (3) eftersom geltider var lite långa.
SS0048F02	2	1,35	Ja	2,45	64	39	Ja
"	"						När hålet öppnades för avluftn kom mkt silica sol ut, det fortsätter rinna färgat vatten ända tills vi ska injektera hålet (ca 10min senare), Sats 1 tog slut, blandade en 25 min sats (4,9:1). Geltiden blev 25 min.
"	"						
SS0048F03	3	1,45	Nej	2,55	341	39	Ja
SS0048F04	4	1,45	Ja	2,57	76	38	Ja

Löpande provning, LP görs för cementen. Skrivs på separat protokoll  
OBS! Manschett placeras så långt in i hålet som det går.

Protokollförare: Daniel Lignell

## Inflödes- och tryckmätningar

Skärm nr: 5A  
 Sektion tunnel: 48,47 Verklig sektion (inmätt): 48,67

Datum: 2008-08-28 Borrhåls diameter: 0,062 m  
 Tid: 07:45 Mättid: 1 min  
 Vattentemp: 16,8 °C Antaget tryck: 35 bar

Borrhålsdata							Beräknad data	
Borrhål namn	Borrhåls nummer	Borrhåls-längd	Tryck borrhål	Flödes tid	Volym en manch. öppen	Volym alla öppna	Inflöde, Q	
[-]	[nr]	[m]	[bar]	[min]	[liter]	[liter]	[l/min]	
SS0048A01	1	20	28	1	0,12	0,073	0,12	
SS0048A04	3	20	0,1	1	0,0001	0	0,0001	
SS0048A07	5	20	20	1	0,1	0,1	0,1	
SS0048H02	7	20	0,1	1	0,0001	0,0001	0,0001	
SS0048H04	9	20	0,1	1	0,0001	0,0001	0,0001	
SS0048D05	11	20	0,1	1	0,15	0,024	0,15	
SS0048D03	13	20	19	1	0,0001	0,0001	0,0001	
SS0048B06	15	20	14	1	0,071	0,07	0,071	
SS0048B04	17	20	34	1	0,0001	0,1	0,0001	
"	"				0,0001			
"	"				0,0001			
SS0048B01	19	20	32	1	1,8	1,7	1,8	
SS0048G04	21	20	32	1	2,6	0,69	2,6	
SS0048G02	23	20	8	1	0,13	0,025	0,13	
<b>Antal</b>	12	<b>Max</b>	34	<b>Summa</b>	4,9717	2,7823	<b>max</b>	2,600
				<b>Max</b>	2,6		<b>medel</b>	1,510
							<b>median</b>	1,800

Vid mätt tryck på 0 bar antas trycket till 0,1 bar, markerat med   
 Vid mätt inflöde på 0 l/min antas volymen vara 0,0001 l, markerat med   
 En droppe antas vara 0,070 milliliter

Protokolförare: Daniel Lignell och Henrik Svensson

## Vattenförlustmätningar

Skärm nr: 5A

Sektion tunnel: 48,47 Verklig sektion (inmätt): 48,67

Datum: 08-08-28

Borrhåls diameter: 0,062 m

Tid: 10:00

Mättid: 3 min

Vattentemp: 17,5 °C

Injektionsöverttryck: 5 bar

Borrhålsdata								Beräknad data		
Borrhål namn	Borrhåls nummer	Borrhåls- längd	Tryck borrhål	Injektions- tryck	Flödes- tid	Volym under injektion	Vikt i blandaren [kg]		Flöde via flödemätare	Flöde via våg
[-]	[nr]	[m]	[bar]	[bar]	[min]	[liter]	Före	Efter	[l/min]	[l/min]
SS0048A01	1	20	28	40	3	0,1	249,20	249,08	0,0333	0,04
SS0048A04	3	20	0,1	40	3	0,0001	211,80	211,20	0,0000	0,2
SS0048A07	5	20	20	40	3	0,2	386,20	385,04	0,0667	0,3867
SS0048H02	7	20	0,1	40	3	0,1	355,40	355,20	0,0333	0,0667
SS0048H04	9	20	0,1	40	3	0,0001	442,60	442,50	0,0000	0,0333
SS0048I05	11	20	0,1	40	3	0,2	377,50	376,90	0,0667	0,2
SS0048I03	13	20	19	40	3	0,1	343,70	343,60	0,0333	0,0333
SS0048B06	15	20	14	40	3	1,1	331,20	328,60	0,3667	0,8667
SS0048B04	17	20	34	40	3	0,4	246,70	245,80	0,1333	0,3
SS0048B01	19	20	32	40	3	3,4	241,20	236,30	1,1333	1,6333
SS0048G04	21	20	32	40	3	3,5	229,70	225,20	1,1667	1,5
SS0048G02	23	20	8	40	3	0,8	167,10	166,00	0,2667	0,3667
<b>Antal</b>	12	<b>Max</b>	34							

Vid mätt tryck på 0 bar antas trycket till 0,1 bar, markerat med

Vid mätt flöde med flödesgivaren på 0 l/min är volymen antagen till 0,0001 l/min, markerat med



Protokollförare: Daniel Lignell



## Bilaga 4.5.f

### Injekttering

Skärm nr: 5A  
 Sektion tunnel: 48,47 Verklig sektion (inmätt): 48,67

Datum: 2008-09-01 Antaget grv tryck: 35 bar  
 Tid: 10:00 Bruktemp: 16,8 °C Lufttemp: 17,2 °C

Borrhålsdata				Valda injektteringsparametrar						Protokollföres under injekttering					
Borrhål namn	Borrhåls nummer	Borrhåls längd	Ant. Grv tryck borrhål	Injektterings tryck	Vald geltid och ungefärlig ratio		Effektiv inj tid	Antal satser (1 sats = 240 kg)	Inj. ordning	Start inj	Stoppat vid fullgjord tid	Uppnått tryck efter start inj	Inj. volym	Gel tid	Kommentarer (samband, läckage, stoppat på annan tid, annan inj ordning)
[-]	[nr]	[m]	[bar]	[bar]	[min]	Ratio [X:Y]	[min]	[-]	[-]	[Tid]	[Ja/Nej]	[Tid]	[l]	[min]	
SS0048A01	1	20	35	100	89	7,3:1	71	1	4	1,18	Ja	2,20	49	90	Silica sol komut vid avluftning
SS0048A04	3	20	35	100	89	7,3:1	71	1	5	1,47	Ja	2,49	47	93	Silica sol komut vid avluftning
SS0048A07	5	20	35	100	89	7,3:1	71	1	8	1,59	Ja	2,50	55	89	
SS0048H02	7	20	35	100	89	7,3:1	71	1	9	3,30	Ja	4,45	49	90	Silica sol komut vid avluftning
SS0048H04	9	20	35	100	89	7,3:1	71	1	12	2,05	Ja	2,55	47	89	Silica sol komut vid avluftning
SS0048I05	11	20	35	100	89	7,3:1	71	1	11	2,10	Ja	3,10	66	89	
SS0048I03	13	20	35	100	89	7,3:1	71	1	10	1,28	Ja	2,20	50	89	Silica sol komut vid avluftning
SS0048B06	15	20	35	100	89	7,3:1	71	1	7	1,25	Ja	2,10	60	92	Silica sol komut vid avluftning
SS0048B04	17	20	35	100	89	7,3:1	71	1	6	1,20	Ja	2,25	58	91	Silica sol komut vid avluftning
SS0048B01	19	20	35	100	89	7,3:1	71	2	3	5,10	Ja	5,30	118	92	Silica sol komut vid avluftning
SS0048G04	21	20	35	100	89	7,3:1	71	2	1	1,35	Ja	2,40	134	90	Silica sol komut vid avluftning
SS0048G02	23	20	35	100	89	7,5:1	71	1	2	1,45	Ja	2,55	85	99	Gelid för lång, justerar blandning

### OBS! hål 19 ska slangfyllas

Silica sol Om det bedöms att satsen kommer att ta slut innan den effektiva injektteringstiden är uppnådd skall en ny sats göras med 21 minuters geltid; vid ca 15 kg kvar i kärlet, sänks flödet till näst intill 0 och satsen blandas snabbt. Ny injektteringstiden blir 4/5 av 21 min = 17 min.

Protokollföres: Daniel Lignell

### Silica sol design:

b<130 mym

Gel tid 89  
 tG 30  
 Delta P 65  
 Ger l max (150 mym)=  
 Ger l min (10 mym)= 2,5

130<b<150 mym

25 min  
 8 min  
 40 bar  
 17 m  
 1,1 m

Geltider	Troliga recept
89	7,5:1
39	5,8:1
25	5,0:1
21	4,8:1

Blandning

	Geltid	Kg sol	kg salt
5,7:1	63	199,5	35
5,0:1	39	200	40
4,4:1	21	176	40

1 sats

	Geltid	Kg sol	kg salt
240 kg	63	206	34
193-196 l	39	200	40
	21	192	48

## Bilaga 4.5.g

### Inflödes- och tryckmätningar

Skärm nr: **5B**  
 Sektion tunnel: **48,47** Verklig sektion (inmätt): **48,67**

Datum: 2008-09-03 Borrhåls diameter: 0,062 m  
 Tid: 07:00 Mättid: 1 min  
 Vattentemp: 17,6 °C Antaget tryck: 35 bar



Borrhålsdata								Beräknad data
Borrhål namn	Borrhåls nummer	Borrhåls-längd	Tryck borrhål	Flödes tid	Volym en manch. öppen	Volym alla öppna	Kommentarer	Inflöde, Q
[-]	[nr]	[m]	[bar]	[min]	[liter]	[liter]		[l/min]
SS0048A 03	2	19	0,1	1	0,0001	0,0001		0,0001
SS0048A 05	4	19	0,1	1	0,0001	0,0001		0,0001
SS0048H01	6	19	0,1	1	0,0001	0,0001		0,0001
SS0048H03	8	19	0,1	1	0,0001	0,0001		0,0001
SS0048H05	10	19	0,1	1	0,1	0,04		0,1
SS0048I04	12	19	0,1	1	0,0001	0,0001		0,0001
SS0048I01	14	19	0,1	1	0,0001	0,017		0,0001
SS0048B05	16	19	0,1	1	0,0001	0,0001		0,0001
SS0048B02	18	19	2	1	0,0001	0,0001		0,0001
SS0048G06	20	19	0,1	1	0,012	0,007		0,012
SS0048G03	22	19	0,1	1	0,026	0,02		0,026
SS0048G01	24	19	1	1	0,02	0,01		0,02
<b>Antal</b>	12	<b>Max</b>	2	<b>Summa</b>	0,1588	0,0947	<b>max</b>	0,026
				<b>max</b>	0,1		<b>medel</b>	0,019
							<b>median</b>	0,020

Vid mätt tryck på 0 bar antas trycket till 0,1 bar, markerat med   
 Vid mätt inflöde på 0 l/min antas volymen vara 0,0001 l, markerat med   
 En droppe antas vara 0,070 milliliter

Protokolförare: Daniel Stjärnström

**Vattenförlustmätningar**Skärm nr: **5B**Sektion tunnel: **48,47** Verklig sektion (inmätt): **48,67**Datum: 2008-09-02  
Tid: 09:00  
Vattentemp: 17,6 °CBorrhåls diameter: 0,062 m  
Mättid: 3 min  
Injektionsövertryck: 5 bar  
Antaget tryck = 35 bar

Borrhålsdata									Beräknad data		
Borrhål namn [-]	Borrhåls nummer [nr]	Borrhåls-längd [m]	Tryck borrhål [bar]	Injektions-tryck [bar]	Flödes-tid [min]	Volym under injektion [liter]	Vikt i blandaren [kg]		Kommentarer	Flöde via flödemätare [l/min]	Flöde via våg [l/min]
							Före	Efter			
SS0048A03	2	19	0,1	40	3	0,1	334	334		0	0
SS0048A05	4	19	0,1	40	3	0,1	307,4	307,3		0,033	0,033
SS0048H01	6	19	0,1	40	3	0,1	287,6	287,6		0	0
SS0048H03	8	19	0,1	40	3	0,1	260,8	260,8		0	0
SS0048H05	10	19	0,1	40	3	0,1	205,1	205,1		0,033	0
SS0048I04	12	19	0,1	40	3	0,1	164,2	164,2		0	0
SS0048I01	14	19	0,1	40	3	0,1	337,2	337,2		0,033	0
SS0048B05	16	19	0,1	40	3	0,9	327,2	326,2		0,300	0,333
SS0048B02	18	19	2	40	3	0,2	290,6	290,5		0,067	0,033
SS0048G06	20	19	0,1	40	3	0,8	229,6	227,7		0,267	0,633
SS0048G03	22	19	0,1	40	3	0,2	165,7	165,1		0,067	0,200
SS0048G01	24	19	1	40	3	0,5	107,2	105,2		0,167	0,667
<b>Antal</b>	12	<b>Max</b>	2								

Vid mätt tryck på 0 bar antas trycket till 0,1 bar, markeras med   
 Vid mätt flöde med flödesgivaren på 0 l/min är flödet antaget till 0,1 l/min, markeras 

Protokollförare: Daniel Lignell

## Bilaga 4.5.i

### Injektering

Skärm nr: 5B

Sektion tunnel: 48,47 Verklig sektion (inmätt): 48,67

Datum: 2008-09-03

Antaget grv tryck: 35 bar

Tid: 13:30

Brukstemp: 16,2 °C

Lufttemp: 18,2 °C

Borrhålsdata				Valda injekteringsparametrar						Protokollföres under injektering				
Borrhål namn	Borrhåls nummer	Borrhåls-längd	Grv tryck borrhål*	Injekterings-tryck	Vald geltid och ungefärlig ratio		Effektiv inj tid	Antal satsar	Inj.ord ning	Start inj	Stoppat vid fullgjord tid [Ja/Nej]	Uppnått tryck efter start inj	Inj. volym	Gel tid
[-]	[nr]	[m]	[bar]	[bar]	[min]	Ratio [X:Y]	[min]	[-]		[Tid]		[Tid]	[l]	[m in]
SS0048A03	2	19	35	100	89	7,3:1	71	1	4	1,10	Ja	1,55	47	88
SS0048A05	4	19	35	100	89	7,3:1	71	1	5	1,26	Ja	2,13	41	89
SS0048H01	6	19	35	100	89	7,3:1	71	1	8	1,41	Nej	2,55	240	89
SS0048H03	8	19	35	100	89	7,3:1	71	1	9	2,15	Ja	2,55	49	88
SS0048H05	10	19	35	100	89	7,3:1	71	1	12	1,25	Ja	2,15	56	87
SS0048D4	12	19	35	100	89	7,3:1	71	1	11	2,20	Nej	6,40	150	88
SS0048D1	14	19	35	100	89	7,3:1	71	1	10	1,28	Ja	2,12	48	88
SS0048B05	16	19	35	100	89	7,3:1	71	1	7	1,32	Ja	2,10	39	89
SS0048B02	18	19	35	100	89	7,3:1	71	1	6	1,41	Ja	2,25	47	89
SS0048G06	20	19	35	100	89	7,3:1	71	1	3	1,32	Ja	2,28	88	88
SS0048G03	22	19	35	100	89	7,3:1	71	1	1	2,02	Ja	3,10	111	89
SS0048G01	24	19	35	100	89	7,3:1	71	1	2	1,20	Ja	2,20	61	87

Silica sol Om det bedöms att satsen kommer att ta slut innan den effektiva injekteringstiden är uppnådd skall en ny sats göras med 21 minuters geltid; vid ca 15 kg kvar i kärlet, sänks flödet till nästintill 0 och satsen blandas snabbt. Ny injekteringstiden blir 4/5 av 21 min = 17 min.

\* Antaget grundvatten tryck

### Silica sol design

b < 130 mym

Gel tid 89  
tG 30  
Delta P 65  
Gel max (150 mym)=  
Gel min (10 mym)= 2,5

130 < b < 150 mym

25 min  
8 min  
40 bar  
17 m  
1,1 m

Geltider	Troliga recept
89	7,5:1
39	5,8:1
25	5,0:1
21	4,8:1

Borrhålsdata		Protokollföres under injektering
Borrhål namn [-]	Borrhåls nummer [nr]	Kommentarer (samband, läckage, stoppat på annan tid, annan inj ordning)
SS0048A03	2	
SS0048A05	4	
SS0048H01	6	Samband med hål 7, manschetten gled ut ur 7:an efter ca 15 min inj, satsen tog slut och en stoppsats blandades, med 25 min geltid, under tiden som en ny sats blandas installeras en ny manschett i 7:an. OBS två loggfiler.
"	"	
SS0048H03	8	Under inj kröp manschetten ut något, trycket släpptes och manschetten sattes in igen, pumpade vidare och höll trycket under 75 min. OBS två logac filer, säkringen gick till logac när det blev jordfel i en pump.
"	"	
SS0048H05	10	
SS0048D04	12	Slangfyllde hålet eftersom vakuumpumpen hade gått sönder. Under inj löste en säkring ut så att logacen och vägsystemet stannade, pumpen fortsatte dock. Hålet pumpades ca 80 min. Försökte starta logac sen men den krånglade och behövde startas om, därför sa
"	"	
"	"	
SS0048D01	14	
SS0048B05	16	
SS0048B02	18	
SS0048G06	20	Samband med hål 21
SS0048G03	22	
SS0048G01	24	

Protokollföra re: Daniel Lignell

## Inflödes- och tryckmätningar

Skärm nr: **5C**  
 Sektion tunnel: **48,47** Verklig sektion (inmätt): **48,67**

Datum: 2008 09 08  
 Tid: 14:30  
 Vattentemp: 17,3 °C

Borrhåls diameter: 0,062 m  
 Mättid: 1 min  
 Antaget tryck: 35 bar

Borrhålsdata								Beräknad data
Borrhål namn	Borrhåls nummer	Borrhåls-längd	Tryck borrhål*	Flödes tid	Volym en manschett öppen	Volym alla manschetter öppna	Kommentarer	Inflöde, Q
[-]	[nr]	[m]	[bar]	[min]	[liter]	[liter]		[l/min]
SS0048A 02	30	18	35	1		0,003		0,003
SS0048A 06	33	18	35	1		0,0001		0,0001
SS0048I02	42	18	35	1		0,01		0,01
SS0048B03	46	18	35	1		0,0001		0,0001
SS0048G05	49	18	35	1		0,01		0,01
<b>Antal</b>	5	<b>Max</b>	35	<b>Summa</b>		0,0232	<b>max</b>	0,010
				<b>Max</b>		0,01	<b>medel</b>	0,007
							<b>median</b>	0,010

\*Ej mätt=antaget till 35 bar

Vid mätt tryck på 0 bar antas trycket till 0,1 bar, markerat med

Vid mätt inflöde på 0 l/min antas volymen vara 0,0001 l, markerat med

En droppe antas vara 0,070 milliliter

Protokollföra re: Henrik Svensson

**Vattenförlustmätningar**Skärm nr: **5C**Sektion tunnel: **48,47** Verklig sektion (inmätt): **48,67**Datum: 2008-09-08Borrhåls diameter: 0,062 mTid: 15:30Mättid: 3 minVattentemp: 17,3 °CInjektionsöverttryck: 5 bar

Uppmätt data									Beräknad data		
Borrhål namn	Borrhåls nummer	Borrhåls- längd	Tryck borrhål	Injektions- tryck	Flödes tid	Volym under injektion	Vikt i blandaren [kg]		Kommentarer	Flöde via flödemätare	Flöde via våg
							Före	Efter			
[-]	[nr]	[m]	[bar]	[bar]	[minuter]				[l/min]	[l/min]	
SS0048A02	30	18		40	3	0,1	141,40	141,20		0,033	0,067
SS0048A06	33	18		40	3	0,1	215,30	215,30		0,033	0
SS0048I02	42	18		40	3	0,1	205,50	205,50		0,033	0
SS0048B03	46	18		40	3	0,1	199,8	199,60		0,033	0,067
SS0048G05	49	18		40	3	0,1	239,6	239,60		0,033	0
<b>Antal</b>	5		<b>Max</b>	0							

Vid mätt tryck på 0 bar antas trycket till 0,1 bar, markerat med

Vid mätt flöde med flödesgivaren på 0 l/min är flödet antaget till 0,1 l/min, markerat med

**Protokollföra re:** Daniel Lignell

## Bilaga 4.5.I

### Injektering

Skärm nr: **5C**

Sektion tunnel: **48,47** Verklig sektion (inmätt): **48,67**

Datum: 08-09-09

Antaget grv tryck: 35 bar

Tid: 14:00

Brukstemp: 18,1 °C

Lufttemp: 17,5 °C

Borrhålsdata				Valda injekteringsparametrar						Protokollföres under injektering				
Borrhål namn	Borrhåls nummer	Borrhåls-längd alt sektions-längd	Grv tryck borrhål	Injektions-tryck	Vald geltid och ungefärlig ratio		Effektiv inj tid	Antal sats	Inj. ordning	Start inj	Stoppat vid fullgjord tid	Uppnått tryck efter start inj	Inj. volym	Geltid
[-]	[nr]	[m]	[bar]	[bar]	[min]	Ratio [X:Y]	[min]	[-]	[-]	[Tid]	[Ja/Nej]	[Tid]	[l]	[min]
SS0048A02	30	18	35	100	25	5,0:1	20	0,7	4	2,45	Ja	3,55	58	27
SS0048A06	33	18	35	100	25	5,0:1	20	0,7	5	1,20	Ja	1,58	44	25
SS0048D02	42	18	35	100	25	5,0:1	20	0,7	3	1,33	Ja	2,20	40	25
SS0048B03	46	18	35	100	25	5,0:1	20	0,7	2	1,20	Ja	1,55	43	25
SS0048G05	49	18	35	100	25	5,0:1	20	0,7	1	1,35	Ja	3,40	86	26

Borrhålsdata		Protokollföres under injektering
Borrhål namn	Borrhåls nummer	Kommentarer (samband, läckage, stoppat på annat än tid alltid vid Nej)
[-]	[nr]	
SS0048A02	30	
SS0048A06	33	
SS0048D02	42	
SS0048B03	46	
SS0048G05	49	Samband med 21 och 20 där manschetter var installerade, de hålen var rensade och sedan vattenfyllda, när de öppnades efter injekteringen innehöll de silica solfärgat vatten.
"	"	

Blandning	Geltid	sol [kg]	salt [kg]
5,7:1	<b>63</b>	199,5	35
5,0:1	<b>39</b>	200	40
4,4:1	<b>21</b>	176	40

1 sats	Geltid	Kg sol	kg salt
<b>240 kg</b>	<b>63</b>	206	34
<b>193-196 l</b>	<b>39</b>	200	40
	<b>21</b>	192	48

Protokollförare: Daniel Lignell och Henrik Svensson



Brukstester under cementinjektering av skärm 1 - 5

Date [yymmdd-hh:mm]	Idcode [-]	Borehole number [-]	Fan [-]	Mudbalance			Marsh-cone		Yield stick			Comment [-]	
				Batch number [-]	Time epalsed [min]	Density [kg/m <sup>3</sup> ]	Time epalsed [min]	Flow time [s]	Time epalsed [min]	Test 1 [Pa]	Test 2 [Pa]		Test 3 [Pa]
20080122 07:40	SS0008D01	33	2	1	5	1325	5	39,5	5	10	9	9	
20080122 07:40	SS0008D01	33	2	1	60	1325	60	42,5	60	10	10	10	
20080122 07:40	SS0008D01	33	2	1+2	5	1340	5	40	5	12	13	12	
20080122 07:40	SS0008B16	39	2	1	0	1340	0	43	0	17	17	18	
20080122 07:40	SS0008B16	39	2	1	50	1340	52	44	54	19	19	20	
20080122 07:40	SS0008B17	41	2	1	0	1330	0	43	0	23	23	23	
20080122 07:40	SS0008B08	43	2	1	0	1330	0	40					Samma blandning som i hål 45 används vidare.
20080122 07:40	SS0008B04	45	2	1	8	1330	9	38	11	9	9	9	
20080122 07:40	SS0008B04	45	2	2	0	1330	0	48	0	10	10	10	
20080122 07:40	SS0008G01	47	2	1	0	1360	0	43	0	13	15	16	
20080122 07:40	SS0008G01	47	2	2+3	0	1340	0	38,3	0	12	11	12	Testen utfördes direkt efter att sats 3 var färdigblandad.
20080122 07:40	SS0008G05	49	2	1	5	1335	5	41	5	13	12	13	
20080122 07:40	SS0008G05	49	2	2	5	1334	5	43	5	10			
20080122 07:40	SS0008G05	49	2	4	5	1500			5	35	40		Recept som för fyllnadsbruk fast med UF 16, marsh-cone kan ej utföras på detta bruk eftersom det är för trögflytande.
20080122 07:40	SS0008G05	49	2	5	5	1500			5	40	50		Recept som för fyllnadsbruk fast med UF 16, marsh-cone kan ej utföras på detta bruk eftersom det är för trögflytande.
20080325 20:30	KI0014B01	1	3	1	5	1340	5	38	5	10	9	10	
20080325 20:30	SS0020F01	2	3	1	5	1335	5	36	5	10	10	10	
20080325 20:30	SS0020F02	3	3	1	5	1310	5	38,6	5	10	10	10	
20080325 20:30	SS0020F03	4	3	1	5	1330	5	37,1	5	10	10	10	Här användes satsen från hål nr. 3 plus en ny sats.
20080521 08:00	SS0032F01	1	4	1	5	1330	5	39	5	12	12	11	
20080521 08:00	SS0032F01	1	4	1+2	5	1330	5	41	5	13	12	11	Testen utfördes 5 minuter efter att sats 2 var färdig blandad.
20080521 08:00	SS0032F02	2	4	1+2	60	1320	60	41	60	13	13	11	Testen utfördes 60 minuter efter att sats 2 var färdig blandad.
20080521 08:00	SS0032F03	3	4	1+2+3	5	1330	5	42	5	12	12	11	Testen utfördes 5 minuter efter att sats 3 var färdig blandad. Ca 70 kg var kvar från injekteringen av hål 1 och 2.