



## FÄLTFÖRSÖK MED MULTIHÅLSINJEKTERING

Björn Stille

Cecilia Forslund

Rocío Batres-Estrada



# **FÄLTFÖRSÖK MED MULTIHÅLSINJEKTERING**

## **Field tests with multi-hole grouting**

Björn Stille, Sweco

Cecilia Forslund, Sweco

Rocío Batres-Estrada, Sweco

**BeFo Report 140**

Stockholm 2014

ISSN 1104 – 1773

ISRN BEFO-R—140—SE



## Förord

Tätning av bergmassan i samband med tunnelbyggande är centralt, speciellt i tätbebyggda områden och känsliga naturområden för att undvika störande påverkan på grundvattenförhållandena kring tunneln. Det är en både tids- och kostnadskrävande operation att hantera för tunnelprojekt i dessa miljöer.

Multihålsinjektering har diskuterats till och från under ett flertal år som en metod att minska injekteringstiden och därmed höja effektiviteten i injekteringsprocessen. Metoden har prövats av olika entreprenörer i ett flertal projekt, dock med skilda resultat. Tekniska krav och bristande produktionsanpassning i designskedet har dock bromsat entreprenörernas möjligheter att höja effektiviteten i utförandeskedet. Under senare års injekteringsforskning har stoppkriterier och injekteringsutförande studerats mer i detalj. Det har visat sig att en kombination av stoppkriterier: "injekteringstid", "minsta flöde" och "volym" varit en bra kombination, vilka teoretiskt var för sig och tillsammans kan motiveras. Formuleringen av stoppkriterier har som målsättning förutom att uppnå kraven i miljödomeän även att öka produktionseffektiviteten. För multihålsinjektering har en begränsning av injekteringstiden varit en nödvändig förändring av stoppkriterier för att inte bruk ska brinna i slangarna eller skapa andra problem med "gammalt" injekteringsbruk. Inom ramen för Trafikverkets projekt PIA "produktivets- och innovationsutveckling i anläggningsbranschen", har bland annat multihålsinjektering förts fram som ett möjligt verktyg för att effektivisera den delen av tunneldrivningen.

Projektet "Fältförsök med multihålsinjektering" har därför initierats med syfte att visa vilka utmaningar, frågor samt möjligheter som uppkommer i samband med praktisk tillämpning av multihålsinjektering.

Utvecklingsprojektet utfördes av en projektgrupp på tre personer; Björn Stille (projektledare), Rocío Batres-Estrada och Cecilia Forslund, samtliga från Sweco. Projektgruppen fick också hjälp i det praktiska genomförandet av referensgruppens Stefan Sandman (Insemoso AB). Den referensgrupp som bistått utredarna har bestått av Thomas Dalmalm (Trafikverket), Thomas Janson (Tyréns), Bo Hedberg (Bo Hedberg Konsult), Stefan Sandman (Insemoso AB och f d anställd vid Atlas Copco) och Per Tengborg (BeFo). Projektet finansierades av Stiftelsen Bergteknisk Forskning – BeFo.

Stockholm i december 2014

*Per Tengborg*

## Sammanfattning

Fältförsöken med multihålsinjektering<sup>1</sup> är utförda på Citybanan station Odenplan med entreprenör Bilfinger. Totalt 6 stycken injekteringsskärmar har studerats där 4 till 8 injekteringshål har injekterats samtidigt. Bilfinger har en Obermann injekteringsrigg med 6 pumpar, en mixer och två omrörare.

Initialt fanns oron för att blandningskapaciteten, antal korgar och personalresurser skulle vara en begränsande faktor för injekteringsutförandet. Bilfinger har i sin entreprenad valt att alltid ha en skylift med två korgar och två till fyra personer på stuff. I de utförda försöken har personresurser och antal korgar varit tillräckliga för att genomföra försöken utan att dessa begränsat testet.

I de sex skärmar som studerades bedöms bergmassan som i huvudsak tät med små inläckage efter injektering.

Resultaten från försöken med multihålsinjektering visar bland annat att hanteringstiden för flytt av packer (tid från pumpstopp till pumpstart) är normalt ca 5 min. Vid koppling av två slangar till en och samma pump ökar hanteringstiden för bägge hålen, d.v.s. hanteringstiden för antalet slangar per pump bör vara en faktor "n" st slangar x 5 min innan samtliga hål kan startas.

Planering av arbetet och "injekterarnas" kompetens (erfarenhet och utbildning) är avgörande för en effektiv injekteringsprocess. Vid flera tillfällen stördes injekteringen av planeringsbrist ex för korta slangar eller osäkerhet vid val av injekteringshål.

Vid tätt berg är hanteringsfrågorna starkt kopplade till antal slangar som personalresurserna kan hantera. I försöket var hanteringstiden ungefär 50 % av effektiva injekteringstiden (pumptiden) vilket innebär att varje person på stuff kan hantera ca 2 – 3 slangar åt gången. För ett mer genomsläppligt berg med kortare hanteringstid i förhållande till injekteringstid bör varje person kunna hantera fler slangar. Med en injekteringstid/hål på max 20 min kan varje person på stuff i princip hantera och ha uppsikt på upp till 8 slangar samtidigt.

I försöken nåddes aldrig kapacitetsbrist vad gäller utrustningen, kapacitetsbehovet var i genomsnitt < 20 l/min. I ett mer genomsläppligt berg, som kan kräva ökad mixer kapacitet, bedöms multihålsinjektering inte bara ge en snabbare/effektivare injektering utan också ett bättre injekteringsresultat i form av tätare injekterat berg då problem med hålsamband och injekteringstryck under designvärdet kan minimeras.

*Nyckelord: Fallstudie, Berg, Injekteringstid, Produktionskapaciteter, Optimering, Organization, Hantering*

---

<sup>1</sup> Multihålsinjektering: Injektering som utförs med fler hål anslutna till samma pump, se avsnitt definition.

## Summary

Multi-hole grouting has been executed as a part of the research performed under the BeFo foundation (Rock Engineering Research Foundation). The research was conducted as field tests during ordinary production grouting at the Citybanan project on contract station Odenplan, with Bilfinger as the main contractor for the civil works. Six grouting fans were studied where 4 to 8 grout holes were grouted at the same time. The grouting equipment Bilfinger used was an Obermann grouting unit with 6 pumps, one mixer and two agitators. Initially there were concerns that the mixing capacity, the number of lifts and the available personnel at the tunnel face could be a limiting factor of the grouting performance. However, Bilfinger have for their works chosen to always have a sky lift with two baskets and two to four workers at the face. In the tests that were performed where neither resource limiting the grout works. In the studied six fans the rock mass was considered as mainly of low hydraulic conductivity with only small seepages remaining after excavation.

The results of the tests with multi-hole grouting shows that the handling time for moving a packer (time from pump stop to pump start) is normally about 5 min. When two hoses were connected to the pump the handling time for the pair of hoses increase, i. e the handling time for a number of hoses per pump should be a factor of "n" hoses x 5 min before the pump can be started. One of the more significant observations is that the grout workers competence (experience and education) is decisive for an effective grouting process. At several occasions were the grout works disturbed because of planning misses such as too short hoses and uncertain grouting order.

For grouting in a relatively low hydraulic conductive rock mass is the handling issues and the grout production efficiency strongly related to the number of hoses the grout personnel at the face can handle. In the tests the handling time where about 50 % of the effective grout time (pump time) which means that with a grout time as an average of about 10-15 min can the personnel handle about 2 – 3 hoses without losing production efficiency. For a more conductive rock mass where the grout time increases, each person at the face should be able to handle more hoses. With a grout time/hole of about 20 min should each person be able to handle up to 4 – 6 hoses during a multi-hole grouting operation without losing efficiency.

In the tests the unit's capacity was never reached neither for the mixing nor pumping units. The actual grout flow was, as an average, lower than < 20 l/min. In a more conductive rock mass can multi hole grouting not only give a better result with regards to grout production efficiency but also a better result in form of reduction of seepage when problems with connected holes and grouting with grout pressures below design values are minimized.

*Key words: Case study, Rock, Grouting time, Production capacities, Optimization, Organization, Handling*





## Innehållsförteckning

1	Inledning .....	1
1.1	Bakgrund .....	1
1.2	Syfte .....	1
1.3	Avgränsningar .....	1
1.4	Metodik .....	3
1.5	Definition .....	3
1.6	Projekt och referensgrupp .....	4
1.7	Projekt Citybanan.....	5
2	Förutsättningar .....	7
2.1	Försöksområde, ”skede 2” .....	7
2.2	Geologi.....	7
2.3	Produktion .....	9
2.4	Injektering .....	10
3	Datainsamling och injekteringsuppföljning .....	15
3.1	Allmänt.....	15
3.2	Beskrivning av injekteringskärmar.....	16
3.2.1	Skärm 30+069 .....	16
3.2.2	Skärm 31+956 .....	18
3.2.3	Skärm 31+972 .....	20
3.2.4	Skärm 30+084 .....	21
3.2.5	Skärm 31+988 .....	23
3.2.6	Skärm 32+004 .....	25
3.3	Kvarnholmen.....	28
3.4	Resultatsammanställning.....	31
3.4.1	Hålhantering.....	31
3.4.2	Injekteringstid.....	35
3.5	Rekommendation Teknisk beskrivning.....	37
3.5.1	Krav på utförande alternativt funktionskrav.....	37
3.5.2	Utrustningskrav .....	38
3.5.3	Utbildnings/kompetenskrav.....	38
3.6	Diskussion .....	39
4	Slutsats .....	45
5	Referenser .....	47

Bilaga 1: Redovisning av injekteringsgenomförande, ”pumpar – hål – tid”.

Bilaga 2: Redovisning av antal hål injekterade samtidigt, ”antal pumpar – tid”

Bilaga 3: Redovisning av summerat injekteringsflöde, ”summerat flöde – tid”

Bilaga 4: Injekteringsutrustning Obermann Unit MGU 6/DP 50x1

## 1 INLEDNING

### 1.1 Bakgrund

Enligt uppgift från Trafikverket (2012) tätas berg för ca 500 miljoner/år. För bergtunnlarna i Norra länken stod injektering för 10 % av den totala kostnaden. Denna siffra inkluderar bara kostnaden för mängderna (ersatt enligt kontraktets à-priser). En tumregel gällande kostnader i tunnelprojekt säger att ca 80 % av kostnaden är tidsberoende d v s inte relaterad till mängd. Om kostnaden för tiden räknas in så blir denna dubbelt så hög, d.v.s. ca 20 % av den totala kostnaden för Norra länken på ca 12 miljarder kronor.

I projekt Förbifart Stockholm beräknas enbart injekteringen kosta 2-2,6 miljarder kronor (inklusive tidsberoende kostnader). Genom att utföra injekteringen snabbare skulle 300-390 miljoner kunna sparas bara för Förbifart Stockholm enligt Trafikverkets uppskattning (Trafikverket, 2012).

Trafikverket har baserat på två större investeringsprojekt tagit fram underlag för aktuella injekteringskostnader till en snittkostnad på 87 respektive 135 kr/m<sup>3</sup> berguttag beroende på tunnelprojekt. Den lägre kostnaden hänförs till en så kallad ”skogstunnel” och den högre kostnaden till en så kallad ”tätortstunnel”, Jansson (2011). Med injektering av fler än 2 pumpar samtidigt kan tidbesparingen för blandning och pumpning sänkas, uppskattningsvis ca 75 % och för hela injekteringsprocessen ca 20 % enligt Jansson (2011) vilket skulle innebära att besparingen för en skogstunnel och en tätortstunnel är ca 15 respektive 25 kr/m<sup>3</sup> berguttag.

Trafikverket har därför lagt stor fokus på att arbeta och leda Produktivitets- och Innovationsutveckling i Anläggningsbranschen, PIA, där ett av målen är att: ”ta fram förslag på åtgärder för ökad produktivitet”. Genom att exempelvis finansera olika forskningsprojekt, i detta fall genom BeFo, kan Trafikverket i framtiden föreslå konkreta åtgärder för att öka produktiviteten i anläggningsbranschen.

### 1.2 Syfte

Projektets syfte är att visa vilka utmaningar, frågor samt möjligheter som uppstår i samband med tillämpning av multihålsinjektering.

Projektet beskriver också nyckeltal som hanteringstid, injekteringstid och tillämpade stoppkriterier. Vid försökens slut beskrivs baserat på de erfarenheter som har erhållits vilken utrustning (styrning, pumpar, blandningskapacitet etc.) och organisatoriska anpassningar som krävs.

### 1.3 Avgränsningar

Inom ramen för detta projekt har ingen analys av injekteringsresultatet med avseende på täthet utförts.

Packer (manschett)- och slanghanteringen behandlas i rapporten och är en del av den totala tiden på stuffen.

För att förenkla packer (manschett)- och slanghanteringen kan denna automatiseras. Möjligheten att göra detta är inte en förutsättning för multihålsinjektering. Men en automatisering kan förbättra arbetsmiljön och göra vissa moment mer tids- resurseffektiva. Automatisering omfattas inte av denna rapport.

## 1.4 Metodik

Arbetet bestod av två delar, den första studerade befintligt injekteringsförfarande för att sedan kunna föreslå förändringar som skulle kunna innebära tidsvinster. Den andra delen bestod i att följa injektering på plats för att identifiera svagheter och styrkor med injektering av flera injekteringshål samtidigt.

Uppföljning av injekteringsarbetet utfördes på plats. Händelser under pågående injektering noterades under utförandet. Efter avslutad injektering studerades injekteringsprotokoll och injekteringsloggfiler. Uppföljningen redovisades succesivt för byggleddningen under hela försöksperioden.

Försöken planerades tillsammans med BeFos referensgrupp. Försöken utfördes i följande steg:

1. Inledande observation, som låg till grund för förslag till anpassning av utförande
2. Injektering med 4-5 hål samtidigt, data insamling
3. Injektering av 8 hål samtidigt (2 slangar per pump), data insamling.

För utvärdering av möjligheter till tidbesparing studerades följande data:

- Antal pumpar(hål) som används samtidigt
- Injektering och tidsflödet
- Tid mellan pumpstopp och nästa pumpstart för vägg och takhål. Nedåtriktade hål studeras från pumpstopp till start slangfyllnad (i projektet även benämnd ”back fill”, BF)
- Injekteringstid (effektiv pumptid)
- Bruksflödet (sammanlagt för utvärdering av kritisk mixerkapacitet)
- Tillämpade stoppkriterier
- Särskilda händelser som påverkar tidsåtgången och produktionseffektivitet

## 1.5 Definition

Multihålsinjektering: Injektering som utförs av flera hål anslutna till samma pump. I praktiken innebär det att minst två hål injekteras samtidigt. Jämfört med dagens utförande där ett hål injekteras med en pump avses ”multihålsinjektering” omfatta en injektering där minst 2 slangar är kopplade till en pump och där minst 4 hål kan injekteras samtidigt.

## 1.6 Projekt och referensgrupp

Inom ramen för BeFos multihålsinjekteringsprojekt har en referensgrupp bildats. Referensgruppen består av följande personer:

Per Tengborg	BeFo
Thomas Dalmalm	Trafikverket
Bo Hedberg	Trafikverket
Stefan Sandman	Insemoso AB
Thomas Janson	Tyréns AB

Projektgruppen som utfört projektet består av Björn Stille, Rocío Batres-Estrada och Cecilia Forslund, Sweco Infrastructure AB.

Byggledning på projekt Citybanan Station Odenplan har på ett mycket engagerat och delaktigt sätt medverkat i försöken särskilt Lars Österlund och Mikael Lundin. Entreprenör har varit Bilfinger vilka på ett delaktigt sätt stöttat försöken.

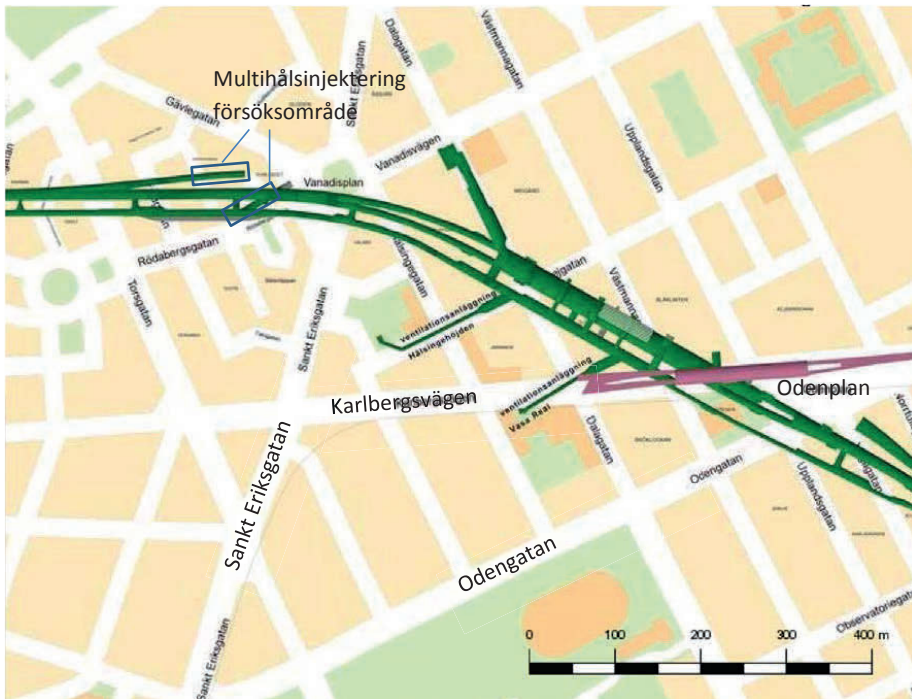
Inför sista försöket för att underlätta och försöka snabba på beslutsprocessen och utförandet hyrdes två externa injekteringsyrkesarbetare in från Byggs.

## 1.7 Projekt Citybanan

Citybanan är en sex kilometer lång pendeltågstunnel mellan Tomtebodavägen och Stockholmsöstra med två nya stationer vid Odenplan och T-centralen. När Citybanan är klar 2017 kommer spårkapaciteten i Stockholm att fördubblas, Trafikverket (2013).

### Station Odenplan och Vasatunneln

De studerade sträckorna ingår i entreprenad 9509 delprojekt Norr, som består av ny station vid Odenplan (0,5 km) inklusive nya uppgångar och anslutningar till grön tunnelbanelinje samt anslutande spår- och servicetunnlar (1,5 km).



**Figur 1-1. Citybanan Station Odenplan. Försöksområdet är markerat vänster i figuren. (Odenplan station. The area for the trial is shown at the left hand side in the image)**



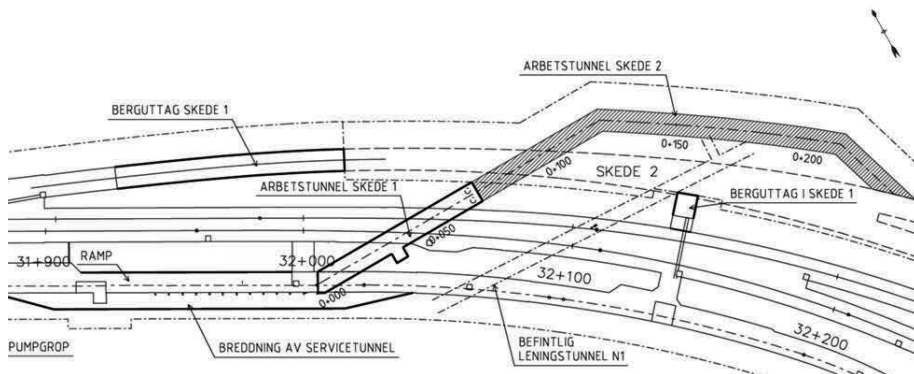


## 2 FÖRUTSÄTTNINGAR

### 2.1 Försöksområde, ”skede 2”

Citybanan är förberedd för en framtida utbyggnad till 4-spårsstationer, vilken benämns ”skede 2”. För station Odenplan innebär skede 2 att ytterligare en plattform anläggs med två spår.

För att möjliggöra en utbyggnad av skede 2 i station Odenplan har en arbetstunnel anlagts från befintlig servicetunnel. Försvarsarbete för spårtunnel in till den framtida plattformen har också utförts. Det är i dessa två tunnlar som injekteringsuppföljning utförts.



**Figur 2-1 Planritning över studerat område, spårtunnel (benämnd på planen berguttag skede 1) samt service/arbetstunnel (benämnd på planen breddning av servicetunnel). (Drawing showing the studied area.)**

### 2.2 Geologi

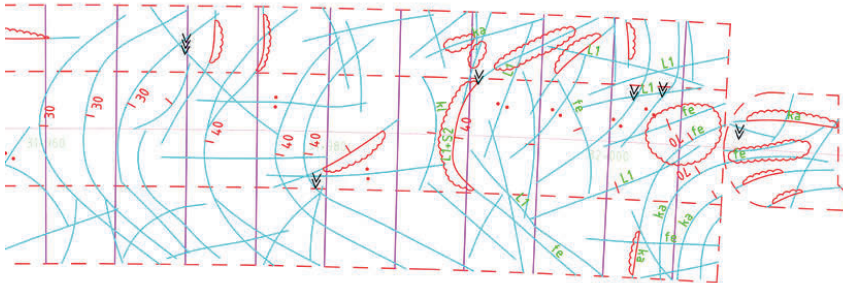
Enligt ingenjörsgelogisk prognos utgörs berget i området till ca 15 % av granit (s.k. Stockholmsgranit), resten betecknas gnejs, närmare bestämd en starkt migmatiserad metagråvacka. Migmatisering innebär en partiell uppsmältning av bergmassan. Dess produkt uppträder intrusivt gentemot ursprungsbergarten som oregelbundet formade kroppar av grovkornig granit växlande med gnejsen. I området finns dessutom kroppar av äldre granit, som fått gnejsig struktur genom veckprocessen, s.k. gnejsgranit.

Gnejsen i området, migmatiserad metagråvacka, har en strykning växlande VNV till NV, varierande biotithalt.

Bergmassan är stor till medelblockig med en vanligen god kvalitet, RMR > 70. Sprickigheten är vanligen brant stupande som skär tunnelaxeln i ca 90°. Med brant stupande komplementsprickor strykande parallellt till subparallellt med tunnelaxeln.

### Kartering av spårtunnel

I spårtunnel har sprickor observerats med ca 40° stupning och ca 90° mot tunnelns riktning. Vid tunnelns gavel har horisontella slag i taket orsakat visst utfall. Bergkvaliteten ligger för den studerade sträckan generellt över RMR 80 utom sista 20 m på tunneln som karterats till RMR ca 60 främst på grund av ogynnsamma sprickegenskaper och sprickriktning.

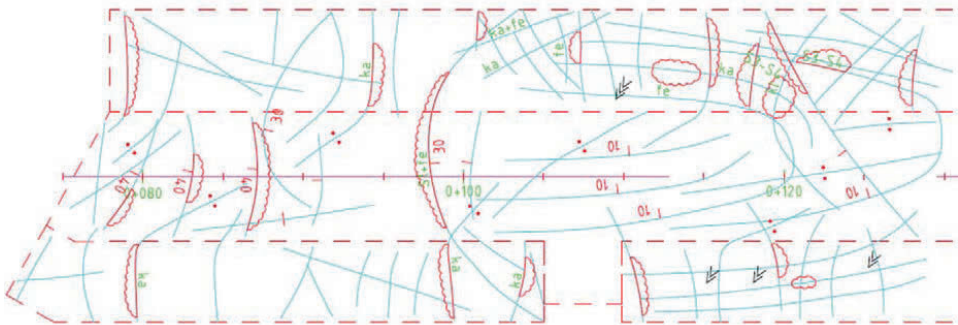


**Figur 2-2. Kartering spårtunnel (Geological mapping track tunnel.)**

### Kartering av arbetstunnel

I arbetstunnel har sprickor observerats med ca 40-30° stupning med varierande riktning. Vid tunnelns gavel har horisontella slag i taket orsakat visst utfall.

RMR-värde ligger för den studerade sträckan mellan 80-70 på grund av ogynnsamma sprickegenskaper och sprickriktning.



**Figur 2-3. Kartering arbetstunnel (Geological mapping service tunnel.)**

## 2.3 Produktion

### Entreprenör/Organisation

Organisationen som utför injektering består av:

- En förman (arbetsledare)
- En trainee som är ansvarig operatör för injekteringsriggen, kontrollerar att injekteringsvillkoren (stoppkriterier) är uppfyllda och utför brukstester
- 4 alt 2 injekteringsarbetare som ansvarar för arbetet på stuff d.v.s. installation av packers, slangbyte, rengöring etc.

### Personal

Personalens erfarenhet och kompetens utgör en grund för kvalitet och produktionseffektivitet.

Förman: Erfaren arbetsledare.

Trainee: Civil- eller högskoleingenjörstudent, praktiserar 6 månader, aldrig arbetat med injektering tidigare.

Yrkesarbetare: Projektanställd på visstidskontrakt (6 månader), varierande erfarenhet, flertalet har troligen aldrig arbetat med injektering tidigare. Ersätts som grovarbetare d.v.s. utan särskilda kompetenskrav.

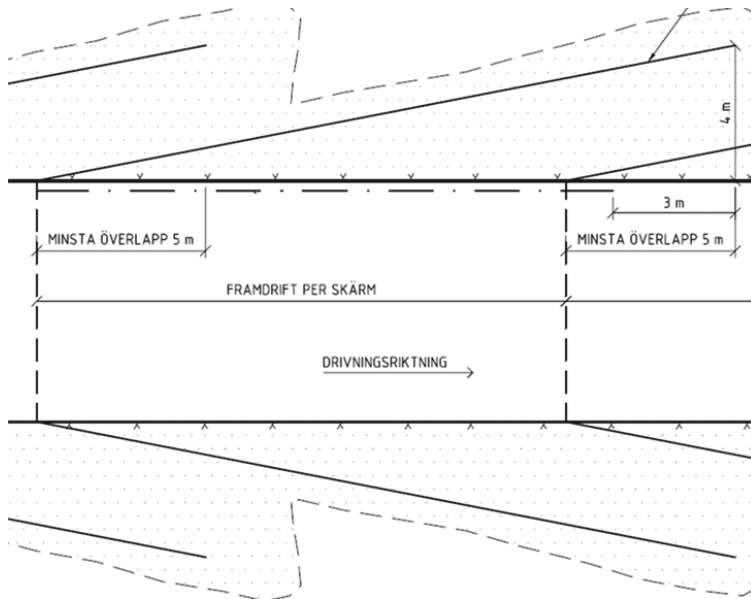
### Kontraktform

Entreprenaden, delprojekt norr (9509) är en generalentreprenad i utökad samverkan, med ett avtal värt ca 1,1 miljarder kronor (2009). Kontraktformen för bergentreprenaden är löpande räkning där ersättning utgår för mängd och nedlagd tid vilket innebär att alla personer som arbetar med injekteringen ersätts. Bonus ska utgå till entreprenören om riktigheter i tidplan uppfylls. Injektering utförs av 4 – 6 personer vilket är fler än vad som normalt används (2 personer).

### Utrustning

Entreprenören använder en Obermann Unit MGU 6/DP 50x1, blandarkapacitet 500 l, 6 pumpar med 1 utgång på vardera pumpen och Logac-utrustning. Pumparnas kapacitet anges till  $Q_{\max} = 120 \text{ l/min}$   $P_{\max} = 100 \text{ bar}$ . Övrig information framgår av bilaga 4.





Figur 2-5. Injekteringskärm längdsektion (Grouting fan longitudinal section).

### Generellt injekteringsutförande

Injekteringsutförande finns beskrivet i teknisk beskrivning för aktuell entreprenad. Injekteringsförfarandet innehåller följande arbetsmoment:

Skärmar 30+069E, 31+956E, 31+972E, 30+084E och 31+988E:

1. Injekteringsborrning (Measurement While Drilling, MWD) och hållrengöring
2. Etablering av injekteringsutrustning
3. Blandning och brukskontroll
4. Injektering:
  - a. Slangfyllning (back fill) av alla nedåtriktade hål
  - b. Succesiv montering av packers (*manuellt utförande*)
  - c. Injektering av upp till 5 hål (5 pumpar) samtidigt.
  - d. Två korgar används vid injektering av vägg och takhål (generellt nedifrån och upp).
5. Härdning/väntetid och avetablering

För skärm 32+004 ersätter punkt 4c (punkt 4 ovan):

*4c. Injektering:*

- i. Slangfyllning av nedåtriktade hål
- ii. Succesiv montering av packers (*delvis maskinellt med elektrisk mutterdragare*, majoriteten monterades dock manuellt).
- iii. *Injektering av upp till 8 hål (4 pumpar) d v s varje pump var försedd med förgrening och två slangar. Botten och stuffhål injekterades först.*
- iv. Två korgar används vid injektering av vägg och takhål (från vänster till höger).

### **Injekteringsbruk**

Samtliga skärmar har injekterats med Injekteringscement 30 (IC30), vct 0,8.

Flytegenskaperna på injekteringsbruket är i förprovningen uppmätta till flytgräns 3 Pa och viskositet 25 mPas.

### **Projekterade stoppkriterier**

Enligt den tekniska beskrivningen gäller följande stoppkriterier:

1. Injekteringen ska pågå 40 min för varje injekteringshål eller
2. tills flödet understigit 5 liter under 5 min eller
3. när en injekteringsvolym på 500 liter uppnåtts per 21 m injekteringshål (24 l/m injekteringshål).

I tillägg till dessa tre kriterier finns ytterligare utförandeanvisningar som tillämpas om inte injekteringstrycket kan uppnås. Kortfattat går dessa ut på att "tjocka på" bruket (från vct 0,8 till 0,5) om injekterad volym överstiger 300 liter/injekteringsomgång.

Injekteringstrycket väljs efter bergtäckning.

### **Inför försöken reviderade stoppkriterier**

Inför försöken ändrades stoppkriterierna med hänsyn till aktuella bruksegenskaper och för att bli "produktionsvänligare" med hänsyn till att ett av syftena med försöket är att identifiera tänkta flaskhalsar relaterade till produktionsprocessen. Exempel på stoppkriterier som ändrades var stopptid 20 min och max volym 300 l. "Tjocka på" förfarandet togs bort helt med hänsyn till utökad tidsåtgång för hantering av olika vct. Samtliga förändringar framgår av *Tabell 2-1*:

**Tabell 2-1 Sammanställning ändringar av injekteringskoncept. (Changes of the original grouting concept).**

<b>Reviderat injekteringsutförande</b>
Ingen förtätning av injekteringshålerna vid sonderingsborrning med MWD utförs i det studerade området
2 MPa injekteringstryck
Injekteringstid 20 min
Max injekterad volym 500 l
Injektering utförs med samma vct 0,8 och Injekteringscement, IC 30.
Injektering av fler hål samtidigt är tillåtet
Separat registrering av tryck och flöde krävs inte, men maximalt 2 utgångar per pump får användas
Högsta möjliga flöde ska eftersträvas från början för att uppnå stoppkriterierna snabbare, dock genomförs arbetet arbetsmiljösäkert, d.v.s. trycket höjs gradvis efter hålfyllnad
Vid samband fylls varje enskilt hål separat (sambandshål injekteras samtidigt). Ingen eftertryckning utförs
Packers/Manschetter förses med fördelare för inkoppling till acceleratorpump
Accelerator ska appliceras separat vid injekteringens slut om tidskriteriet uppfyllts





### 3 DATAINSAMLING OCH INJEKTERINGSUPPFÖLJNING

#### 3.1 Allmänt

Datainsamling och injekteringsuppföljning utfördes på 6 delsträckor om ca 16 m varav 4 st skärmar var lokaliserade i spårtunneln och 2 st i servicetunnel/arbetstunneln, se Tabell 3-1. Uppföljningen påbörjades den 15 augusti och pågick fram till den 25 september.

Skärmarna visar på en variation i total injekteringstid, från första hålfyllnad tills sista hålet är injekterat och klart, mellan 1h 50min (22 hål) och 4h 24min (28 hål). Skärm 32+004 där 8 slangar injekterades samtidigt diskuteras separat på grund av långa hanteringstider föranledda av nytt förfarande. I följande avsnitt beskrivs i kronologisk ordning. Datasammanställning redovisas i bilagorna.

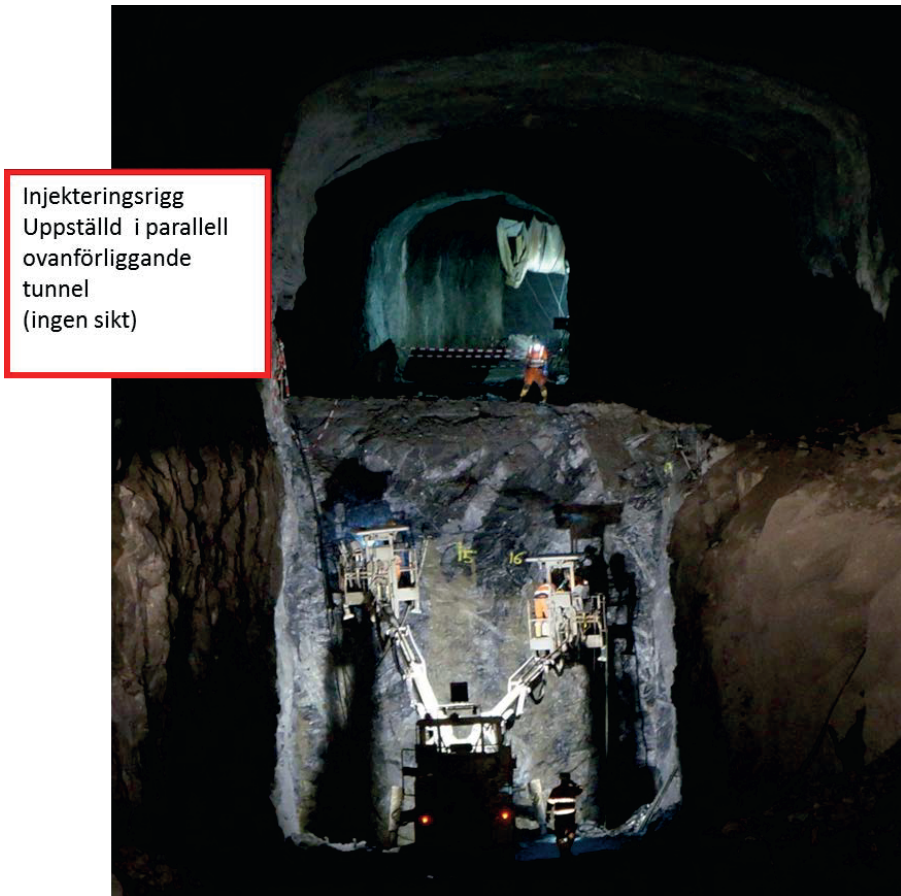
**Tabell 3-1 Sammanställning uppföljning injekteringsskärmar (Studied fans in the track and service tunnel)**

Tunnel	Servicetunnel/ arbetstunnel	Spårtunnel	Spårtunnel	Servicetunnel/ arbetstunnel	Spårtunnel	Spårtunnel
Skärm-ID	30+069E	31+956E	31+972E	30+084E	31+988E	32+004E
Datum	2013-08-15	2013-08-22	2013-08-30	2013-09-03	2013-09-09	2013-09-25
Starttid	22:30	20:53	16:34	10:30	21:52	10:42
Pumpar	4	4	4	5	5	4
Slangar	4	4	4	5	5	8
Antal inj.hål	28	22	22	28	22	30
Total inj.tid	3h 8 min	1h 50 min	2h 38 min	2h 0 min	2h 00 min	4h 24 min
Bruks- åtgång, inkl hålfyllnad [liter]	1830	1321	2121	2165	2883	3021

## 3.2 Beskrivning av injekteringsskärmar

### 3.2.1 Skärm 30+069

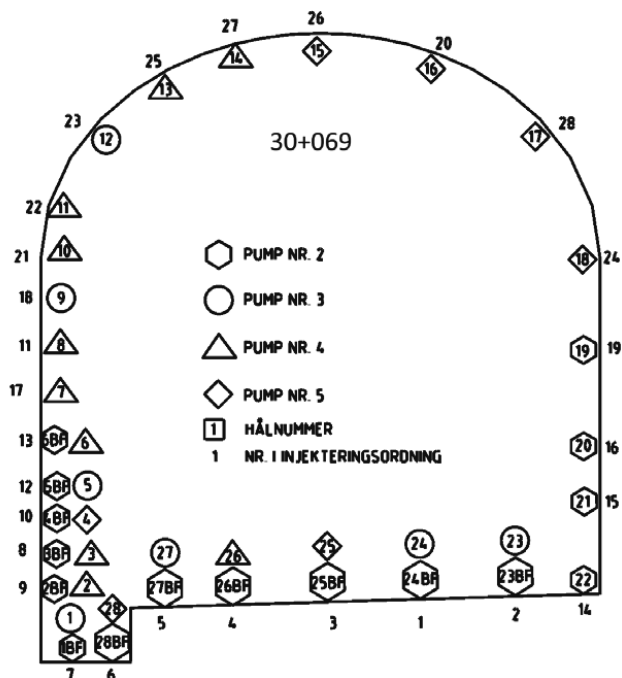
Fem yrkesarbetare och en trainee deltar i injekteringsarbetet. Fyra pumpar är tillgängliga för injektering. Riggen är placerad i tvärtunneln sned uppåt från stuffläget vilket innebär att skärmen inte är synlig från riggen, se *Figur 3-1*. Personalen vid stuff kommunicerar med riggoperatören genom att ropa nedifrån stuffen. Detta leder till vissa kommunikationsproblem vilket kan ha saktat ned injekteringen. Det råder viss oreda i början, två pumpar sägs vara ur funktion vilket sedan visar sig bero på att pumparna inte har satts på.



Injekteringsrigg  
Uppställd i parallell  
ovanföriggande  
tunnel  
(ingen sikt)

*Figur 3-1 Uppställning vid injekteringsskärm 30+069 (Arrangement when executing grouting fan 30+069)*

Injektering inleds i höger botten och fortsätter motsols vilket innebär att bottenhålen injekteras först. Nedåtriktade injekteringshål slangfylls både i vänster och höger vägg för att därefter injekteras, sedan fortsätter arbetet uppåt mot tunnelanfang. En av pumparna (nr 2) används inledningsvis enbart för att slangfylla bottenhålen. Därefter injekteras bottenhålen med någon av de övriga tre pumparna. Längsta förloppna tid mellan slangsfyllning och injektering är 34 minuter (injekteringshål 26). Ytterligare en störning inträffar omkring klockan 00:30 (2 tim in i injekteringen) under ca 15 min då vatten och småsten forsar ner till stuff från ovanliggande parallell tunnel. Efter detta stopp påbörjas ett mer strukturerat förfarande med två korgar med två personer var. Dessa två korgar arbetar från varsitt håll för att sedan mötas. Tidigare har endast en korg använts trots att båda korgarna varit tillgängliga och 4 personer funnits på plats. Den manuella hanteringen av manschetterna med hjälp av en rörtång, sänker arbetstakten då enbart en tång är tillgänglig. Vidare skapar den manuella hanteringen problem vid injekteringen av injekteringshål 1 och 6 där manschetterna inte sitter fast ordentligt. Injekteringen måste då avbrytas för att dra åt manschetterna. Vid injekteringshål 17 läcker det från stuffen, möjligen beror detta på att manschetten sitter löst.



Figur 3-2 Injekteringsutförande skärm 30+069. Figurerna anger pumpnummer, inre siffran anger numrering av injekteringshål, yttre siffran anger injekteringsordning. "BF" står för backfilled som betyder hålfyllning med slang (Sequence of grouting execution for fan 30+069).

**Tabell 3-2 Sammanställning skärm 30+069 (Grouting fan 30+069)**

<b>Datum</b>	2013-08-15
<b>Starttid</b>	22:30
<b>Total injekteringstid, exkl. av-/etablering</b>	3h 8 min
<b>Antal använda pumpar</b>	4
<b>Antal simultant använda slangar</b>	4
<b>Antal injekteringshål</b>	28
<b>Bruksåtgång [l]</b>	1830

### 3.2.2 Skärm 31+956

Fyra yrkesarbetare och en trainee deltar i injekteringsarbete. Det är andra gången traineen är ensam riggoperatör. Fyra pumpar används pga. ”personalbrist” enl. traineen, trots att alla sex pumpor fungerar. Injekteringen inleds med två pumpor (nr. 1 och 3) för botteninjektering från vänster till höger och två pumpor (nr. 4 och 5) vägginjektering uppåt längs högervägg.

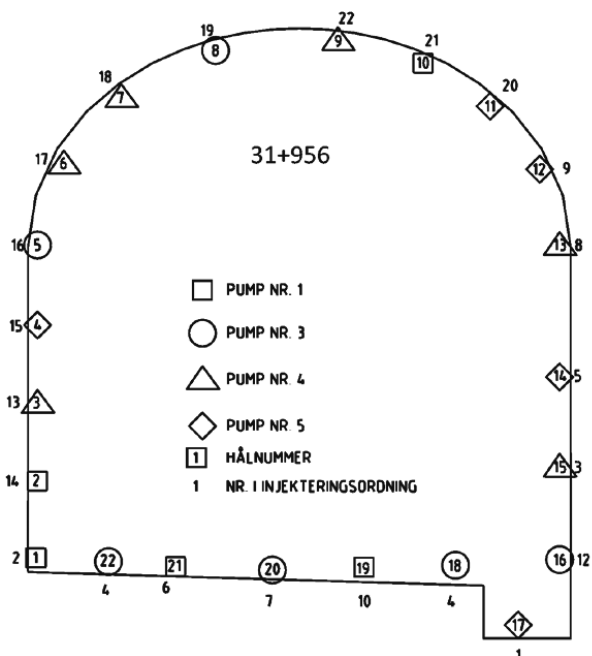
Samtliga packers är förmonterade. Under injekteringen sker två sprängningar i tunneln, vilket inte påverkar injekteringsarbetet.

Arbetet förflyter systematiskt och strukturerat fram till omkring klockan 21:30 (40 min in i injekteringen). De översta injekteringshålen, ovan anfangsnivå, kan inte injekteras pga. för korta slangar. En yrkesarbetare får åka upp till etableringen och hämta skarvar eller längre slangar. Detta leder till ett avbrott i den tidigare systematiskt utförda injekteringsordningen.



**Figur 3-3 Injekteringsutförande, 3 man och två korgar vid skärm 31+956. (Grouting works at fan 31+956)**

I stället för att fortsätta motsols med pump 4 och 5 till injekteringshål 11 och 10 måste dessas slangar flyttas över till nedre delen av vänster vägg. Pump 4 används för injektering av injekteringshål 13 mellan kl. 21:18 och 21:35 och står sedan still i 13 minuter innan den används för injektering i injekteringshål 3, med start kl. 21:48. Pump fem används för injektering av injekteringshål 12 mellan 21:21 och 21:33 och står sedan still i 21 minuter innan den används för injektering i injekteringshål 4, med start kl. 21:54. När de längre slangarna hämtats fortsätter injekteringen med normalt förfarande utan några nämnvärda störningar.



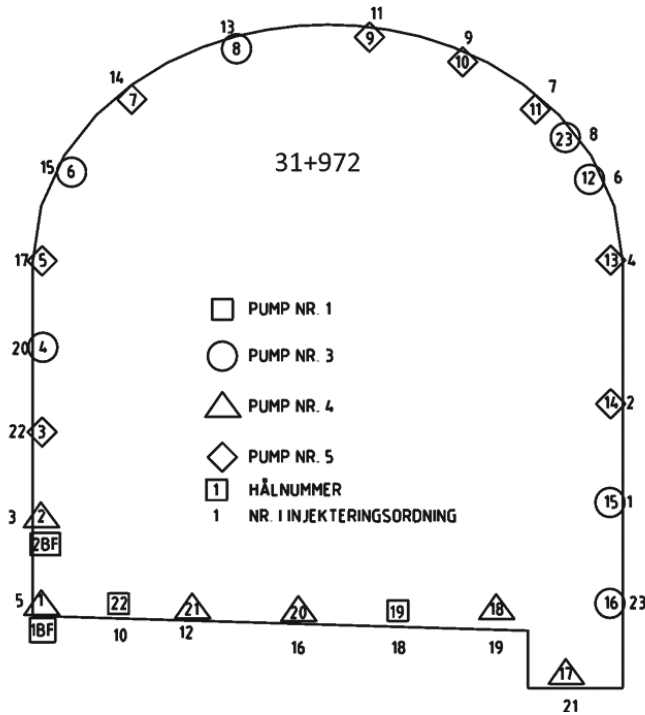
Figur 3-4 Injekteringsutförande skärm 31+956. Figurerna anger pumpnummer, inre siffra anger numrering av injekteringshål, yttre siffra anger injekteringsordning (Sequence of grouting execution for fan 31+956)

Tabell 3-3 Sammanställning skärm 31+956 (Grouting fan 31+956)

Datum	2013-08-22
Starttid	20:53
Total injekteringstid, exkl. av-/etablering	1h 50 min
Antal använda pumpar	4
Antal simultant använda slangar	4
Antal injekteringshål	22
Bruksåtgång [l]	1321

### 3.2.3 Skärm 31+972

Ingen personal från försöksprojektet finns på plats. Fyra pumpar används vid injekteringen: pump nr 1, 3, 4 och 5. Pump nr 4 och nr 1 som används för att injektera de nedåtlutande hålen påverkas av störningar. Störningarna inträffar mellan kl. 15:50 och 16:30. Pump nr 1 står stilla i 45 minuter (kl. 15:47 till 16:32) och pump nr 4 i 49 minuter. Efter kl. 16:30 fortskrider arbetet normalt och samtliga fyra pumpar används.



Figur 3-5 Injekteringsutförande skärm 31+972. Figurerna anger pumpnummer, inre siffror anger numrering av injekteringshål, yttre siffror anger injekteringsordning. (Sequence of grouting execution for fan 31+972)

Tabell 3-4 Sammanställning skärm 31+972 (Grouting fan 31+972)

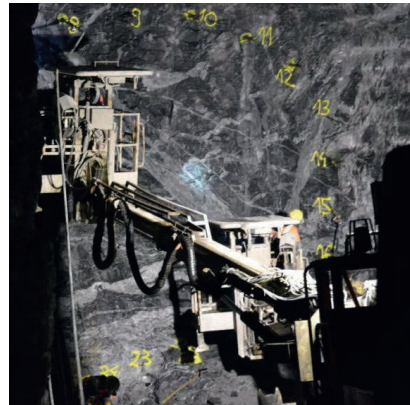
Datum	2013-08-30
Starttid	16:34
Total injekteringstid, exkl. av-/etablering	2h 38 min
Antal använda pumpar	4
Antal simultant använda slangar	4
Antal injekteringshål	22
Bruksåtgång [l]	2121

### 3.2.4 Skärm 30+084

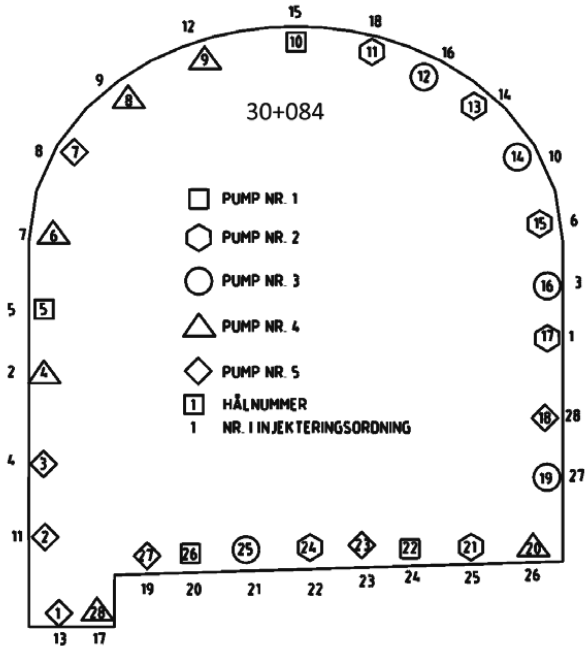
Fyra yrkesarbetare och en trainee deltar i injekteringen. Fem pumpar används. Bottenhålen i skärmen är vattenfyllda och enligt operatören är detta anledningen till att de inte kan slangfylla dessa hål. Beslut tas då att påbörja injekteringen av båda tunnelväggarna. Två personer arbetar vid varje vägg och arbetar uppåt mot anfang. Två korgar används.

Omkring klockan 11:40 (drygt en timme in i injekteringen) utbryter oreda när personal på plats inte kan "hitta" injekteringshål 1 och 20. Traineen och förmannen hjälper till att leta reda på injekteringshålen och det visar sig att samtliga hål är borrhade och att allt berodde på felräkning. Operatören intygar att det inte är något fel på hennes noteringar av vilket hål som är vilket i protokollen. Arbetet återupptas.

Stoppkriteriet på 20 minuter negligeras genomgående. Det är tydligt att detta kriterium inte programmerats in i riggens automatiska reglage. Omkring klockan 12:00 anger traineen att det är möjligt att slangfylla bottenhålen trots allt men eftersom bara en tunn slang finns tillgänglig fylls bara ett hål i taget. Detta medför att tempot sjunker avsevärt och att färre pumpar används.



*Figur 3-6 Injekteringsutförande skärm 30+084.  
(Grouting fan 30+084)*



Figur 3-7 Injekteringsutförande skärm 30+084. Figurerna anger pumphnummer, inre siffra anger numrerering av injekteringshål, yttre siffra anger injekteringsordning. (Sequence of grouting execution for fan 30+084)

Tabell 3-5 Sammanställning skärm 30+084 (Grouting fan 30+084)

Datum	2013-09-03
Starttid	10:30
Total injekteringstid, exkl. av-/etablering	2h 0 min
Antal använda pumpar	5
Antal simultant använda slangar	5
Antal injekteringshål	28
Bruksåtgång [l]	2165



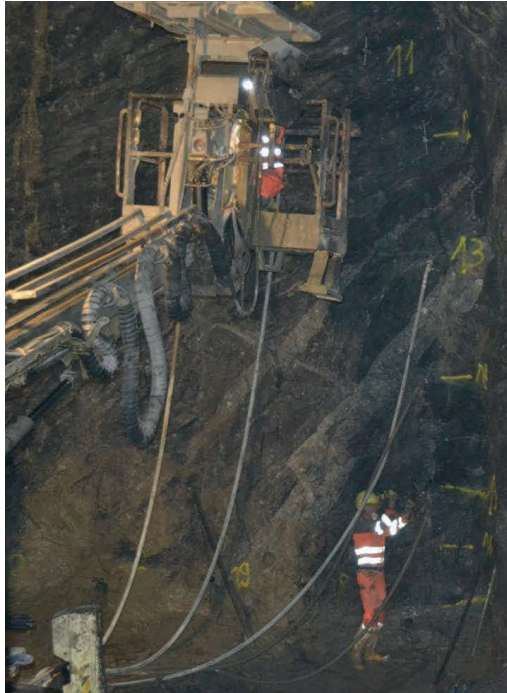
### 3.2.5 Skärm 31+988

Fyra yrkesarbetare och en trainee deltar i injekteringen. Antal yrkesarbetare varierar, som minst är det 2 yrkesarbetare. Det råder enligt entreprenören personalbrist på arbetsplatsen. Yrkesarbetarnas kontrakt har löpt ut, vilket betyder att tillgänglig personal begränsas till total 7 st för alla tunnelarbeten, samtidigt med injekteringen pågår två sprängningar med utlastning.

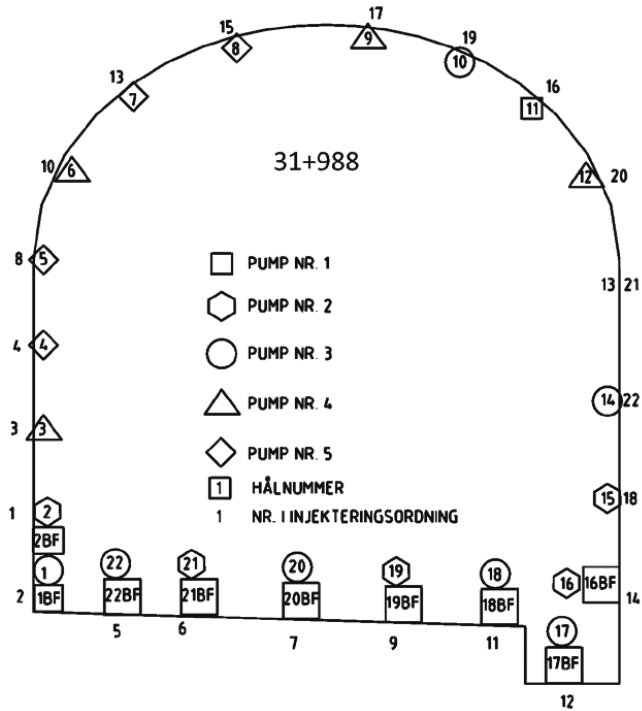
Samtliga packers är monterade innan injekteringen börjar. Fem pumpar används, fem injekteringshål kan injekteras samtidigt. Trots den påpekade personalbristen förflyter arbetet på ett strukturerat sätt där två personer ansvarar för två till tre slangar var. Injekteringen påbörjas i nedre vänstra hörnet och löper med tre slangar motsols längs med botten samtidigt som injektering utförs medsols längs med vänster vägg. Vad gäller stoppkriterierna negligeras tidskriteriet (20 min). De föredrar att låta tiden gå över stoppkriteriet och hoppas på att flödeskriteriet (5 l under 5 min) uppfylls.

Inga väsentliga störningar noterades på plats, däremot kan det med utgångspunkt från protokoll konstateras att något har inträffat vid två tillfällen som ökat tidsåtgången; pump nr 1 och nr 2 står stilla samtidigt omkring kl. 22:45 och pump nr 1 står still i 20 minuter runt kl. 23:15. Under hela injekteringstiden är åtminstone en pump igång hela tiden.

Den manuella hanteringen av manschetterna leder också till en viss tidsförlust, bl. a. genom att åtdragning av manschett tar längre tid, det krävs oftast 2 yrkesarbetare: den ena för att hålla rörtången fast medan den andra drar åt. Detta särskilt vid de tillfällen då bara två yrkesarbetare är på plats.



*Figur 3-8 Injekteringsutförande skärm 31+988. (Grouting fan 31+988)*



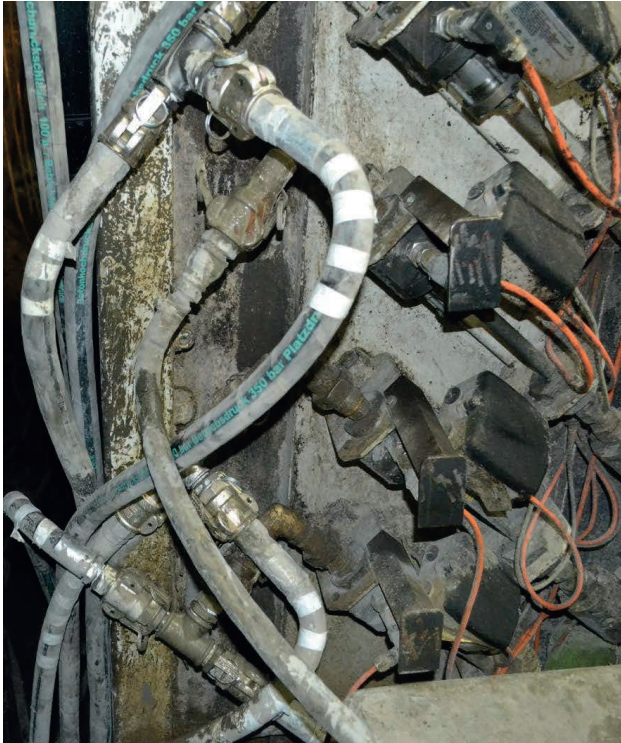
Figur 3-9 Injekteringsutförande skärm 31+988. Figurerna anger pumpnummer, inre siffra anger numrerig av injekteringshål, ytre siffra anger injekteringsordning (Sequence of grouting execution for fan 31+988)

Tabell 3-6 Sammanställning skärm 31+988 (Grouting fan 31+988)

Datum	2013-09-09
Starttid	21:52
Total injekteringstid, exkl. av-/etablering	2h 00 min
Antal använda pumpar	5
Antal simultant använda slangar	5
Antal injekteringshål	22
Bruksåtgång [l]	2883

### 3.2.6 Skärm 32+004

Två yrkesarbetare, en trainee, en förman, samt två för detta försök inhyrda yrkesarbetare från Byggs deltar i injekteringen. Planen för denna skärm är att försöka injektera åtta hål samtidigt med hjälp av förgreningar som kopplas till fyra pumpar.



*Figur 3-10 Koppling med förgreningar till pumpar (couplings to the pump unit)*

Trots att detta försök hade förankrats hos entreprenörens ledning så är arbetsplatsen inte förberedd, då erforderliga förgreningar och slangar saknas. Injekteringen av denna skärm präglas genomgående av obeslutsamhet och ett långsamt arbetssätt.

Stuffen uppvisar en markant skillnad i geologi från tidigare skärmar. Horisontella sprickor och slag syns i vänster vägg och block har fallit ut i taket.

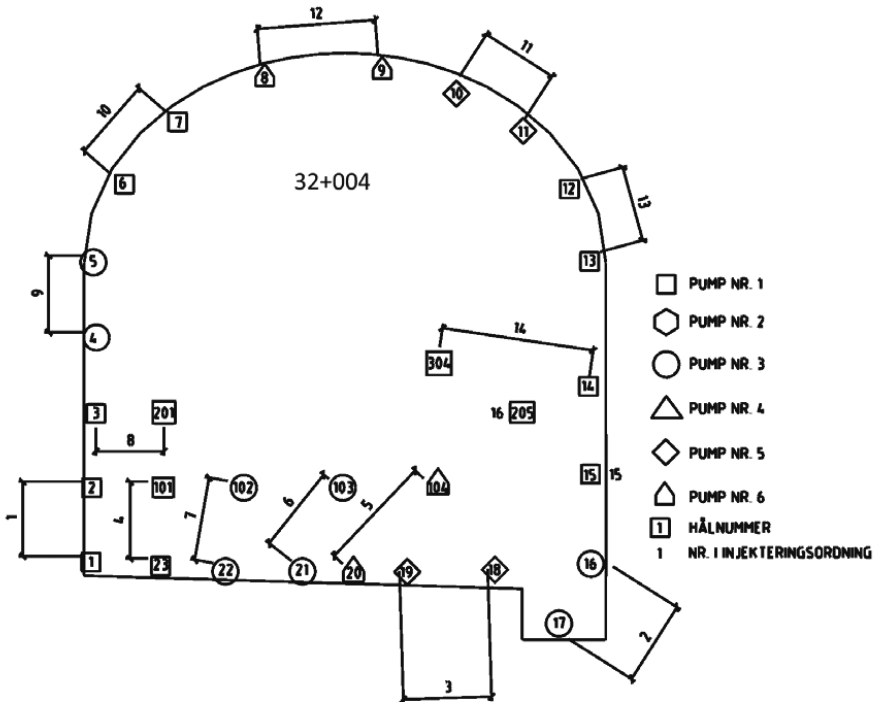
Förgreningar kopplas in i pump nr 1, 3, 5 och 6. Två slangar kopplas till varje förgrening vilket innebär att åtta slangar finns tillgängliga. Injekteringsarbetet inleds i nedre vänstra hörnet och utförs först i botten av skärmen för att sedan fortsätta upp mot tunnellock från båda sidor. Läckage av injekteringsbruk från stuff inträffar vid flera tillfällen.

Omkring kl. 11:30 (ca 50 min in i injekteringen) tas beslutet att accelerator ska tillsättas i injekteringshål 16 och 17 då tidskriteriet på 20 min överskridits och flödet är fortsatt högt. Då endast en utgång finns på acceleratorpumpen, trycks injekteringshål 16 först samtidigt som injekteringshål 17 hålls avstängt och sedan vice versa. Det tar lång tid för personalen på plats att applicera acceleratorm på grund av ovana vid handhavande. Injekteringen avbryts under ca 9 min för att koppla adaptern.

Efter injektering med accelerator hinner bruket brinna i slangarna vilket medför att dessa får tas ur bruk. Sex slangar återstår enligt traineen.

Vid injektering av höger vägg, omkring kl. 12:15 (1,5 tim in i injekteringen) upptäcks att injekteringsbruket trycks ut i den parallella spårtunneln och injektering av denna vägg avbryts. Injektering med pump nr 5 och 6 avbryts och kommer inte igång förrän ca kl. 13:30. Även injektering med pump nr 1 verkar ha påverkats av händelsen eftersom denna pump har två längre stopp under samma tidsperiod om ca 20 minuter var. Munstycket från acceleratorpumpen har fastnat i en slang, personalen ägnar god tid för att försöka få loss den.

Den elektriska mutterdragare som tagits med inför detta försök, vilken påskyndat monteringen av manschetterna, slutar fungera efter omkring halva injekteringstiden. Detta förklaras med att den varit i kontakt med för mycket vatten. Vid förflyttning av slangarna trasslar dessa ihop sig med varandra. De slangar som tidigare trots har haft härdat bruk inuti, går att använda igen vid omkring kl. 13:15 vilket medför att åtta hål injekteras samtidigt under en kort period.



Figur 3-11 Injekteringsutförande skärm 32+004. Figureerna anger pumpnummer, inre siffra anger numrering av injekteringshål, yttre siffra anger injekteringsordning. (Sequence of grouting execution for fan 32+004)

Tabell 3-7 Sammanställning skärm 32+004 (Grouting fan 32+004)

Datum	2013-09-25
Starttid	10:42
Total injekteringstid, exkl. av-/etablering	4h 24 min
Antal använda pumpar	4
Antal simultant använda slangar	8
Antal injekteringshål	30
Bruksåtgång [l]	3021

### 3.3 Kvarnholmen

I projekt Kvarnholmsförbindelsen med NCC/Byggs följdes upp ytterligare en injekteringsskärm med syfte att dokumentera en annan entreprenörs arbete samt för att testa injektering med 4 slangar anslutna till samma pump. Injekteringen utfördes med samma stoppkriterier som användes i försöket på Citybanan.

Injekteringen utfördes med den ”normala” arbetsstyrkan d v s en arbetsledare och en yrkesarbetare. På plats fanns även Stefan Sandman som levererat kopplingar och mätutrustning för att observera eventuellt tryckfall över de parallellkopplade slangarna(hålen).



*Figur 3-12 Förberedelser vid stuff Kvarnholmsförbindelsen (Grouting fan preparations at Kvarnholmsförbindelsen)*

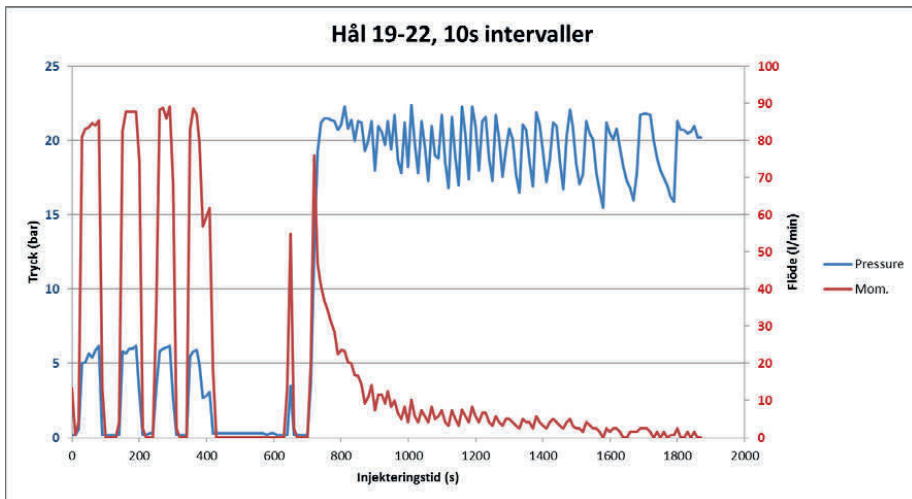


*Figur 3-13 Injekteringsutförande hål 19 - 22 som injekteras samtidigt med en pump, på bilden ses också den Logac enhet som mäter trycket efter sista hålet (Multi-grouting of holes 19 – 22).*

*Tabell 3-8 Sammanställning skärm Kvarnholmsförbindelsen (Grouting fan at Kvarnholmsförbindelsen)*

<b>Datum</b>	2014-03-28
<b>Starttid</b>	10:00
<b>Total injekteringstid, exkl. av-/etablering</b>	3h 40 min
<b>Antal använda pumphar</b>	2
<b>Antal simultant använda slangar</b>	4
<b>Antal injekteringshål</b>	23
<b>Bruksåtgång (l)</b>	3000

Arbetet utfördes effektivt och rationellt med god kommunikation mellan arbetsledare och yrkesarbetare. Installationsmomentet med 4 slangar och installation av tryckmätare genomfördes på 4 bottenhål. I figur 3-12 visas tryck-flödeskurvorna inklusive hålfyllnad för dessa hål.



**Figur 3-14 Multihålsinjektering med 4 slangar (Multi-grouting with 4 hoses).**

Hålfyllnad utfördes genom slangning av hålen (flöde ca 80 l/min) på totalt 7 min inklusive flytt av slang mellan hål. Efter detta monterades packer och injektering kunde starta. Slang, hålfyllnad och packerhanteringen uppgick till totalt 11 min 45 sek (7 min + 4,7 min), vilket ger en snitt tid på ca 3 min. Injekteringen pågick sedan i 20 min. Efter detta försök monterades den extra tryckgivaren bort och injekteringen kunde fortsätta. Injektering utfördes därefter mot vänster och höger med två pumpar, närmast till höger och vänster om de fyra första, för att göra en omfamning och mötas i takmitt (ett normalt tillvägagångsätt). Hanteringstiderna ökade något per hål för att i snitt hamna på ca 5 min per hål med extremvärde för hål 15-16 på ca 34 min (på grund av läckande packer).

Tryckmätning efter hål 19 (kopplat: pump – 19 – 20 – 21 – 22) visade på ca 20 bars tryck d v s inga tryckförluster noterades från pumpen över de parallellkopplade hålen.

Tryck-flödeskurvorna i figur 3-14 visar inga avvikelser från andra likvärdiga tryck-flödeskurvor. Injekteringen utfördes enligt den principiella metoden som föreskrivits (injekteringstrycket höjdes direkt till injekteringstryck enligt handling). Injekteringen stoppades i princip på flödeskriteriet vilket följdes upp manuellt. Den manuella hanteringen innebar i detta fall att några av hålen hade kunnat avslutas tidigare, i två fall (ggr 2 hål) hade ca 22 resp 17 min kunnat sparas om tidskriteriet följts (hål 13-14 och 23-1).



### 3.4 Resultatsammanställning

Baserat på observationer och injekteringsprotokoll har en sammanställning gjorts över:

1. hållhantering (tid som går åt för slang/packershantering),
2. injekteringstid (pumptid) och stoppkriterier

Sammanställningen visar på spridning i produktionstid per hål och indirekt på bergförhållanden (tätt/otätt berg). Redovisningen kan användas för att ”simulera” injekteringsförlopp givet ”godtyckligt” antal slangar vid multihålsinjektering.

Redovisningen omfattar endast injektering på Citybanan om inget annat anges.

#### 3.4.1 Hållhantering

Med hållhantering avses hanteringstiden mellan det att pumpen stoppats till dess att den startar igen. Tiden inkluderar:

- kommunikation mellan rigg och stuff efter pumpstopp
- avstängning och lossning av slang
- förflyttning
- för uppåtriktade hål; montering av packers
- koppling till slang eller packers
- kommunikation stuff till rigg för start av pump

För nedåtriktade hål ingår inte hålfyllnad med slang eller montering av packers. Dessa tider tillkommer. För de studerade skärmarna var packern oftast monterad, slangen träs då genom packern och monteringsrör. Hålfyllnad med slang tog normalt ca 2,5 min och byte från slang till packer 0,5 – 1 min.

Alla hål är inte representerade i statistiken, exempelvis har hål som sekventiellt slangfyllts tagits bort på grund av att den hanteringstiden inte är representativ (för kort) då att det ofta uppstår ett längre uppehåll till pumpstart i förhållande till tiden det tar att slangfylla hålet.

Figur 3-15 visar att 48 % av injekteringshålen har en hanteringstid mindre än 4 min. Majoriteten av dessa hål har slangfyllts d v s ytterligare ca 3-3,5 min krävs innan injektering av bergmassan kan starta. Detta betyder en total hanteringstid på ca 7,5 min.

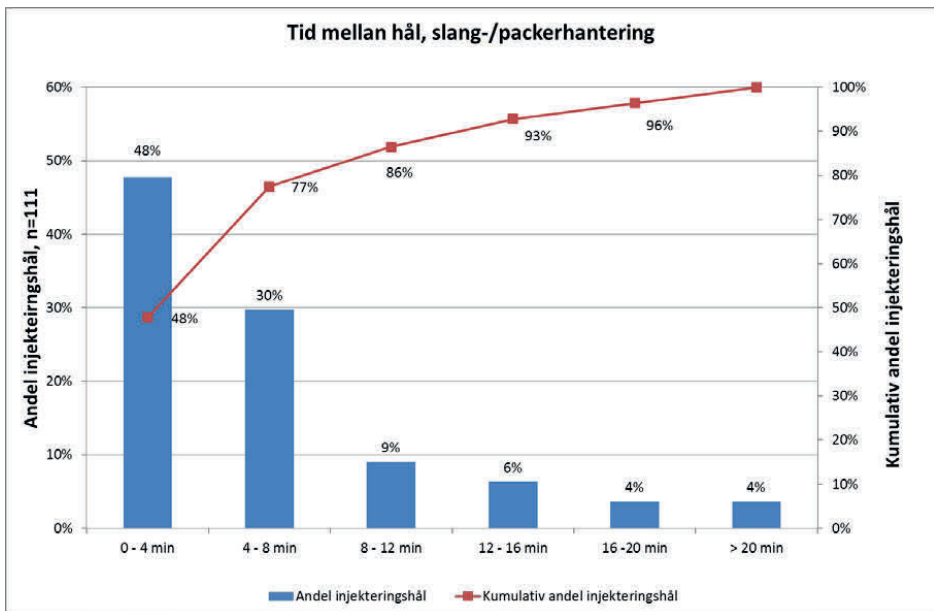
För hanteringstider över 12 min finns det vanligtvis någon särskild förklaring utöver de punkter som redovisas ovan. Exempelvis kan tillsats av accelerator, för kort slang, lossande packer eller avslutning av skärmen förklara de längre hanteringstiderna.

I vissa fall innebär dålig planering att flaskhalsar uppstår, exempelvis kan nämnas skärm 30+084 där nedåtriktade hål injekterades sist och därmed blev i praktiken slangfyllning en begränsning med ökade hanteringstider som följd.

För normal hantering av hål utan störningar är en tid på ca 5 min att anse som normal hanteringstid. Vilket också resultaten från Kvarnholmsförbindelsen visat.

Möjlig effektiviseringspotential kan bedömas genom att summera hanteringstiderna i Figur 3-15 och reducera summan med tiden över normal hanteringstid plus uppskattad variation. Totala hanteringstiden är beräknad till 11h:50 min (fördelad på 4 till 5 pumpar).

Med exempelvis god planering kan hanteringstiden minska till en normal hanteringstid på 5 min per hål plus en bedömd avvikelse på ca 3 min, d.v.s. 8 min, summerat ger detta en total hanteringstid per skärm på 8h:46 min. En möjlig tidbesparing på 26 %.

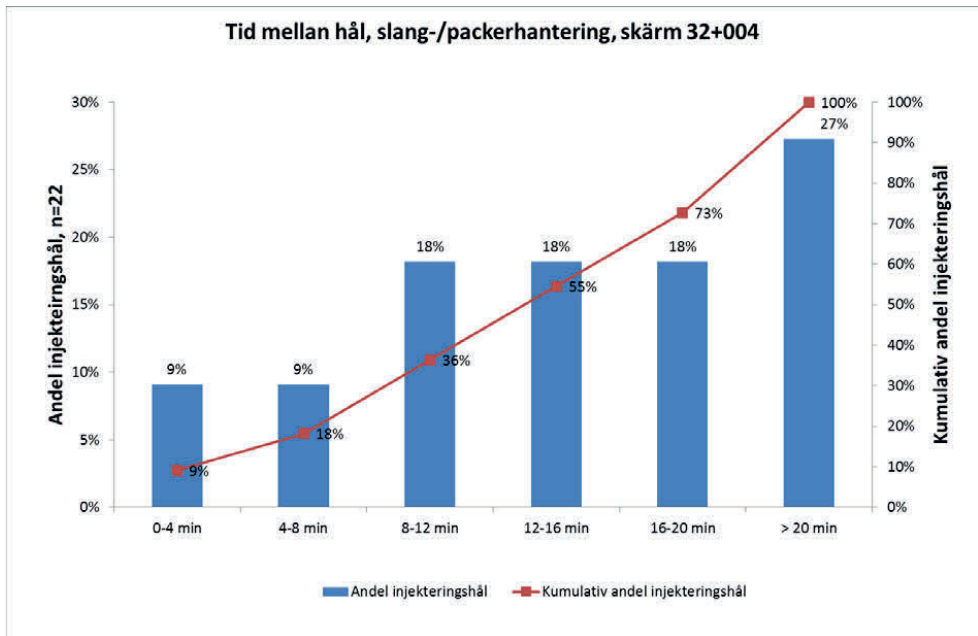


**Figur 3-15. Tid efter pumpstopp för hantering av slang och packer, ej skärm 32+004. (Time from pump stop used to handle the hoses and packer)**

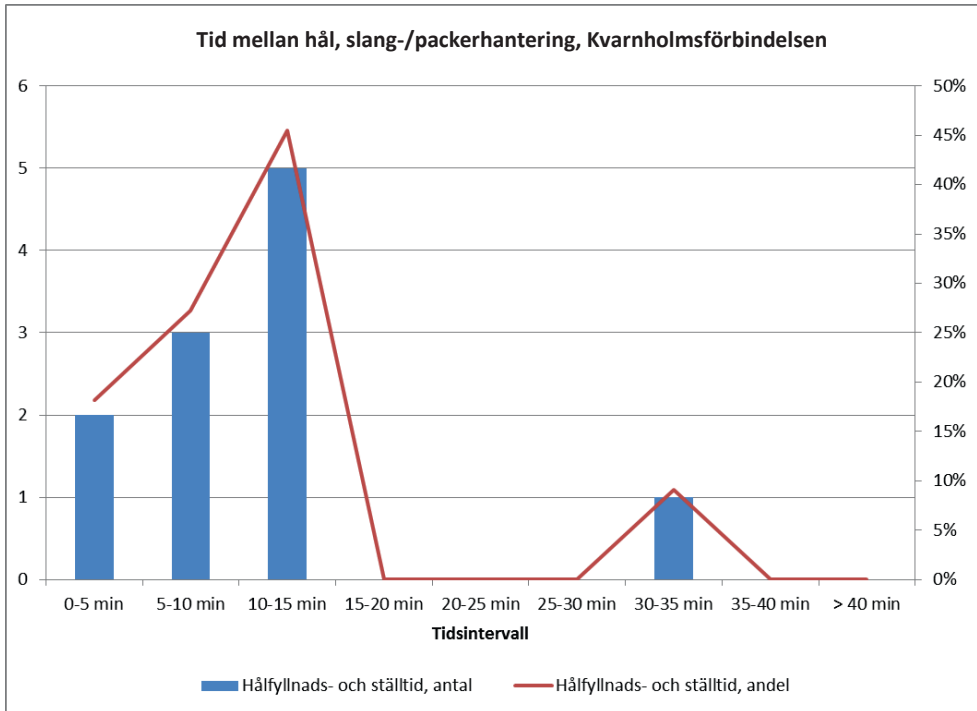
Figur 3-16 redovisar hanteringstider för skärm 32+004 d v s den skärm där 8 slangar (4 pumpar) användes. Resultaten får anses utgöra undantag från normalt injekteringsutförande. Statistiken utgör endast en skärm (22 hål har analyserats) och varje pump hanterar 2 slangar varför hanteringstiden ska inkludera flytt av två slangar. Varje störning på stuff har fått ökad konsekvens vilket kan ses i de långa hanteringstiderna.

Ett par faktorer som kan ha påverkat detta försök och förorsakat de långa hanteringstiderna är, acceleratorhantering samt bruksläckage till angränsande tunnel.

Vid hantering av 8 hål så borde tiden för normal hantering vara ungefär dubbelt så stor (2 slangar ska flyttas jämfört med 1 slang) i jämförelsen med det normala fallet, d.v.s. från ca 5 min till ca 10 min. Enligt Figur 3-16 har istället 64 % av alla injekteringshål i skärmen haft hanteringstider > 12 min.



**Figur 3-16 Skärm 32+004. Tid efter pumpstopp för hantering av slang och packer. (Time from pump stop to handle the hoses and packers)**



**Figur 3-17 Kvarnholmsförbindelsen. Tid efter pumpstopp för hantering av slang och packer. (Time from pump stop to handle the hoses and packers)**

Figur 3-17 visar slang och packerhantering vid Kvarnholmen vilket kan jämföras med figur 3-16 från Citybanan. Endast två av hålen (1 par) har för lång hanteringstid (34 min). Figuren visar på vikten av god planering och kommunikation mellan arbetsledare och yrkesarbetare.

### 3.4.2 Injekteringstid

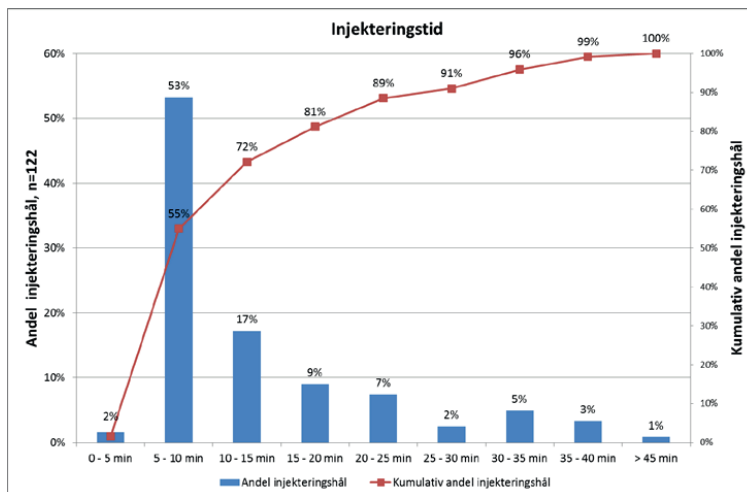
Figur 3-18 omfattar hela injekteringstiden för uppåtriktade hål inkl. hålfyllnad, och för nedåtriktade hål exklusive hålfyllnad. Tiden för hålfyllnad för nedåtriktade hål är ca 2,5 min. Injekteringstiden visar indirekt vilken genomsläpplighet bergmassan hade vid injekteringstillfället. Skärm 32+004 analyseras separat eftersom denna skärm betraktas som en avvikelse från normal hantering och injekteringsstyrning.

Ur figuren kan utläsas att 53 % av alla hål har injekterats färdigt inom 10 min. Stopp har för dessa hål bestämts av flödeskriteriet  $< 5 \text{ l}$  under 5 min. I princip har dessa hål endast hålfyllts (bruksåtgången är totalt i det studerade området mindre än  $1 \text{ l/bm}$  exkl. hålfyllnad).

Hål med injekteringstider mellan 10 och 20 min har även dessa stoppats på flödeskriteriet. Utrustningen har en förinställningen att om flödet någon gång varit större än  $1 \text{ l/min}$  återställs tiden och nedräkning återupptas från 5 min. Bruksåtgången i dessa hål är liten, vanligen mindre än  $2\text{-}3 \text{ l/bm}$  exkl. hålfyllnad.

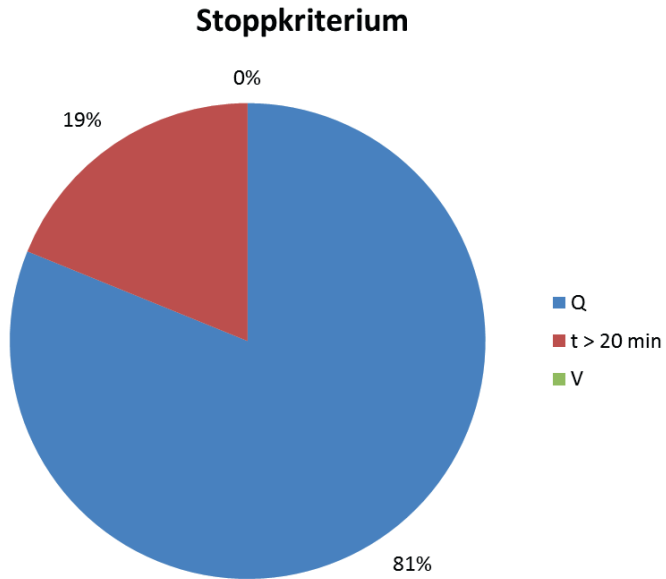
Figuren visar också att om det reviderade tidsstoppkriteriet tillämpats, hade 19 % av hålen stoppats på tid ( $t_{inj} > 20 \text{ min}$ ) och ytterligare tidbesparing hade gjorts. Baserat på injekteringstiderna hade 3,5 h av totalt 27 h injekteringstid minskats (13 %).

Den totala injekteringstiden per skärm enligt Tabell 3-1 visar hur hanteringstider och injekteringstider varierat. Efter rekommendationen från projektet vad gäller hålhanteringen kunde totala injekteringstiden reduceras med ca 1 h från första skärmen i försöket till den andra. Det ska dock noteras att injekteringsriggen var olämpligt placerad samt att några fler hål injekterades i den första försöksskärmen (30+069).



Figur 3-18 Injekteringstider (pumptid), exkl. skärm 32+004. (Grouting times, exclusive fan 32+004)

Av Figur 3-19 framgår att volymsstoppkriteriet inte har tillämpats i något av injekteringshålerna. Med hänsyn till bruksåtgången bedöms bergmassan som i huvudsak tät i dessa områden. För majoriteten av injekteringshålerna har flödeskriterium tillämpats.



**Figur 3-19 Stoppkriterium för studerade skärmar (exkl. skärm 32+004). (Stop criteria, exclusive fan 32+004)**

### 3.5 Rekommendation Teknisk beskrivning

#### 3.5.1 Krav på utförande alternativt funktionskrav

För att främja användandet av multihålsinjektering föreslås att tillämpningskrav införs i bygghandlingar, exempelvis i Teknisk beskrivning (TB) samt Mängdförteckning (MF).

För Teknisk beskrivning föreslå följande:

- Att krav på separat ”registrering av tryck av flöde för varje hål” tas bort: registrering görs av varje pump. Hål som injekteras samtidigt från samma pump dokumenteras.
- Att undvika att ha utförande där byte av bruksblandning under pågående injektering ingår. Bruksblandning ska väljas innan injektering påbörjas. Ett vct för varje enskild skärm, i mycket sällsynta fall kan olika vct-blandningar tillåtas
- Stoppkriterier på volym, tid och flöde kan anges för varje injekteringshål. För tid- och flödeskriteriet kan samma krav gälla, under förutsättning av injekteringen påbörjas samtidigt.

För volymkriteriet gäller den totala volymen. För exempelvis två hål gäller:  $V_{tot} = 2 \times V$  minus hålfyllnad för bägge injekteringshålen, samt en viss del som kan tas bort på grund av överlappande injektering.

I gällande Mät- och ersättningsregler, MER, Anläggning 10 specificeras vad som ska mängdas i en MF. Enligt MER ska borrning och injektering (m) samt mängder (ton) ersättas. Tiden ingår inte i ersättningsmodellen.

Ett förslag är att komplettera ersättningsreglerna med tider (rikttider) och mängder som ska kalkyleras. Denna ersättningsform kan underlätta för både beställare och entreprenör vid framtida tillämpning och uppföljning av multihålsinjektering. Eriksson m.fl. (2005) föreslår bl. a. att entreprenören kan ersättas för utrustningen på plats, och för utfört arbete med á-priser på mängder eller att ersättning utgår för tid istället för mängder. Vidare tas som ett exempel upp tätt berg, där injektering tar tid, dock utan att några betydande injekteringsvolym har förbrukats.

Baserat på ingenjörsgelogiska prognoser och empiri skulle riktider för olika injekteringsklasser kunna tas fram och inkluderas i MF:en.

### 3.5.2 Utrustningskrav

För det studerade fallet var det aldrig några problem med blandningskapaciteten, vilket kan härledas till det täta berget. Det motsatta fallet med mer genomsläppligt berg kräver utrustning som klarar minst av att injektera 20 lit/min/slang.

### 3.5.3 Utbildnings/kompetenskrav

Det tekniska utförande med multihålsinjektering ställer större krav på utförare, i form av snabba beslut samt hantering av fler slangar samtidigt. Detta har visat sig vara en av de svagare länkarna som observerats på plats.

Genom att kräva certifiering eller något annat kunskapsbevis skulle beställaren kunna säkerställa att kompetens hos injekteringspersonal är tillräckligt för att:

1. Erforderlig planering är utförd innan injektering påbörjas
2. Säkerställa utförandet
3. Kunna ta snabba beslut och
4. Kunna förankra dem inom sin egen organisation samt hos beställaren samt
5. Garantera att kunskapen kommer att finnas och förfinas även i framtiden



### 3.6 Diskussion

#### Geologi

Som injekteringsresultaten (bruksåtgång och injekteringstider) visar är bergmassan i försöken i huvudsak tät vilket resulterat i korta injekteringstider. Hantering av slangar inklusive montering av packers etc. står för en relativt stor andel ca 50 % av injekteringstiden (hanteringstid/effektiv injekteringstid), Figur 3-15 och Figur 3-18. Vidare innebär det för "tätt berg" att tidsvinsten med fler slangar per pump kan ätas upp av att den effektiva injekteringstiden styrs av hålet med längst injekteringstid. Vidare ökar sannolikheten för processkrockar om flera pumpar blir klara samtidigt och resurser på stuff blir upptagna med fler slangar än de klara av.

För injektering med fler slangar som vid skärm 32+004 visar resultaten att hanteringstiden var 73 % av effektiva injekteringstiden. Hanteringstiden är i detta fall en indikator på att effektiviteten vid skärm 32+004 kan förbättras med tanke på att totala bruksåtgången var ca 2 ggr mer jämförd med de andra skärmarna.



*Figur 3-20 Geologi vid injekteringsskärm 32+004 (Geology at fan 32+004)*

Hypotetiskt bör effekten av att injektera flera hål samtidigt bli bättre om berget är otätt eftersom injekteringstiden är längre och hanteringstiden relativt injekteringstiden kortare. Vad som teoretiskt kan innebära en begränsning för multihålsinjekteringen i det fallet är blandningskapaciteten. I sämre berg kan bruksåtgången bli stor beroende på hur många hål som injekteras samtidigt.

En för detta projekt "normal" bruksflödesbegränsning var 20 l/min och med 8 injekteringshål kan bruksåtgången totalt sett bli upp till 160 l/min periodvis. Det innebär att om multihålsinjektering ska kunna användas effektivt måste blandarkapaciteten vara större än 160 l/min. Identifiering av mer genomsläppligt berg/svaghetszon kan vara en bas för en tillfällig anpassning av utrustningen. Exempelvis genom mobila blandningsenheter som kan kopplas till injekteringsriggen.

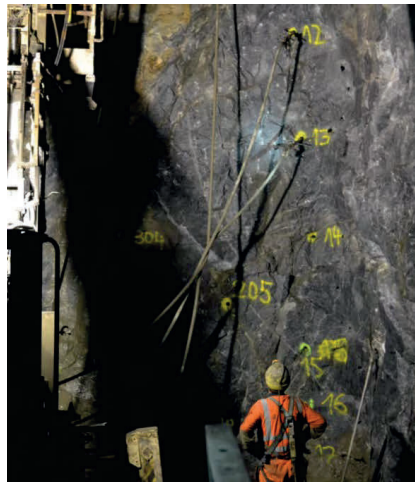
### Organisation

Försöken har visat att kompetens hos utföraren är en grundförutsättning för ett effektivt arbetssätt. Arbetare med korta kontraktstider, utan incitament att tillskaffa sig erforderlig injekteringskunskap är inte att förorda om kvalitet och effektivitet inom injekteringsområdet ska upprätthållas.

Organisationen på plats är hierarkisk vilket betyder att information och anvisningar kommer "uppifrån och ned". Anpassning av injekteringsförfarandet som ibland blir nödvändig på grund av ändrade förhållanden, praktiska svårigheter eller om bruk eller stoppkriterier behöver ändras, blir svårare att drivas igenom om besluten måste drivas/motiveras "underifrån".

Ett annat hinder är att personal på plats inte kan kommunicera med byggläddning och/eller huvudentreprenör på grund av språkbarriärer. Tvärtom är det viktigt att utförare/entreprenör och byggläddning har möjlighet att dela erfarenheter direkt och därmed möjliggöra snabba beslutsprocesser. En annan svårighet som multihålsinjektering medför för personalen är, att ta rätt och snabba beslut under stress. Många slangar och manschetter som förutsätts hanteras samtidigt gör det svårt för icke erfaren personal. Detta talar för ett helt automatiserat utförande alternativt bättre utbildad personal som själv kan ta beslut "på stående fot".

**Figur 3-21 Slangtrassel (hose tangle, multigrouting)**



## Arbetsmiljö

Arbetsmiljöproblematiken med flera trycksatta slangar/kopplingar och packers anses inte vara ett problem av entreprenören. Problematiken bör dock anses vara beroende av injekteringstrycket tillsammans med utrustningens kvalitet. Det finns material/utrustning som tål höga tryck men funktion och utrustning som styrs av utförandet som exempelvis åtdragning av packers, särskilt om dessa dras manuellt, bör granskas av arbetsmiljösakkunnig för att hitta rätt kravställning.

## Planering

Planering av utförandet bedöms vara en av de viktigaste faktorerna för en lyckad injektering. Genom att planera för nästa hål och hur korgen ska användas för att inte utgöra en flaskhals etc. kan många tidsfallor undvikas. Planeringen ska även anpassas för olika geologiska förhållanden.

Flera av de hanteringsproblem som observerades orsakades av att utrustning saknades eller inte var på plats. Med bättre planering och större förutseende skulle flera av de långa hanteringstiderna ha undvikits. Sannolikt påverkar det även injekteringsresultatet med avseende på resulterande inläckage då längre väntetider innebär förändringar av bruksegenskaper. Eventuellt påverkas även slangar och monteringsrör vilket med tiden kan medföra förträngningar och tryckförluster vid utförandet. Det kan rekommenderas att använda 3/4" slangar i stället för 1" slangar då vikten reduceras och flödes hastigheten genom slangarna nästan fördubblas. Med det hålls slangarna renare med mindre risk för igensättning.

## Avslutning av injektering

Injekteringen avslutas genom att ett av de tre stoppkriterierna uppfylls. Det finns en sannolikhet att de uppåtriktade hålen, hål som ej slangfyllts, innehåller komprimerad luft. Efter att trycket släppts kommer luften saktat att expandera till ett gränstryck som förmodligen ligger mellan atmosfärstryck och grundvattentryck. Expansionen av luft är antagligen den främsta anledningen till de halvfulla hålen som ibland observeras. För att komma tillrätta med det problemet prövades i försöket tillsättning av accelerator. Denna applicerades vid grenkopplingen (via monteringsröret) om tidskriteriet överskridits.

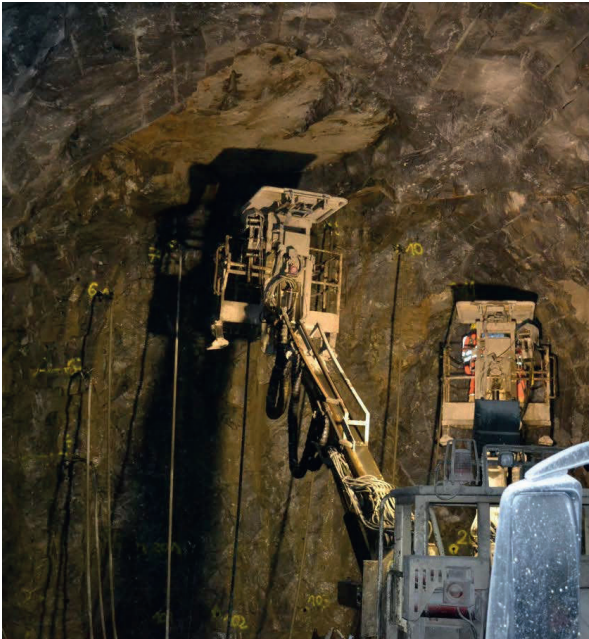
Anledningen till detta var att det antogs att vid överskridande av tidskriteriet tar injekteringshålet relativt mycket bruk med ett för projektet stort bruksflöde (>5 l/min). Acceleratorn skulle då "plugga" hålet och vara ett alternativ till tjockare bruk. Det kan konstateras att tillsats av accelerator bör vara doserad baserad på bruksflödet till hålet så att stopp inte erhålls i koppling eller packer. Det vill säga en liten dos accelerator till små flöden och större dos accelerator till större bruksflöden. Användning av acceleratorn är tveksam vid denna typ av multihålsinjektering på grund av att flödet inte mäts till enskilt hål (i detta fall) vilket inte tillåter en lämplig dosering av accelerator.

Om accelerator väljs, bör hanteringen automatiseras så att det inte krävs särskilt montage på plats för varje håll. Dosering kan då styras från riggen (alternativt automatiskt tillsättning).

### **Skärm 32+004**

Skärm 32+004 representerar i flera fall hantering/injektering som bör ses som icke önskvärd samt utgöra ett undantag från normal injekteringsprocedur. Som exempel kan nämnas de extremt långa hanteringstiderna och läckaget till närliggande tunnel. Skärmen visar dock att det är möjligt att injektera flera håll samtidigt utan att bruksflödet (mixerkapaciteten) blir begränsande för tätt berg.

Det visar också att det, om berget är relativt tätt (liten bruksåtgång), är antal personer på stoffen som begränsar produktionseffektiviteten då 1 person kan tänkas hantera 2-3 slangar. Ska varje person hantera fler slangar och injekteringstiderna är korta ökar inte den praktiska effektiviteten då håll kommer att ”stå och vänta på personal”. Slanghanteringen visar att det är lätt att få ”slangnystan” varför det rekommenderas att förgrening av slang görs så nära stoff som möjligt.



**Figur 3-22 Multihålsinjektering (multigrouting).**

## Kvarnholmsförbindelsen

Injekteringen vid Kvarnholmsförbindelsen var på många sätt en motsats till utförandet vid Citybanan, gällande både geologiska förutsättningar, utrustning och personal. Bergmassan var betydligt mer uppsprucken vid Kvarnholmsförbindelsen vilket generellt resulterade i längre injekteringstider även om bruksflödet var litet. Personalen hos Byggs är även specialiserad på injektering och bergförstärkning vilket tydligt kan ses i planering och nyttjandegrad på utrustningen där ställtiderna mellan avslutat hål (pump) till start av nästa hål (pump) var mindre än 10 % av totala injekteringstiden. Utrustningen på Citybanan med automatisk avstängning och möjlighet att följa injekteringsförloppet på skärmen bedöms ge personalen bättre möjlighet att styra injekteringen på rätt stoppkriterier jämfört med en siffra på en display och en äggklocka. Några av injekteringshålen hade antagligen avslutats tidigare med en utrustning som presenterade injekteringsförloppet.

För att bedöma potentiell tidsbesparing med den utförda multihålsinjekteringen vid Kvarnholmsförbindelsen har följande antaganden gjorts:

- Injektering utförs normalt med två pumpar och en slang per hål.
- Tiderna för hålfyllnad och hanteringstider är lika och oberoende av metod.
- Vid injektering av hål 2 i ett par, har effektiva injekteringstiden (injektering efter hålfyllnad och packerhantering) uppskattats med max/median/min värde.
- Vid antagande om max injekteringstid är tiden för injektering av bägge hålen i ett par lika stor
- Vid antagande om median injekteringstid är tiden för injektering av hål 2 i ett par lika med medianen OM injekteringstiden är större än median värdet annars uppmätt tid (max).
- Vid antagande om min injekteringstid är tiden för injektering av hål 2 i ett par lika med det minsta uppmätta värdet för alla hålen i skärmen.

Med dessa antaganden beräknas tidsbesparingen till 2 h, 1 h och 20 min, 40 min för respektive max/median/min värden. Multihålsinjekteringen tog totalt 3 h och 40 min vilket innebär en procentuell tidsbesparing på 35 %/27%/15% (max/median/min) beräknat som tidsbesparing/(total multihålsinjekteringstid +tidsbesparing).



#### 4 SLUTSATS

Baserat på försöken och utseendet på de tryck och flödesgrafer som studerats görs bedömningen att Multihålsinjektering är praktisk möjligt med bibehållet injekteringsresultat.

Vidare kan multihålsinjektering snabba upp injekteringsprocessen. Men det gäller framförallt i mer genomsläppligt berg där fler hål måste injekteras upp till tidsstoppkriteriet. För injekteringen på Kvarnholmsförbindelsen görs bedömningen att multihålsinjekteringen sparade mellan 2 h och 40 min injekteringstid. Procentuellt innebär det en tidsbesparing på mellan 35 % och 15 %.

I ett mer genomsläppligt berg bedöms multihålsinjektering inte bara ge en snabbare/effektivare injektering utan också ett bättre resultat i form av tätare injekterat berg då problem med hålsamband och injekteringstryck mindre än stoppkriteriet kan minimeras.

Med en mixer volym på 400 l (vilken fylls till 2/3) och en mixer tid på 5 min fås en mixerkapacitet på ca 270 l/5 min. Med bibehållen kapacitet bedöms upp till 8 hål vara möjligt att injektera samtidigt. Det förutsätter dock att minst två personer är på stuffen samtidigt om en tidsbesparing ska göras.

För att en fullskalig multihålsinjektering ska ge tidsbesparing krävs utrustning med utökad kapacitet och möjlighet att följa injekteringsförloppet, t ex med automatiserade stoppkriterier, visuell redovisning av tryck/flödes grafer etc. Dessutom krävs förändrade riktlinjer och mer personal på stuffen.





## 5 REFERENSER

Trafikverket,( 2013-09-17)

<http://www.trafikverket.se/Privat/Projekt/Stockholm/Citybanan/Om-projektet/>

Trafikverket, (2012-06), Executive Summary Bergkonstruktioner v06, del av PIA-arbete Trafikverket, Stockholm

Hansen, L M., Söder, CO., (2008-07-04), PM – Ingenjörsgelogisk prognos för Vasatunneln, Dokumentnummer 9509-13-025-010.

Eriksson, M., Stille, H.,(2005), Cementinjektering i hårt berg, SveBeFo Rapport K22, Swedish Rock Engineering Research Foundation, Stockholm, Sweden

Jansson, T., (2013), Effektivisering Bergkonstruktioner, Fas 1 – Projektplan, Delprojekt: Multihålsinjektering med tillräckligt blandningskapacitet, del av PIA-arbete Trafikverket, Stockholm.

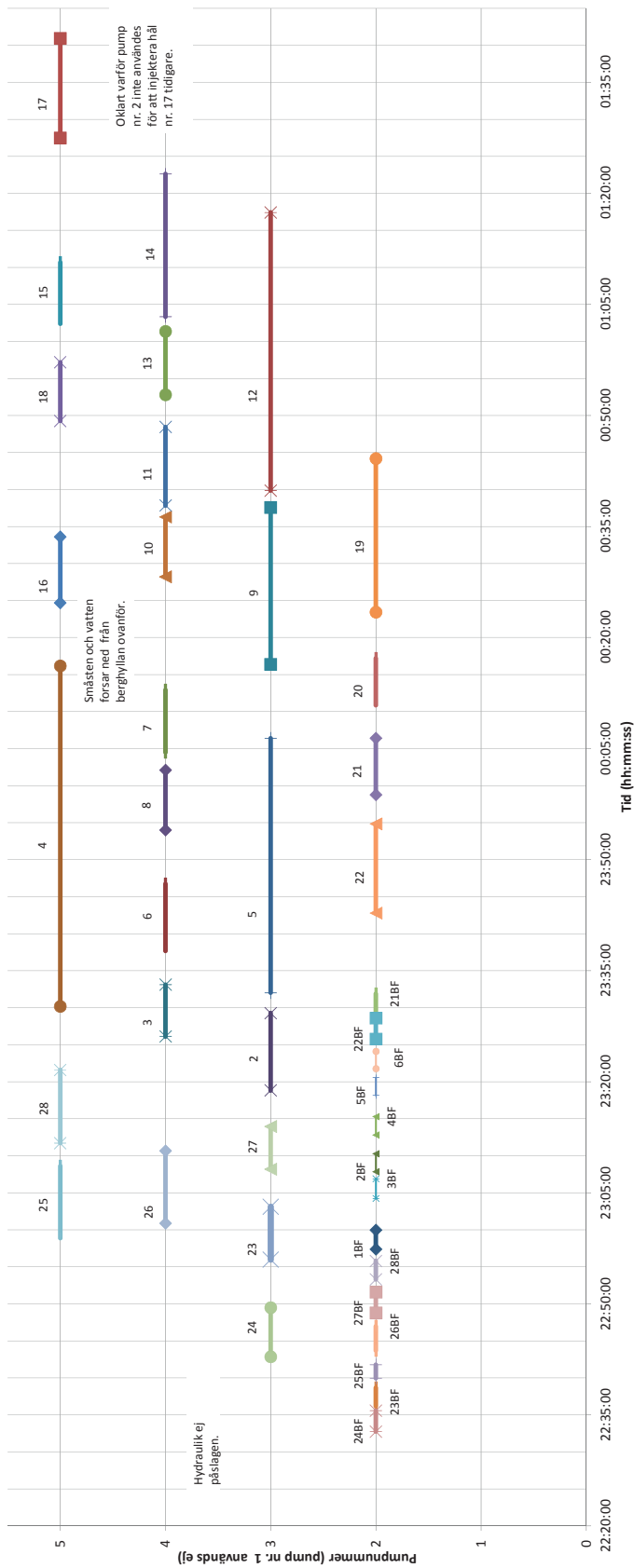
Sweco-Grontmij, (2009-05-20) Teknisk beskrivning, dokumentnummer 9509-00-010-001, rev L

## **BILAGOR**

- Bilaga 1: Redovisning av injekteringsgenomförande, ”pumpar – hål – tid”.
- Bilaga 2: Redovisning av antal hål injekterade samtidigt, ”antal pumpar – tid”
- Bilaga 3: Redovisning av summerat injekteringsflöde, ”summerat flöde – tid”
- Bilaga 4: Injekteringsutrustning Obermann Unit MGU 6/DP 50x1

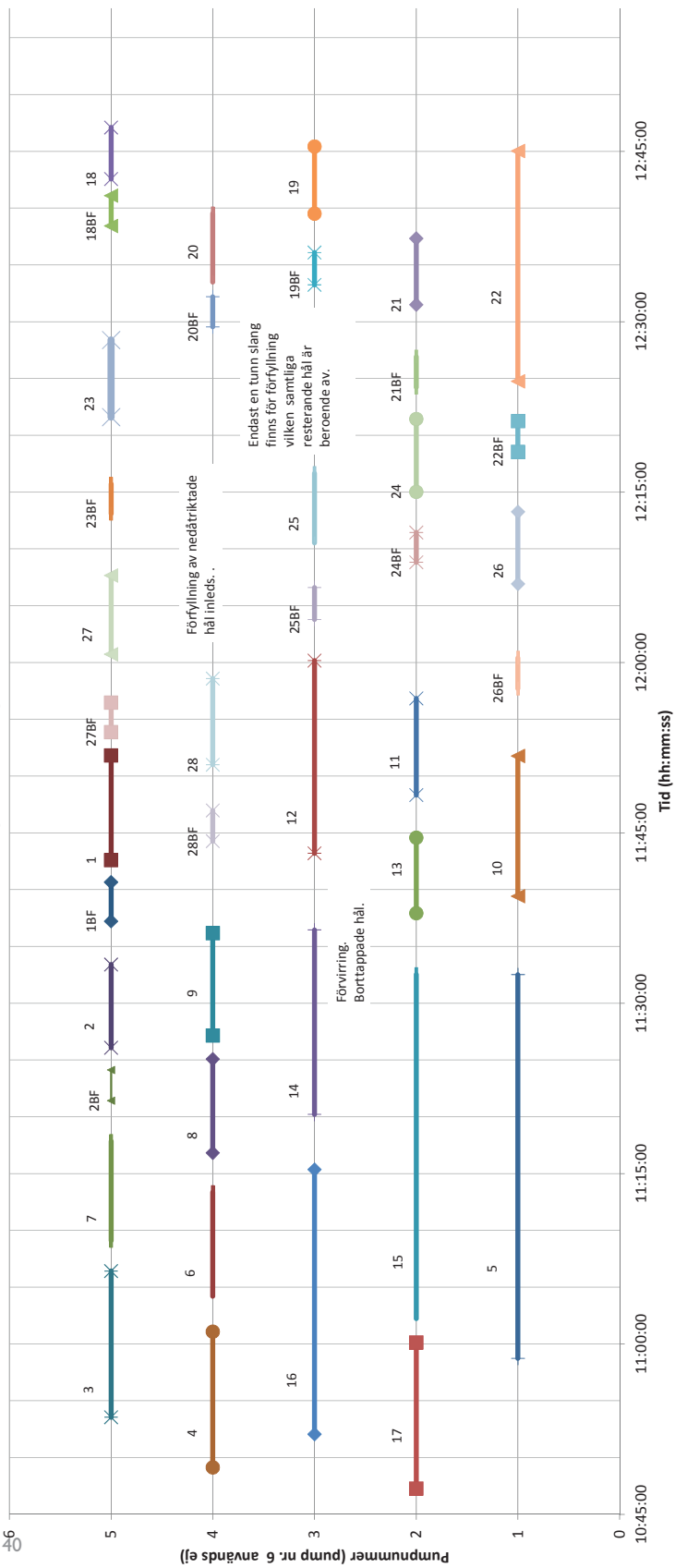
**Pump-, injektörshäls- och tidsflöde, skärm 30-069**

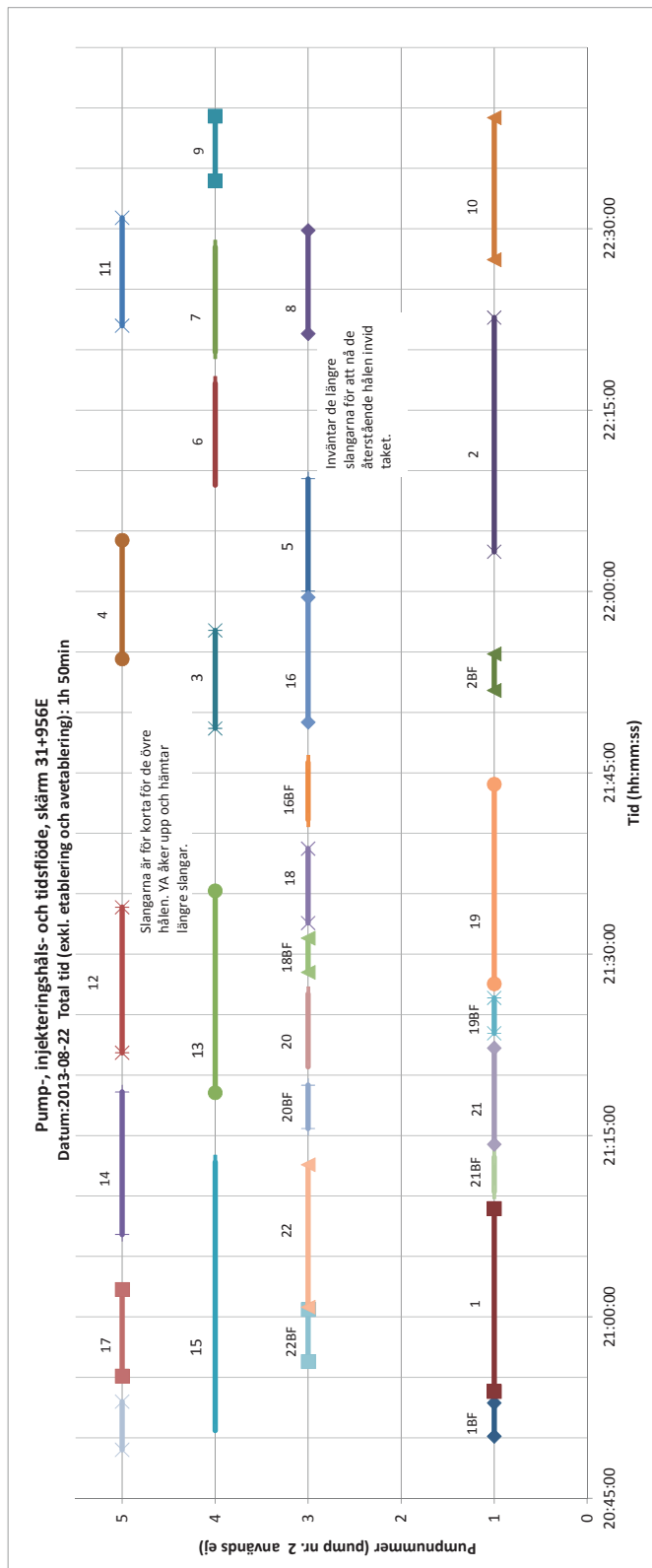
Datum: 2013-08-15 Total tid (exklusive etablering och avetablering): 3h 8 min

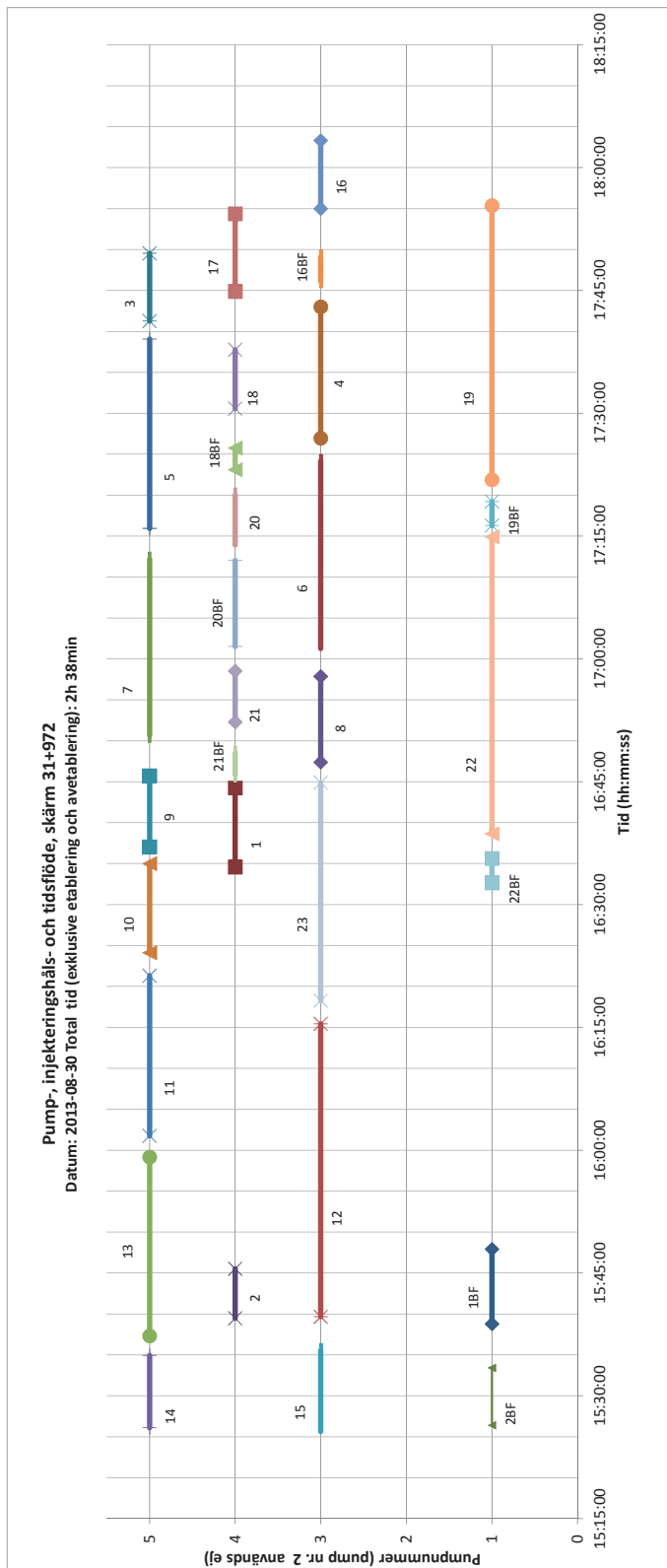


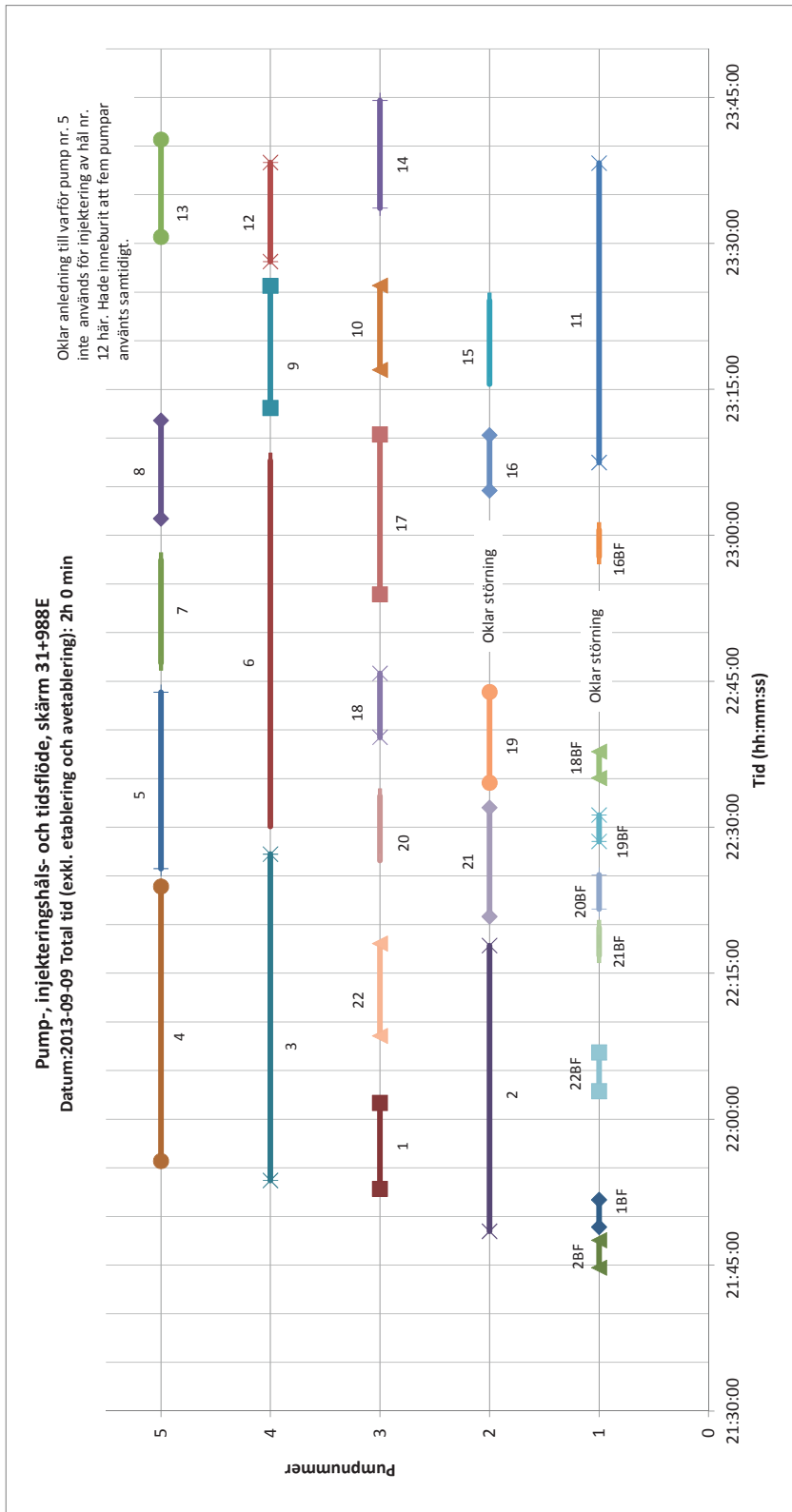
**Pump-, injektörshåls- och tidsflöde, skärm 30+084E**

Datum: 2013-09-03 Total tid (exkl. etablering och avetablering): 2h 00 min



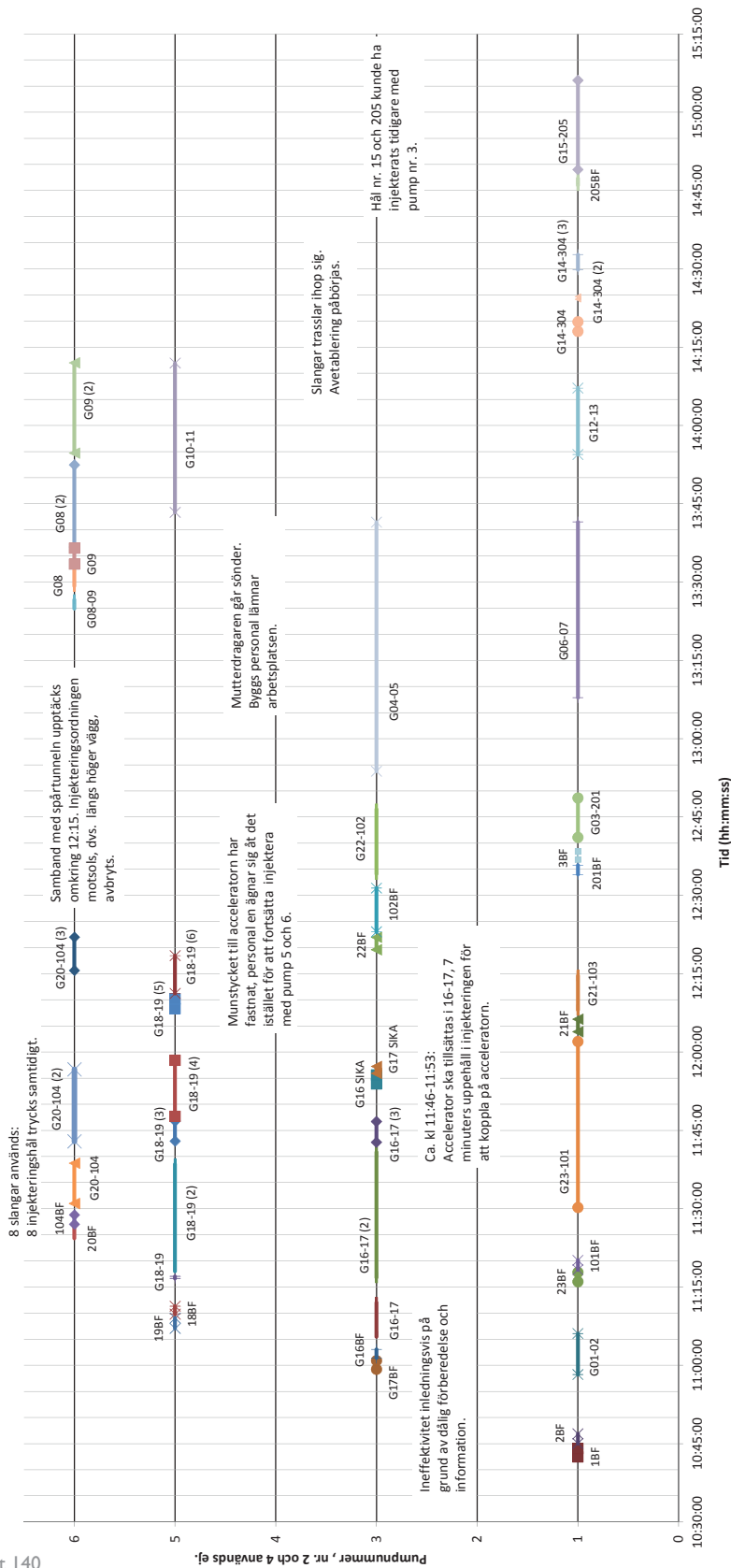




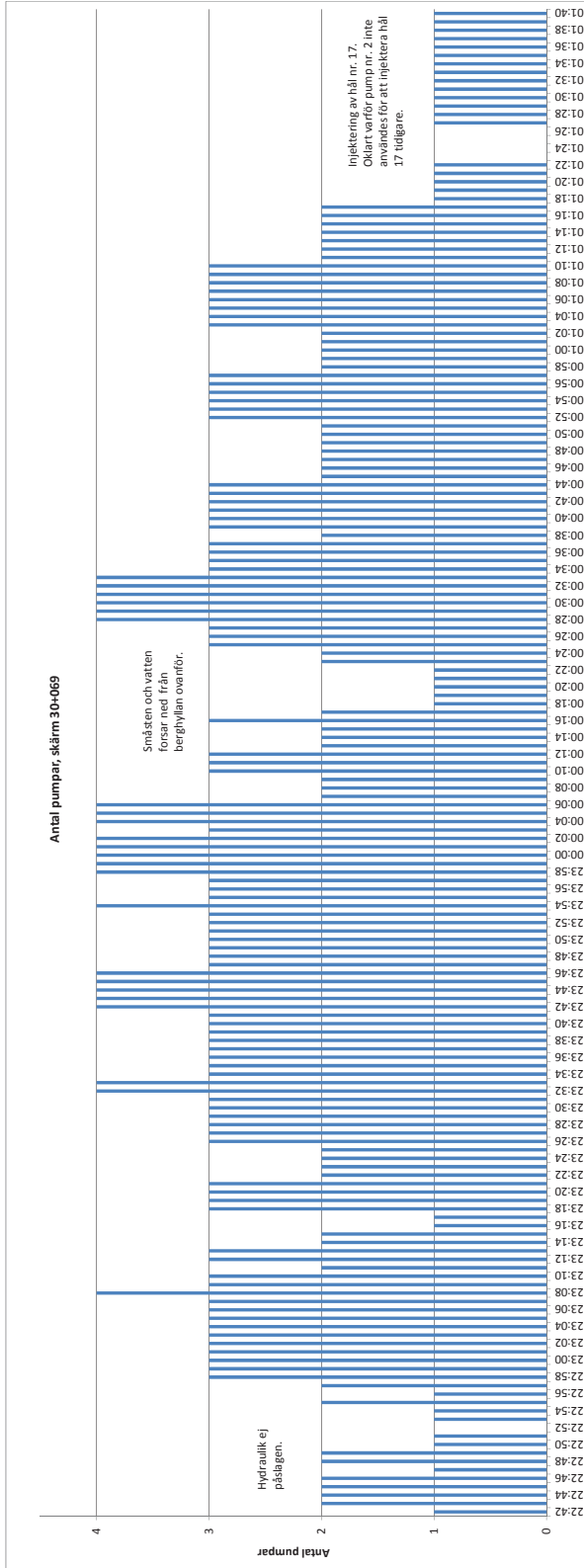


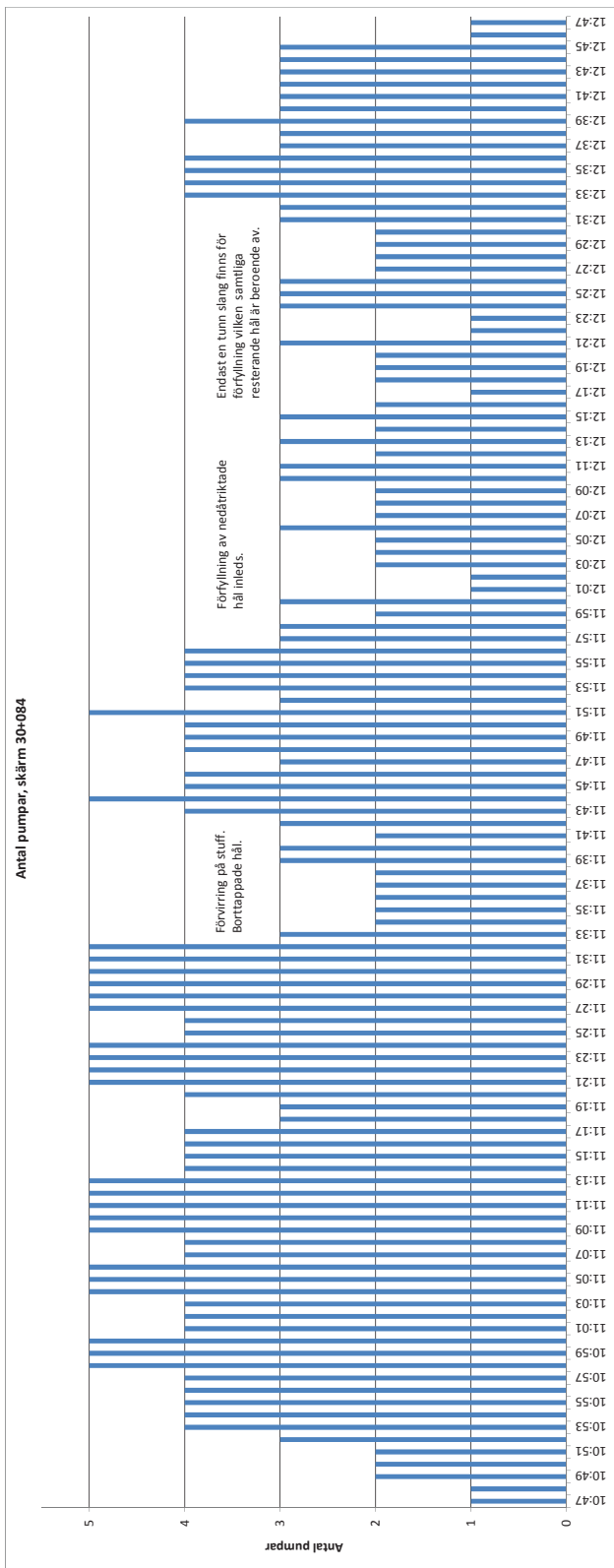
### Pump-, injektörshäls- och tidsflöde, skärm 32+004E

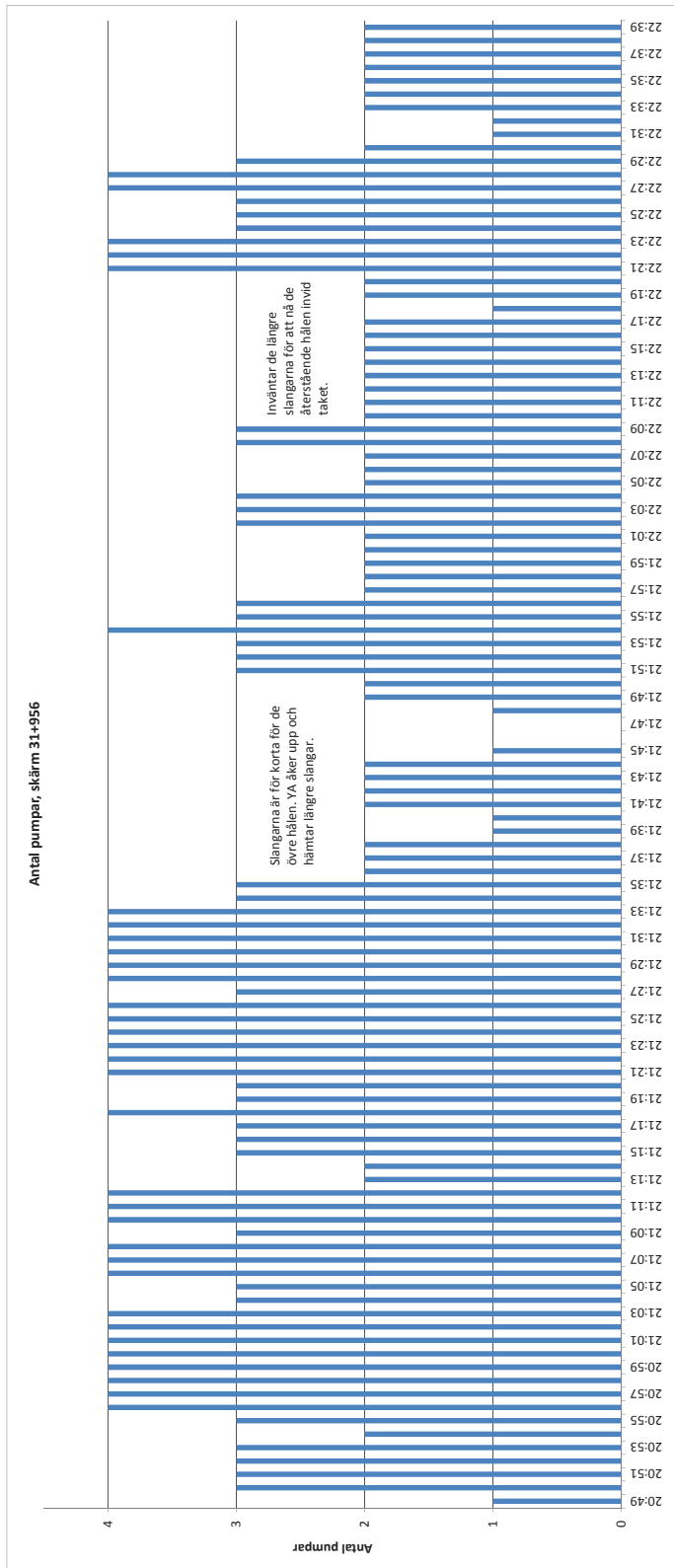
Datum: 2013-09-25 Total tid (exkl. etablering och avetablering): 4h 24min

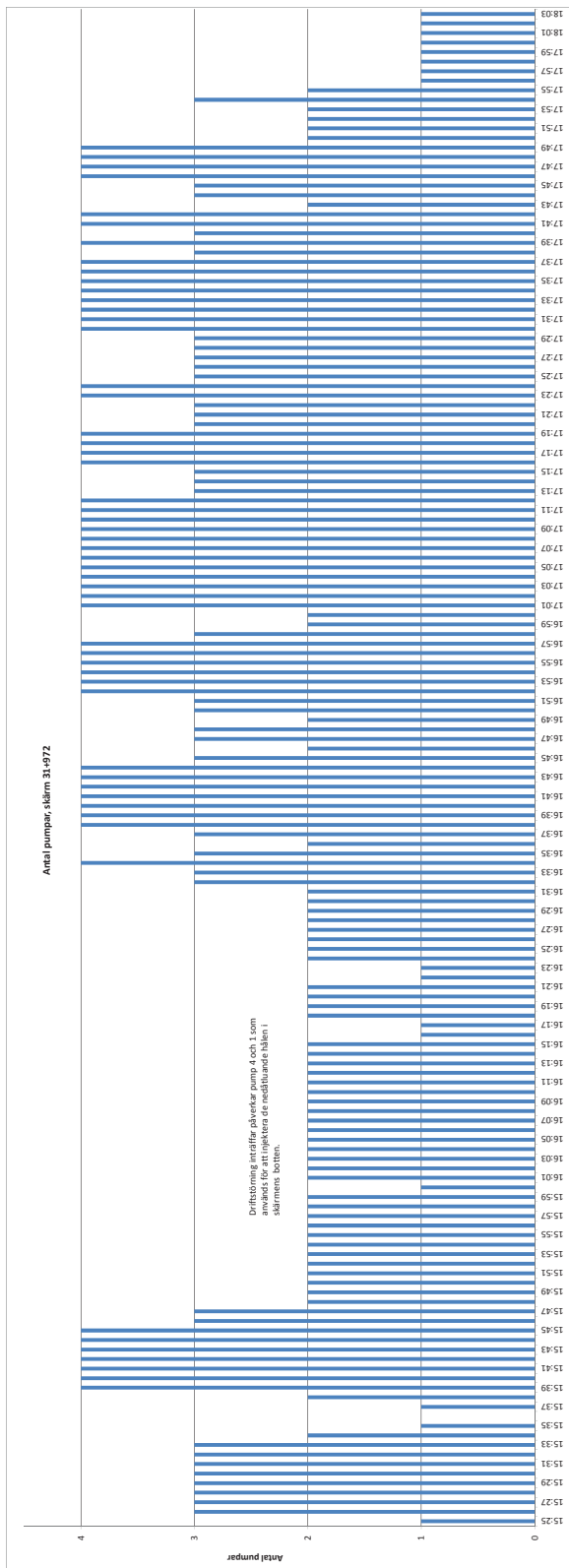


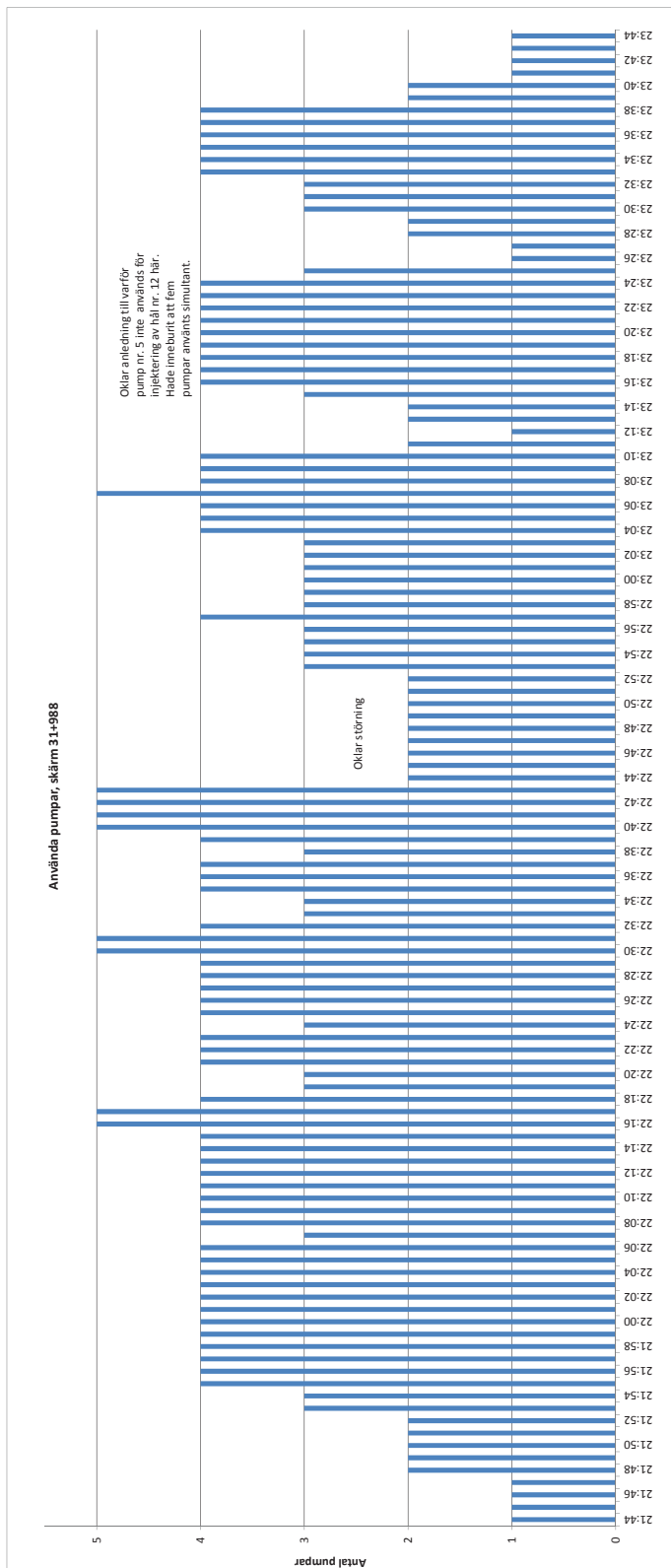


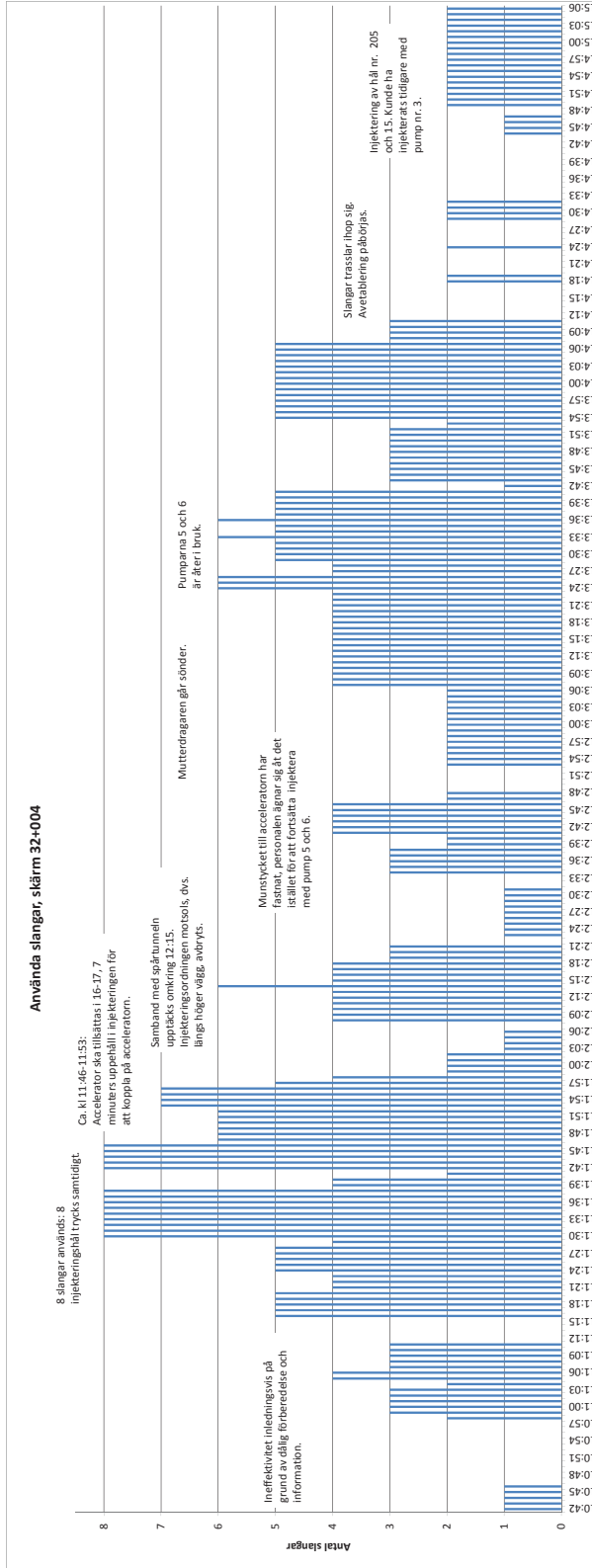


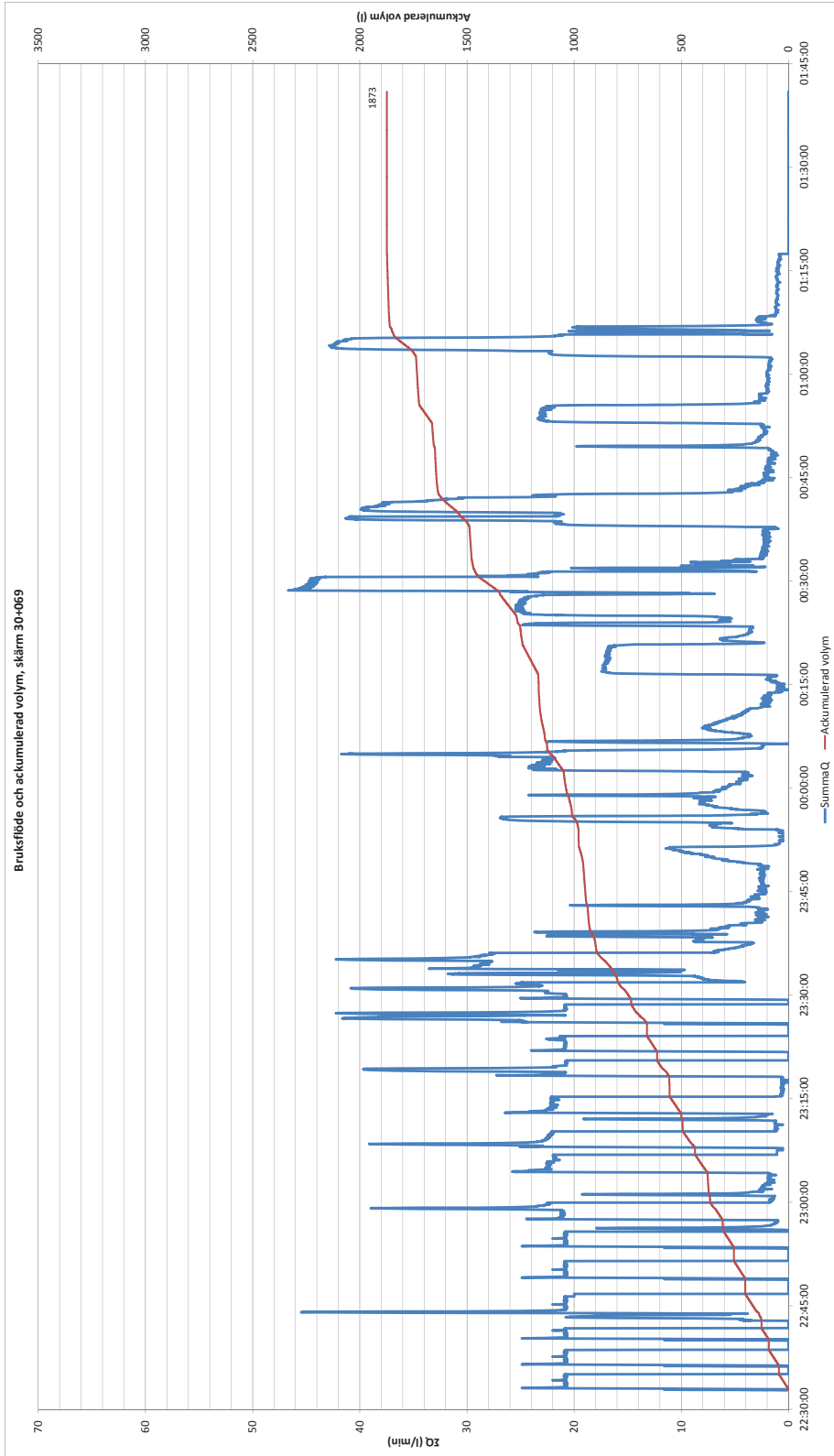


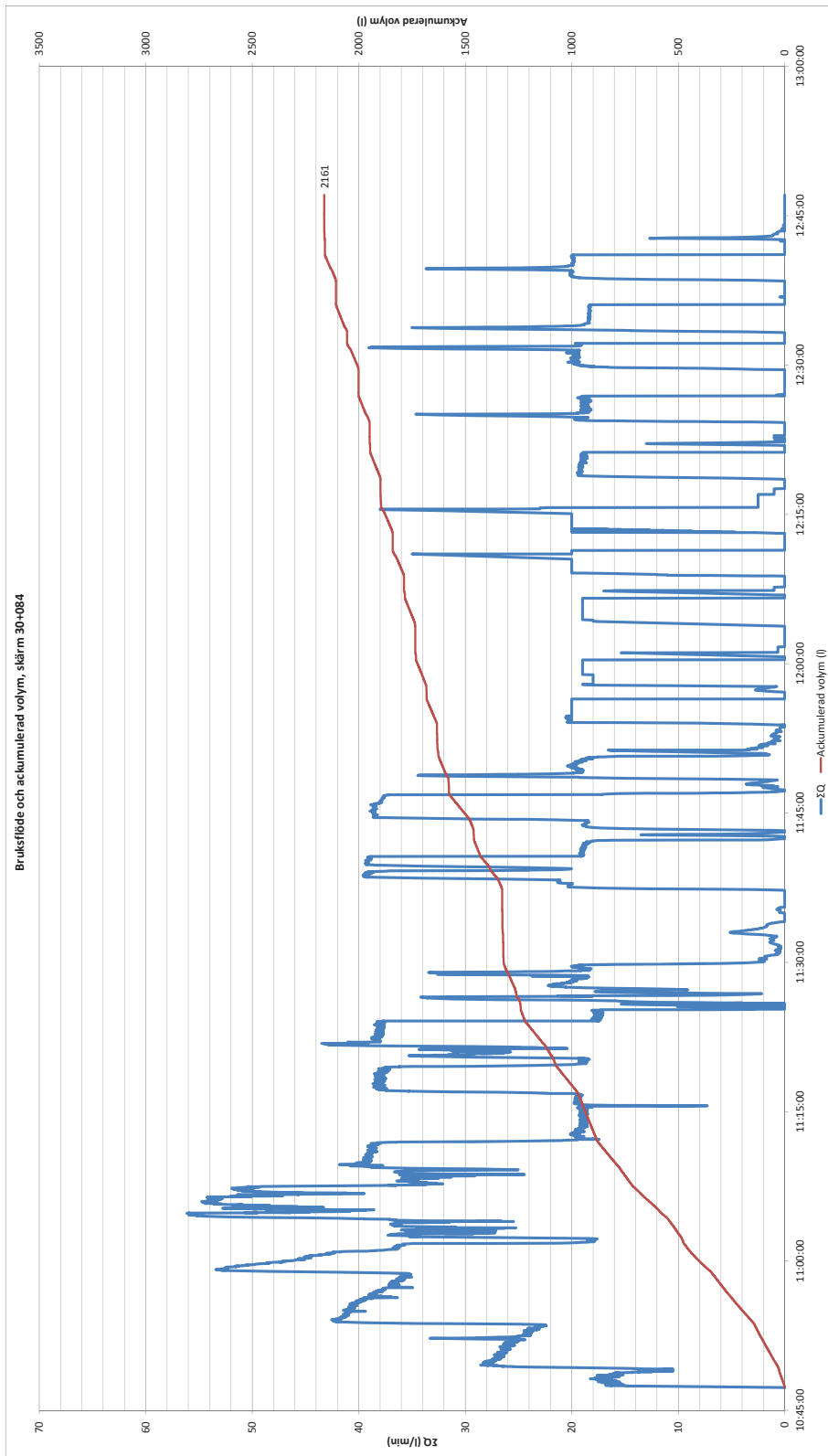




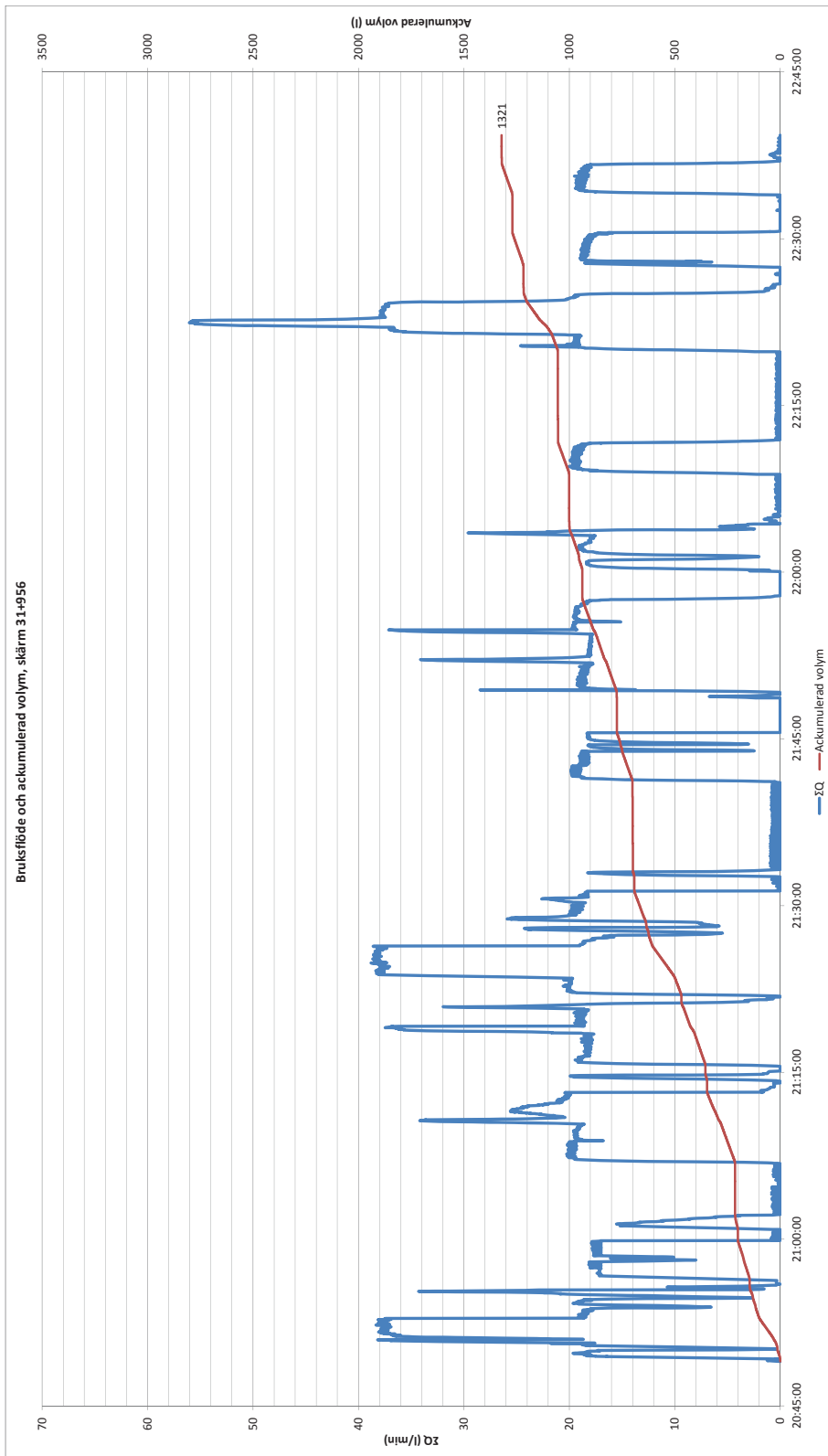


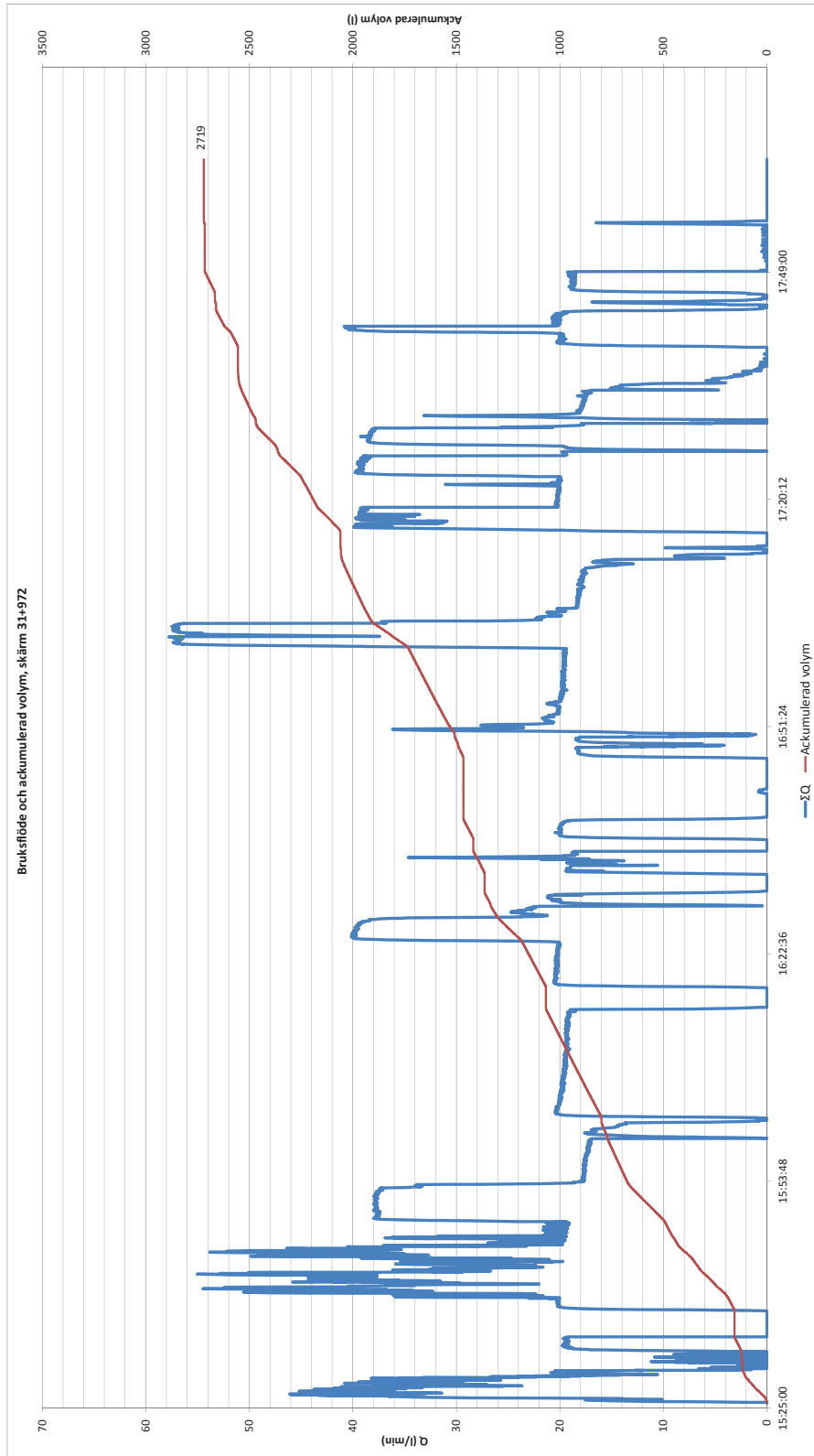


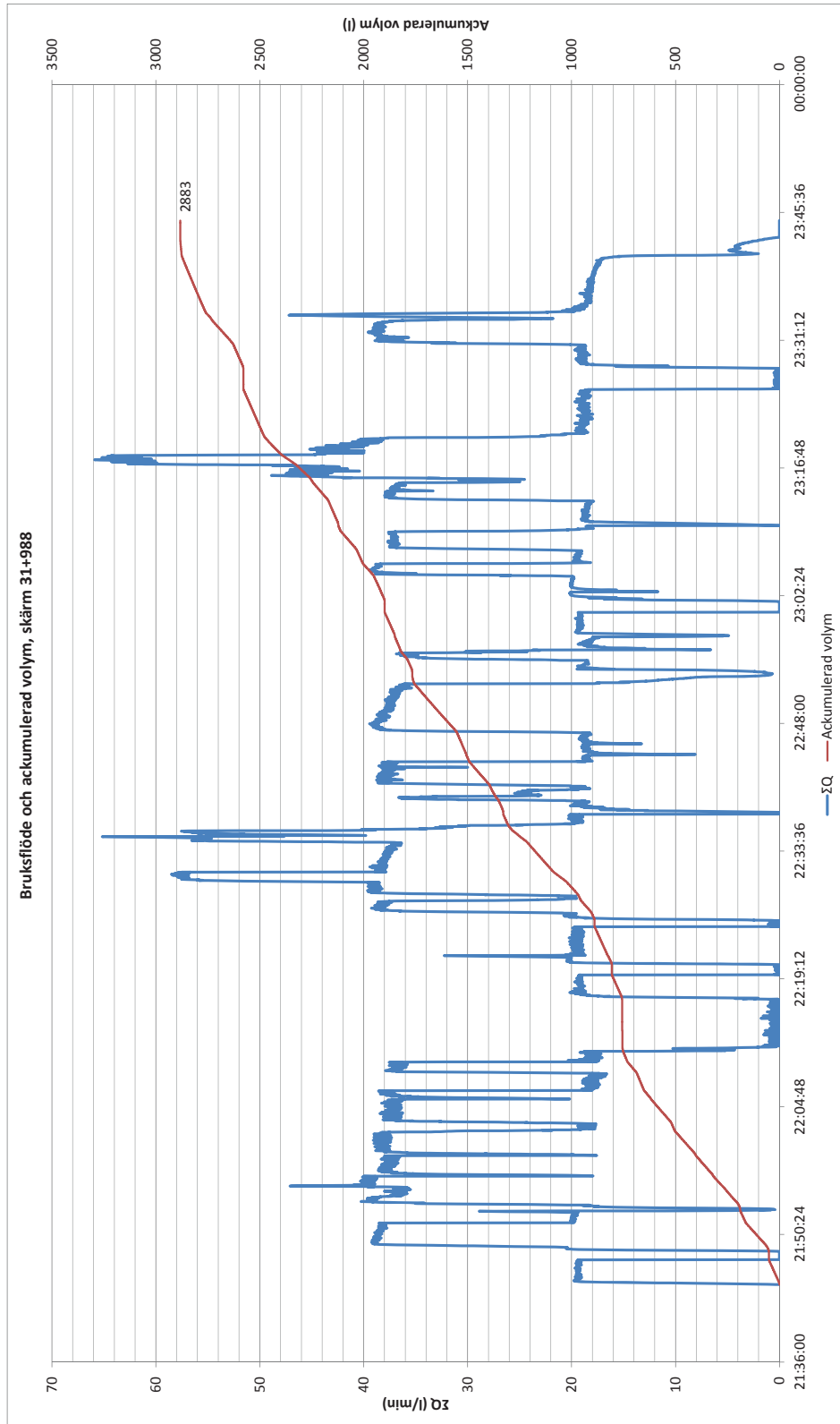


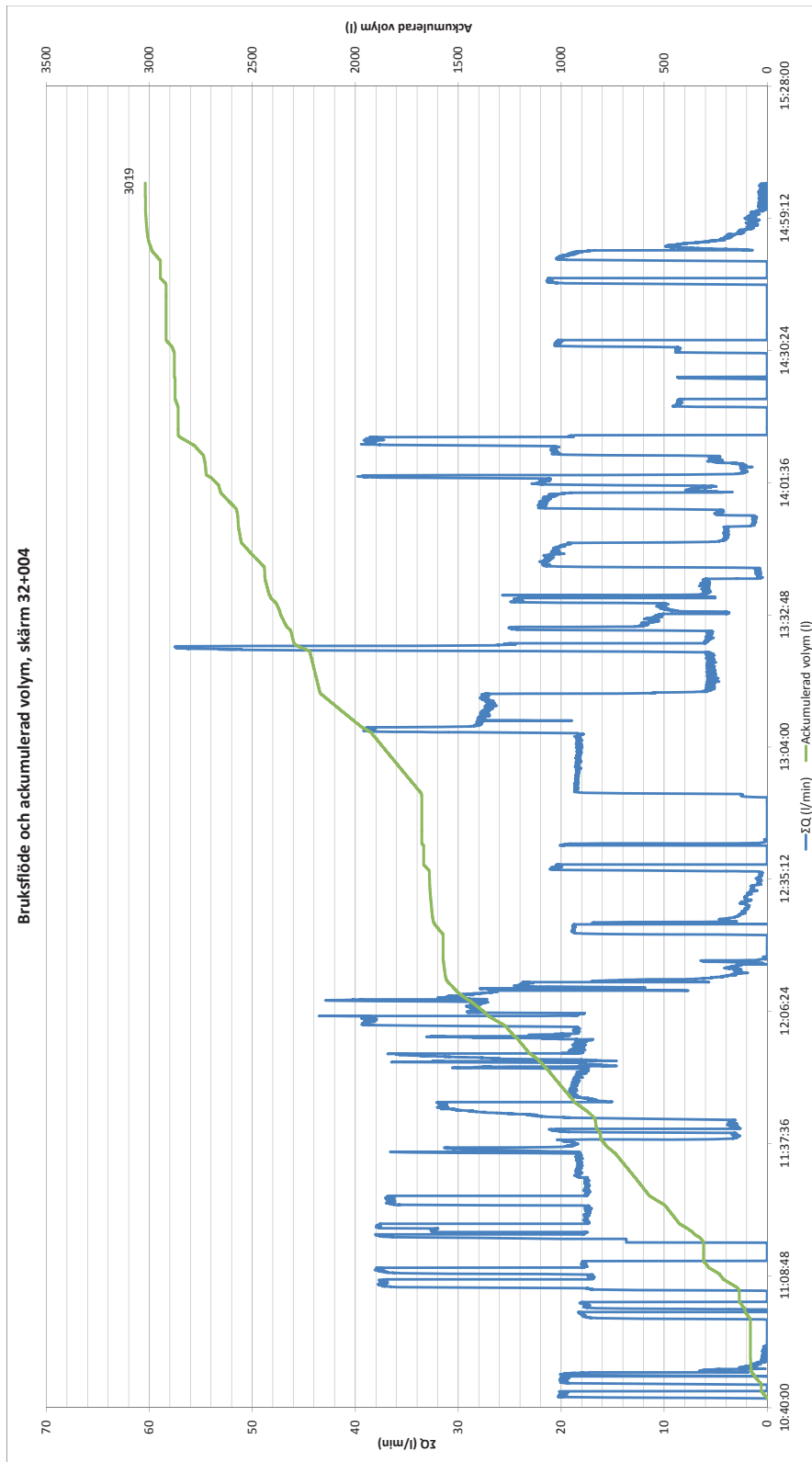










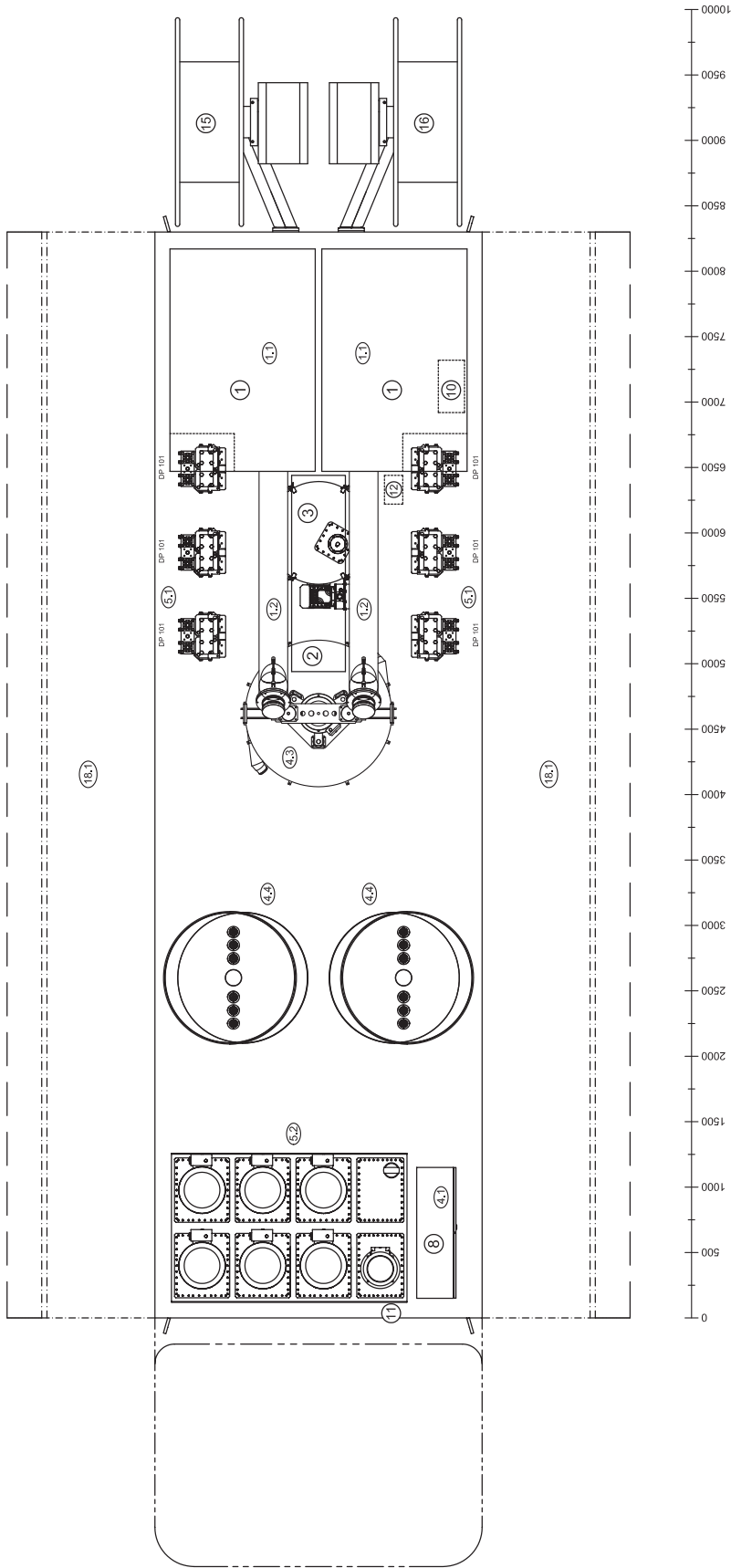


# MGU 6 / DP101

## 6 x DP101

top view

1





**1 pc. Multi-Grouting Unit Type MGU 6/ DP 101**

**• Overview of the Quotation**

1. Solid agent addition
2. Water addition
3. Liquid additive addition
4. Suspension mixture and –storage, incl. registration of the mixture data
5. Grout pumps with electro-hydraulic drive
6. Measuring of the grouting volume
7. Measuring of the grouting pressure
8. Control, indication and registration of the grouting parameters: volume/ pressure/ point
9. Manipulation of the grouting data: volume/ pressure/ point
10. Compressor for control air
11. Hydraulic aggregate for drive of the charging augers and agitator drives
12. High-pressure cleaner
13. Electrics
14. Transformer on site
15. Electric inlet cable with drum on site
16. Water inlet hose with drum on site
17. Grouting hose lines for pumps no. 1 – no. 6 on site
18. Machine frame
19. Technical documents
20. Dimensions/ weight/ connections
21. Summary of the quotation with prices
22. Necessary technical clarification



• **Description of the performance**

- |           |   |              |
|-----------|---|--------------|
| <b>1.</b> | <b>Solid agent addition</b>   | <b>2 pc.</b> |
| 1.1       | Cement storage tank      volume approx. 2 m <sup>3</sup> each<br>- Tank of steel plate, painted<br>- With foldable cover opening approx. 800 x 800 mm<br>- Connection for filling by external charging auger<br>or Big-Bag-filling – one pipe socket each Ø 250 mm<br>(Big-Bag is hanging at the hoisting devices and will only be connected<br>with the pipe socket Ø 250 mm<br>o Filling of the cement storage tank by blowing in with compressed air<br>is not allowed | (2 pc.)      |
| 1.2       | Cement charging auger – hydraulically driven, controlled  | (2 pc.)      |
| 1.2.1     | Possibility A1: auger type FS 160-H,<br>Delivery performance 19.2 to/h each (5.33 kg/sec.)  |              |
| 1.2.1.1   | Possibility A2: auger type FS 160-H<br>Both augers delivery simultaneously –<br>Delivery performance totally 38.4 to/h (10.67 kg/ sec.)   |              |
| 1.2.2     | Possibility B: auger type FS 220-H<br>Delivery performance 38.4 to/h (10.67 kg/sec.)  |              |
| <b>2.</b> | <b>Water addition</b>   | <b>1 pc.</b> |
| 2.1       | Water storage tank – working capacity 500 l<br>- Tank of stainless steel<br>- Level control – automatic tank filling by<br>separate water inlet line<br>- Optical level indication  | (1 pc.)      |
| 2.2       | Water inlet valve – pneumatically operated, controlled  |              |
| 2.3       | Water outlet valve – pneumatically operated, 2-steps controlled   |              |
| <b>3.</b> | <b>Liquid additive addition (max. 2 pc. are possible)</b>   | <b>1 pc.</b> |
| 3.1       | Additive storage tank – working capacity approx. 300 l<br>- Tank of stainless steel<br>- Filling opening with removable sieve basket<br>- Level control<br>- Manual tank filling by canister or separate barrel pump  | (1 pc.)      |
| 3.2       | Centrifugal pump with electric drive – 1.5 kW   | (1 pc.)      |
| 3.3       | Flow meter for electrically conductive liquids  | (1 pc.)      |
| 3.3.1     | Possibility A: dosing type FL-D06<br>Flow rate max. 15 l/min each (4.16 cm <sup>3</sup> /sec.)  |              |
| 3.3.2     | Possibility B: dosing type FL-D10<br>Flow rate max. 45 l/min each (10.67 cm <sup>3</sup> /sec.)   |              |



- 4. Suspension mixture and –storing**  
incl. registration of the mixture data
- 4.1 Mixer control 1 pc.
- Fully automatic mixer control with menu pre-selection
  - Touch-Screen display, coloured
  - Input and demand possibility for any number of mixture recipes
  - Mixture data registration on USB-stick
- 4.1.1 Cement-/ solid agent dosing = weighing of the mixer
- 4.1.2 Water dosing = weighing of the mixer
- 4.1.3 Liquid-additive-dosing = flow meter FL-D06/ FL-D10
- 4.2 Operation of the mixture data on customer's PC
- 4.2.1 With OBERMANN-evaluation-software – language: English/ Swedish 1 pc.
- 4.3 Suspension mixer – type MP 500-E 1 pc.
- 4.3.1 Mixer tank – working capacity 500 l
- Tank of stainless steel
  - Mixer tank covers are completely removable
- 4.3.2 Two mixer tools on an elastically supported vertical drive shaft without stuffing box/ shaft seal
- Running dry of the mixer tools/ mixer shaft without any problems
- 4.3.3 Mixer drive = electric motor 15 kW/ 400 V/ max. 60 Hz
- Infinitely mixer rotation speed from – 400 up to 1800 rpm adjustable and controllable
- 4.3.4 Mixer valves = pneumatically operate, controlled
- 4.3.5 Mixer function:
- Mixing – rotation speed = 1200 – 1800 rpm
  - Pumping-off into the storage tank No. 1 or No. 2 – rotation speed = 1200 – 1800 rpm
  - Stand-by, of storage tank No. 1/ No. 2 are not drained completely and the max. mixing time is exceeded – rotation speed approx. 500 rpm
- 4.3.6 Mixer performance: max. 15 m<sup>3</sup>/h at 30 cycles/h, 1 batch = 120 sec.
- 4.4 Storage tank with agitator – type R 800-H 2 pc.
- 4.4.1 Storage tank – working capacity 500 l
- Tank of stainless steel
  - Tank covers are completely removable
  - Sieve basket, mesh size 5 mm, in the inlet of the mixer
- 4.4.2 Agitator tool, arranged at a vertical drive shaft
- 4.4.3 Agitator drive = hydraulic motor, approx. 1 kW
- Infinitely agitator rotation speed from 2 – approx. 25 rpm, manually adjustable
- 4.4.4 Bottom outlet- and water flushing valve, type BAV – to pump suction line 2 x 3 Stck.
- The BAV is pneumatically operated and will be controlled from the central operating panel for the possibilities: grouting or flushing, controlled with water



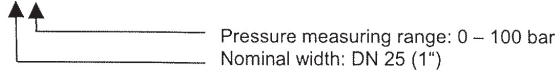


- 5. Grout pumps, with electro-hydraulic drive** **6 pc.**
- 5.1 Grout pump type DP 101 (6 pc.)
- Type: vertical, hydraulically driven 2-plunger pump – system OBERMANN
  - Pump valves = automatic ball valves
  - Max. possible performance of the type DP 101: Qmax = 175 l/min / Pmax = 100 bar
    - Performance of the pump DP 101 – in MGU 6/ DP 101:
      - Basic values: Qmax = 120 l/min/ Pmax = 100 bar
      - Simultaneous values at drive performance 18.5 kW = 80 l/min at 100 bar
- 5.2 Hydraulic aggregate for DP 101 (6 pc.)
- Variable hydraulic pump (6 pc.)
  - Electric motor 18.5 kW/ 400 V/ 50 Hz
  - Hydraulic oil tank of stainless steel, suitable for bio oil
  - Standard filling of the oil tank with mineral hydraulic oil
  - Option: filling with bio oil
  - Oil cooling = water/ oil plus air/ oil
- 5.3 Suction system at DP 101 (6 pc.)
- Pre-selection possibility from operating panel for the functions:
    - Grouting with suspension or flushing with water
    - s. Pos. 4.4.4 = bottom outlet- and water flushing valve
- 5.4 Pressure system at DP 101 (6 pc.)
- 5.4.1 • SC 14/25/2: circulation valve in the pump pressure line: manually operated for the functions:
- Pumping to grouting point or
  - Pumping in circulation – back into the storage tank
  - Pressure release in the grouting hose line
- 5.4.2 • UV 25/100: circulation valve in the pump pressure line – Option (6 pc.)
- The UV 25/100 is pneumatically operated and will be controlled from the central operating panel
- 6. Measuring of the grouting volume** **6 pc.**
- Measuring in the pressure line of the grout pump by flow rate sensor type MAQ ...
  - Possibility A: sensor type MAQ-15 – max. flow rate = 100 l/min
  - Possibility B: sensor type MAQ-25 – max. flow rate = 250 l/min
    - Flow rate sensor and max. delivery volume of the grout pump and have to be coordinated
- 7. Measuring of the grouting pressure**
- 7.1 Measuring at the pressure outlet of the grout pump 6 pc.
- by screwing pressure sensor type MIP-4-14,  
measuring range = 0 – 100 bar, max. overload = 200 bar
- 7.2 Measuring at the grouting point/ at the grouting packer inlet connection 6 pc.
- by hose line input pressure sensor type MIP-4-10/ ...
- A cable connection for transmission of the measuring signals into the MGU is necessary for each pressure sensor type MIP-4-10/...
- 7.2.1 Definition of the nominal width for the hose line installation pressure sensor:
- 7.2.1.1 For hose line DN 20 (¾") = sensor type MIP-4-10/20 ...
- 7.2.1.2 For hose line DN 25 (1") = sensor type MIP-4-10/25 ...
- 7.2.2 Definition of the measuring range for the hose line installation pressure sensor:
- 7.2.2.1 Measuring range 0 – 10 bar/ max. overload 20 bar = sensor type MIP-4-10/...C
- 7.2.2.2 Measuring range 0 – 25 bar/ max. overload 50 bar = sensor type MIP-4-10/...E
- 7.2.2.3 Measuring range 0 – 40 bar/ max. overload 80 bar = sensor type MIP-4-10/...F
- 7.2.2.4 Measuring range 0 – 100 bar/ max. overload 100 bar = sensor type MIP-4-10/...H



## 7.2.3 Complete description of the hose line installation pressure sensor:

Example: MIP-4-10/25H

7.2.4 Measuring cable – for the connection of the hose line installation pressure sensors MIP-4-10/... 6 pc.  
with MGU – cable length on customer's request, L = .....**8. Control indication and registration of the grouting parameters: volume/ pressure/ point**

## 8.1 Indication and registration with documentation system type LOG-SG6

- For 6 pc. Grout pumps with one grouting point each
- Touch-Screen-display, for presentation of the grouting process for the grout pumps/ grouting points No. 1 – No. 6

## 8.2 Operation of the grout pumps

## 8.2.1 Adjustment of the pump speed (delivery rate):

- Standard = manual adjustment/ adjustment of the pump speed at central machine control bench
- Option: PQR = automatic, pressure dependent control of the pump speed

## 8.2.2 Adjustment of the max. pump pressure:

- Standard = manual adjustment/ adjustment of the hydraulic pressure at pressure limiter valve in hydraulic drive system
- Standard = pressure pre-selection for Pmax and Pmin at the electrical grouting pressure monitoring.  
When Pmax is reached the grout pump switches off, when pressure drops down or when Pmin is reached, the grout pump will be started again.  
The pump speed (delivery rate) will not be changed.  
With the HP-button the electronically adjusted Pmax-pressure can be exceeded for a short time, up to the maximum pressure adjusted at the pressure limiter valve
- With option PQR the permanent switching off and on of the grouting pump will be omitted by the adjustment/ control of the pump speed to the max. grouting pressure

**9. Operation of grouting data: volume/ pressure/ point on customer's PC**

9.1 With OBERMANN-evaluation software – language: English/ Swedish 1 pc.

**10. Compressor for control air**

- Delivery volume approx. 250 l/min/ 8 bar
- Motor performance approx. 2.2 kW

1 pc.

**11. Hydraulic aggregate, drive performance = 11 kW for drive of:**

- Cement charging auger and agitator drive:
- One or both charging augers type FS 160-H simultaneously
- Both agitator drives

*Alternative:*

- One charging auger type FS 220-H
- Both agitator drives

1 pc.

**12. High-pressure cleaner**

- 13 l/min – 120 bar – 3 kW
- Hose 10 m, with pistol handle

**- optional HDR -**

1 pc.



<b>13.</b>	<b>Electrics = 400 V/ 50 Hz/ and 220 V/ 50 Hz as well as 24 VDC</b>		
13.1	Protection and control of electric motors		
13.1.1	Liquid additive pump ON/OFF –	1x 1.5 kW	= 1.5 kW
13.1.2	Mixer-motor – frequency converter -	1 x 15.0 kW	= 15.0 kW
13.1.3	Hydraulic pump – grout pump ON/OFF	6 x 18.5 kW	= 111.0 kW
13.1.4	Oil cooler ON/OFF	2 x 1.0 kW	= 2.0 kW
13.1.5	Oil cooling circuit ON/OFF	1 x 4.0 kW	= 4.0 kW
13.1.6	Compressor ON/OFF	1 x 2.2 kW	= 2.2 kW
13.1.7	Hydraulic pump – charging auger ON/OFF	1 x 11.0 kW	= 11.0 kW
13.1.8	High-pressure cleaner ON/OFF – temporarily	1 x 3.0 kW	
13.2	Control transformer		0.8 kW
13.3	Control and measurement technology		1.0 kW
13.4	Lighting		1.0 kW
	Maximum total power requirement at full load		140.0 kW
14.	Transformer 1000 V/ 400 V/ 50 Hz		on site
15.	Electric-input cable with drum		on site
16.	Water inlet hose with drum		on site
17.	Grouting hose line for pumps No. 1 – No. 6		on site



- 18. Machine frame for taking up the components Pos. 1 – Pos. 17**
- 18.1 A both longitudinal sides, there are foldable:
- Walkway surfaces and safety roof covers
- 18.1.1 Working position:
- The walkway surfaces are folded downwards in a vertical position and secured
  - The safety railings are fixed at the folded walkway surfaces
  - The safety roof cover is folded upwards in a vertical position and secured
- 18.1.2 Transport position/ protection against vandalism during standstill of the machine:
- The safety railings are secured inside the MGU
  - The walkways are folded upwards in horizontal position and secured
  - The safety roof cover is folded downwards in horizontal position and secured
- 18.2 The machine bottom is inside the MGU
- The bottom of the working and operating range is plated with profiled steel plate – so-called „bulb-plates“
  - In the range of mixer, storage tank and grout pumps a tarpaulin can be fixed as safety panel at both longitudinal sides.
- 18.3 Fastening of the mixer
- The weighing equipment of the mixer is attached to the roof construction
- 18.4 Fastening of the grout pump
- The grout pumps are attached to the bottom construction
- 18.5 Machine roof
- The machine roof is completely closed with steel plates – besides the range of the cement/ storage tank
  - Safety raceways are affixed on the machine roof
  - Safety railings on the machine roof:
    - Working position: the safety railing on the roof is folded up and secured
    - Transport position: the safety railing on the roof is folded down and secured
- 18.6 Interior lighting
- The MGU is inside equipped with a splashproof electrical lighting
- 18.7 Painting
- Inner and outside painting: single-coloured – RAL 7035 – light grey
  - Painting on request: bi-coloured – option  
(bi-coloured = inner and out painting in different colours)
- 18.8 Rear platform – technical clarification is necessary
- 
- 18.9 Bracket for cable drum – technical clarification is necessary
- 18.10 Bracket for water hose drum – technical clarification is necessary
- 19. Technical documents**
- Operating manual – language: English/ Swedish
  - Spare parts list – language: English/ Swedish



## 20. Dimensions/ weight/ connections

### 20.1 Dimensions – acc. to equipment and technical clarification

- Transport-dimensions: (without truck)

Length = 9,00 m – plus space requirement for cable drum/ hose drum  
Width = 2,50 m – walkways and protective covers are folded  
Height = 2,70 m – roof-/ protective railing are folded down

- Working dimensions: (without truck)

Length = 9,00 m – plus space requirement for cable drum/ hose drum  
...Width = 4,74 m – in the range of the folded up protective cover  
Width = 4,26 m – in the range of the folded down walkways  
Height = 3,80 m – roof protective railing is folded up

### 20.2 Weight – acc. to equipment – approx. 11 to

### 20.3 Connections

20.3.1 Electric input (1 pc.) – after technical clarification

20.3.2 Water input (1 pc.) – after technical clarification

20.3.3 Cement-addition (2 pc.) – after technical clarification

20.3.4 Liquid additive addition – Filling opening in the tank, for manual addition

20.3.5 Plug for pressure measuring cable (6 pc.) – after technical clarification







Box 5501  
SE-114 85 Stockholm

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

ISSN 1104-1773