

LÄCKANDE BULTHÅL I BERG – ORSAKER OCH ÅTGÄRDER

Hossein Khodaverdian

Magnus Zetterlund

LÄCKANDE BULTHÅL I BERG - ORSAKER OCH ÅTGÄRDER

**Leaky bolt hole in rock
- Causes and measures**

Hossein Khodaverdian, Abeis Konsult AB

Magnus Zetterlund, Norconsult

Förord

Installation av bergbultar utförs i princip alltid vid bergförstärkning inom den teoretiskt tätade injekterade zonen för bergtunnlar. Detta medför att de bör installeras i torrhet. Trots detta och i samband med bultning förekommer *läckande bulthål* (innan installation) eller läckage efter att bultarna installerats, *läckande bult*.

Läckande borrhål före och/eller efter installation av bergbult behöver åtgärdas, vilket stör produktionen och är både tids- och kostnadskrävande. Därför initierades detta projekt som genomfördes av Hossein Khoraverdian (Abeis Konsult) tillsammans med Magnus Zetterlund (Norconsult) som handläggare och medförfattare. Arbetet har utförts i huvudsak i två faser: Förekomst och uppföljning av läckande bulthål samt implementering av framtagna förslag för att minska framtida förekomster av läckande bulthål/bultar.

Uppföljningen genomfördes på Förbifart Stockholm, delprojekt Norr där Implenia AB var utförandentreprenör. Under detta arbete har produktionsledarna Magnus Felldin och Mikael Knutsson bidragit med sina erfarenheter av hantering och vidtagna åtgärder vid behandling läckande bulthål.

Implementering av framtagna förslag genomfördes på delprojekt Lovö, tunnel 301N, av engagerad och hjälpsam personal från Veidekke Sverige AB samt deras underentreprenörer. Under implementeringen har bygglidarna Richard Dahlström och Hassan Alaridi tillsammans med geologerna Björn Stuge, Per Arne Moen samt Mehdi Bagheri bidragit med värdefulla insatser inom sina respektive kompetensområden. Thomas Dalmalm har varit ett stort stöd under hela projektet och bidragit med konstruktiva synpunkter och förslag.

Referensgruppen som bistått projektet under båda faserna bestod av Thomas Dalmalm (Trafikverket), Tomas Hellström (AFRY), Lars Eriksson (GMA), Jiri Englen (Implenia AB), Lars Martinsson (tidigare Trafikverket), Mattias Roslin (tidigare Trafikverket) och Per Tengborg (BeFo). Projektet har finansierats och genomförts inom ramen för BeFo forskningsprogram.

Stockholm, 2020

Per Tengborg

Sammanfattning

Byggande i berg erfordrar normalt förstärkningsåtgärder. Installation av bergförstärkning i form av bergbultar utförs i princip alltid inom den teoretiskt tätade injekterade zonen för bergtunnlar. Detta borde innebära att de installeras i torrhet. Trots detta finns det ett betydande antal bulthål som efter borring alternativt efter installation av bult, rinner/droppar vatten ur, de läcker. Syftet med detta forskningsprojekt är att utreda orsak, nuvarande hantering och ge förslag till hantering, möjlighet till åtgärder för att reducera samt ge förslag till reglering av läckande bulthål vid bergbyggandet.

Uppföljning av antalet injekterade läckande bulthål i delar av projekt Förbifart Stockholm visar att antalet är ca 3,6 gånger högre än prognosen. Undersökning av karterade områden, MWD och utförd behandling av läckande bulthål har lett till hypoteser om faktorer som påverkar förekomsten av läckande bulthål. Huvudfaktorerna för förekomsten av dessa anses vara geologi, projekterade lösningen inklusive skärmgeometri, bruksegenskaper, stoppkriterier, bultarnas längd samt hantering av läckande bulthålen.

För att minska åtgärder för läckande bulthål föreslås att de injekteras med stabilt injekteringsbruk och borras om. För att minska förekomsten av läckande bulthål föreslås modifiering av den projekterade lösningen inklusive skärmgeometrin, val av material samt stoppkriterier.

Förslagen har implementerats i fyra injekteringskärmar på ca 67m tunnel. Resultat från implementeringen visar en signifikant reduktion av läckande installerade bultar i testområdet jämfört med 2 anslutande tidigare injekterade kärmar (33m tunnel) i samma tunnel. Droppkartering i väggar och tak i testområdet visar ett inläckage 0,043 liter/min vilket motsvarar 0,063 liter/min och 100 meter. Detta har lett till en minskning av antalet läckande installerade bultar med 80%. Det jämförelsevis mycket låga inläckaget samt minskningen av antalet läckande bultar resulterar till mindre behov av efterinjekteringar och minskade åtgärder för hantering av läckande bultar. Dessa tillsammans leder till mindre miljö och arbetsmiljö påverkan, utökad produktivitet och minskade produktionskostnader.

Nyckelord: Läckande bergbulthål, geologi, injektering, skärmgeometri, Förbifart Stockholm.

Not till läsaren: Denna rapport kan du även läsa digitalt eller ladda ner från BeFos hemsida. Bilder och figurer kan förstöras på skärmen för bättre läsupplevelse.
www.befoonline.org/publikationer

Summary

Constructing in rock usually requires reinforcement measures. Installation of rock bolts are always carried out within the theoretically sealed (grouted) zone of rock tunnels. This should mean that they are installed in dry condition. Despite this, there are a significant number of bolt holes, which after drilling are leaking/dripping water.

The purpose of this research is to investigate the cause, current solution and proposal for handling, the possibility of reducing measures as well as providing suggestions for the regulation of leaky bolt holes in the construction of rock.

Investigation of the number of treated (grouted) leaky bolt holes in some parts of project Bypass Stockholm show that the number of treated holes is far higher than the forecast.

Geological mapping, MWD and performed treatment of leaky bolt holes has resulted to the hypotheses that the main factors for occurrence of the leaky bolt holes are geology, shape of the grouting fan and the length of the bolts.

To reduce the number of leaky bolt holes, the leaky bolt hole should be grouted with stable grout and re-drilled. To reduce occurrence of leaky bolt holes, the proposal is to modify the grouting design, including fan geometry, stop criteria and demands on grouting material. The proposals have been implemented at four grouting fans (test area) at project Bypass Stockholm. The result has been compared with two earlier fan which has been grouted in the same tunnel in direct connection with the test area. The result shows significant reduction of leaky bolts compare to the two earlier grouted fan. Drip mapping from the test area, 67m shows that the leakage from walls and ceiling is about 0,043 litre/minute or 0,063 litre/minute and 100 metre of tunnel. Thanks to relatively low water leakage the number of leaky bolts has been reduced with 80%. Low water leakage and a smaller number of leaky bolts leads to reduction of post-grouting and treatment of leaky bolts. These together will result to less impact to environment and working environment, higher productivity and reduction of production cost.

Keywords: leaky rock bolt hole, geology, grouting, fan geometry, Bypass Stockholm

Note to the reader: You can also read this report digitally or download it from BeFo's website. Images and figures can be enlarged on the screen for a better reading experience. www.befoonline.org/publikationer

Innehållsförteckning

1	PROJEKTBEKRIVNING.....	1
1.2	Syftet med projektet.....	1
1.3	Metodik.....	2
1.4	Avgränsningar.....	2
2	INJEKTERINGSARBETEN.....	3
2.1	Generellt.....	3
2.1.1	Geologisk kartering.....	3
2.1.2	MWD; Measurement while drilling.....	3
2.1.3	Utförande.....	5
2.1.4	Stoppkriterier.....	5
2.1.6	Kontroller av injekteringsbruk.....	5
2.1.7	Kontroll av uppnådd täthet.....	6
2.1.8	Läckande bulthål/bult.....	6
2.2	Förbifart Stockholm.....	6
2.2.1	Injekteringsarbeten vid Förbifart Stockholm.....	7
2.2.2	Användning av MWD.....	10
2.2.3	Utförande.....	10
2.2.4	Stoppkriterier.....	10
2.2.5	Injekteringsutförande.....	11
2.2.6	Kontroller av borrhålsavvikelse.....	11
2.2.7	Kontroller av injekteringsbruk.....	11
2.2.8	Kontroll av uppnådd täthet.....	11
2.2.9	Injektering av vattenförande bulthål på Förbifart Stockholm.....	11
2.2.10	Uppföljning av läckande bulthål på Förbifart Stockholm.....	12
3	RAMPTUNNEL 414.....	13
3.1	Kartering.....	13
3.2	MWD.....	16
3.3	Uppföljning av åtgärdade läckande bulthål.....	16
3.3.1	Materialåtgång.....	18

3.4	Lägen för läckande bulthål	19
3.4	Hålavvikelse ramptunnel 414	20
3.5	Mätning med avseende på stick (Elevation).....	21
4	HUVUDTUNNEL 401.....	23
4.1	Kartering och MWD 4.1.1. Kartering.....	23
4.1.2	MWD.....	24
4.2	Uppföljning av åtgärdade läckande bulthål	25
4.2.1	Materialåtgång.....	25
4.2.2	Lägen för läckande bulthål.....	26
4.3	Hålavvikelse Huvudtunnel 401	26
5	HUVUDTUNNEL 402.....	29
5.1	Kartering och MWD	29
5.1.1	Kartering.....	29
5.1.2	MWD.....	30
5.2	Uppföljning av åtgärdade läckande bulthål	31
5.2.1	Materialåtgång.....	31
5.2.2	Lägen för läckande bulthål.....	32
5.3	Hålavvikelse huvudtunnel 402.....	33
6	HUVUDTUNNEL 504.....	35
6.1	Kartering och MWD	35
6.1.1	Kartering.....	35
6.1.2	MWD.....	37
6.2	Uppföljning av åtgärdade läckande bulthål	37
6.2.1	Materialåtgång.....	38
6.3	Hålavvikelse Huvudtunnel 504.....	39
7	HUVUDTUNNEL 505.....	41
7.1	Kartering och MWD	41
7.1.1	Kartering.....	41
7.1.2	MWD.....	42
7.2	Uppföljning av åtgärdade läckande bulthål	43
7.2.1	Materialåtgång.....	43

7.2.2	Lägen för läckande bulthål.....	44
7.3.	Hålavvikelse Huvudtunnel 505.....	44
8	ANALYS.....	47
8.1	Geologi.....	47
8.2	Åtgärdade bulthål.....	47
8.3	Hålavvikelse.....	49
8.4	Lägen för läckande bulthål	51
9	HYPOTESER FÖRSLAG OCH MOTIVERING.....	53
9.1	Hypoteser.....	53
9.1	Förslag och motivering	53
9.2	Förslag för att minska förekomsten av läckande bulthål	53
9.3	Motivering av förslagen för att minska förekomsten av läckande bulthål	53
9.3.1	Skärmgeometri	54
9.3.2	Bruksegenskaper	54
9.3.3	Stoppkriterier.....	56
9.4	Åtgärder vid förekomst av läckande bulthål inom Förbifart Stockholm	56
10	IMPLEMENTERING AV FÖRSLAG TILL ÅTGÄRDER FÖR ATT MINSKA FÖREKOMSTEN AV LÄCKANDE BULTHÅL	57
10.1	Projekterad lösning och arbetsgång	57
10.1.1	Arbetsgång	58
10.2	Geologi.....	59
10.3	Kontroll av nedåtriktade hål	62
10.4	Kamerafilmning av injekteringshål.....	62
10.5	Kontroll av bruksegenskaper	63
10.6	Stoppkriterier	64
10.7	Observationer.....	65
10.8	Inläckagemätningar, droppkartering	67
10.9	Uppföljning av läckande bultar.....	69
10.11	Analys av resultaten	70
10.12	Slutsatser från implementering	80
11	SLUTSATSER	83

12 REFERENSER	84
Bilaga 1.FÖRSLAG INFÖR IMPLEMENTERING.....	85
CDD.11	85
Förinjektering –Utförandekrav	85
Borning	85
Stoppkriterier.....	87
CDD.111	87
Förinjektering med cementbaserat injekteringsmedel	87
Kontroll av bruksegenskaper.....	88
CDD.121	88
Efterinjektering med cementbaserat injekteringsmedel.....	88
Bilaga 2.METODBESKRIVNING	89
Åtgärder vid förekomst av läckande bulthål inom Förbifart Stockholm	89
Utförande	89
Bilaga 3.FILMNING AV INJEKTERINGSHÅL FSE303 301N NORRA LOVÖ	90
Inledning.....	90
Syfte	90
Inspektionsområde	90
Granskning av filmerna.....	91
Sammanfattning	93
Bilaga 4.FÖRSLAG TILL AMA-TEXT	93
Hantering av läckande bulthål.....	93

1 PROJEKTBESKRIVNING

Förbifart Stockholm är Sverige största vägtunnelprojekt genom tiderna. Miljö, arbetsmiljö samt funktionella krav har definierats och ska uppfyllas. Behov av tätningsinsatser för att begränsa grundvatteninläckage och omgivningens påverkan varierar längs olika tunnelsträckningar. Tillåtet vatteninläckage och konsekvenser av inläckage varierar beroende på geologiska och hydrogeologiska förhållanden. Tillåtet vatteninläckage beror framför allt på miljö (domar) och funktionella krav och därför kan variera mellan olika områden.

För att säkerställa stabilitet och säkerhet, förstärker man anläggningen med bland andra bultar. Installation av bergförstärkning i form av bergbultar utförs i princip alltid inom den teoretiskt tätade injekterade zonen för bergtunnlar. Detta borde innebära att de installeras i torrhet.

Trots tätningsinsatser är det ett betydande antal bulthål som efter borring alternativt efter installation av bult, rinner/droppar vatten ur, de läcker. Dessa bulthål/läckande bultar måste hanteras på ett effektivt sätt för att säkerställa stabilitet och beständighet som förväntas kan upprätthållas. I samband med bultning förekommer *läckande bulthål* (innan installation) eller läckage vid installerade bult, *läckande bult*. I de flesta fall injekteras läckande bulthål och ett nytt hål borrar för att installera bult. I de tillfällen där läckage förekommer i gjutna bultar, behandlas läckande bultar genom efterinjekteringar samt att nytt hål borrar och ny bult installeras.

Att injektera läckande bulthål, hantera läckande bultar samt ersätta dessa med nya bultar kräver mycket tid och resurser från produktionen.

I projektet Förbifart Stockholm räknar man t.ex. att av 600 000 projekterade bergbultar, kommer ca 30 000 (5 %) att läcka och behöver åtgärdas.

1.2 Syftet med projektet

Bultning förekommer stort sätt i alla underjordiska projekt. Riktlinjer för hur man kan minimera risken för läckande bulthål i Förbifart Stockholm utreds primärt men erfarenhet ska tillgodogöras i kommande projekt. Idag saknas en enhetlig hantering av läckande bergbulthål i berganläggningar. Beskrivning och reglering saknas i Anläggnings AMA eller t.ex. Trafikverkets regelverk vilket medför att respektive projekt riskerar ÄTA-arbeten alternativt utarbetar egna strategier för att hantera frågan. Syftet med detta forskningsprojekt är att utreda orsak, nuvarande hantering och ge förslag till hantering, möjlighet till åtgärder för att reducera förekomst samt ge förslag

till reglering av läckande bulthål vid bergbyggandet. Alla involverade (beställaren, entreprenörer, högskolor m.fl.) kommer att kunna dra nytta av resultaten, förutsatt att dessa rekommendationer implementeras och dokumenteras.

1.3 Metodik

I projektet har tillgängliga data från Förbifart Stockholm avseende geologi, bergförstärkning samt injektering kopplats till förekomst av läckande bulthål.

Metoden för att genomföra projektet bygger på att följa upp förekomsten av läckande bulthål vid ramptunnel 414, och delar av huvudtunnlarna 401,402, 504 och 505 på delprojekt Norr inom Förbifart Stockholm.

Detta genom litteraturläsning, arbetsplatsbesök, diskussioner med geologorganisationen, intervjuer, samt rapporteringar från arbetsplatsen. Produktionsdata har hämtats från leverantörsportalen Chaos samt Rockmas MWD program GPM+.

Utgående från slutsatserna av uppföljningen från delprojekt Norr tas förslag fram för hur dels förekomst av läckande bult och bulthål kan reduceras genom välplanerad förinjektering och dels hur läckande bult och bulthål kan hanteras mer effektivt där de uppkommer. Detta förslag implementeras därefter inom delprojekt Lovö inom Förbifart Stockholm. Vid implementering av förslagen har hänsyn tagits till de rådande produktionscykel. Detta innebär att implementering har följt ordinarie produktion inklusive maskiner och utförande personal.

Utgående från utförda analyser, framtagna förslag, implementering och resultat från Förbifart Stockholm ska slutsatser från projektet vara allmängiltiga och tillämpbara för bergbyggnadsbranschen i stort.

1.4 Avgränsningar

Utredningen har utgått från gällande Teknisk beskrivning och Kontrollprogram berg för projekt Förbifart Stockholm vid projektets start (hösten 2017) Vidare förutsätter BeFo-projektet att krav gällande materialegenskaper, utförande, maskiner etc. är uppfyllda i enlighet med handlingar.

Information om geologi, MWD samt utförda injekteringar av läckande bulthål avser inlämnade data till och med februari 2019. Därför kan statistiken om antalet åtgärdade läckande bulthål avvika från dagens.

2 INJEKTERINGSARBETEN

Vid byggnation i berg i Sverige utförs nästan alltid tätning av bergmassan framför drivningsfront genom förinjektering. Installation av förstärkning görs därefter i anslutning till eller strax bakom drivningsfronten. Detta innebär att borrhål för bergbultar alltid bör utföras inom den teoretiskt tätade förinjekterade zonen. Men, som anges ovan, förekommer det ändå ofta ett betydande antal läckande bult/bulthål i berganläggningar. Detta innebär att bulthålen träffar sprickor som inte har tätats av injekteringen. Grundläggande fråga är därför orsak till detta och hur förinjektering utförs.

2.1 Generellt

Undersökningar av 258 infrastrukturprojekt från 20 länder, har visat att nästan 9 av 10 projekt översteg budget. Vidare att kostnadsökningen orsakades just av geologin i 55 % av fallen. Ökningen kunde förklaras av oplanerade ändringar av projektets omfattning och design. För just tunnlar, bedömdes valda metoder för behandling av vatten och typ av bergförstärkning och genomförandet. För tre olika skeden av tunneldrivningen ansågs projektets geologi vara den främsta orsaken till ökade kostnader. Hantering av inläckage/vatten var ett av dessa, som man kunde relatera till geologi.

För att förhindra inläckage i anläggningar tätas konstruktionen med olika injekteringsmaterial. Injektering är en välkänd etablerad teknik för att fylla hålrum och täta olika konstruktioner i bland annat berg. Injektering är en komplex operation som kräver kunskap om geologi, hydrogeologi, material etc. Effekten påverkas av många faktorer, bland andra; projekterade lösningar och utföranden.

2.1.1 Geologisk kartering

Geologisk kartering syftar till att undersöka, tolka, sammanställa och beskriva bergets geologi. Vid kartering beskrivs bergmassans diskontinuiteter samt bedömning och karaktärisering av bergkvalitet. Information om dess hållfasthet, sprickighet, vattenförhållande etc. ligger till grund för att bestämma förstärkningsarbetenas omfattning av bultning och sprutbetong. Kartering är en metod för att bestämma bergförstärkningens storlek i en redan uttagen bergmassa men kan ge viss information om områden där injektering kommer att äga rum.

2.1.2 MWD; Measurement while drilling

MWD är ett begrepp för automatisk och digital analys och presentation av MWD-data, (Measurement While Drilling-loggning/registrering av borrarparametrar under borrarning). MWD används för att få mer information om bergmassans beskaffenhet och är ett kompletterande verktyg för geologorganisationen. Loggning/registrering av borrarparametrar under borrarning utförs idag inom en rad olika områden som geoteknisk

undersökning, prospektering, produktionsborrning i bergindustrin, energiborrning och oljeborrning.

Analys av borrarparametrar har utvecklats till att möjliggöra mycket detaljerad information om det genomborrade berget. Hela hanteringen i moderna system är automatiserad. MWD, Measurement While drilling, syftar på registreringar av olika borrarparametrar under borrarningen för att få information om geologin. De parametrar som registreras är:

- Matningstryck
- Slagverkstryck,
- Rotationstryck,
- Rotationshastighet
- Spolvattentryck,
- Spolvattenflöde,
- Borrsjunkningshastighet,
- Tid,
- Längd

Inom Förbifart Stockholm används Rockmas analys programvara GPM+ vilket genererar en tolkning av borrarparametrarna till tre olika parametrar.

- Hårdhet
- Sprickighet
- Vatten

Parametern hårdhet är kalibrerad med bergets enaxiella tryckhållfasthet i enheten Pascal. Sprickighet och vatten är enhetslösa parametrar som genereras av GPM+. Parametern sprickighet ger utvärderaren en bild över bergets uppsprickning längs borrhålen, men saknar detaljeringsgraden att registrera enskilda sprickor såvida de inte är mycket kraftiga eller i form av en sprickzon.

Vattenparametern ger utvärderaren en bild över *vattenförekomsten* längs borrhålen. Information från MWD används inom Förbifart Stockholm som komplement till geologernas bedömning om behovet av kompletterande injekteringshål under pågående borrarning eller inför utformning av kommande injekteringskärmar. Utvärderingen baseras på flera parametrar bland andra på närvaron av vatten i hålen under borrarning, tidigare karteringar, utförda injekteringar, krav på vatteninläckage med flera.

2.1.3 Utförande

Injekteringsarbeten påbörjas med borrar i injekteringshål. Injekteringsborring ska utföras på sådant sätt att hålavstånd och stick utförs enligt angivna riktningar och injekteringsklasser.

Utföraren av injekteringsarbeten spelar stor roll för resultaten. Krav kan ställas på att utföraren ska ha genomgått avsedd utbildning och fått tillräcklig kunskap om villkoren på varje specifikt projekt.

2.1.4 Stoppkriterier

Generellt ställer man krav när en injektering av ett hål kan avslutas. Dessa varierar från projekt till projekt. Krav kan ställas på injekteringstid, flödeskriterium noll-hål och maxvolym.

Syftet med injekteringstiden är att hinna få in materialet tillräckligt långt i sprickorna (inträngningslängd). Trycket anpassas efter rådande situation, bland annat bergövertäckning, angränsande installationer och anläggningar. Nollhålskriteriet syftar till sådana hål där flödet inte överstigit antal l/min inom viss tid (minuter) efter att angivet injekteringstryck uppnåtts. Därmed kan injekteringen stoppas för det aktuella hålet. Volymkriteriet (maxvolym) kan anges för ett eller flera hål. Storleken på volymerna kan variera, beroende av antal hål som injekteras från samma pump.

2.1.5 Kontroll av borrhålsavvikelse

Injekteringsborring utförs generellt med toppmatad hammarborring. Detta medför att desto längre hål som borrar desto större moment belastas borrhålet med och desto större risk är att borrhålet avviker från teoretiskt läge. Om denna avvikelse är för stor riskerar injekteringsborrhålen att missa vattenförande strukturer samt att de i design antagna avstånden mellan injekteringshål inte stämmer. För att kontrollera detta utförs avvikelsemätningar av injekteringsborrhål.

2.1.6 Kontroller av injekteringsbruk

Kontroll av injekteringsbrukets egenskaper utförs såväl innan injekteringsarbetena påbörjas (förprovning), som under produktionen (fortlöpande provningar). Syftet med förprovningar är att ta fram bruksblandningar som uppfyller de ställda kraven och att verifiera designförutsättningarna. Vid förprovningar kontrolleras bland annat brukens inträngningsegenskaper, densitet, viskositet, flytgräns samt marshtid. Under produktionen utförs provningar vid varje injekteringstillfälle (fortlöpande provningar) för att verifiera att de framtagna recepten uppfyller ställda krav.

2.1.7 Kontroll av uppnådd täthet

Kontroll av uppnådd täthet kan genomföras under olika skeden vid produktionsprocessen. Kontrollhål kan användas redan innan injekteringsarbetet påbörjas (sonderingshål), för att få information om vattenförande strukturer (lugeon) eller efter att ha genomfört injektering, för att kontrollera ”tätningsgraden”. Kontroll av inläckage i tunneln kan göras med metoder såsom; stuffmätning, droppkartering eller mätdammar.

2.1.8 Läckande bulthål/bult

Bultning är en av förstärkningsmetoder som tillämpas för att säkerställa stabilitet och säkerhet. Bultar kan vara selektiva eller systematiska. Vid systematisk bultning är det viktigt att bultning utförs så att samverkan uppnås mellan bult och sprutbetong. Bultsättning ska utföras med ett kvadratisk bultmönster, där aktuellt bultavstånd mäts längs kvadratens sidor. Bultning utförs vinkelrätt i tak och uppåtriktat med ca 5 grader mot tunnelväggen. Detta för att kunna se eventuella läckage samt undvika att spolvatten stannar i borrhålen.

Beroende på bultarnas längd kan bulthålen korsa flera bergstrukturer. Eftersom bulthålens riktning oftast är vinkelräta mot tunneln och injekteringshål ofta utförs med en vinkel på 10-20° från tunnelriktningen kan hålen träffa olika strukturer. Dessa kan vara vattenförande. Vid de tillfällen då vattenförande strukturer inte kunnat tätas under föregående injekteringsarbeten, börjar bulthålen läcka, vattenförande / läckande bulthål uppstår. Läckage i bergbulthål kan förekomma både innan installation av bult och även efter installation. Beroende av läckage i bulthål innan eller efter installation av bultar varierar åtgärderna. För att kunna bestämma vilka åtgärder som krävs för att tätas läckage från bergbulthål, kallas läckage i bergbulthål innan installation av bult för ”läckande bulthål” medan läckage från bulthål efter installation av bulten ”läckande bult”.

Enligt AMA 10 definieras ett bulthål som vattenförande/läckande om det läcker en eller mer än 1 droppe/min. Vid förekomst av läckande bulthål injekteras dessa och borras om. Alternativt borras ett nytt hål bredvid och det ursprungliga vattenförande bulthålet fylls med cementbruk.

2.2 Förbifart Stockholm

E4 Förbifart Stockholm är en ny sträckning för E4/E20 väster om Stockholm. Av vägens 21 km går drygt 18 km i tunnel. I söder ansluter Förbifarten till E4 vid Kungens kurva och i norr vid Häggvik.

2.2.1 Injekteringsarbeten vid Förbifart Stockholm

På Förbifart Stockholm har man ställt differentierade krav på injekteringsarbetena. Detta för att klara påverkan från varierande grundvattennivåer samt att hålla den tilltänkta livslängden. De två viktigaste kraven är:

- Miljökrav (vattendomar)
- Funktionella krav (teknisk livslängd, 120 år)

För att kunna uppfylla miljökravet och att förhindra inläckage, anges olika maximalt tillåtna mängder inläckage för olika delsträckor. Dessa baseras på områdenas varierande känslighet och anges i form av totalt inläckage per 100 m tunnel. Det maximalt tillåtna inläckaget varierar i storleksordningen 2,5–5 l/min per 100 meter tunnel.

För de delar av tunnelsystemet som inte anses känsliga för grundvattenpåverkan, ställs funktionella krav, där det maximala inläckaget får vara upp till 7 l/min per 100 meter tunnel.

Injektering på Förbifart Stockholm ska i första hand ske med cementbaserade material. Åtgången av cement uppskattas bli över 22 000 ton och ska täta ca 320 mil (3200 km) injekteringshål.

För arbetena finns angivet tre olika cementbruksblandningar med kravprofil enligt nedan:

Blandning 1: Normalt injekteringsbruk, ska bestå av injekteringscement med följande riktvärden på egenskaper:

- $b_{\text{kritisk}} < 75 \mu\text{m}$
- $b_{\text{min}} < 45 \mu\text{m}$
- Flytgräns 1–2 Pa
- Viskositet 10–30 mPa·s

Blandning 2: Alternativt injekteringsbruk, ska bestå av injekteringscement med följande riktvärden på egenskaper:

- $b_{\text{kritisk}} < 90 \mu\text{m}$
- $b_{\text{min}} < 45 \mu\text{m}$
- Flytgräns 2–6 Pa
- Viskositet 10–50 mPa·s

Blandning 3: Ska bestå av injekteringscement och användas för tätning av grövre sprickor och med följande riktvärden på egenskaper:

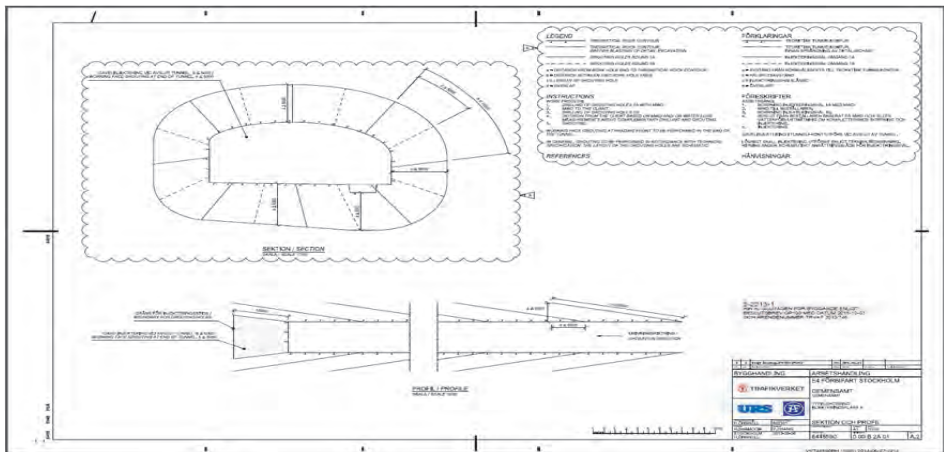
- $b_{\text{kritisk}} < 140 \mu\text{m}$

- $b_{\min} < 90 \mu\text{m}$
- Flytgräns $> 8 \text{ Pa}$
- Viskositet $> 30 \text{ mPa}\cdot\text{s}$

Även injekteringsutrustning ska uppfylla ställda krav för att säkerställa volymkapacitet, tryck och registrering av utförda arbeten.

Beroende av områden och krav på maximalt tillåtna vattenläckage, anges tre olika injekteringsklasser, klass A, B och C. Dessa skiljer sig åt, med tanke på antal hål (hålavstånd) och antal injekteringsomgångar.

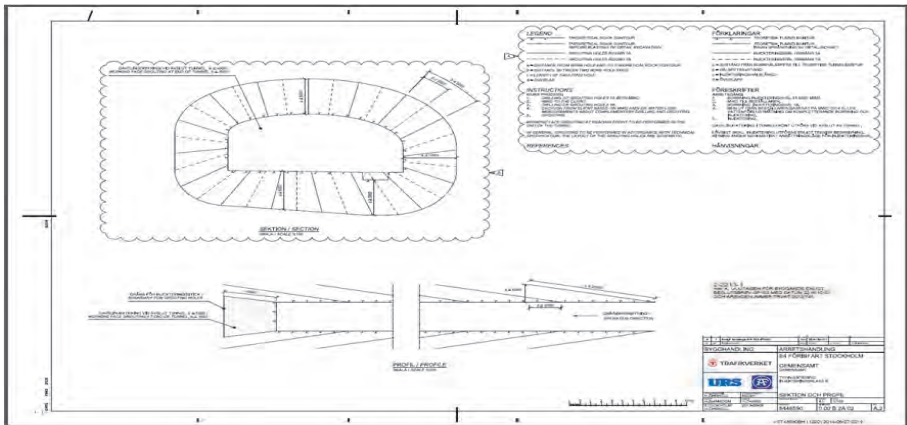
Injekteringsklass A: Ska uppfylla ett täthetskrav på hydraulisk konduktivitet på cirka $1 \times 10^{-8} \text{ m/s}$. För att uppnå detta, bedöms generellt injektering i en omgång med möjlighet till komplettering. Slutligt hålavstånd är 5 m.



Figur 2.1. Injekteringklass A.

Figure 2.1. Grouting Class A.

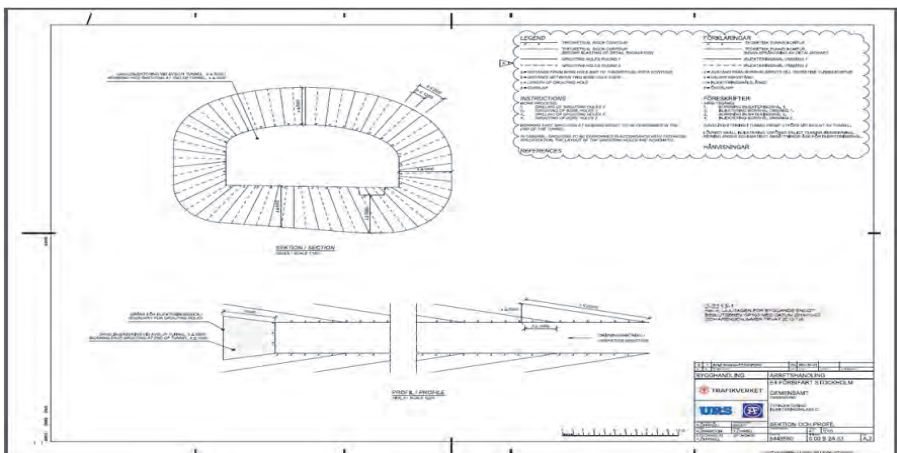
För injekteringsklass B ställs täthetskrav på $5 \times 10^{-9} - 1 \times 10^{-8} \text{ m/s}$. För att uppnå detta bedöms generellt injektering i en omgång med möjlighet till komplettering. Slutligt hålavstånd är 2,5 m (Figur 2.2).



Figur 2.2. Injekteringsklass B.

Figure 2.2. Grouting Class B.

Injekteringsklass C: Ska tillämpas där behovet av tätning är extra stort. Den hydrauliska konduktiviteten ska motsvara en täthet på $<5 \times 10^{-9}$ m/s. Injekteringsklass C ska utföras i minst 2 omgångar med hålavstånd 2,5 m i respektive omgång.



Figur 2.3. Injekteringsklass C.

Figure 2.3. Grouting Class C.

Överlapp i alla injekteringsklasser ska vara minst 6 m.

2.2.2 Användning av MWD

I Injekteringsklass A och B ska ett aktivt val av injekteringsomfattningen utföras baserat på MWD-data. Efter att ha borrat vartannat hål, skickas informationen från MWD till geologorganisationen för utvärdering. Utvärdering av bergets hållfasthet (hårdhet) och sprickighet kan resultera i behov av kompletterande hål. Sådana ska beställas inom 1 timme.

2.2.3 Utförande

På Förbifart Stockholm ställs krav på själva borrhningen av injekteringshål. Enligt Teknisk beskrivning *ska borrhplan upprättas*. Borrhålsmönster ska anpassas till tunnelgeometrin så att angivet hålspetsavstånd och överlapp erhålls i respektive injekteringsklass.

Utrustning för injekteringsborrning ska vara försedd med datagivare och tillhörande insamlingsenhet för registrerande borrning, MWD (Measurement While Drilling).

På projekt Förbifart Stockholm ställs krav på projektcertifierad personal, ”Projektcertifiering”. Kravet innebär att en projektcertifierad injekterare ska svara för att injektering utförs och dokumenteras enligt teknisk beskrivning. Projektcertifierad injekterare ska delta i arbetet och vara ständigt närvarande vid arbetsstället.

2.2.4 Stoppkriterier

På Förbifart Stockholm anges tre kriterier, nämligen;

- Injekteringstid
- Noll-hål
- Maxvolym

Injekteringstiden är det övergripande stoppkriterium som anges i projektet. Den tid som anges i Teknisk beskrivning är 15 minuter och startar först efter att angivet injekteringstryck har uppnåtts och är stabilt. Trycket anpassas till den rådande situationen med hänsyn till bergtäckning, eventuella kringliggande byggnader och installationer.

Nollhålskriteriet syftar till sådana hål där flödet inte överstigit 2 l/min inom 5 minuter efter att angivet injekteringstryck uppnåtts. Därmed kan injektering stoppas för det aktuella hålet.

Det tredje stoppkriteriet är maxvolym och anges beroende på om man injekterar ett, två eller tre hål från samma pump. Vid singelhålsinjektering är maxvolym 500 liter/25 m

långt borrhål. För två hål är det 750 liter och för 3 hål är det 900 liter/25 m borrhål. Volymerna är exklusive hålfyllnad.

2.2.5 Injekteringsutförande

Injektering inleds med Blandning 1. Hål med inläckage samt hål med samband injekteras först. Packers placeras 1–2 m in i berget. Hål med samband ska kunna observeras. Vidare ska hål med samband injekteras samtidigt alternativt direkt när ledig utgång finns. Nedåtriktade hål ska fyllas från botten.

2.2.6 Kontroller av borrhålsavvikelse

Injekteringsborrhål ska kontrolleras avseende hålavvikelse i syfte att säkerställa att borrning utförs med avsett hålmönster och att krav på hålavvikelse innehålls. Vid förundersökningar ska kontrollen omfatta 5 intilliggande hål per skärm och ska utföras på två olika skärmar. En kontroll på någon av de första tre skärmarna och ytterligare en kontroll på någon av de tre efterföljande skärmarna. Vid fortlöpande ska kontrollen omfatta 5 intilliggande hål per kontrollerad injekteringsskärm och ska utföras för minst var 10:e injekteringsskärm

2.2.7 Kontroller av injekteringsbruk

Förutom inledande förprovningar där bruksegenskaperna för de olika bruksblandningarna undersöks, ställs även krav på mätningar under produktionen. Dessa (fortlöpande provningar) gäller för densitet (mudbalance), inträngningsegenskaper (filterpump) samt indirekt viskositet (Marsh tid).

2.2.8 Kontroll av uppnådd täthet

Kontroller kan genomföras i olika skeden under produktionsprocessen. Sonderingshål kan användas innan injekteringsarbete påbörjas, för att få information om vattenförande strukturer (lugeon) eller efter att ha genomfört injektering för att kontrollera ”tätningsgraden”. Uppföljning av uppnådd täthet utförs framför allt med mätdammar som placeras på ett avstånd av 200–400 m samt genom veckovisa stuffmätningar av inläckage. Dessutom kontrolleras kontinuerligt eventuell grundvattenpåverkan genom nivåmätningar i grundvattenrör enligt särskilt kontrollprogram.

2.2.9 Injektering av vattenförande bulthål på Förbifart Stockholm

Enlig Teknisk beskrivning ska injektering utföras med ”Blandning 1” under minst 10 minuter och med ett injekteringstryck av minst 1 MPa. Injekterade borrhål, där åtgången blivit mindre än borrhålets volym, ska rensolas och gjutas med cementbruk.

2.2.10 Uppföljning av läckande bulthål på Förbifart Stockholm

Syftet med uppföljning är att utreda orsak, nuvarande hantering och ge förslag till hantering, möjlighet till åtgärder för att reducera samt ge förslag till reglering av läckande bulthål vid bergbyggandet. Uppföljningen sker genom granskning av geologiska karteringar, MWD, förekomsten av läckande bult, omfattning, läge och vidtagna åtgärder av läckande bultar.

Uppföljning har gjorts på ramptunnel 414, och delar av huvudtunnlarna 401,402, 504 och 505 på delprojekt Norr inom Förbifart Stockholm. De undersökta sektionerna anges i respektive kapitel. Karteringsblad och MWD figurer har valts, dels för områden där flest läckande bultar förekom, dels där det förekom svaghetszoner. Antalet åtgärdade läckande bulthål har jämförts med antal bultar för förstärkningsarbete och visar hur dessa förhåller sig till varandra. I vissa fall har flera bulthål borrats för att kunna installera bult i torrt hål.

3 RAMPTUNNEL 414

Uppföljningen påbörjades med att undersöka faktorer som kan ha betydelse för förekomsten av läckande bulthål, bland annat geologi och längden på bultar.

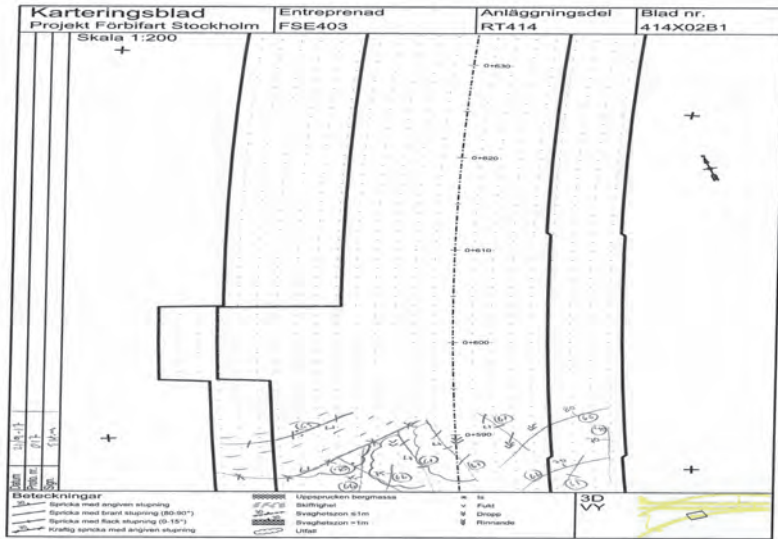
3.1 Kartering

Kartering av berget sker fram till drivningsfront. Detta innebär att information om bergförhållande fås i ett senare skede än tiden då förinjekteringsarbete har ägt rum, vilket sker från drivningsfront och framåt. Kartering görs i de synliga områdena och ger inte en heltäckande bild av zoner ovanför tunneltaket, där geologin kan vara annorlunda jämfört med synliga ytor.

Geologiska karteringar utförda i ramptunnel 414 visade varierande kvalitet och strukturer enligt följande:

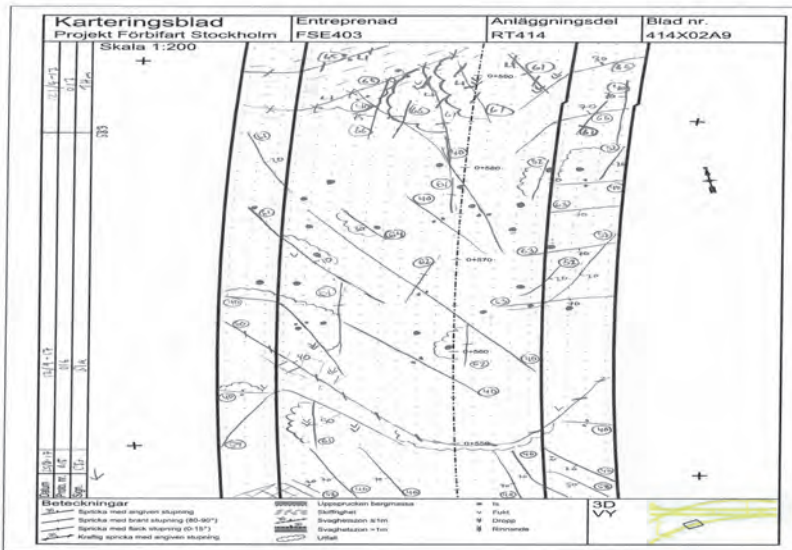
- Bergarten: Dominerande andel var gnejs med kornstorlekar 0,002-0,063 mm (finkorningt) och grovkornigt, 2 och 63 mm
- Omvandlingsgrad: Varierade mellan 0–50 % (frisk- moderat omvandlat, W0-W2)
- Struktur: Varierade från flera sprickgrupper med oregelbundet förekommande sprickor (B4) till skivigt berg med genomsnittlig tjocklek större än 0,2 m (S1). I vissa områden förekom även zoner parallella med tunneltaket.
- Tryckhållfasthet: I storleksordningen 25–250 MPa (Svagt berg-mycket starkt berg, R2-R5).
- Uthållighet (exponerad spricklängd): Uthålligheten i området låg i intervallet 1–20 m, dvs. från låg (L) till (H).
- Sprickvidder: Från täta, 0,1 mm till öppna, 2,5 mm.
- Sprickfyllning: Återkommande lerfyllningar i flera områden och sprickzoner.
- Sprickråhet: Oftast förekommande släta, vågformiga sprickor samt sprickor med lermineralhaltiga zoner med tillräcklig tjocklek för att förhindra bergkontakt.
- Vattenföring: Flera zoner med droppande vatten.

Karteringsbladen, Figur 3.1 och 3.2 med tillhörande bilder; Figur 3.3 och 3.4, visar den varierande geologin.



Figur 3.1. Karteringsblad sektion 590.

Figure 3.1. Mapping sheet section 590.



Figur 3.2. Karteringsblad sektion 540-585.

Figure 3.2. Mapping sheet sections 540-585.

FOTOBILAGA

Protokoll 017



Foto 3. Tak km 0/585-0/593

Figur 3.3. Karterat område, tak sektion 585-593.

Figure 3.3. Mapping of rock mass (ceiling) sections 583-593.



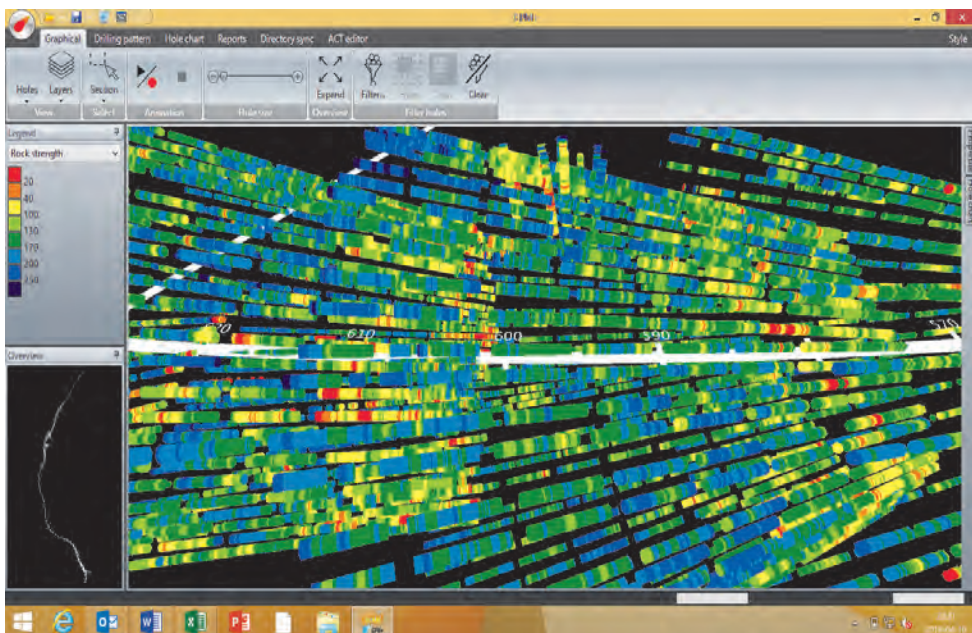
Foto 4. Östra (höger) vägg km 0/583-0/593

Figur 3.4. Karterat område, sektion 583-593 vägg.

Figure 3.4. Mapping of rock mass (wall) at sections 583-593.

3.2 MWD

MWD data i ramptunnel verifierade den varierande geologin, där bergkvaliteten skiftade från att vara bra (tryckhållfasthet 250 MPa) till att vara svag (25 MPa) i vissa områden. Vidare visade MWD på variation i sprickighet.



Figur 3.5. MWD-data från injekterat hål vid Förbifart Stockholm. Bergets tryckhållfasthet vid olika sektioner redovisas av de olika färgerna där blå färg motsvarar en tryckhållfasthet över 200 MPa medan röd färg indikerar en hållfasthet under 20 MPa.

Figure 3.5. MWD data from grouting holes at Bypass Stockholm. Rock mass strength at different sections of grouting holes is shown according to the colours. Red color indicates a compressive strength of over 200 MPa while red color indicates a compressive strength below 20 MPa.

3.3 Uppföljning av åtgärdade läckande bulthål

Uppföljningen påbörjades i ramptunnel 414, där många läckande bulthål hade förekommit mellan sektionerna 560–618. Som framgår av kapitel 3.1 varierade bergkvaliteten från att vara mycket stark till svag med täta till öppna och lerfyllda sprickor.

Genomgång av åtgärdade bulthål visade att av 110 stycken åtgärdade, var 95 stycken (86 %) 4 m långa bulthål och resterande, 15 stycken, 3 meter långa.

Tabell 3.1 Behandlade läckande bulthål sektion 560-618, 3 resp. 4 m långa bulthål.

Table 3.1. Treated bolt holes at sections 560-618, 3 resp. 4 m long bolt holes.

	Antal bultar (st)	Behandlade bulthål (st)	Åtgärdade bulthål i relation till antal bultar (%)
4 m	189	95	<u>50,3</u>
3 m	85	15	<u>17,6</u>
Total	274	110	40

Antalet beställda bultar i hela ramptunneln var 2011 stycken. Av dessa var 922 stycken 4 meter långa bultar och 1089 stycken 3 metersbultar. Total antalet åtgärdade 4 meters bulthål är 107 stycken, motsvarande ca 12 % av alla (922 st.) 4 m bultar. Det totala antalet åtgärdade 3 m bult är 15 st vilket motsvarar ca 1,4%.

Även om förekomsten av läckande bulthål i vissa sektioner var höga, i jämförelse med prognosen om 5 % av totalt antal bultar, utgjorde det totala antalet åtgärdade läckande bulthål i hela sträckan 6 %, se Tabell 3.2.

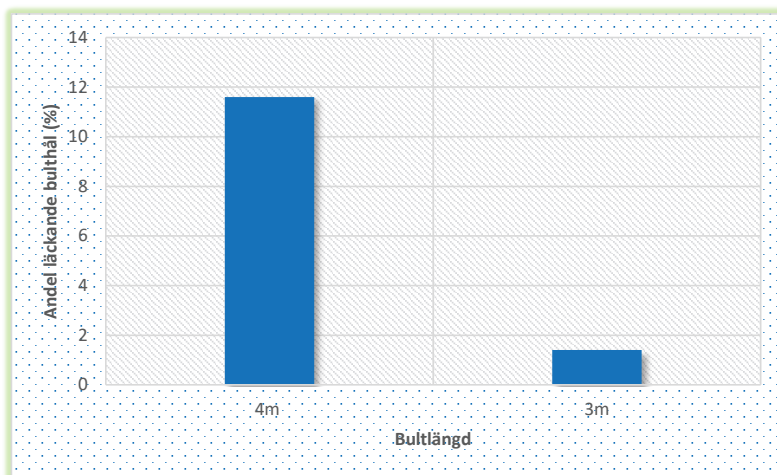
Tabell 3.2. Åtgärdade bulthål i ramptunnel 414. 3 resp. 4 m långa bulthål.

Table 3.2. Treated bolt holes at Ramp tunnel 414, 3 resp. 4 m long bolt holes.

Ramptunnel 414	4 m långa	3 m långa	Totalt
Beställda bultar, st.	922	1089	2011
Åtgärdade bulthål, st.	107	15	122
Åtgärdade bulthål, %	11,6	1,4	6,1

Som framgår av tabell 3.2 bestod majoriteten av behandlade bulthål av 4 m långa hål, vilket visar på bultlängdens betydelse för förekomsten av läckage i bulthålen.

Figur 3.6 visar andelen läckande bultar för respektive bultlängd,



Figur 3.6. Läckande bulthål vid olika bultlängder.

Figure 3.6. Proportion of leaking bolt holes at different bolt lengths.

3.3.1 Materialåtgång

Uppföljning av materialåtgång och pumptid vid åtgärdande av läckande bulthål visar att trots en kortare pumptid, är bruksåtgången/meter borrhål för injekterade 4 meters bulthål högre än bruksåtgång för 3 meters långa bulthål. Tabell 3.3 visar injekterade volymer/m bulthål för 3 resp. 4 m långa bulthål.

Tabell 3.3. Volym (liter/m) och injekteringstid, 3 resp. 4 m långa hål.

Table 3.3. Volume (liter/m) and grouting time 3 resp. 4 m long holes.

Sektion		Bultlängd	Injekterad volym exkl. hålvolum	Pumptime
Från	Till	m	l/m	min/hål
615	604	3	4,3	11,7
583	604	4	6,6	8,5

Som framgår av tabellen har bruksåtgången (6,6 liter) i fyra meters bulthål varit ca 50 % högre per meter borrhål, jämfört bruksåtgång (4,3) i tre meters bulthål. Detta trots att pumptid (8,5 min) per borrhål är kortare för 4 m borrhål jämfört med pumptid/borrhål (11,7 min) för 3 m långa bulthål.

3.4 Lägen för läckande bulthål

På Förbifart Stockholm ska överlappet vara 6 m. Baserat på 24-25 m långt injekteringshål blir det teoretiska avståndet till nästa skärm cirka 18 m. Detta avstånd har fördelats i 3 lika långa zoner nämligen;

- Inom överlapp från tidigare injekteringskärm, 0-6 m från aktuellt gavelläge för injektering
- 6-12 m från aktuellt gavelläge för injektering samt
- 12-18 m från aktuellt gavelläge för injektering.

Vid intervjuer med produktionspersonal från Sverige och Norge kom det fram att man hade observerat att flest läckande bulthål förekom inom överlappet, mellan 0-6 m. Detta område benämns i denna rapport för *kritisk zon*. Med kritisk zon menas område där flest läckande bulthål förekommer.

Uppföljning av lägen för åtgärdade bulthål i sektionerna 441-604 visade att av totalt 60 st åtgärdade bulthål låg 36 st (ca 60 %) i överlappsområdet (0-6), *kritisk zon*.

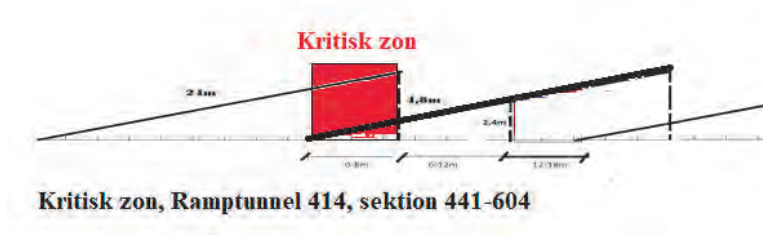
Tabell 3.4. Lägen för behandlade bulthål.

Table 3.4. The locations for treated bolt holes.

Tunnel	Totalt antal behandlade läckande bulthål	Behandlade läckande bulthål, 0–6 m	Behandlade läckande bulthål, 6–12 m	Behandlade läckande bulthål, 12-18 m
Ramp 414	st	st	st	st
441-604	60	36	10	14
Andel (%)		60	17	23

Utöver dessa 60 st redovisade läckande bulthål har ytterligare 62 st bulthål åtgärdats mellan sektionerna 585-615, dock utan angivna sektionsnummer.

Lägen för läckande bultar, där flesta läckande bultarna förekom, kritisk zon, framgår av figuren nedan och gäller för sektionerna 441-604 (Figur 3.7).



Figur 3.7. Kritisk zon Ramptunnel 414, sektion 441-604.

Figure 3.7. Critical zone Ramptunnel 414, section 441-604.

3.4 Hålavvikelse ramptunnel 414

Uppföljning av 19 rakhetsmätningar utförda i ramptunnel 414 visade att alla hål klarade kraven på **rakhet**. Av dessa avvek 7 hål (37 %) åt vänster och uppåt, 7 hål avvek åt höger och uppåt (37 %). Kvarstående 5 hål (26 %) avvek till höger och nedåt.

Tabell 3.5. Hålavvikelse med avseende på riktning.

Table 3.5. Hole deviation with respect to direction.

Ramp tunnel 414

Sektion	Antal vänster- upp←	Antal vänster- ned↘	Antal höger- upp↗	Antal höger- ned↙	Totalt st	Andel vänster- upp	Andel vänster- ned	Andel höger- upp	Andel höger- ned
	st	st	st	st		%	%	%	%
307	4	0	3	5	12	33,3	0,0	25,0	41,7
353	3	0	4	0	7	42,9	0,0	57,1	0,0
Alla sektioner	7	0	7	5	19	36,8	0,00	36,8	26,3

Tabellen visar att majoriteten av hålen avviker till höger (63 %) medan resterande (37 %) avviker till vänster.

3.5 Mätning med avseende på stick (Elevation).

Som framgår av injekteringsklasser (ritningar) ska avståndet mellan hålspets (stick) till teoretisk tunnelkontur vara minst 5 m för ett 25 m långt injekteringshål. I tabell 3.6 visas de redovisade resultaten från olika rakhetsmätningar.

Tabell 3.6. Utförda rakhetsmätningar, Ramptunnel 414.

Table 3.6. Performed straightness measurement, Ramp tunnel 414.

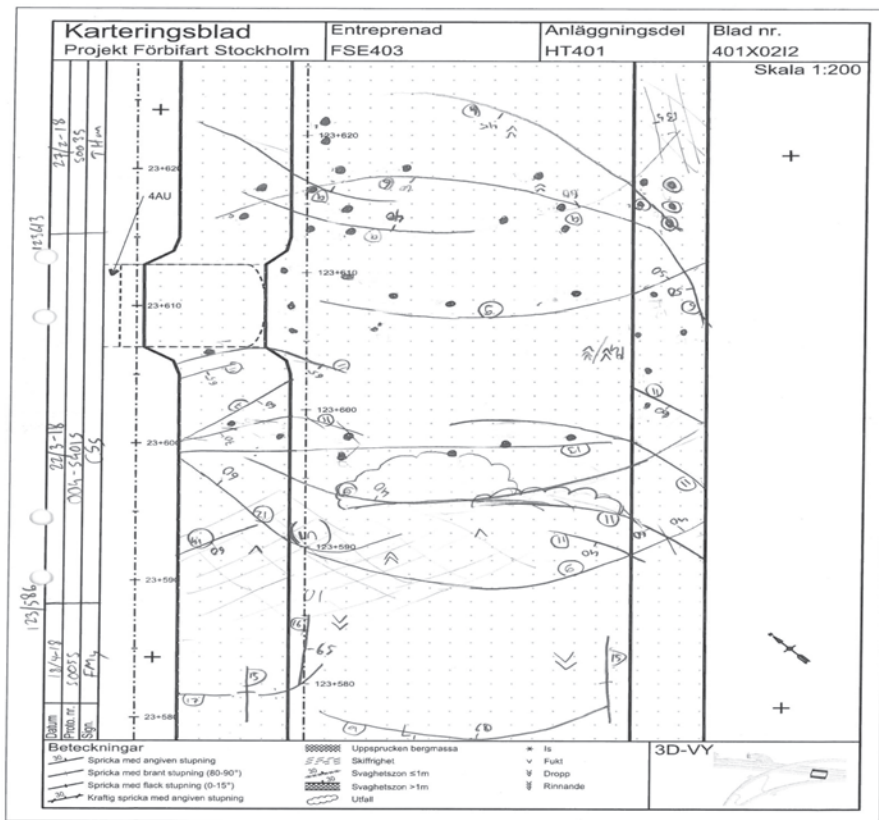
Tunnel	Sektion	Antal mätningar	Medelavvikelse	Längd	Andel avvik <=2,5%
		st	%	m	%
R414	307	12	2,4	29	50
	353	7	2,7	29	43
Total		19	2,6		

4 HUVUDTUNNEL 401

4.1 Kartering och MWD

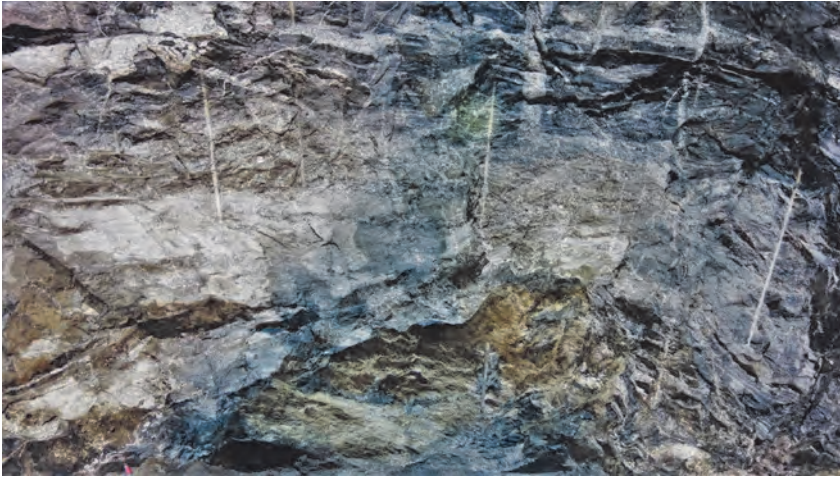
4.1.1. Kartering

Områden där det förekommer flertal läckande bultar består av småblockig och ställvis lerfyllda och folierade uppspruckna strukturer. I detta område observerades både vertikala och horisontella strukturer med mycket droppande vatten. Hållfastheten på bergmassan bedöms variera från 100 till 250 MPa.



Figur 4.1. Karteringsblad, sektion 123580-620.

Figure 4.1. Mapping sheet sections at 123580-620.

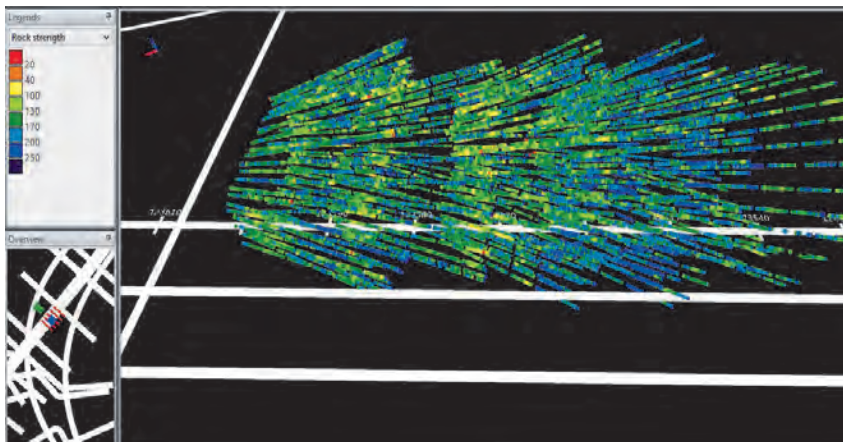


Figur 4.2. Bergstruktur, tak, sektion 123580-586.

Figure 4.2. Rock mass at ceiling sections 123580-586.

4.1.2 MWD

Bilder från MWD visar de något svagare zoner (100 MPa) där det förekommer flest läckande bultar.



Figur 4.3. MWD data sektion 123540-620.

Figure 4.3. MWD data sections 123540-620.

4.2 Uppföljning av åtgärdade läckande bulthål

Nedan redovisas antal åtgärdade bulthål i förhållande till antal borrhål som krävs för få förstärkningen (bultar) på plats i huvudtunnel 401.

Tabell 4.1. Åtgärdade läckande bulthål i relation till antal bultar.

Table 4.1. Amount treated bolt hole in relation to required bolt holes.

Tunnel	Från sektion	Till sektion	Antal 4m långa	Andra längder	Antal behandlade läckande bulthål		Åtgärdade bulthål i relation till antal bultar
			st	st	st		%
HT 401	122 614	123 595	598	-	162		27,1

Som framgår av tabellen motsvarar antalet åtgärdade bulthål 27 % av totala antalet bulthål som krävs för installation av bultar.

4.2.1 Materialåtgång

Injektering av bulthål bidrar till tätning av vattenförande zoner runt bulthålet. Den injekterade volymen har betydelse inför eventuell omborring eller vid borring av nytt bulthål. Nedan anges bruksåtgång per meter borrhål exklusive hålfyllnad.

Tabell 4.2. Injekterade volymer.

Table 4.2. Grouted volumes.

Tunnel	Sektion	Antal behandlade bulthål	Injekterad längd	Total injekterad volym	Teoretisk hålvolum	Injekterad volym exkl. hålfyllnad/ meter bulthål
		st	m	liter	liter	liter
HT 401N	122620-122720	115	400	1536	720,0	2
HT 401S	123560-123595	47	188	559	338,4	0,4
Alla sektioner		162	588	2095	1058,4	1,8

4.2.2 Lägen för läckande bulthål

I Tabell 4.3 redovisas lägen för läckande bulthål i olika delar av injekterat område.

Tabell 4.3. Lägen för behandlade bulthål, huvudtunnel 401.

Table 4.3. Locations for treated bolt holes, main tunnel 401.

Tunnel	Totalt antal behandlade läckande bulthål	Behandlade läckande bulthål, 0–6 m	Behandlade läckande bulthål, 6–12 m	Behandlade läckande bulthål, 12–18 m
	st	st	st	st
HT 401	162	77	14	71
Andel (%)		47%	9%	44%

4.3 Hålavvikelse Huvudtunnel 401

Tabellerna 4.4 och 4.5 visar resultat från utförda rakhetsmätningar med avseende på hålavvikelsens riktning samt storleken på avvikelsen. Totalt har avvikelsemätning utförts i 23 st injekteringsborrhål. I tabell 4.4 redovisas även andel hål som avvek 2,5 % eller lägre för 25 m långa hål eller kortare.

Tabell 4.4. Avvikelse med avseende på riktning.

Table 4.4. Deviation with respect to direction

HT 401									
Sektion	Antal vänster -upp←	Antal vänster -ned↘	Antal höger- upp↗	Antal höger- ned↙	Totalt	Andel vänster -upp	Andel Vänster -ned	Andel höger- upp	Andel höger- ned
	st	st	st	st		st	%	%	%
123297	3	1	0	1	5	60	20,0	0,0	20,0
122716	0	4	0	0	4	0,0	100,0	0,0	0,0
122680	0	0	2	2	4	0,0	0,0	50,0	50,0
122700	1	0	0	0	1	100,0	0,0	0,0	0,0
123610	5	0	0	0	5	100,0	0,0	0,0	0,0
122735	1	3	0	0	4	25,0	75,0	0,0	0,0
All sections	10	8	2	3	23	43,5	34,78	8,7	13,0

Uppföljningen visade att majoriteten (ca 78 %) av avvikelserna var riktade åt vänster (upp eller ner).

Tabell 4.5. Medelvärde för hålavvikelser.

Table 4.5. Mean hole deviations.

Tunnel	Sektion	Antal mätningar	Medelavvikelse	Medellängd	Andel avvik under $\leq 2,5\%$
		st.	%	m	%
HT 401	123297	5	2,9	24	60
	122716	4	7,8	19,5	0
	122680	4	4,6	20	50
	122700	1	5,3	23	0
	123610	5	4,2	19	0
	122735	4	3,4	19	25

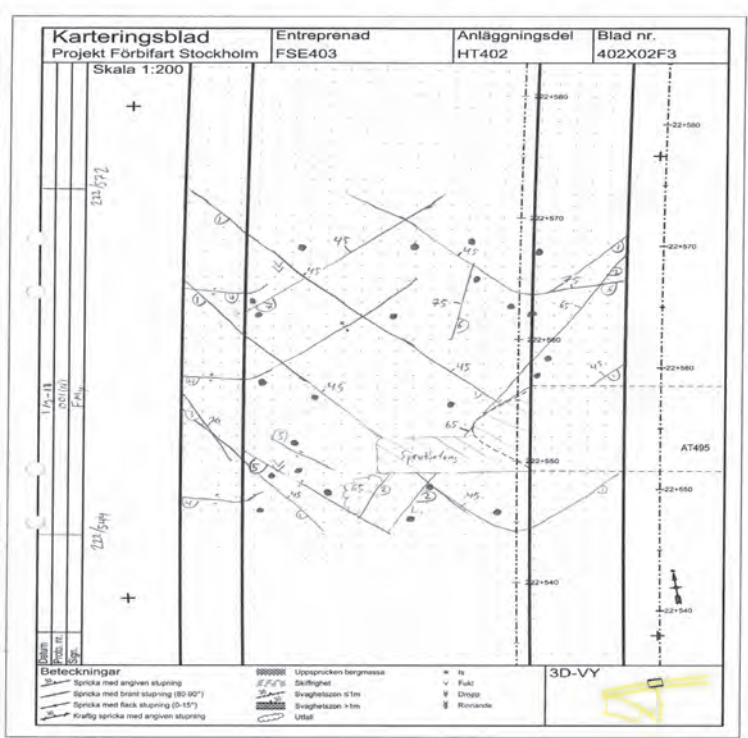
5 HUVUDTUNNEL 402

5.1 Kartering och MWD

I nedanstående kapitel visas karteringsblad och MWD för områden där många läckande bulthål har åtgärdats.

5.1.1 Kartering

Karteringar visar tydligt foliations-sprickor vilka har lett till enstaka mindre utfall. Lera och droppande vatten förekommer i ett fåtal ställen.



Figur 5.1. Karteringsblad, section 222545–570.

Figure 5.1. Mapping sheet at sections 222545-570.

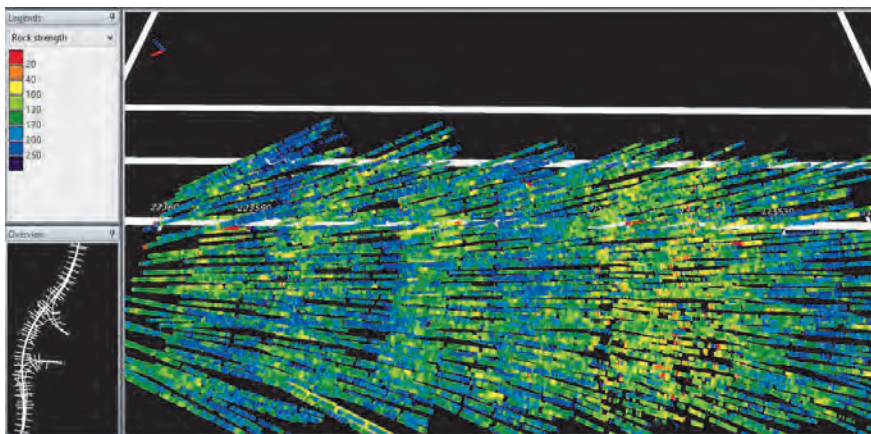


Figur 5.2. Svag bergstruktur på vägg, sektioner 223545–556.

Figure 5.2. Poor rock mass at wall, sections 223545-556.

5.1.2 MWD

MWD data visar svagare strukturer vid sektioner 223545-550 vilka bekräftades även av utförda karteringar efter uttag av berget.



Figur 5.3. MWD data vid sektionerna 223520–600. Svagare zoner vid 545-550

Figure 5.3. MWD data, at sections 223520-600. Weaker zone at 545-550

5.2 Uppföljning av åtgärdade läckande bulthål

I huvudtunnel 402 läckte ett stort antal borrarade bulthål. Nedan redovisas behandlade bulthål som är över 35 % av alla bulthål som krävs för installation av beställda bultar.

Tabell 5.1. Behandlade läckande bulthål i relation till antal bultar.

Table 5.1. Amount treated bolt holes in relation to required bolt hole.

Tunnel	Från sektion	Till sektion	Antal 4 m långa	Andra längder	Antal behandlade läckande bulthål	Åtgärdade bulthål i relation till antal bultar
			st	st	st	%
HT 402	222 572	223 693	488	=	173	35,5

5.2.1 Materialåtgång

Som framgår av tabellen nedan är injekterade mängder per meter bulthål mellan 2-7 gånger större än hålvolymen som för en 48mm bulthål är ca 1,8 l/m. Injekterade volymer i tabellen är exklusiv hålvolymen.

Tabell 5.2. Injekterade volymer för varje meter bulthål, l/m.*Table 5.2. Grouted volume in each meter bolt hole, liter/m.*

Tunnel	Sektion	Antal behandlade bulthål	Injekterad längd	Total injekterad volym	Teoretisk hålvolum	Injekterad volym exkl. hållfyllnad/ meter bulthål
		st	m	liter	liter	liter
HT 402S	222570-222600	9	31,5	184	56,7	4,0
	223545-223625	50	192,8	824	347,0	2,5
HT 402N	222615-222685	64	224	1203	403,2	3,6
	222686-222695	24	108	1631	194,4	13,3
	222680-222690	13	35	218	63,0	4,4
	222683-222691	13	39	701	70,2	16,2
	Alla sektioner HT 402	173	630,3	4761	1134,5	5,8

5.2.2 Lägen för läckande bulthål

Som framgick av uppföljning av HT 401 förekom majoriteten av läckande bulthålen i överlappet (0-6m) medan i HT 402 ligger majoriteten i området 6-12m. Tabell 5.3 visar fördelningen i olika områden.

Tabell 5.3. Lägen för behandlade bulthål, huvudtunnel 402.*Table 5.3. Locations for treated bolt holes, main tunnel 402.*

Tunnel	Totalt antal behandlade läckande bulthål	Behandlade läckande bulthål, 0–6 m	Behandlade läckande bulthål, 6–12 m	Behandlade läckande bulthål, 12-18 m
	st	st	st	st
HT 402	173	55	69	49

5.3 Hålavvikelse huvudtunnel 402

Rakhetsmätningar utförda i huvudtunnel 402 visar att av total 17 st hål avviker 9 stycken (53%) åt höger. Av dessa 9 hål riktar 7 stycken uppåt. Tabell 5.4 visar avvikelser för alla 17 hålen.

Tabell 5.4. Avvikelse med avseende på riktning i HT 402.

Table 5.4. Deviation with respect to direction in HT 402.

Sektion	Antal vänster- -upp←	Antal vänster- -ned↘	Antal höger- -upp↗	Antal höger- -ned↙	Totalt	Andel vänster- -upp	Andel vänster- -ned	Andel höger- -upp	Andel höger- -ned
	st	st	st	st	st	%	%	%	%
223379	6	1	0	2	9	66,7	11,1	0,0	22,2
222639	0	0	4	0	4	0,0	0,0	100,0	0,0
222658	0	1	3	0	4	0,0	25,0	75,0	0,0
Alla sektioner	6	2	7	2	17	35,3	11,76	41,2	11,8

I tabell 5.5 redovisas resultat från rakhetsmätningar från olika sektioner. Inget enskilt värde överstiger 5 % avvikelse.

Tabell 5.5. Medelvärde av hålavvikelser.

Table 5.5. Mean hole deviations.

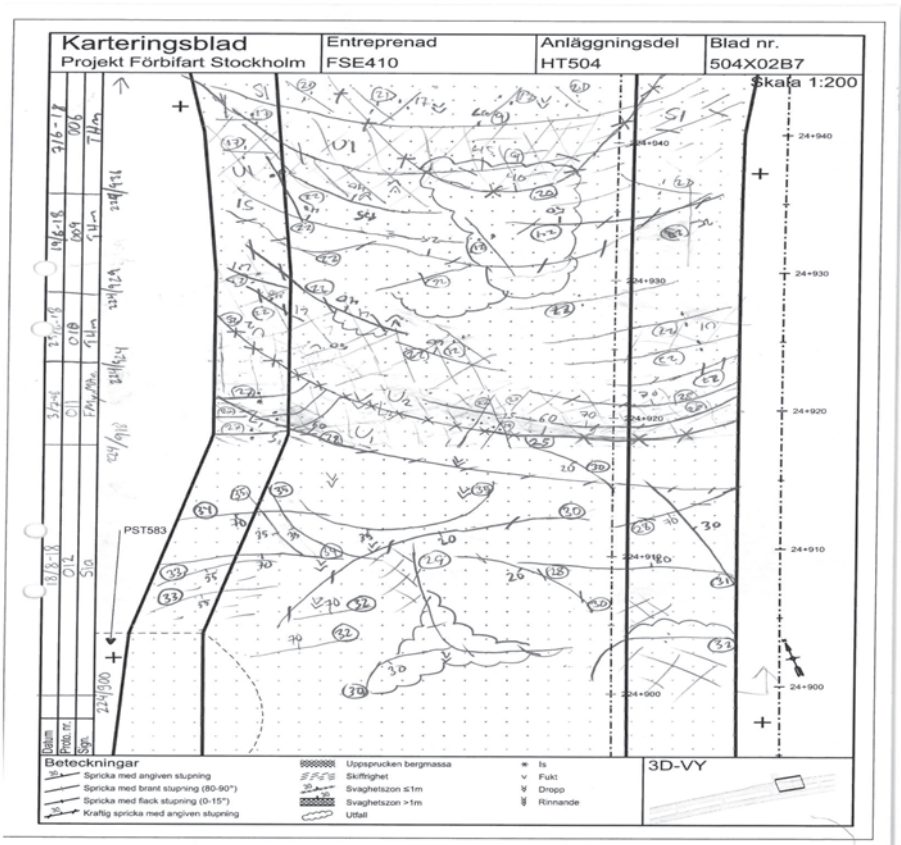
Tunnel	Sektion	Antal mätningar	Medelavvikelse	Medellängd	Andel avvik under <=2,5%
		st	%	m	%
HT 402	223379	9	1,9	24	77
	222639	4	4,2	20	25
	222658	4	3,1	19	50

6 HUVUDTUNNEL 504

6.1 Kartering och MWD

6.1.1 Kartering

Karteringar gjorda i Huvudtunnel 504 visar mycket skiftande bergkvalité. I flera områden är berget uppkrossat, blockigt till småblockigt med svaga (50-150 MPa) och lerfyllda strukturer.



Figur 6.1. Karteringsblad sektion 224900-940.

Figure 6.1. Mapping sheet at sections 224900-940.

Figurerna 6.2 samt 6.3 visar bergarter samt strukturer i olika områden, sektionerna 224929-945.



Figur 6.2. Bergstruktur tak, sektion 224929-936.

Figure 6.2. Rock mass at ceiling sections 224929-936.

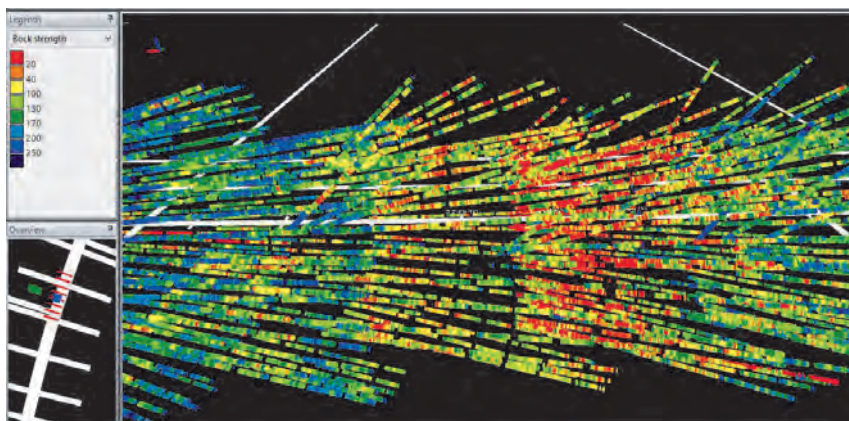


Figur 6.3. Bergstruktur sektion 224936-945.

Figure 6.3. Rock mass at sections 224936- 945.

6.1.2 MWD

MWD visar tydliga svaga zoner med hållfastheter mellan 20-150 MPa.



Figur 6.4. MWD sektioner 224900–940.

Figure 6.4. MWD sections 224900-940.

6.2 Uppföljning av åtgärdade läckande bulthål

I det undersökta området motsvarar läckande bulthål över 30% av alla bultar i undersökt område, tabell 6.1. Enlig inlämnade rapporter ska åtgärdade bulthålen vara 4m långa.

Tabell 6.1. Läckande bultar i relation till antal bultar, sektion 224882-225245.

Table 6.1. The amount of treated bolt hole in relation to required bolt holes section 224882-225245.

Tunnel	Från sektion	Till sektion	Antal 4 m långa	Andra längder	Antal behandlade läckande bulthål	Åtgärdade bulthål i relation till antal bultar
			st	st	st	%
HT 504	224882	225245	1066	487	478	30,8

6.2.1 Materialåtgång

Materialåtgång i området visas i tabell 6.2. I sektion 225120 har flest antal bulthål åtgärdats där även materialåtgången i högre än medelvärdet.

Tabell 6.2. Injekterade volymer.

Table 6.2. Grouted volume in each meter bolt hole.

Tunnel	Sektion	Antal behandlade bulthål	Injekterad längd	Total injekterad volym	Tunnel	Injekterad volym exkl. hållfyllnad/ meter bulthål
		st	m	liter	liter	liter
HT 504	124882-124937	233	884	3798	1591	2,5
	124941-124987	136	503,9	1785	907	1,7
	124990-125088	35	126	348	227	1,0
	225/120-225/244	50	168	661	302	2,1
	225/105-225/118	24	84	255	151	1,2
Alla sektioner		478	353	1370	636	1,7

Som framgick av figur 6.5 (MWD) var bergkvaliteten i områden runt sektionerna 124900-940 dålig. Uppföljningen visar att de flesta läckande bulthål förekommer i detta område.

6.2.2 Lägen för läckande bulthål

Uppföljning visar att majoriteten av åtgärdade läckande bulthålen ligger i området 12-18 m i injekterade skärmar (tabell 6.3).

Tabell 6.3. Lägen för läckande bulthål.

Table 6.3. Treated leaky hole at overlap and critical zone.

Tunnel	Totalt antal behandlade läckande bulthål	Behandlade läckande bulthål 0–6 m	Behandlade läckande bulthål 6–12 m	Behandlade läckande bulthål 12–18 m
	st	st	st	st
HT 504	478	116	147	215

6.3. Hålavvikelse Huvudtunnel 504

Mätningar visar att ca 68 % av injekteringsborrhålen avviker åt höger samtidigt som 56 % avviker uppåt (tabell 6.4).

Tabell 6.4. Avvikelse med avseende på riktning i HT 504.

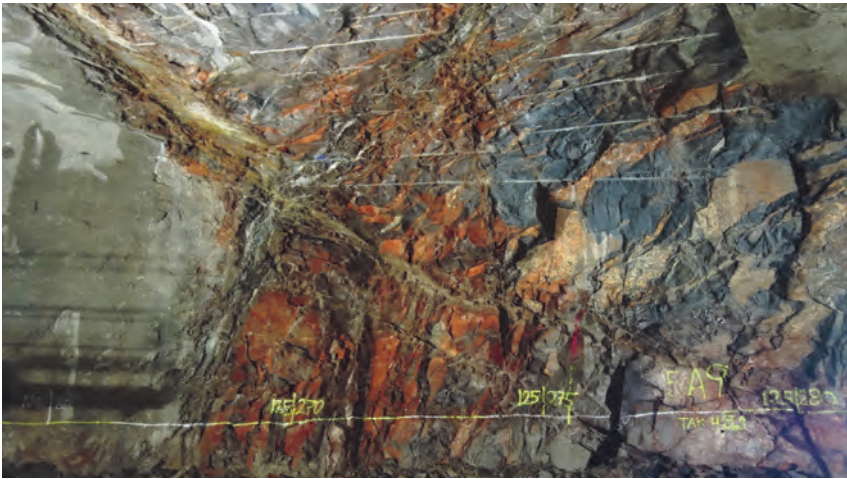
Table 6.4. Deviation with respect to direction in HT 504.

Sektion	Antal vänster- upp←	Antal vänster- ned↘	Antal höger- upp↗	Antal höger- ned↙	Totalt	Andel vänster- upp	Andel vänster- ned	Andel höger- upp	Andel höger- ned
	st	st	st	st		st	%	%	%
225359	1	0	2	0	3	33,3	0,0	66,7	0,0
225292	0	0	2	4	6	0,0	0,0	33,3	66,7
224951	6	1	3	6	16	37,5	6,3	18,8	37,5
Alla sektioner	7	1	7	10	25	28	4	28	40

Tabell 6.5 visar storleken på hålavvikelsen. I sektion 225359 överstiger hålavvikelser i 3 st uppmätta hål 5 % och vid sektion 225292 har en mätning rapporterats som felaktig. Detta förklaras med störningar vid mätningar.

Tabell 6.5. Medelvärde av hålavvikelser för olika sektioner.*Table 6.5. Mean value hole deviations.*

Tunnel	Sektion	Antal mätningar	Medelavvikelse	Medellängd	Andel avvik under $\leq 2,5\%$
		st.	%	m	%
HT 504	225359	3	44	14	0
	225292	6	1,8	22	60
	224951	16	0,7	18	100

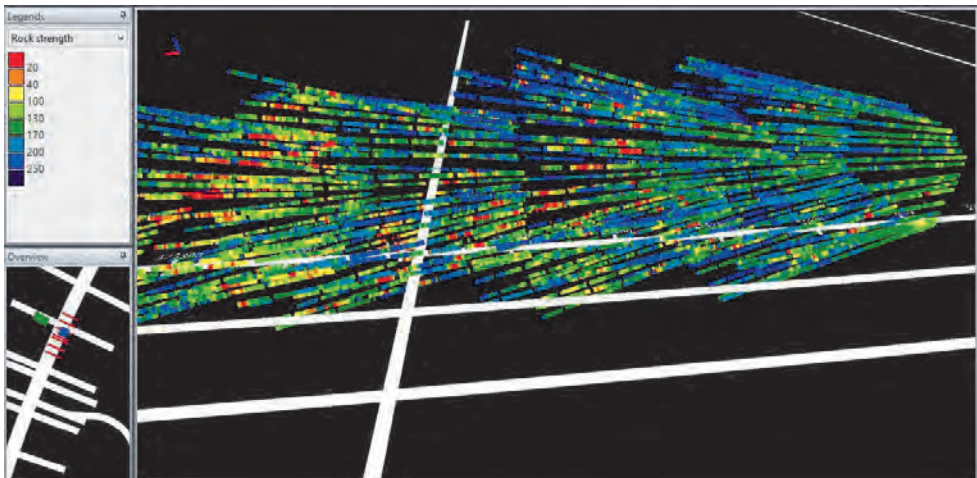


Figur 7.2. Bergstruktur sektion 125260-125280.

Figure 7.2. Rock mass at 125260-125280.

7.1.2 MWD

MWD från HT 505 i undersökt område visar tydliga variationer i bergkvalité. Figur 7.3 visar bergets skiftande hållfasthet med tydliga svaghetszoner i området 125290-300.



Figur 7.3. MWD data från sektion 125260-125300.

Figure 7.3. Rock mass strength, section 125260-125300.

7.2 Uppföljning av åtgärdade läckande bulthål

Åtgärdade läckande bulthål i huvudtunnel 505 motsvarar ca 14 % av antal bultar. Tabell 7.1 visar andelen läckande bulthål i undersökta områden.

Tabell 7.1. Läckande bulthål i relation till antal bultar.

Table 7.1. Percentage of leaking bolt holes.

Tunnel	Från sektion	Till sektion	Antal 4 m långa	Andra längder	Antal behandlade läckande bulthål	Åtgärdade bulthål i relation till antal bultar
			st	st	st	%
HT505	124914	125295	1679	503	306	14,0

7.2.1 Materialåtgång

Materialåtgång i injekterade bulthål varierar kraftigt. Som framgår av tabell 7.2 är medelvärdet av injekterade volymer i fyra hål mer än dubbel så stort som medelvärdet för alla sektioner

Tabell 7.2. Injekterade volymer.

Table 7.2. Grouted volume in each meter bolt hole, litre/m.

Tunnel	Sektion	Antal behandlade bulthål	Injekterad längd	Total injekterad volym	Teoretisk hålvolym	Injekterad volym exkl. hållfyllnad / meter bulthål
		st	m	liter	liter	liter
HT 505	125226-264	72	258,5	1572,7	465,3	4,3
	125275-295	134	469	2470,8	844,2	3,5
	124914-920	39	142,5	515,9	256,5	1,8
	124975-990	4	15,4	143	27,72	7,5

	125019-088	57	199,5	708,7	359,1	1,8
Alla sektioner		306,0	1084,9	5411,1	1952,8	3,2

7.2.2 Lägen för läckande bulthål

Tabell 7.3 visar lägen för behandlade läckande bulthål. Som framgår av tabellen ligger majoriteten området 12-18 m.

Table 7.3. Lägen för behandlade bulthål.

Table 7.3. Locations for treated bolt holes.

Tunnel	Totalt antal behandlade läckande bulthål	Behandlade läckande bulthål, 0–6 m	Behandlade läckande bulthål, 6–12 m	Behandlade läckande bulthål, 12-18 m
	st	st	st	st
HT 505	306	44	57	205

7.3. Hålavvikelse Huvudtunnel 505

Mätningar visar att över 70 % av hålavvikelserna riktar sig åt höger, se tabell 7.4.

Tabell 7.4. Avvikelser med avseende på riktning.

Table 7.4. Deviations with respect to direction.

HT 505									
Sektion	Antal vänsterupp←	Antal vänster-ned↘	Antal höge- upp↗	Antal höger- ned↙	Totalt	Andel vänster- upp	Andel vänster- ned	Andel höger- upp	Andel höger- ned
	st	st	st	st	st	%	%	%	%
125392	1	1	5	0	7	14,3	14,3	71,4	0,0
125357	1	0	1	1	3	33,3	0,0	33,3	33,3
124914	2	1	9	4	16	12,5	6,3	56,3	25,0
124789	4	0	3	0	7	57,1	0,0	42,9	0,0
124754	1	0	6	2	9	11,1	0,0	66,7	22,2
125375	2	0	1	0	3	66,7	0,0	33,3	0,0

Alla sektioner	11	2	25	7	45	24,4	4,4	55,6	15,6
-----------------------	-----------	----------	-----------	----------	-----------	-------------	------------	-------------	-------------

Storleken på avvikelser vid olika mätningar visas i tabell 7.5. Vid ett tillfälle anges störningar vid rakhetsmätning av ett hål.

Tabell 7.5. Medelvärde av hålavvikelser.

Table 7.5. Mean hole deviations.

Tunnel	Sektion	Antal mätningar	Medelavvikelse	Medellängd	Andel avvik under $\leq 2,5\%$
		st	%	m	%
HT 505	125392	5	1,3	15	100
	125357	2	1	19	100
	124914	16	1,6	16	75
	124789	7	1,7	23	57
	124754	9	1,4	23	100
	125375	3	1,5	19	100

8 ANALYS

Uppföljningen av förekommande läckande bulthål har gjorts genom att granska geologin, bultlängder, åtgärdade bulthål, avvikelser med avseende på raket samt lägen i förhållande till stuff - där injekteringshål har borrats. I nedanstående redovisas resultat samt hypoteser för bakomliggande orsak till läckande bulthål.

8.1 Geologi

Granskning av utförda karteringar visar varierande bergkvalité med olika omvandlingsgrad i undersökta områden. Strukturer skiftar från sprickfattigt till skiviga. Tryckhållfastheten varierar från svag till mycket stark. I undersökta områden observerades lerfyllda sprickor med återkommande droppande vatten. Droppande vatten/läckage tyder på att utförda injekteringar inte har lyckats täta samtliga vattenförande strukturer. Vid bultborrning passerar bulthålen otäta strukturer som leder till förekomsten av läckande bulthål.

Information från MWD gällande hållfasthet och sprickighet bekräftar närvaron av svaga/krossade och sprickiga zoner där flest läckande bulthål förekommer.

8.2 Åtgärdade bulthål

Bultlängden var en annan faktor som påverkade uppkomsten av läckande bulthål. Ett längre bulthål passerar flera strukturer, och därmed ökad risk att träffa vattenförande sprickor.

I Ramptunnel 414, där 3 respektive 4 m långa bultar installerades, var läckande bulthål cirka 8 gånger fler i 4 m långa hål, än för 3 meter långa (se Kapitel 3).

Medelvärde av bruksåtgång var ca 50 % högre för 4 meter långa bultar (1/meter borrhål) än för 3 meters.

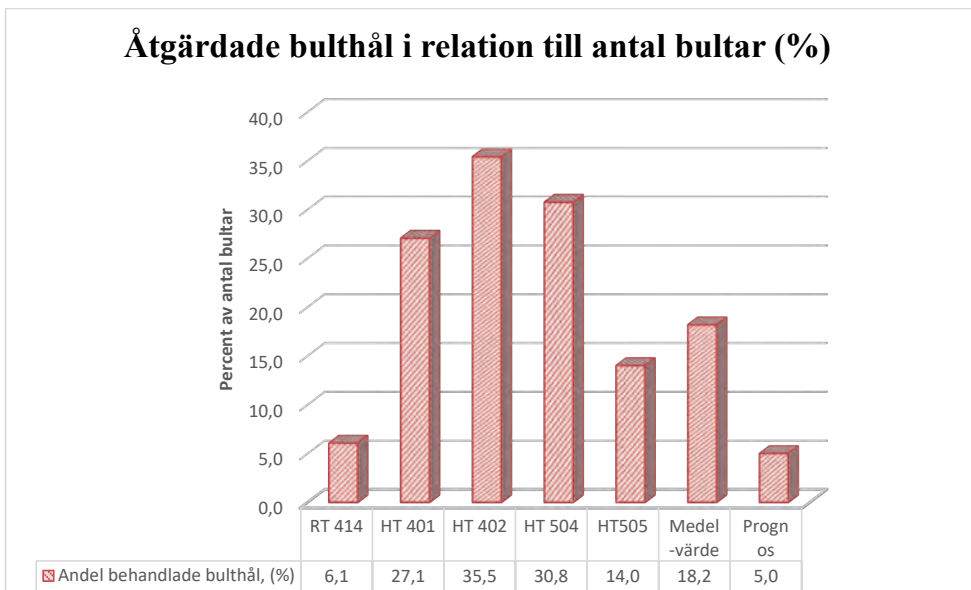
Det totala antalet bultar i Ramptunnel 414 var det 2011 stycken. Av dessa var 1089 stycken 3 m långa och 922 stycken var 4 m långa. 15 stycken 3 meters bulthål var läckande, vilket motsvarade 1,4 %. För 4 meters var motsvarande värde ca 12 %, att jämföras med en prognos på 5 %. Detta visade att längden på bulthålen spelade stor roll för förekomsten av läckande bulthål.

6,1 % av totala antalet bultar utgjorde medelvärdet av alla åtgärdade bultar i Ramptunnel 414.

I huvudtunnlarna var majoriteten av bultarna 4 m långa. I de undersökta områdena motsvarade åtgärdade läckande bulthål, cirka 23 % av alla hål för installation av bultar.

Antalet läckande bultar var cirka 4,6 gånger fler än prognosen (5 %). De åtgärdade bulthålen har rapporterats som 4m långa.

Figur 8.1 visar förhållande mellan åtgärdade bulthål och antal bultar i varje enskild tunnel, medelvärdet i alla tunnlar samt prognosen.



Figur 8.1. Läckande bulthål i relation till antal bultar i enskilda tunnlar.

Figure 8.1. Relation between leaking bolt hole compare to number of bolts in individual tunnels, average value and forecast.

Som framgår av diagrammet är medelvärdet av antal läckande bultar i alla tunnlar motsvarande 18,2 % av samtliga bultar. Anledningen till det stora antalet åtgärdade bulthål kan bero på:

1. Ett försök att borra ett nytt hål bredvid läckande bulthålet.
2. Borring av ett nytt hål bredvid det injekterade läckande bulthålet. Vid de tillfällen man borrar ett nytt hål bredvid det läckande, kan nytt läckage uppstå, vilket innebär att ännu fler hål måste åtgärdas. Det korta avståndet mellan dessa hål kan leda till *oönskat sambandshål* under injekteringsarbetena.

8.3 Hålavvikelse

Kontroll av injekteringsborrningens precision, *rakhetsmätning*, visade att av 129 st utförda mätningar avvek 5 stycken mer än 5 %. Fem stycken har redovisats som ”felaktiga”(error) vid mätningarna. Av 119 godkända mätningar (avvikelse ≤ 5 %) var 19 stycken 29 m långa. Avvikelserna hos 10 av 19 hålen (ca 52 %) var mindre eller lika med 2,5 %. Resterande hål var kortare än 25 m och belägna i huvudtunnlarna. Av dessa avvek 70 stycken (70 %) under eller lika med 2,5 %.

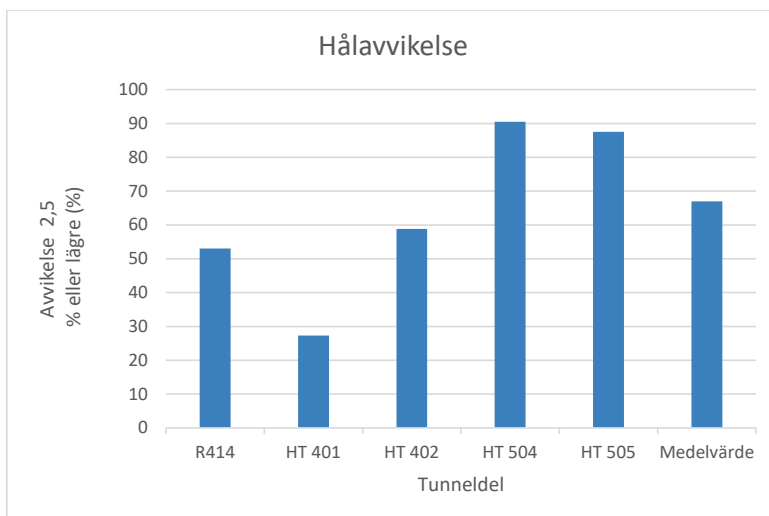
Tabell 8.1 visar resultat från mätningar för samtliga mätningar. Som framgår av tabellen avviker 67 % av hålen under 2,5 %.

Tabell 8.1. Andel hål som avviker under 2,5 %, alla tunnlar.

Table 8.1. Percentage of holes deviating below 2.5 %, all tunnels.

Tunnel	Antal mätningar	Antal som avviker $\leq 2,5\%$	Andel avvikelse $\leq 2,5\%$
	st	st	%
R414	19	10	53
HT 401	22	6	27
HT 402	17	10	59
HT 504	21	19	90
HT 505	40	35	88
Summa	119	80	67

Figur 8.2 visar hålavvikelserna i procent, och andelen hål där hålavvikelsen understiger 2,5 % av hållängden i alla tunnlar.

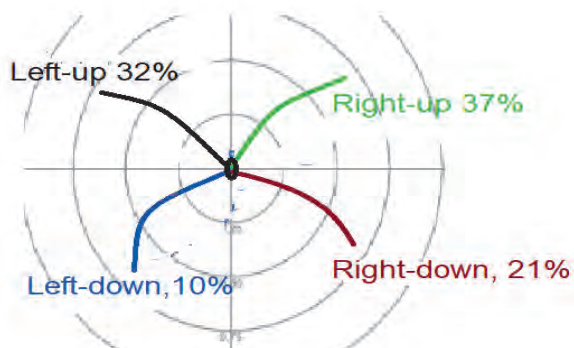


Figur 8.2. Andel injekteringshål där avvikelserna understiger 2,5 % av hållängden i alla tunnlar.

Figure 8.2. Percentage of injection holes where the deviation is less than 2.5 % of the hole length in all tunnels.

Mätningarna visar att avvikelserna från centrumlinjen gick i olika riktningar.

Uppföljning av riktningarna på hålavvikelser visade att 58 % av hålen vek av åt höger samtidigt var 69 % uppåtriktade. Figur 8.3 visar riktningen på avvikelserna för alla mätningar.



Figur 8.3. Avvikelsers riktningar.

Figure 8.3. Deviation directions.

8.4 Lägen för läckande bulthål

I den inledande uppföljningen (hela ramptunnel 414) åtgärdades totalt 122 läckande bulthål. Av de 60 hål vars lägen kunde identifieras, var 36 hål (62 %) i överlappen, kritisk zon. Ytterligare 62 hål har åtgärdats utan exakta sektionsnummer och därmed gick det inte att dra någon slutsats om det läget i förhållande till injekteringsskärmarna. I huvudtunnlar å andra sidan, var över 48 % av de läckande bulthålen belägna i sträckan 12-18 m från injekterade stuffer. I tabell 8.2. redovisas antal och lägen för läckande bulthål i alla huvudtunnlar. Alla hål har varit 25 m eller kortare.

Tabell 8.2. Lägen av läckande bulthål i förhållande till stufflägen.

Table 8.2. Positions of leaking bolt holes in relation to stuff position.

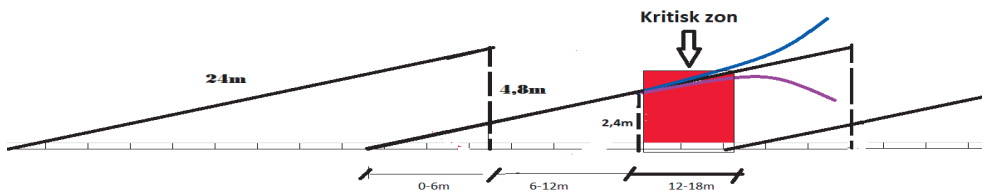
Tunnel	Totalt antal behandlade läckande bulthål	Behandlade läckande bulthål, 0-6 m		Behandlade läckande bulthål, 6-12 m		Behandlade läckande bulthål, 12-18 m	
	st	st	%	st	%	st	%
HT 401	162	77	47,5	14	8,6	71	43,8
HT 402	173	55	31,8	69	39,9	49	28,3
HT 504	478	116	24,3	147	30,8	215	45,0
HT 505	306	44	14,4	57	18,6	205	67,0
Alla huvudtunnlar	1119	292	<i>26,1</i>	287	<i>25,6</i>	540	<i>48,3</i>

I tabell 8.3 redovisas lägen för läckande bultar i huvudtunnlar samt sektionerna 441–604 i Ramptunnel 414. Som framgår av tabellen förekommer flest läckande bultar 12–18 meter från stuf i injekterade skärmar.

Tabell 8.3. Lägen av läckande bulthål i olika område i förhållande till stuffläge.
Table 8.3. Locations of leaking bolt holes in different area relative to stuff position.

Tunnel	Totalt antal behandlade läckande bulthål	Behandlade läckande bulthål, 0–6 m		Behandlade läckande bulthål, 6–12 m		Behandlade läckande bulthål, 12–18 m	
		st	%	st	%	st	%
R414 sektion 441–604	60	36	60	10	16,7	14	23,3
HT 401	162	77	47,5	14	8,6	71	43,8
HT 402	173	55	31,8	69	39,9	49	28,3
HT 504	478	116	24,3	147	30,8	215	45,0
HT 505	306	44	14,4	57	18,6	205	67,0
Alla tunnlar	1179	328	27,8	297	25,2	554	47,0

Figur 8.4. visar lägen där flest läckande bulthål förekommer, *kritisk zon* i huvudtunnlar samt sektionerna 441–604 i Ramptunnel 414.



Figur 8.4. Lägen av läckande bulthål, huvudtunnlar samt sektionerna 441–604.
Figure 8.4. Locations of leaking bolt holes, main tunnels and sections 441–604.

9 HYPOTESER FÖRSLAG OCH MOTIVERING

I nedanstående kapitel redovisas bakgrunden till förslagen och bygger på tidigare erfarenheter och forskning inom området.

9.1 Hypoteser

Att ett borrhål läcker beror på att vattenförande strukturer inte har blivit tillräckligt täta och därmed läckage vid borring genom i berget. Uppföljning av läckande bulthål i undersökta område i olika tunnlar på delprojekt Norr inom Förbifart Stockholm visar att antalet motsvarar ca.18 % av det totala antalet installerade bultar. Det visade sig att dessa bultar främst förekommer där berget är svagt/krossade. Detta kunde verifieras även av MWD-data. Längden på bultar är en annan faktor som spelar stor roll. Uppföljningen visar ett tydligt samband mellan bultarnas längd och förekomst av läckande bulthål. Ju längre bultar desto större risk för läckage i bulthålen. Detta beror på att ett längre bulthål passerar flera strukturer och därmed större risk att träffa vattenförande/otäta sprickor. Det stora antalet läckande bulthål beror också på hantering av dessa hål. Vid borring försöker man att borra ett nytt hål bredvid det läckande och hoppas på att det är torrt, alternativ borring vid sidan av ett injekterat bulthål är ytterligare orsaker till det stora antalet.

9.1 Förslag och motivering

Uppföljning har lett till följande hypoteser som orsak till läckande bulthål:

- 1) Geologin
- 2) Bultlängd
- 3) Den projekterade injekteringsdesignen inklusive skärmgeometrin

9.2 Förslag för att minska förekomsten av läckande bulthål

Baserat på dessa hypoteser har förslag tagits fram för att:

- 1) Minska förekomsten av läckande bulthål (bilaga 1)
- 2) Metodbeskrivning av åtgärder vid förekomst av läckande bulthål inom Förbifart Stockholm (bilaga 2)

9.3 Motivering av förslagen för att minska förekomsten av läckande bulthål

Syftet med förslaget är få tätare tunnlar och därmed färre läckande bulthål. Det är viktigt att alla ingående delar följs, för att möjliggöra uppföljning och att kunna bedöma effekten av den projekterade lösningen. Detta inkluderar t.ex. även noga rengöring och skydd av de nedåtriktade hålen även om de i sig inte påverkar förekomst av läckande bult/bulthål.

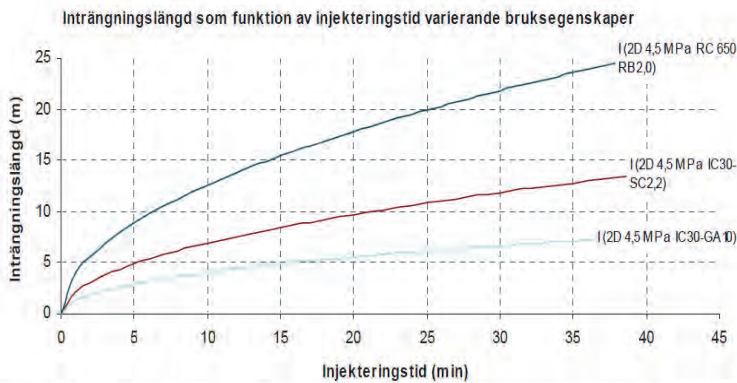
9.3.1 Skärmgeometri

Att anlägga tunnlar i berg och under grundvattennivå innebär att tunneln passerar olika bergarter med olika hållfasthet och sprickighet. Sprickor och svaghetszoner kan förekomma i olika riktningar. De kan vara vertikala eller horisontella i olika nivåer i förhållande till tunnelkonturen. Vidare varierar bergets vattenförande förmåga, beroende på tunnelns djup och grundvattennivån samt längs olika delar av tunneln. Därför är det viktigt att den projekterade lösningen tar hänsyn till bergets variationer. Ett sätt att minska effekten av dessa variationer är att borra injekteringshål i olika nivåer i förhållande till tunnelkonturen. Olika stick syftar till att träffa så många strukturer som möjligt. Val av stick baseras på bultarnas längd och bergövertäckningen och kan variera beroende av antal injekteringsomgångar. Hålavstånd mellan injekteringshålen väljs beroende av bruksegenskaper samt tillåtet inläckage. I framtagen design för implementering av förslag för justerad injekteringsutförande valdes stick på 5 m respektive 6,5 m. Design togs fram för Injekteringsklass B.

9.3.2 Bruksegenskaper

Brukets olika egenskaper har stor betydelse för resultatet av injekteringsarbetena. En av de viktigaste egenskaperna hos injekteringsbruket är dess inträngningsförmåga och inträngningslängd. Dessa styrs i sin tur av cementens kornkurva och kornstorlek. En tumregel är att sprickornas vidd bör vara 3–5 gånger större än max kornstorlek, för att allt material ska kunna tränga in och fylla sprickorna. Med en dimensionerade sprickvidd på i storleksordningen 75 μm innebär detta att cementens kornstorlek, D_{max} (D_{95}), bör vara under 20 μm för att vid rätt dispergering få materialet att kunna flöda fritt i sprickorna. Det är också viktigt att begränsa spridningen av materialet. Beroende av bultlängder ska den täta zonen runt tunnel vara 1-2 m längre än längsta bulten. Tidigare undersökningar har visat att man kan få in bruket in i sprickor genom att använda sig av microcement.

Figur 9.1 visar inträngningslängder för olika cement med olika D_{\max} .



Figur 61. Inträngningslängd som funktion av injekteringstid med varierande bruksegenskaper, 70 m grundvattentryck

Figur 9.1. Inträngningslängd för olika cement, (Källa: SveBeFo Rapport 79)

Figure 9.1. Penetration length for different cement, (source . SveBeFo Rapport 79)

Som framgår av figur 9.1 är inträngningslängden för cement, med en D_{\max} på ca $15\mu\text{m}$ (kurvan längst upp, RC 650), dubbel så lång som cement med D_{\max} på $30\mu\text{m}$ (mitten kurva, IC30).

En annan fördel med microcement är dess specifika yta. Ju finare cement, desto större specifik yta. Samtidigt kräver microcement en längre blandningstid. Av den anledningen är blandningstiden satt till 3–4 minuter, beroende av val av blandningsutrustning.

Givet samma vct, ger en större specifik yta såväl lägre separation som bättre utnyttjandegrad av cementpartiklarna. En annan fördel jämfört med cement med större D_{\max} , är att man kan reducera cementförbrukningen, då det går att höja vct och därmed minska cementtätgången.

9.3.3 Stoppkriterier

Huvudsakliga stoppkriterierna, injekteringstid på 15 minuter/hål efter uppnått projekterat tryck samt noll-hål dvs. om flödet aldrig överstiger 2 liter/minut, under 5 minuter kvarstår. Volymkriteriet som föreslås, tar hänsyn till olika geologiska förutsättningar. Att bruksåtgången är hög i vissa hål under en kort tid, tyder på att det finns ”öppna strukturer” som måste tätas. Vid de tillfällen där maxvolym enligt ursprunglig design uppnås, innan den avsatta injekteringstiden uppnås, ska injekteringen fortsättas med ett lägre vct. Därför föreslås att injekteringen fortsätts med ytterligare 200 liter med blandning 2. Detta vct kan användas vid större ytläckage för att kunna få stopp på läckaget.

9.4 Åtgärder vid förekomst av läckande bulthål inom Förbifart Stockholm

Uppföljningen av åtgärdade läckande bulthål visade att det har funnits sektioner där antalet åtgärdade läckande bultar, var fler än vad som krävdes för förstärkningen. Detta var ett resultat av den metodik som används idag och är även angiven i AMA.

Den vid implementeringen förslagna metoden är baserad på idén att kunna utnyttja det injekterade läckande bulthålet. Genom att injektera och borra om, utökas chansen att bulten sätts i ett torrt hål. Metoden har även en produktionsmässig fördel. Vid borring av ett nytt hål intill ett läckande hål, finns risk att även det nya hålet läcker. Då avstånden mellan hålen inte är så långt (någon decimeter) finns det stor risk att det uppstår samband mellan dessa hål och därmed måste injekteringen avbrytas för att installera packers i sambandhål och i bästa fall injektera hålen samtidigt.

Vid korrekt utförande kan den förslagna metodiken leda till besparingar.

10 IMPLEMENTERING AV FÖRSLAG TILL ÅTGÄRDER FÖR ATT MINSKA FÖREKOMSTEN AV LÄCKANDE BULTHÅL

Förslag på injekteringsutförande och hantering av läckande bulthål har tagits fram, baserat på utförd uppföljning, avseende förekomsten av läckande bulthål inom delprojekt Norr vid Förbifart Stockholm.

De framtagna förslagen har implementerats under ordinarie produktion inom delprojekt Lovö, Förbifart Stockholm. De baseras på handlingar för delprojekt Lovö samt text i AMA 10 gällande ”*injektering av vattenförande bulthål*”.

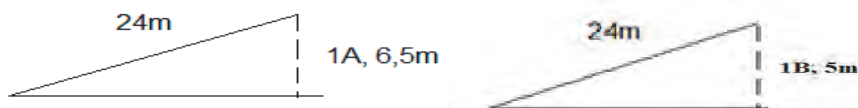
Syftet med implementeringen var att modifiera injekteringsdesignen för att minimera förekomsten av läckande bulthål. En jämförelse utfördes sedan mellan antalet läckande bultar i anslutande område, där injekteringsarbeten utförts enligt projekterade handling för delprojekt Lovö FSE 303.

Implementeringen utfördes på fyra stycken efterföljande injekteringskärmar inom FSE 303 i tunnel 301N (sektionerna 119/275-325), med modifiering av vissa förutsättningar, vilka angavs i Teknisk Beskrivning. Förekomsten av läckande bulthål/bultar i testområdet, sektionerna 119/275–342 kartlades. Resultaten, med avseende på antalet läckande bultar, jämfördes med antalet i anslutande område i samma tunnel (301N), i sektionerna 119/242–275. Detta område injekterades enligt grundhandlingens injekteringskoncept. Med läckande bult menas läckage vid en installerad bult. Alla bultar i de undersökta områdena var fyra meter långa. Nedan följer en redovisning av de implementerade förslagen och en utvärdering av dess effekt.

10.1 Projekterad lösning och arbetsgång

Injekteringshål borraras med olika stick bland annat för att korsna flera strukturer i bergmassan. Figur 10.1 visar en principskiss för ”Injekteringsklass B”. Bultarnas längd och bergets geologi samt bergövertäckningen avgör stickens längd.

Sticklängd för testområdet, valdes till 6,5 m (1A) respektive 5 m (1B). I första skärmen borrhades dock alla nedåtriktade hål med ett stick på 6,5 m. Därefter (skärm 2–4) borrhades med skiftande stick i hela skärmen. Dessa mått är baserade på 4 meters bultlängd samt bergövertäckningen.



Figur 10.1. Principskiss för injekteringshål med olika stick, för valt testområde.
Figure 10.1. Principle sketch for grout holes with different stick length, for the selected test area.

Vid borrhning ska borrhål rensas genom upprepad blåsning och spolning med borrhstång. Spolvattentryck ska vara minst 1 MPa och spolvattenflöde minst 25 l/min. Rensning ska fortgå till rent spolvatten erhålls. Nedan redovisas arbetsgången.

10.1.1 Arbetsgång

- 1) Borrhning av samtliga nedåtriktade hål med stick på 5 resp. 6,5 m.
- 2) Nedåtriktade hål ska skyddas enligt EN 12715 kap 8.2.4. Detta ska utföras med demonterbar packer innan borrhning av ovanliggande hål i tak och väggar påbörjas.
- 3) Borrhning av vartannat hål i tak och vägg med ett stick på 6,5 m.
- 4) Leverans av MWD-data till beställaren.
- 5) Borrhning av resterande hål i väggar och tak med ett stick på 5 m.

Nedåtriktade hål ska fyllas med injekteringsbruk från botten. Kompletta hålfyllnad ska verifieras genom uppmärkning av slangens längd, för att säkerställa att hela den teoretiska längden går att få in, alternativt genom borrhålsfilmning.

Vid injektering av enskilt hål ska maximal volym vara 500 liter för 24 m långa injekteringshål exklusive hålfyllnad. Uppnås 500 liter med "Blandning 1" och flödet är över 2 liter/min, ska injektering fortsätta med ytterligare maximalt 200 liter med "Blandning 2".

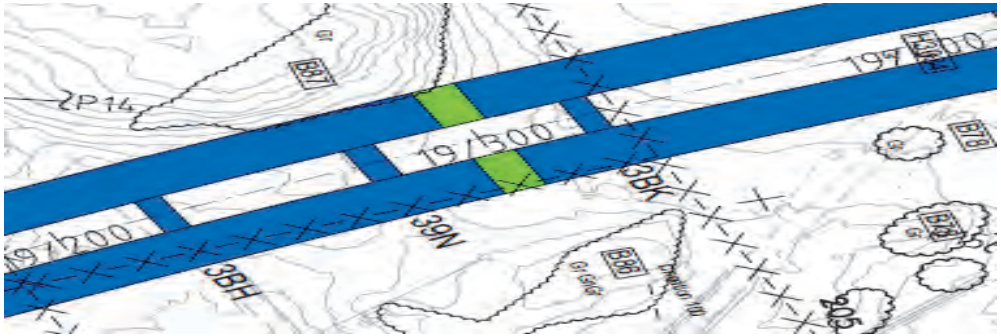
Alla hål som har uppnått maximal volym, ska noteras i injekteringsprotokollet.

Hantering av stoppkriterier tid och "nollhål" ska ske enligt Teknisk beskrivning.

Injekteringsmedel ska vara av CEM I kvalitet med $d_{95} < 20 \mu\text{m}$. Vatten/cement talet (vct) ska maximalt vara 1,2. Tid för att kunna vända en kopp med 90 grader (kopptest) sattes till 4 timmar.

10.2 Geologi

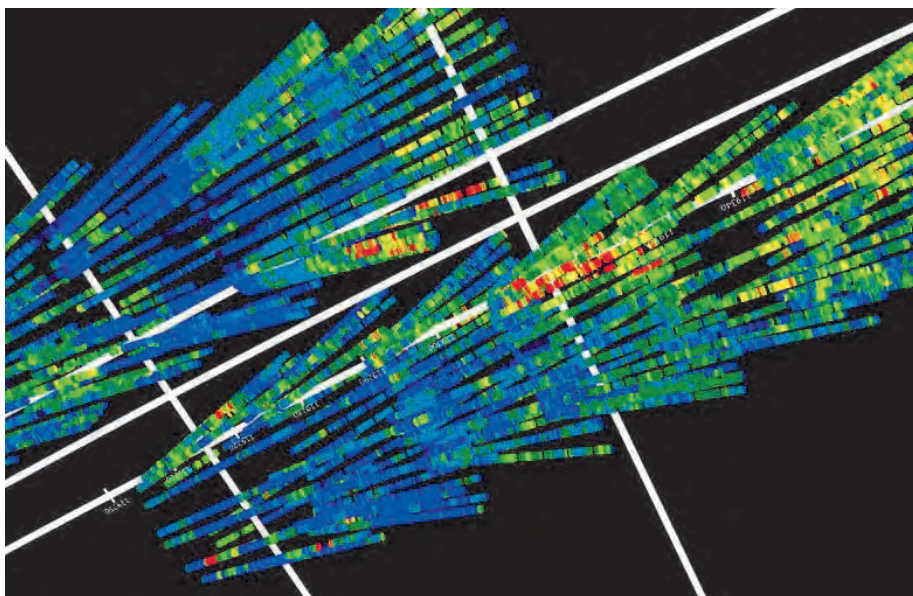
Ingenjörsgelogiska prognos anger två *troliga krosszoner* i testområdet, dels en längsgående i den södra tunneln, dels tvärgående vid km c:a 19/330. Figur 10.2 visar ingenjörsgelogiska prognosen för sektionerna 119/200–400.



Figur 10.2. Ingenjörsgelogisk prognos, troliga sprickzoner/krosszoner (X-X-X).

Figure 10.2. Engineering geological forecast, probable fracture zones/crush zones (X-X-X).

I prognosen angavs en svaghetszon parallellt med tunneln. Även MWD-data visade närvaron av en svaghetszon i området. Zonen låg på vänster sida i tunnelriktningen för HT301.



Figur 10.3. MWD från huvudtunnlar 301, testområdet (höger) och 302 (vänster).
Figure 10.3. MWD from main tunnels 301, test area (right) and 302 (left).

Geologiska karteringar (figur 10.4) av området (119/275–342) visade stora variationer i bergstrukturen. Bergarterna bestod av sedimentär gnejs och röd granit. Karteringar bekräftade närvaron av en svaghetszon. I området kring sektionerna 119/275–285 och på höger sida av tunneln syntes två kortare zoner där fukt/dropp observerades.

Vidare visade karteringarna en lång svaghetszon på vänster sida av HT301N, med start vid sektion ca 119/300 och framåt (119/342, stuff läge). I vissa områden syntes flera sprickor fyllda med grafit. Parallella och lerfyllda sprickor observerades, där även visst vattenläckage förekom, dock inte i den omfattning som påverkade J_w -värdet, enligt Q-systemet. J_w i hela området var satt till 1. Q-värdet i området varierade mellan 0,54–3,5.

Under karteringarna observerades sprickor med injekteringsbruk i både väggar, tak och stuff. Figuren 10.4. och 10.5. visar karteringsblad samt bild från sektionerna 119/330–340.



Figur 10.4. Karteringsblad sektionerna 119/275–342. Pilen visar läget på krosszon på vänster sida av tunnel. *Figure 10.4. Mapping sheets sections 119/275–342. The arrow shows the location on the crushed zone on the left side of the tunnel.*



Figur 10.5. Grafitzon på vänster vägg, sektionerna. 119/330–340. *Figure 10.5. Graphite zone on the left wall, the sections. 119/330–340.*

10.3 Kontroll av nedåtriktade hål

Enligt åtgärdsförslaget, borrades nedåtriktade hål först och skyddades, innan borring av ovanliggande hålen påbörjades. Skydd av nedåtriktat hål visas i figur 10.6, där hålen förseglades med demonterbar packer.

Hålfyllning av nedåtriktade hål kontrollerades genom längdmarkering på slangen enligt figur 10.7.



Figur 10.6. Skydd av nedåtriktat hål.
Figure 10.6. Downward hole protection.



Figur 10.7. Kontroll av hålfyllning.
Figure 10.7. Check of hole filling.

10.4 Kamerafilmning av injekteringshål

17 hål belägna i tak, väggar samt botten kamerafilmdes för att få information om sprickor samt att kunna inspektera rengöring av hålen. Vid borring av den tredje injekterings-skärmen observerades att de nedåtriktade hålen inte var skyddade. Kamerafilmningen gjordes i denna skärm. I bilaga 3 redovisas kamerafilmningen i sin helhet. Figurerna 10.8 respektive 10.9 visar sprickighet samt borrkax i två olika injekteringshål.



(Foto: Hassan)

Figur 10.8. Hål nr.30, sprickor.
Figure 10.8. Hole No.30, cracks.



(Foto: Hassan)

Figur 10.9. Hål nr.23, borrkax i nedåtriktat hål.
Figure 10.9. Hole No. 23, drill dust in downward hole.

10.5 Kontroll av bruksegenskaper

Injekteringsbrukets egenskaper kontrollerades med avseende på densitet, marshtid, muggprov samt filterpump. Figurerna 10.10 samt 10.11 visar provtagningar, marshtid och filterpump. Vattencementtalet (vct) 1,2 valdes för blandning 1. För blandning 2 valdes vct 1,0 och för blandning 3 valdes vct 0,8. Eftersom injekteringen börjades med blandning 1, låg fokus på att kontrollera vct 1,2.



Figur 10.10. Kontroll av bruksegenskaper;
Marshtid
Figure 10.10. Check of grout characteristics; pump.
Marsh time.



Figur 10.11. Kontroll av Filterpump
Figure 10.11. Check of grout Filter

Kontroll av injekteringsbruken genomfördes under löpande produktion. Riktvärden för b_{crit} var $75 \mu m$ (enligt Teknisk Beskrivning). Densiteten skulle motsvara den teoretiska $\pm 30 \text{ kg/m}^3$. Utrustning och övriga redskap var de samma som vid övrig injektering. Tabell 10.1 visar resultat från mätningar vid olika tillfällen.

Tabell 10.1. Resultat från utförda mätningar, bruksegenskaper.
Table 10.1. Results from measurements taken, grout characteristics.

Sektion	vct*	Filterpump			b_{crit}^{***}	Mud balance	Marsh tid			Kopp test**	Separation
Section	W/C	Filter pump			b_{crit}^{***}	Mud Balance	Marsh time			Cup test**	Separation
	ratio	75 μm	90 μm	100 μm	μm	kg/m^3	5 min	15 min	30 min	time, min	%
119/275	0,98	200/230/260	300/300/300	–	90	1510	33,2			02:00	4,5
275	1,3	300/300/300	–	–	75	1410	32,6			03:00	11,7
275	1,18	300/300/300	–	–	75	1440	33,3			02:45	7,0
291	1,2	320/320/300	–	–	90	1440 / 1430			35,4	01:56	5,0
291	1,15	190/170/190	250/250/250	300/300/300	100	1450	32,5			04:15	10,0
291	1,2	300/300/300	–	–	75	1430	29,1			03:00	5,0
308	1,2	310/310/310	–	–	75	1430	31,92	32,8		03:18	12,0
308	1,2	300/300/310	–	–	75	1440	31,5	32,6		02:50	11,0
325	1,2	280/290/290	–	–	90	1435	32		35,0	03:00	9,0
325	1,2	310/310/310	–	–	75	1440	33		37,0	–	–

*vct = vattencement tal; W/C = water cement ratio.

** Medelvärde av tre koppar / Average value of three cups.

*** b_{crit} utvärderad som minsta filtervidd som 300 ml passerar / b_{crit} evaluated as minimum filter width which 300 ml passes

10.6 Stoppkriterier

Stoppkriteriet; Maximal volym var enligt kapitel 10.1 (500 + 200 liter), medan injekteringstiden var 15 minuter om flödet inte understeg 2 l/min under 5 minuter.

Tabell 10.2 visar, bland annat, volymer och injekteringstid för olika sektioner. Testområdet (BeFo 1–4) inkluderade injekterade skärmar i sektionerna 119/275–325. Vid sektion 119/325 avbröts injekteringen tillfälligt och vct sänktes för få stopp på läckage i stuff.

Tabell 10.2. Bruksåtgång och injekteringstider för sektionerna 119/275–325.

Table 10.2. Grout consumption and grouting times for sections 119 / 275–325.

Injekterade sektion	Omgång	Vct	Antal injekterade hål (st)	Injekterade längd (m)	Injekterade volym, Exklusiv hålfyllning (liter)	Injekterade volym/m borrhål (liter)	Injekterade mängd/m borrhål (kg)	Total injekterings-tid (min)	Injekterings-tid per hål (min)
BeFo 1-4									
119/275	1	1,2	31	682	1099	1,6	1,1	396	12,8
291 Bottenhål	1,2	8	180	3976	22,1	14,6	488	61,0	
291	1	1,2	32	720	5012	7,0	4,6	587	18,3
308	1	1,2	37	784	1131	1,4	1,0	487	13,2
325*	1	1,2	33	742	1880	2,53	1,8	490	14,8
			141	3108	13098	4,2	2,8	2448	17,4

*Byte av vct vid utläckage. Vct ändrades från vct 1,2 till 1,0.

Tabell 10.3 visar redovisade uppgifter för anslutande skärmar i HT301N, sektionerna 119/242–256. Som framgår av tabellen utfördes injekteringen i sektion 119/242 i 2 omgångar. Den relativt höga injekterade volymen berodde framför allt på materialåtgång i omgång 2 vid sektion 119/256, där 9 hål injekterades.

Tabell 10.3. Bruksåtgång och injekteringstider för sektionerna 119/242–256.

Table 10.3. Grout consumption and grouting times for sections 119/242–256.

Injekterade sektion	Omgång	Vct	Antal injekterade hål (st)	Injekterade längd (m)	Injekterade volym, Exklusiv hålfyllning (liter)	Injekterade volym/m borrhål (liter)	Injekterade mängd/m borrhål (kg)	Total injekterings-tid (min)	Injekterings-tid per hål (min)
119/242	1	1,2	32	700	2394	3,42	2,3	493	15,4
256	1	1,2	33	752,4	3547	4,71	3,1	575	17,4
256	2	1,2	9	207	6019	29,1	19,2	358	39,8
			74	1659,4	11960	7,2	4,8	1426	19,3

10.7 Observationer

Vid injektering av sektion 119/291 upptäcktes läckage på vägbanan. Läckaget förekom på vänster sida av vägbanan (figur 10.12) och ca 30 m bakom stufven. Injekteringen avbröts ("arbetsmiljörisk") efter att endast 8 bottenhål hade injekterats. Då injekteringen av alla hål i botten inte genomfördes vid första tillfället, borrades kompletterande hål inför den fortsatta injekteringen.



Figur 10.12. Ytläckage i vänster sida av vägbanan, sektion ca. 119/260. *Figure 10.12. Surface leakage in the left side of the road, section approx. 119/260.*

Läckage upptäcktes även vid injektering av tredje injekteringsskärmen (sektion 119/308). Utläckage förekom i tak, ca 28 m från stuff på vänster sida av tunnel i ett bulthål vid sektion 119/280 (figur 10.13).



Figur 10.13. Utläckage av injekteringsbruk i bulthål, Sektion 119/280, vänster tak. *Figure 10.13. Leakage of grout in bolt holes, Section 119/280, left roof.*

Vid injektering av sista injekterings-skärmen (sektion 119/325) läckte stora mängder bruk ut vid stuffens vänstra sida, figur 10.14.



Figur 10.14. Läckage vid vänster sida av stuff, sektion 119/325.

Figure 10.14. Leakage at left side of the face, section 119/325.

10.8 Inläckagemätningar, droppkartering

Inläckagemätningar gjordes vid två tillfällen genom kartering av dropp/fukt i tak och väggar, figur 10.15.



Figur 10.15. Droppkartering.
Figure 10.15. Drop mapping.

Mätningar vid första tillfället gjordes under 180 minuter och ca 30 m av testområdet. Vid det andra tillfället droppkarterades hela testområdet. Tid för mätningar varierade mellan 40 och 90 minuter. Tabell 10.4 visar resultat från dessa mätningar.

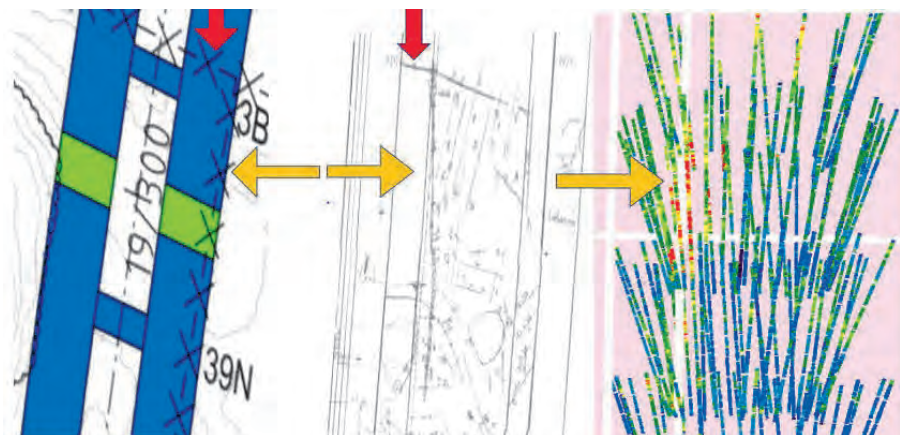
Tabell 10.5. Antal läckande bultar, Testområde/BeFo 398, sektionerna 119/275–342 i HT301 samt anslutande sektioner 119/242–275 i HT301N.

Table 10.5. Number of leaking bolts, Test area/BeFo 398, sections 119 / 275–342 in HT301N and connecting sections 119 / 242–275 in HT301N.

Sektion	Antal bultar	Antal läckande bultar	Läckande bultar i relation till antal bultar
	st	st	%
119/242–275	349	14	4,0
Testområde↓			
119/275–342	716	6	0,8

10.11 Analys av resultaten

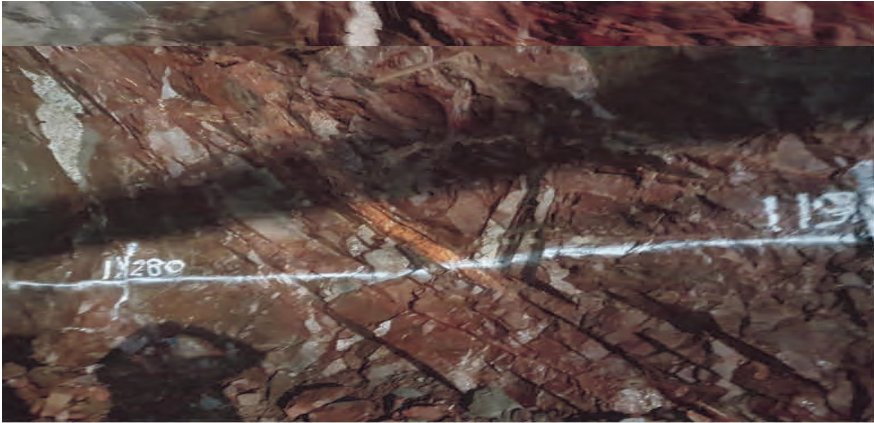
Ingenjörsgelogiska prognosen, MWD samt karteringar visade närvaron av *krosszoner* i testområdet. MWD-data samt utförda karteringar visade krosszoner på vänstra sidan av tunnel HT301N. Figur 10.16. visar ingenjörsgelogiska prognosen, utförda karteringar samt MWD data för testområdet.



Figur 10.16. Ingenjörsgelogiska prognosen (vänster), utförda karteringar (mitten) samt MWD (höger) för testområdet.

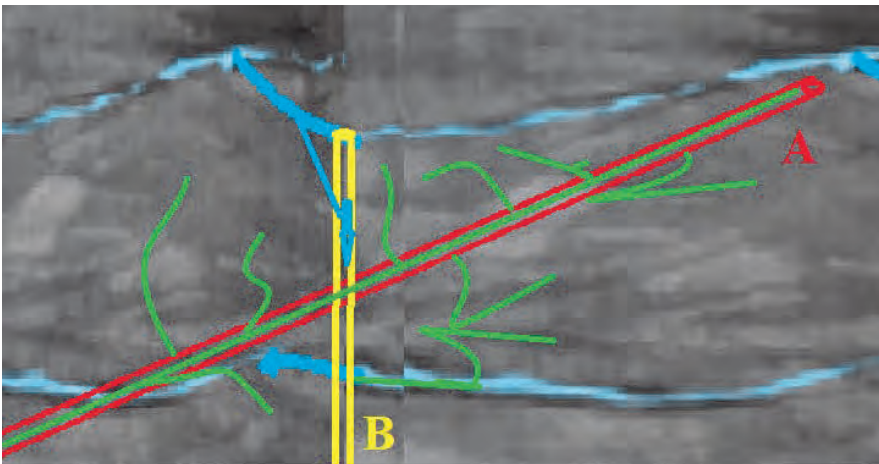
Figure 10.16. Engineering geological forecast (left), mapped (middle) and MWD (right) for the test area.

Utförda karteringar visade på lerfyllda parallella sprickor i området. Figur 10.17 visar parallella sprickor i testområdet.



Figur 10.17. Karterat område, 301N sektion 119/280. (Foto: Mehdi Bagheri)
Figure 10.17. Map area, 301N section 119/280.

Borring av bulthål (systematisk bultning) utförs *vinkelrätt* mot tunnelkonturen i tak vilket innebär att bulthålen kan passera strukturer (vattenförande) där injekteringar inte har lyckats komma åt. Detta leder till att bulthålet börjar läcka. Även närvaron av lera i sprickor kan ha förhindrat att cementbaserade injekteringsbruk trängt i vattenförande sprickor. Figur 10.18 illustrerar hur det kan se ut där bulthål passerar vattenförande sprickor.



Figur 10.18. Injekteringshål A och bulthål B.
Figure 10.18. Grout hole A and bolt hole B.

Inom testområdet borrades injekteringshål i olika nivåer i förhållande till den teoretiska konturen. Detta ledde till att injekteringshål passerade flera strukturer i olika avstånd till tunneln.

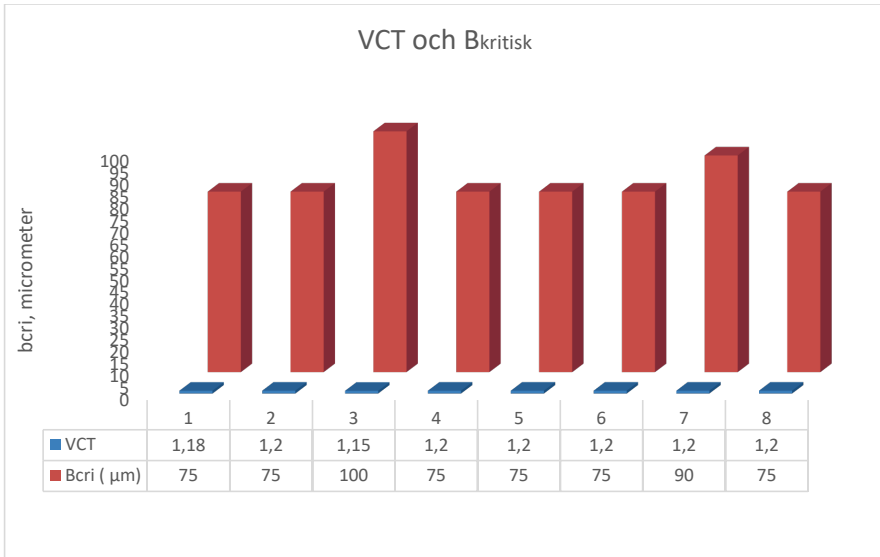
Under injekteringen observerades läckage i flera områden i tak, stoff och vägbanan. Alla läckage förekom i tunnelns vänstra sida. Detta kan förklaras med att injekteringshål, som har borrats med olika stick, har träffat strukturer som vid tidigare injekteringar inte har blivit tillräckligt täta.

Vid utläckage i vägbanan hördes ljud från berget. Detta tros bero på fenomenet *Jacking*.

Förutom skärmgeometrin spelar injekteringsmaterialet stor roll. Detta innebär att kontroll av utrustning samt uppföljning av blandade bruk måste utföras kontinuerligt. Vid inledande blandningar visade sig att utrustningen inte var kalibrerad och att bruket inte hade det avsedda vattencementtalet.

Enligt den projekterade lösningen ska vct vara maximalt 1,2. Vidare ska bruket uppfylla krav på $b_{kritisk}$, utfört med filterpump, vilket ska vara 75 μm för "Blandning 1". Resultat från filterpumpprovningar för bruk med vct 1,15-1,2 ("Blandning 1") visade att i 18 av 24 prover, var resultatet "Passerad volym" 300 ml eller mer, därav $b_{kritisk}$ 75 μm . För tre provningar var medelvärdet på passerade volymer 287 ml, och där angavs en $b_{kritisk}$ på 90 μm . Orsak till avvikelserna förklarades med att cementet i arbetsplatsens silos hade börjat hydratisera. Nya prover tagna från efterföljande satser visade att man då uppfyllde filterpumpkravet på "Passerad volym" (300 ml).

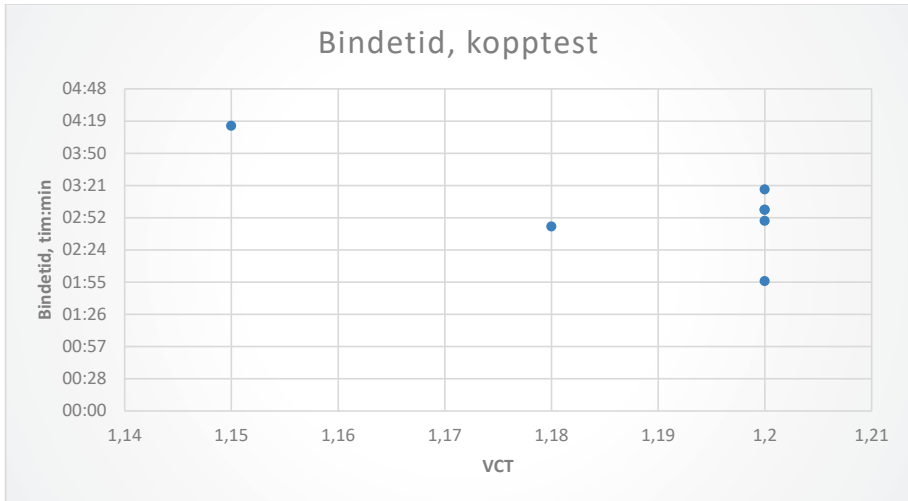
Vid alla injekteringstillfällen följdes bruksegenskaperna upp. Vid de tillfällen bruken inte uppfyllde ställda krav, gjordes justeringar, så att efterföljande satser erhöll de eftersträvade egenskaperna. Provningar av bruk med vct 1,15 visade att dessa inte klarade ställda krav på $b_{kritisk}$. Receptet modifierades genom ändrad tillsatsmedelsmängd, vilket ledde till att efterföljande satser klarade kravet på "Passerad volym" 300 ml med 75 μm filter. Figur 10.19 visar resultat från filterpump provningar.



Figur 10.19. $b_{kritisk}$ för olika vct, 1.15-1.2, "Blandning 1".

Figure 10.9. $b_{critical}$ for different wcr, 1.15-1.2, "Mixture 1".

Bindetider för olika vct anges i figur 10.20. Som framgår av diagrammet uppvisade majoriteten av proverna (80 %) bindetider mellan 2 till 3 timmar.

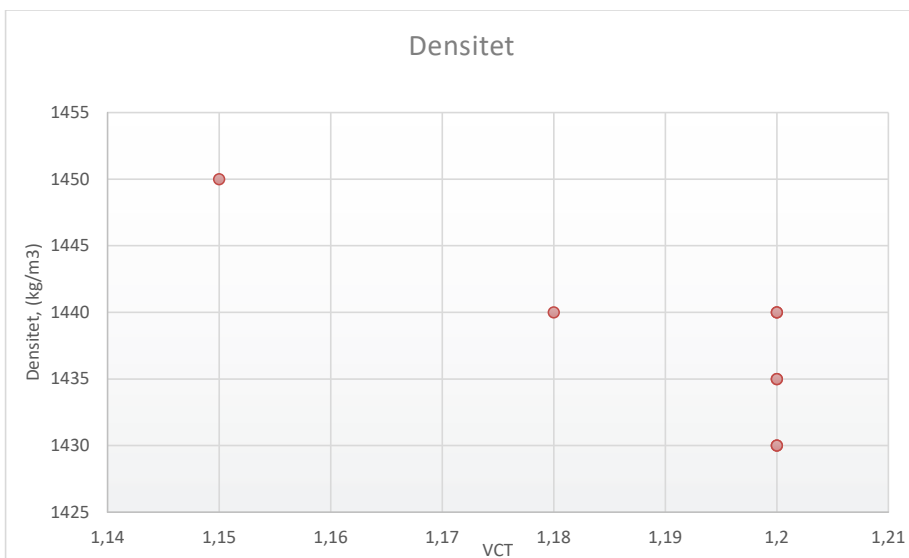


Figur 10.20. Bindetid hos bruk med olika vct.

Figure 10.20. Setting time for grout with different wcr.

Som framgår ur diagrammet klarade bruken en maximal bindetid på ca 4 timmar.

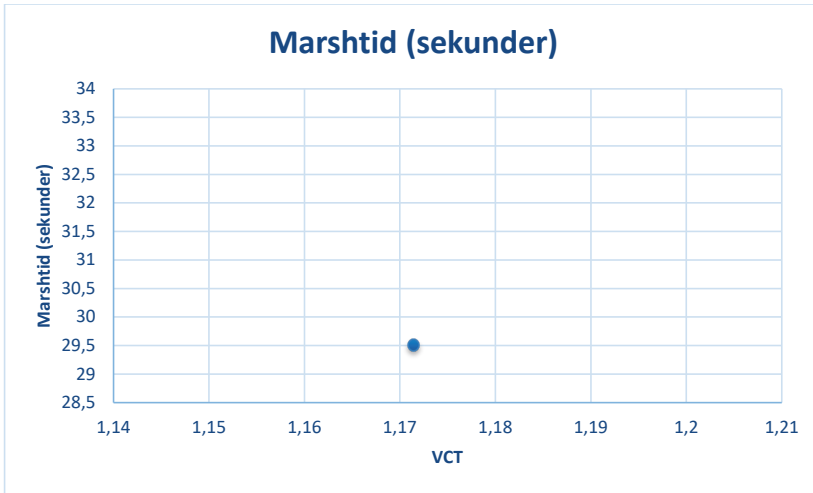
Brukens densitet varierade mellan 1430–1450 kg/m³. Den teoretiska densiteten för vct 1,2 och det valda cementet var ca 1440 kg/m³. Figur 10.21 visar samtliga resultat.



Figur 10.21. Densitet hos bruken, ”Blandning 1”, vct 1,15–1,2.

Figure 10.21. Grout density, “Mixture 1”, wcr 1.15-1.2.

Tiden för en liter bruk att passera marskonen kontrollerades ca 5 min efter blandning. Resultaten visade att marshtiden för 6 av 7 prover låg mellan 31,5 och 33,5 sekunder. I ett tillfälle var tiden något kortare, 29 sekunder. Figur 10.22 visar resultaten från mätningarna.



Figur 10.22. Marshetid för ”Blandning 1”, vct 1,15–1,2.
Figure 10.22. Marsh time for “Mixture 1”, wcr 1.15–1.2.

Resultaten från de utförda mätningarna visade, att det valda materialet uppfyllde ställda krav. Det är viktigt att påpeka att vissa modifieringar har gjorts för att åtgärda mindre avvikelser.

Under karteringarna observerades cementbruk i sprickor i väggar, tak och stufv vilket bekräftar att injekteringsmedlet minst trängt in ett avstånd motsvarande från injekteringsborrhålet till tunnelkonturen. Vid två tillfällen upptäcktes bruk i stufv, där sprickorna låg ca 2 m från botten. Det innebär en inträngningslängd på över 5 m från injekteringshålets läge för stick på 5 m. Detta tyder på att materialet har goda inträngningsegenskaper vilket är en förutsättning för att få en tät zon runt tunneln. Denna zon behöver vara minst 1-2 meter längre än längsta bulten.

Uppföljning av det totala antalet injekterade borrhål, visade färre antal bormeter i testområdet. Injekteringsinsatsernas omfattning för varje meter tunnel, kan beräknas genom att kontrollera injekterad hållängd för viss sträcka. Omfattningen beror på antal injekteringshål, hållängd och omgångar i varje sektion/skärm. Inom testområdet (67 m) har total 3108 m borrhål injekterats. Det innebär att för varje meter tunnel har man injekterat ca 46 m borrhål. Motsvarande siffra för det anslutande området i HT301N (33 m) var 50 m injekteringsborrhål vilket var ca 9 % (8,7) högre än för testområdet. Tabell 10.6 visar medelvärden på injekterad hållängd för varje uttagen tunnelmeter.

Tabell 10.6. Injekterad borrhålslängd per uttagen tunnelmeter.
Table 10.6. Grouted borehole length per excavated tunnel meter.

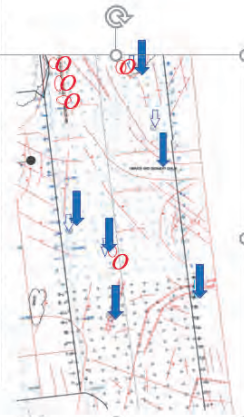
Sektion. Nr.	Injekteringshålets längd	Uttagen tunnellängd /injekterad skärm	Medelvärde injekterad hållängd /meter uttagen tunnel
	m	m	m
119/242	700	14	
256	752,4		
256	207	19	
	1659	33	50
Testområde			
119/275	682	16	
291	180		
291	720	17	
308	784	17	
325	742	17	
	3108	67	46

Droppkarteringar i testområdet (väggar och tak, båglängd ca 28 m) visade att majoriteten av dropp förekom i identifierade svaghetszoner. Läckage och läckande bultar förekom i 11 punkter var av 6 stycken i installerade bultar.

Av dessa 11 punkter låg sju stycken på vänstra sidan av tunneln och i den identifierade svaga zonen. Det totala inläckaget i tak och väggar mättes till 0,043 liter/min för 67 m tunnel. Detta motsvarade ca 0,065 l/min, 100 meter tunnel (en yta på 2800 m²) exklusive eventuella läckage från botten (c:a 18 m beredd, 1800 m²). Detta ska jämföras med maximalt tillåtet inläckage i de mest känsliga områdena, som är 2,5 liter/min och 100 meter tunnel. Dock är inte vid denna rapportens publicering mätvallar färdigställda i området så det totala inläckaget är inte känt men det låga inläckaget från droppkarteringen indikerar åtminstone en god uppnådd täthet.

De två största läckagen i testområdet, på totalt 0,036 liter (83 %), förekom i sektionerna 280 respektive 294. Dessa två punkter låg på tunnelns vänstra sida där en svagzon har identifierats. Figur 10.23 visar läckage samt deras läge på karteringsbladet.

Sektion	V. Vägg				Tak				H. Vägg				Tid (min)	Inläckage (ml)	Inläckage (liter/min)	
119342																
316			O							O	LB			75	300	0,004
315			O													0,001
313			O													0,001
307											LB			75	60	0,001
294		LB												90	1800	0,020
289											LB			40	25	0,001
288											O			180	220	0,001
280											LB			180	2840	0,016
119275																
Inläckage, tak och väggar, 119/275-342 (67m)																0,043
Inläckage, tak och väggar (liter/min och 100m tunnel)																0,065



Figur 10.23. Resultat från droppkarteringar, läckande bultar (LB), övrigt dropp (O) till vänster. Lägen på läckage visas på karteringsbladet till höger.
Figure 10.23. Results from drip mappings, leaking bolts (LB), other drip (O) to the left. The locations of leakages are shown on the mapping sheet on the right.

Kartering av läckande bultar i testområdet visade att antalet var endast sex stycken. Det motsvarade ca 0,8 % av alla installerade bultar (716 st.) i testområdet. Av dessa låg fyra stycken i område med till två svaghetszoner. I anslutande område (sektionerna 242–275) var antalet läckande bultar 14 st, motsvarande 4 % av totalt installerade bultar (349 stycken). Tabell 10.7 visar läckande bultar i olika områden inklusive inledande undersökningar i DP Norr, prognos, sektionerna 119/242–275 samt testområdet, BeFo (119/275–342).

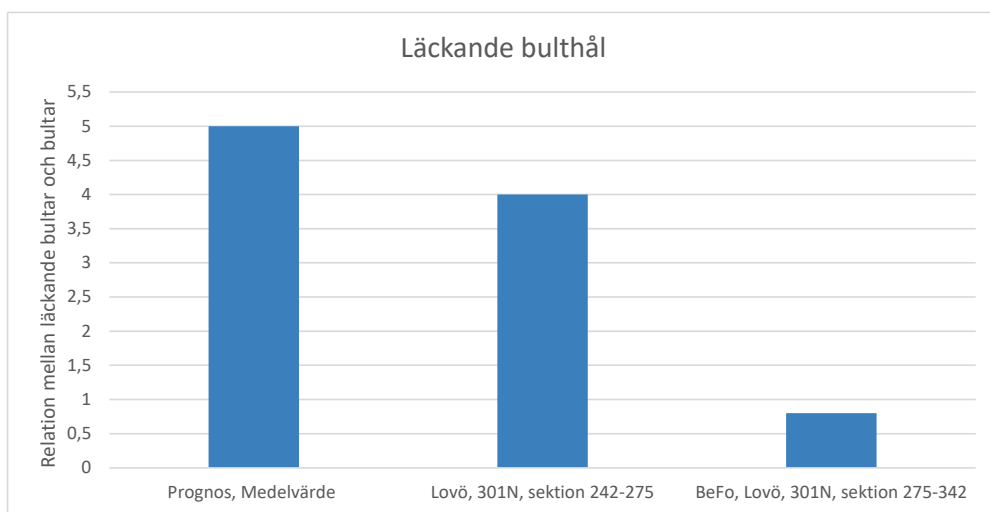
Tabell 10.7. Läckande bulthål/bultar i respektive tunnel .

Table 10.7. Percentage of leaking bolt holes/bolts in each tunnel and forecast.

Läckande bulthål/ bultar i relation till antal bultar	
%	
Inledande undersökningar, DP Norr	18
Prognos	5
301N, sektion 119/242–275	4
Testområde, 301N, sektion 275–342	0,8

Läckande bultar i testområdet var ca 80 % lägre än i det anslutande området och 84 % lägre än prognosen.

Figur 10.24 Läckande bulthål/bultar i undersökta områden i 301N samt prognos.



Figur 10.24. Läckande bulthål i relation till prognos, 301N, sektion 242-275 samt testområde/BeFo sektion 275-342.

Figure 10.24. Leaky bolt holes in relation to forecast, 301N, sections 242-275 and test area/BeFo sections 275-342.

Totalt antal läckande bultar inom analyserat område i HT301 var totalt 20 st. Av dessa förekom 6 st i testområdet och 14 st i anslutande område. Det visade sig att 11 stycken (55 %) av alla läckande bultar (20 st.) förekom i överlappen (0-6 m). Sex av de läckande bulthålen förekom inom 6-12 m från injekterad gavel och 3 stycken inom 12-18 m. Tabell 10.8 visar andelen läckande bultar i olika områden i förhållande till injekteringshål.

Tabell 10.8. Andel läckande bultar i olika delar av skärmen.
Table 10.8. Percentage of leaking bolts in different parts of the screen.

Lägen på läckande bultar, FSE 303, 301N				
Sektion	Antal läckande bultar			
	0-6 m	6-12 m	12-18 m	Summa
	st	st	st	st
119/242–275	8	4	2	14
119/275–342	3	2	1	6
Totalt	11	6	3	20
<u>Andel (%)</u>	55	30	15	100

10.12 Slutsatser från implementering

Syftet med implementering av den projekterade lösningen var att kontrollera om dessa förslag ledde till minskat antal läckande bulthål/bultar. Antalet läckande bultar i testområdet jämfördes med förekomst av läckande bultar i ett anslutande område, som var 37 m långt.

Granskning av ingenjörsgelogiska prognosen, MWD samt utförda karteringar visade att variation i geologin hade stor betydelse för förekomsten av läckage. Uppföljningen visade att största läckage andelen förekom i anslutning till identifierade svaghetszoner. Genom att placera injekteringshål i olika nivåer i förhållande till tunnelkonturen, kunde hänsyn tas till geologiska förutsättningar, vilket har resulterat i lågt inläckage.

Kontroll av utrustning samt kontinuerlig uppföljning var en annan viktig parameter som påverkade resultatet. Skydd och rengöring av nedåtriktade hål var ytterligare en faktor som påverkade både resultat samt inte minst arbetstid.

Val av material var en annan faktor som påverkade resultatet. Provtagningar av föreslagna recept visade att materialet uppfyllde ställda krav, inklusive densitet,

marshetid och hållfasthetstillväxt. Brukens goda inträngningsegenskaper har kunnat bekräftas genom observation av bruken i sprickor efter uttag av berget.

Droppkarteringar i väggar och tak indikerar ett litet inläckage i testområdet. Detta trots mindre injekteringsinsatser i form av mindre antal injekterade borrhål per meter tunnel.

Observationer under injekteringar indikerar att de skiftande sticken har fått betydelse för tätning av berget. Detta anses bero på att varierande stickriktningar kan bidra till vissa strukturer i tidigare skärmar, som inte har varit åtkomliga, med den nya metoden har träffats och därmed förbättrat möjligheten för injekteringsmedel att kunna tränga in i sprickor.

Det låga vatteninläckaget bedöms ha medfört färre antal läckande bultar. Kartering av läckande bultar i testområdet visade förekomsten av sex läckande bultar, vilket motsvarar 0,8 % av alla installerade bultar. Andelen läckande bultar var ca 80 % mindre än tidigare injekterat område, där andelen av läckande bultar var 4 %.

Lågt inläckage samt färre läckande bultar bedöms vara resultat av den projekterade lösningen, med hänsyn taget till geologin (skärmgeometri), kontroll av utrustning, val av material och noggrann uppföljning av utförandet.

Minskat läckage i tunnlar har lett till mindre behov av efterinjektering, som är betydligt mer resurskrävande jämfört med förinjektering. Framgångsrika förinjekteringar har minskat antalet läckande bultar/bulthål vilket resulterade till ökad produktivitet och därmed stora kostnadsbesparingar för projektet. Minskningen ledde även till lägre miljö- och arbetsmiljöpåverkan. Lägre materialkonsumtion samt färre arbetstimmar reducerar även riskerna för tillbud och arbetsplatsolyckor.

Projektet har även visat vikten av uppföljning och behovet av åtgärder vid eventuella avvikelser. Detta inkluderar att alla involverade medarbetare ska vara införstådda med vikten av utförandet.

Resultatet av förslagets implementering bedöms bekräfta slutsatserna från den inledande undersökningen. Huvudsaklig orsak till läckande bulthål bedöms utgöras av geologiska förutsättningar vilket kräver anpassning av projekterad lösning inklusive skärmgeometri och materialegenskaper.

11 SLUTSATSER

Projektet har visat att det är 3 faktorer som främst påverkar förekomsten av läckande bulthål:

- Bultlängd
- Geologi
- Injekteringskoncept

Längd på bultar har stor betydelse för läckage i borrhål. Längre bultar medför en ökad risk för förekomst av läckande bulthål beroende på att det passerar flera strukturer samt att bulthålen riskerar att hamna utanför injekterat område.

Geologin är den faktorn som är mest avgörande och som vi inte kan påverka. Variation i bergstruktur, sprickvidd och förekomst av sprickfyllnad är främst de parametrar som påverkar injekteringsresultatet.

Därför ska injekteringskonceptet utformas för att bemöta utmaningar från geologiska förutsättningar bland andra variation i bergstrukturen samt inträngning i sprickor.

Genom att borra i olika nivåer i förhållande till tunnelkonturen (variation i stick) kan flera strukturer passeras och därmed minska effekten av bergstrukturens variation. Val av injekteringsbrukets egenskaper, främst inträngningsförmåga och längd, ska kunna resultera i att flera finare sprickor fylls med bruk och därmed tätare strukturer.

I bilaga 1 redovisas förslag där hänsyn har tagits till dessa faktorer.

Hantering av läckande bulthål rekommenderas att utföras i följande steg enligt metodbeskrivning i bilaga 2:

- Injektering av läckande bulthål
- Omborring av injekterat bulthål
- Installation av bult i omborrat hål om det är torrt.

Att använda sig av redan injekterat läckande bulthål bedöms som ett mer effektivt sätt att hantera dessa. Detta inte minst med tanke på att sannolikheten att vi borra i ett torrt hål är stor, dvs att injekteringsmaterialet har tätat runt själva bulthålet.

Därför föreslås justering av AMA texten enligt bilaga 4.

12 REFERENSER

Teknik beskrivning Förbifart Stockholm

Kontrollprogram berg Förbifart Stockholm

Projektering av bergkonstruktioner, Publikationsnummer: 2019:062

Allmän Material Arbetsbeskrivning, AMA 10

Separation och filtrering av cementbaserat injekteringsbruk, Almir Draganovic, Håkan Stille, BeFo rapport 96

Betongprovning med svensk standard, BST Hb 12, utgåva 6

Cementinjektering i hårt berg, Magnus Eriksson, Håkan Stille 2005

Rock Grouting- Theories and application, Håkan Stille 2015

Injektering-tillämpligt av injekteringsforskning i fält, Björn Stille, Fredrik Andersson

Tillämpning av MWD vid utformning av injektering, Lars Martinsson SWECO, Fredrik Bengtsson, SWECO

Bestämning av Aitikgruvans bergmasseegenskaper med MWD teknik, Thomas Kristoffersson

Utvärdering av skillnader vid karaktärisering och klassificering av bergkvalitet, INGRID KJELLSTRÖM

Understanding the need for pre-injection from permeability measurements: What is connection? Nick Barton

Rockma drilling, hemsida

SGU:s plan för kartläggning 2018–2024

Intervjuer

Bilaga 1. FÖRSLAG INFÖR IMPLEMENTERING

Följande förslag gäller 4 injekterings-skärmar i huvudtunnel 301N och för injekteringsklass B och förtydligande texter enligt nedan.

Underlag för förslagen

FSE302 Bergtunnlar Norra Lovö

Teknisk beskrivning Berg och mark mm Handling 11.1.1

BYGGHANDLING ARBETSHANDLING 2014-06-23 (Rev I 2018-12-18), 3C070001-FSE302

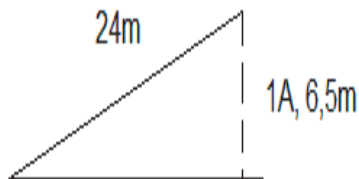
0 00 B 2A 02

CDD.11

Förinjektering –Utförandekrav

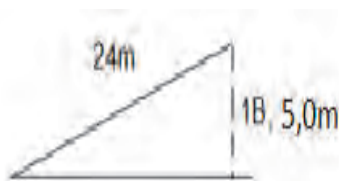
Borrning

- Borrhål ska rensas genom upprepad blåsning och spolning med borrhåll.
- Spolvattentryck ska vara minst 1 MPa och spolvattenflöde ska vara minst 25 l/min.
- Rensning ska fortgå tills rent spolvatten erhålls.
- Alla nedåtriktade hål ska borraras först med ett stick på 5 resp.6,5 m.
- Sticket får inte avvika mer än 0,5 m.
- Nedåtriktade hål ska skyddas enligt EN 12715 kap 8.2.4. Efter rensning ska nedåtriktade hål skyddas/förseglas med demonterbar packer innan ovanliggande hål i tak och vägg borraras.
- Borrning av halva skärmen (vartannat hål) borraras med ett stick på 6,5 m.
- MWD data från borrarade nedåtriktade hål samt vartannat hål i vägg och tak skickas till geologer för utvärdering.



Figur 1. Stick vid borrning av alla nedåtriktade hål samt vartannat hål i vägg och tak.
Figure 1. Stick pattern when drilling all downward holes and every other hole in the wall and ceiling.

- Resterande hål (andra halvan av skärmen) i tak och vägg borras med ett stick på 5 m.
- Stickavvikelse får inte överstiga mer än 0,5 m.



Figur 2. Stick vid borrning av vartannat hål i vägg och tak.
Figure 2. Stick pattern when drilling every other hole in the wall and ceiling.

- Minsta överlapp 6 m.
- Vid injektering av nedåtriktade hål ska alla hål fyllas från botten.
- Entreprenören ska verifiera att hålfyllningen verkligen har skett från botten av hålen och att dessa är fria från borrkax.
- Injekteringshålerna ska kontrolleras för renhet, detta kan göras genom märkning av slangen alternativt kamera.

Stoppkriterier

- Injektering påbörjas med ”Blandning 1”.
- Injektering ska pågå i 15 minuter för varje injekteringshål efter angivet injekteringsstryck uppnåtts och är stabilt.
- Angiven maxvolym avser 24 m långa injekteringshål och är exkl. hålfyllnad.
- Vid injektering av enskilt hål ska maxvolym vara 500 l.
- Om maxvolymen uppnås och flödet är mer 2 liter/min, injekteras hålet med ytterligare 200 liter.
- Alla hål som har uppnått maxvolymen ska redovisas i injekteringsprotokollet.

CDD.111

Förinjektering med cementbaserat injekteringsmedel

Injekteringsmedel ska vara av CEM I kvalité och $D_{95} < 20 \mu\text{m}$ och uppfylla kraven i SSEN 197–1. Vct ska maximalt vara 1,2. Blandningstid ska vara 3–4 min.

Tre bruksblandningar ska tas fram för att möjliggöra val av blandning för olika situationer.

Injekteringsbruk ska bestå av injekteringscement med följande egenskaper:

Blandning 1:

B_{kritisk}	$< 75 \mu\text{m}$
B_{min}	$< 45 \mu\text{m}$
Flytgräns	1–2 Pa
Viskositet	10–30 mPa·s

Blandning 2:

B_{kritisk}	$< 90 \mu\text{m}$
B_{min}	$< 45 \mu\text{m}$
Flytgräns	2–6 Pa
Viskositet	10–50 mPa·s

Blandning 3:

$B_{kritisk}$	<140 μm
B_{min}	<90 μm
Flytgräns	> 8 Pa
Viskositet	> 30 mPa·s

Kontroll av bruksegenskaper

- Filterpump
- Mudbalance
- Marshkon
- Separation och volymändring
- Muggtest/cup test

CDD.121**Efterinjektering med cementbaserat injekteringsmedel**Injektering av vattenförande bulthål

Injektering av vattenförande bulthål utförs enligt metodbeskrivning, (Bilaga 2).

Bilaga 2. METODBESKRIVNING

Åtgärder vid förekomst av läckande bulthål inom Förbifart Stockholm

Vid förekomst av läckande bulthål, skall **samtliga** läckande bulthål injekteras och **borras om** enligt följande princip:

- Läckande bulthål **förseglas** med demonterbar ("flergångs") packer med anordning för att släppa ut det samlade vattnet bakom packer.
- För injektering av läckande bulthål används ett stabilt bruk (vattenseparation <5%) med "**Bruksblandning 1**", **med CEM I kvalitet, max vct 1,2 och en maximal kornstorlek $D_{95} < 20 \mu\text{m}$** .

Utförande

- Vid utförandet används endast demonterbar packer.
- Vattnet bakom packer ska släppas ut strax innan pumpning av cementbruket påbörjas.
- Hål med samband ska injekteras samtidigt. Detta möjliggörs t.ex. genom användning av y-rör eller likvärdig utrustning. I undantagsfall eller vid förhållanden med ett stort antal sambandshål, ska injektering utföras så snart en pump är ledigt.
- Minsta injekteringstid enl. TB ska hållas i alla bulthål
- Sektionsnummer och lägen (tak, vägg) på injekterade bulthål ska anges för varje enskilt bulthål för att säkerställa uppföljning av åtgärderna.
- Hål, där bruksåtgången blir mindre än halvvolymen, behandlas enl. TB, CDC.14.
- Efter utfört injekteringsarbete och efter att bruket uppnått tillräcklig hållfasthet att kunna borra i, demonteras packer och hålen borras om inför installation av bult.
- Vid eventuellt vattenläckage i hålet noteras detta och hålet behandlas enligt gällande handlingar.
- Utförda arbeten dokumenteras och eventuella avvikelser rapporteras. Dokumentation av bruksegenskaper ska följas upp vid varje injekteringstillfälle och eventuella avvikelser rapporteras och en åtgärdsplan upprättas innan nästa injektering påbörjas.

Bilaga 3. FILMNING AV INJEKTERINGSHÅL FSE303 301N NORRA LOVÖ

Inledning

I samband med implementering av förslag från BeFo projekt 398 bestämdes att ett antal injekteringshål filmas. Detta för att få information om sprickor samt att inspektera rengöring av hålen. Vid kamerafilming valdes 17 hål belägna i tak, anfang, vägg samt botten. Enligt Befo-förslaget skulle alla nedåtriktade hål skyddas innan borring av ovanliggande injekteringshål påbörjas. De inspekterade nedåtriktade hålen var inte skyddade. Inspektionskamera IK730 användes och filmningen har gjorts med två olika dimensioner på kameran. Detta arbete har utförts av Hassan Alaridi, Rickard Dahlström (Trafikverket) och Hossein Khodaverdian på Abeis.

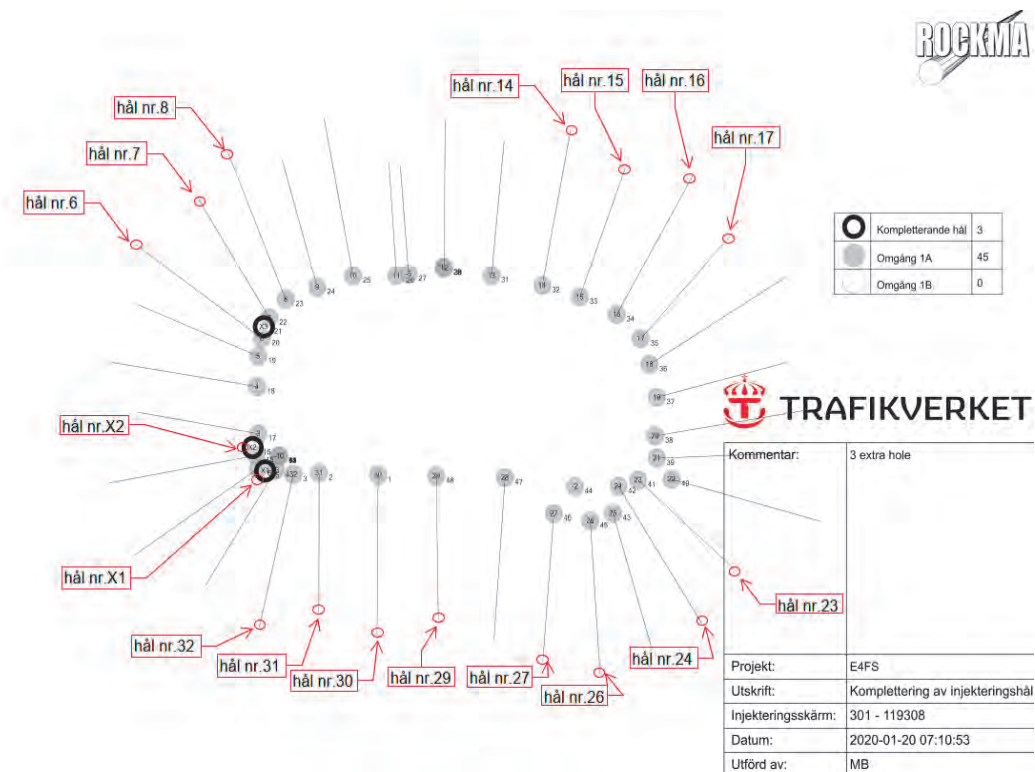
Syfte

Filmning av injekteringshål kan ge information om sprickor och närvaron av eventuella föroreningar (ex. borrhax) i hålen. Syftet med denna inspektion var att få information om eventuella vattenförande sprickor samt renligheten i hålen. Det skulle ge information om hålen rengörs och skyddas enligt angivna instruktioner.

Inspektionsområde

Filmningen utfördes på projekt FSE303 Norra Lovö. Hålen som filmades var i HT301N, samma tunnelrör som BEFO projektet utförs på. Hålen filmades i sektion 119/308.

Hålen valdes i tak, anfang, vägg, nedåtriktade hål samt ett vattenförande. Figur 1 visar lägen för hål som filmades under inspektionen.



Figur 1. Position av filmade hål, 301N sektion 119/308.
Figure 1. Position of filmed holes, 301N section 119/308.

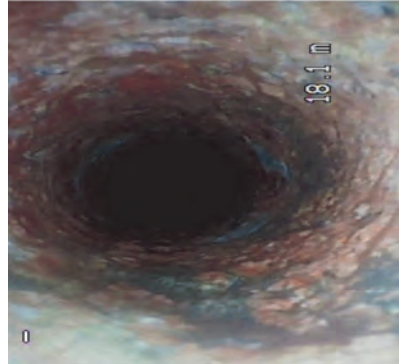
Granskning av filmerna

Granskningen gav en del information om sprickigheten i borrhålen. I vissa hål kunde man se stora håligheter i berget. Figur 2 (hål nr 30) och Figur 3 (hål nr 14) visar sprickor i injekteringshålen. Hål nr 14 är från ett vattenförande hål.



(Foto: Hassan)

Figur 2. Hål nr 30, sprickor.
Figure 2. Hole no 30, cracks.



Figur 3. Hål nr.14, vattenförande injekteringshål.
Figure 3. Hole no 1,4 waterboring grout hole.

I nedåtriktade hålen så ser man borrkax i vissa hål. Figur 4 (hål nr. 23) och Figur 5 (hål nr. 24) visar borrkax i två nedåtriktade injekteringshål.



(Foto: Hassan)

Figur 4. Hål nr 23, borrkax i nedåtriktat hål.
Figure 4. Hole No. 23, drill cuttings in downward hole



Figur 5. Hål nr 24, borrkax i nedåtriktat hål.
Figure 5. Hole No. 23, drill cuttings in downward hole

Sammanfattning

Det man ser i uppåtriktade hål är framförallt sprickor som orienterar sig i olika riktningar. Vi fick även information om *lägen* där vi har större håligheter i injekteringshålen.

Rengöring och skydd av nedåtriktade hål är två viktiga faktorer som påverkar resultaten av injekteringsarbetena. I vissa av de nedåtriktade hålen syntes tydligt att hålen inte var tillräckligt rena.

Bilaga 4. FÖRSLAG TILL AMA-TEXT

Hantering av läckande bulthål

Läckande bulthål avser borrhål med inläckage större eller lika med 1 droppe per minut.

Läckande bulthål ska omedelbart efter borring förseglas med demonterbar packer med anordning för att släppa ut det samlade vattnet bakom packer inför injektering.

Läckande bulthål ska injekteras med cementbaserat bruk. Efter utförd injektering ska borrhålet borraras om och ny bult installeras.

Injektering av läckande bulthål ska utföras med ett cementbaserat injekteringsmedel av CEM I kvalitet. Injekteringsmedel ska vara stabilt med vattenseparation < 5 %
Cementbruket ska ha, ett maximalt vattencement tal på 1,2 och en maximal kornstorlek $D_{95} < 20 \mu\text{m}$. Injekteringsmedelsblandning ska passera 300 ml med filterpump och filtervidd 90 μm .

Vid injektering av borrhål får temperaturen på berget under brukets härdningstid inte understiga 2 grader.



Box 55545
SE-102 04 Stockholm

info@befoonline.org • www.befoonline.org
Besöksadress: Sturegatan 11, Stockholm

ISSN 1104-1773