

R-11-09

Efterinjekteringen av TASS-tunneln

Design, genomförande och resultat från efterinjektering

Johan Funehag
Chalmers tekniska högskola

November 2015

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 R-11-09

ID 1513954

November 2016

Efterinjekteringen av TASS-tunneln

Design, genomförande och resultat från efterinjektering

Johan Funehag

Chalmers tekniska högskola

Denna rapport har gjorts på uppdrag av Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB).
Slutsatser och framförda åsikter i rapporten är författarens egna. SKB kan dra andra
slutsatser, baserade på flera litteraturkällor och/eller expertsynpunkter.

En pdf-version av rapporten kan laddas ner från www.skb.se.

© 2016 Svensk Kärnbränslehantering AB

Förord

TASS-tunneln, en kortare tunnel med tvärsnitt ungefär som en deponeringstunnel, byggdes på 450 meters djup vid SKB:s Äspölaboratorium mellan åren 2007–2008. Huvudsyftet med tunneln var att visa att det är möjligt att uppnå den täthet i berget vid injektering som förutses krävas för att slutförvara använt kärnbränsle. Projektet kallades ”Fintättningsprojektet” och var en del av SKB:s utveckling av injekteringsteknik. Vid tätningen av TASS-tunneln användes det injekteringsmaterial som SKB varit med och utvecklat respektive undersökt för tätningen av slutförvaret, liksom den designmetodik som utvecklats under senare tid och för vilken SKB varit en av finansiärerna.

Författare till rapporten är Johan Funehag, Chalmers tekniska högskola, som varit delprojektledare för injektering. Projektledare för injekteringen var Martin Bergström, Tyréns, Göteborg, och entreprenör har varit Bergteamet.

Efterinjekteringen i TASS-tunneln gjordes systematisk på en avgränsad del i tunneln. Avsnittet har tidigare förinjekterats med borrhål innanför kontur. Denna rapport redovisar efterinjekteringen. Förinjekteringen är redovisad i sin helhet i Funehag och Emmelin (2011).

Stockholm 1 juni 2016

Jan Gugala, Projektledare

Sammanfattning

Den svenska anläggningen för slutförvaring av använt kärnbränsle planeras att förläggas på 400–500 meters djup i urberget. För att åstadkomma en tillräckligt tät bergmassa mot inläckande grundvatten planeras injektering. Höga krav kommer att ställas på den resulterande tätheten, och särskilda krav gäller för val av tätningsmaterial och för utförandet. Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB), har därför utfört en serie forsknings- och utvecklingsprojekt med fokus på bergkarakterisering för injektering, injekteringsmedel och injekteringsdesign. Den förståelse och de metoder som därmed utvecklats har tillämpats i fält i Fintättningsprojektet. Projektet utfördes i SKB:s berglaboratorium på Äspö där en ca 80 m lång tunnel, TASS-tunneln, byggdes på 450 meters djup.

Förinjektering av TASS-tunneln utfördes både med skärmar utanför tunnelkontur, dvs vanliga förinjekterings-skärmar med injekteringshålen borrhålen snett utåt och framåt från tunnelfronten, och med ”skärmar innanför tunnelkontur”. Med skärmar innanför kontur menas att borrhålen borrar parallellt med tunneln och hamnar helt innanför den blivande tunnelns periferi. Efter att tunneln var utsprängd och förinjekterad utfördes en efterinjekteringsinsats i en avgränsad tunnelsektion, där förinjekteringen i huvudsakligen hade gjorts med skärmar innanför tunnelkontur. Det arbete som redovisas i denna rapport är den efterinjektering som har utförts i Fintättningsprojektet och behandlar designen, utförandet av efterinjekteringen samt resultat och en del av efterföljande uppföljning.

Den använda designmetodiken för efterinjekteringen innehöll följande moment: beskrivning av hydrogeologiska och geologiska förhållanden före och efter berguttag; risk för uppspräckning av berget och eroderande injekteringsmedel; identifiering av dimensionerande hydrauliska sprickvidder som behöver tätas; val av injekteringsmedel baserat på hydraulisk sprickvidd och inträngningsförmåga; val av skärmgeometri, injekteringstryck och injekteringstid så att nödvändig inträngningslängd uppnås; samt kontroll av bergmassans ökande täthet med hydrauliska tester i kontrollhål. Med hänsyn till de höga hydrauliska gradienterna krävdes särskild uppmärksamhet på manschettplacering och utförandet.

Innan efterinjekteringsarbetena startades mättes inflödet till ca 0,8 l/min genom sektionens mätvall. Målet med efterinjekteringen var att nå under 0,6 l/min. Efterinjekteringen utfördes enligt design och när inläckagemålet uppnåtts avslutades arbetena. Regelbunden mätning av inflödet fortsatte efter avslutat arbete och ganska omgående kunde konstateras att inflödet ökade kontinuerligt med tiden. Rapporten avslutas med en diskussion kring troliga orsaker till detta.

Abstract

The Swedish repository facility for spent nuclear fuel will be placed in crystalline rock at a depth of 400–500 m. In order to limit groundwater inflow to the facility, grouting is planned. To comply with the stringent material, execution and inflow restrictions, a series of research and development projects concerned with rock characterization for grouting, grouting materials and grouting design have been carried out by the Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co (SKB). The understanding and methods developed were tested in the “Fine Sealing Project” carried out at Äspö Hard Rock Laboratory (Äspö HRL), Sweden, and presented in this report.

The project consisted of construction of a short tunnel at 450 m depth, the TASS-tunnel.

Grouting of the TASS-tunnel was conducted as pre-grouting using ordinary grouting fans outside the planned tunnel contour and with boreholes inside the tunnel profile. With boreholes inside the profile means that boreholes are drilled parallel to the tunnel direction and ends totally inside the coming periphery of the tunnel. After that the tunnel was excavated and pre-grouted a limited section of the tunnel was post-grouted. In this section pre-grouting with mainly boreholes inside the tunnel profile was used. The work presented in this report is dealing with the post-grouting done within the “Fine Sealing Project” and brings up the design, implementation and results of the post-grouting and as well part of the follow up.

The design methodology for post-grouting contains: description of the hydrogeological and geological conditions before and after excavation; risk for heave of the rock mass and erosion of grout; identification of minimum hydraulic aperture that needs to be sealed; choice of grouting agent based on hydraulic fracture aperture and penetrability; choice of fan layout, grouting pressure and grouting time so that required penetration length is acquired; and as well control of the rock mass increased “tightness” with use of hydraulic tests in control holes. With respect to the high hydraulic gradients it required special attention to where the packer is placed and the execution.

Before the post-grouting started, the flow in the measuring weir was around 0,8 l/min for the tunnel section. The target of inleakage was 0,6 l/min. The post-grouting was executed according to the design and when the targeted inleakage was reached, the work ended. Regular measurement of the inflows continued after the work was ended and quite soon after the inleakage rose steadily. The report ends with a discussion around probable cause of the increase in inleakage.

Innehåll

1	Inledning och avgränsningar	9
1.1	Mål och projektbeskrivning	11
1.1.1	Projektmål	11
1.1.2	Genomförande av efterinjekteringen, sammanfattning	11
2	Lägesbeskrivning inför efterinjekteringen	13
2.1	Designkriteriet	13
2.2	Förutsättningar och geohydrologisk beskrivning	13
2.2.1	Tunnelförutsättningar	13
2.2.2	Inflöden och grundvattentryck före utsprängning av tunnelsektion	13
2.2.3	Geologisk tunnelkartering	16
2.2.4	Uppmätta inflöden till tunneln före efterinjekteringen	18
2.2.5	Tätad zon	20
2.3	Särskild hänsyn till EDZ-sågning	21
3	Efterinjekteringsdesign	23
3.1	Designförutsättningar	24
3.1.1	Sammanfattning krav och åtgärder	25
3.2	Material och utrustning	26
3.2.1	Injekteringsmaterial	26
3.2.2	Utrustning	27
3.3	Utförandet	27
3.3.1	Injekteringslayout	27
3.3.2	Injekteringsteknik, silica sol och cement	29
3.3.3	Kontrollprogram	31
3.4	Sammanfattande design	32
4	Ettappbeskrivningar med resultat	33
4.1	Arbetsstapp 1 – sulan	33
4.1.1	Genomförande	33
4.1.2	Resultat – sulan	39
4.2	Arbetsstapp 1 – taket	42
4.2.1	Design o genomförande	42
4.2.2	Resultat – taket	45
4.3	Resultat från mätvallsflödena efter avslutad efterinjektering	48
5	Diskussion	51
5.1	Tätheten	51
5.2	Möjliga orsaker till ökat läckage	53
5.3	Övriga observationer	54
5.4	Vad borde göras bättre	54
6	Slutsats	57
6.1	Har målen uppnåtts?	57
6.2	Rekommendationer för fortsatt arbete	58
	Referenser	61
Bilaga A	Hydrotester, injektering och injektering av sulan	63
Bilaga B	Hydrotester, injektering och injektering av taket	83
Bilaga C	Sammanställning av injekteringen och viktiga händelser under injekteringen	101
Bilaga D	Utspädningsförsök på silica sol, en laborationsstudie	105

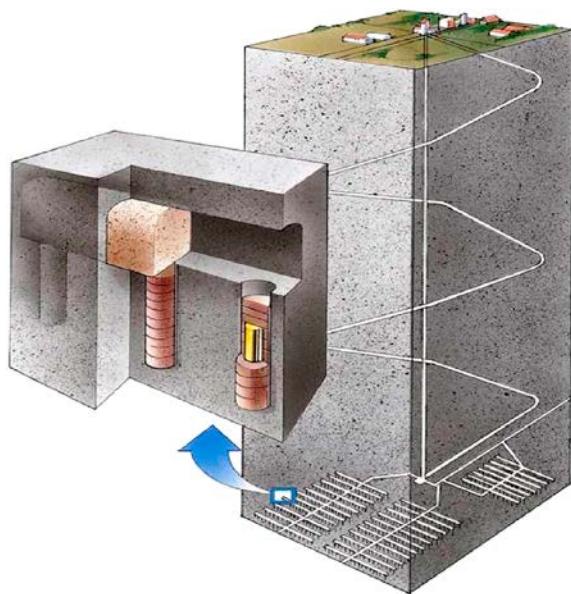
1 Inledning och avgränsningar

Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB), har ett betydande åtagande; att bygga ett säkert förvar för använt kärnbränsle. SKB har därför utvecklat det så kallade KBS-3-konceptet som innebär att det använda bränslet innesluts i täta kopparkapslar och deponeras i en kristallin bergmassa omgiven av en buffert av svällande bentonitlera på 400–700 m djup, se figur 1-1. Den undermarkanläggning som krävs för att placera kapslarna är omfattande och innehåller olika tunnlar och bergtrum. I de så kallade deponeringstunnlarna placeras slutligen kapseln i deponeringshål.

Kraven på ett begränsat inläckage av grundvatten till anläggningen kommer att vara höga och är betingade dels av den yttre miljön och behovet att inte påverka grundvattnets trycknivå, dels av den inre miljön och anläggningens funktion. För deponeringstunnlarna måste inläckaget begränsas med hänsyn till en effektiv installationsprocess; inläckaget måste vara så litet att bentoniten i buffert och återfyllning i deponeringstunnlarna kan svälla kontrollerat utan skadlig erosion på grund av inläckande grundvatten.

Med hänsyn till täthetskraven och de höga vattentrycken på förvaringsdjupet behövs för slutförvaringen teknik som kan tätas mycket fina sprickor. Ur beständighetssynpunkt är det fördelaktigt att använda injekteringsmedel med ett lågt pH-värde. Lågt pH-värde är önskvärt då bentoniten i buffert och återfyllning riskerar att få försämrade svällförmåga vid högt pH-värde. Vanligt cementbaserat injekteringsbruk penetrerar inte så fina sprickor som behöver kunna tätas och genererar dessutom ett lakvatten på pH 13–14. SKB har därför tidigare genomfört studier av silica sol, som är ett medel som klarar att tränga in i fina sprickor, har lågt pH-värde samtidigt som Posiva tillsammans med SKB har utvecklat ett cementbaserat bruk med lågt pH för större sprickor som behöver tätas. Dessa injekteringsmedel hade innan detta projekt inte provats i större skala på stort djup tidigare.

SKB initierade det så kallade Fintättningsprojektet för att under kontrollerade former och på stort djup pröva den designmetodik samt övrig kunskap och förståelse om metoder och material för injektering som resulterat i de senaste decenniernas teknikutveckling för injektering. Täthetsmål samt övriga mål och restriktioner som sattes upp för injekteringen i fintättningsprojektet kan direkt relateras till preliminära krav som avser slutförvarsanläggningens deponeringstunnlar. Det övergripande täthetsmålet för fintättningsprojektet var 1 l/min och 60 m tunnel.



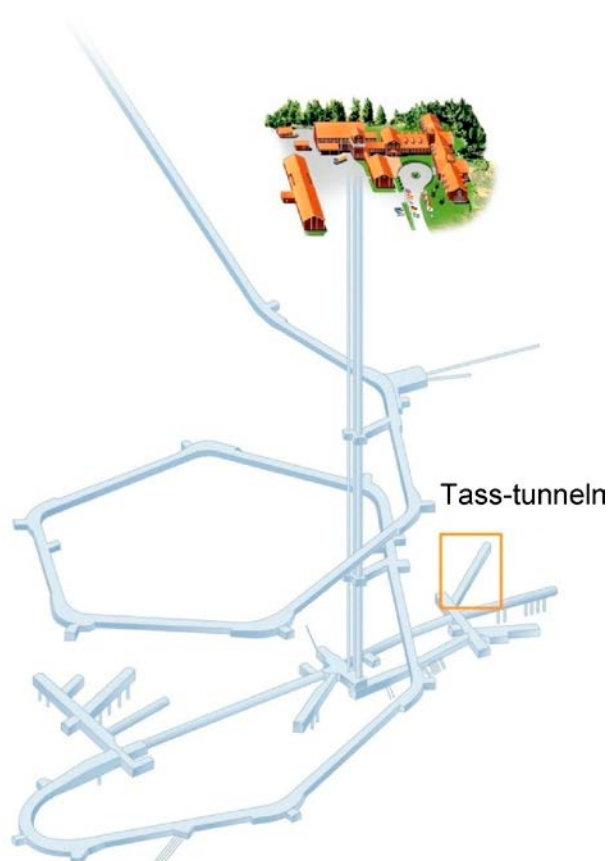
Figur 1-1. KBS-3-konceptet, vertikalt alternativ. Deponeringstunnlar byggs i en kristallin bergmassa och deponeringshål borrar i tunnarnas botten. Det använda bränslet kapslas in i täta lastupptagande kapslar som deponeras i deponeringshålen och omges av en buffert av svällande bentonitlera. Bufferten förhindrar grundvattenflöde och skyddar kapslarna. Deponeringstunnlarna återfylls.

I fintättningsprojektet byggdes en knappt 80 m lång tunnel på 450 m djup i SKB:s berglaboratorium i Äspö, se figur 1-2. Tunneln gavs namnet TASS.

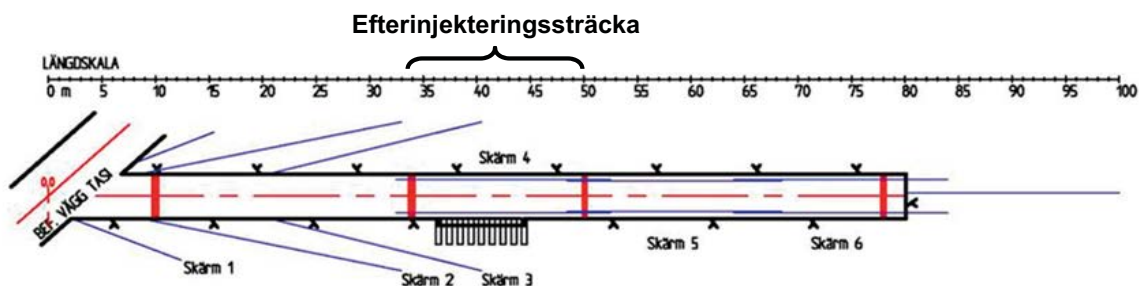
TASS-tunneln har drivits med förinjektering, borrhning och sprängning från oktober 2007 till december 2008. I figur 1-3 visas den färdiga tunneln med lägen för mätvallar och förinjekteringskärrmar.

Inläckaget till avsnittet 10–34 m liksom inläckaget till avsnittet 50–81 m uppfyllde respektive täthetsmål, räknat som en proportionell andel av det tillåtna inflödet 1 liter per 60 m och minut. För avsnittet 34–50 m hade inte täthetsmålet uppnåtts. Ett av delmålen för Fintättningsprojektet var att prova efterinjektering och föranledde efterinjektering i det aktuella avsnittet.

Det arbete som redovisas i denna rapport är den efterinjektering som har utförts i TASS-tunneln och behandlar design och utförande av efterinjekteringen samt resultat och uppföljning.



Figur 1-2. TASS-tunneln är belägen på 450 m nivån i SKB:s Äspöanläggning.



Figur 1-3. Planskiss över TASS-tunneln med lägen för mätvallar (röda linjer) och förinjekteringskärrmar (blå linjer) markerade samt EDZ uttag (sektion 36–44 m). Längdmätningen utgår från TASI-tunneln och påslaget är vid 4,47 m.

1.1 Mål och projektbeskrivning

1.1.1 Projekt mål

Fintättningsprojektet var ett utvecklingsprojekt och som grundförutsättning gällde att i princip alla data och observationer skulle dokumenteras.

De två övergripande målen för hela fintättningsprojektet var att:

1. Få bekräftelse på att silica sol är användbart vid det vattentryck som är aktuellt för deponerings-tunnlar vid slutförvaring.
2. Få bekräftelse på att det på slutförvaringsdjup är möjligt att uppnå en täthet motsvarande ett maximalt inläckage på 1 l/min och 60 m tunnel med lämpligt injekteringsmedel.

Målen för efterinjekteringen var:

- Visa att efterinjekteringen ger ökad täthet.
- Visa att dropp kan tätas bort med efterinjektering.

Ytterligare mål som gällde generellt, inklusive efterinjekteringen, var att:

- Identifiera de särskilda krav på genomförande och utrustning som krävs för att silica sol ska vara användbart.
- Erhålla erfarenheter om genomförande och handhavande, som krävs för ett kontrollerat och effektivt utförande.

För ytterligare allmän beskrivning av projektet och organisationen hänvisas till Funchag och Emmelin (2011).

1.1.2 Genomförande av efterinjekteringen, sammanfattning

Efterinjekteringen planerades och utfördes efter tunneldrivning, i tabell 1-1 ges en översikt av aktiviteten efterinjektering.

Tabell 1-1. Kronologisk ordning över aktiviteter vid genomförandet av efterinjektering.

Datum	Aktivitet
	<i>Förberedelse, steg 1</i>
Sommaren 08	Mätning av flöden i sulan, 10–48 m
Oktober 08	Mätvall vid sektion 50 m klar och inflödesmätning av aktuellt avsnitt påbörjat
Januari 09	Beslut om efterinjektering, avsnitt 34–50 m
Februari 09	Droppkaraktärisering, avsnitt 32–52 m
Mars 09	PM injektering Etapp 5, steg 2 – efterinjekteringsskärmar, version 1.0.
	<i>Utförande, steg 1</i>
Mars–April 09	Borring och injektering, 4 skärmar i sula respektive tak samt 6 kontrollskärmar
	<i>Förberedelse och utförande, steg 2</i>
Maj 09	Kompletterande PM injektering Etapp 5, steg 2 – efterinjekteringsskärmar, version 2.0.
Maj 09	Borring och injektering, 2 kompletterande taks-skärmar
	<i>Förberedelse och utförande, steg 3</i>
Maj 09	Kompletterande PM injektering Etapp 5, steg 2 – efterinjekteringsskärmar, version 3.0.
Juni 09	Borring och injektering, åtgärder punktläckage genom kompletterande borrhål och tätning i läckande hål
	<i>Uppföljning*</i>
Juni 09–April 10	Kontourliga mätningar i mätvallar samt dropp och inläckagemätningar i tunneln

* Denna rapport redovisar mätningar i mätvallar fram till april, 2010.

2 Lägesbeskrivning inför efterinjekteringen

2.1 Designkriteriet

Mätvallsflödet inom aktuellt avsnitt (34–50 m) var inför designen ca 0,8 l/min. Målet med efterinjekteringen var att sänka inläckaget i tunnelavsnittet till 0,6 l/min över avsnittet. Täthetsmålet var satt så att målet för inläckage till hela tunneln (1 l/min och 60 m tunnel) uppnås.

I Funehag och Emmelin (2011) beskrivs ett iterativt arbetssätt inför designen. I princip gäller detta arbetssätt även vid en efterinjektering. I detta fall begränsas möjligheten att arbeta på detta sätt på grund av den begränsade efterinjekteringsinsatsen som motsvarade en arbetsetapp.

2.2 Förutsättningar och geohydrologisk beskrivning

I de följande avsnitten beskrivs förutsättningarna inför designen av efterinjekteringen.

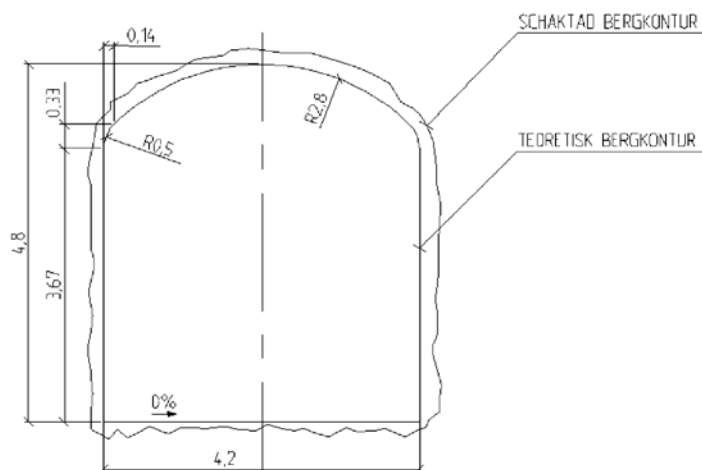
2.2.1 Tunneförutsättningar

Den teoretiska tvärsnittsarean är ca 19 m² och dess sektion visas i figur 2-1.

Förinjekteringsskärm nr 3 med borrhål utanför tunnelkontur sträckte sig in i aktuell efterinjekteringssektion. Förinjekteringsskärm nr 4 med borrhål innanför kontur borrades från sektion 32 m vilket ger överlapp mellan skärm 3 och 4 på 8 m. Det efterinjekterade området täcks i huvudsak av förinjekteringsskärm 4, sektion 32–52 m (borrhål innanför kontur). I slutet av sektionen överlappas skärm 4 och 5 med ca 2 m. Det kortare överlapp för skärmar innanför kontur beror på att borrhålen direkt överlappar varandra jämfört med borrhål som borras i en ”trumpet” form (ett stick). I den aktuella sektionen och före efterinjekteringen har ett annat projekt genomförts, det så kallade EDZ (Excavation Damaged Zone), som syftar till att undersöka sprickutbredningen efter sprängning (Olsson et al. 2009). I högvägg sektion 36–44 m gjordes EDZ-uttaget. EDZ-uttaget är ca 1,5 m högt och 0,5 m djupt. Förinjekteringsskärmarna och EDZ-uttag visas i figur 1-3.

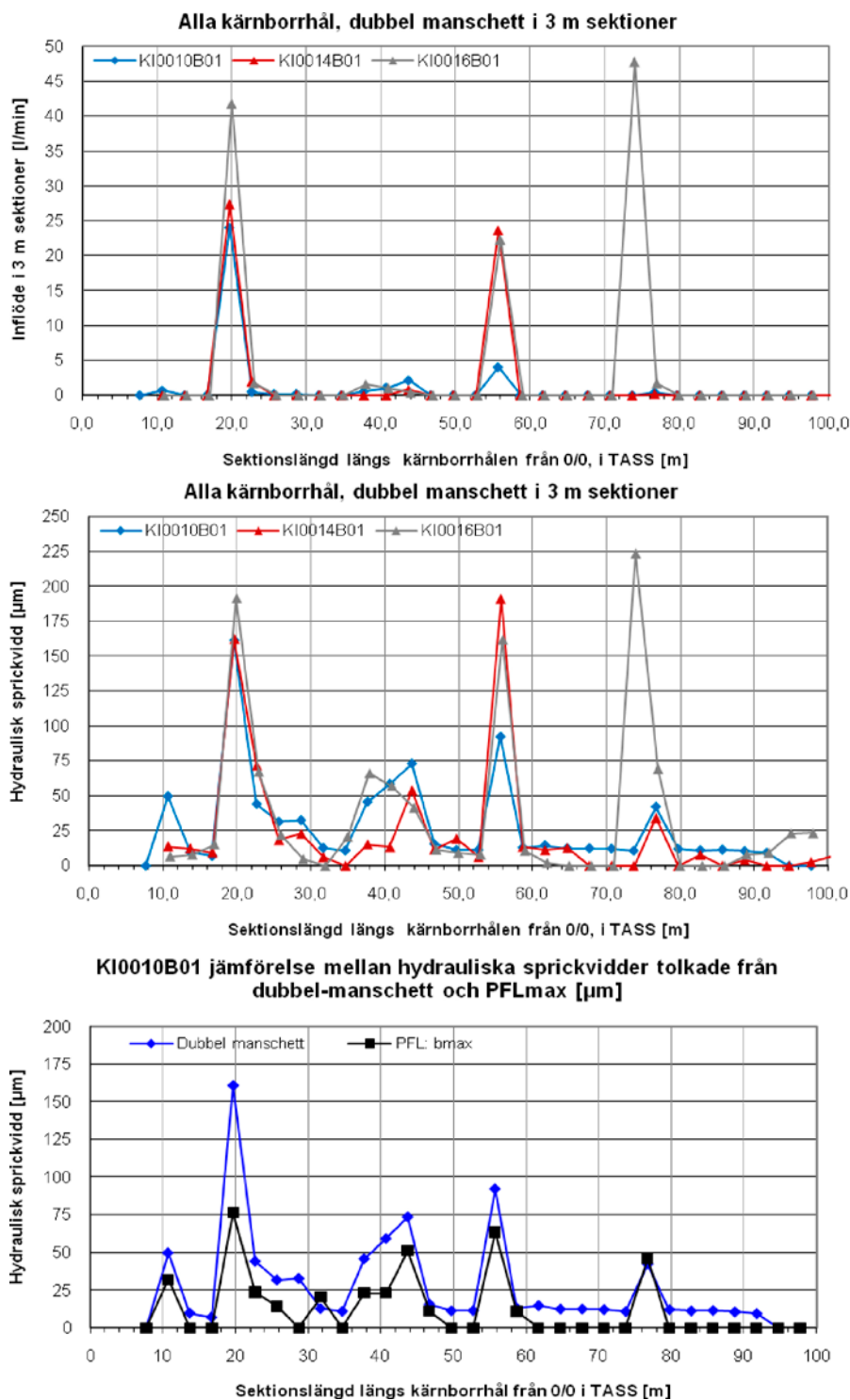
2.2.2 Inflöden och grundvattentryck före utsprängning av tunnelsektion

Inflödena innan tunneldrivning gjorts mättes i kärnborrhål, som borrades längs och parallellt med tänkt tunnel. Det största inflödet i kärnborrhålen innan tunneldrivningen var ca 4–5 l/min i den aktuella sektionen. PFL-mätningar (Posiva Flow Log) i kärnborrhålen visade dock en ökning av flödet vid sektion ca 40 m. Grundvattentrycket innan förinjektering för sektion 30–50 m var ca 3,5 MPa utvärderad från kärnborrhålen innan tunneldrivning. Det är också detta tryck som är utgångspunkt i designen.



Figur 2-1. Tvärsnitt av TASS-tunneln.

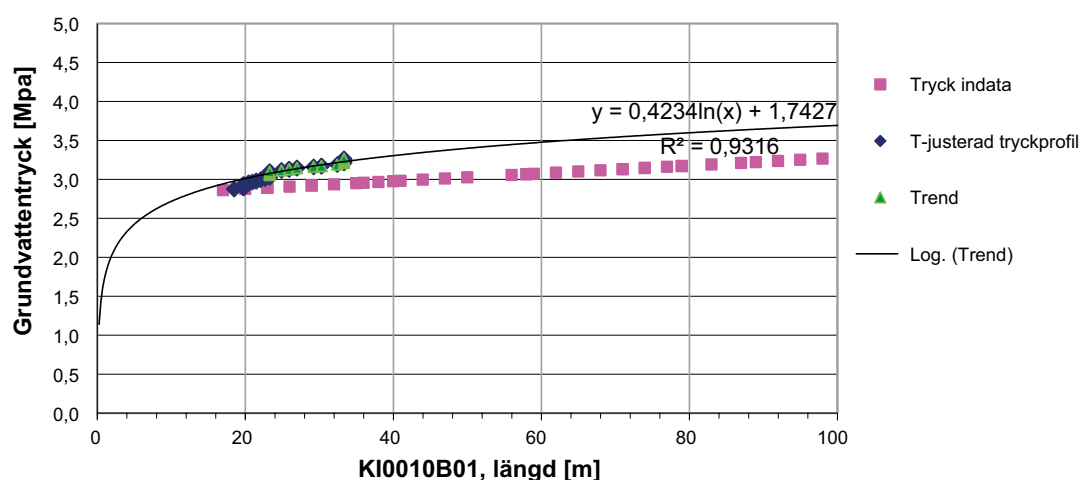
I figur 2-2 visas inflöden mätt i 3 m sektioner mätt med den dubbel manschett och motsvarande hydraulisk sprickvidd samt hydraulisk sprickvidd utvärderad från mätningar med PFL. PFL-mätningen mäter flödet i en kort sektion, 0,1 meter medan dubbelmanschettmätningen mäter total flödet över en 3 m sektion. Med en kortare sektionslängd går det totala flödet i den mätta sektionen till ett maximalt flöde för sektionen. I detta test sattes därmed det största flödet också till det maximala flödet för 0,1 meters sektionen.



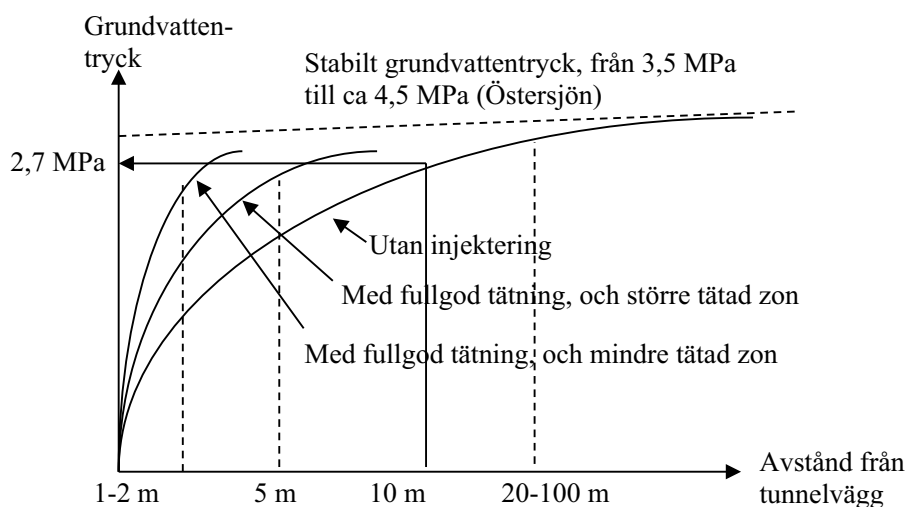
Figur 2-2. Övre två diagrammen: Inflöden mätt i tre meters sektioner med dubbelmanschett och motsvarande hydrauliska sprickvidder. Undre diagrammet (KI0010B0): Jämförelse mellan hydraulisk sprickvidd utvärderad från flödet med dubbelmanschett (3-m sektion) och med och PFL-mätning (0,1 m sektion). Längdangivelsen är från sektion 0/0 till den längst in belägna manschetten.

I förundersökningen togs en tryckprofil fram för TASS-tunneln baserat på inflödena och trycken mätta i kärnbråhåll KI0010B01. Trycken i enskilda sprickor skilde sig från de sektionvisa tryck som mättes under borrning då bråhålet borras allt längre och sektionen som mäts också blir längre. I en trycksatt sektion kunde vattnet rinna in i en spricka i sektionen för att sedan leta sig ut genom en spricka med ett lägre tryck. Vid mätning av trycket i bråhålet eller sektionen domineras detta av det största vattenflödet och således den största sprickan. Detta gör att de uppmätta trycken inte helt överensstämmer med de naturliga trycken i berget. Till de mätta trycken beräknas nya tryck i förhållande till sektioninflödet och till dessa nya tryck har en trendlinje anpassats vilket ger hela tryckprofilen från tunneln (figur 2-3). Som framgår stiger trycket snabbt redan de första metrarna för att sedan successivt plana ut. Trycket når inte stationära tillstånd ens på 100 m från tunneln. Observera att detta är för en icke tätad tunnel.

I och med att tätning skett genom förinjekteringen har trycken förändrats runt tunneln; enkelt uttryckt, flyttat de höga trycken närmare tunneln. Nedanstående principiella figur visar på hur trycket kan förändras i och med förinjekteringen (figur 2-4).



Figur 2-3. Utvärderad tryckprofil längs KI0010B01. Indata är en linjär interpolation från mätvärdena. Utvärderad tryckprofil är en logaritmisk extrapolation. Rosa punkter är mätta helhållstryck vid den successiva allt längre borrningen, blå punkter är justerade tryck från dubbelmanschettmätningarna, gröna punkter är utvalda punkter för trendlinje, heldragen linje är extrapolerad logaritmisk tryckkurva. Från Funehag och Emmelin (2011).



Figur 2-4. Principiell figur över tänkt tryckförändring till följd av en injektering.

Används ett tryckvärde från (figur 2-3); den extrapolerade linjen; vid 10 m från tunnelvägg är trycket 2,7 MPa. Från figur 2-4 ses att beroende på hur lyckad tätningen blir erhålls olika tryckprofiler. De angivna avstånden är enbart antagna för att åskådliggöra tryckförändringen beroende på hur stor den tätade zonen är. Detta kan jämföras med förinjekteringsskärmar utanför tunnelkontur ("större gradient") och innanför tunnelkontur ("mindre gradient"). Självfallet finns en gradient även om inte tunneln tätas alls och påverkansområdet blir större. Det kan tolkas som en tät zon väldigt nära tunneln som ger en stor gradient i denna närliggande zon. Vidare ses också att gradienten sjunker allt eftersom avståndet från tunneln växer.

I Funehag och Emmelin (2011) kan gradienten approximativt beräknas i den injekterade zonen vid tunnelvägg enligt nedan,

$$-\frac{dh}{dr} \approx \frac{H}{r_i} \dots \quad \text{ekvation 2-1}$$

samt bakom och utanför den injekterade zonen enligt

$$-\frac{dh}{dr} \approx \frac{H}{r_i + t} \cdot \frac{K_i}{K_0} \dots \quad \text{ekvation 2-2}$$

där H är vattenpelarens höjd [m], r_i är tunnelradien [m], K_i/K_0 är en täthetsfaktor och t är tjockleken på den injekterade zonen.

I en oinjekterad tunnel precis vid vägg kan gradienten beräknas enligt

$$-\frac{dh}{dr} \approx \frac{H}{8r_i} \dots \quad \text{ekvation 2-3}$$

För att ge ett spann vad gradienten kan förväntas bli så används följande värden: Grundvattenstryck, $H = 320$ m, tunnelradie, $r_i = 2,5$ m. Den injekterade zonen varierar mellan 0 till 5 m och täthetsfaktor är baserad på vad förinjekteringen av skärm nr 4 åstadkommit, alltså en täthetsfaktor på 367. Resultaten visas i tabell 2-1.

Tabell 2-1. Teoretiskt beräknade gradienter i och utanför den tätade zonen.

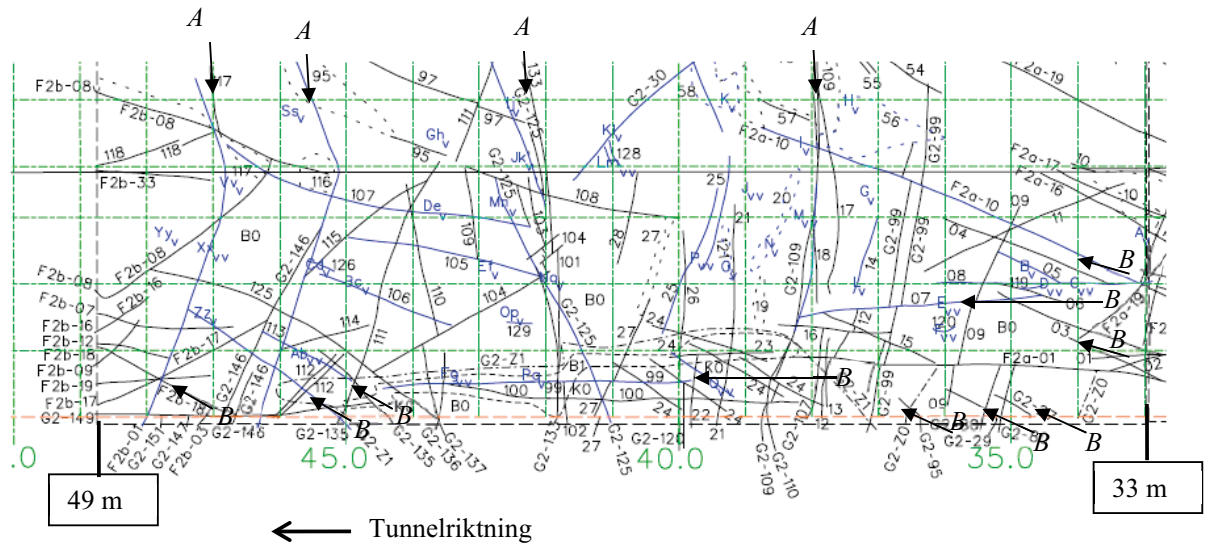
	Ekvation	Tjocklek på tätad zon, t [m]	Gradienten [m/m]
I den injekterade zonen precis vid vägg	2-1	–	128
Utanför injekterad zon	2-2	0; 0,6 och 5	0,35; 0,28; 0,12
Oinjekterad tunnel vid vägg	2-3	–	16

Värdena på gradienterna i tabell 2-1 visar på storleksordningen och den visar att en injektering vid tunnelvägg, det vill säga ytligt placerad manschett, ger höga gradienter med stor risk för erosion. Utanför injekterade zonen blir gradienten avsevärt mindre.

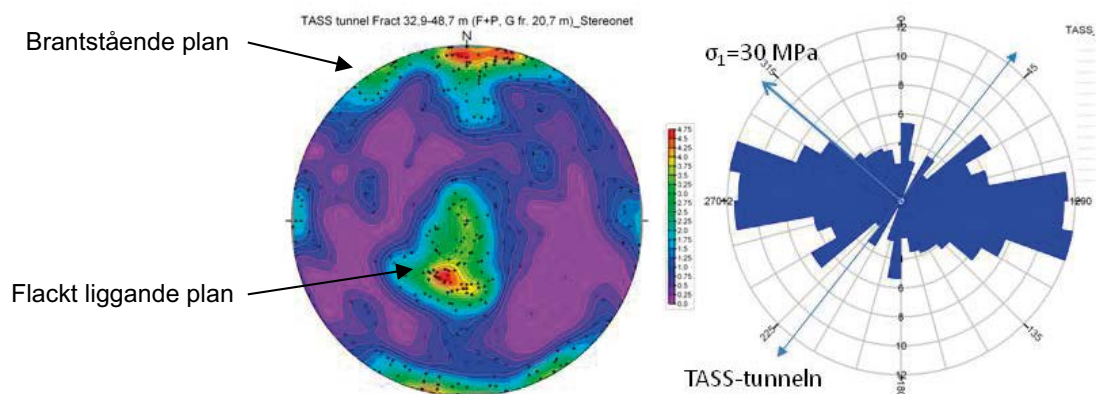
2.2.3 Geologisk tunnelkartering

I nedanstående utdrag ur tunnelkarteringen, sektion 34–50 m, visas vänster vägg samt nästan två meter av taket (figur 2-5). Vi ser att det finns flera flacka sprickplan, (en stupning på ca 30°), tydliga strukturer med brant stupning samt någon nästan horisontell struktur. I figuren är dessa markerade med pilar. Hela tunnelkarteringen hänvisas till Hardenby och Sigurdsson (2010).

Från figuren ovan syns att de flacka planen har en större frekvens i början av sträckningen (sektion 35 m i högra delen av figuren). Sedan glesas de ut för att i slutet bli mer frekventa igen. Minst fyra brantstående strukturer finns karterade där åtminstone en observerades i kärnborrhålen i förundersökningen. Den horisontella strukturen har även observerats i väggen vid EDZ-sågningen. Figur 2-6 visa ett stereonät och sprickros över de karterade sprickorna för denna del av tunneln (sektion 34–49).



Figur 2-5. Del av tunnelkarteringen för sektion, 34–50 m med minst 4 huvudsakliga karterade sprickplan. De mest signifikanta är de brantstående (A) och de mer eller mindre horisontella plan (B) som markeras med ritade pilar i figuren.



Figur 2-6. Stereonät och sprickros över 391 karterade sprickor i TASS-tunneln, sektion 34–49 m. Drivningsriktningen på tunneln är sydvästlig. Vinkelrätt mot tunneln ligger den största huvudspänningen, σ_1 , strykning ca 310 grader (Åspö-96). Modifierad efter Hardenby och Sigurdsson (2010).

Totalt har 391 sprickor karterats i TASS-tunneln. Karterade sprickor i denna sektion av tunneln domineras mer av de öst–västliga systemen. Stereonätet visar att det finns ganska många flacka plan. Från figur 2-6 syns tydligt hur de horisontella planen uppträder i stereonetet. Det är dock svårt att urskilja de horisontella planen strykning baserat på dessa underlag. Sprickor karterade från kärnbrorhålen i förundersökningen visade en klar dominans av nordväst–sydostliga systemet samt inga horisontella plan vilket ligger i metodens natur. Dock har två olika karteringssystem använts, kärnkartering i förundersökningen och sprickor karterade från tunneln i den uppdaterade prognos över spricksystemet. Detta antyder att för en efterinjektering, där mer information kan hämtas från geologisk kartering av utsprängd tunnel, bör jämföras med tidigare prognos.

Sammanfattningsvis från tunnelkarteringen kan sägas att området som var aktuellt för efterinjekteringen har mer flacka plan än vad karteringen från förundersökningen visar samt huvudsprickriktningen har vridits till att vara mer öst–västlig. Efterinjekteringen måste täta både de flacka planen och de brantstående strukturerna, som kan leda vatten till de flacka.

2.2.4 Uppmätta inflöden till tunneln före efterinjekteringen

För att få ett bra utgångsläge för att påvisa efterinjekteringsens effekt utfördes omfattande flödesmätningar i både sula och vägg samt droppkartering i tak. Det totala inflödet har liksom tidigare mätts i mätvallar. Nedan redovisas resultatet av dessa mätningar.

Mätvallsflöden

Tre permanenta mätvallar har byggts. Mätvall 1 för inläckagemätning av sektion 10–34 m, mätvall 2 för sektion 34–50 m och mätvall 3 för sektion 50–81 m. Inför designen av efterinjekteringen har inläckaget mätts under en längre period och flödena bedömdes som stabila, se tabell 2-2.

Tabell 2-2. Mätvallsflöden från de 3 mätvallar, före efterinjekteringen.

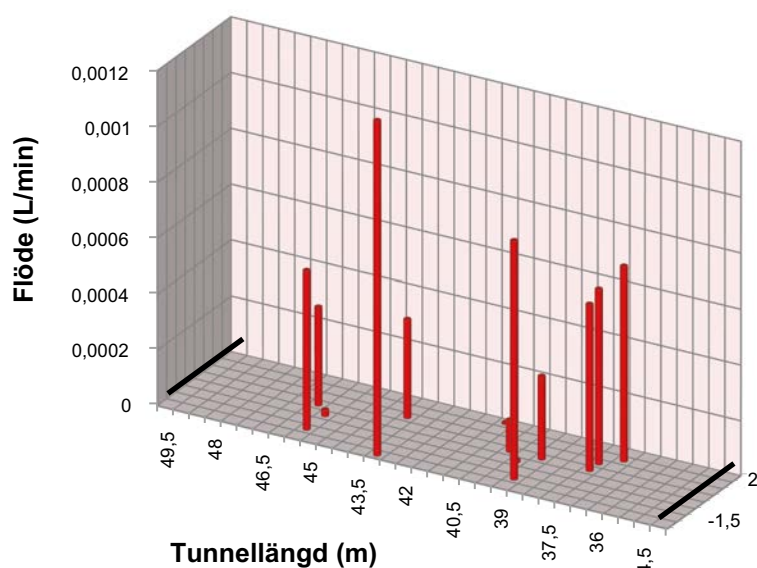
	Skärmtyp i förinjekteringen	Flöde [l/min]	Krav (1 l/min/60 m) proportionerat till sektion
Sektion 10–34	Utanför kontur, skärm 2 och 3	0,3	0,4
Sektion 34–50	Innanför kontur, skärm 4	0,8	0,3
Sektion 50–80,7	Innanför kontur, skärm 5 och 6	0,4	0,5
Summa		1,5	1,2

Takdropp

Droppkaraktäriseringen av sektionen 33–50 utfördes i oktober, 2008. Vid detta läge låg stoffen på 64 m. Resultaten från droppkarteringen av sektion 33–50 m visas nedan (figur 2-7 och tabell 2-3).

Från figuren ses att flödena till både mängd och storlek varierar inom sektionen, fast samtliga hamnar inom kategorin ”kontinuerligt flödande”. Det totala flödet från takdropp för sektionen 33–55 var $5,7 \times 10^{-3}$ l/min.

I tabell 2-3 visas antalet droppställen per kategori samt motsvarande summaflöde från oktober, 2008. Det fanns 11 ställen, kategoriserat som grupp D3 med kontinuerligt droppflöde, där flödet bestäms med mätglas och tidtagarur. De övriga grupperna var D1; torrt till fuktigt, D2; fukt med sporadiskt dropp samt D4; flöde. I de torra till fuktiga områdena har en metod baserat på blöjor använts. Vikten av blöjan efter att den varit uppsatt en viss tid på ett fuktigt område mättes. Skillnaden i vikt före respektive efter under en viss tid resulterade i flödesresultatet.



Figur 2-7. Dropplägen med tillhörande flöde från taket i TASS-tunneln, sektion 33–50 m. Karakteriseringen är utförd oktober, 2008 när stoffen låg på 64 m.

Tabell 2-3. Resultat från droppkaraktiseringen för sektion 33–50 m, oktober, 2008.

Grupp	Gruppindelning, intryck i fält	Antal droppställen [droppar/min]	Flöde [l/min]
D1	Fukt	–	$1,5 \times 10^{-4}$
D2	Fukt med sporadiskt dropp	–	$4,3 \times 10^{-3}$
D3	Kontinuerligt droppflöde	11	$1,2 \times 10^{-3}$
D4	Flöde	–	0
Totalt			$5,7 \times 10^{-3}$

Väggflöden

Ett antal sneda spår, ca 0,5–3 m långa sågades i vänster och höger vägg i sektion 34–50 m. Med dessa mättes väggflöden samt flöden som inte fångas upp vid droppkaraktiseringen vid anfang (tabell 2-4). Läget på droppen var svårare att bestämma med denna metod och flödena representerade ett totalflöde från aktuell sektion av vägg och anfang motsvarande den horisontella längden på spåret. Under den geologiska karteringen av tunneln har försök gjorts att bedöma vilken spricka som är vattenförande. Placeringen av spårerna baseras dels på denna bedömning och dels på en kartering av fukt på väggarna där en bedömning gjorts om det är möjligt att samla vattnet.

Tabell 2-4. Flödesmätningar i spår sågade på vänster och höger vägg för sektion 33–50 m. Observera att flöde i spårerna mätts i ml/min. Mätperiod från januari till februari, 2009. Borrhål borrhålen i höger vägg för EDZ-uttaget kallas KS00XXB01 och XX är ett nummer beroende på sektion borrhålet är borrhålet i. Totalflödet anges som ett summaflöde för hela sektionen 33–50 m.

		Mätsektion		Andra borrhål	Flödesmätningar [ml/min]			
	Mätpunkt	Från [m]	Till [m]		090127 16:00	090130 11:30	090208 19:30	090216 07:30
Högervägg	35,1	33,5	36,4		10	9	11	11
	36,5	36,3	37	KS0036B01	11	10	10	10,5
	37,5	37	38	KS0037B01	0	0	0	0
	38,5	38	39	KS0038B01	10	12	8	7
	39,5	39	40	KS0039B01	60	49	60	60
	40,3	40,1	41,3		26	21	21	18
	40,5	40	41	KS0040B01	0,21	12	12	10
	41,5	41	42	KS0041B01	22	22	22	23
	42,5	42	43	KS0042B01	0	0	5	4,5
	43,5	43	44	KS0043B01	0	0	0	0
	44,5	44	45	KS0044B01	2,17	2	2	2
47,2	46,2	47,2		0	0	0	0	
Vänstervägg	34,7	34,5	34,9		0,42	0	0	0
	42,5	42,3	42,7		1,47	3	2	2,5
	43,6	43	44		66	65	64	70
	47,1	45,5	47,6		28	27	28	31
	49,2	48	50		1,33	1,8	0	0
		Summaflöde	[ml/min]:	240	230	245	250	

Som tabellen visar så var flödet från väggarna den 16 februari, 2009, för sektion 33–50 ca 250 ml/min. Det fanns ytterligare ett punktflöde utanför aktuell sektion (53,7 m) som hade ett flöde på ca 240 ml/min. Väggflödena stod för ca hälften av totalflödet mätt i mätvallen varav borrhålen för EDZ-uttaget stod för 120 ml/min.

Sulflöden

Flöden i sulan, från sektion 10–48 m, mättes under sommaren 2008. Resultaten framgår av tabell 2-5 och visar att flödena i sulan är stora relativt vägg- och takflödena. Mätningarna fokuserades mest på sektion 10–32 m, men hela sektionen fram till dåvarande stuf som låg på ca 48 m karakteriserades. För mätning av flödet i en vattenpöl användes tidtagarur och diverse uppsamlingskärl och uppsugande trasor på följande sätt: 1. En vattenpöl hittades och bestämdes till läge. 2. Pölen tömdes helt på vatten. 3. Tidtagningen startade när pölen var tömd. 4. Vatten fick rinna till pölen tills det fanns en ansevärd mängd vatten, några liter eller mera. 5. Vattenmängden mättes upp genom att samla upp vattnet i hinkar eller direkt i mätkärl. 6. När pölen var tömd stoppades klockan och flödet kunde räknas ut.

Denna kvantifiering av flödet är behäftad med felkällor. För golvet är det inte säkert att samma volym töms när mätningen startar som när volymen samlas upp. Flödena har dock varit små, under ca 0,2 l/min vilket resulterar i att felet inte torde bli så stort. Att flödet från väggarna kan rinna ner i pölen och bidra till ökat flöde har större betydelse. När detta noterats har flödet från väggarna begränsats med uppsugningsdukar o.dyl. Takdroppen kan också ha påverkat det mätta resultatet då droppen kan rinna längs väggarna och sedan till golvet. Enligt mätningar i taket är takdroppen mycket små men mätning görs enbart från övre anfang till övre anfang.

Tabell 2-5. Flöden mätt i sulan, sektion 33–48 m. Positionen anger var flödet är mätt i sulan, ett negativt värde anger hur många meter till vänster från centrumlinjen, och ett positivt värde anger meter till höger sett i tunnelriktningen.

Secup [m]	Seclow [m]	Position	Tid [min]	Volym [l]	Typ av område	Störningar*	Flöde [l/min]
47	48,2	Höger sida	40	11	Blankslag	Ingen	0,28
43	46	Höger sida	40	8,8	Skivigt	Diffust (1)	0,22
47	48,2	-2	31	1,3	Blankslag	Ingen	0,04
44,4	46	-1,5	33	0,7	Slagigt	Ingen	0,02
43,9	44,2	-1,5	31	0,4	V-slag	Diffust (3)	0,01
39	42	1,5	33	2,8	Blankslag	Diffust (2)	0,08
38	42,4	Vänster sida	26	6,7	Slagigt	Diffust (3)	0,26
36	38	Snett lag	47	2,7	Slag	Diffust (2)	0,06
36	37	2	52	2,0	Slag	Diffust (1)	0,04
35	35,7	1	54	1,8	Grop	Diffust (1)	0,03
						Summa	1,05

* Störningar från vägg är rankade på en skala från 1–5 där 1 är någon droppe och 5 är ett långsamt flöde. Störningarna från vägg ses som ett tillkommande flöde till sulans.

Totala flödet från sulan för den aktuella sektionen var i juli 2008, cirka 1 l/min. Efter denna inmätning har injekteringar och utsprängningar gemonförts vilket medför att flödet inför efterinjekteringen kan ha ändrats. Läget på flödena kan vara desamma men storleken har sannolikt förändrats.

2.2.5 Tätad zon

Storleken på tätad zon vid förinjekteringen motsvarar den del runt tunneln där inträngningslängden var dimensionerad efter den dimensionerande sprickvidden. I verkligheten följer den tätade zonen de sprickor man lyckats täta, i de större sprickorna har injekteringsmedlet trängt in långt och i de mindre en kortare sträcka.

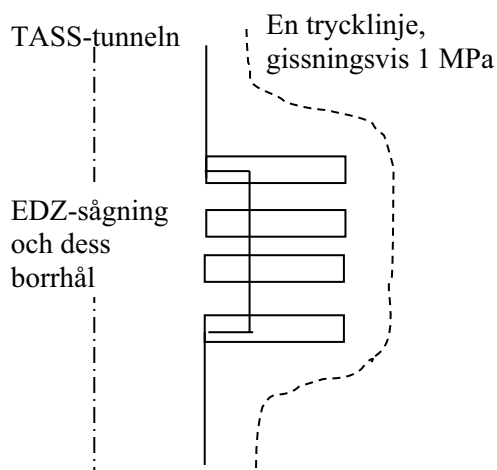
I sektionen 34 till 50 m injekterades förinjekteringskärm 3 och 4. I skärm 3 var injekteringshålens botten till tunnelkontur, dvs sticket, ca 5 m. Med överlapp från föregående skärm och dimensionerande inträngning på 1,5 m antas en tätad zon på ca 5 m erhållas. I skärm nr 4 med borrhål innanför kontur var inträngningslängden i den dimensionerande sprickan 1,2 m (övertryck, 3 MPa, Geltid, 39 min och injekteringstid, 31 min). Ansättningen av injekteringsborrhålen var 60 cm från teoretisk tunnelkontur vilket resulterade i att den tätade zonen utanför tunneln enbart var ca 0,6 m. Denna zon klarade inte inläckagekravet.

2.3 Särskild hänsyn till EDZ-sågning

I metoden för att ta ut bergblocken borrades kärnbrorhåll, 2,5 m långa och 250 mm i diameter varje meter i underkant och överkant i blocken. Totalt var det 18 stycken stora borrhål i denna högvägg från sektion 36 till 45 m. I väggflödeskarteringen ingick också flödesmätning av dessa hål. Före efterinjektering rann det ca 0,2 l/min ur dessa borrhål och efter injekteringen av sektionen under flödesuppföljningen i tabell 2-4 visar på ett sänkt flöde till 0,12 l/min.

Den tätade zonen beräknades sträcka sig 0,6 m utanför teoretisk tunnelkontur för den dimensionerande sprickvidden. De långa och stora kärnbrorhålen når utanför den dimensionerande tätade zonen. Efterinjekteringshålen placerades på bästa möjliga sätt att även inkorporera EDZ-hålen innanför den tätade zonen fast utan att påverka uttaget negativt. I figur 2-8 visas en schematisk planvy över EDZ-sågningen samt principiellt hur trycklinjen kan ha förändrats på grund av EDZ-sågningen.

EDZ-uttaget påverkade efterinjekterings design, både för den geometriska anpassningen av skärmarna för att inte borra i den sågade väggen samt för att inte träffa de långa borrhålen med efterinjekteringshålen. Vidare påverkade den förändrade trycksituationen runt uttaget efterinjekteringsutförandet.



Figur 2-8. Skiss över EDZ och högra tunnelväggen i TASS-tunneln och hur trycket kan påverkas av EDZ-sågningen.

3 Efterinjekteringsdesign

Vid designen för efterinjekteringen skulle följande frågor besvaras:

- Hur säkerställs att inte hydraulisk uppspräckning eller jacking sker?
- Hur säkerställs att injekteringsmedlet tränger in utan att eroderas; erosion, gradient, och acceptabel gradient?
- Hur säkerställs man att injekteringsmedlet stannar kvar; undvika fingering?
- Hur säkerställs man en tillräcklig inträngning och spridning av injekteringsmedlet; dimensionerande sprickvidd, kontroll av inträngningslängden med hänsyn till gradienten?

Frågorna var egentligen de samma som för all injektering, men vissa frågor blir viktigare i en efterinjektering. Framför allt hur det säkerställs att injekteringsmedlet stannar kvar i sprickorna. Det som måste tas till beaktande för att få svar på frågorna innefattar:

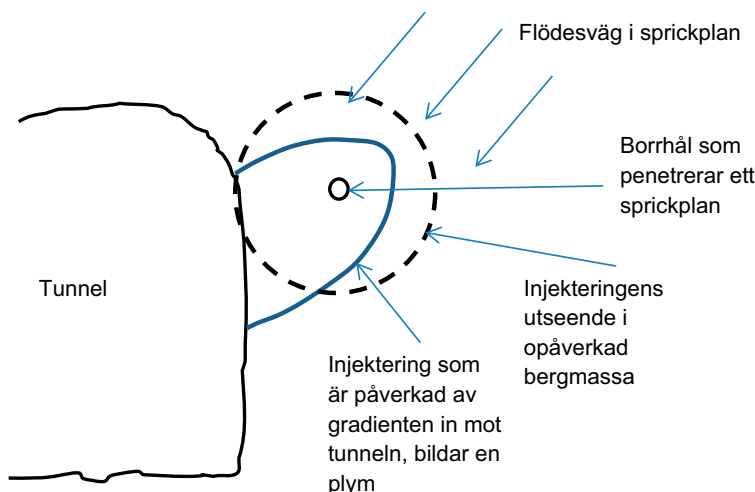
- Injekteringsförfarande; tryck, tider.
- Geometrisk placering och riktning av skärmar.
- Injekteringsordning av skärmar och borrhål.
- Manschettplacering.

Uppspräckning av berget var först och främst en risk för personella skador men även injekteringsmässigt då det kan uppstå hydraulisk uppspräckning eller jacking av sprickorna.

Erosionen av injekteringsmedlet styrs av hydrauliska gradienten i bergmassan, alltså tryckfördelningen över en viss sträcka, och sprickvidden. Gradienten kunde inte mätas direkt, borrhål måste borraras för att mäta trycket och kunskap om flödesvägen in till tunneln måste bedömas. Känt var att sprickviddens storlek har betydelse för erosionen, vid en större sprickvidd finns en större risk för erosion. Bakgrunden kring erosionproblematiken redovisas i Funehag och Emmelin (2011). I denna rapport redovisas enbart hur hanteringen av erosion görs för efterinjekteringen.

Dimensionerande sprickvidd är i injekteringssammanhang en central parameter för hur designen skall utformas. Inträngningslängden beror bland annat på sprickvidden. Vilka sprickvidder som måste tätas för att klara kravet på inläckage måste bestämmas.

Med injektering i ett gradientfält blir injekteringsplymen, dvs området runt injekteringshålet som injekteras, påverkat. En hög gradient påverkar en stor del av injekteringsplymen, med resultatet att injekteringsmedlet trycks mot tunneln istället för ut i berget, se figur 3-1.



Figur 3-1. Principiell bild över hur injekteringen påverkas av den hydrauliska gradienten.

3.1 Designförutsättningar

Det primära målet med efterinjekteringen var att tätta de större brantstående strukturerna som var vattenledarna i spricksystemet. Genom att tätta dessa minskas inflödet till tunneln. Flacka plan som skär de brantstående planen ger ett mer distribuerat flöde i bergmassan. De mer flacka (horisontella planen) har inte träffats av förinjekteringshålerna i någon nämnvärd omfattning. Därav riktas efterinjekteringshålerna att träffa både brantstående och flacka sprickplan.

Sonderingshålerna genomfördes som steg nummer ett i designen. Fyra sonderingsshål bedömdes som tillräckligt och borrades i de inledande skärmarna. I de fyra sonderingshålerna mättes inflödet sektionsvis som gav data för att utvärdera den hydrauliska sprickvidden. Genom mätningarna bedömdes risken för erosion, då en hydraulisk sprickvidd vid en given hydraulisk gradient ger en bedömning av vilken skjuvhållfasthet som krävs på injekteringsmedlet enligt Axelsson (2009). I sonderingshålerna genomfördes tre stycken mätningar av grundvattentrycket för 3 olika avstånd från tunnelvägg, det vill säga vinkelräta avståndet; 2, 4 och 6 m. Med dessa tryckmätningar före och efter efterinjekteringen, erhöles en indikation på hur tryckprofilen såg ut, men framförallt hur trycket förändras genom att berget efterinjekterats.

De större strukturerna till tunneln tätades i en första omgång genom att sätta in manschetterna djupt in i borrhålet och injektera. Genom att borra kontrollhål mellan första injekteringsomgången och utvärdera dessa kunde behov av ytterligare tätning i det mera ”ytliga” området närmast tunneln fastställas. Med detta förfarande var det möjligt att använda ett högre injekteringstryck och längre geltider vilket gav längre inträngningslängder i de större strukturerna. Om det var nödvändigt kunde de flacka planen injekteras mer ”ytligt” men då måste större hänsyn tas till risken för uppsprickning och onödiga ytläckage till tunneln genom att reducera injekteringstrycket.

Först injekterades sulan och halva väggen enligt design därefter injekterades taket och resten av väggen. I den vänstra sidan anpassades samtliga borrhål till EDZ-uttaget, så att inte borringen skedde i uttaget eller korsade de stora EDZ-borrhålen. Att det blev en förmodad trycksänkning runt EDZ-uttaget resulterade i att injekteringsmanschetterna sköts in ytterligare en bit in i borrhålet i jämförelse med borrhålen utanför EDZ-sågningen. Under injekteringen observerades och noterades eventuellt ytläckage. Observationen som görs är enbart genom synligt läckage. Om stora ytläckage observerades, dvs direkta flöden som gav strålar av injekteringsmedel, skulle det pågående borrhålet injekteras klart enligt design. Därefter skulle de hål som uppvisat samband injekteras.

Då en svårighet med efterinjektering var att bekräfta resultatet av en efterinjekteringsinsats genomfördes ytterligare ett kontrollprogram utöver kontrollhållsskärmar. Detta kontrollprogram består av droppkaraktisering från tak, mätning av väggflöden och mätning av mätvallsflöden under tidsutrymmet mellan sul- och takinjekteringen.

Resultatet från förinjekteringen visade att injekteringen var lyckad, de kontrollhål som borrades visade på en signifikant minskning av inflödet. Observera att kontrollhålerna var riktade och träffar ”samma” sprickplan som förinjekteringshålerna. Detta borde innebära att det resterande inläckage som ändå fanns in till tunneln kom från icke penetrerade sprickplan. Där den tätade zonen var mindre, det vill säga i förinjekteringssskärm nr 4, där inte bara de icke penetrerade planen var av betydelse utan även storleken på den tätade zonen. Den mindre tätade zonen var delvis bortsprängd, då halva zonen (injekteringsmedlet bildade en teoretisk cylinder runt borrhålen) låg innanför tunnelkontur. Detta kan ha gjort att flödet lättare hittade vägar in till tunneln genom spricknätverket där den tätade zonen var liten.

Det fanns både flacka och branta strukturer i tunneln. De flacka har karterats som flödande. Målet med efterinjekteringen var på samma sätt som tidigare att tätta ner till en hydraulisk apertur av 10 μm då flödet är högre än tillåtet i den aktuella sektionen. Valt injekteringsmedel blir då silica sol.

Förutom de parametrar som använts vid förinjekteringen så innehåller konceptet även geometrisk anpassning. Nedan följer resonemang kring olika aspekter på efterinjektering men inte nödvändigtvis i den ordning som beskrivits ovan.

Kontroll uppspräckning, bergspänningar

I förinjekteringen togs hänsyn till risken för jacking. Då beaktades berget enbart som ett ovanliggande massivt berg som inte skulle lyftas för att undvika jacking, se Funehag och Emmelin (2011). Vid efterinjektering var situationen en annan då tunnelytan låg närmare borrhålen. Ingen beräkning har utförts för att bedöma det maximalt acceptabla injekteringstrycket. Genom att sätta manschetten längre in kan ett högre injekteringstryck användas. Förberedande kontroll av vattenförlust utfördes i alla borrhål vid aktuellt designtryck + 10 bar. Observationer som genomfördes var att lyssna om det hördes ”knak”, om trycket plötsligt föll eller om flödet plötsligt ökade, eller en kombination av de båda.

En eventuell uppspräckning av berget var säkerhetsmässigt bättre att få i sulan då inte bergblock kastas uppåt. I taket kan höga tryck medföra att block kan falla ner. Olyckliga sprickriktningar kan medföra lösa block. Under efterinjekteringen följdes tryck och flöde kontinuerligt. Sjönk trycket plötsligt eller om flödet ökade kan det tyda på hydraulisk jacking.

Det bör nämnas att använda injekteringstryck var låga ur ett designperspektiv med hänsyn till inträngningslängd, men samtidigt höga ur ett arbetsmiljöperspektiv.

Kontroll erosion

Vid djupt belägna tunnlar finns risk för att injekteringsmedlet eroderas på grund av den höga flödesgradient som uppstår in mot tunneln. Erosion i vid bemärkelse innefattar flera fysikaliska processer vilka ger en mekanisk degraderande påverkan på injekteringsmedlet. Villkoren som beskrivs i Axelsson (2009) bör vara uppfyllda för att förhindra ovanstående processer har valts att följas i projektet. För att förhindra erosion (1) genom att vattnet ”äter” på injekteringsmedlet måste skjuvhållfastheten på bruket när injekteringen av ett hål avslutas vara stor nog att motstå vattnets eroderande kraft. För att förhindra bakåtflyde (2) ska inträngningen vara så pass lång att mot sprickytan mobiliserade friktionskrafter kan balanseras av den pådrivande kraften från vattentrycket. Fingering (3) motverkas så länge det är injekteringsmedlet som trycker undan vattnet och inte tvärtom. Vidare motverkas risken för fingering då viskositeten på medlet, μ_g är högre än vattnets viskositet, μ_w . Se ytterligare om projektets val i Funehag och Emmelin (2011).

Under injektering, bruksfronten är i rörelse

Processen som har en nedbrytande karaktär är *fingering*. Fingering motverkas så länge injekteringsbruket trycker undan vattnet och inte tvärtom. För silica sol måste hållfastheten vara tillräckligt stor vid avslut för att motverka att vattnet kan tränga in i silica sol och skapa kanaler. Hög hållfasthet på silica sol erhålls vid 4/5 av geltiden (ca 60 Pa) (Axelsson 2009).

Efter avslut av injektering, stoppet

Processer som har en nedbrytande karaktär är *erosion* och *bakåtflyde*. För att förhindra processerna måste skjuvhållfastheten på bruket vid avslut av injekteringen vara stort nog att motstå vattnets eroderande skjuvspänning samt inträngningslängden vara tillräckligt lång för att mobilisera kohesion mot sprickytan så att den pådrivande kraften från vattentrycket balanseras.

3.1.1 Sammanfattning krav och åtgärder

I nedanstående tabell 3-1 sammanfattas vilka åtgärder som måste göras för att klara kraven.

Som tabellen visar tillhör flera av processerna samma fråga. I hela dimensioneringen har processerna beaktats och styrt designen. Det som är mest påtagligt och tydligt var kravet rörande gradienten, som bör vara mindre än 60 m/m på ett avstånd mindre 3 m vinkelrätt tunnelvägg. Detta är samma frågeställning som för förinjekteringen, där både stuffinjektering och injekteringstiden 4/5 av geltiden användes som åtgärd.

Vid efterinjekteringen användes inga så kallade stuffhål, men tanken var att intilliggande och föregående skärm utgjorde ”mothål” mot kommande efterinjekteringsskärm. Därav förfarandet med att injektera ”baklänges” med skärmarna. Alltså första efterinjekteringsskärmen placerades längst in i tunnelsektionen och sedan fortsatte injekteringen med att arbeta mot tunnelmynningen.

Tabell 3-1. Sammanfattning av frågor och svar gällande design av efterinjektering.

Fråga	Process	Parameter	Åtgärd	Styrs och kontrolleras hur	Praktiskt möjligt
Under injektering	Fingering	Skjuvhållfasthet	Injekteringstiden $\geq 4/5$ av geltiden	Förutbestämd förfarande	Max 100 bar, så korta tider som möjligt, "optimering"
Avslut av injektering	Erosion	Gradient < 60 m/m	Borrhålslängd och manschettplacering	Sonderingshål	Ca 20 m borrhål, manschett max 6 m, några manschetter om 10 m är OK
Acceptabel hållfasthet på bruket	Erosion, gradient	Skjuvhållfasthet	Injekteringstid, injekteirngstryck	Förutbestämd förfarande	4/5 av geltiden
Uppspräckning av berget	"Jacking"	Manschettplacering $> 1,5$ m som vertikalt avstånd till bergytan	Manschettplacering	Görs under injektering i sulan, om OK använd samma i tak	Kontroll med vattenförlust
Tillräcklig inträngning	Flöde	Inträngningslängd, Dimensionerande sprickvidd	Avstånd mellan borrhål, Kontrollhål	Designfönster, se nedan	Optimering och kompromiss

3.2 Material och utrustning

3.2.1 Injekteringsmaterial

Silica sol

I projektet användes följande silica sol och saltlösning:

Silica sol: Meyco MP320[®]; 40 % lösning. Medelpartikelstorleken är 25 nm.

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. Saltlösningen (Meyco MP320 Accelerator) kan irritera ögonen. Den toxikologiska effekten bedöms som låg. För den ekotoxikologiska effekten finns inga data. För utförligare beskrivning av den använda silica solen se Funehag och Emmelin (2011).

På samma sätt som för förinjektering användes två begrepp för silica solens gelningsförlopp: Gelinduktionstiden och geltiden. Gelinduktionstiden är definierad som den tidpunkt vid vilken den initiala viskositeten fördubblats. Geltiden definierades i detta projekt som den tid det tar för att kunna vända en kopp med blandad silica sol 90 grader utan att blandningen visar minsta tillstyrmelse till att rinna.

Som en tumregel kan sägas att gelinduktionstiden är 1/3 av geltiden. Viskositeten sätts vid beräkning initialt till ca 5 mPas, är vid gelinduktionstiden i storleksordningen 10 mPas och vid geltiden flera tusen Pas. Det innebär att efter gelinduktionstiden sker gelningen mycket snabbt. Detta innebär i sin tur att inträngningen i en spricka också upphör kort därefter; vid halva geltiden är maxinträngningen praktiskt sett uppnådd.

Injekteringsmedlet blandades satsvis vid efterinjektering, en ny sats användes för varje injekteringshål. Satsvis blandning möjliggör en enkel styrning av geltiden men ger mer spill. Storlek på sats och använd utrustningen för blandning och injekteirngen var den samma som för förinjekteirngen och den intresserade läsaren hänvisas till denna rapport (Funehag och Emmelin 2011). Referensprover togs även under efterinjektering och kontrollerna innefattade att geltiden var den avsedda för satsen samt blandningens temperatur.

Cementbaserat injekteringsmedel med lågt pH

Cementbaserade bruk kom inte att användas som injekteringsmedel utan enbart som ett sk "pluggbruk". Pga detta beskrivs inte den tänkta cementen för injektering närmare här utan hänvisas till Funehag och Emmelin (2011). Det sk pluggbruket, var enligt det framtagna receptet kallat hälffyllnadsbruket för förinjektering. Bruket användes i samtliga borrhål i sulan för att skapa ett mekaniskt skydd (överkörningsskydd för maskiner ody) för tidigare injektering av silica sol.

Sammansättningen för hålfyllnadsbruket redovisas i tabell 3-2. Istället för det mer traditionella VCT används istället förhållandet mellan mängden vatten och torrmaterial, W/DM (water to dry material).

Tabell 3-2. Recept för cementbaserade bruk redovisade som viktförhållanden.

Material	Typ	Tolerans	Hålfyllnadsbruk
Vatten	Dricksvatten	± 0,01	0,64
Cement	UF 16/INJ 30	± 0,01	1,00 (INJ 30)
Silica fume	Grout Aid	± 0,01	1,37
Superplastiserare	Melcrete	± 0,001	0,07
W/DM			0,8

I tabell 3-3 anges värden på de egenskaper som bruket skulle ha, samt de kontrollmetoder som användes för att säkerställa dessa.

Tabell 3-3. Erforderliga egenskaper samt fältkontroller för cementbaserat bruk.

Egenskap (utrustning)	Enhet	Hålfyllnadsbruk W/DM 0.8
Densitet (mudbalance)	kg/m ³	1 470–1 570
Flödesegenskaper (Marsh-cone)	S	Noteras endast
Skjuvgräns (yield stick)	Pa	> 10
Inträngningsförmåga (Filterpump, 100 µm)	Volym passerat	Inget definierat gränsvärde
Hållfasthet (Fallkon)	kPa	Inget definierat gränsvärde

3.2.2 Utrustning

Använda manschettyper skiljde sig från förinjekteringen. För efterinjekteringen användes två typer av manschetter; manschetter med manuell uppspänning samt med mutterdragare. I båda fallen var de 6 meter långa och anpassade för borrhål med en diameter på 62–66 mm med ett sidorör för att kunna använda vakuumpumpen. Manschettypen var av flergångstyp och kom att användas ca 2–3 gånger innan de kasserades. Manschetterna var dimensionerade för att klara ett totaltryck på 7 MPa. Med denna lägre tryckklassning räckte det med enbart ett gummi som spändes upp. Manschetterna levererades av GMA (Gurlita GMA AB, Sunne).

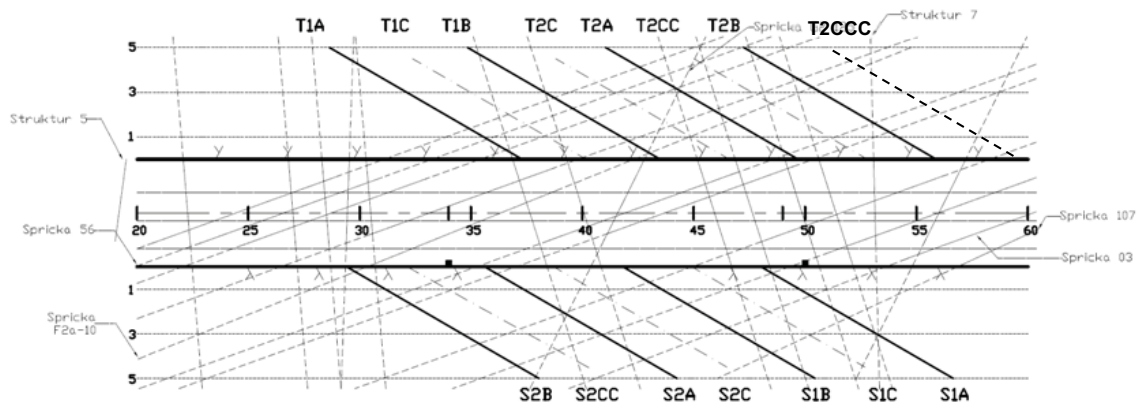
För sonderingshålen användes en specialbyggd manschett med möjlighet att mäta sektionens flödet (1 m sektion) samt flödet innanför sektionen och till hålbotten. Manschetten togs fram även för att kunna injektera sektionsvis och tryckklassen var som för förinjekteringen, 25 MPa. Detta gjorde att den var väldigt tung och svårhanterlig. Sektionsvisa flöden gick att mäta upp till en borrhåls längd på 10 m.

3.3 Utförandet

3.3.1 Injekteringslayout

Borrhålsavståndet var i detta fall lämpligt att hålla mellan 2–3 m, för att dels inte borra sönder bergmassan totalt och dels inte skapa väldigt många sambandshål. För att få hela etapp 3 injekterad under rimlig tid bedömdes att avståndet mellan skärmarna bör vara 2,5–3 m.

Följande borrhålslayout valdes; 4 injekteringssskärmar i sulan och 4 skärmar i taket (figur 3-2). Med sula i detta fall menas att borrhålens ansättningspunkt nådde upp till halva väggen och med taket menas att borrhålen nådde ner till halva väggen. Borrhålen stack (det rätvinkliga avståndet från hålbotten till tunnelkontur) med 5 m och 7 m runt tunneln. Med ansättningsvinkeln 30 grader blev borrhålen 10 m och 14 m långa. Borrhålen var 14 m långa i högra delen (sett i tunnelns längdriktning) av tunneln. Sammantaget gav detta en ordinarie skärm bestående av 12 borrhål i sulan och 8 borrhål i taket (figur 3-2).



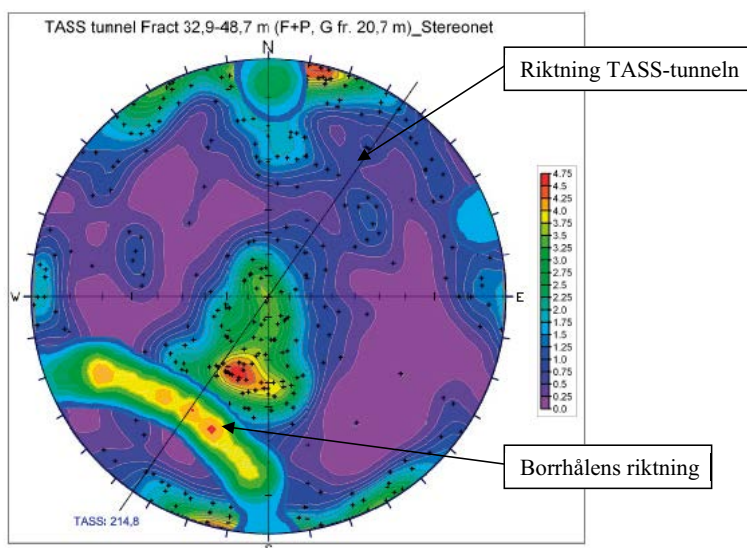
Figur 3-2. Modell över injekteringsskärmarna och namngivning sett från sidan. Den innehåller även de tolkade sprickplanen. xyA/B är injekteringsskärmarna, $xyC/CC/CCC$ är kontrollhållsskärmarna.

Med hänsyn till EDZ-uttaget var borrhålen på vänster sida 10 m. Kraven på borrhålsplaceringen i dessa hål var att packern på manschetten skulle hamna minst 2 m från närmaste 250 mm EDZ-borrhål. Med en manschettlängd på 10 m sattes packern in 5 m som radiellt avstånd från tänkt tunnelvägg, eller 2,5 m bakom de stora borrhålen.

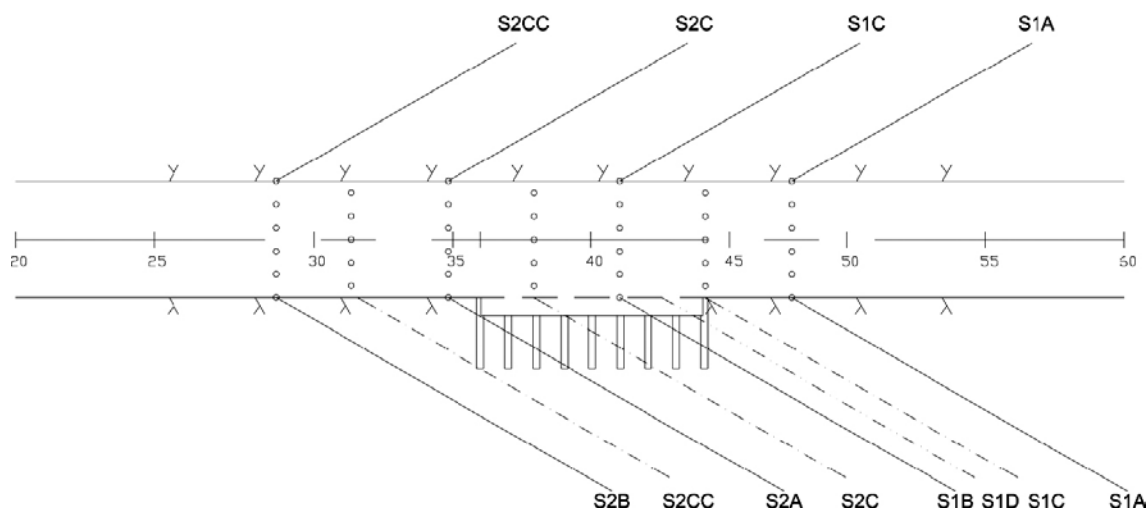
En kontrollskärm bestod av 13 borrhål i sulan och 9 borrhål i taket. Totalt borrades 7 kontrollhållsskärmar. Utrymme gjordes också för ytterligare kontrollskärmar om det skulle anses nödvändigt, exempelvis om flödet var för stort i första kontrollhållsskärm. Ett första "paket" av injekteringsskärm (nummer 1) och kontrollskärm (C) var således att skärm 1A och 1B borrades och injekterades, efter injekteringen borrades kontrollskärm 1C. Efterföljande "paket" kallades nummer 2 med kontrollskärm CC osv. Kontrollskärmarna placerades mellan de tidigare två skärmarna vilket gav ett inbördes ansättningsavstånd mellan tidigare skärmar på 0,75 m.

I nedanstående stereonät (figur 3-3) visas som tidigare, de karterade sprickorna från tunnelsektion 34–49 m med injekteringshålen inritade. Injekteringshålen sticker med ca 30 grader utåt från tunneln och är 10 meter långa. I figuren är borrhålen inritade som en yta, istället för punkter, för överskådligheten.

Från figur 3-3 ses att injekteringshålen sannolikt träffar både brantstående och flackt liggande sprickplan. Borrhålsriktningen i sulan liknar förinjekteringsskärm, åt samma håll, fast med större stick. Detta har gjorts för att träffa de flacka planen. Takskärmarna har motsatt riktning. I figur 3-4 visas en planvy över sulskärmarna för att överskådligt visa hur efterinjekteringen planerades.



Figur 3-3. Sammanställning av stereonät över sprickorienteringar och injekteringsborrhålens riktning.



Figur 3-4. Borrgeometrier sett i plan. De skärmar som påverkas av EDZ-uttaget och skall anpassas var, S1B, S2A, S2C och S2CC samt eventuella ytterligare kontrollhållsskärmar. Kontrollhållsskärmarna i vänstra delen inritades inte för överskådlighetens skull, men borrades på samma sätt där. Skärm S1D lades till under injekteringen då flödet var stort i ordinarie kontrollskärm.

Den första skärmen placerades på plats med hjälp av tolkningar från sprickmodellen samt efter okulär besiktning av tunneln. Den efterföljande skärmen följde det geometriska mönstret, alltså 6,2 m bakom den första. Den första skärmen placerades så att ett flackt plan skär borrhålet på ca 2 m djup från tunnelkontur. Manschetterna placerades på 4 meters djup ned i borrhålet. Vidare placerades samtliga hål så att inget av borrhålen hamnar närmare än 1 m under mätvall.

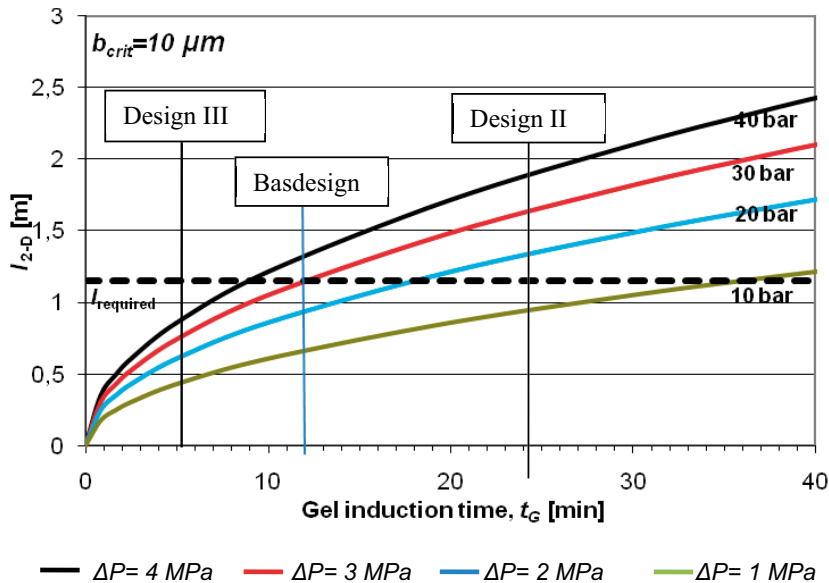
3.3.2 Injekteringsteknik, silica sol och cement

Följande ramar valdes för injekteringstekniken:

- Grundvattentrycket kan vara så högt som 3,5 MPa utanför den tätade zonen.
- Geltiden, $T_G \leq 40$ min. Kortare geltider i efterinjekteringen för att minska ytläckagen.
- Gelinduktionstid, $t_G = 1/3$ av geltiden.
- Injekteringstiden = $4/5$ av geltiden. Maximalt totaltryck vid injektering, $p_{inj} = 70$ bar. Manschetterna i efterinjekteringen var dimensionerade för 70 bar. Trycket skulle hållas så lågt som möjligt för att minska risken för att sprickor utvidgades under injekteringen. Som framgått är låga tryck och korta geltider inte helt förenliga med långa inträngningslängder och erosionsrisk.
- Dimensionerande hydraulisk sprickvidd = 10 μm .

Designmetodiken bygger på som tidigare att inträngningslängden skulle vara minst halva borrhålsavståndet, c- måttet i hålspets för borrhålen, för den dimensionerande sprickvidden på 10 μm (se figur 3-5, Designfönster). Inträngningslängden valdes för att ge ett överlapp om 50 %. Detta innebär att en spricka som korsar borrhålet med en vinkel på 45 grader ändå erhåller en fullständig inträngningslängd. Överlappet mellan skärmarna skulle finnas och följa samma princip som mellan borrhålen. Därav borrades inga kontrollhål mellan borrhålen i en skärm utan mellan två efterinjekteringskärmar.

Nedan visas designfönstret (figur 3-5). Med ett borrhålsavstånd på maximalt 2,8 m behövs åtminstone en inträngning på 1,4 m i den dimensionerande sprickvidden, 10 μm . För att få ett överlapp på 50 % krävs ett övertryck på 6,5 MPa och en geltid på 60 minuter. Varken injekteringstryck eller geltider var förenligt med tidigare önskade kriterier. Inget av de två (tryck och geltid) går att få så att överlapp på 50 % erhålls i den dimensionerande sprickan, vilket medför att kompromisser har gjorts.



Figur 3-5. Designfönster för en kritisk sprickvidd på $10 \mu m$.

Borrhålens minsta c-avstånd var 2,0 meter vid ansättning och 2,8 m i spets. Den närmaste metern runt tunneln förutsattes vara tätad ner till $10 \mu m$. På en meter från tunneln var c-avståndet ca 2,1 m mellan borrhålen. Med ett övertryck på 3 MPa och en gelinduktionstid på 12 minuter (geltid = 36 min) fick vi en inträngningslängd på 1,2 m och detta gav ett överlapp på ca 10 % vid halva borrhåls-avståndet. Detta val av tryck och geltid utgjorde "Basdesignen". Mellan skärmarna var det 3,1 m och däremellan en kontrollhålsomgång. Denna gav indikation på om tätningen ner till $10 \mu m$ var tillfredsställande, genom mätning av inflödet till borrhålet, samt möjliggöra för ytterligare en omgång injektering.

I tabell 3-4 visas den valda basdesignen för silica sol. Design II används när "knak" hörs i takinjekteringen.

Tabell 3-4. Basen för injekteringsdesignen med silica sol för efterinjekteringen.

	Enhet	Basdesign	Design II	Design III
Geltid	min	36	72	10 eller 19
Gelinduktionstid t_G	min	12	19	3 eller 6
Injekteringstid 4/5 av geltiden	min	29	58	10 eller 15
μ_0	Pas	0,0055		0,0055
b_{dim}	m	10×10^{-6}		–
Valt övertryck	MPa	3	1,5	Lågt, 2 eller 0,5
<i>Kontrollberäkningar</i>				
$I_{\max, 2-D}$	m	1,15	1,15	–
Ger minsta c/c avstånd i ansättning mellan borrhålen	m	2,0	2,0	–
Resulterar i ett överlapp på	%	15	15	–

När designtryck eller injekteringstid inte nåddes enligt basdesign/Design II skulle tryck, tid och geltid sänkas enligt Design III. Design III kunde också användas vid ytligt satta manschetter då det högre trycket kunde utgöra en säkerhetsrisk eller då större ytläckage noterats. När detta inträffar fanns små möjligheter att klara designkravet på inträngningslängd. Syftet blev då att få ett tätt borrhål; därför angavs varken dimensionerande sprickvidd eller några kontrollberäkningar.

I hålspets blev det inget överlapp alls. Detta åtgärdades genom att möjliggöra för ytterligare en kontrollhålsomgång placerad mellan första injekteringsskärmen och första ordinarie kontrollhåls-skärmen. Det rätvinkliga avståndet mellan skärmarna blev således:

- Mellan första injekteringsskärmar, 3 m.
- Mellan första injekteringsskärm och första kontrollhålsomgång, 1,5 m.
- Mellan första och andra behovsprövad kontrollhålsomgång, 0,75 m.

Behovsprövningen av kontrollhål baserades på samma sätt som för skärmarna vid förinjekteringen; alla hål skulle ha ett inflöde på mindre än 0,1 l/min ($b_{hyd} = 20 \mu\text{m}$) för att inte borra kontrollhål. Det slutgiltiga beslutet på om denna ytterligare kontrollhålsomgång skulle borraras och injekteras gjordes efter att flödet i mätvallarna, nr 2 och 3 mätts. Om flödet fortfarande var för stort för att klara inläckagekravet kunde beslut tas om att göra denna åtgärd.

3.3.3 Kontrollprogram

Sonderingshål

Utöver de inledande sonderingshålen i läget för sulskärm 1A borraras ytterligare sonderingshål för sulskärm 2A. Syftet var att med dessa ytterligare sonderingshål utreda gradient och tätad zon i detta nya läge. Samma mätningar som tidigare utfördes, nämligen grundvattentrycket för 3 olika vinkelräta avstånd från tunnelvägg; 2, 4 och 6 m.

På samma sätt som för sulan borraras det 14 m långa sonderingshål i den första takskärmen med samma hydrauliska tester.

Observationshål

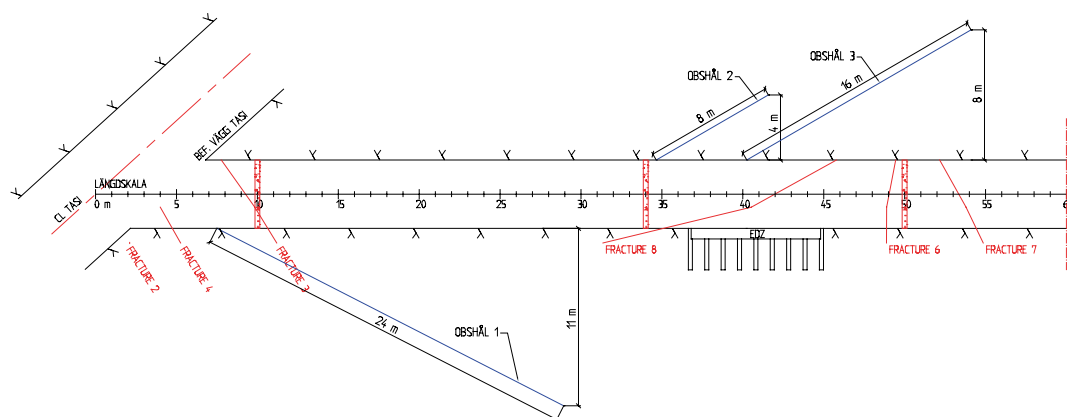
Som tidigare beskrivits borraras observationshålen under förberedelserna för att vattentrycket i bergmassan skulle observeras under injekteringen. Två tryckavläsningar gjordes per dag; en före arbete med borrning, hydrauliska tester och injektering och en efter att arbetet avslutats.

En planvy över lägena för observationshålen visas i figur 3-6.

Droppkarakterisering och väggflöden

Efter att sulan injekterats utfördes en kontroll av droppen i sektionen 33–50 m. Lägesförändringar av droppen noterades och flödet mättes. Efter sulinjekteringen mättes flödena från spårerna i vänster och höger tunnelvägg.

Efter takinjekteringen gjordes ännu en droppkarakterisering och flödesmätning från spårerna i vägg på samma sätt som tidigare.



Figur 3-6. Planvy över de tre observationshålen i TASS-tunneln.

Kontrollhål

Kontrollhålen placerades mellan skärmomgångarna och inte mellan de individuella borrhålen. Detta för att kontrollera att injekteringen haft effekt. Kontrollhålsomgången borrades efter att de två injekteringsskärmarna injekterats.

I kontrollhålen gjordes hydrauliska tester enligt tidigare; dvs vattentryck, vattenförlust och inflödet bestämdes. Efter de hydrauliska testerna injekterades kontrollhålen enligt design. Inträngningslängden var dimensionerad så att även ett överlapp erhöles mellan skärmarna. Ytterligare kontrollhålsomgångar beslutades i samråd med projektledare och beställare.

3.4 Sammanfattande design

Designen gav totalt 87 borrhål i sulan inklusive 3 kontrollskärmar samt 70 borrhål i taket inklusive 4 kontrollskärmar. Med en medellängd på borrhålen om 12 m ger detta totalt 1 884 bormeter för efterinjekteringen. Till detta kommer också tre observationshål.

Trots de många borrhålen klarades inte det önskvärda överlappet på 50 % mellan hålspetsarna samt överlappet mellan skärmarna för den dimensionerande sprickvidden.

Trots att förinjekteringen utfördes med designkriteriet på dimensionerande sprickvidd på 10 µm valdes att även för efterinjekteringen följa detta kriterium. Detta gjordes för att det troligen fanns sprickplan som inte förinjekteringen tätat då borrhålen var riktade parallellt med tunneln. För att vara tillräckligt säkra ur arbetsmiljösynpunkt valdes att använda lägre injekteringstryck vid efterinjekteringen. Det lägre injekteringstrycket innebar också en lägre tryckklass på manschetterna än för förinjekteringen.

För att klara risken för erosion placerades manschetterna långt in i borrhålet, där gradienten var mindre än 60 m/m. Detta bekräftades genom att borra sonderingshål där vattentryck och flöde mättes i flera sektioner för de första 6 meterna. Manschettgummit, dvs packern, placerades där tryckökningen börjar minska/plana ut. Genom att injektera en skärm så kommer nästa skärm att få en tätad bergmassa att tryckas mot, som ansågs vara en framkomlig metodik. För att säkerställa tätningsresultatet, valdes flera observationer att utföras under och efter efterinjekteringen:

- Inläckagemätningar i mätvallar som avgränsar efterinjekteringssektionen.
- Kontrollskärmar, som borrades mellan två ordinarie injekteringsskärmarna.
- Droppkaraktärisering av taket, före första sulinjektering, efter sulinjekteringen och slutligen efter takinjekteringen, dvs totalt vid tre tillfällen.
- Väggarartering av synliga vattenläckage, genom sågade spår i väggen för att fånga upp rinnande vatten på väggen. Vidare skulle mätningar göras av tillrinnande väggflöden till vattenpölar på en rensad sulbotten.
- Översyn av samtliga borrhål för att hitta läckande borrhål.

4 Etappbeskrivningar med resultat

4.1 Arbetsetapp 1 – sulan

Målet var att påvisa att efterinjektering ger ökad täthet och visa att dropp kan reduceras. Särskilda krav på genomförande och utrustning skulle identifieras för att silica sol skulle vara användbart. Generellt mål var också att samla erfarenheter om genomförande och handhavande.

Efterinjekteringen av sulan och taket indelades i två etapper vardera; sulan med två injekteringsomgångar, omgång 1 och 2 med mellanliggande kontrollskärmar och sedan taket med två injekteringsomgångar, omgång 3 och 4 med kontrollskärmar. Mellan injektering av sulan och taket utfördes droppkaraktärisering och mätvallmätningar. Alla resultat från arbetsetappen i tunnelsulan visas i bilaga A. Genomförandet kan där utläsas i kronologisk ordning och inkluderar även sonderingshålens hydrotester.

4.1.1 Genomförande

Injekteringsomgången startades med att borra observationshål och sonderingshål. Observationshålen användes för att mäta eventuell tryckökning utanför den förinjekterade zonen vilket då visar på en effekt av pågående efterinjektering.

Tre observationshål borrades svagt lutande nedåt. Efter varje injekteringsomgång avlästes vattentrycket i borrhålet.

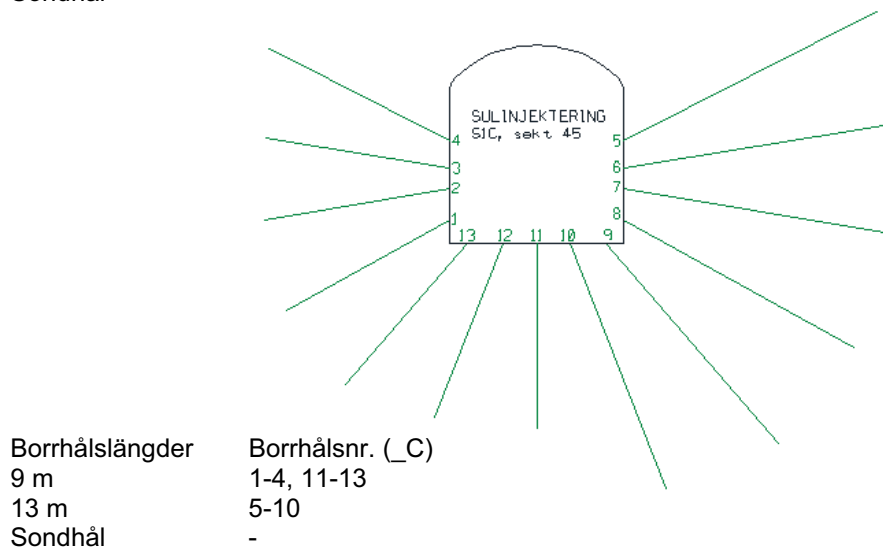
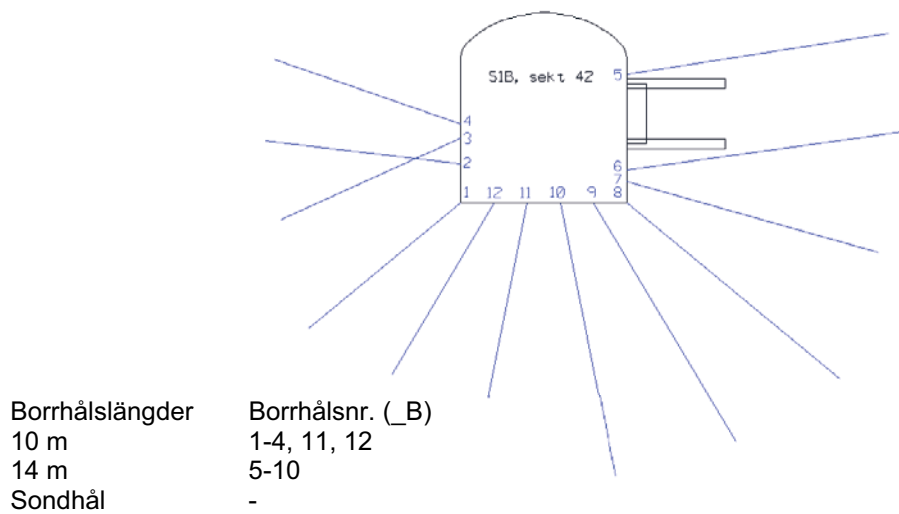
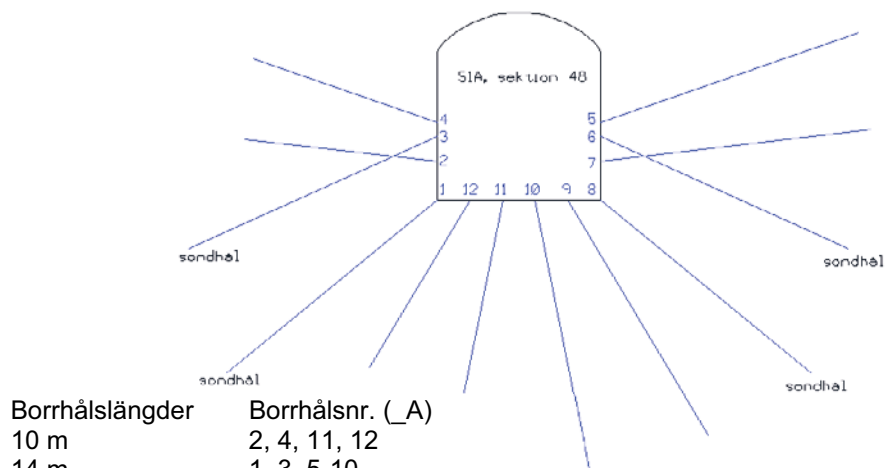
Sonderingshålen användes för att bestämma manschettläget och borrades som en del av ordinarie injekteringshål i skärm 1. Med hjälp av dessa kunde gradienten uppskattas samt hur långt ifrån tunnelkontur vattentrycket stiger. Mätningar för denna skattning gjordes med grundvattentryckmätningar och inflödesmätningar. Längden på sonderingshålen var 14 m–4 meter längre än injekteringshålen. Utöver de vanliga helhålmätningarna av tryck, VFL och inflöde gjordes även sektionsvisa mätningar av dessa. Detta gjordes genom att flytta in manschetten till ett djup på 2,4 och 6 m i sonderingshålen. Vilka av injekteringshålen i sulskärm S1A som fungerat som sonderingshål visas i figur 4-1.

Testerna gjordes i samtliga fyra sonderingshål med början i det högra hålet i sulan. Resultaten av mätningarna i sonderingshålen visas i tabell 4-1 samt ett tolkat flödesdiagram i figur 4-2.

Tabell 4-1. Grundvattenstryck och inflöde i sonderingshålen i olika mätsektioner. I högra kolumnen är gradienten uppskattad genom att dividera grundvattenstrycket uttryckt i meter med manschettplaceringen. Manschettplaceringen var på det avstånd in i borrhålet som själva manschettgummit sitter på.

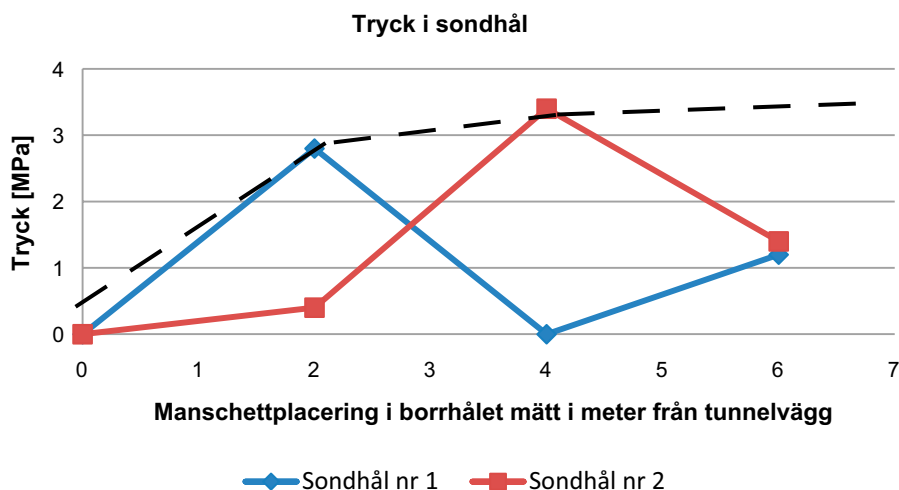
Borrhålsdata			Uppmätta data		Beräknat
Borrhål ID [-]	Sondhålsnummer [nr]	Manschettplacering [m]	Grundvattenstryck [MPa]	Inflöde [ml/min]	Gradient [m/m]
SS0048G07	1	2	2,8	170	140
SS0048G07	1	4	3,3	296	83
SS0048G07	1	6	1,2	220	20
SS0048A10	2	2	0,4	96	20
SS0048A10	2	4	3,4	94	85
SS0048A10	2	6	1,4	106	23
SS0048B07	3	2	2,4	122	120
SS0048B07	3	4	2,3	102	58
SS0048B07	3	6	0,01*	0,0001*	"Tätt"
SS0048B09	4	2	1,8	118	90
SS0048B09	4	4	2,9	104	73
SS0048B09	4	6	0,01*	0,0001*	"Tätt"

* Inget mätbart tryck eller flöde noterades utan satt till mätgräns. Ingen gradient erhålls ty täta borrhål.



Figur 4-1. Vy över injektionshålerna för SIA, överst, SIB mitten och SIC nederst. I tabellerna kan längderna på borrhålen utläsas. I SIA fungerade 4 av injektionshålerna också som sonderingshål.

Från tabellen kan utläsas att trycken i samtliga borrhål ökar mellan manschettplacering vid 2 m till placeringen vid 4 m. Vid en manschettplacering på 6 m har trycken sjunkit och då även gradienten. Detta kan bero på att stabila vattentryck ej inväntats då även inflödena minskar, eller att hydraulisk kontakt mellan yttre och inre sektionen har skett. Precis vid tunnelvägg antas vattentrycket till 0 MPa och nedanstående figur erhöles (figur 4-2).



Figur 4-2. Vattentryck mätt i sondhålen 1 och 2 vid olika manschettplaceringar. Sondhål 3 och 4 är inte redovisade då täta sektioner erhöles för den innersta sektionen. Den streckade linjen är en antagen linje av förväntat grundvattentryck. Borrhålsriktningen var 30 grader från tunnelvägg vilket ger att avståndet vinkelrätt tunnelvägg till manschett är halva avståndet för manschetten (t ex en manschettplacering på 4 m motsvarar 2 m vinkelrätt tunnelvägg).

Det största uppmätta vattentrycket, 3,4 MPa, erhöles vid 4 m, i sondhål nr 2. De uppmätta största grundvattentrycken mätta i förundersökningshålen i förstudien var 3,5–3,7 MPa ca 10–20 meter från tunnelstuff (vägg). Därmed förväntas en utplaning av tryckkurvan efter ca 4 m till stabilt grundvattentryck och gradienten blir därmed låg, se Funehag och Emmelin (2011).

Med hänsyn till att risken för erosion var som störst där grundvattengradienten var som störst gjordes bedömningen att grundplaceringen för manschetten (gummitätningen) skulle vara 2 m vinkelrätt tunnelvägg (eller 4 m in i ett borrhål borrarat med 30 graders riktning mot tunnelvägg).

Omgång 1

Injekteringskärm S1A och S1B

Omgång 1 borrades med 12 borrhål i skärm S1A och 12 borrhål i skärm S1B. Det största inflöde som påträffades i S1A var 1,7 l/min samt ett vattentryck på 1,9 MPa. Det största flödet och vattentrycket i S1B var 9 l/min och 3,4 MPa. För injekteringen och observationer under pågående injektering hänvisas till bilaga C.

Kontrollskärm S1C

Kontrollskärmen bestod av 13 borrhål placerade mitt emellan de två tidigare skärmarna, med ett ansättningsavstånd på 3,1 m från de båda. Skärmen borrades efter att S1A och S1B injekterats. Manschettplaceringen var 5 meter i denna skärm. Denna längd användes för att vara säker på att flödet mättes i den injekterade zonen. Det största inflöde som påträffades var i borrhål 6C på 50,4 l/min. Det största vattentrycket var i ett närliggande hål och mättes till 3,5 MPa. Det stora flödet förbryllade och kom senare att ligga till grund för en uppdatering av skärmgeometrierna. Två av hålen gick inte att manschettera (gummit kunde inte sluta tätt) då hålen var uppspruckna.

Resultaten från de hydrauliska testerna och injekteringen återfinns i tabell 4-2 och tabell 4-3.

Tabell 4-2. Inflöde och tryck, omgång 1.

	Antal borrhål	Medelvärde inflöde [l/min]	Medianvärde inflöde [l/min]	Största inflöde [l/min]	Största mätta grundvattentryck [MPa]
S1A	12	0,2	0,05	1,7	1,9
S1B	12	0,9	0,003	9,0	3,4
S1C	13	5,5	0,07	50,4	3,5

Tabell 4-3. Injektering, omgång 1.

	Antal injekterade med silica sol	Använda geltider [min]/	Effektiv injekterad volym [liter]	Kommentar
S1A	12	36, 72	67	2 samband med vänster vägg i sektion 43
S1B	12	36, 72	454	2 borrhål ihopborrade
S1C	11	10, 19, 36	321	2 borrhål inrasade
Summa			842 liter	

Genomgång av sulhålen samt injektering

Innan omgången ansågs vara klar gjordes en översyn av samtliga borrhål och i de hål som hade synligt mätbart läckage mättes inflödet genom att manschettera dem, för övriga hål noterades enbart att de läckte. En ytterligare observation att notera var om en synlig silica sol plugg kunde återfinnas i borrhålet och om läckaget möjligen kunde komma från pluggen eller om det var från den öppna delen i borrhålet, (från tunnelvägg till 4 m in i borrhålet). Totalt återfanns 6 läckande borrhål, se tabell 4-4.

Tabell 4-4. Läckande borrhål, omgång 1.

Borrhålsnamn [-]	Borrhålsnummer [nr]	Manschettplacering, grundplacering [m]	Flöde [l/min]	Kommentarer
SS0048G10	10A	1	0,78	Silica solplugg noterad på 4 m
SS0048B09	7A	1	0,02	Silica solplugg noterad på 4 m
SS0042A03	2B	1	0,00056	8 dropp, silica solplugg noterad på 4 m
SS0042A01	4B	1	0,92	Silica solplugg noterad på 4 m
SS0045A02	3C	1	0,01	Silica solplugg noterad på 5 m
SS0045B02	6C	5	2,3	Silica solplugg oklart om den finns

Omgång 2

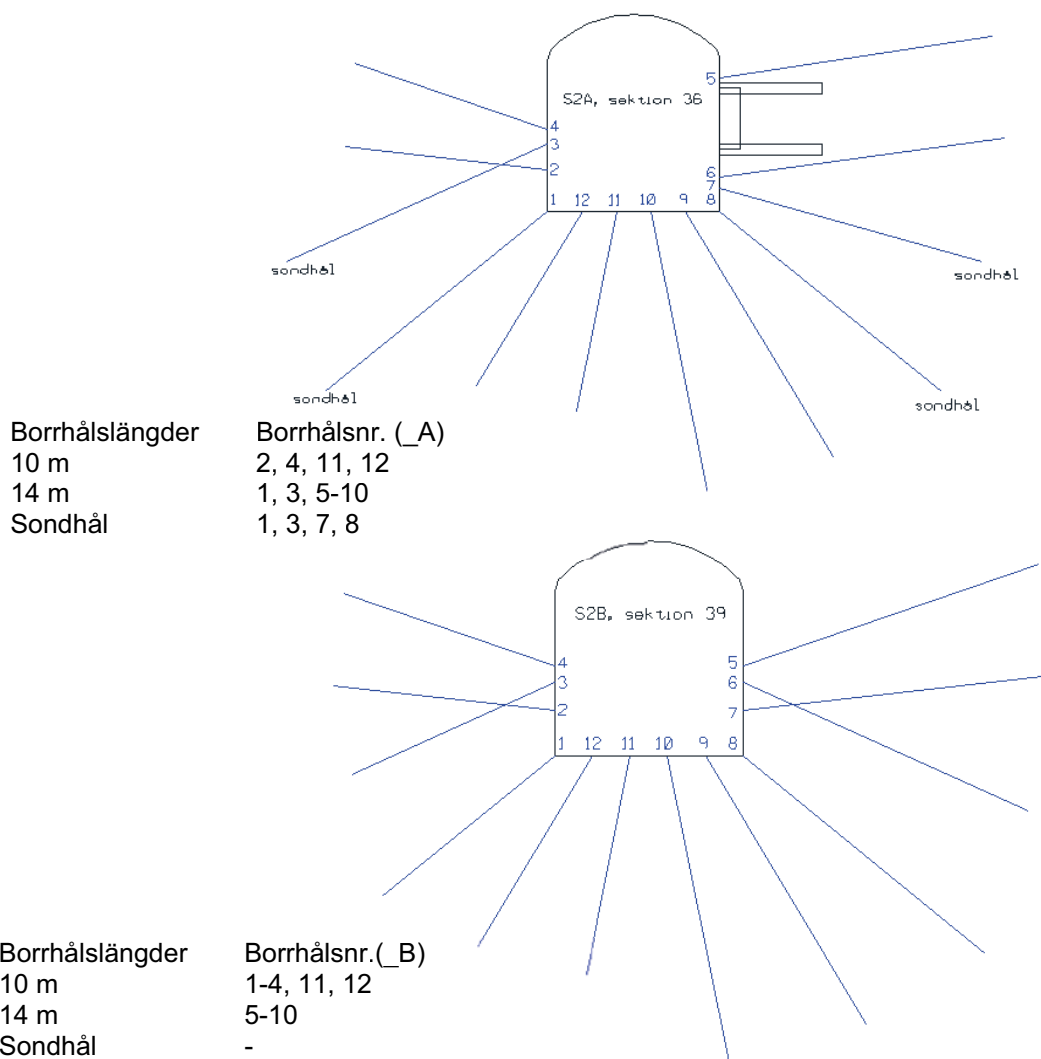
Efter att den kompletterande tätningen av de läckande borrhålen i omgång 1 genomförts kunde omgång 2 injekteras i sulan. Förändring i designen för omgång 2 bestod enbart av att skärmarna fick anpassas för EDZ-uttaget. I figur 4-3 och 4-4 visas skärmgeometrierna för S2A, S2B med kontrollskärmarna S2C och S2CC.

Injekteringsskärm S2A och S2B

Omgång 2 borrades med samma antal borrhål som omgång 1, dvs 12 borrhål i skärm S2A och 12 borrhål i S2B. I skärm S2A fick borrhålsgeometrin anpassas för att inte riskera att borra i EDZ-hålen. Sondhålen i S2A visade samma tendens som de i S1A, dvs att tryckökningen var relativt liten mellan 4 och 6 m jämfört med mellan 2–4 m. Av detta skäl valdes samma manschettplacering som för omgång 1, alltså 4 m in i borrhålet.

Det största inflöde som påträffades i S2A var 0,47 l/min samt ett vattentryck på 0,6 MPa. Det största flödet och vattentrycket i S2B var 1,43 l/min respektive 2,6 MPa; viulket var mindre än för omgång 1.

Under ytterligare en genomgång av borrhålen i omgång 1 noterades att det tidigare injekterade borrhålet, 6C i skärm S1C läckte. Detta borrhål injekterades med silica sol med en åtgång på 40 liter. Därefter kunde injekteringen av S2A och S2B påbörjas. Effektiv injekteringsvolym blev 1 175 liter där hål 11B stod för den mesta mängden.



Figur 4-3. Vy över injekteringshålerna för S2A, S2B. Sondhål borrades enbart i S2A. I tabellerna kan längderna på borrhålen utläsas.

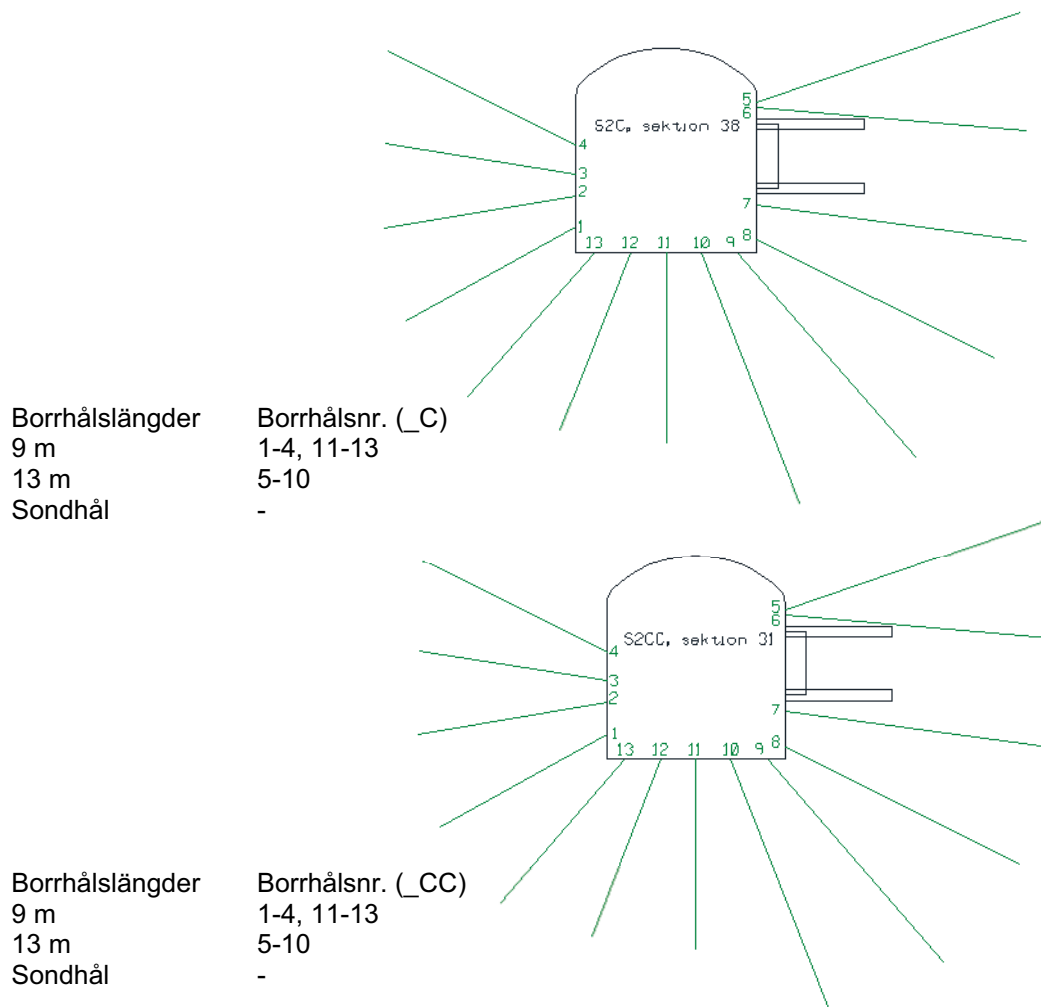
Kontrollskärm S2C och S2CC

Kontrollskärmarna bestod av 13 borrhål vardera. Båda skärmarna borrades efter att S2A och S2B injekterats. Borrhålen var 1 meter kortare än skärm S2A och S2B. Det största inflöde som påträffades i S2C var i borrhål 2C, 0,52 l/min. Det största vattentrycket mättes till 1,1 MPa. I S2CC var det största flödet 0,06 l/min och största vattentryck 0,8 MPa.

Ännu en gång upptäcktes läckande borrhål i skärm S1B och S1C. Läckagen bedömdes som små men hålen injekterades återigen. Vilka borrhål i S1B och S1C som läckte samt injekteringsdesign visas i tabell 4-5.

Tabell 4-5. Ominjekterade borrhål i omgång 1.

Borrhålsnamn [-]	Borrhålsnummer [nr]	Injekteringstryck [MPa]	Vald geltid [min]	Effektiv inj tid [min]
SS0045B01	5	5	14	11
SS0045B02	6	5	14	11
SS0045A02	3	5	14	11
SS0045A01	4	5	14	11
SS0042A01	4	5	14	11
SS0042A03	2	5	14	11



Figur 4-4. Vy över injekteringshålen för kontrollskärmarna S2C och S2CC. I tabellerna kan längderna på borrhålen utläsas.

Efter ominjekteringen av de läckande borrhålen kunde kontrollskärmarna S2C och S2CC injekteras. Injekteringen utfördes enligt basdesignen med geltiden 36 minuter. Flera samband mellan borrhål och ytläckage noterades så injekteringsdesignen kunde inte hållas, se bilaga C. Resultaten från de hydrauliska testerna och injekteringen i omgång 2 återfinns i tabell 4-6 och tabell 4-7.

Tabell 4-6. Inflöde och tryck, omgång 2.

	Antal borrhål	Medelvärde inflöde [l/min]	Medianvärde inflöde [l/min]	Största inflöde [l/min]	Största mätta grundvattentryck [MPa]
S2A	12	0,1	0,0136	0,47	0,6
S2B	12	0,1	0,0001	1,43	2,6
S2C	13	0,05	0,0001	0,52	1,1
S2CC	13	0,009	0,0001	0,06	0,8

Tabell 4-7. Injekttering, omgång 2.

	Antal injekterade med silica sol	Använda geltider [min]	Effektiv injekterad volym [liter]	Kommentar
S2A	12	36	372	5 st samband i berg och borrhål
S2B	12	19, 36	803	2 samband med förinjekteringskärm 2
S2C	13	36	392	Samband med S2B, slag i sektion 43, obshål 3 samt sektion 48 m
S2CC	13	36	174	Samband med S2A samt slag i EDZ-sektion 40 m
Summa			1714 liter	

Genomgång av sulhålén

Ytterligare en genomgång av sulhålén gjordes och inga läckande borrhål kunde noteras.

4.1.2 Resultat – sulán

Förändrad genomsläplighet

I syfte att åskådliggöra tätningseffekten plottades de mätta inflödena i hålen som kumulativa fördelningar för respektive omgång före injekttering, och log-normalfördelningar anpassades till värdena i injektteringsskärmarna och kontrollskärmarna.

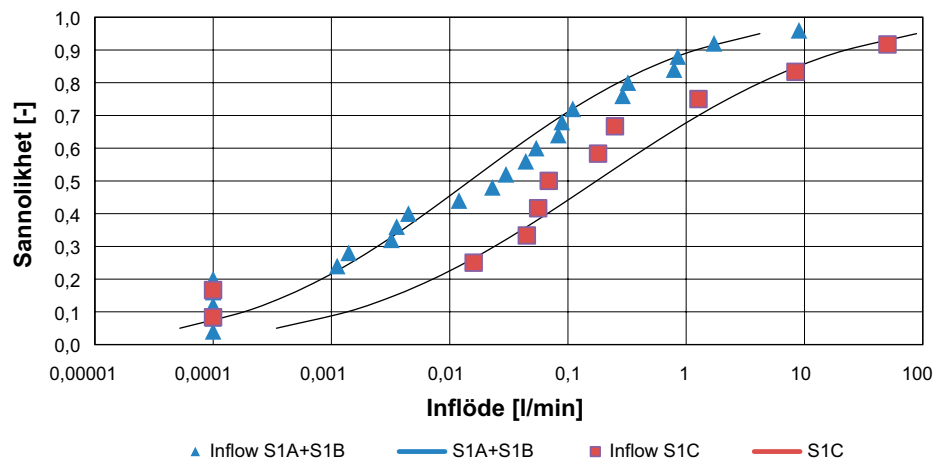
Omgång 1

Hålen i skärm S1A och S1B utgjorde den första injektteringsomgången och hålen i kontrollskärmen S1C utgjorde kontroll för injektteringsskärmarna. De kumulativa inflödena redovisas i figur 4-5. Transmissiviteten i varje omgång uttryckt som medianvärde, baserat på medianinflödet från diagrammet ($p = 0,5$) redovisas i tabell 4-8.

Som figuren visar så var flödet större efter första injektteringsomgången. Kontrollskärmens medianinflöde var högre än injektteringsskärmarnas medianinflöde.

Tabell 4-8. Beräknad mediantransmissivitet för omgång 1, utifrån log-normalkurvorna. Grundvattentryck = 3,5 MPa.

Skärm	Medianinflöde [l/min]	Beräknad mediantransmissivitet ($T = Q/dh$) [m^2/s]
S1A + S1B	0,015	$7,0 \times 10^{-10}$
S1C	0,04	$4,1 \times 10^{-9}$



Figur 4-5. Inflöden och anpassade log-normalfördelningar för omgång 1.

Mediantransmissiviteterna mellan injekteringskärmarna och kontrollskärmarna visar ingen injekteringseffekt eller sämre.

Trycken i observationshålen (obshål) avlästes efter att kontrollhålsomgången, S1C var injekterad. I tabell 4-9 redovisas tryckförändringen i observationshålen jämfört med trycken innan start av injekteringen.

Tabell 4-9. Grundvattentryck, i observationshål under injekteringen av omgång 1.

	Borrhålsnummer	Borrat i sektion [m]	Uppmätt tryck [MPa]			
			Före S1C	Efter S1C	Före S2C	Efter S2C
Obshål 1	SS0007B01	7	–	–		
Obshål 2	SS0034A01	34	–	–		
Obshål 3	SS0040A01	40	2,2	2,6		

Varken i obshål 1 eller 2 kunde ett vattentryck mätas; trycket var antagligen för lågt. I obshål 3, borrat från sektion 40 m kunde en tryckökning mätas, från 2,2 MPa innan skärm S1C injekterades till 2,6 MPa då skärmen var injekterad.

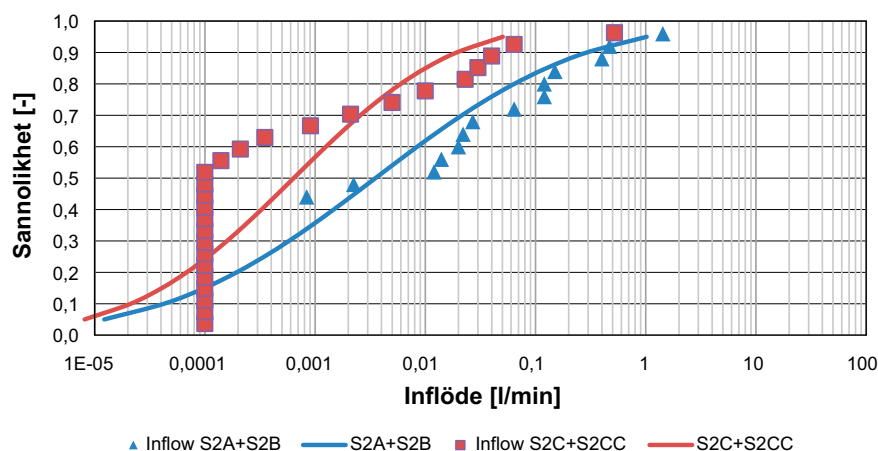
Omgång 2

Hålen i skärm S2A och S2B utgjorde en första injekteringsomgång där hålen i kontrollskärmarna S2C och S2CC utgjorde kontroll för injekteringskärmarna. De kumulativa inflödena redovisas i figur 4-6. Transmissiviteten i varje omgång uttryckt som medianvärde, baserat på medianinflödet från diagrammet ($p = 0,5$) redovisas i tabell 4-10.

Som förväntat var flödet för dessa skärmar mindre i kontrollskärmarna än i ordinarie injekteringskärmarna. Medianinflödet sjönk från 0,004 till 0,001 l/min

Tabell 4-10. Beräknad mediantransmissivitet för omgång 1, utifrån log-normalkurvorna. Grundvattentryck = 3,5 MPa.

Skärm	Medianinflöde [l/min]	Beräknad mediantransmissivitet ($T = Q/dh$) [m^2/s]
S2A + S2B	0,004	$1,7 \times 10^{-10}$
S2C + S2CC	0,001	$3,0 \times 10^{-11}$



Figur 4-6. Inflöden och anpassade log-normalfördelningar för omgång 1. Mätgräns 0,0001 l/min.

Mediantransmissiviteterna mellan injekteringskärmarna och kontrollkärmarna visar att en injekteringseffekt har uppnåtts.

Trycken i observationshålen avlästes efter att kontrollhålsomgången, S1C var injekterad. I tabell 4-11 redovisas tryckförändringen i observationshålen före- respektive efter injektering.

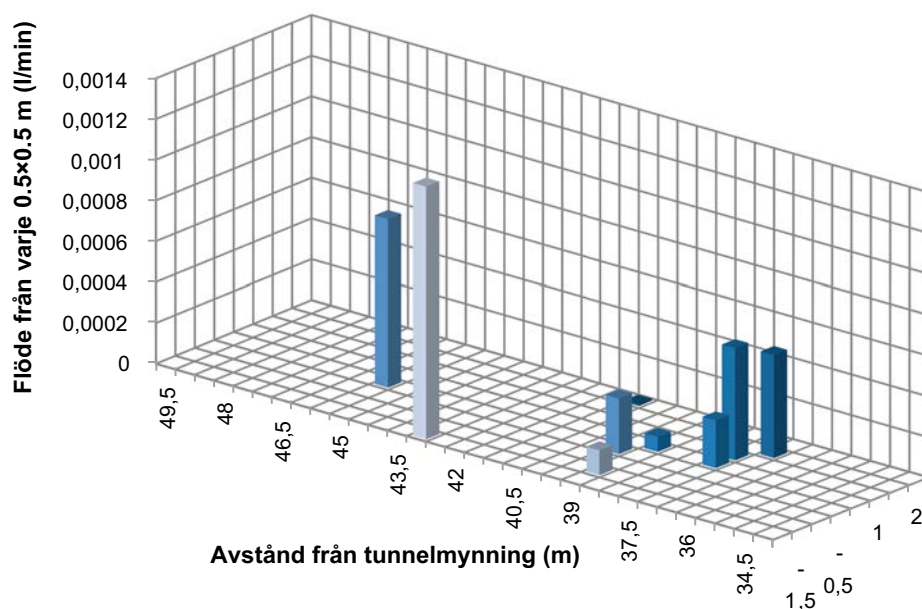
Tabell 4-11. Grundvattentryck, i observationshål under injekteringen av omgång 2 med omgång 1:s resultat som jämförelse.

	Borrhålsnummer	Borrad i sektion [m]	Uppmätt tryck [MPa]			
			Före S1C	Efter S1C	Före S2C	Efter S2C
Obshål 1	SS0007B01	7	–	–	2,2	2,2
Obshål 2	SS0034A01	34	–	–	0,1	0,1
Obshål 3	SS0040A01	40	2,2	2,6	silica sol	2,4

I obshål 1 och 2 kunde ett vattentryck mätas men visar på oförändrade tryck. I obshål 3, var hålet fyllt med silica sol innan skärm S2C injekterades. Åtgärder gjordes (rensning och spolning) för att erhålla en tryckmätning efter att skärm S2C injekterats och mättes upp till 2,4 MPa – en sänkning från tidigare mätning. Även i detta fall kan sägas att efterinjekteringen påverkar omgivande bergmassa och inte enbart injekteringshålen.

Droppkaraktisering

Efter att sulan var injekterad utfördes en karakterisering av dropp från taket. Denna mätning syftade till att påvisa effekten av injekteringen på sulan. Mätningen utfördes den 22–23 April, 2009. Resultatet åskådliggörs med läge och storlek på droppen i figur 4-7. I tabell 4-12, redovisas resultaten tillsammans med tidigare utförda droppkaraktiseringar innan efterinjekteringen påbörjades.



Figur 4-7. Inflöden från taket i sektion 34–50 m i TASS tunneln. Mätning utförd den 23 april 2009. Varje ruta motsvarar 0,5 × 0,5 m och läget i taket motsvarar en plan projektion av takytan.

Tabell 4-12. Resultat av droppkaraktärisering mellan sektion 34 m och 50 m, mellan mätvall 2 och 3.

Grupp	Kategori	Flöde [l/min] Okt, 2008	Flöde [l/min] Feb, 2009	Flöde [l/min] Apr, 2009
D1	Fukt	0.00015	0.00028	0.00018
D2	Fukt med sporadiskt dropp	0.0043	0.00239	0.00273
D3	Kontinuerligt dropp	0.0012	0.0012	0
D4	Flödande	0	0	0
Total		0.0057	0.0039	0.0029

Droppkaraktäriseringen visar på litet antal droppställen samt en minskning av totalflödet. Flödet 0,0057 l/min, mättes i oktober 2008 efter att förinjekteringen i skärm 4 och 5 var genomförd och utsprängd. Stoffen låg på 64 m, påslag för skärm 6. Ytterligare mätning utförd före starten av efterinjekteringen visade ett totalflöde på 0,0039 l/min och efter att hela sulan var injekterad, 0,0029 l/min. Minskningen med 0,001 l/min efter att sulan och halva väggen var injekterad kan vara inom mätosäkerhetens gränser eller att tunnelns relativa fuktighet har en inverkan på flödet.

Inflöde i mätvall

Efterinjekteringen påbörjades i mars 2009 och avslutades i juni 2009. Flödet i mätvallar har mätts före, under och efter efterinjekteringen.

De mätvallar som avgränsade efterinjekteringssträckan var mätvallen vid sektion 33 m och 50 m. En del sulinjekteringshål samt även taksjärmar sträckte sig förbi efterinjekteringssektionen. Trots detta får man anse att resultatet i form av uppnått inläckage från efterinjekteringen kan observeras i mätvallen vid sektion 33 m (kallad mätvall 2).

Det uppmätta inläckaget till efterinjekteringssektionen före påbörjan av arbetet var 0,8 l/min. Efter det att hela sulan var injekterad, 4 skärmar + 3 kontrollskärmar hade flödet stigit till 1,8 l/min (se tabell 4-13). Under denna tid var flödet stabilt i både mätvall vid sektion 10 m och sektion 50 m.

Flödena ansågs som stabila och arbetet med takinjektering kunde påbörjas.

Tabell 4-13. Uppmätt inläckage i mätvall 2, sektion 33 m (MS0033G01). Inflödet från mars är inkluderat som jämförelse.

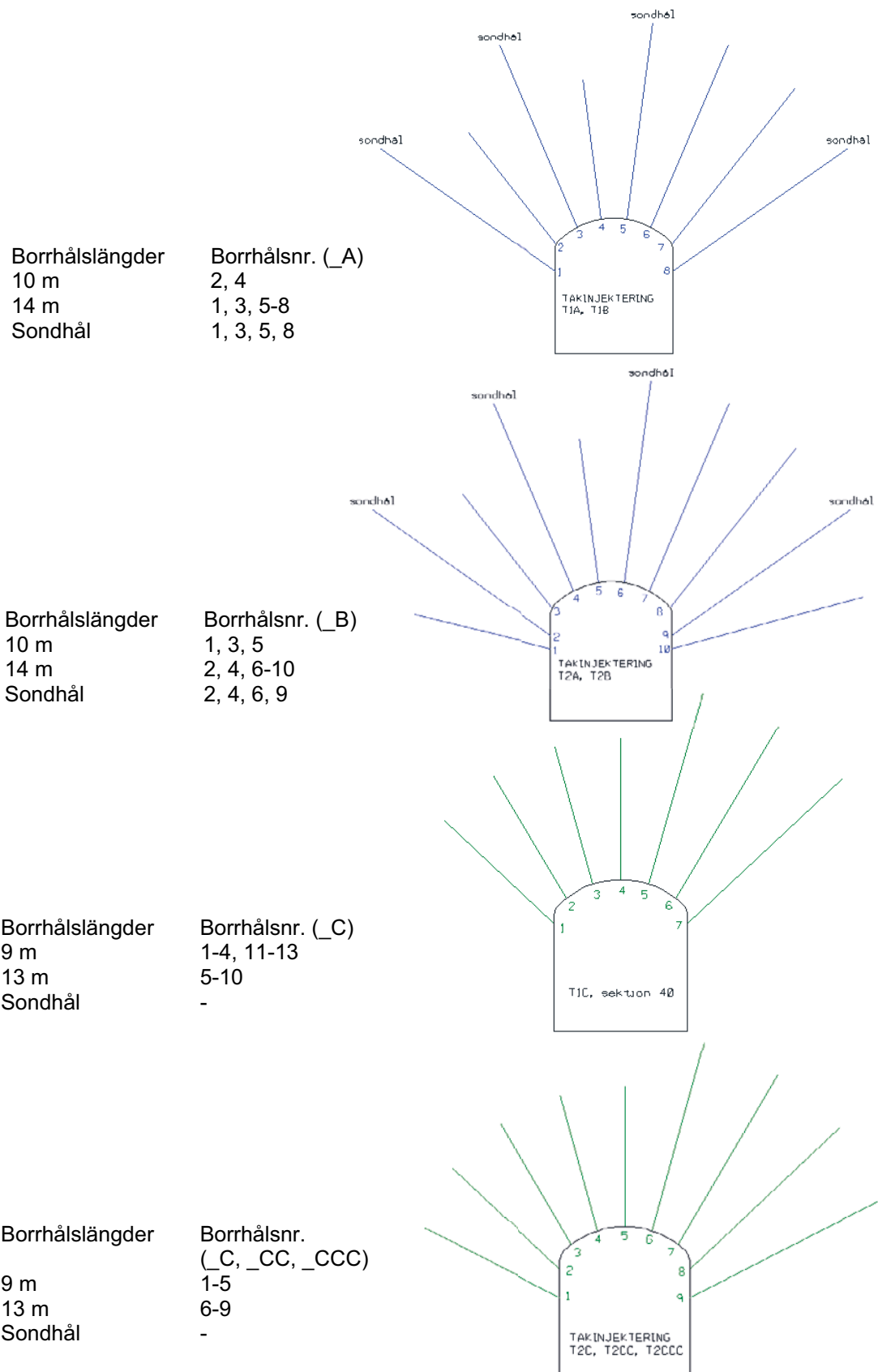
Innan uppborring av S1A 2009-03-02	Efter injekteringen av sulan 2009-04-24
0,8 l/min	1,8 l/min

4.2 Arbetsetapp 1 – taket

4.2.1 Design o genomförande

Takinjekteringen bestod av totalt 4 ordinarie taksjärmar och 5 kontrollskärmar fördelade på 2 omgångar; omgång 3 bestående av 2 taksjärmar, T1A och T1B med en mellanliggande kontrollskärm T1C, omgång 4, också bestående av 2 taksjärmar, T2A och T2B men med fler kontrollskärmar, T2C, T2CC och T2CCC. Alla resultat från arbetsetappen i tunneltaket visas i bilaga B. Genomförandet kan där utläsas i kronologisk ordning och inkluderar även sonderingshålens hydrotester.

På samma sätt som för sulan startades injekteringsomgången med att borra sonderingshål. Mätningar från sonderingshålen visade låga tryck, som minst 0,2 MPa utan tydlig tryckstabilisering för olika djup på manschett. Det valdes att behålla manschettläget på 4 m även för taksjärmar i de två första omgångarna. Skärmgeometrierna för taksjärmar visas i figur 4-8.



Figur 4-8. Vy över injekteringshålerna för taksskärmarna. I tabellerna kan längderna på borrhålen utläsas.

Omgång 3

Injekteringsskärm T1A och T1B

I omgång 3 borrades 8 borrhål i vardera skärmen, T1A respektive T1B. Det största inflöde som påträffades i skärm T1A var 0,18 l/min med ett vattentryck på 0,7 MPa. Det största flödet och trycket i skärm T1B var 0,03 l/min respektive 0,1 MPa. Vattenförlusten gav också små flöden men ett samband med flera borrhål i skärm T1B samt förinjekteringsskärm 3 kunde noteras. För injekteringen och observationer under pågående injektering hänvisas till bilaga C.

Kontrollskärm T1C

Kontrollskärmen bestod av 7 borrhål placerade mitt emellan de två tidigare skärmarna (T1A och T1B). På samma sätt som tidigare borrades kontrollskärmen efter att T1A och T1B injekterats klart. Borrhålen var 1 meter kortare men med samma manschettplacering som injekteringsskärmen, dvs 4 meter in i hålen.

Det största inflöde som påträffades, 0,02 l/min, var i borrhål 7C. Det största vattentrycket var i ett närliggande hål och mättes till 0,1 MPa. Vattenförlusten visade på mycket små inflöden och inga samband noterades.

Injektering utfördes med silica sol enligt basdesign. Enbart ett hål 7C tog en nämnvärd mängd silica sol, 81 liter i effektiv volym. Den totala effektiva injekteringsvolym blev 216 liter.

Resultaten från de hydrauliska testerna och injekteringen återfinns i tabell 4-14 och tabell 4-15.

Tabell 4-14. Inflöde och tryck, omgång 3.

	Antal borrhål	Medelvärde inflöde [l/min]	Medianvärde inflöde [l/min]	Största inflöde [l/min]	Största mätta grundvattentryck [MPa]
T1A	8	0,035	0,014	0,180	0,7
T1B	8	0,005	0,0001	0,029	0,1
T1C	7	0,006	0,0001	0,023	0,1

Tabell 4-15. Injektering, omgång 3.

	Antal injekterade med silica sol	Använda geltider [min]	Effektiv injekterad volym [liter]	Kommentar
T1A	8	36	402	Samband med förinjekteringsskärm 3 samt med borrhål i omgången
T1B	8	36	189	Samband med förinjekteringsskärm 3
T1C	7	36	216	
Summa			807 liter	

Genomgång av sulhålen

Översynen visade inte på några läckande borrhål i taket. Tidigare översyn av T1A och T1B visade på tre läckande borrhål. Arbetet fortsatte med omgång fyra.

Omgång 4

Injekteringsskärm T2A och T2B

I omgång fyra borrades 10 borrhål i vardera skärmen. Det största inflöde som påträffades i T2A var 0,047 l/min med ett vattentryck på 0,05 MPa. Det största flödet och vattentrycket i T2B var på 0,04 l/min respektive 0,05 MPa. Vattenförlusten gav också små flöden. Totalt pumpades 308 liter silica sol som effektivt injekterad volym.

Injekteringen av T2B förlöpte enklare än T2A med enbart ett ytläckage förutom att en manschett inte var fullständigt tät vilket gjorde att trycket enbart nådde 5,5 MPa. Effektiv injekteringsvolym för skärm T2B blev 56 l, där hålet med stort ytläckage stod för den största volymen.

Kontrollskärmarna T2C, T2CC och T2CCC

Först borrades skärm T2C som hydraultestades och slutligen injekterades. Därefter borrades skärm T2CC och T2CCC som hydraultestades och slutligen injekterades. Kontrollskärmarna bestod av 9 borrhål vardera.

Det största inflöde som påträffades i skärm T2C var 0,02 l/min men vattentrycken var för små för att mätas. Vattenförlusten visade samma sak, mycket små inflöden och inga samband eller ytläckage.

Injektering utfördes med silica sol enligt basdesign. Den totala effektiva injekteringsvolymen för skärm T2C blev 72 l.

Efter injekteringen av T2C borrades T2CC och T2CCC upp och hydraultestades. Flödena liksom vattentrycket var knappt mätbara i T2CC. Den effektiva injekteringsvolymen för skärm T2CCC blev 78 l.

Resultaten från de hydrauliska testerna och injekteringen återfinns i tabell 4-16 och tabell 4-17.

Tabell 4-16. Inflöde och tryck, omgång 4.

	Antal borrhål	Medelvärde inflöde [l/min]	Medianvärde inflöde [l/min]	Största inflöde [l/min]	Största mätta grundvattentryck [MPa]
T2A	10	0,006	0,003	0,047	0,05
T2B	10	0,006	0,001	0,038	0,05
T2C	9	0,005	0,004	0,019	0,1
T2CC	9	0,001	0,000	0,005	0,1
T2CCC	9	0,020	0,003	0,130	22

Tabell 4-17. Injektering, omgång 4.

	Antal injekterade med silica sol	Använda geltider [min]	Effektiv injekterad volym [liter]	Kommentar
T2A	10	36	308	Läckage i flera slag/sprickor i vänster vägg
T2B	10	36	56	
T2C	9	36	72	
T2CC	9	14, 36	288	Stora ytläckage i sekt 32–40 m
T2CCC	9	36	78	
Summa			802 liter	

4.2.2 Resultat – taket

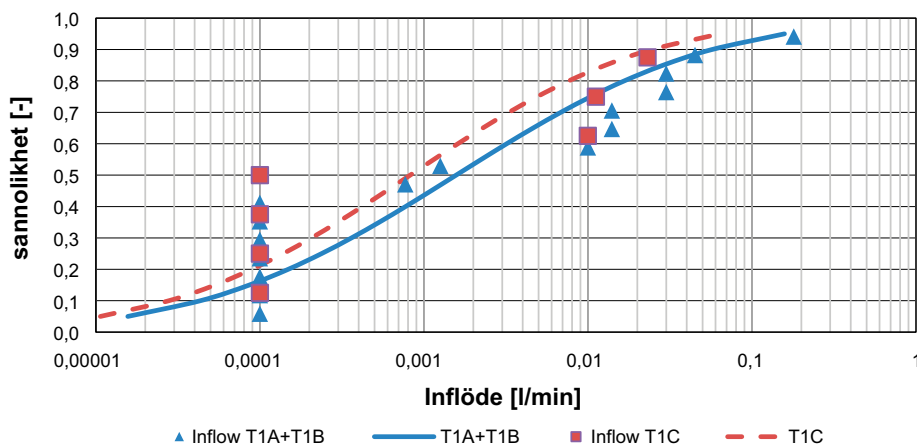
Förändrad genomsläpplighet

I syfte att åskådliggöra tätningseffekten plottades de mätta inflödena i hålen som kumulativa fördelningar för respektive omgång före injektering, och log-normalfördelningar anpassades till värdena injekteringsskärmarna och kontrollskärmarna.

Omgång 3

Hålen i skärm T1A och T1B utgjorde första injekteringsomgången och hålen i kontrollskärmen T1C utgjorde kontroll för injekteringsskärmarna. De kumulativa inflödena redovisas i figur 4-9. Transmissiviteten i varje omgång uttryckt som medianvärde, baserat på medianinflödet från diagrammet ($p = 0,5$) redovisas i tabell 4-18.

Som figuren visar så var inflödet, medianinflödet, mindre i kontrollskärmen än flödet i injekteringsomgången.



Figur 4-9. Inflöden och anpassade log-normalfördelningar för omgång 3.

Tabell 4-18. Beräknad mediantransmissivitet för omgång 3, utifrån log-normalkurvorna. Grundvattentryck 3,5 MPa.

Skärm	Medianinflöde [l/min]	Beräknad mediantransmissivitet (T = Q/dh) [m ² /s]
T1A + T1B	0,0016	7,5 × 10 ⁻¹¹
T1C	0,0008	3,9 × 10 ⁻¹¹

Mediantransmissiviteterna mellan injekteringsskärmarna och kontrollskärmarna visar enbart en liten injekteringseffekt.

Vattentrycken i observationshålen avlästes inte under takinjekteringen då flera samband noterats och det ansågs inte värt mödan att rensa ur borrhålen mellan omgångarna.

Omgång 4

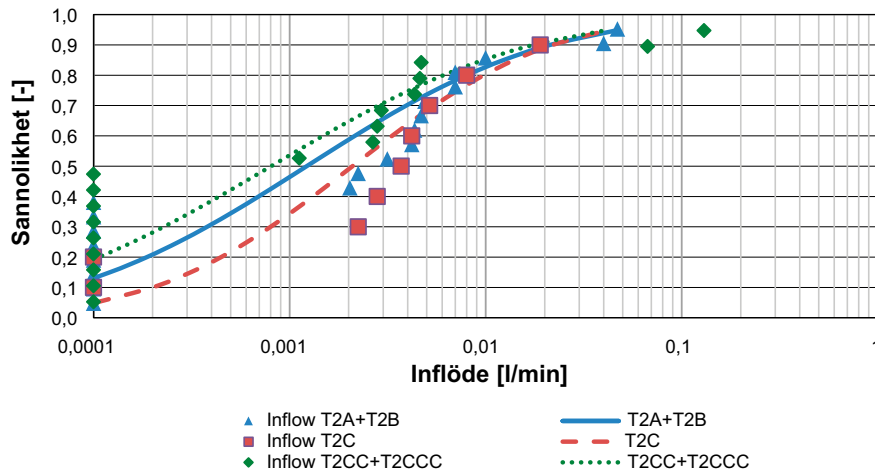
Hålen i skärm T2A och T2B utgjorde en första injekteringsomgång och hålen i kontrollskärmen T2C utgjorde en första mellanliggande kontroll. Hålen i skärm T2CC och T2CCC borrades och hydraultestades efter att hålen i skärm T2C injekterats och T2CC och T2CCC kan därför utgöra kontroll till skärm T2C. De kumulativa inflödena redovisas i figur 4-10. Transmissiviteten i varje omgång uttryckt som medianvärde, baserat på medianinflödet från diagrammet ($p = 0,5$) redovisas i tabell 4-19.

Som framgår av figuren var kontrollskärmen T2C:s flöde högre än för de ordinarie injekteringsskärmarna, T2A och T2B. De sista kontrollskärmarnas flöde visar på lägst inflöde, men inte markant (se tabell 4-19).

Mediantransmissiviteterna mellan injekteringsskärmarna och kontrollskärmarna visar ingen tydlig injekteringseffekt.

Tabell 4-19. Beräknad mediantransmissivitet för omgång 4, utifrån log-normalkurvorna. Grundvattentryck 3,5 MPa.

Skärm	Medianinflöde [l/min]	Beräknad mediantransmissivitet (T = Q/dh) [m ² /s]
T2A + T2B	0,0012	5,8 × 10 ⁻¹¹
T2C	0,0021	1,0 × 10 ⁻¹⁰
T2CC + T2CCC	0,0008	3,8 × 10 ⁻¹¹

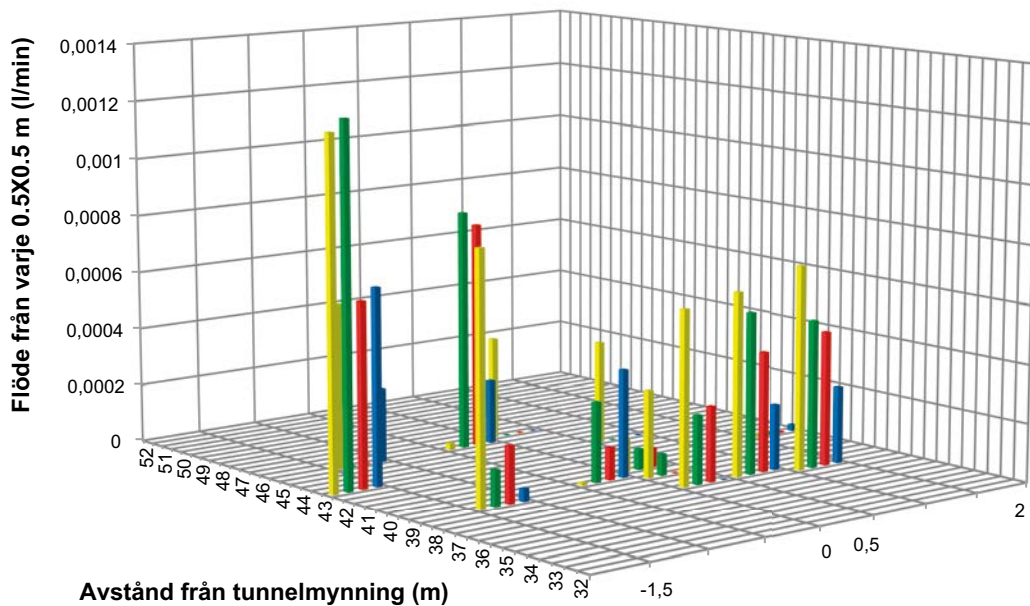


Figur 4-10. Inflöden och anpassade log-normalfördelningar för omgång 1. Mätgräns 0,0001 l/min.

Droppkaraktärisering

Efter att taket var injekterat utfördes en sista droppkaraktärisering av takdropp. Mätningen utfördes den 10 juni, 2009. Resultatet av samtliga mätningar över tunnelsektionen åskådliggörs med läge och storlek på droppen i figur 4-11.

I tabell 4-20 redovisas samtliga resultat avseende droppkaraktäriseringen som utfördes i samband med efterinjekteringen.



Figur 4-11. Inflöden från taket i sektion 34–50 m i TASS-tunneln mätt under fyra tidsperioder i samband med efterinjekteringen. Gula staplar = efter drivning till stuffläge 64 m, gröna = före efterinjekteringen, röda = efter sulinjektering och blå (juni, 2009) = efter takinjekteringen. Varje ruta motsvarar 0,5 × 0,5 m och läget i taket motsvarar en plan projektion av takytan där 0 är mitt i taket och exempelvis 2 motsvarar 2 m till höger i taket.

Tabell 4-20. Resultat av droppkaraktärisering mellan sektion 34 m och 50 m, mellan mätvall 2 och 3.

Grupp	Kategori	Flöde [l/min] Okt, 2008	Flöde [l/min] Feb, 2009	Flöde [l/min] Apr, 2009	Flöde [l/min] Juni, 2009
D1	Fukt	0.00015	0.00028	0.00018	0.0001
D2	Fukt med sporadiskt dropp	0.0043	0.00239	0.00273	0.0020
D3	Kontinuerligt dropp	0.0012	0.0012	0	0
D4	Flödande	0	0	0	0
Total		0.0057	0.0039	0.0029	0.0021

Droppkaraktäriseringen visade efter takinjekteringen att flödet ytterligare sjunkit något men det var i stort sett samma ställen som läckte. Det sammanlagda flödet från takdropp var efter takinjekteringen 0,0021 l/min.

Inflöde i mätvall

Flödet i mätvallarna har följts under hela drivningen av TASS-tunneln, se Funehag och Emmelin 2011). Inflödet i juni månad då takinjekteringen var utförd visas i tabell 4-21.

Tabell 4-21. Uppmätt inläckage i mätvall 2, sektion 33 m (MS0033G01) då takinjekteringen är utförd. Inflödet från mars och april är inkluderat som jämförelse.

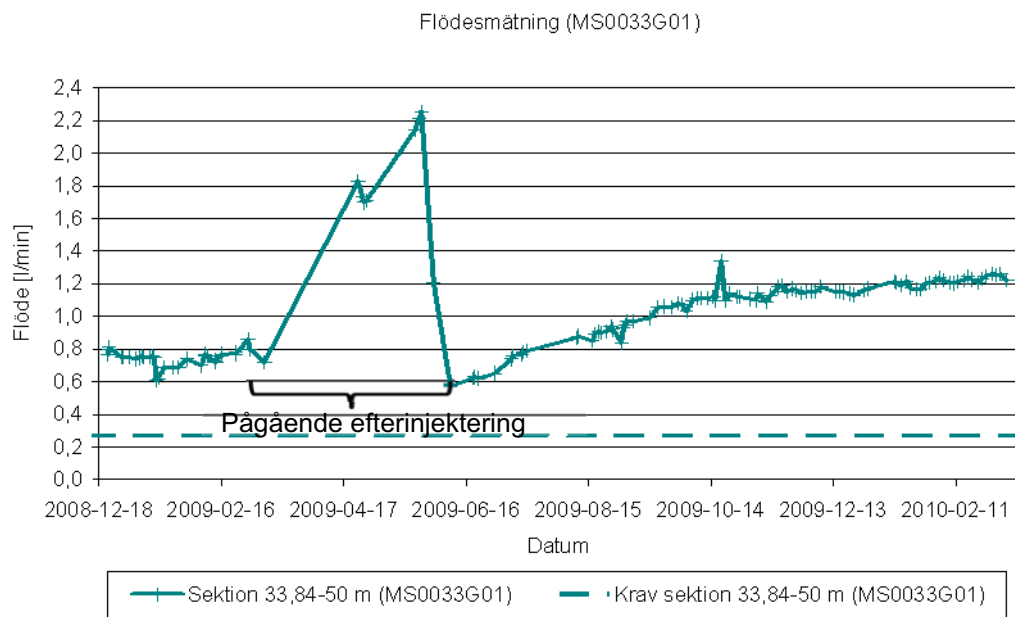
Innan uppborring av S1A 2009-03-02	Efter injekteringen av sulan 2009-04-24	Efter injektering av taket samt åtgärdat läckande hål, 2009-06-22
0,8 l/min	1,8 l/min	0,6 l/min

Det eftersträvade inläckagemålet på 0,6 l/min uppnåddes i juni, 2009. Målet med efterinjekteringen var därmed uppnått och efterinjekteringsarbetet avslutades.

4.3 Resultat från mätvallsflödena efter avslutad efterinjektering

Efterinjekteringen ansågs i juni 2009 ha uppnått inläckagemålet. Inflödet i mätvallarna skulle följas upp ytterligare en period. Under sommaren 2009 noterades att flödet i mätvallarna hade ökat och diskussioner fördes om tänkbara orsaker till det ökade flödet. Arbetet med att förstå det ökade inläckaget är inte klarlagt inom detta arbete. Inläckaget för sektionen 33–50 m mätt i mätvall nr 2 för perioden december 2008 till mars 2010 visas i figur 4-12. .

Enligt figur 4-12 stiger inläckaget i sektionen under efterinjekteringen. Det stiger ända tills de sista skärmarna injekterats, inklusive obshål 3. Efter att obs hål 3 injekterats nås inläckagemålet på 0,6 l/min. De fortsatta mätningarna av inläckaget uppvisar en stigande trend, se figur 4-12. I oktober 2009 var inläckaget mätt i mätvall 2, 1,1 l/min.. Troliga orsaker tas upp översiktligt i diskussionen i kapitel 5.



Figur 4-12. Inläckage mätt i mätvall vid sektion 33 m.

5 Diskussion

5.1 Tätheten

Inläckaget till tunnelsektionen, före efterinjekteringen, var 0,8 l/min. Målet med efterinjekteringen var att reducera inläckaget till 0,6 l/min. Att tätta ett litet inläckage till ett ännu mindre ansågs svårt från början men bedömdes vara värt att pröva. Efterinjekteringen planerades för att förbättra tätningen av den tidigare förinjekteringen och designkravet sattes till att tätta sprickvidder ner till 10 µm. De dimensionerande inträngningslängderna och önskvärt överlapp nåddes inte alltid. Detta gällde för både mellan borrhålen i en skärm och mellan skärmarna.

Under efterinjekteringen noterades flera läckande borrhål trots att de injekterats. Flera av dem ominjekterades tre gånger utan att bli täta. Spår sågades upp i väggen för att fånga upp väggflöden. I tidigare tabell 2-4 redovisades flödena mätta i dessa spår samt ur EDZ-hålen under perioden januari–februari 2009, innan efterinjekteringen påbörjades. Under hela 2009 mättes flödena ungefär varje månad och i figur 5-1 kompletteras tabell 2-4 med mätningarna under och efter efterinjekteringen. Observera att de redovisade värdena är samma mätpunkter under hela mätserien. En ytterligare mätpunkt noterades efter efterinjektering den 3 september 2009 där ett nytt sågspår gjordes för att fånga upp ytläckage och läckage från borrhål. Flödet från mätpunkten varierade från 0,15 l/min till 0,25 l/min

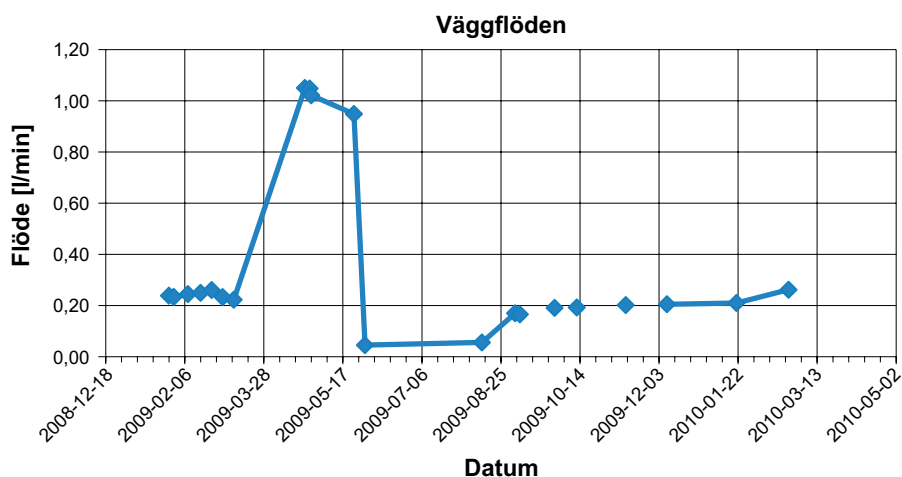
Under efterinjekteringen var väggflödena som störst ca 1 l/min. Direkt efter avslutad efterinjektering minskade de till ca 0,05 l/min, för att sedan öka något och stabiliseras vid ett flöde på ca 0,2 l/min i slutet av 2009. De sista mätningarna gjordes under mars 2010. Väggflödena har således minskat vid jämförelse före efterinjekteringen och vid avslutet i juni 2009. I mars 2010 är dock väggflödena uppe i ett likvärdigt flöde som före efterinjekteringen.

Läckage från sulan har följts vid ett antal tillfällen. I tabell 5-1 visas vilka sprickslag och borrhål i sulan som läckt under vissa utvalda månader.

Det totala flödet som kunnat mätas från sulan är ca 0,7 l/min i augusti 2009, där de 13 läckande borrhålen står för den största andelen. I maj 2010 gjordes en kompletterande mätning och ytterligare 4 borrhål noterades läcka (med totalt 0,025 l/min). Det totala flödet i sulan uppgick till ca 1,1 l/min där 0,91 l/min kom från kända läckande borrhål.

Droppen från taket får anses som en ytterst liten andel av inläckaget i sektionen. Av de mätningar som har utförts kan konstateras att sulan läcker den största andelen av inläckaget, mätt i mätvallen – framför allt de läckande borrhålen i sulan.

I tabell 5-2 visas summariskt hur läckagen är fördelade i olika delar av sektionen.



Figur 5-1. Flödesmätningar i vägg, inklusive EDZ-borrhålen, i sektion 33–50 m.

Tabell 5-1. Flödesmätningar i sulan, sektion 33–50 m.

Borrhål (SS00xxxxx), läge					2009-08-12			2010-05-18			
Namn	Nr.	Secup [m]	Seclow [m]	Position	Tid [min]	Volym [ml]	Flöde [l/min]	Tid [min]	Volym [ml]	Flöde [l/min]	
48G12	8A				30	2600	0,087	14	1130	0,081	
48G11	9A				33	30	0,001	0	0	0,000	
48G10	10A				33	230	0,007	10	168	0,017	
48G09	11A				32	520	0,016	9	185	0,021	
48G08	12A							16	440	0,028	
		47	48,2	Höger					0	0,000	
		47	48,2	-2					0	0,000	
45G05	9C				33	800	0,024	10	280	0,028	
45G04	10C				31	7600	0,245	9	4840	0,538	
Påbröstning					32	1250	0,039	8	635	0,079	
45G01	13C	44,4	46		34	2200	0,065	21	1680	0,080	
		43,9	44,2		31	530	0,017	18	85	0,005	
		43	46					10	35	0,004	
		39	42		29	660	0,023	18	265	0,015	
38G02	12				32	250	0,008	15	295	0,020	
		38	42,2		31	1900	0,061	20	1140	0,057	
36G01	12A				30	950	0,032	18	530	0,029	
36G03	10A				28	50	0,002	32	56	0,002	
36G04	9A				28	250	0,009	22	355	0,016	
		36,5	36,5	Höger	31	580	0,019			0,000	
36G02	11A				30	370	0,012	20	480	0,024	
		36	38		33	970	0,029	20	740	0,037	
		36	35,5							0,026	
		36,3	36,4							0,012	
38G01	S2C13	39		Höger						0,021	
42G03	S1B11	42								0,002	
42G04	S1B10	42								0,002	
		Antal ställen					18				26
		Antal flödande borrhål					13				17
		Total borrhål					0,507				0,907
		Totalt					0,696				1,141

Tabell 5-2. Sammanställning av flödet för olika partier samt borrhål i sektion, 33–50 m.

	Sektion kontrollerad	Antal läckande	Totalt flöde	Största läckage	Största läckage och borrhål
Sulhål	Alla borrhål	17	0,91	0,54	Sekt 45 m 10C
Takhål	Alla borrhål	16	0,015	0,006	Sektion 49, S1A
Sula	Hela. 33–50	9 platser som ej är borrhål	0,23	0,06	Sektion 38–42 m
Sågade spår i vägg samt EDZ	Hela. 33–50	Höger vägg med EDZ läcker mest	0,085	0,02	EDZ borrhål sektion 40.

Inläckaget mätt i mätvallen i juni, 2010 var ca 1,25 l/min vilket är nästan exakt summan av alla delflöden (= 1,24 l/min) i tabell 5-2 ovan. Vid antagande att de läckande hålen i juni 2009 hade åtgärdats, borde inläckaget för sektionen varit 0,91 l/min lägre, eller ca 0,2–0,3 l/min. Tyvärr genomfördes ingen riktig åtgärd för att täta borrhålen i sulan utan enbart sporadiska försök vid upptäckt av läckage.

Som framgår av ovan kan man konstatera att de läckande borrhålen står för det mesta av inläckaget till sektionen. Det är alltså mycket viktigt att kontrollera tätheten i borrhålen efter att de injekterats.

Att projektet inte lyckades täta dem i efterhand är en fråga i sig och det tycks vara mycket svårt (ett antal försök gjordes).

Sedan sommaren 2009 har läckaget i de läckande borrhålen ökat. Den största delen av flödesökningen i mätvallen kan härröras till dessa totalt 17 läckande borrhål i sulan. Om läckaget beror på en pågående erosion av injekteringsmedel eller om injekteringsutförandet var fel från början är inte utrett inom ramen för detta arbete.

5.2 Möjliga orsaker till ökat läckage

Den observerade flödesökning i den efterinjekterad tunnelsektion har sedan den färdigställdes föranlett diskussioner. De möjliga orsaker som har diskuterats är:

1. Utförandet var inte tillräckligt bra; för långt avstånd mellan ordinarie injekterings-skärmar och kontrollskärmar som skulle ge en extra tätning men utsätts istället för en större risk för erosion då gradienten bör vara ännu högre mellan två efterinjekterings-skärmar. Ytterligare orsaker kan vara att manschetten sattes för långt in i borrhålet och lämnade de yttersta 4 meterna otätade. Manschettplaceringen sattes så långt in för att minska risken för erosion.
2. En grundvattentryckökning runt tunneln. Orsak till tryckökningen kunde vara efterinjekteringen i sig eller annan störning i området.
3. Erosion av silica sol; en utspädning av silica sol i injekteringsögonblicket skulle sänka hållfastheten på silica solen och leda till att silica solen eroderas.
4. Att fuktig luft skulle kondensera på väggarna och bidra till en flödesökning.

Utan att vara heltäckande i svaren och då en fullständig utredning inte har möjliggjorts i projektet kan följande summeras:

1. De erhållna resultaten mellan injekteringshål och kontrollhål, i form av inflödesförändring, visar enbart en liten tätningseffekt, eller ingen alls. Att beakta är att kontrollskärmarna var placerade mitt emellan ordinarie injekterings-skärmar där de också skulle utgöra en extra tätning. Designen, trots kompromisser, visade att inget överlapp mellan skärmarna kunde erhållas. Ett litet överlapp skulle åtgärdas med mellanliggande kontrollskärmar. Det som inte togs med i bedömningen var att injektera mellan två injekterade skärmar borde innebära större gradienter och därmed också större risk för erosion. Att ominjektera borrhål har i detta projekt visat sig vara svårt och förmodligen beror det på att den hydrauliska gradienten ökat ytterligare. Kontrollskärmarna som injekterades kan sägas vara en form av ominjektering.
2. Att en grundvattentryckökning enskilt skulle kunna bidra till en flödesökning motsvarande nästan det dubbla är inte troligt, då trycket skulle behöva öka i motsvarande grad. Det har konstaterats att inte vara möjligt då ingen så stor tryckökning har noterats i Hydro Monitoring System (HMS).
5. En begränsad laboratoriestudie som utfördes på Chalmers (bilaga D), visade att en utspädning av silica solen ökar geltiden vilket var förväntat. Designen stipulerade att injekteringsstrycket skulle släppas (injekteringen avslutas) vid 4/5 av geltiden för att uppnå en tillräcklig hållfasthet. Resultaten av utspädningsstudierna visar att vid en utspädning så släpps injekteringsstrycket för tidigt i relation till uppnådd hållfasthet. Att utspädning har skett i borrhålen är däremot svårt att påvisa men samtliga hål har vakuumpumpats så långt det varit möjligt. I vissa borrhål lyckades inte vakuumpumpningen eftersom slangen ibland inte gick att föra ner till borrhålsbotten på grund av inrasat borrhål, för stort inflöde för att kunna vakuumpumpas och större sprickslag som gjorde att borrhålet står i kontakt med ytan vilket gör att inget vakuum kan bildas etc. Dock visar injekteringsprotokollen att i de kvarvarande läckande borrhålen hade vakuumpumpningen lyckats. Ytligt i borrhålen är gradienten större än de maximalt dimensionerande (60 m/m). Som tabell 2-1 visar så kan gradienten vara högre än 100 m/m med en manschettplacering på enbart 2 m in i borrhålet. I flera av de borrhål som läckt efter ordinarie injektering har de återinjekterats åtskilliga gånger och då med manschetten mer ytligt. Risken för erosion är således påtaglig i dessa borrhål och kan vara orsaken till att borrhålen läcker.
6. Att luftutbytet mellan tunnluft och övriga luften skulle vara en kraftigt bidragande orsak till ökat flöde kan inte bekräftas.

5.3 Övriga observationer

Det mest påtagliga problemet under efterinjekteringen har varit de läckande borrhålen. Att tätta dessa borrhål har inte fungerat tillfredsställande. Nedan följer en sammanfattande redogörelse av arbetet med läckande borrhål.

Ordinarie injekteringen gjordes med manschetten instoppad 4 m in i hålet. Om ytläckage erhöles i hålet, dvs läckage mellan tunnelytan och 4 m in, injekterades/pluggades hålet ytligt. Manschetten sattes då in på 1 m djup i hålet som standard (om det var svårt att få fast manschetten eller väldigt uppsprucket berg sattes den in till 2 m djup). Injekteringstrycket sänktes från designtrycket 3,0 MPa till 1,5 MPa övertryck. Geltiden varierade från 14 min för några men 19 min för flertalet. I något av borrhålen har injekteringstiden varit lika lång som geltiden, annars gällde 4/5 av geltiden. Mätningen i maj 2010 visade att, av alla läckande borrhål i sulan, 33 borrhål läckte eller fuktade av totalt 89 genomgångna borrhål i både sula och tak. Fyra av de läckande hade pluggats med cementbruk och av dessa fyra så läcker fortfarande två. Det ena är observationshål 3 med ett flöde på 0,26 l/min. De övriga 29 borrhål som pluggats med silica sol läcker i medeltal 0,042 l/min med ett största flöde på 0,56 l/min för borrhål 10C i sulskärm S1C (det borrhål som tidigare var inrasat).

En möjlig förklaring är att vid injekteringen har hålet inte helt varit tömt på vatten. Då borrhålsvolymen är liten kan även en liten kvarvarande mängd vatten i borrhålet ha stor effekt på utspädningen. Detta då silica solen skall trycka ut borrhålsvätskan genom förmodligen en liten spricka vilket tar tid. När man plockade ut manschetterna ut borrhålen som läckte "rann" det ut en gegga av silica sol i åtminstone 4 av borrhålen. Detta tyder på utspädning. Trots att vakuumpumpen använts har inte allt vatten sannolikt kunnat tas bort. Även en liten vattenmängd påverkar hållfasthetsutvecklingen vid dessa vattentryck vilket inte var riktigt känt vid arbetet i tunneln. Tillsammans med denna okunskap och en viss "frustration" över att behöva plugga dessa hål om och om igen gjorde att en mindre mängd vatten i botten av hålen inte uppmärksammades.

Ett förslag utarbetades och provades i några borrhål för att kunna plugga läckande borrhål. Efter att silica solen stelnat, ca 1 timme, flyttas manschetten utåt i borrhålet till 1 m. Det eventuella inflödet och trycket mättes. Om borrhålet hade ett inflöde skulle borrhålet vakuumpumpas och om det då kunde iakttas att vatten sögs ut fungerade injekteringen. Om inte vatten sögs ut plockades manschetten ur och en våtdammsugare användes för att rensa hålet (suga upp silica ur hålet) ner till 4 m djup. Manschetten sattes tillbaka till 1 m djup och vakuumpumpen kopplades på (detta gjordes som en säkerhet för att få ur all luft). En förgelad stopsats (14 min geltid) blandades och injekterades med ett övertryck på max 5 bar. Om ytläckage ännu noterades slangfylldes hålet med cementbruk (typ "hålfyllnadsbruk") och eftertrycktes sedan med en manschett placerad nära hålmynning och ett övertryck på max 2 bar användes. Trycket hölls minst 10 minuter. Manschetten tas ut efter 1 timme och rengörs.

5.4 Vad borde göras bättre

Nedan följer punkter att beakta nästa gång en efterinjektering utförs på stora djup.

Följande gällande utförandet bör förbättras:

- Avståndet mellan injekteringsskärmar bör minska för att klara överlappet.
- Injektera med manschett nära hålmynning för att sedan borra upp hålet och injektera med manschett längre in.
- Inga kontrollskärmar mellan ordinarie injekteringsskärmar. Detta skapar en större risk för erosion eftersom gradienten sannolikt är högre.
- Ett högre injekteringstryck ger en större inträngningslängd med sannolikt bättre resultat. Att hitta möjliga åtgärder för att kunna öka trycket vore önskvärt. Vid ett högre injekteringstryck måste också beaktas risken med att öppna nya flödesvägar.

Materialutveckling:

- Utveckla en silica sol med en högre initiell viskositet, minskar risken för utspädning samt minskar ytläckage (spillet).
- Hitta förutsättningar för att injektera hela hålet samtidigt med en mer ytligt satt manschett (nära hålmynning), för att få det ytnära berget mera tätt. Detta förutsätter högre initiell viskositet samt att injekteringsmaterialet klarar erosion.

Risker:

- Höga injekteringstryck öppnar sprickor som eventuellt blir nya vattenledare in till tunneln.
- En tätning ger en högre gradient som kan göra det svårt att komplettera tidigare injektering.

6 Slutsats

6.1 Har målen uppnåtts?

Nedan följer en uppdelning enligt fintärningsprojektets övergripande mål och delmål.

1. Bekräftelse av silica sols användbarhet vid det vattentryck som är aktuellt för deponeringstunnlar i Kärnbränsleförvaret.

Efterinjekteringen har enbart utförts med silica sol. Cementbaserat bruk med lågt pH har enbart använts för pluggning av en del borrhål. Direkt efter att efterinjekteringen var utförd, inklusive åtgärdande av läckande borrhål, var inläckagemålet uppnått. De efterföljande inläckage-mätningarna visade på att inläckaget kontinuerligt ökade, till och med till ett inläckage större än före efterinjekteringen. Ökningen av inläckaget kan härröras till de läckande borrhålen. Det är således läckande borrhål som gör att efterinjekteringen inte har nått inläckagemålet. Orsaken till varför de läckande borrhålen uppstår är ej ännu klarlagt. Aktuellt vattentryck har legat på 3,0–3,5 MPa och de tätade sprickor har haft en hydraulisk sprickvidd på 10 till 150 µm.

2. Bekräfta att det på förvaringsdjup är möjligt att uppnå en täthet motsvarande ett maximalt inläckage på 1 l/min och 60 m tunnel med tillämpbara injekteringsmedel.

Efter förinjekteringen var det totala inläckaget till tunneln 1,5 l/min. Maximalt tillåtet inläckage för hela tunneln var 1,2 l/min (Funehag och Emmelin 2011). Den tunnelsektion som inte klarade det maximalt tillåtna inläckaget var sektion 34–50 m. I denna sektion har en dimensionering av injekteringen resulterat i en allt för kort inträngningslängd i sprickor med den dimensionerande minsta hydrauliska sprickvidden. Denna sektion efterinjekterades med målet att klara kravet på maximalt tillåtet inläckage för hela tunneln. Med den utförda efterinjekteringen blev inläckaget större och målet är ej uppnått gällande efterinjekteringen. En ofullständig förinjektering över en större sektion är svår att åtgärda med efterinjektering.

I. Bekräfta modeller för inträngning och att ökad täthet erhålls.

Modellerna för erosionspåverkan räckte inte ända fram. Mer behöver göras för att förstå påverkan av stora hydrauliska gradienter och risken för erosion. Inträngningsmodellerna stämmer; designen gav ett litet överlapp vilket också visades att så var fallet i och med kontrollskärmarnas ringa tätningseffekt.

II. Visa att täthet kan erhållas med injekteringsskärmar utanför konturen.

Detta delmål är satt för förinjekteringen.

III. Visa att täthet kan erhållas med injektering innanför konturen.

Detta delmål är satt för förinjekteringen

IV. Visa att efterinjektering ger ökad täthet.

Den utförda efterinjekteringen visar inte att en ökad täthet erhållits men tros bero på de läckande borrhålen. Med ett mer genomarbetat förfarande med kontroller och åtgärder för läckande borrhål kan utgången ha varit annorlunda.

V. Visa att dropp kan tätas bort.

Någon särskild dropptätning har ej blivit utförd i projektet. Droppkaraktiseringen under efterinjekteringen visar på att droppen från taket har minskat med närmare 50 %, från 3,9 ml/min till 2,1 ml/min. Efterinjekteringen har gjort att takdroppen har minskat.

VI. Identifiera gränserna för silica sols användbarhet vad gäller hydrauliska sprickvidder vid det grundvattenstryck som är aktuellt för deponeringstunnlar i slutförvaret.

En gräns på hydraulisk sprickvidd har ej identifierats i efterinjekteringen. En gräns har sannolikt med maximalt tillåten erosionsrisk och de data som erhållits från denna efterinjektering bör kunna utgöra en grund för denna betraktelse. För detta krävs vidare undersökningar gällande mekanisk hållfasthet kopplat till rheologiska egenskaper på silica sol. Den ytliga injekteringen som gjordes i de läckande borrhålen utgjordes av både silica sol och cementbruk. Inte något av dessa injekteringsmaterial kunde skapa en ”tät” borrhålsplugg. Att lyckas få ett tätt borrhål beror sannolikt inte enbart på typen av injekteringsmaterial; utförandet har en stor roll och måste beaktas samt utredas vidare.

VII. Identifiera de särskilda krav på genomförande och utrustning som krävs för att silica sol ska vara användbart.

Utrustningen som användes vid efterinjekteringen togs fram under förinjekteringen. Inga förändringar gjordes specifikt för efterinjekteringen, förutom att manschetterna kunde göras ”enklare”, i och med att injekteringsstrycket var maximalt 7 MPa (jämfört med en tryckklass på 25 MPa i förinjekteringen).

VIII. Vinna övriga erfarenheter, bl a om genomförande och handhavande, som krävs för ett kontrollerat och effektivt utförande.

Arbets sättet som har använts ger kvalitetssäkrade data även i efterinjekteringen. På samma sätt som för förinjekteringen så kan resultaten för varje injekterings skärm följas och uppdateringar utföras. Målet var att skapa underlag för förståelse för injekteringsprocessen och i förlängningen ge möjlighet för optimering och effektivisering i verklig produktion.

Att kontrollera borrhålen innan efterinjekteringen visade sig vara av yttersta vikt under arbetet. Detta har gett en stor datamängd som kan ge förståelse om varför inläckaget ökat. Frågor om både erosion och genomförande kan belysas med hjälp av detta.

6.2 Rekommendationer för fortsatt arbete

Produktionsanpassning

Efterinjekteringen liksom förinjekteringen syftade till att få fram kvalitetssäkrade data gällande resultat och utförande. En optimering avseende tid har inte prioriterats i fintättningsprojektet. För efterinjekteringen valdes ändå att inte borra fler skärmar och tätare mellan dem för att hålla projektet inom en rimlig tid. Det skall sägas att med ett litet inläckage som det var innan efterinjekteringen samt ett designkrav på att täta sprickvidder ner till 10µm krävs det många borrhål för att sänka inläckaget ytterligare. Det kontrollerade arbets sättet kan också ha varit en bidragande orsak till att inläckaget ökat i och med att kontrollhålen injekterades i en troligtvis högre gradient med större risk för erosion. En bättre anpassning mot metodiken kring efterinjekteringsdesign vore att borra och injektera en skärm åt gången. Detta kräver dock ett längre genomförande samt en mindre möjlighet för kontrollerande borrhål.

Manschetter, vakuumpump, säkerhetsmässiga aspekter

Manschetternas tryckklass anpassades mot vilket maximalt tryck som kunde vara acceptabelt eller önskvärt. En försiktig approach antogs i arbetet med efterinjekteringen där de högsta trycken sattes till 7 MPa i totaltryck, eller 8 MPa som test under vattenförlustmätningen. Manschetterna sattes också långt in i borrhålet vilket minskade risken ytterligare för blockutfall.

Efterinjektering som enda åtgärd?

Med erhållna resultat blir det än mer tydligt att efterinjektering som den enda åtgärden mot för höga inläckage i tunnlar på stort djup inte är lämpligt. Att en misslyckad förinjektering skall kunna repareras med efterinjektering förefaller inte som en bra metod. Jacking, alltså utvidgning av sprickvidder och dess påverkan på inläckaget behöver utredas och analyseras. Data samlad från TASS utgör en

bra grund för att fortsätta studier av detta. Att veta om en efterinjektering skulle potentiellt vidga vissa spricksystem och genom detta ge ett ökat inläckage till tunneln kan ge värdefull information till design samt grundläggande val om efterinjektering är en framkomlig väg eller ej.

Att nå en robust injekteringsdesign baserat på erosionsrisk

Det är klarlagt att för TASS-tunneln att det finns en stor erosionsrisk. Detta beror på de höga grundvattengradienterna. Att förstå verkan av grundvattengradienter kräver fortsatta utredningar och utgör en stomme för en robust injekteringsdesign för tunnlar på stora djup. Både injekteringsmaterialet, utförandet samt bergkarakteristiken behöver analyseras avseende hållfasthet, borrhålslängder och antal samt grundvattengradienter.

Referenser

Publikationer utgivna av SKB (Svensk Kärnbränslehantering AB) kan hämtas på www.skb.se/publikationer.

Axelsson M, 2009. Prevention of erosion of fresh grout in hard rock. Doktorsavh. Chalmers tekniska högskola.

Funehag J, Emmelin A, 2011. Injekteringen av TASS-tunneln. Design, genomförande och resultat från förinjekteringen. SKB R-10-39, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Funehag J, Gustafson G, 2008. Design of grouting with silica sol in hard rock – New design criteria tested in the field, Part II. Tunnelling and Underground Space Technology 23, 9–17.

Hardenby C, Sigurdsson O, 2010. Äspö Hard Rock Laboratory. The TASS-tunnel, Geological mapping. SKB R-10-35, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Olsson M, Markström I, Pettersson A, Sträng M, 2009. Examination of the Excavation Damaged Zone in the TASS tunnel, Äspö HRL. SKB R-09-39, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Hydrotester, injektering och injektering av sulan Tryckmätning i obshål under efterinjekteringen

	Borrhåls ID	Sektion borrarad	Borrhålslängd	Manschettplacering
Obshål 1	SS0007B01	7		
Obshål 2	SS0034A01	34		
Obshål 3	SS0040A01	40		

Borrhålsdata		Tryckmätning							Kommentarer
Borrhål ID	Obshålnummer	Tryck [bar]	Tryck [bar]	Tryck [bar]	Tryck [bar]	Tryck	Tryck	Tryck	
[-]	[nr]	S1C	S1C	S2C	S2C	[]	[]	[]	
SS0007B01	1			22	22				
SS0034A01	2			1	1				
SS0040A01	3	22	26	sol	24				
Innan eller efter injektering av skärm		innan	efter	innan	efter				

Inflöde och grundvattentryck med manschett för sektionssvisa mätningar

(närliggande manschetter hålls stängda under tester)

Datum: 09-03-12 Vattentemp 13,3 °C
 Tid: 10:00

Borrhålsdata				Uppmätt data				Kommentarer
Borrhål ID	Sondhålsnummer	Mätsektion (meter in i borrhål)	Grundvattentryck i sektion	Inflöde i sektion	Grundvattentryck innanför sektion	Inflöde innanför sektion		
[-]	[nr]	Från [m] Till [m]	[bar]	[ml/min]	[bar]	[ml/min]		
SS0048G07	1	6 7	0,1	0,0001	26	220		
SS0048G07	1	6,5 7,5	2	2,5	26	220		
SS0048A10	2	6 7	4	0,42	26	110		
SS0048B07	3	3 4	0,1	0,0001	20	95		
SS0048B07	3	4 5	0,1	0,0001	20	107		
SS0048B07	3	4,4 5,5	20	108	0,1	0,0001		
SS0048B09	4	5 6	0,1	0,0001	0,1	0,0001		
SS0048B09	4	4 5	18	82	0,1	0,0001		
SS0048B09	4	3 4	0,1	0,0001	16	93		
Antal	9	Max	20					

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:

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

En droppe antas vara 0,070 milliliter, när droppar räknats markeras det med:

Protokollförare: Henrik Svensson

Inflödes och tryckmätningar									
Skärm nr:	S1A och S1B		Sektion tunnel:		48 resp. 42		Verklig sektion (inmätt): 48.0, 41.8		
Datum:	09-03-24		Borrhåls diameter:		0,062 m				
Tid:	17:00		Mättid:		1 min				
Vattentemp:	11,3 °C		Antaget tryck:		35 bar				
Borrhåls-namn	Borrhåls-nummer	Borrhåls-längd [m]	Manschett-placering, grundplac	Tryck borrhål [bar]	Flödes-tid [min]	Volym en manch. öppen [liter]	Volym alla öppna [liter]	Kommentarer	
SS0048G07	1A	10	4	8	1	0,083	0,095		
SS0048A09	2A	10	4	4	1	0,012	0,018		
SS0048A10	3A	10	4	15	1	0,089	0,02		
SS0048A11	4A	10	4	19	1	0,054	0,037		
SS0048B07	5A	10	4	6	1	0,044	0,044		
SS0048B08	6A	14	4	5	1	0,0001	0,0001		1 m. Manschett, vid vfl flödar 7A
SS0048B09	7A	14	4	5	1	0,322	0,022		Ihopborrad med borrhål 6A
SS0048G12	8A	14	4	6	1	0,11	0,096		Ytligt läckage
SS0048G11	9A	14	4	0,1	1	0,03	0,021		Vid mätning med en manschett öppen i taget kom mycket vatten direkt när hålet öppnades men slutade sedan helt att rinna, vi väntade ytterligare 10 min men inget flöde.
SS0048G10	10A	14	4	4	1	1,72	1,8		
SS0048G09	11A	14	4	0,1	1	0,023	0,037		
SS0048G08	12A	14	4	0,1	1	0,0001	0,0001		
SS0042G01	1B	10	4	11	1	0,00448	0,00301		64 dropp Mindre ytläckage
SS0042A03	2B	10	4	34	1	9	8,6		Vid vfl läckage i slag vid sekt. 47 m, max tryck 60 bar
SS0042A02	3B	10	4	18	1	0,29	1,4		Ihopborrad med 4B, 1 m manschett
SS0042A01	4B	10	4	32	1	0,79	8,6		Ihopborrad med 3B, Vid vfl läckage i sklag vid sekt 47m. Max 55bar
SS0042B03	5B	10	4	0,1	1	0,00112	0,0007		16 dropp resp 10 dropp
SS0042B02	6B	14	4	0,1	1	0,0014	0,0001		20 dropp
SS0042B01	7B	14	4	2	1	0,85	0,083		
SS0042G06	8B	14	4	1	1	0,0001	0,0001		
SS0042G05	9B	14	4	0,1	1	0,00357	0,0001		51 dropp
SS0042G04	10B	14	4	2	1	0,00322	0,00378		46 dropp resp 54 dropp
SS0042G03	11B	14	4	1	1	0,0001	0,0001		
SS0042G02	12B	14	4	0,1	1	0,0001	0,0001		
Antal	24		Max	34	Summa	13,43129	20,88119		
En dropp antas vara 0,070 milliliter									
Vid mätt inflöde på 0 l/min eller tryck på 0 bar antas volymen vara 0,0001 l respektive 0,1 bar									
Protokollförare: Nils och Daniel									

VFL												
Skärm nr: S1A och S1B		Sektion tunnel: 48 resp. 42			Verklig sektion (inmätt): 48.0, 41.8							
Datum: 09-03-25		Borrhåls diameter: 0,062 m										
Tid: 17:00		Mättid										
Vattentemp: 11,3 °C		Injektionsöverttryck:										
Borrhåls-namn	Borrhåls-nummer	Borrhåls-längd [m]	Manschett grund-placering	Tryck borrhål [bar]	Injektions-tryck [bar]	Flödes-tid [min]	Volym under injektion [liter]	Vikt i blandaren [kg]	Kommentarer			
[-]	[nr]	[m]	[m]	[bar]	[bar]	[min]	[liter]	Före	Efter			
SS0048G07	1A	10	4	8	40	3	0,4	509,9	508,1			
SS0048A09	2A	10	4	4	40	3	0,2	475,7	475,0			
SS0048A10	3A	10	4	15	40	3	1	463,5	462,2			
SS0048A11	4A	10	4	19	40	3	1,1	449,7	448,1			
SS0048B07	5A	10	4	6	40	3	1,1	343,9	342,3			
SS0048B08	6A	14	4	5	40	3	0,0001	-	-	1 m. Manschett, vid vfl flödar 7A		
SS0048B09	7A	14	4	5	40	3	2	373,2	371,2	Ihopborrad med borrhål 6A		
SS0048G12	8A	14	4	6	40	3	0,6	411,4	410,8	Ytligt läckage		
SS0048G11	9A	14	4	0,1	40	3	0,9	418,4	417,5			
SS0048G10	10A	14	4	4	40	3	2,1	424,7	421,6			
SS0048G09	11A	14	4	0,1	40	3	1,8	430,4	428,2			
SS0048G08	12A	14	4	0,1	40	3	1	445,6	444,1			
SS0042G01	1B	10	4	11	40	3	0,4	197,3	196,9	Mindre ytläckage		
SS0042A03	2B	10	4	34	40	3	52	184,3	148,7	Vid vfl läckage i slag vid sekt. 47 m, max tryck 60 bar		
SS0042A02	3B	10	4	18	40	3	2,4	85,9	83,3	Ihopborrad med 3B. 1m manschett		
SS0042A01	4B	10	4	32	40	3	22	121,1	99,1	Ihopborrad med 2B. Vid vfl läckage i slag vid sekt 47 m. Max 55 bar		
SS0042B03	5B	10	4	0,1	40	3	0,2	291,7	291,5			
SS0042B02	6B	14	4	0,1	40	3	0,2	243,8	243,6			
SS0042B01	7B	14	4	2	40	3	2,3	236,5	234,2			
SS0042G06	8B	14	4	1	40	3	0,1	223,9	223,8			
SS0042G05	9B	14	4	0,1	40	3	0,4	220,1	219,7			
SS0042G04	10B	14	4	2	40	3	0,8	215,7	214,9			
SS0042G03	11B	14	4	1	40	3	0,4	309,0	208,6			
SS0042G02	12B	14	4	0,1	40	3	0,1	202,5	202,4			

Vid mätt inflöde på 0 l/min eller tryck på 0 bar antas volymen vara 0,0001 l respektive 0,1 bar

Protokollförfattare: Daniel, Nils

Skärm nr:	S1A och S1B	Sektion tunnel:	48 resp. 42	Verklig sektion (inmätt):	48.0, 41.8											
Datum:	09-03-26, 09-03-30	Antaget grv tryck:	35 bar													
Tid:	10:00	Brukstemp:	13,2 °C	Lufttemp:	13,5 °C											
Borrhålsdata		Valda injekteringsparametrar		Protokollföres under injektering												
Borrhåls-namn	Borrhåls-nummer	Borrhåls-längd	Manschetts-grund-placering	Ant. Grv tryck borrhål	Injektions-tryck	Vald gettid och ungerfärlig ratio	Effektiv inj tid	Antal satsar (1 sats ? 240 kg)	Inj. ordning	Manschet-placering, Verklig	Start inj	Stoppat vid fullgjord tid	Uppnått tryck efter start inj	Inj. volym	Gei tid	Kommentarer (samband, läckage, stoppat på annan tid, annan inj ordning)
[-]	[nr]	[m]	[m]	[bar]	[bar]	[min]	Ratio [X:Y]	[-]	[-]	[m]	[Tid]	[Ja/Nej]	[Tid]	[l]	[min]	
SS0048G07	1A	10	4	35	65	5,3:1	29	0,5	5	3,9	2,2 (2,4)	Ja	2,55 (2,35)	22 (10)	38 (37)	(Första inj.försöket) Rensas och orninjekteras pga. Låg volym.
SS0048A09	2A	10	4	35	65	5,3:1	29	0,5	7	3,9	3,30	Ja	3,43	29	37	Utläckage av Sol slag sekt. 43, 43,7
SS0048A10	3A	10	4	35	65	5,3:1	29	0,5	9	3,9	1,55	Ja	2,10	20	37	
SS0048A11	4A	10	4	35	65	5,3:1	29	0,5	10	3,9	2,37	Ja	3,18	26	37	Utläckage av Sol slag sekt. 43, 43,7
SS0048B07	5A	10	4	35	65	5,3:1	29	0,5	11	3,9	2,08	Ja	2,50	37	36	Ordningsbyte med nr: 6
SS0048B08	6A	14	4	35	50	6,6:1	58	1	12	1	2,30	Ja	2,50	20	72	Ordningsbyte med nr: 5. Hålen troligen fyllda med Sol. Inget resultat av avluftning - 0 Infböde. Samband med nr: 6.
SS0048B09	7A	14	4	35	65	5,4:1	29	1	8	3,9	3,00	Ja	3,39	38	37	
SS0048G12	8A	14	4	35	65	5,4:1	29	0,5	6	3,9	2,30	Ja	2,58	28	36	
SS0048G11	9A	14	4	35	65	5,4:1	29	0,5	4	3,9	1,55	Ja	2,22	28	36	
SS0048G10	10A	14	4	35	65	5,5:1	29	1	2	3,9	2,30	Ja	2,45	47	38	
SS0048G09	11A	14	4	35	65	5,5:1	29	1	1	3,9	3,10	Ja	4,00	34	38	
SS0048G08	12A	14	4	35	65	5,4:1	29	0,5	3	3,9	2,07	Ja	2,33	12	36	
SS0042G01	1B	10	4	35	65	5,3:1	29	1	5	3,9	1,50	Ja	2,15	22	37	
SS0042A03	2B	10	4	35	65	5,3:1	29	1	7	3,9	2,10	Nej	7,15	318	19	
SS0042A02	3B	10	4	35	50	6,6:1	52	1	9	1	2,30	Ja	2,57	28	72	Dubbelmanschett 1 m
SS0042A01	4B	10	4	35	65	5,3:1	29	1	10	3,9	2,00	Ja	3,70	134	36	
SS0042B03	5B	10	4	35	65	5,3:1	29	0,5	12	3,9	2,17	Ja	3,10	42	36	
SS0042B02	6B	14	4	35	65	5,3:1	29	0,5	11	3,9	1,53	Ja	2,38	43	36	
SS0042B01	7B	14	4	35	65	5,3:1	29	0,5	8	3,9	1,52	Ja	2,30	36	37	
SS0042G06	8B	14	4	35	65	5,3:1	29	0,5	6	3,9	2,10	Ja	2,50	34	36	
SS0042G05	9B	14	4	35	65	5,3:1	29	0,5	4	3,9	2,30	Ja	3,13	33	36	
SS0042G04	10B	14	4	35	65	5,3:1	29	0,5	2	3,9	2,09	Ja	2,53	29	37	
SS0042G03	11B	14	4	35	65	5,3:1	29	0,5	1	3,9	2,10	Ja	2,40	19	36	
SS0042G02	12B	14	4	35	65	5,3:1	29	0,5	3	3,9	1,50	Ja	2,12	23	36	
Silica sol	Om det bedöms att satsen kommer att ta slut innan den effektiva injekteringstiden är uppnådd skall en ny sats göras med 19 minuters gettid; vid ca 15 kg kvar i kärlet, sänks flödet till nästintill 0 och satsen blandas snabbt. Ny injekteringstiden blir 45 av 19 min = 15 min.															
Protokollförelse:	Lars, Daniel															

Inflödes- och tryckmätning									
Skärm nr:	S1C	Sektion tunnel: 45			Verklig sektion (inmätt): 44,9				
Datum:	2009-04-01	Borrhåls diameter:			0,062 m				
Tid:	08:00	Mättid:			1 min				
Vattentemp:	13 °C	Antaget tryck:			35 bar				
Borrhåls-namn	Borrhåls-nummer	Borrhåls-längd	Manschett-placering	Tryck borrhål	Flödes-tid	Volym en manch. öppen	Volym alla öppna	Kommentarer	
[-]	[nr]	[m]	[m]	[bar]	[min]	[liter]	[liter]		
SS0045A04	1C	9	5	8	1	0,25	0,22		
SS0045A03	2C	9	5	0,1	1	0,016	0,01		
SS0045A02	3C	9	5	11	1	0,056	0,043		
SS0045A01	4C	9	5	24	1	1,27	1,22		
SS0045B01	5C	13	5	35	1	8,4	0,59		
SS0045B02	6C	13	5	24	1	50,4	42	Måts 3 ggr. Ungefärligt medelvärde	
SS0045B03	7C	13	5	18	1	0,18	0,096		
SS0045B04	8C	13	5	10	1	0,069	0,028		
SS0045G05	9C	13	5	16	1	0,0001	0,007		
SS0045G04	10C	13						Ej manschetterad pga. Inrasat borrhål/sprucket	
SS0045G03	11C	9						Ej manschetterad pga. Inrasat borrhål/sprucket	
SS0045G02	12C	9	5	0,1	1	0,0001	0,0001		
SS0045G01	13C	9	5	24	1	0,045	0,037		
Antal	0		Max	35	Summa	60,6862	44,2511		
En droppe antas vara 0,070 milliliter									
Vid mätt inflöde på 0 l/min eller tryck på 0 bar antas volymen vara 0,0001 l respektive 0,1 bar									
Protokollförelse: Lars Bergström									

VFL											
Skärm nr: S1C		Sektion tunnel: 45				Verklig sektion (inmätt) 44,9					
Datum: 09-04-01		Borrhåls diameter:		0,062 m							
Tid: 08:00		Mättid		3 min							
Vattentemp: 12 °C		Injektionsövertryck:		5 bar							
Borrhåls-namn	Borrhåls-nummer	Borrhåls-längd	Manschett-placering, grundplac	Tryck borrhål	Injektions-tryck	Flödes-tid	Volym under injektion	Vikt i blandaren [kg]		Kommentarer	
[:]	[nr]	[m]	[m]	[bar]	[bar]	[min]	[liter]	Före	Efter		
SS0045A04	1C	9	5	8	45	3	0,5	465,3	463,8		
SS0045A03	2C	9	5	0,1	45	3	0,0001	422,3	422,3		
SS0045A02	3C	9	5	11	45	3	2,6	432,8	431,2		
SS0045A01	4C	9	5	24	45	3	1,1	417,1	415,3		
SS0045B01	5C	13	5	35	45	3	14	488,7	378,5	Troligen samband mellan hål 5 och 6.	
SS0045B02	6C	13	5	24	45	3	31	309,8	268,7	Troligen samband mellan hål 5 och 6.	
SS0045B03	7C	13	5	18	45	3	0,0001	233,7	233,7		
SS0045B04	8C	13	5	10	45	3	0,1	231,6	231,0		
SS0045G05	9C	13	5	16	45	3	0,0001	230,2	299,8		
SS0045G04	10C	13	5							Ej manschetterad pga. Inrasat borrhål/sprucket	
SS0045G03	11C	9	5							Ej manschetterad pga. Inrasat borrhål/sprucket	
SS0045G02	12C	9	5	0,1	45	3	0,0001	228,6	228,6		
SS0045G01	13C	9	5	24	45	3	0,0001	227,5	227,4		
En droppe antas vara 0,070 milliliter											
Vid mätt inflöde på 0 l/min eller tryck på 0 bar antas volymen vara 0,0001 l respektive 0,1 bar											
Protokollförelse: Daniel Lignell											

Skärm nr: S1C		Sektion tunnel: 45		Verklig sektion (inmätt): 44,9												
Datum: 09-04-01		Antaget grv tryck: 35 bar														
Tid: 15:53		Bruktemp: 14,3 °C		Lufttemp: 15 °C												
Borrhålsdata			Valda injektionsparametrar			Protokollföres under injektering										
Borrhåls-namn	Borrhåls-nummer	Borrhåls-längd	Manschett-grund-placering	Ant. Grv tryck borrhål	Injektions-tryck	Vald geltid och ungefärlig ratio	Effektiv inj. tid	Antal satsar (1 sats = 240 kg)	Inj. ordning	Manschett-placering, Verklig	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]	[m]	[bar]	[bar]	[min]	Ratio [X:Y]	[min]	[-]	[m]	[Tid]	[Ja/Nej]	[Tid]	[l]	[min]	
SS0045A04	1C	9	5	35	65	36	5.3:1	29	0.5	5	2,20	Ja	2,41	17	37	
SS0045A03	2C	9	5	35	65	36	5.3:1	29	0.5	7	1,53	Ja	2,15	12	36	
SS0045A02	3C	9	5	35	65	36	5.3:1	29	0.5	9	2,20	Ja	2,48	33	36	
SS0045A01	4C	9	5	35	65	36	5.3:1	29	0.5	10	2,05	Ja	2,30	46	36	
SS0045B01	5C	13	5	35	65	36	5.3:1	29	0.5	11	2,08	Ja	2,48	73	36	
SS0045B02	6C	13	5	35	65	19	4.5:1	15	1	8a	1,51	Ja		195	19	Första blanchningen tog slut på 10 min, ej uppnått designtryck.
SS0045B02	6C	13	5	35	65	10	4.0:1	8	1	8b				68	10	
SS0045B03	7C	13	5	35	65	36	5.4:1	29	0.5	6	1,30	Ja	1,51	25	36	
SS0045B04	8C	13	5	35	65	36	5.4:1	29	0.5	4	1,38	Ja	2,11	32	36	Logac fil stämmer ej (Daniel)
SS0045G05	9C	13	5	35	65	36	5.4:1	29	0.5	2	1,34	Ja	2,08	25	37	
SS0045G04	10C	13														Inj. ej denna omgång, ingen manchett i
SS0045G03	11C	9														Inj. ej denna omgång, ingen manchett i
SS0045G02	12C	9	5	35	65	36	5.4:1	29	0.5	1	2,06	Ja	2,34	16	36	
SS0045G01	13C	9	5	35	65	36	5.3:1	29	0.5	3	1,36	Ja	2,01	15	36	

** BH 6c väljs att inj. Med silica sol trots att bhyd=156. Bhyd är dock 140 vid alla hål öppna. Vi väljer då vi inte i detta läge anser att 156 är nästan 150

Silica sol Om det bedöms att satsen kommer att ta slut innan den effektiva injektionstiden är uppnådd skall en ny sats göras med 19 minuters geltid; vid ca 15 kg kvar i kärlet, sänks flödet till nästintill 0 och satsen blandas snabbt. Ny injektionstiden blir 4/5 av 19 min = 15 min.

Protokollförelse: Lars Bergström

Kvarvarande inflöde efter injektering av S1									
Skärm nr:	S1A,S1B och S1C	Sektion tunnel:	48-42	Verklig sektion (inmätt):	48,0-41,8				
Datum:	09-04-02	Borrhåls diameter:	0,062 m						
Tid:	08.00	Mättid:	1 min						
Vattentemp:	°C	Antaget tryck:	35 bar						
Borrhåls-namn	Borrhåls-nummer	Borrhåls-längd	Manschett-placering, grund-placering	Tryck borrhål	Flödes-tid	Volym en manch. öppen	Volym alla öppna	Kommentarer	
[-]	[nr]	[m]	[m]	[bar]	[min]	[liter]	[liter]		
SS0048G10	10A	10	1	-	1	0,78		Silica solplugg noterad på 4 m	
SS0048B09	7A	14	1	-	1	0,02		Silica solplugg noterad på 4 m	
SS0042A03	2B	10	1	-	1	0,00056		8 dropp, silica solplugg noterad på 4 m	
SS0042A01	4B	10	1	-	1	0,92		Silica solplugg noterad på 4 m	
SS0045A02	3C	9	1	-	1	0,01		Silica solplugg noterad på 5 m	
SS0045B02	6C	13	5	-	1	2,3		Silica solplugg oklart om den finns	
Antal	0		Max	0	Summa	4,03056	0		
En droppe antas vara 0,070 milliliter									
Vid mätt inflöde på 0 l/min eller tryck på 0 bar antas volymen vara 0,0001 l respektive 0,1 bar									
Protokollförare: Daniel Lignell									

Injekttering av läckande borrhål															
Skärm nr: S1A,S1B och S1C		Sektion tunnel: 48-42		Verklig sektion (inmätt): 48,0-41,8											
Datum: 09-04-02		Antaget grv tryck: 35 bar		Lufttemp: 14,8 °C											
Tid: 11:00		Brukstemp: 13,6 °C		Lufttemp: 14,8 °C											
Borrhålsdata			Valda injektteringsparametrar			Protokollföres under injekttering									
Borrhåls-namn	Borrhåls-nummer	Borrhåls-längd	Ant. Grv tryck borrhål	Injekt.-tryck	Vald giltid och ungefärlig ratio	Effektiv inj tid	Antal satsar (1 sats ? 240 kg)	Inj. ordning	Manschett-placering	Start inj	Stoppat vid fullgjord	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]	[-]	[-]	[m]	[Tid]	[Ja/Nej]	[Tid]	[l]	[min]	
SS0048G10	10A	10	35	50	19	4,5:1	0,5	1	1	2,30	Ja	2,51	8,2	19	Logacfil stämmer ej.
SS0048B09	7A	14	35	50	19	4,5:1	0,5	2	1	1,55	Ja	2,22	6,2	19	
SS0042A03	2B	10	35	50	19	4,5:1	0,5	3	1	1,56	Ja	2,28	7,3	19	
SS0042A01	4B	10	35	50	19	4,5:1	0,5	4	1	2,20	Ja	3,05	44,0	20	Inläckage i tunnel på 46 m.
SS0045A02	3C	9	35	50	19	4,5:1	0,5	5	1	2,22	Ja	2,40	13,0	19	
SS0045B02	6C	13	35	65	19	4,5:1	1	6	5	1,57	Ja	2,30	39,0	19	
Silica sol Om det bedöms att satsen kommer att ta slut innan den effektiva injektteringstiden är uppnådd skall en ny sats göras med 19 minuters giltid; vid ca 15 kg kvar i kärlet, sänks flödet till nästintill 0 och satsen blandas snabbt. Ny injektteringstiden blir 4/5 av 19 min = 15 min.															
Protokollförelare: <u>Lars Bergström</u>															

Hydrotester sondhål i skärm S2A

Skärm nr: S2A

Sektion tunnel: ca 45

Inflode, grundvattentryck och vattenförlustmätningar med manschett 2, 3 respektive 4 m in i borrhålet

Börjar med 4 m sedan 3 sist på 2 m

Datum: 09-04-06

Tid: 18:43

Vattentemp: 13 °C

Borrhåls diameter: 0,064 m

Borrhålslängd: 14 m

Mättid vfi: 3 min

Injektionsövertryck: 5 bar

Mättid inflode: 1 min

Borrhålsdata

Borrhål ID	Sondhålsnummer	Manschett-placering	Grundvattentryck	Volym en öppen	Injektionstryck vfi	Volym under injektion	Uppmätt data		Kommentarer
							Vikt i blandaren		
[-]	[nr]	[m]	[bar]	[l]	[bar]	[liter]	Före	Efter	
SS0036A04	1	2	12	0,7					
SS0036A04	1	3	16	0,7					
SS0036A04	1	4	16	0,7					
SS0036A02	3	2	3	0,092					
SS0036A02	3	3	3	0,092					
SS0036A02	3	4	12	0,092					
SS0036B03	7	2	0,1	0,0001					Kan ha täckt sprickan med manschett
SS0036B03	7	3	4	0,06					
SS0036B03	7	4	7	0,06					
SS0036B04	8	2	10	0,85					
SS0036B04	8	3	10	0,86					
SS0036B04	8	4	10	0,86					
Antal	12	Max	16						

Alltså det är OK att använda 4 m manschett och sätta packern på 3,9 m, JF090406

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

Vid mätt inflode på 0 l/min antas volymen vara 0,0001 l, markerat med:

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

Protokollförare: Daniel Lignell

Inflödes och tryckmätningar									
Skärm nr:	S2A och S2B	Sektion tunnel:	36, 29	Verklig sektion (inmätt):	35.6, 29.4				
Datum:	09-04-08	Borrhåls diameter:	0,062 m						
Tid:	16:15	Mättid:	1 min						
Vattentemp:	12,1 °C	Antaget tryck:	35 bar						
Borrhåls-namn	Borrhåls-nummer	Borrhåls-längd [m]	Manschett-placering	Tryck borrhål [bar]	Flödes-tid [min]	Volym en manch. öppen [liter]	Volym alla öppna [liter]	Kommentarer	
[-]	[nr]	[m]	[m]	[bar]	[min]	[liter]	[liter]		
SS0036A04	1	14	3,9	6	1	0,47	0,47		
SS0036A03	2	10	3,9	0,1	1	0,0001	0,0001		
SS0036A02	3	14	3,9	5	1	0,064	0,053		
SS0036A01	4	10	3,9	0,1	1	0,0001	0,0001		
SS0036B01	5	14	8	0,1	1	0,00084	0,0001	12 dropp	
SS0036B02	6	14	8	3	1	0,00224	0,0001	32 dropp	
SS0036B03	7	14	3,9	3	1	0,027	0,027		
SS0036B04	8	14	3,9	0,1	1	0,4	0,4		
SS0036G04	9	14	3,9	1	1	0,12	0,12		
SS0036G03	10	14	3,9	0,1	1	0,0001	0,0001		
SS0036G02	11	14	3,9	0,1	1	0,15	0,15		
SS0036G01	12	14	3,9	4	1	0,12	0,0001		
SS0029A04	1	10	3,9	0,1	1	0,0001	0,0001		
SS0029A03	2	10	3,9	2	1	0,0001	0,0001		
SS0029A02	3	10	3,9	0,1	1	0,0001	0,0001		
SS0029A01	4	10	3,9	3	1	0,0001	0,0001		
SS0029B01	5	14	3,9	4	1	0,014	0,012		
SS0029B02	6	14	3,9	0,1	1	0,0001	0,0001		
SS0029B03	7	14	3,9	2	1	0,02	0,02		
SS0029B04	8	14	3,9	16	1	0,022	0,0001		
SS0029G04	9	14	3,9	13	1	0,012	0,0001		
SS0029G03	10	14	3,9	26	1	1,43	1,42		
SS0029G02	11	10	3,9	2	1	0,0001	0,0001		
SS0029G01	12	10	3,9	0,1	1	0,0001	0,0001		
Antal	15		Max	26	Summa	2,85308	2,6735		
En droppe antas vara 0,070 milliliter									
Vid mätt inflöde på 0 l/min eller tryck på 0 bar antas volymen vara 0,0001 l respektive 0,1 bar									
Protokollförare:				Daniel Lignell					

Vattenförlustmätning

Skärm nr: S2A och S2B	Sektion tunnel: 36, 29	Verklig sektion (inmätt): 35.6, 29.4
Datum: 09-04-08	Borrhåls diameter: 0,062 m	
Tid: 14:20	Måttid 3 min	
Vattentemp: 12,2 °C	Injektionsövertryck: 5 bar	

Borrhåls-namn	Borrhåls-nummer	Borrhåls-längd [m]	Manschett grund-placering [m]	Tryck borrhål [bar]	Injektions-tryck [bar]	Flödes-tid [min]	Volym under injektion [liter]	Vikt i blandaren [kg]		Kommentarer
								Före	Efter	
SS0036A04	1	14	3,9	6	40	3	3,7	393,9	389,6	
SS0036A03	2	10	3,9	0,1	40	3	17	427,6	409,6	Ytliga läckage i Obs hål nr 1
SS0036A02	3	14	3,9	5	40	3	3,6	388,9	386,1	
SS0036A01	4	10	3,9	0,1	40	3	2,2	364,5	362,1	
SS0036B01	5	14	3,9	0,1	40	3	1,5	258,7	257,1	
SS0036B02	6	14	8	3	40	3	1,1	285,6	285,1	
SS0036B03	7	14	8	3	40	3	2	314,1	314,2	
SS0036B04	8	14	3,9	0,1	40	3	4,9	324,1	319,0	
SS0036G04	9	14	3,9	1	40	3	3,7	332,6	329,8	
SS0036G03	10	14	3,9	0,1	40	3	2,3	341,6	339,1	
SS0036G02	11	14	3,9	0,1	40	3	2	349,8	347,8	
SS0036G01	12	14	3,9	4	40	3	2,8	359,6	357,6	
SS0029A04	1	10	3,9	0,1	40	3	0,5	307,5	306,8	
SS0029A03	2	10	3,9	2	40	3	0,1	290,3	290,3	
SS0029A02	3	10	3,9	0,1	40	3	1,5	282,3	281,7	
SS0029A01	4	10	3,9	3	40	3	0,3	266,4	266,3	
SS0029B01	5	14	3,9	4	40	3	0,2	425,5	425,5	
SS0029B02	6	14	3,9	0,1	40	3	0,6	444,2	444,1	
SS0029B03	7	14	3,9	2	40	3	0,9	447,1	445,2	
SS0029B04	8	14	3,9	16	40	3	0,0001	445,3	445,3	
SS0029G04	9	14	3,9	13	40	3	0,0001	485,1	485,1	
SS0029G03	10	14	3,9	26	40	3	2,6	488,5	485,3	
SS0029G02	11	10	3,9	2	40	3	104			Stort läckage (149 l/3 min) Troligen samb. M. sulhål i skärm 4. Kan ej se var. Löses ev. genom längre manschett
SS0029G01	12	10	3,9	0,1	40	3	0,0001	265,3	265,3	

Vid mätt inflöde på 0 l/min eller tryck på 0 bar antas volymen vara 0,0001 l respektive 0,1 bar

Protokollförfare: Daniel Lignell

Injekttering av läckande borrhål														
Skärm nr: S1C		Sektion tunnel: 45			Verklig sektion (inmätt): 41,9									
Datum: 09-04-14		Antaget grv tryck: 35 bar			Lufttemp: 14,8 °C									
Tid: 09:20		Bruktemp: 13 °C												
Borrhålsdata				Valda injektteringsparametrar				Protokollföres under injekttering						
Borrhåls-namn	Borrhåls-nummer	Borrhåls-längd	Ant. Grv tryck borrhål	Injekte-rings-tryck	Vald geitid och ungefärlig ratio	Effektiv inj tid	Antal satsar (1 sats ? 240 kg)	Manschett-placering	Start inj	Stoppat vid fullgjord tid	Upp-nått tryck efter	Inj. volym	Gel tid	Kommentar (samband, läckage, stoppat på annan tid, annan inj ordning)
[-]	[nr]	[m]	[bar]	[bar]	[min]	[min]	[-]	[m]	[Tid]	[Ja/Nej]	[Tid]	[l]	[min]	
SS0045B02	6C	13	35	50	19	15	0,5	2	2,17	Ja	2,42	40,0	19	
Silica sol Om det bedöms att satsen kommer att ta slut innan den effektiva injektteringstiden är uppnådd skall en ny sats göras med 19 minuters geltid; vid ca 15 kg kvar i kärlet, sänks flödet till nästintill 0 och satsen blandas snabbt. Ny injektteringstiden blir 4/5 av 19 min = 15 min.														
Manschetten utflyttad till 2 m in i borrhålet, kan ha täckt spricka tidigare, hålet injektteras innan S2A														
Protokollföres: Daniel Lignell														

Skärm nr: S2A och S2B		Sektion tunnel: 36.29		Verkligt sektion (inmätt): 35.6, 29.4											
Datum: 09-04-14 - 09-04-16		Anlagget grv tryck: 35 bar		Lufttemp: 15 °C											
Tid: 12:10		Brukstemp: 13.9 °C													
Borrhålsdata		Valda injektionsparametrar		Protokollföres under injektivering											
Borrhåls-namn	Borrhåls-nummer	Borrhåls-längd [m]	Manschett grund-placering [m]	Ant. Grv tryck borrhål [bar]	Injektions-tryck [bar]	Effektiv inj tid [min]	Antal satsar (1 sats ? 240 kg)	Inj. ordning [-]	Manschett-placering, Verkligt [m]	Start inj [Tid] [min]	Stoppat vid fullgjord tid [Ja/Nej]	Uppnått tryck efter start inj [Tid] [min]	Inj. volym [l]	Gel tid [min]	Kommentarer (samband, läckage, stoppat på annan tid, annan inj ordning)
	1A	14	3,9	35	65	5:3:1	0,5	5	3,9	2,26	Ja	2,52	38	36	
	2A	10	3,9	35	65	5:3:1	0,5	9	3,9	1,30	Ja	1,56	222	36/19	Stort läckage i slag & borrhål. 1 kompl sats
	3A	14	3,9	35	65	5:3:1	0,5	7	3,9	1,23	Ja	1,55	-	36	Atlas panel ödd. Ytläckage i slag sekt 40 m v vägg + samband med hål 2A
	4A	10	3,9	35	65	5:3:1	0,5	10	3,9	2,10	Ja	2,40	30	36	Slartar 16/4-K108:00
	5A	14	8	35	65	5:3:1	0,5	12	8	1,50	Ja	2,20	29	36	
	6A	14	8	35	65	5:3:1	0,5	11	8	2,43	Ja	3,26	35	36	
	7A	14	3,9	35	65	5:3:1	0,5	8	3,9	1,50	Ja	2,40	31	36	
	8A	14	3,9	35	65	5:3:1	0,5	6	3,9	2,20	Ja	2,52	66	36	
	9A	14	3,9	35	65	5:3:1	0,5	4	3,9	2,50	Ja	3,38	31	36	Uppstart 15/4 kl 14:00
	10A	14	3,9	35	65	5:3:1	0,5	2	3,9	2,50	Ja	3,23	46	36	Samband S1B hål 10 (mindre läckage)
	11A	10	3,9	35	65	5:3:1	0,5	1	3,9	1,55	Ja	2,26	68	36	Samband S1B hål 10 +S2A hål 10 (mindre läckage)
	12A	10	3,9	35	65	5:3:1	0,5	3	3,9	1,46	Ja	2,08	53	36	Samband hål 1A (mindre läckage)
	1B	10	3,9	35	65	5:3:1	0,5	5	3,9	2,10	Ja	3,05	40	36	
	2B	10	3,9	35	65	5:3:1	0,5	7	3,9	1,10	Ja	1,40	24	36	
	3B	10	3,9	35	65	5:3:1	0,5	9	3,9	2,20	Ja	2,45	-	36	Samband med hål i Förrinj-skärm 2 (sektion 22 m) v vägg
	4B	10	3,9	35	65	5:3:1	0,5	10	3,9	1,48	Ja	2,30	25	36	
	5B	14	3,9	35	65	5:3:1	0,5	12	3,9	1,28	Ja	2,16	38	36	
	6B	14	3,9	35	65	5:3:1	0,5	11	3,9	1,48	Ja	2,12	36	36	
	7B	14	3,9	35	65	5:3:1	0,5	8	3,9	1,28	Ja	1,59	36	36	
	8B	14	3,9	35	65	5:3:1	0,5	6	3,9	1,46	Ja	2,22	23	36	
	9B	14	3,9	35	65	5:3:1	0,5	4	3,9	1,55	Ja	2,25	30	36	
	10B	14	3,9	35	65	5:3:1	0,5	2	3,9	2,40	Ja	3,22	42	36	Samband med sulhål i Förrinj-skärm 2 (sektion 22 m). Tryck ej uppnått.
	11B	10	3,9	35	65	4:5:1	1	1	6	1,51	Ja	Ej uppnått	302	19	Ny sats ca 500 l. Tryck ej uppnått
	12B	10	3,9	35	65	4:5:1	1	1	3,9	ca 2min	Nej	Ej uppnått	ca 300	36	Hål pluggas genom ökad mängd salt i förgående sats.
	11B	10	3,9	35	65	4:5:1	1	1	3,9	-	Ja	Ej uppnått	ca 200	11	
	12B	10	3,9	35	65	5:3:1	0,5	3	3,9	1,40	Ja	2,18	21	36	
Silica sol															
Om det bedöms att satsen kommer att ta slut innan den effektiva injektionsiden är uppnådd skall en ny sats göras med 19 minuters gelid:															
vid ca 15 kg kvar i kärlet, såhär flödet till nästföljande och satsen blandas snabbt. Ny injektionsiden blir 4/5 av 19 min = 15 min.															
Protokolibrare: Nils och Daniel															

Inflödes och tryckmätningar										
Skärm nr:	S2C	Sektion tunnel:	38, 31	Verklig sektion (inmätt):	38.7, 32.15					
Datum:	09-04-20	Borrhåls diameter:	0,062 m							
Tid:	09:05	Mättid:	1 min							
Vattentemp:	12,7 °C	Antaget tryck:	35 bar							
Borrhåls-namn	Borrhåls-nummer	Borrhåls-längd [m]	Manschett grund-placering [m]	Tryck borrhål [bar]	Fliedes-tid [min]	Volym en manch. öppen [liter]	Volym alla öppna [liter]	Kommentarer		
	SS0038A04	9	3,9	0,1	1	0,03	0,033			
	SS0038A03	9	3,9	4	1	0,52	0,538			
	SS0038A02	9	3,9	0,1	1	0,0021	0,0001	3 dropp		
	SS0038A01	9	3,9	11	1	0,023	0,035			
	SS0038B01	13	8	0,1	1	0,0001	0,0001			
	SS0038B02	13	8	1	1	0,0001	0,0001			
	SS0038B03	13	8	10	1	0,00035	0,0001	5 dropp		
	SS0038B04	13	3,9	0,1	1	0,0001	0,0001			
	SS0038G05	13	3,9	0,1	1	0,0001	0,0001			
	SS0038G04	13	3,9	3	1	0,005	0,0001			
	SS0038G03	13	3,9	0,1	1	0,0001	0,0001			
	SS0038G02	9	3,9	0,1	1	0,0001	0,0001			
	SS0038G01	9	3,9	0,1	1	0,00014	0,0001	2 dropp		
	SS0031A04	9	3,9	0,1	1	0,0001	0,0001			
	SS0031A03	9	3,9	0,1	1	0,0001	0,0001			
	SS0031A02	9	3,9	2	1	0,0001	0,0001			
	SS0031A01	4	3,9	0,1	1	0,00091	0,00091	13 droppar		
	SS0031B01	5	3,9	0,1	1	0,0021	0,00182	26+30 droppar		
	SS0031B02	6	3,9	0,1	1	0,064	0,064			
	SS0031B03	7	3,9	1	1	0,0001	0,0001			
	SS0031B04	8	3,9	0,1	1	0,0001	0,0001			
	SS0031G05	9	3,9	8	1	0,04	0,038			
	SS0031G04	10	3,9	0,1	1	0,0001	0,0001			
	SS0031G03	11	3,9	0,1	1	0,0001	0,0001			
	SS0031G02	12	3,9	0,1	1	0,0001	0,0001			
	SS0031G01	13	3,9	2	1	0,01	0,01			
Antal	16		Max	11	Summa	0,69711	0,72253			
En droppe antas vara 0,070 milliliter										
Vid mätt inflöde på 0 l/min eller tryck på 0 bar antas volymen vara 0,0001 l respektive 0,1 bar										
Protokollförare: Daniel										

Skärm nr:	S2C	Sektion tunnel:	38, 31	Verklig sektion (inmätt):	38.7, 32.15				
Datum:	09-04-20	Borrhåls diameter:	0,062 m						
Tid:	09:05	Mättid:	1 min						
Vattentemp:	12,7 °C	Antaget tryck:	35 bar						
Borrhåls-namn	Borrhåls-nummer	Borrhåls-längd [m]	Manschett grund-placering [m]	Tryck borrhål [bar]	Injektions-tryck [bar]	Flödes-tid [min]	Volym under injektion [liter]	Vikt i blandaren [kg]	Kommentarer
SS0038A04	1	9	3,9	0,1	40	3	0,4	403,5	
SS0038A03	2	9	3,9	4	40	3	17	398,2	
SS0038A02	3	9	3,9	0,1	40	3	0,0001	354,8	
SS0038B01	4	9	3,9	11	40	3	0,5	331,6	
SS0038B01	5	13	8	0,1	40	3	0,1	228,3	
SS0038B02	6	13	8	1	40	3	0,1	262,5	
SS0038B03	7	13	8	10	40	3	0,0001	277,6	
SS0038B04	8	13	3,9	0,1	40	3	0,0001	290,6	
SS0038G05	9	13	3,9	0,1	40	3	0,3	311,3	
SS0038G04	10	13	3,9	3	40	3	0,6	324,4	
SS0038G03	11	13	3,9	0,1	40	3	0,0001	327,1	
SS0038G02	12	13	3,9	0,1	40	3	0,0001	330,6	
SS0038G01	13	13	3,9	0,1	40	3	0,0001	406,5	
SS0031A04	1	9	3,9	0,1	40	3	0,4	175,8	
SS0031A03	2	9	3,9	0,1	40	3	0,8	184,6	
SS0031A02	3	9	3,9	2	40	3	0,0001	162,6	
SS0031A01	4	9	3,9	0,1	40	3	0,5	144,6	
SS0031B01	5	13	3,9	0,1	40	3	0,2	286,3	
SS0031B02	6	13	3,9	0,1	40	3	6,8	284,2	Samband hål 5 i skärm S2B
SS0031B03	7	13	3,9	1	40	3	2,4	241,8	
SS0031B04	8	13	3,9	0,1	40	3	0,5	238,3	
SS0031G05	9	13	3,9	8	40	3	0,7	189,7	
SS0031G04	10	13	3,9	0,1	40	3	0,9	183,9	
SS0031G03	11	9	3,9	0,1	40	3	0,2	180,5	
SS0031G02	12	9	3,9	0,1	40	3	1	178,4	
SS0031G01	13	9	3,9	2	40	3	0,0001	175,5	
Vid mätt inflöde på 0 l/min eller tryck på 0 bar antas volymen vara 0,0001 l respektive 0,1 bar									
Protokollförare:		Daniel							

Skärm nr: S1C + S1B		Sektion tunnel:		Verklig sektion (inmätt):										
Datum: 09-04-21		Antaget grv tryck: 35 bar												
Tid: 19:07		Brukstemp: 13,2 °C		Lufttemp: 15,5 °C										
Borrhålsdata		Valda injektionsparametrar				Protokollföres under injektering								
Borrhåls-namn	Borrhåls-nummer	Borrhåls-längd	Ant. Grv tryck borrhål	Injektions-tryck	Vald gelid och ungefärlig ratio	Effektiv inj tid	Antal satser (1 sats ? 240 kg)	Inj. ordning	Mansch.-placering	Start inj	Stoppat vid fullgjort	Uppnått tryck efter start inj	Inj. volym	Gel tid
[-]	[nr]	[m]	[bar]	[bar]	Ratio [X:Y]	[min]	[-]	[-]	[m]	[Tid]	[Ja/Nej]	[Tid]	[l]	[min]
SS0045B01	5	13	35	50	4,2:1	11	0,3	1	1	1,35	Ja	2,10	9	14
SS0045B02	6	13	35	50	4,2:1	11	0,3	2	1	1,35	Ja	2,10	6	14
SS0045A02	3	9	35	50	4,2:1	11	0,3	3	1	1,35	Ja	2,10	3	14
SS0045A01	4	9	35	50	4,2:1	11	0,3	4	1	1,35	Ja	2,10	20	14
SS0042A01	4	10	35	50	4,2:1	11	0,3	5	1	1,35	Ja	2,10	19	14
SS0042A03	2	10	35	50	4,2:1	11	0,3	6	1	1,35	Nej	2,10	-	14
Protokollförare: Daniel & Nils														

Skärm nr: S2C/S2CC		Sektion tunnel: 38. 31		Verklig sektion (Inmätt): 38.7. 32.15										
Datum: 09-04-20 - 09-04-21		Anlagget grv tryck: 35 bar												
Tid: 19:00		Brukstemp: 13,2 °C		Lufttemp: 15,7 °C										
		Ant. Grv tryck bornål: 35												
Borrhåls- namn	Borrhåls- nummer	Borrhåls- längd [m]	Injektions- tryck [bar]	Valda injektionsparametrar		Protokollföres under injektiering								
				Valid getid och ungefärlig ratio	Effektiv inj tid [min]	Antal satsar (1 sats ? 240)	Inj. ordning	Manshett- placering	Start inj [Tid]	Stoppat vid fullgjord	Uppnått tryck efter	Inj. volym	Get tid	Kommentarer (samband, läckage, stoppat på annan tid, annan inj ordning)
[]	[nr]	[m]	[bar]	[min]	Ratio [X:Y]	[]	[]	[m]	[Tid]	[Ja/Nej]	[Tid]	[l]	[min]	
SS0038A04	1	9	65	36	5,3:1	0,5	5	3,9	1,35	Ja	1,58	16	36	
SS0038A03	2	9	65	36	5,3:1	1	7a	3,9	1,32	Nej	1,48	147	36	Samband med hål 2B i skärm S2B, läckage i två slag sektion 43-44 m. Därefter även samband hål 3B S2B både i och runt manshett. Manshett flyttas ut men blir ej tät. Läck även i OBS hål 3. Strax därefter även i slag sekt 4,7 m.
SS0038A02	3	9	65	36	5,3:1	0,5	9	3,9	-	Ja	-	247	17	Andra inj i hål 2, pumpas till fullgjord tid. Läckage upptror ej.
SS0038A01	4	9	65	36	5,3:1	0,5	11	3,9	1,38	Ja	2,12	22	36	
SS0038B01	5	13	65	36	5,3:1	0,5	13	8	2,18	Ja	2,46	23	36	
SS0038B02	6	13	65	36	5,3:1	0,5	10	8	1,58	Ja	2,10	23	36	
SS0038B03	7	13	65	36	5,3:1	0,5	12	8	1,47	Ja	2,22	21	36	
SS0038B04	8	13	65	36	5,3:1	0,5	8	3,9	2,30	Ja	3,02	25	36	
SS0038G05	9	13	65	36	5,3:1	0,5	6	3,9	1,48	Ja	2,23	25	36	
SS0038G04	10	13	65	36	5,3:1	0,5	4	3,9	1,39	Ja	2,04	28	36	
SS0038G03	11	9	65	36	5,3:1	0,5	2	3,9	2,01	Ja	2,25	16	36	
SS0038G02	12	9	65	36	5,3:1	0,5	1	3,9	1,50	Ja	2,20	15	36	
SS0038G01	13	9	65	36	5,3:1	0,5	3	3,9	1,40	Ja	2,03	17	36	
SS0031A04	1	9	65	36	5,3:1	0,5	7	3,9	1,24	Ja	1,42	16	36	
SS0031A03	2	9	65	36	5,3:1	0,5	9	3,9	1,17	Ja	1,40	19	36	
SS0031A02	3	9	65	36	5,3:1	0,5	7	3,9	1,45	Ja	2,10	25	36	
SS0031A01	4	9	65	36	5,3:1	0,5	11	3,9	1,53	Ja	2,16	19	36	
SS0031B01	5	13	65	36	5,3:1	0,5	12	3,9	1,19	Ja	1,58	35	36	
SS0031B02	6	13	65	36	5,3:1	0,5	10	3,9	1,19	Nej	1,56	82	36	
SS0031B02	6	13	65	36	5,3:1	0,5	10	3,9	-	Ja	-	128	19	Efter ca 2 min samband med hål 566 i S2A. Efter ca 2,5-3 min läckage i branta sprickor i EDZ sekt
SS0031B03	7	13	65	36	5,3:1	0,5	8	3,9	1,25	Ja	1,58	32	36	
SS0031B04	8	13	65	36	5,3:1	0,5	6	3,9	1,30	Ja	2,05	27	36	
SS0031G05	9	13	65	36	5,3:1	0,5	4	3,9	2,03	Ja	2,35	27	36	
SS0031G04	10	13	65	36	5,3:1	0,5	2	3,9	1,30	Ja	2,11	25	36	
SS0031G03	11	9	65	36	5,3:1	0,5	1	3,9	2,01	Ja	2,30	14	36	
SS0031G02	12	9	65	36	5,3:1	0,5	3	3,9	1,30	Ja	2,00	34	36	
SS0031G01	13	9	65	36	5,3:1	0,5	5	3,9	1,25	Ja	1,49	16	36	
Silica sol	Om det bedöms att satsen kommer att ta slut innan den effektiva injektieringstiden är uppnådd skall en ny sats göras med 19 minuters gelid:													
	vid ca 15 kg kvar i kärlet, sänks flödet till nästintill 0 och satsen blandas snabbt. Ny injektieringstiden blir 4/5 av 19 min = 15 min.													
Protokollförelse:	Nils Granberg													

Inflödes- och tryckmätningar									
Skärm nr:	T1A och T1B	Sektion tunnel:		37, 43	Verklig sektion (inmätt):		37.0, 43.2		
Datum:	09-04-28	Borrhåls diameter:		0,062 m					
Tid:	13:40	Mättid:		1 min					
Vattentemp:	- °C	Antaget tryck:		35 bar					
Borrhåls-namn	Borrhåls-nummer	Borrhåls-längd	Manschett-placering	Tryck borrhål	Flödes-tid	Volym en manch. öppen	Volym alla öppna	Kommentarer	
[-]	[nr]	[m]	[m]	[bar]	[min]	[liter]	[liter]		
SS0036A05	1A	14	3,9	0,1	1	0,00126	0,00126		
SS0036C01	2A	10	3,9	0,1	1	0,0001	0,0001		
SS0036H02	3A	14	3,9	2	1	0,014	0,013		
SS0036H01	4A	10	3,9	0,1	1	0,0001	0,0001		
SS0036I01	5A	14	3,9	7	1	0,18	0,18		
SS0036I02	6A	14	3,9	1	1	0,03	0,028		
SS0036D01	7A	14	3,9	1	1	0,014	0,014		
SS0036B05	8A	14	3,9	0,1	1	0,045	0,045		
SS0043A01	1B	10	3,9	0,1	1	0,0001	0,0001		
SS0043C01	2B	10	3,9	0,1	1	0,0001	0,0001		
SS0043H02	3B	10	3,9	0,1	1	0,00077	0,0007		
SS0043H01	4B	10	3,9	0,1	1	0,0001	0,0001		
SS0043I01	5B	14	3,9	0,1	1	0,0001	0,0001		
SS0043I02	6B	14	3,9	0,1	1	0,0001	0,0001		
SS0043D01	7B	14	3,9	1	1	0,03	0,029		
SS0043B01	8B	14	3,9	0,1	1	0,01	0,01		
Antal	0		Max	7	Summa	0,32573	0,32166		
En droppe antas vara 0,070 milliliter									
Vid mätt inflöde på 0 l/min eller tryck på 0 bar antas volymen vara 0,0001 l respektive 0,1 bar									
Protokollförare: Daniel									

Vattenförlustmätning		Sektion tunnel: 37, 43		Verklig sektion (inmätt): 37.0, 43.2							
Skärm nr: T1A och T1B		Borrhåls diameter: 0,062 m									
Datum:	09-04-28	Tid:	18:00	Måttid	3 min						
Vattentemp:	13,2 °C	Injektionsövertryck:			5 bar						
Borrhåls-namn	Borrhåls-nummer	Borrhåls-längd	Manschett grund-placering	Tryck borrhål	Injektions-tryck	Flödes-tid	Volym under injektion	Vikt i blandaren [kg]		Kommentarer	
[-]	[nr]	[m]	[m]	[bar]	[bar]	[min]	[liter]	Före	Efter		
SS0036A05	1A	14	3,9	0,1	40	3	2,6	150,1	121,2	Samb med hål nr 1,2,3 i T1B+ hål i inj.skärm 3 i sekt 20. även ytliga läckage i sprickor i skärm 3.	
SS0036C01	2A	10	3,9	0,1	40	3	0,2	96,1	95,3		
SS0036H02	3A	14	3,9	2	40	3	0,1	61,6	61,5		
SS0036H01	4A	10	3,9	0,1	40	3	0,1	431,4	431,2		
SS0036I01	5A	14	3,9	7	40	3	0,9	411,9	410,8		
SS0036I02	6A	14	3,9	1	40	3	1,1	372,3	370,6		
SS0036D01	7A	14	3,9	1	40	3	0,0001	333,2	333,2		
SS0036B05	8A	14	3,9	0,1	40	3	0,0001	297,4	297,4		
SS0043A01	1B	10	3,9	0,1	40	3	2,5	38,3	35,8		Samb läckage i ytliga sprickor i skärm 3 sektion 20 m.
SS0043C01	2B	10	3,9	0,1	40	3	0,6	76,4	75,8		Ingen volym från logac, omräknat från vikt
SS0043H02	3B	10	3,9	0,1	40	3	0,1	96,7	96,6		Ingen volym från logac, omräknat från vikt
SS0043H01	4B	10	3,9	0,1	40	3	0,3	123,9	123,6		Ingen volym från logac, omräknat från vikt
SS0043I01	5B	14	3,9	0,1	40	3	0,1	147,9	147,8		Ingen volym från logac, omräknat från vikt
SS0043I02	6B	14	3,9	0,1	40	3	0,3	185,5	185,2		Ingen volym från logac, omräknat från vikt
SS0043D01	7B	14	3,9	1	40	3	1,0	223,5	222,5		Ingen volym från logac, omräknat från vikt
SS0043B01	8B	14	3,9	0,1	40	3	0,0001	259,6	259,6		Ingen volym från logac, omräknat från vikt
Vid mätt inflöde på 0 l/min eller tryck på 0 bar antas volymen vara 0,0001 l respektive 0,1 bar											
Protokollföreläsare: Daniel											

Injekttering		Sektion tunnel: 37, 43		Verklig sektion (inmätt): 37.0, 43.2													
Skärm nr: T1A och T1B		Antaget grv tryck: 35 bar		Lufttemp: 15,7 °C													
Datum: 09-05-04/09-05-05		Brukstemp: 13,7 °C															
Tid: 13:00																	
Borrhålsdata		Manschett grund-placering		Mansch.- placering		Start inj		Stoppat vid fullgjort		Upplätt tryck efter start inj		Inj. volym		Gel tid		Kommentarer (samband, läckage, stoppat på annan tid, annan inj ordning)	
Borrhåls-namn	Borrhåls-nummer	Borrhåls-längd [m]	Injektterings-tryck [bar]	Vald gellid och ungefärlig ratio [min]	Effektiv inj tid [min]	Antal satsar (1 sats = 240 kg) [-]	Inj. ordning [-]	[m]	[Tid]	[Ja/Nej]	[Tid]	[l]	[min]				
[-]	[nr]	[m]	[bar]	[min]	[min]	[-]	[-]	[m]	[Tid]	[Ja/Nej]	[Tid]	[l]	[min]				
SS0036A05	1A	14	65	36	29	0,5	3	3,9	2,20	Ja	3,24	123,6	36	Samband med hål X (anfang) i skärm 3, sektion 20			
SS0036C01	2A	10	65	36	29	0,5	1	3,9	2,44	Ja	3,28	42,2	36				
SS0036H02	3A	14	65	36	29	0,5	5	3,9	2,50	Ja	3,38	169,8	36				
SS0036H01	4A	10	65	36	29	0,5	7	3,9	2,30	Ja	2,59	38,8	36				
SS0036I01	5A	14	65	36	29	0,5	2	3,9	2,15	Ja	2,58	73,1	36				
SS0036I02	6A	14	65	36	29	0,5	4	3,9	2,21	Ja	2,54	48,7	36				
SS0036D01	7A	14	65	36	29	0,5	6	3,9	2,02	Ja	2,56	68,3	36				
SS0036B05	8A	14	65	36	29	0,5	8	3,9	2,33	Ja	3,15	72,1	36				
SS0043A01	1B	14	65	36	29	0,5	3	3,9	2,42	Ja	3,50	51,5	36	Hålet fyllt med Sol från omg. 1. Ursvättning och ominjekttering.			
SS0043C01	2B	14	65	36	29	0,5	6	3,9	2,12	Ja	3,02	56,8	36				
SS0043H02	3B	14	65	36	29	0,5	8	3,9	2,20	Ja	3,38	59,0	36	Samband med hål X (2.a vänster fr. takmitt) i skärm 3, sektion 20			
SS0043H01	4B	14	65	36	29	0,5	1	3,9	3,03	Ja	3,41	49,8	36				
SS0043I01	5B	14	65	36	29	0,5	5	3,9	3,02	Ja	3,58	82,2	36				
SS0043I02	6B	14	65	36	29	0,5	7	3,9	2,40	Ja	3,32	47,0	36				
SS0043D01	7B	14	65	36	29	0,5	4	3,9	2,03	Ja	2,52	49,0	36				
SS0043B01	8B	14	65	36	29	0,5	2	3,9	2,30	Ja	3,02	53,6	36				
Ominj/pluggning																	
SS0036H01	4A	14	50	14	11	0,5	1	1,2	2,30	Ja	2,58	28,6	14	Innan pluggning - omkring 17 droppar/min			
SS0043I02	6B	14	50	14	11	0,5	2	1,2	2,10	Ja	2,33	18	14				
SS0043I01	5B	14	50	14	11	0,5	3	1,2	2,18	Ja	2,34	14	14				
Allmän kommentar: Logac ur funktion, volym räknat utifrån vikt																	
Silica sol																	
Om det bedöms att satsen kommer att ta slut innan den effektiva injektteringstiden är uppnådd skall en ny sats göras med 19 minuters gellid; vid ca 15 kg kvar i kärlet, sänks flödet till nästintill 0 och satsen blandas snabbt. Ny injektteringstiden blir 4/5 av 19 min = 15 min.																	
Protokollförare: Daniel																	

Inflödes- och tryckmätningar									
Skärm nr: T1C		Sektion tunnel: 40			Verklig sektion (inmätt): 40,1				
Datum:	09-05-06	Borrhåls diameter:			0,062 m				
Tid:	07:00	Mättid:			1 min				
Vattentemp:	13 °C	Antaget tryck:			35 bar				
Borrhåls-namn	Borrhåls-nummer	Borrhåls-längd	Manschett grund-placering	Tryck borrhål	Flödes-tid	Volym en manch. öppen	Volym alla öppna	Kommentarer	
[-]	[nr]	[m]	[m]	[bar]	[min]	[liter]	[liter]		
SS0040A02	1C	10	3,9	0,1	1	0,0001	0,0001		
SS0040H03	2C	10	3,9	1	1	0,0001	0,0001		
SS0040H02	3C	10	3,9	0,1	1	0,0001	0,0001		
SS0040H01	4C	10	3,9	0,1	1	0,0001	0,0001		
SS0040I01	5C	14	3,9	0,1	1	0,0112	0,0119		
SS0040I02	6C	14	3,9	0,1	1	0,01	0,01		
SS0040I03	7C	14	3,9	0,1	1	0,0231	0,0231		
Antal	7		Max	1	Summa	0,0447	0,0454		
En droppe antas vara 0,070 milliliter									
Vid mätt inflöde på 0 l/min eller tryck på 0 bar antas volymen vara 0,0001 l respektive 0,1 bar									
Protokollförare: Daniel									

Vattenförlustmätning											
Skärm nr: T1C		Sektion tunnel: 40				Verklig sektion (inmätt) 40,1					
Datum: 09-05-06		Borrhåls diameter: 0,062 m									
Tid: 09:05		Mättid: 3 min									
Vattentemp: 13 °C		Injektionsövertryck: 5 bar									
Borrhåls-namn	Borrhåls-nummer	Borrhåls-längd	Manschett grund-placering	Tryck borrhål	Injektions-tryck	Flödes-tid	Volym under injektion	Vikt i blandaren [kg]		Kommentarer	
[-]	[nr]	[m]	[m]	[bar]	[bar]	[min]	[liter]	Före	Efter		
SS0040A02	1C	10	3,9	0,1	40	3	0,10	111,4	111,3		
SS0040H03	2C	10	3,9	1	40	3	0,0001	134,1	134,1		
SS0040H02	3C	10	3,9	0,1	40	3	0,10	154,9	154,8		
SS0040H01	4C	10	3,9	0,1	40	3	0,30	175,5	175,2		
SS0040I01	5C	14	3,9	0,1	40	3	0,50	198,6	198,1		
SS0040I02	6C	14	3,9	0,1	40	3	0,30	52,1	51,8		
SS0040I03	7C	14	3,9	0,1	40	3	0,10	89,2	89,1		
Allmän kommentar: Logac ur funktion, volym räknat utifrån vikt											
Vid mätt inflöde på 0 l/min eller tryck på 0 bar antas volymen vara 0,0001 l respektive 0,1 bar											
Protokollförelare: Daniel Lignell											

Injekttering		Sektion tunnel: 40		Verklig sektion (inmätt) 40,1											
Skärm nr: T1C		Antaget grv tryck: 35 bar		Lufttemp: 16,3 °C											
Datum: 09-05-06		Brukstemp: 14,5 °C													
Tid: 12:30															
Borrhålsdata				Valda injektteringsparametrar				Protokollföres under injekttering							
Borrhåls-namn	Borrhåls-nummer	Borrhåls-längd	Ant. Grv tryck borrhål	Injekt.-tryck	Vald gettid och ungefärlig ratio	Effektiv inj tid	Antal satsar (1 sats = 240 kg)	Inj. ordning	Mansch.-placering	Start inj	Stoppat vid fullgjort start inj	Uppnått tryck efter start inj	Inj. volym	Gel tid	Kommentarer (samband, läckage, stoppat på annan tid, annan inj ordning)
[-]	[nr]	[m]	[bar]	[bar]	[min]	[min]	[-]	[-]	[m]	[Tid]	[Ja/Nej]	[Tid]	[l]	[min]	
SS0040A02	1C	9	35	65	36	29	0,5	1	3,9	1,40	Ja	2,20	28,8	36	
SS0040H03	2C	9	35	65	36	29	0,5	3	3,9	1,55	Ja	2,30	32,2	36	
SS0040H02	3C	9	35	65	36	29	0,5	5	3,9	1,38	Ja	2,04	29,5	36	
SS0040H01	4C	9	35	65	36	29	0,5	7	3,9	1,48	Ja	2,25	61,4	36	
SS0040I01	5C	13	35	65	36	29	0,5	6	3,9	1,50	Ja	2,44	56,9	36	
SS0040I02	6C	13	35	65	36	29	0,5	4	3,9	2,02	Ja	2,55	50,2	36	
SS0040I03	7C	13	35	65	36	29	0,5	2	3,9	2,18	Ja	2,58	110,8	36	
Allmän kommentar: Logac ur funktion, volym räknat utifrån vikt															
Silica sol Om det bedöms att satsen kommer att ta slut innan den effektiva injektteringstiden är uppnådd skall en ny sats göras med 19 minuters geltid; vid ca 15 kg kvar i kärlet, sänks flödet till nästintill 0 och satsen blandas snabbt. Ny injektteringstiden blir 4/5 av 19 min = 15 min.															
Protokollföres: Lars Bergström															

Hydrotester sondhå i skärm T2A															
Skärm nr: T2A															
Sektion tunnel: 49															
Inflöde, grundvattentryck och vattenförlostmätningar med manschett 3,4 respektive 5 m in i borrhålet															
Börjar med 5 m sedan 4 sist på 3 m															
Datum:	09-05-10	Borrhåls diameter:	0,064 m	Mättid vfl:	3 min										
Tid:	11:00	Borrhålslängd:	14m	Injektionsöverttryck:	5 bar										
Vattentemp: -	°C	Mättid inflöde:	1 min												
Uppmätt data															
Borrhålsdata			Uppmätt data												
Borrhål ID	Sondhåls-nummer	Manschett-placering	Grundvatten tryck	Volym en öppen	Injektions-tryck vfl	Volym under injektion	Vikt i blandaren [kg]		Kommentarer						
[-]	[nr]	[m]	[bar]	[l]	[bar]	[liter]	Före	Efter							
SS0049A02	2	3		0,00084											
SS0049A02	2	4	0,1	0,0001							Utfördes i fel ordning, började med 3 m sedan 4 sist 5 m. Gäller för hela skärmen.				
SS0049A02	2	5	0,1	0,0001											
SS0049H02	4	3		0,016											
SS0049H02	4	4	0,1	0,017											
SS0049H02	4	5	0,1	0,017											
SS0049I02	7	3	0,1	0,011											
SS0049I02	7	4		0,011											
SS0049I02	7	5	0,1	0,01											
SS0049B01	9	3	0,1	0,009											
SS0049B01	9	4		0,0001											
SS0049B01	9	5	0,1	0,0001											
Antal	12	Max	0,1												
Vid mått tryck på 0 bar antas trycket till 0,1 bar, markerat med:															
Vid mått inflöde på 0 l/min antas volymen vara 0,0001 l, markerat med:															
OBS! Vid mått flöde med flödesgivaren på 0 l/min är volymen antagen till 0,0001 l/min, markerat med:															
Protokollförare: Daniel Lignell															

Inflödes- och tryckmätningar									
Skärm nr: T2A och T2B		Sektion tunnel: 49/55			Verklig sektion (inmätt) 49,4/55,6				
Datum: 09-05-12		Borrhåls diameter:			0,064 m				
Tid: 09:00		Mättid:			1 min				
Vattentemp: - °C		Antaget tryck:			35 bar				
Borrhåls-namn	Borrhåls-nummer	Borrhåls-längd [m]	Manschett-placering	Tryck borrhål [bar]	Flödes-tid [min]	Volym en manch. öppen [liter]	Volym alla öppna [liter]	Kommentarer	
SS0049A01	1A	10	3,9	0,1	1	0,0001	0,0001	Vid manschett i ytligt 0,475 l, ger även 3 bar. Läckage ytligare än 3,9 m.	
SS0049A02	2A	14	3,9	0,1	1	0,0001	0,0001		
SS0049C01	3A	10	3,9	0,1	1	0,0042	0,00273		
SS0049H02	4A	14	3,9	0,1	1	0,007	0,00308		
SS0049H01	5A	10	3,9	0,1	1	0,00315	0,00196		
SS0049I01	6A	14	3,9	0,5	1	0,047	0,045		
SS0049I02	7A	14	3,9	0,1	1	0,007	0,00252		
SS0049D01	8A	14	3,9	0,1	1	0,00434	0,00259		
SS0049B01	9A	14	3,9	0,1	1	0,0049	0,00455		
SS0049B02	10A	14	3,9	0,1	1	0,00469	0,0001		
SS0055A01	1B	10	3,9	0,1	1	0,04	0,038		
SS0055A02	2B	10	3,9	0,1	1	0,0001	0,00357	Nollflöde ev pga igensatt manschett	
SS0055C01	3B	10	3,9	0,1	1	0,01	0,01		
SS0055H02	4B	10	3,9	0,5	1	0,00203	0,00154		
SS0055H01	5B	10	3,9	0,1	1	0,0001	0,0001		
SS0055I01	6B	14	3,9	0,1	1	0,0001	0,0001		
SS0055I02	7B	14	3,9	0,1	1	0,0001	0,0001		
SS0055D01	8B	14	3,9	0,1	1	0,0001	0,0001		
SS0055B01	9B	14	3,9	0,1	1	0,0001	0,0001		
SS0055B02	10B	14	3,9	0,1	1	0,00224	0,0021		
Antal	20		Max	0,5	Summa	0,13735	0,11844		
En droppe antas vara 0,070 milliiter									
Vid mätt inflöde på 0 l/min eller tryck på 0 bar antas volymen vara 0,0001 l respektive 0,1 bar									
Protokollförare: Nils									

Vattenförlostmätning											
Skärm nr: T2A och T2B		Sektion tunnel: 49/55			Verklig sektion (inmätt): 49,4/55,6						
Datum: 09-05-11		Borrhåls diameter: 0,064 m									
Tid: 13:00		Mättid 3 min									
Vattentemp: 13,4 °C		Injektionsövertryck: 5 bar									
Borrhåls-namn	Borrhåls-nummer	Borrhåls-längd	Manschett grund-placering	Tryck borrhål	Injektions-tryck	Flödes-tid	Volym under injektion	Vikt i blandaren [kg]		Kommentarer	
[-]	[nr]	[m]	[m]	[bar]	[bar]	[min]	[liter]	Före	Efter		
SS0049A01	1A	10	3,9	0,1	40	3	1	346,2	345,1	Samband med sulhål SZA 1A. Solplug åker ur hålet.	
SS0049A02	2A	14	3,9	0,1	40	3	0,7	397,1	396,2		
SS0049C01	3A	10	3,9	0,1	40	3	0,4	371,0	370,8		
SS0049H02	4A	14	3,9	0,1	40	3	1,6	330,5	328,7		
SS0049H01	5A	10	3,9	0,1	40	3	0,1	303,9	303,6		
SS0049I01	6A	14	3,9	0,5	40	3	0,3	272,4	271,7		
SS0049I02	7A	14	3,9	0,1	40	3	0,1	235,5	235,4		
SS0049D01	8A	14	3,9	0,1	40	3	0,1	199,2	199,1		
SS0049B01	9A	14	3,9	0,1	40	3	0,3	163,9	163,3		
SS0049B02	10A	14	3,9	0,1	40	3	0,7	130,9	130,5		
SS0055A01	1B	10	3,9	0,1	40	3	0,6	105,4	104,2		
SS0055A02	2B	10	3,9	0,1	40	3	0,8	204,6	203,4		
SS0055C01	3B	10	3,9	0,1	40	3	0,2	170,3	170,1		
SS0055H02	4B	10	3,9	0,5	40	3	0,5	138,5	137,4		
SS0055H01	5B	10	3,9	0,1	40	3	0,3	111,9	111,8		
SS0055I01	6B	14	3,9	0,1	40	3	0,5	74,3	73,5		
SS0055I02	7B	14	3,9	0,1	40	3	0,1	39,0	38,5		
SS0055D01	8B	14	3,9	0,1	40	3	0,1	191,3	191,2		
SS0055B01	9B	14	3,9	0,1	40	3	0,1	157,6	157,2		
SS0055B02	10B	14	3,9	0,1	40	3	0,5	73,6	73,0	Samband med sulhål i sekt 42 m, precis ovanför EDZ	

Vid mätt inflöde på 0 l/min eller tryck på 0 bar antas volymen vara 0,0001 l respektive 0,1 bar

Protokollförare: Nils och Daniel

Inflödes- och tryckmätningar									
Skärm nr: T2C		Sektion tunnel: 46			Verklig sektion (inmätt): 46,3				
Datum:	09-05-13	Borrhåls diameter:			0,064 m				
Tid:	18:00	Mättid:			1 min				
Vattentemp:	°C	Antaget tryck:			35 bar				
Borrhåls-namn	Borrhåls-nummer	Borrhåls-längd	Manschett grund-placering	Tryck borrhål	Flödes-tid	Volym en manch. öppen	Volym alla öppna	Kommentarer	
[-]	[nr]	[m]	[m]	[bar]	[min]	[liter]	[liter]		
SS0046A02	1C	9	3,9	0,1	1	0,0001			
SS0046A01	2C	9	3,9	0,1	1	0,0001			
SS0046H03	3C	9	3,9	0,1	1	0,0042			
SS0046H02	4C	9	3,9	0,1	1	0,00224			
SS0046H01	5C	9	3,9	0,1	1	0,00518			
SS0046I01	6C	13	3,9	0,1	1	0,00371			
SS0046I02	7C	13	3,9	0,1	1	0,008			
SS0046B01	8C	13	3,9	0,1	1	0,0028			
SS0046B02	9C	13	3,9	0,1	1	0,019			
SS0049A01	T2A-1A	10	1	8	1	0,41		Ytlig manschett	
Antal	9		Max	8	Summa	0,04533	0		
En droppe antas vara 0,070 milliliter									
Vid mätt inflöde på 0 l/min eller tryck på 0 bar antas volymen vara 0,0001 l respektive 0,1 bar									
Protokollförare: Nils/ Daniel									

Vattenförlustmätning			Sektion tunnel: 46		Verklig sektion (inmätt): 46,3				
Skärm nr: T2C	Borrhåls diameter:		Borrhåls diameter:		Borrhåls diameter:				
Datum: 09-05-13	0,064 m		0,064 m		0,064 m				
Tid: 20:45	Mättid		Mättid		Mättid				
Vattentemp: - °C	Injektionsöverttryck:		Injektionsöverttryck:		Injektionsöverttryck:				
Borrhåls-namn	Borrhåls-nummer	Borrhåls-längd [m]	Manschett grund-placering	Tryck borrhål [bar]	Injektions-tryck [bar]	Flödes-tid [min]	Volym under injektion [liter]	Vikt i blandaren [kg]	Kommentarer
[-]	[nr]	[m]	[m]	[bar]	[bar]	[min]	[liter]	Före Efter	
SS0046A02	1C	9	3,9	0,1	40	3	0,1	348,1 248,0	
SS0046A01	2C	9	3,9	0,1	40	3	0,1	340,0 229,8	
SS0046H03	3C	9	3,9	0,1	40	3	0,0001	296,8 296,8	
SS0046H02	4C	9	3,9	0,1	40	3	0,1	275,0 274,8	
SS0046H01	5C	9	3,9	0,1	40	3	0,2	249,2 249,1	
SS0046I01	6C	13	3,9	0,1	40	3	0,1	214,3 210,9	
SS0046I02	7C	13	3,9	0,1	40	3	0,0001	177,0 177,0	
SS0046B01	8C	13	3,9	0,1	40	3	0,2	142,7 142,7	
SS0046B02	9C	13	3,9	0,1	40	3	0,4	68,4 67,7	
SS0049A01	T2A-1A	10	2	8	20-40	3	-	-	Vid 20 bar uppstår större läckage i slag sekt 39 m samt mindre i sekt 45 m ca 4 m upp på vägg. Vid 40bar kommer solplug ur hål S2A-4 + större läckage sekt 45 m 4 m upp och slag 38 m 3 m upp.
Vid mätt inflöde på 0 l/min eller tryck på 0 bar antas volymen vara 0,0001 l respektive 0,1 bar									
Protokollförfare: Nils/ Daniel									

Injekttering		Sektion tunnel: 46		Verklig sektion (inmätt): 46,3		Nr	Före	Efter								
Skärm nr: T2C		Antaget grv tryck:		35 bar		2	4	4								
Datum: 09-05-14		Brukstemp:		14,7 °C		3	8	8								
Tid: 07:00				Lufttemp: 17,5 °C												
Borrhålsdata			Valda injektteringsparametrar			Protokollföres under injekttering										
Borrhåls-namn	Borrhåls-nummer	Borrhåls-längd	Manschett-grund-placering	Ant. Grv tryck borrhål	Injektterings-tryck	Vald gettid och ungerfärlig ratio	Effektiv inj tid	Antal satsar (1 sats ? 240 kg)	Inj. ordning	Manschett-placering, Verklig	Start inj	Stoppat vid fullgjord tid	Uppnått tryck efter start inj	Inj. volym	Gei tid	Kommentarer (samband, läckage, stoppat på annan tid, annan inj ordning)
[-]	[nr]	[m]	[m]	[bar]	[bar]	[min]	Ratio [X:Y]	[-]	[-]	[m]	[Tid]	[Ja/Nej]	[Tid]	[l]	[min]	
SS0046A02	1C	9	3,9	35	65	36	5,3:1	0,5	1	4,5	2,37	Ja	2,58	22,0	36	
SS0046A01	2C	9	3,9	35	65	36	5,3:1	0,5	3	4,5	2,36	Ja	3,02	20,0	36	
SS0046H03	3C	9	3,9	35	65	36	5,3:1	0,5	5	4,5	1,32	Ja	2,02	25,0	36	
SS0046H02	4C	9	3,9	35	65	36	5,3:1	0,5	7	4,5	1,41	Ja	2,05	21,0	36	
SS0046H01	5C	9	3,9	35	65	36	5,3:1	0,5	9	4,5	1,58	Ja	2,15	24,0	36	
SS0046I01	6C	13	3,9	35	65	36	5,3:1	0,5	8	4,5	1,28	Ja	2,08	35,0	36	
SS0046I02	7C	13	3,9	35	65	36	5,3:1	0,5	6	4,5	1,36	Ja	2,13	35,0	36	
SS0046B01	8C	13	3,9	35	65	36	5,3:1	0,5	4	4,5	1,53	Ja	2,32	34,0	36	
SS0046B02	9C	13	3,9	35	65	36	5,3:1	0,5	2	4,5	1,58	Ja	2,38	38,0	36	
<p>Silica sol Om det bedöms att satsen kommer att ta slut innan den effektiva injektteringstiden är uppnådd skall en ny sats göras med 19 minuters geltid; vid ca 15 kg kvar i kärlet, sänks flödet till nästintill 0 och satsen blandas snabbt. Ny injektteringstiden blir 4/5 av 19 min = 15 min.</p>																
<p>Protokollförare: Nils, Daniel</p>																

Åter injektering T2A, hål nr 1															
Skärm nr: T2A	Sektion tunnel: 49			Verklig sektion (inmätt): 49,4				Borrhålsnr		Före	Efter				
Datum: 09-05-14	Antaget grv tryck: 35 bar						2		4	4					
Tid: 15:00	Brukstemp: 14,7 °C		Lufttemp: 17,5 °C				3		8	8					
Borrhålsdata			Valda injekteringsparametrar				Protokollföres under injektering								
Borrhåls-namn	Borrhåls-nummer	Borrhåls-längd	Ant. Grv tryck borrhål	Injekt.-tryck	Vald geltid och ungefärlig ratio	Effektiv inj tid	Antal satsar (1 sats ? 240 kg)	Inj. ordning	Mansch.-placering	Start inj	Stoppat vid fullgjord tid	Uppnått tryck efter start inj	Inj. volym	Gel tid	Observation
[-]	[nr]	[m]	[bar]	[bar]	[min]	[min]	[-]	[-]	[m]	[Tid]	[Ja/Nej]	[Tid]	[l]	[min]	
SS0049A01	T2A-1	10	35	18	14	14	1	1	2	6,00	Ja	7,00	45,0	14	*1
*1	<p>Samtliga manschetter i vänster vägg hålls öppna, även OBShål (2&3). Efter 1 min (efter uppnått tryck) läckage i manschett sekt 42 m (sulhål), manschett stängs, läckage fortsätter strax ovanför hål osäkert var. Efter 1,45 min läckage i slag i sekt 46-47. 2,20 min sol ur manschett S2A-4 (stängs). Efter 5 min utspädd sol i OBShål 3 (låter det rinna). Efter 15 min ökar inläckaget i slaget på 47 m efter att ha läckt ganska tjock sol-blandning och blir nu mer lättflytande. Injektering avslutas efter 17 m (observera geltiden!) Strax därpå minskar flödet i slag 47 m, uppskattningsvis till 100 dropp/min. Efter ytterligare 30 min har det kanske halverats. OBShål 3 lämnas öppet.</p>														
Silica sol	Om det bedöms att satsen kommer att ta slut innan den effektiva injekteringstiden är uppnådd skall en ny sats göras med 19 minuters geltid; vid ca 15 kg kvar i kärlet, sänks flödet till nästintill 0 och satsen blandas snabbt. Ny injekteringstiden blir 4/5 av 19 min = 15 min.														
Protokollförelare:	Nils, Daniel														

Inflödes- och tryckmätningar										
Skärm nr:	T2CC+T2CCC		Sektion tunnel:		52/58		Verklig sektion (inmätt):			52,5/58,7
Datum:	09-05-19		Borrhåls diameter:		0,064		m			
Tid:	08:00		Mättid:		1		min			
Vattentemp:	-		Antaget tryck:		35		bar			
Borrhåls-namn	Borrhåls-nummer	Borrhåls-längd	Manschett placering, grundplac	Tryck borrhål	Flödes-tid	Volym en manch. öppen	Volym alla öppna	Kommentarer		
[-]	[nr]	[m]	[m]	[bar]	[min]	[liter]	[liter]			
SS0052A02	1CC	9	4,5	0,1	1	0,0001	0,0001			
SS0052A01	2CC	9	4,5	0,1	1	0,00112	0,00105			
SS0052H03	3CC	9	4,5	0,1	1	0,00266	0,0028			
SS0052H02	4CC	9	4,5	0,1	1	0,00469	0,00469			
SS0052H01	5CC	9	4,5	0,1	1	0,0001	0,0001			
SS0052I01	6CC	13	4,5	0,1	1	0,0001	0,0001			
SS0052I02	7CC	13	4,5	0,1	1	0,0001	0,0001			
SS0052B01	8CC	13	4,5	0,1	1	0,0028	0,0028			
SS0052B02	9CC	13	4,5	0,1	1	0,0001	0,0001			
SS0058A02	1CCC	9	4	0,1	1	0,0001	0,0001			
SS0058A01	2CCC	9	4	0,1	1	0,0001	0,0001			
SS0058H03	3CCC	9	4	20	1	0,067	0,039			
SS0058H02	4CCC	9	4	22	1	0,13	0,13			
SS0058H01	5CCC	9	4	0,1	1	0,00434	0,00434			
SS0058I01	6CCC	13	4	0,1	1	0,00294	0,00322			
SS0058I02	7CCC	13	4	0,1	1	0,00462	0,00469			
SS0058B01	8CCC	13	4	0,1	1	0,0001	0,0001			
SS0058B02	9CCC	13	4	0,1	1	0,0001	0,0001			
Antal	18		Max	22	Summa	0,22107	0,19349			
En droppe antas vara 0,070 milliliter										
Vid mätt inflöde på 0 l/min eller tryck på 0 bar antas volymen vara 0,0001 l respektive 0,1 bar										
Protokollförare: Nils										

Vattenförlustmätning			Sektion tunnel: 52/58			Verklig sektion (inmätt): 52,5/58,7			
Skärm nr:	T2CC+T2CCC		Borrhåls diameter:			0,064 m			
Datum:	09-05-19		Mättid			3 min			
Tid:	08:00		Injektionsöverttryck:			5 bar			
Vattentemp:	- °C								
Borrhåls-namn	Borrhåls-nummer	Borrhåls-längd	Manschett grund-placering	Tryck borrhål	Injektions-tryck	Flödes-tid	Volym under injektion	Vikt i blandaren [kg]	Kommentarer
[-]	[nr]	[m]	[m]	[bar]	[bar]	[min]	[liter]	Före Efter	
SS0052A02	1CC	9	4,5	0,1	45	3	12	188,3 171,6	Samband med T1B-1, S2B-4, även ytläckage i sekt 43-45 m
SS0052A01	2CC	9	4,5	0,1	45	3	0	326,3 320	
SS0052H03	3CC	9	4,5	0,1	45	3	0	302,1 302	
SS0052H02	4CC	9	4,5	0,1	45	3	0,1	281,4 281,4	
SS0052H01	5CC	9	4,5	0,1	45	3	0	258,4 258,2	
SS0052I01	6CC	13	4,5	0,1	45	3	0,1	335,2 335	
SS0052I02	7CC	13	4,5	0,1	45	3	0,1	293,8 293,6	
SS0052B01	8CC	13	4,5	0,1	45	3	0,1	256,5 250,4	
SS0052B02	9CC	13	4,5	0,1	45	3	0,5	208,2 207,1	
SS0058A02	1CCC	9	4	0,1	45	3	0,1	43,0 42,8	Samband med S1C-4
SS0058A01	2CCC	9	4	0,1	45	3	0,1	150,2 150,1	
SS0058H03	3CCC	9	4	20	45	3	0,8	67,8 67,2	
SS0058H02	4CCC	9	4	22	45	3	1,4	45,9 43,5	
SS0058H01	5CCC	9	4	0,1	45	3	0	231,3 231,1	
SS0058I01	6CCC	13	4	0,1	45	3	0,1	194,5 194,3	
SS0058I02	7CCC	13	4	0,1	45	3	0,1	158,8 158,6	
SS0058B01	8CCC	13	4	0,1	45	3	0,1	124,6 124,4	
SS0058B02	9CCC	13	4	0,1	45	3	0	92,1 92,1	

Vid mätt inflöde på 0 l/min eller tryck på 0 bar antas volymen vara 0,0001 l respektive 0,1 bar

Protokollförelse: Nils

Injektering		Sektion tunnel: 52/58 erklig sektion (inmätt): 52,5/58,7		Tryck i OBShål		Borrhålsnr		Före		Efter					
Datum: 09-05-20		Antaget grv tryck: 35 bar		Lufttemp: - °C		3		10		28					
Tid: 08:00		Bruktemp: - °C													
Borrhålsdata		Valda injektionsparametrar				Protokollföres under injektoring									
Borrhåls-namn	Borrhåls-nummer	Borrhåls-längd	Ant. Grv tryck borrhål	Injektions-tryck	Vald geitid och ungefärlig ratio	Effektiv inj tid	Antal sats (1 sats ? 240 kg)	Inj. ordning	Mansch.- placering	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]	[min]	[-]	[-]	[m]	[Tid]	[Ja/Nej]	[Tid]	[l]	[min]	
SS0052A02	1CC	9	35	65	36	29	0,5	1	4	1,30	Nej	Ej uppnått	183	36	Stora ytläckage i sekt 32-40. Ny sats blandas
SS0052A02	1CC	9	35	65	14	11	1	1	4		Ja			13	
SS0052A01	2CC	9	35	65	36	29	0,5	3	4	2,02	Ja	2,38	24	36	
SS0052H03	3CC	9	35	65	36	29	0,5	5	4	1,33	Ja	1,58	21	36	
SS0052H02	4CC	9	35	65	36	29	0,5	7	4	1,32	Ja	1,57	20	36	
SS0052H01	5CC	9	35	65	36	29	0,5	9	4	1,57	Ja	2,30	21	36	
SS0052I01	6CC	13	35	65	36	29	0,5	8	4	2,58	Ja	3,36	33	36	
SS0052I02	7CC	13	35	65	36	29	0,5	6	4	2,27	Ja	2,55	32	36	
SS0052B01	8CC	13	35	65	36	29	0,5	4	4	1,33	Ja	2,18	42	36	
SS0052B02	9CC	13	35	65	36	29	0,5	2	4	1,15	Ja	1,58	108	36	Samb med hål S2C-5
SS0058A02	1CCC	9	35	65	36	29	0,5	1	4	2,12	Ja	2,42	30,0	36	
SS0058A01	2CCC	9	35	65	36	29	0,5	3	4	1,59	Ja	2,27	23,0	36	
SS0058H03	3CCC	9	35	65	36	29	0,5	5	4	1,57	Ja	2,28	38,0	36	
SS0058H02	4CCC	9	35	65	36	29	0,5	7	4	2,02	Ja	2,32	24,0	36	
SS0058H01	5CCC	9	35	65	36	29	0,5	9	4	2,40	Ja	3,10	23,0	36	
SS0058I01	6CCC	13	35	65	36	29	0,5	8	4	2,10	Ja	2,49	36,0	36	
SS0058I02	7CCC	13	35	65	36	29	0,5	6	4	2,30	Ja	3,18	35,0	36	
SS0058B01	8CCC	13	35	65	36	29	0,5	4	4	2,32	Ja	3,05	33,0	36	
SS0058B02	9CCC	13	35	65	36	29	0,5	2	4	2,20	Ja	2,58	32,0	36	
Silica sol Om det bedöms att satsen kommer att ta slut innan den effektiva injektionstiden är uppnådd skall en ny sats göras med 19 minuters gelid; vid ca 15 kg kvar i kärlet, sänks flödet till nästintill 0 och satsen blandas snabbt. Ny injektionstiden blir 4/5 av 19 min = 15 min.															
Protokollförelse: Nils, Daniel															

Sammanställning av injekteringen och viktiga händelser under injekteringen

Arbetssetapp 1: Sulan

Omgång 1

Injekteringskärm S1A och S1B

Injekteringen av samtliga borrhål i S1A och S1B utfördes med silica sol och använda geltider var enligt design, dvs 36 och 72 minuter. Detta ger injekteringstiden 29 respektive 52 minuter vid ett injekteringsövertryck på 3,0 MPa respektive 1,5 MPa. För denna skärm antogs att grundvattenstrycket var 3,5 MPa vilket gav ett totaltryck på 6,5 MPa respektive 5,0 MPa. En stoppsats kom också att injekteras med en geltid på 19 minuter med lågt övertryck men tillräckligt för att erhålla ett injekteringsflöde. Att två av hålen injekterades med den längre geltiden (72 min) berodde på att manschetten placerades ytligt på grund av att borrhålen var hopborrade. De övriga hålen fungerade enligt förväntan med 4 meters djup manschettplacering och 36 minuters geltid. Två av borrhålen hade samband under injekteringen och två uppvisade ytläckage på vägg. Effektiv injekteringsvolym var 521 liter. Ett av borrhålen, det som injekterades med en stoppsats, stod för den största enskilda åtgången, 318 liter. Detta borrhål hade också det största inflödet, 9 liter/minut.

Kontrollskärm S1C

Injekteringen utfördes med silica sol. Använda geltider var för samtliga hål, utom det med största flödet, 36 minuter, vilket ger en injekteringstid på 29 minuter vid ett övertryck på 3,0 MPa. För borrhål 6C med det största flödet användes först en 19 minuters sats med en pumptid på 15 minuter vid ett övertryck på 3 MPa. Åtgången var 195 liter och tog slut på ca 10 minuter och designtrycket kunde inte uppnås. En ny sats injekterades med 10 minuters geltid och en injekteringstid på 8 minuter vid samma övertryck, åtgången blev då 68 liter. Den effektiva injekteringsvolymen var 321 liter. Borrhållets beräknade hydrauliska sprickvidd var 156 µm, baserat på mätt inflöde i borrhålet och ett antaget grundvattenstryck på 3,5 MPa. Trots den beräknad hydraulisk sprickvidd injekterades borrhålet med silica sol.

Genomgång av sulhålen samt injektering

I fem av de sex läckande hålen kunde en silica sol plugg noteras och det läckage som uppmäts i borrhålen torde komma från den ytliga delen av borrhålen. I borrhål 6C (borrhålet med ett inflöde före injektering på 50,4 liter/minut) sågs ingen tydlig silica sol plugg. Manschettläget för mätning var enligt ordinarie placering 5 m och flödet kunde mätas till 2,3 l/min.

De fem borrhålen med de mindre läckagen injekterades med en manschettplacering på 1 m, en geltid på 19 min och ett injekteringsövertryck på 1,5 MPa i 15 minuter. Åtgången av silica sol blev totalt 79 liter varav ca 64 liter är den teoretiska borrhålsvolymen – ett av borrhålen tog 44 liter. Borrhål 6C injekterades med en manschettplacering på 5 m, enligt den ursprungliga designen, och en geltid på 19 min, vilket gav en injekteringstid på 15 min, och ett övertryck på 3 MPa. Åtgången av silica sol blev enbart 39 liter vilket borde tyda på att det fanns silica sol längre in i borrhålet.

Omgång 2

Injekteringskärm S2A och S2B

Under vattenförlustmätning av hål 11B (skärm S2B) noterades ett stort ytläckage i sulan som antogs vara från ett tidigare förinjekteringshål från skärm 4 samt ett samband med observationshål 1. Ytterligare noterades att, ett hål, 6C i kontrollskärm S1C läckte och injektering utfördes av detta hål innan S2A och S2B kunde injekteras. Injekteringen gjordes med en manschettplacering på 2 m samt ett totaltryck på 5 MPa och 19 minuters geltid. Den injekterade volymen blev 40 liter silica sol.

Samtliga hål injekterades med silica sol i S2A och S2B. Alla borrhål, utom ett (borrhål 11B i sulan), injekterades med basdesignen för en geltid på 36 minuter. Hål 11B injekterades med 19 minuters

geltid och med ett övertryck på 3 MPa. Manschettplaceringen i detta hål var på 6 meters djup, för att undvika det mest ytligt uppspruckna berget. Designen för hål 11B valdes därför att vattenförlusten hade gett information om ytläckage. Vid första försöket pumpades 302 liter silica sol lösning in utan att nå designtrycket, ytterligare en sats på 300 liter pumpades in och ytterligare en på 500 liter. Som avslutning pumpades in en sats på 200 liter med större tillsats av salt för att skynda på gelningen, dvs en stoppsats – för att skapa en borrhålsplugg. Vid övriga injekteringar i omgång 2 noterades flera ytläckage och samband med andra borrhål, bland annat med borrhål från förinjekteringskärm 2.

Kontrollskärm S2C och S2CC

Under injekteringen av hål 2 i S2C uppstod problem. Först noterades ett samband med hål 2B i skärm S2B och läckage i två sprickslag i sulan, vid sektion 43–44 m. Vidare noterades ett samband vid hål 3B i skärm S2B, både genom och runt manschetten. Manschetten i sambandshålet flyttades ut men läckaget fortsatte. Läckage noterades även i observationshål 3. Efter läckaget uppstod ett nytt ytläckage i ett sprickslag, vid sektion 47 m. Den injekterade volymen var 147 liter och injekteringstiden hade inte uppnåtts. En ny sats silica sol lösning blandades med en geltid på 19 minuter (blev 17 minuter) och injekterades under full injekteringstid men designtrycket (ÖT = 3,0 MPa) uppnåddes inte. Övriga injekteringshål i S2C löpte på enligt design. Under injekteringen av S2CC, hål nr 6 pumpades in 82 liter silica sol lösning, men fullgjord injekteringstid nåddes inte. En ny sats med 19 minuters geltid injekterades – injekteringstiden nåddes men inte designtrycket. Samband mellan hål 5 och 6 i skärm S2A och ytläckage i branta sprickor i EDZ-området noterades. Övriga injekteringshål i S2CC injekterades utan några noteringar.

Arbetsstapp 2; taket

Omgång 3

Injekteringskärm T1A och T1B

Injektering av samtliga borrhål i T1A och T1B utfördes med silica sol enligt basdesign (Geltid = 36 min, injekteringstid = 29 min, övertryck = 3,0 MPa). Tre samband noterades varav ett var i ett närliggande borrhål. Detta hål spolades ur och injekterades om enligt basdesign. Effektiv injekteringsvolym var totalt 591 liter. Efter injekteringen gjordes översyn av borrhålen, varav tre läckte. Borrhål 4A i skärm T1A, läckte med 17 droppar per minut och antogs komma ytligt, dvs nära tunnelkontur. De tre borrhålen ominjekterades med manschetter som satt ytligt, 1 m in i borrhålet, med geltid = 14 min, injekteringstid = 11 min samt övertryck = 1,5 MPa. Borrhålet som läckte 17 droppar per minut injekterades med 20 liter effektiv volym medan de andra två injekterades med 15 liter tillsammans. Att borrhålen injekterades med förhållandevis stora mängder silica sol lösning gav slutsatsen att det mer ytliga berget (mellan 1 och 4 m in i borrhålen) tätades något.

Omgång 4

Injekteringskärm T2A och T2B

Samband noterades under VFL-mätningen mellan T2A, hål 1A, med ett sulhål i S2A. I sulhålet hade en del av den tidigare silica solen i hålet (borrhålspluggen) åkt ut. Ytterligare ett samband med sulhål ovanför EDZ-uttaget, i sektion 42 m, noterades vid VFL-mätningen av T2B.

Injektering av samtliga borrhål i T2A och T2B utfördes med silica sol enligt basdesign. Vid injekteringen av hål 10A, noterades ett samband med ett hål i sulskärmen S1C. När hål 1A injekterades skedde större ytläckage och samband; först ett läckage i hål 4, i sulskärm S2A, och därefter i hål 1, takskärm T1C – båda hålen fanns i vänster vägg. De läckande hålen manschetterades och stängdes, vilket orsakade läckage ur ett sprickslag, vid sektion 39 m efter ca 5 min. Läckaget ökade vartefter och nya läckage uppstod i hål 3, 4 och 5, i sulskärm S2C, samt i ett sprickslag, vid sektion 38,5 m, men även uppe i takanfanget uppstod läckage. Vidare upptäcktes läckage i ett tidigare salvhål, vid sektion 37 m, ca 3 m upp på vänster vägg. Första satsen, som gjordes enligt basdesign, pumpades in utan att designtrycket uppnåddes. Ny sats blandades (450kg) med 19 min geltid och designtrycket nåddes. Totalt pumpades 254 liter silica sol lösning in.

Kontrollskärmarna T2C, T2CC och T2CCC

Under borring och manschettering av T2C noterades att ett hål, 1A i T2A, läckte. En manschett sattes ytligt i det läckande hålet (1 m in i borrhålet). Flöde och vattentryck mättes i hålet till 0,41 l/min respektive 0,8 MPa. Under inledningen av VFL-mätningen upptäcktes ett större ytläckage i ett sprickslag, vid sektion 39 m, samt ett mindre ytläckage, vid sektion 45 m. När trycket i VFL-mätningen successivt byggts upp till 4 MPa kom silica sol pluggen ut ur borrhål 4, i sulskärm S2A, och stora läckage observerades vid sektion 45 m och 38 m.

Det läckande hålet injekterades med silica sol, med en geltid på 14 minuter, övertryck på 1,8 MPa och en injekteringstid på 14 minuter (alltså hela geltiden). Manschettplaceringen bestämdes till 2 m in i borrhålet för att tillåta lite högre tryck. Vid injekteringen uppstod följande: Samtliga manschetter i skärm T2C i vänster vägg hölls öppna, inklusive obshål 2 och 3 för att kunna kontrollera samband. Efter 1 minut (efter uppnått designtryck) uppstod läckage i manschetten i sektion 42 m, manschetten stängdes men läckaget fortsatte som ytläckage strax ovanför hålet. Efter 1:45 minuters läckage uppstod ett sprickslag i sektion 46–47 m. Efter 2:20 minuter kom silica sol ur manschetten i hål 4, i sulskärm S2A och manschetten stängdes. Efter 5 min kom utspädd silica sol ut ur obshål 3 (det tilläts rinna). Efter 15 minuter ökade läckaget i sprickslaget vid sektion 47 meter efter att ha läckt ganska tjock silica sol blandning övergick läckaget till att blir mera lättflytande. Injekteringen avslutades efter 17 minuter, dvs 2 minuter längre än geltiden. Strax därpå minskade flödet i sprickslag, vid sektion 47 m – uppskattningsvis till 100 droppar/minut. Efter ytterligare 30 minuter hade droppandet halverats. Obshål 3 lämnades öppet.

I T2CCC, hål 4, var det största flödet 0,13 l/min med ett tryck på 2,2 MPa. VFL-mätningen visade större flöde i T2CC men indikerade ett samband med hål 1 i takskärm T1B och hål 4 i sulskärm S2B samt ytläckage vid sektion 43–45 m. Övriga hål hade flöden på 0,1–0,5 l/min. I T2CCC hade två av hålen en nämnvärd vattenförlust samt ett av hålen uppvisade samband.

Injektering av T2CC utfördes med silica sol enligt basdesign i alla hålen. I hålet som uppvisade samband injekterades en snabbare sats, eftersom ordinarie geltid på 36 min inte nådde designtrycket. Den effektiva injekteringsvolymen för skärm T2CC blev 288 liter. För T2CCC injekterades alla hål enligt basdesign och samtliga hål nådde designtryck. Den effektiva injekteringsvolymen för skärm T2CCC blev 78 liter.

Utspänningsförsök på silica sol, en laborationsstudie

Efterinjekteringen av TASS-tunneln, Äspölaboratoriet, har lett till denna studie. I flera av de injekterade borrhålen har ett flöde observerats. Att flödet uppstår, trots att borrhålet har injekterats, kan bland annat bero på själva utförandet eller att det injekterade materialet eroderat. Att erosion skulle ha skett kan i så fall bero på en eventuell utspädning av silica solen.

Målet med denna inledande laborationsstudie är att visa hur utspädningen av silica sol påverkar geltiden samt vilka hållfastheter som erhålls. Vidare skall resultaten sättas i ett injekteringssammanhang för att se om utspädningen kan påverka risken för erosion i början av en injektering.

D1 Metod

D1.1 Studerat material

Silica solen som testats är Meyco MP320 (prod. Dat 2009-10-17). Acceleratorn är 10 % NaCl lösning. Utspädning gjordes med vanligt kranvatten. Silica solen är den samma som användes för efterinjekteringen av TASS-tunneln, Äspölaboratoriet.

D1.2 Utrustning

För geltidernas påverkan av utspädning används kopptest för bestämning av geltiden samt viskositetstillväxten mäts med en rotationsviskosimeter av typen Bohlin CVO200, med en cup-and bob uppsättning.

Hållfastheten bestämdes med enkla fallkontester.

D1.3 Testförfarande

Utspänningsförsöken syftar till att simulera hur olika mängd kvarstående vatten i borrhål kan späda ut silica sol. Utspädningen har genomförts med följande koncentrationer: 2 % utspädning, 5 % utspädning och 10 % utspädning. 2 % motsvarar en liten mängd vatten i borrhålet (2 % av 30 liter = 0,6 liter, 5 % = 1,5 liter och 10 %, 3 liter).

Blandningen utfördes med en volym på ca 100 cl och genomfördes med en vanlig magnetorrörare. Silica solen blandades genom viktsförhållanden (ratio) mellan, silica sol och saltlösning. De sökta geltiderna var 14 minuter, 30 minuter och 50 minuter. Alla tester utfördes i rumstemperatur (ca 20 °C). Inblandningen av vatten gjordes 5 minuter efter att silica sol och saltlösning blandats. Vattnet hölls direkt i magnetorröraren.

Skjuvhållfasthet bestämdes 20 timmar efter gelning. Utspädning med vatten gjordes i tre olika koncentrationer; 12,5 %, 25 % och 37,5 %. Dessa koncentrationer valdes för att få ett stort spann av hållfastheter 20 timmar efter blandning. Silica solen hade fortfarande inte gelat 20 timmar vid en del utspädningar vilket resulterade i att inget hållfasthetsresultat kunde erhållas.

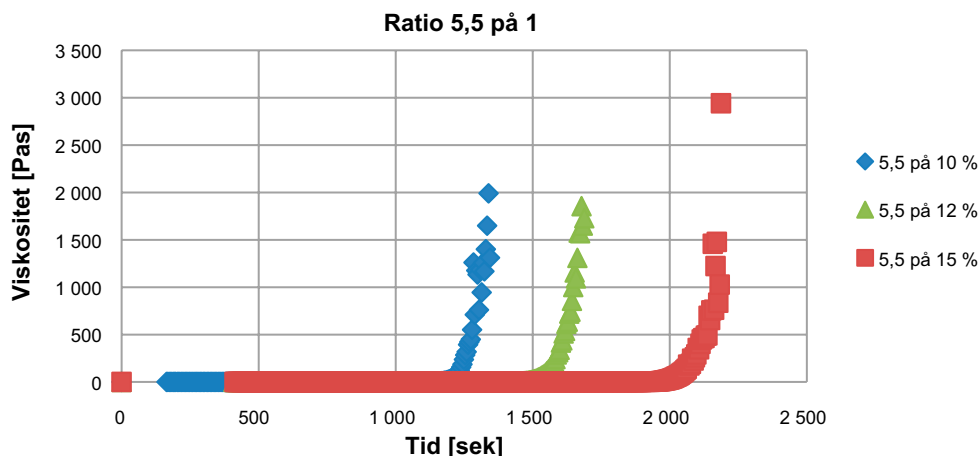
D2 Resultat

D2.1 Geltider

Geltiderna för tre olika ”recept” med olika utspädningar visas i tabell D-1).

Som framgår av tabell D-1 påverkas geltiden såsom förväntat. Viskositetstillväxten mättes för receptet 5,5:1 utan inblandning, 2 % inblandning och för 5 % inblandning. Resultatet visas i figur D-1.

En inblandning av 2 viktsprocent vatten, leder till en förlängning av geltiden på 10 min (från ursprungliga 30 min blev det istället 40 min). Med en inblandning av 5 viktsprocent vatten blev geltiden 51 min istället för 30 min.



Figur D-1. Viskositetsförändring för ett blandningsförhållande 5,5:1 med ingen vattenutspädning jämfört med 2 % och 5 % utspädning med vatten.

Tabell D-1. Resultat av geltider påverkat av utspädning.

Recept (ratio)	Referens geltid [min]	Geltid, 2 % H ₂ O [min]	Geltid, 5 % H ₂ O [min]	Geltid, 10 % H ₂ O [min]
4,3 : 1	14	18	23	35,5
4,3 : 1	14	17,5	23,5	35
4,3 : 1	14	17,5	23	35,5
5,5 : 1	30	38	51	84
5,5 : 1	30	40	52	86
5,5 : 1	32	40	53	85
6,5 : 1	49	63	87	140
6,5 : 1	50	63	87,5	139,5
6,5 : 1	50	65	87,5	139,5

D2.2 Hållfasthet

Resultaten av fallkonförsöken visas i tabell D-2. Hållfasthetsutvecklingen på grund av utspädning mättes på ett blandningsförhållande (6:1). Recepten för hållfasthetsutveckling skiljer sig från gel tiderna i kapitel 3.1 för att anpassas mot möjliga tider för mätning.

Som framgår av tabell D-2 visar de lika recepten utan utspädning likvärdiga hållfastheter efter 20 timmar, ca 8–12 kPa.

Tabell D-2. Skjuvhållfasthet på prover 20 timmar efter blandning. Observera att geltiden inte bestämdes noggrant.

Recept	Fallkontest, skjuvhållfasthet kPa	Kommentar
6:1	12	Gelad efter 30 min
5:1	9.8	Gelad efter 30 min
4:1	8	Gelad före 30 min
3:1	9.8	Gelad vid 6 min
6:1+ 12,5 % H ₂ O	3	Gelad före 16 timmar
6:1+ 25 % H ₂ O	0	Ej gelad efter 22 timmar
6:1+ 37,5 % H ₂ O	0	Ej gelad efter 22 timmar

Hållfastheten sjunker tydligt för recept 6:1 med en utspädning på 12,5 % vatten – ursprungligen 12 kPa men med 12,5 % enbart 3 kPa. Med större utspädning kunde inga hållfastheter mätas inom projektets tid eftersom de fortfarande var i vätskeform. Hade man väntat längre hade proverna förmodligen gelat men det var inte möjligt att kontrollera proverna under längre tid.

D3 Diskussion och slutsatser

I TASS-projektet vid Äspölaboratoriet användes en injekteringstid på 4/5 av den förutspådda geltiden. Vid denna tidpunkt finns indikationer på att hållfastheten är ca 60 Pa (extrapolerat värde från högre hållfastheter mätta vid olika tidpunkter efter gelning). Värdet på 60 Pa har ansetts vara tillräckligt för att klara stora grundvattengradienter och sprickvidder – 2 Pa i hållfasthet som erhålls vid halva geltiden har bedömts vara för lite.

Geltiden påverkas av utspädning, en utspädning på 10 % påverkar de testade geltiderna med mellan 2–3 gånger längre geltid. Huruvida om utspädning kan ske i borrhålen är dock inte visat.

En utspädning sänker hållfasthetstillväxten (hastigheten). Vid 4/5 av geltiden för en utspädd sats ger lägre viskositet och därmed lägre hållfasthet än om satsen varit utspädd. När man avslutar en injektering (För TASS-tunneln, vid 4/5 av geltiden) är silica solen fortfarande i vätskefas. Att mäta hållfasthet på flytande material kräver kunskap om reologi. Att kunna koppla viskositet till hållfasthet är nyckeln till att kunna förstå hela förloppet kring hållfasthetsutveckling.

D3.1 Rekommendationer för fortsatt arbete

Om fallkontester används för bestämning av hållfastheter fås extrapolering från högre värden (> 100 Pa) användas. Resultaten får då anses som en fingervisning om vilken hållfastheten är vid hållfastheter under 100 Pa. Med andra metoder som rheologimätningar med oscillerande plattor är det möjligt att mäta hållfastheter, (skjuvgräns) på vätskor och Silica sol i gelfasen. Denna metod är en intressant utveckling och bör utföras.

På frågan om vi haft utspädning eller inte måste injekteringen i enskilda borrhål studeras. Prover har tagits från några läckande och täta injekterade borrhål. Analyser av kiselhalten i dessa prover har utförts på Eka Chemicals, se bilaga D1. Om kiselhalten är lägre än den skulle vara i en referensblandning kan det tyda på utspädning. Om detta i sin tur beror på att utspädning skett i början av injekteringen eller på grund av en efterföljande erosion visar inte analysen.

