Hvordan tenker man i Sverige med henblikk på injeksjon i 2021?

Thomas Dalmalm
Trafikverket

Thomas Dalmalm

1992 Civil Engineering, Chalmers University

1992-2007 NCC AB, geotechnical engineering

2004 Ph.D. Soil and Rock mechanics (grouting), KTH

2007-2021 Swedish Transport Administration

Chairman of the board, BeFo, Swedish Rock Engineering Research Association

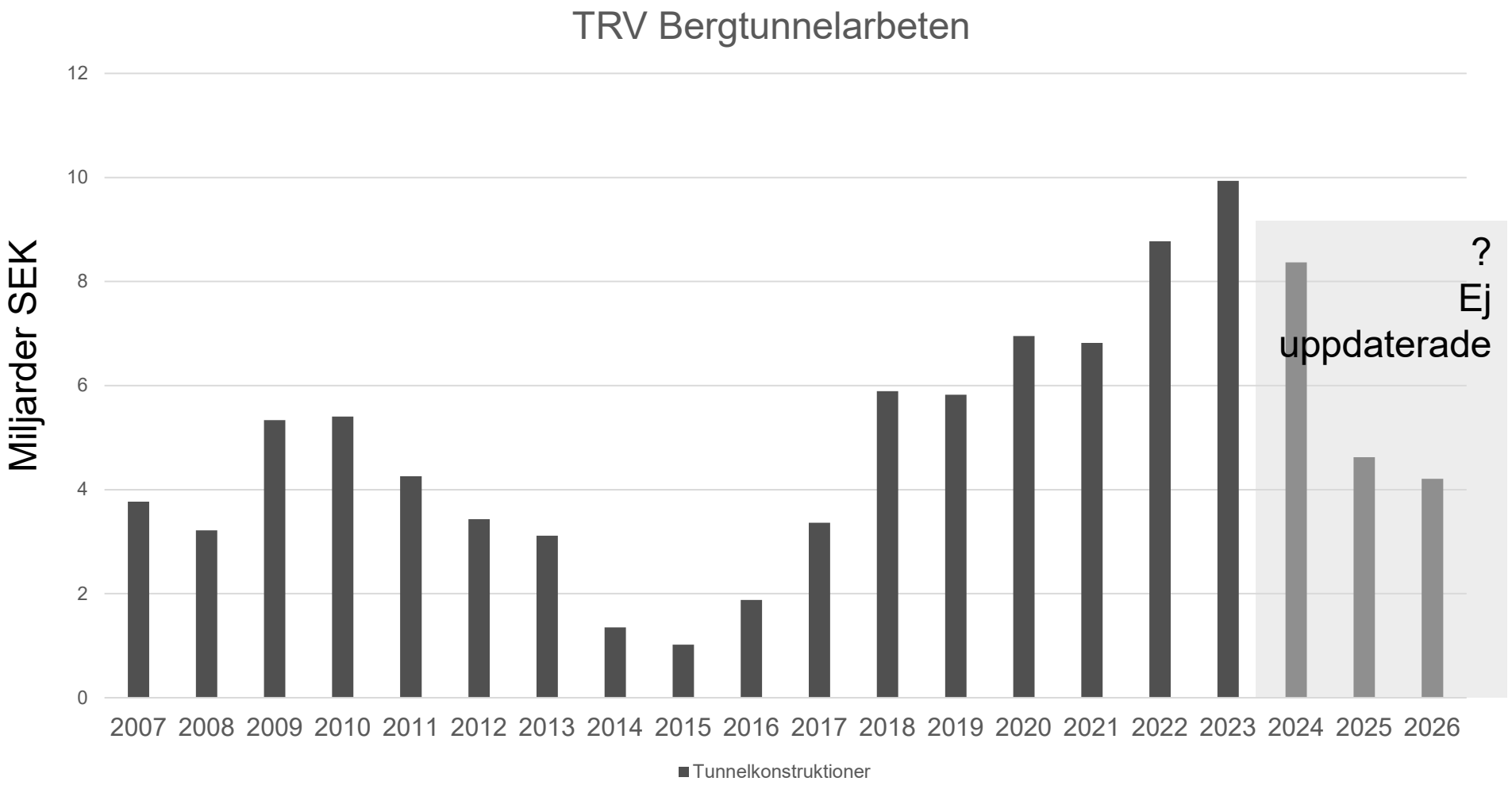
Chairman of the board of the Organizing Committee NGS2022, Nordic grouting symposium

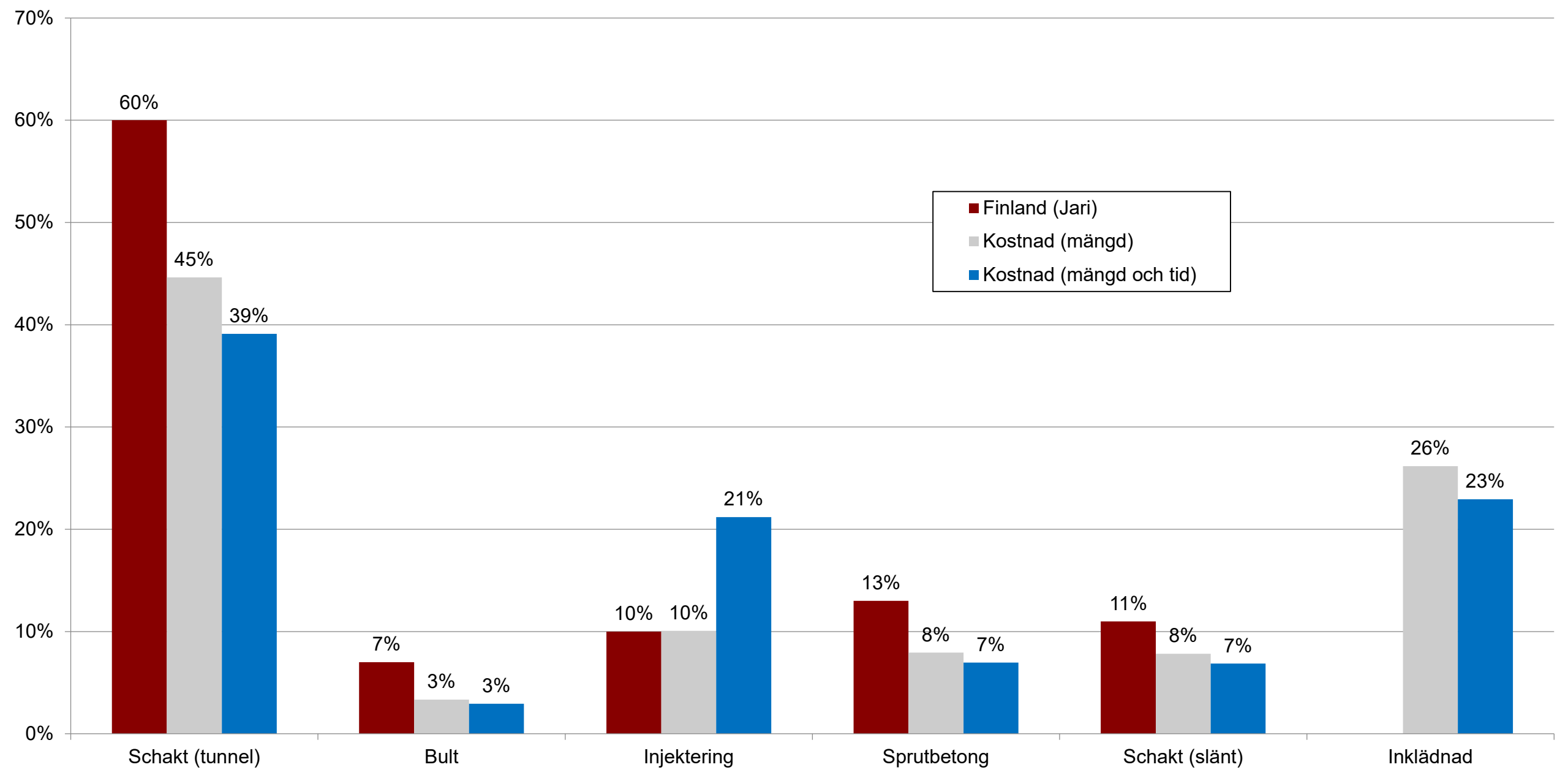
Responsible for Trafikverkets regulations for Tunnels, TRVINFRA 00233

Member of the working group for Contractual practices ITA WG3

Agenda

1. Hur mycket pengar lägger vi på Injektering
2. Nya regelverk och handböcker
3. Vad behöver utvecklas
4. Pågående och kommande injekteringsarbeten
5. Inläckagemätning i tunnel och uppföljning av injekteringsresultat
6. Förinjekteringskoncept
7. Uppföljning av injektering
8. Högre eller lägre tryck
9. Förinjektering med keminjektering
10. Slutsatser


TRV Bergtunnelarbeten
Miljarder SEK
12
10
8
6
4
2
0
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022
2023
2024
2025
2026
?
Ej
uppdaterade
Tunnelkonstruktioner


70%
60%
50%
40%
30%
20%
10%
0%
60%
45%
39%
7%
3%
3%
10%
10%
21%
13%
8%
7%
11%
8%
7%
26%
23%
Finland (Jari)
Kostnad (mängd)
Kostnad (mängd och tid)
Schakt (tunnel)
Bult
Injektering
Sprutbetong
Schakt (slänt)
Inklädnad

Nytt regelverk för Tunnelbyggande publicerat 2021

- Berg- och Betongtunnlar
- Administrativa krav som styr förhållandet mellan Trafikverket och dess Leverantörer
- Miljödom
- Bergförstärkning
- Injektering
- Tunnelsäkerhet

TRVINFRA-00233 Tunnelbyggande

Nya och förändrade krav i korthet

1. Språkförbättringar
2. Uppdatering av styrande författningar från Transportstyrelsen (TSFS) och Boverket (BFS)
3. Byggherrevalen har tagits bort. Vissa är omskrivna till krav, vissa till råd, andra kommer att inarbetats i mallar för projektspecifikation
4. Förtydligande i kapitlet om Allmänna krav (Administrativa rutiner, vad utförs i olika skeden)
5. Dimensioneringen styrs av inspektionsförutsättningarna (inspektions-och underhållsklass 1 och 2)
6. Brandskyddsdimensioneringen är situationsanpassad (brandskyddskategori 1 och 2)
7. Reviderade exponerings- och korrosivitetsklasser
8. Skyddszon kring tunnel
9. Fysisk säkerhet för tunnel
10. Uppdatering av definitioner, bland annat har förtydligats att begreppet ”Tunnel” även inkluderar de utrymmen och anordningar som behövs för att bedriva trafik
11. Nya formuleringar/krav från arbetet med Teknisk systemstandard för höghastighetsbanor (TSS)

Puben

Trafikverkets regelverk finns i Puben
www.puben.trafikverket.se

Sök i Trafikverkets infrastrukturregelverk

Utökad sök | 00233 | Sök

Visar 1 dokument

Observera att de krav som finns i dessa kravdokument blir gällande mot extern avtalspart först när de åberopats i kontrakt.

Resultat per sida: 50

TRVINFRA-00233 Tunnelbyggande

Publicerat: 2021-01-11

2021-01-11 2 TMALL 1053 Kommunicera förändring i dokument tillhörande Trafikverkets infrastrukturregelverk 2.0 TRVINFRA-**00233** Tunnelbyggande Nedanstående ... TRVINFRA-**00233** Tunnelbyggande 4 Nedan angivna berörs på något sätt av ändringen i kravdokumentet. ... Kontroll beskrivs i AMA (material, utförande och kontroll) 2020-11-25 18 TRVINFRA-**00233** Tunnelbyggande Slopade krav TRVINFRA-**00233**

Projektering av Bergkonstruktioner

Uppdatering påbörjad okt 2021

- Val av inklädnad för tunnel
- Typsektioner för vägtunnel
- Injektering
- Explosionslaster i tunnel

https://trafikverket.ineko.se/se/projektering-av-bergkonstruktioner-2

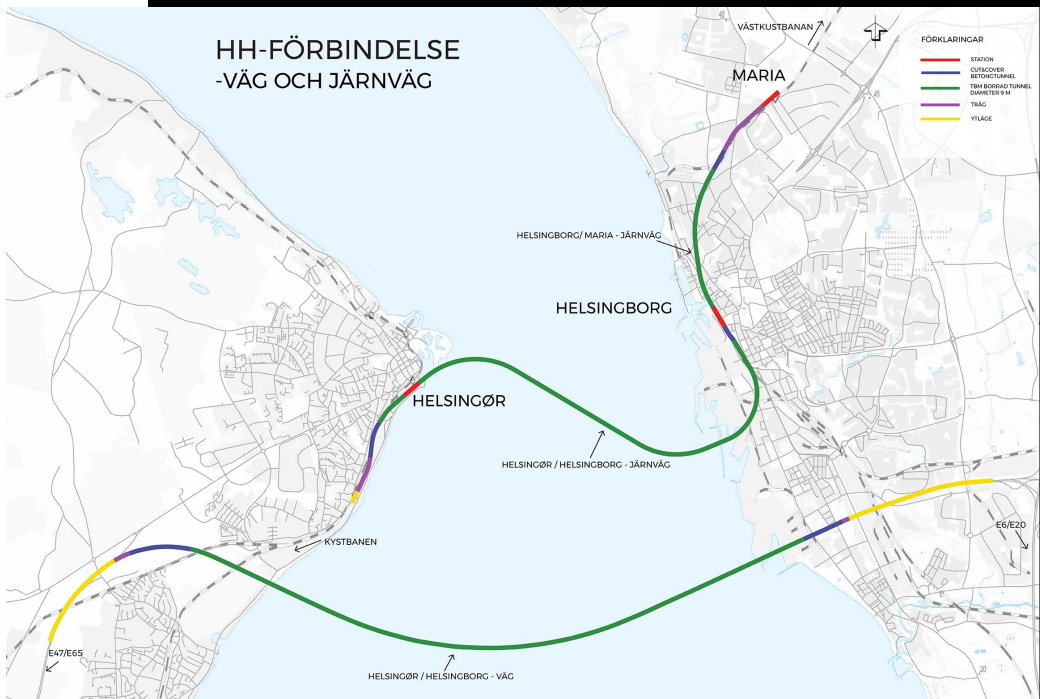
Pågående injekteringsarbeten

- Förbifart Stockholm
- Norrbotniabanan (Ersmarkstunneln)
- Västlänken
- Varbergstunneln
- Hallsberg-Degerön

Kommande injekteringsarbeten

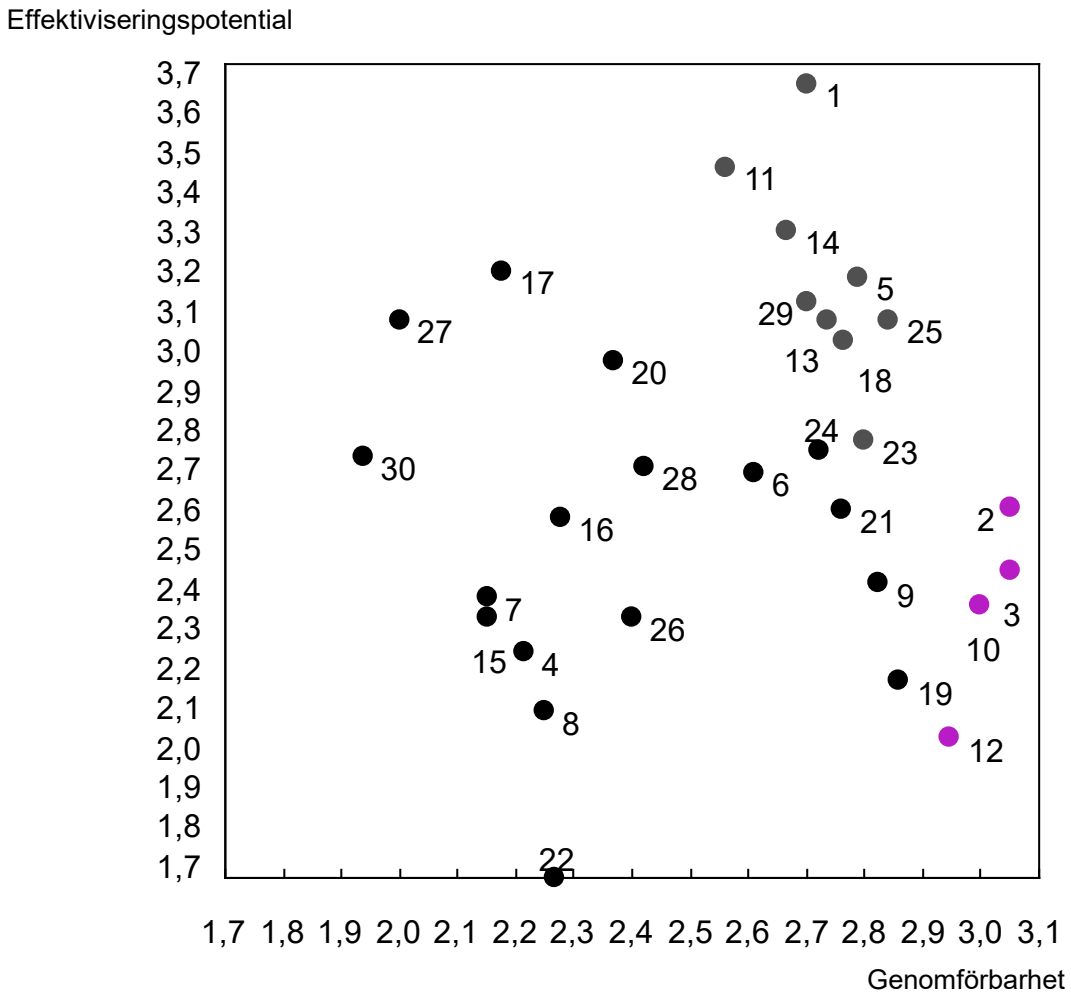
- Ny generation järnväg
  - Ostlänken
  - Göteborg-Borås
  - Hässleholm-Lund

- Tvärförbindelse Södertörn, Stockholm
- Mälarbanan (undermarksstation), Stockholm
- Slussar, Trollhättan
- Väg- och Järnvägstunnlar, Helsingborg-Helsingör



Utvärdering av effektiviseringspotential och genomförbarhet - 2012

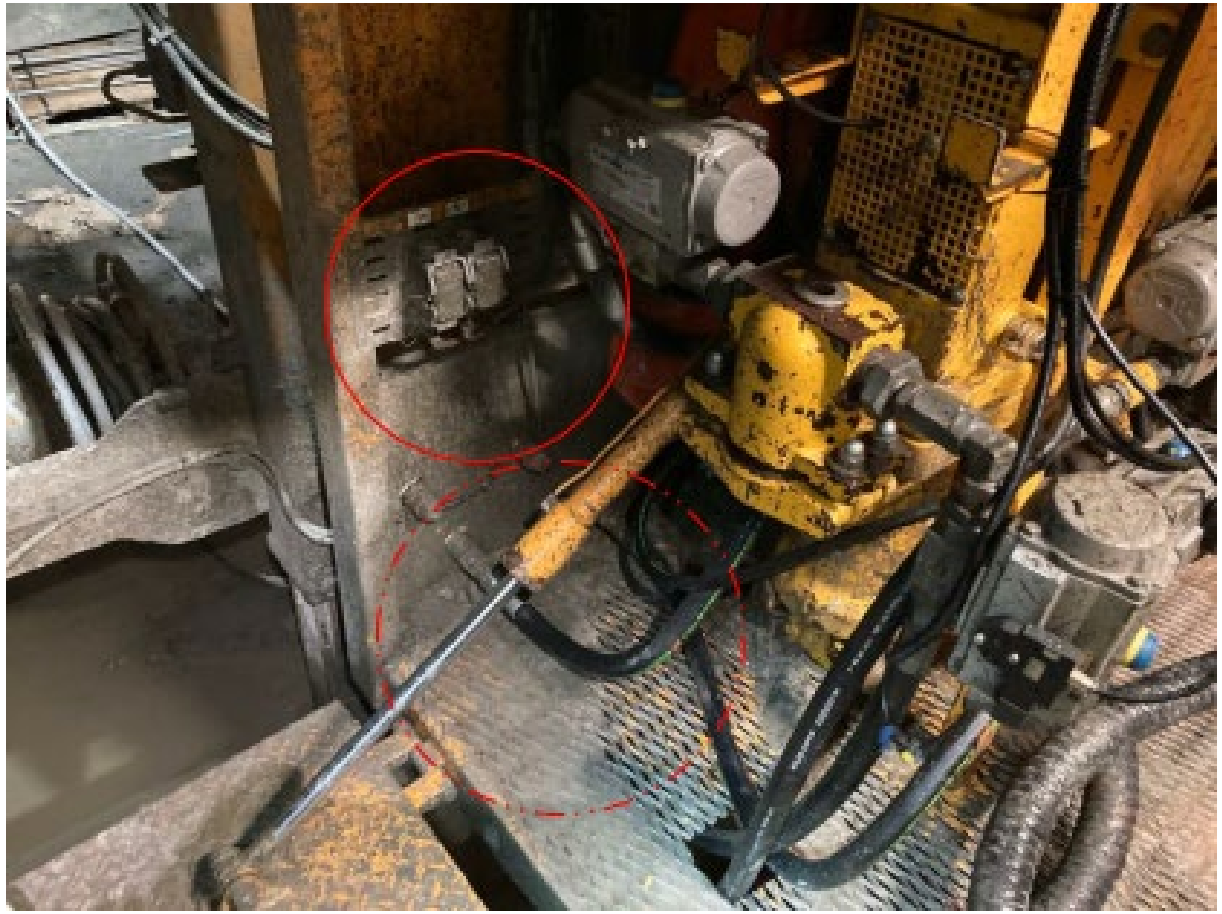
Vi har börjat att titta på om Geotechnical baseline report skulle kunna användas



Möjliga projektmål

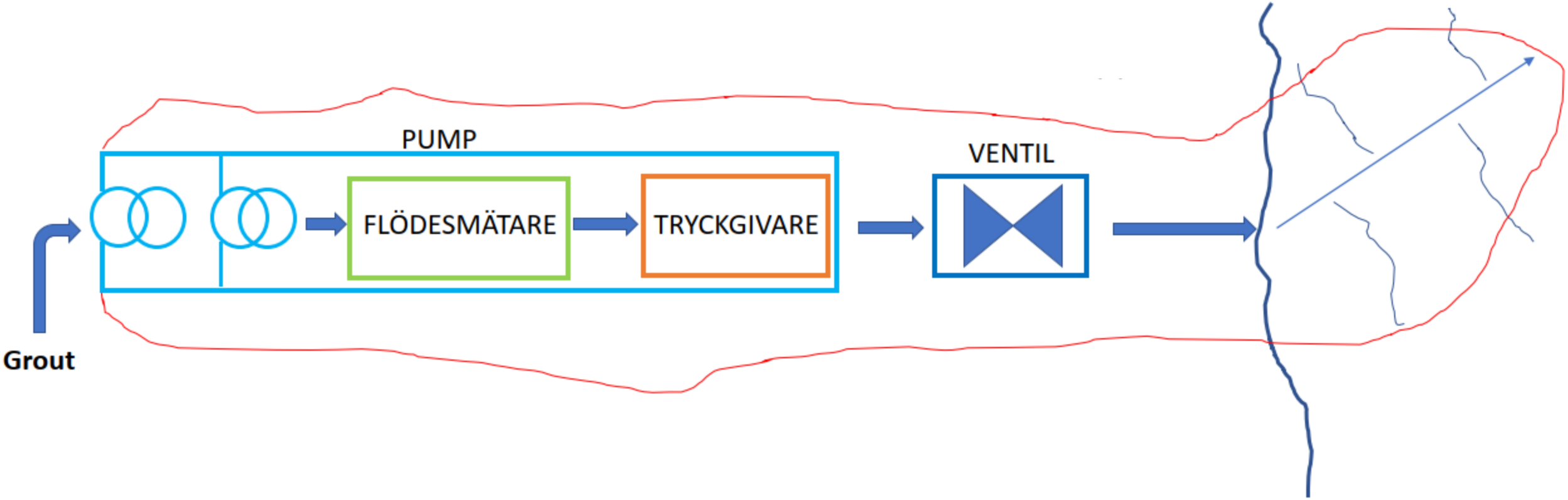
1) Medveten hantering av osäkerheter (uncertainties)
2) Inga överstarka konstruktioner
3) Inga för stora berguttag
4) Reducera överklaganden och överprövningar
5) **Sundare upphandling och reglering (bidding and compensation)**
6) **Injektering med rätt incitament**
7) Ökad innovationsbenägenhet
8) Mängdrabatt TRV tillgodo
9) Minskat underhåll genom minskad skadezon
10) Återanvända bergmassor
11) Minskad drift- och underhållskostnad
12) Rätt kvalitet bultar
13) Relevanta förundersökningar
14) Enhetligt koncept för injektering
15) Verifierad metod och utrustning för täthetskontroll
16) Effektivt val mellan för- och efterinjektering
17) Optimering: vatten- och frostsäkring
18) Standardiserade dränlösningar
19) Rätt dokumentation under byggskedet
20) Rätt krav och kravuppfyllelse
21) Effektivt informationsflöde
22) Rätt balans mellan funktion och estetik
23) Kompetens och system för uppföljning etablerat
24) Överskådligt och stringent regelverk
25) Fler standardiserade konstruktionslösningar
26) Förenklad planering med hänsyn till säkerhet
27) Industriell tunnelbyggnadsprocess med systematiserad erfarenhetsåterföring
28) Fler standardiserade processer
29) Byggbara lösningar
30) Kortare projekttid genom tystare borrning

TRAFIKVERKET



Following up the real grouting equipment in field

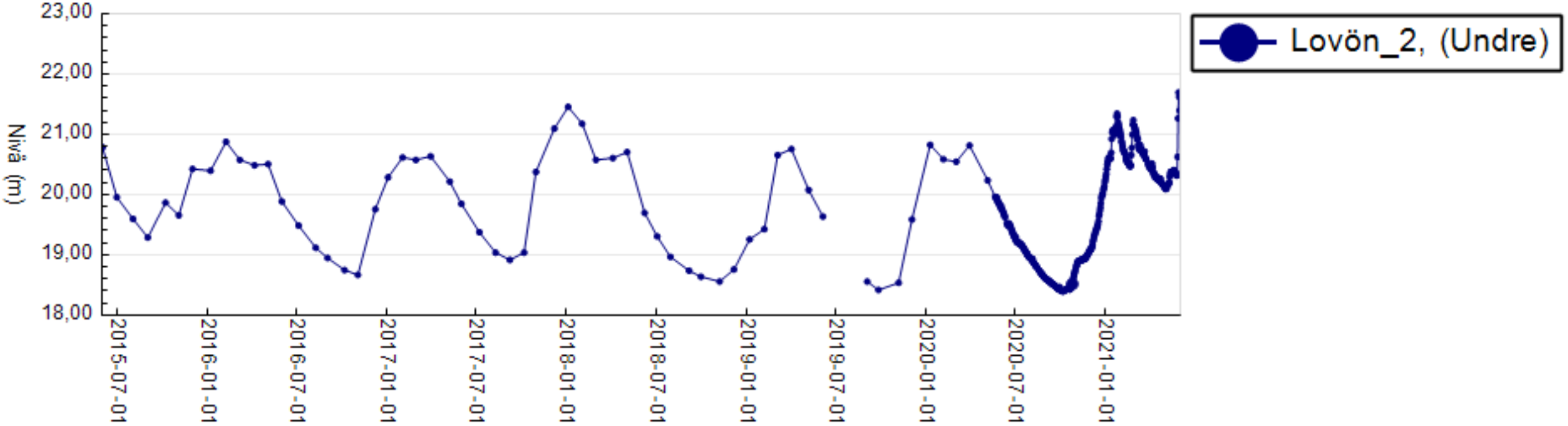
- Modified equipment



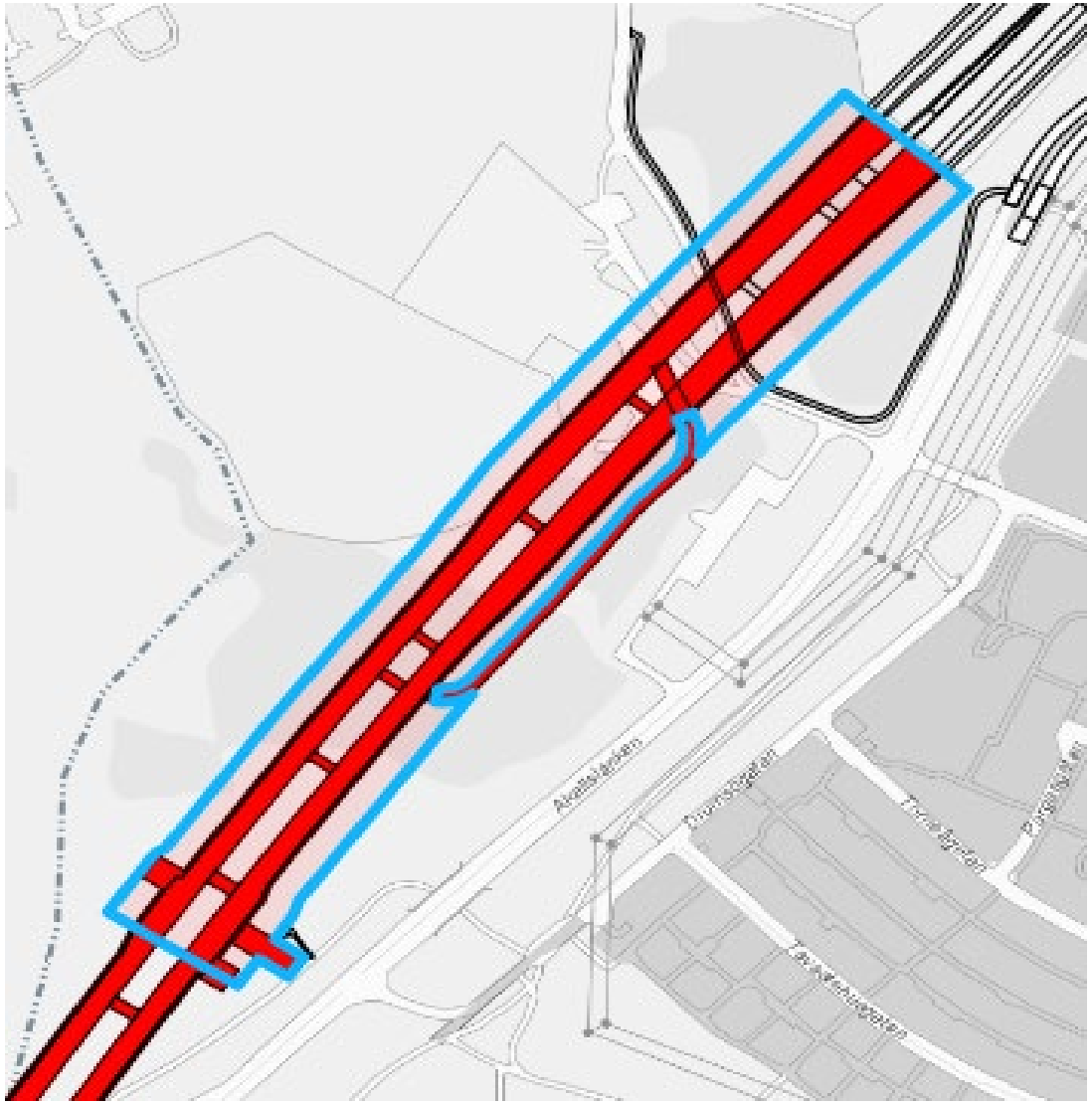
Inläckage mätning i tunnel och uppföljning av injekteringsresultat

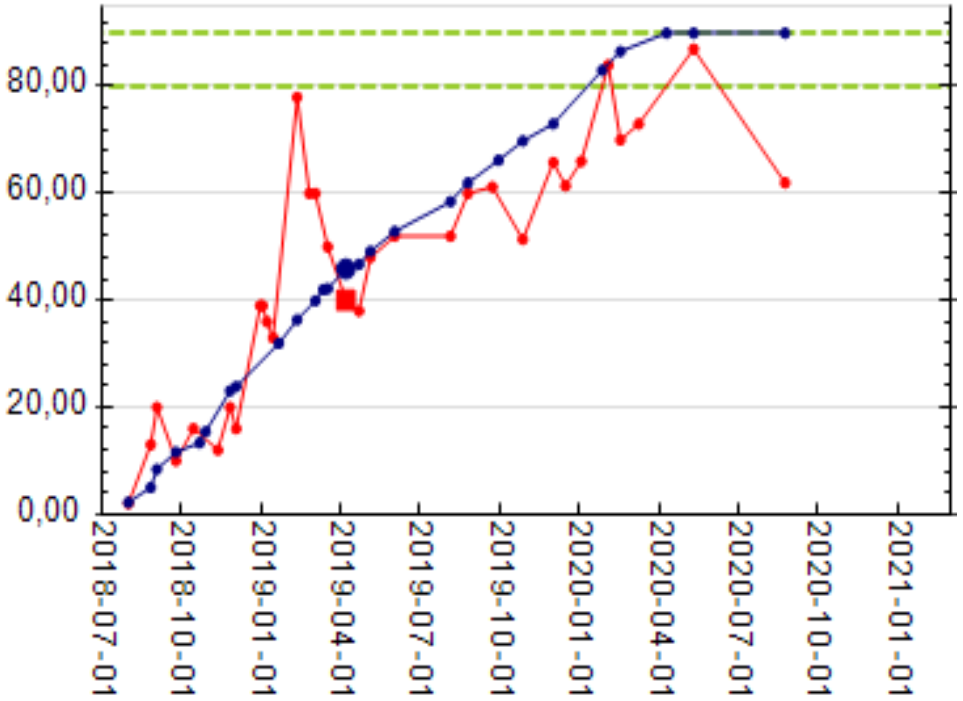
Vem är ansvarig för mätningen?

Referens mätning grundvattenrör – 6 år

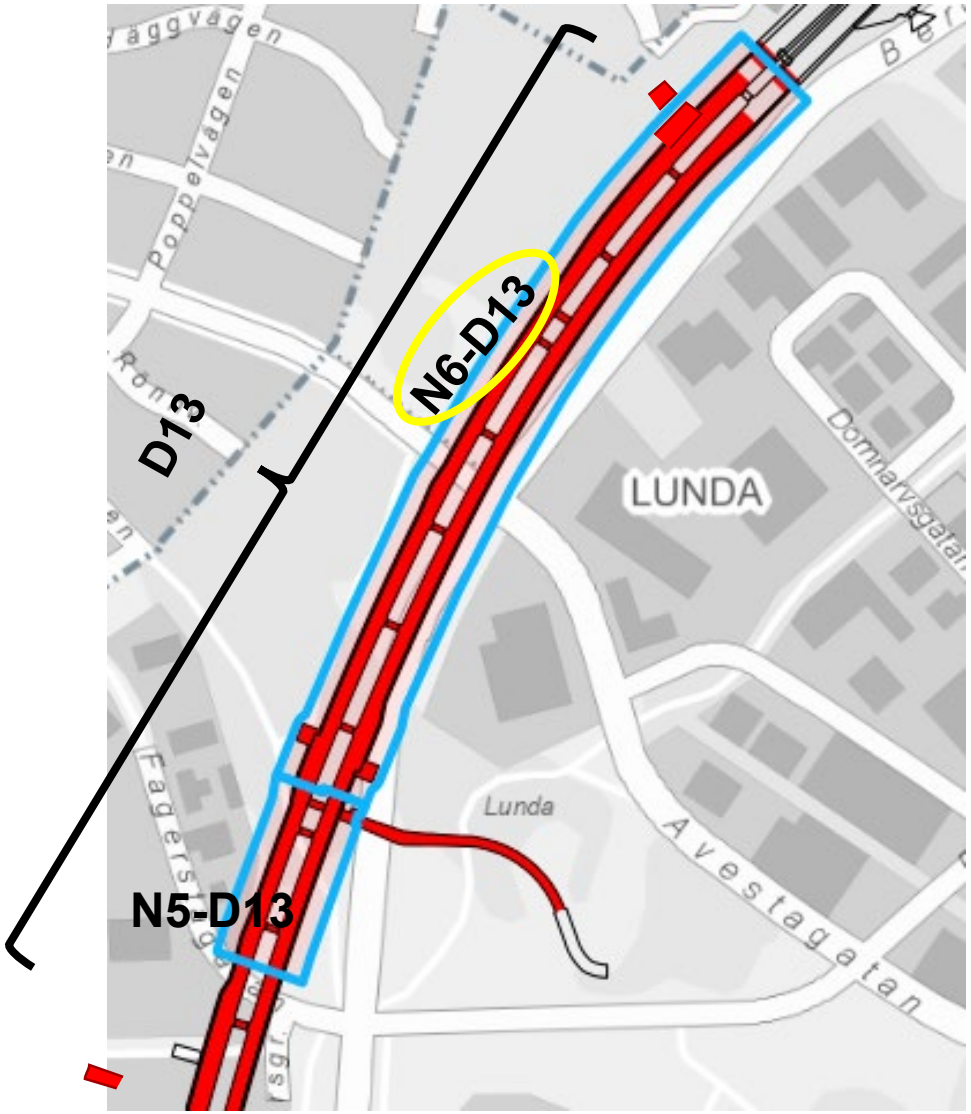


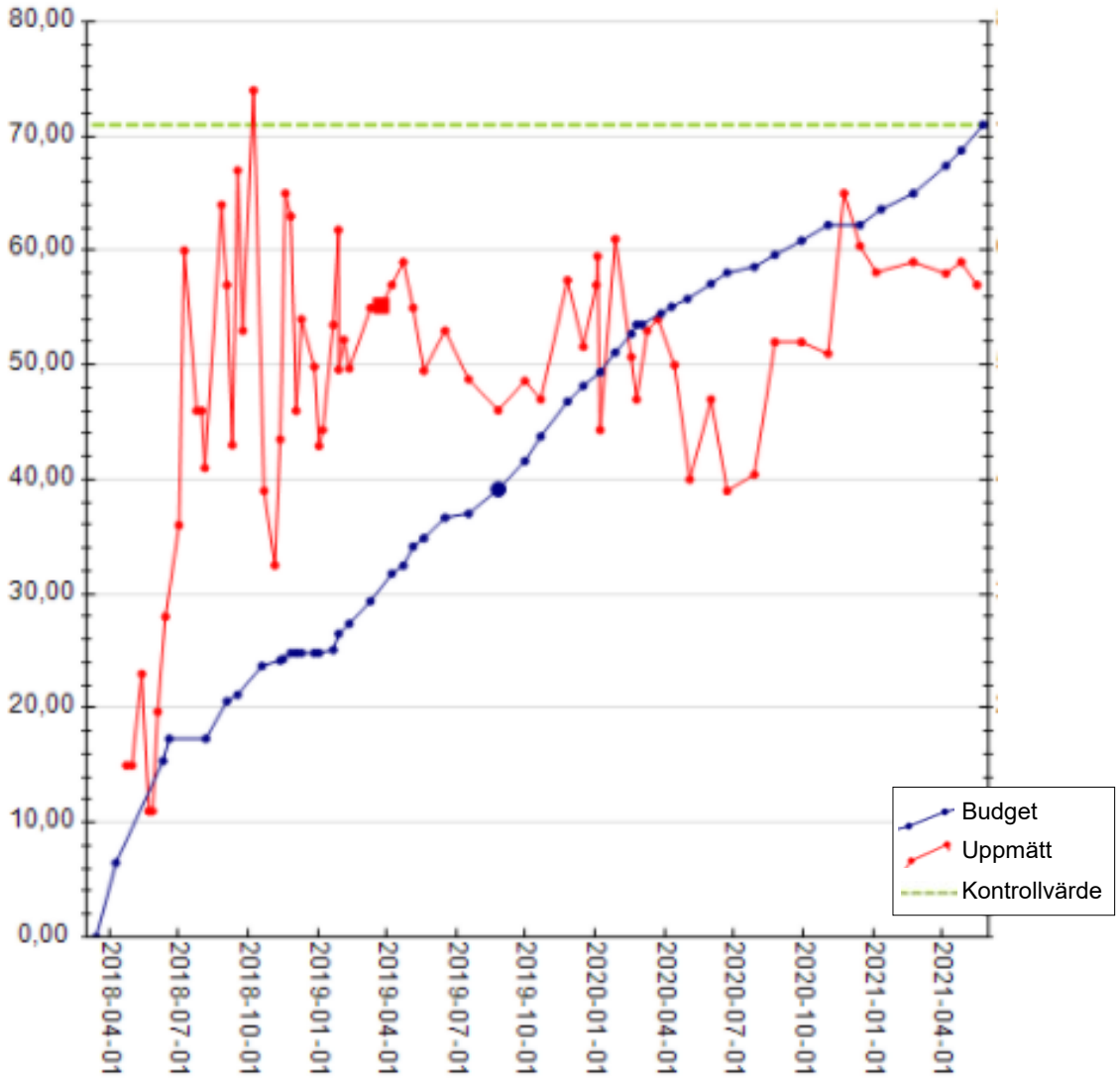
Summerat inflöde för delområden





Summerat inflöde för delområden





Förinjekteringskoncept för Förbifart Stockholm

55 km tunnel, area 75-225m^2, inläckagekrav ~3 lit/minut, 100m

Ett förinjekteringskoncept med 3 klasser användes ursprungligen vid bygget av Förbifart Stockholm.

A Täta områden, 1 omgång med ½ av hålen

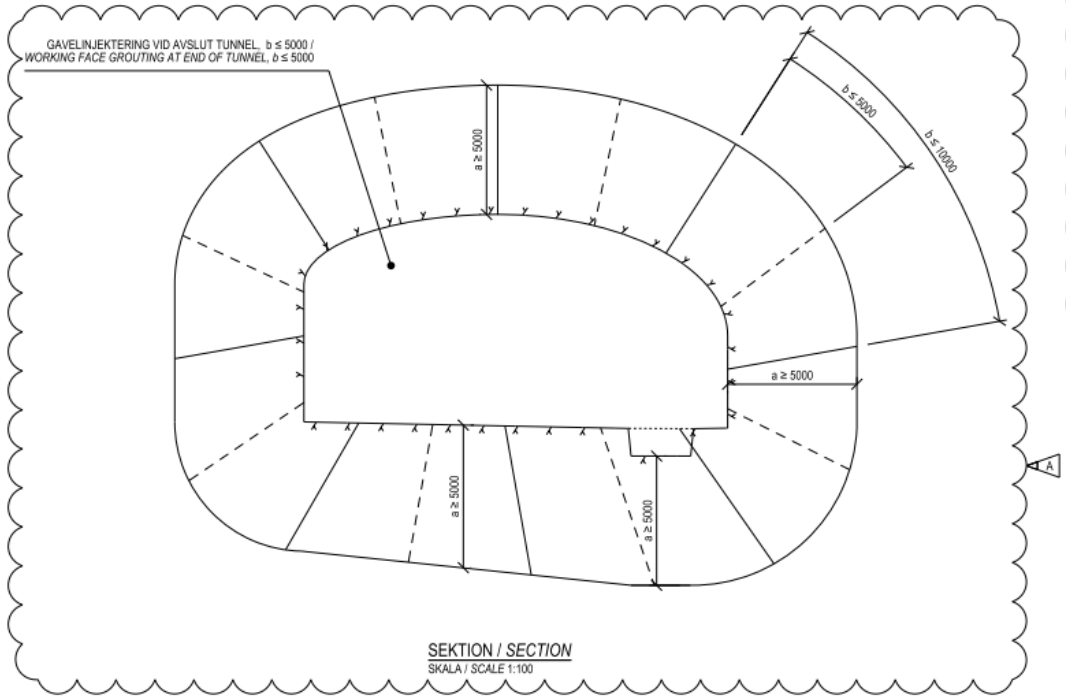
B Normala områden, 1-2 omgångar med 1/1 av hålen

C Svåra områden, 2 omgångar med 1/1 av hålen

Hur blev det I praktiken

- Södra delarna — ABC
- Mellan delarna (Lovö) — ABC, ABC4
- Norra delarna — ABC, C++, SZ, C2, B2C2, ABC-3, ABC-4, ABC-4 sea passage, PUR, Acrylic gel

ABC
3 klasser



SEKTION / *SECTION*
SKALA / *SCALE* 1:100

LEGEND

- THEORETICAL ROCK CONTOUR
- THEORETICAL ROCK CONTOUR, BEFORE BLASTING OF DETAIL EXCAVATION
- GROUTING HOLES ROUND 1A
- GROUTING HOLES ROUND 1B

a = DISTANCE FROM BORE HOLE END TO THEORETICAL ROCK CONTOUR
b = DISTANCE BETWEEN TWO BORE HOLE ENDS
c = LENGTH OF GROUTING HOLE
d = OVERLAP

INSTRUCTIONS

WORK PROCESS:
1. DRILLING OF GROUTING HOLES 1A WITH MWD.
2. MWD TO THR CLIENT.
3. DRILLING OF GROUTING HOLES 1B.
4. DECISION FROM THE CLIENT BASED ON MWD AND/ OR WATER LOSS MEASUREMENTS ABOUT COMPLEMENTARY DRILLING AND GROUTING.
5. GROUTING.

WORKING FACE GROUTING AT HEADING FRONT TO BE PERFORMED IN THE END OF THE TUNNEL.

IN GENERAL, GROUTING TO BE PERFORMED IN ACCORDANCE WITH TECHNICAL SPECIFICATION. THE LAYOUT OF THE GROUTING HOLES ARE SCHEMATIC.

REFERENCES

FÖRKLARINGAR

- TEORETISK TUNNELKONTUR
- TEORETISK TUNNELKONTUR, INNAN SPRÄNGNING AV DETALJSCHAKT
- INJEKTERINGSHÅL OMGÅNG 1A
- INJEKTERINGSHÅL OMGÅNG 1B

a = AVSTÅND FRÅN BORRHÅLSSPETS TILL TEORETISK TUNNELKONTUR
b = HÅLSPETSAVSTÅND
c = INJEKTERINGSHÅLSLÄNGD
d = ÖVERLAPP

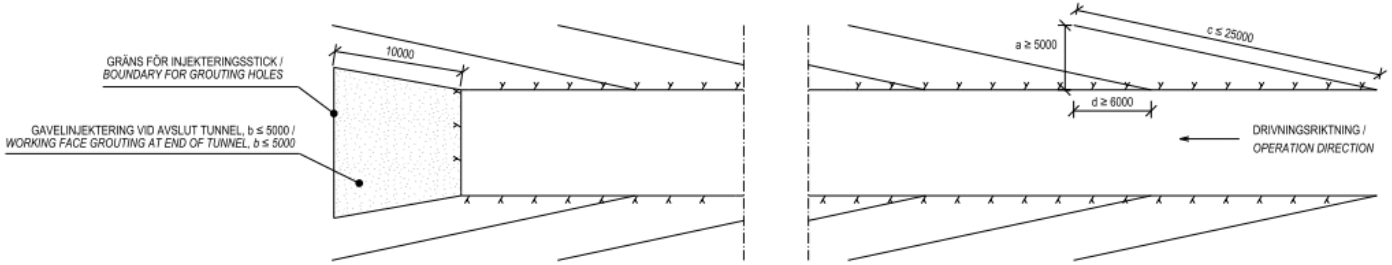
FÖRESKRIFTER

ARBETSGÅNG:
1. BORRNING INJEKTERINGSHÅL 1A MED MWD.
2. MWD TILL BESTÄLLAREN.
3. BORRNING INJEKTERINGSHÅL 1B.
4. BESLUT FRÅN BESTÄLLAREN BASERAT PÅ MWD OCH/ ELLER VATTENFÖRLUSTMÄTNING OM KOMPLETTERANDE BORRNING OCH INJEKTERING.
5. INJEKTERING.

GAVELINJEKTERING I TUNNELFRONT UTFÖRS VID AVSLUT AV TUNNEL.

I ÖVRIGT SKALL INJEKTERING UTFÖRAS ENLIGT TEKNISK BESKRIVNING. RITNING ANGER SCHEMATISKT ANSÄTTNINGSLÄGE FÖR INJEKTERINGSHÅL.

HÄNVISNINGAR



PROFIL / *PROFILE*
SKALA / *SCALE* 1:200

2-2213-1
Rev A, GODTAGEN FÖR BYGGANDE ENLIGT BESLUTSBREV GP103 MED DATUM 2016-10-03 OCH ARENDENUMMER TRVAT 2013/746.

REF	ANT	ÄNDRINGEN ÄRDER	DESIK	DATUM	KONTSTAT	VI GARENLANNER
A	2	Enligt Ändrings-PM 002-FSK02	JVn	2014-06-23		

BYGGHANDLING | ARBETSHANDLING

TRAFIKVERKET

E4 FÖRBIFART STOCKHOLM

GEMENSAMT
GEMENSAMT

URS

TYPINJEKTERING
INJEKTERINGSKLASS A

SEKTION OCH PROFIL

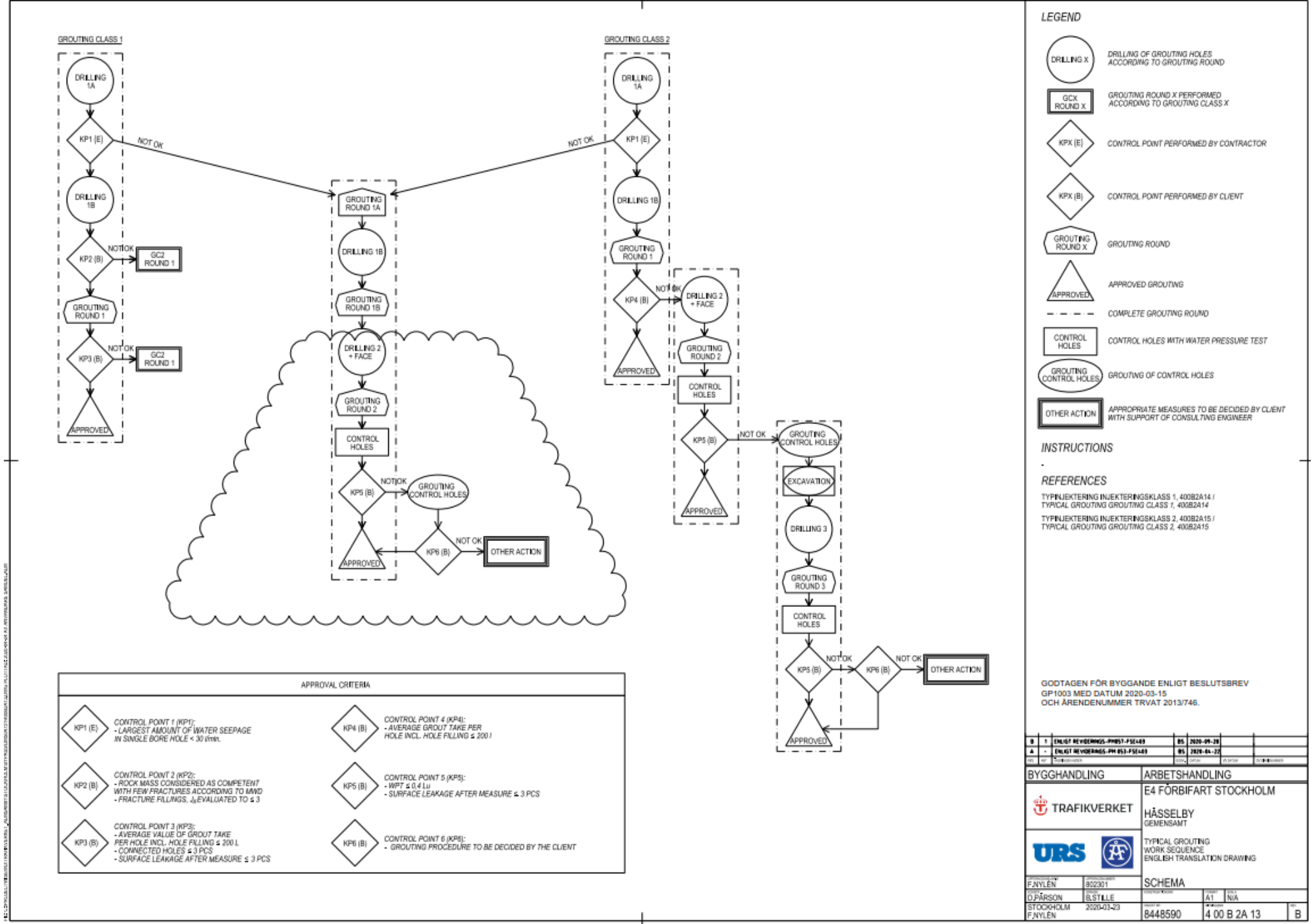
H.ÖHRNELL	802301			
H.SHAMOON	Y.CHANG		A1	1:100
STOCKHOLM H.ÖHRNELL	2013-09-06	8448590	0 00 B 2A 01	A.2

1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 m

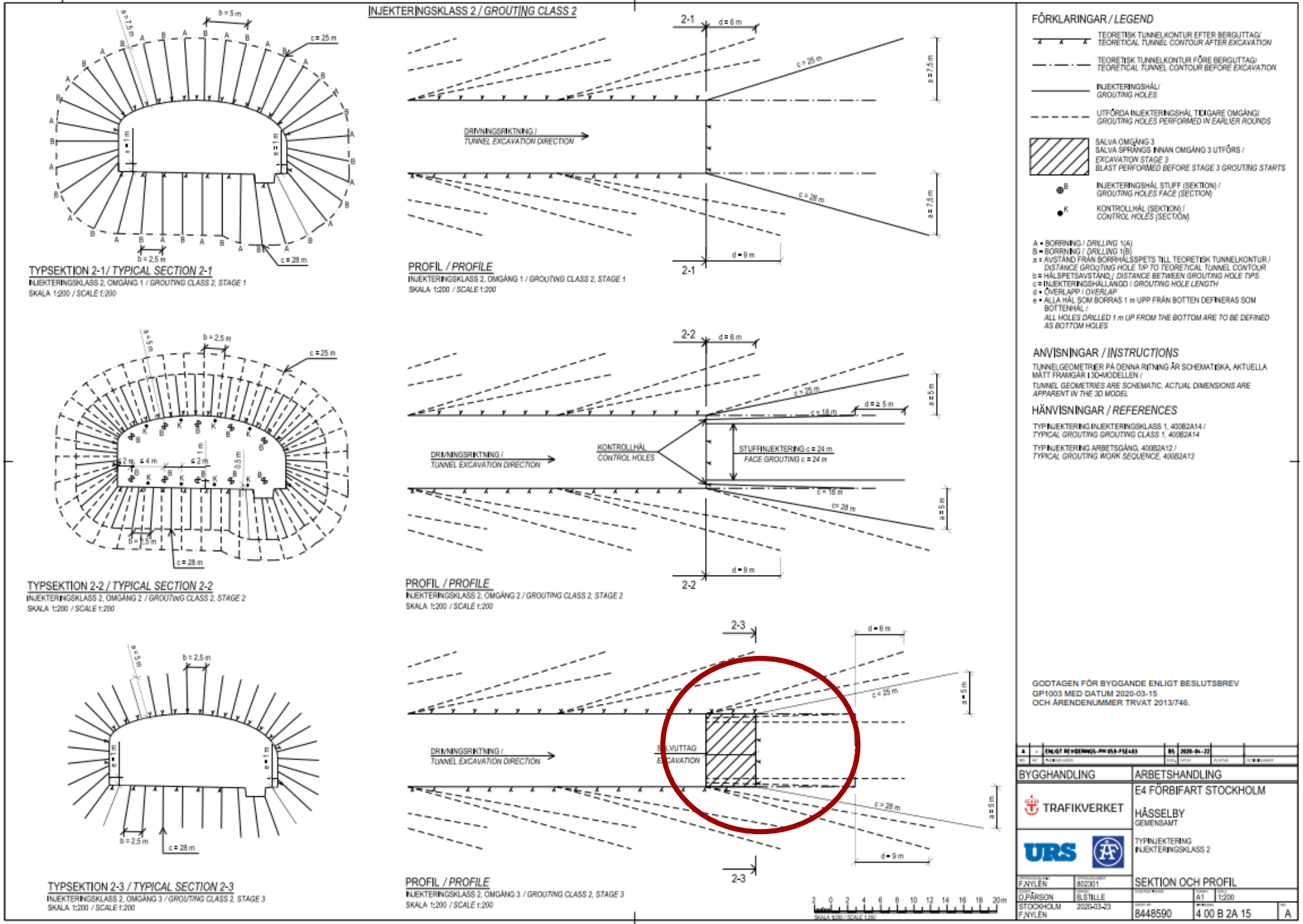
ABC-4

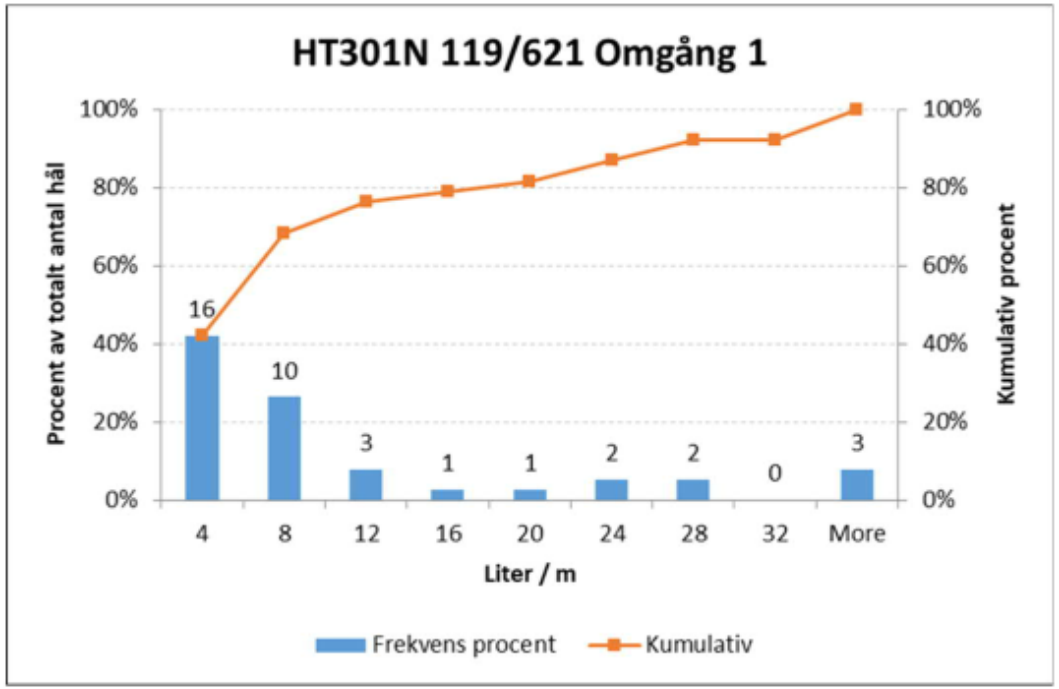
2 klasser

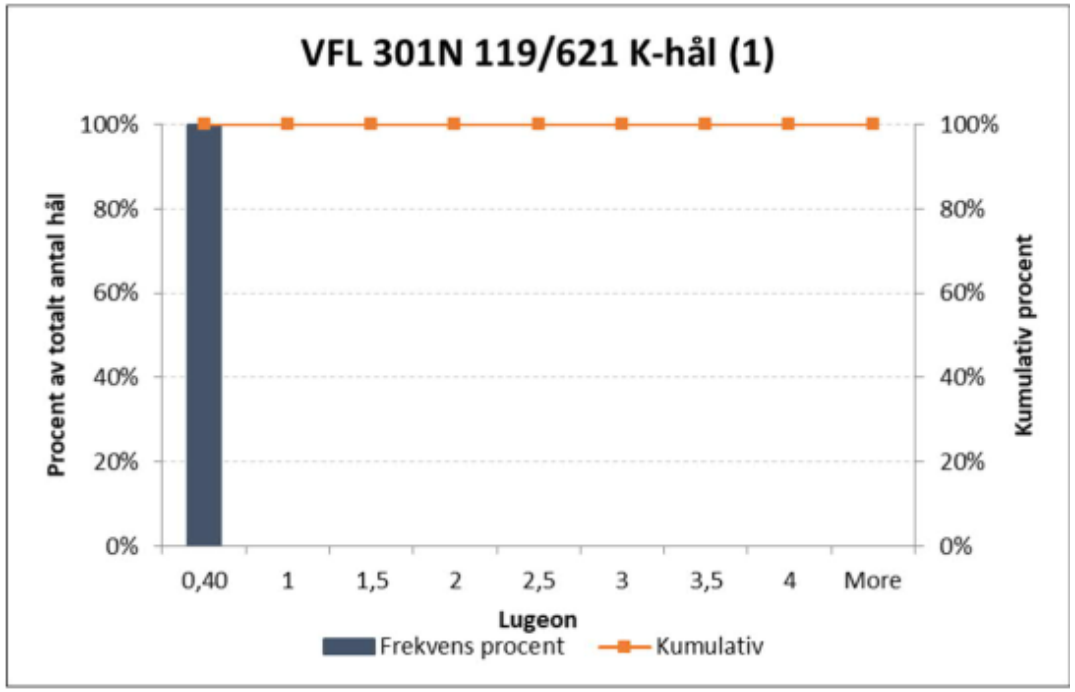
KP-1
KP-2
KP-3
KP-4
KP-5
KP-6

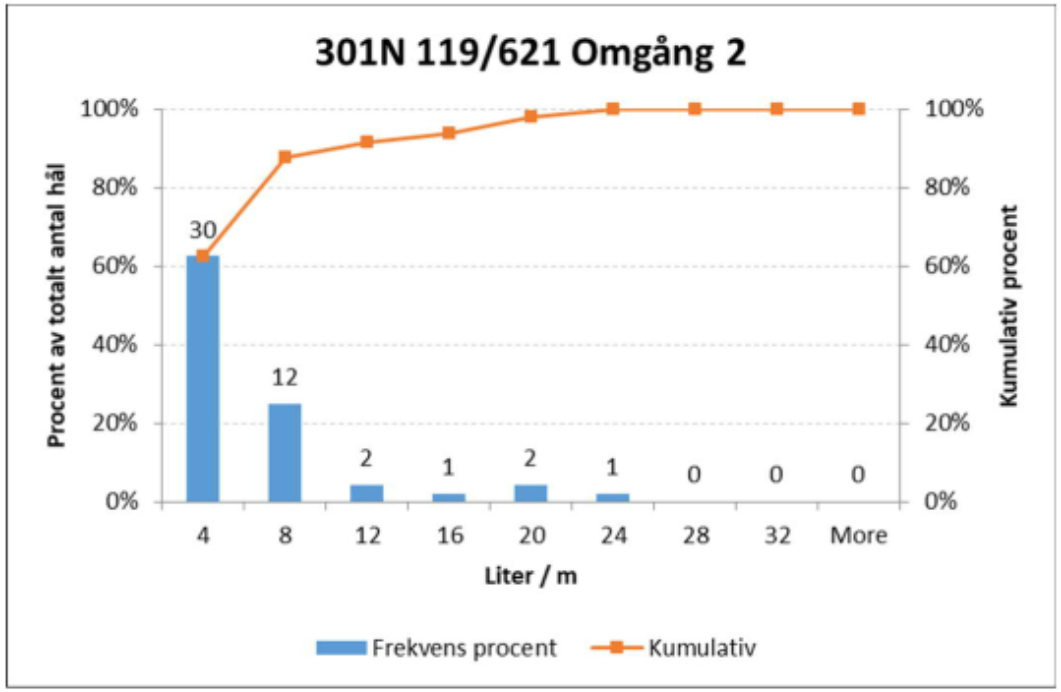


ABC-4

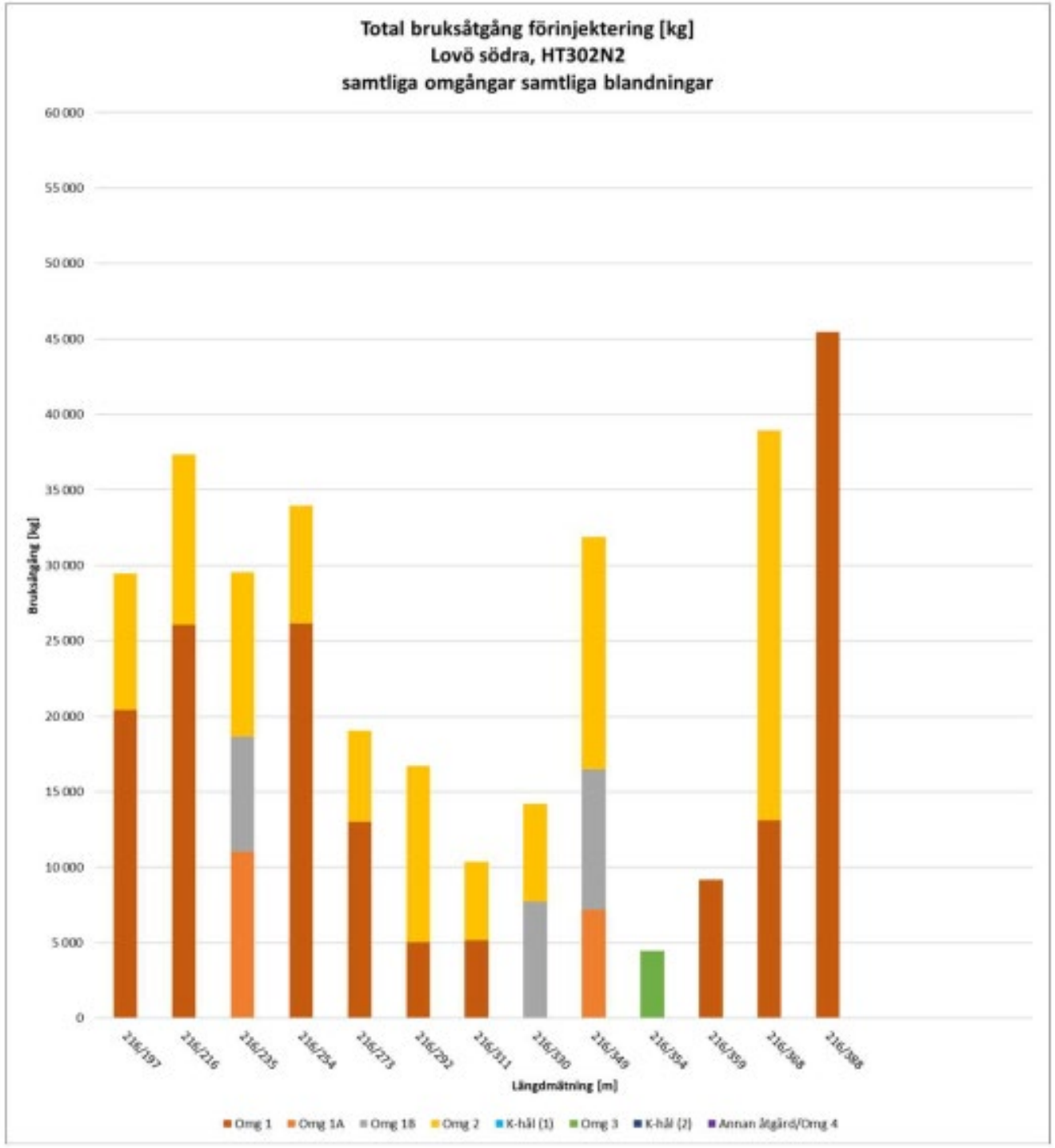

INJEKTERINGSKLASS 2 / GROUTING CLASS 2
TYPSEKTION 2-1 / TYPICAL SECTION 2-1
INJEKTERINGSKLASS 2, OMGÅNG 1 / GROUTING CLASS 2, STAGE 1
SKALA 1:200 / SCALE 1:200
PROFIL / PROFILE
INJEKTERINGSKLASS 2, OMGÅNG 1 / GROUTING CLASS 2, STAGE 1
SKALA 1:200 / SCALE 1:200
TYPSEKTION 2-2 / TYPICAL SECTION 2-2
INJEKTERINGSKLASS 2, OMGÅNG 2 / GROUTING CLASS 2, STAGE 2
SKALA 1:200 / SCALE 1:200
PROFIL / PROFILE
INJEKTERINGSKLASS 2, OMGÅNG 2 / GROUTING CLASS 2, STAGE 2
SKALA 1:200 / SCALE 1:200
TYPSEKTION 2-3 / TYPICAL SECTION 2-3
INJEKTERINGSKLASS 2, OMGÅNG 3 / GROUTING CLASS 2, STAGE 3
SKALA 1:200 / SCALE 1:200
PROFIL / PROFILE
INJEKTERINGSKLASS 2, OMGÅNG 3 / GROUTING CLASS 2, STAGE 3
SKALA 1:200 / SCALE 1:200
DRIVNINGSRIKTNING / TUNNEL EXCAVATION DIRECTION
KONTROLLHÅL / CONTROL HOLES
STUFFINJEKTERING c = 24 m / FACE GROUTING c = 24 m
SELVUTTAG / EXCAVATION
FÖRKLARINGAR / LEGEND
TEORETISK TUNNELKONTUR EFTER BERGUTTAG / TEORETICAL TUNNEL CONTOUR AFTER EXCAVATION
TEORETISK TUNNELKONTUR FÖRE BERGUTTAG / TEORETICAL TUNNEL CONTOUR BEFORE EXCAVATION
INJEKTERINGSHÅL / GROUTING HOLES
UTFÖRDA INJEKTERINGSHÅL TIDIGARE OMGÅNG / GROUTING HOLES PERFORMED IN EARLIER ROUNDS
SALVA OMGÅNG 3
SALVA SPRÄNGS INNAN OMGÅNG 3 UTFÖRS / EXCAVATION STAGE 3
BLAST PERFORMED BEFORE STAGE 3 GROUTING STARTS
INJEKTERINGSHÅL STUFF (SEKTION) / GROUTING HOLES FACE (SECTION)
KONTROLLHÅL (SEKTION) / CONTROL HOLES (SECTION)
A = BORRNING / DRILLING 1(A)
B = BORRNING / DRILLING 1(B)
a = AVSTÅND FRÅN BORRHÅLSSPETS TILL TEORETISK TUNNELKONTUR / DISTANCE GROUTING HOLE TIP TO TEORETICAL TUNNEL CONTOUR
b = HÅLSPETSAVSTÅND / DISTANCE BETWEEN GROUTING HOLE TIPS
c = INJEKTERINGSHÅLLÄNGD / GROUTING HOLE LENGTH
d = ÖVERLAPP / OVERLAP
e = ALLA HÅL SOM BORRAS 1 m UPP FRÅN BOTTEN DEFINERAS SOM BOTTENHÅL / ALL HOLES DRILLED 1 m UP FROM THE BOTTOM ARE TO BE DEFINED AS BOTTOM HOLES
ANVISNINGAR / INSTRUCTIONS
TUNNELGEOMETRIER PÅ DENNA RITNING ÄR SCHEMATISKA, AKTUELLA MÅTT FRAMGÅR I 3D-MODELLEN / TUNNEL GEOMETRIES ARE SCHEMATIC, ACTUAL DIMENSIONS ARE APPARENT IN THE 3D MODEL
HÄNVISNINGAR / REFERENCES
TYPINJEKTERING INJEKTERINGSKLASS 1, 400B2A14 / TYPICAL GROUTING GROUTING CLASS 1, 400B2A14
TYPINJEKTERING ARBETSGÅNG, 400B2A12 / TYPICAL GROUTING WORK SEQUENCE, 400B2A13
GODTAGEN FÖR BYGGANDE ENLIGT BESLUTSBREV GP1003 MED DATUM 2020-03-15 OCH ÄRENDENUMMER TRVAT 2013/746.
BYGGHANDLING
ARBETSHANDLING
TRAFIKVERKET
E4 FÖRBIFART STOCKHOLM
HÄSSELBY
GEMENSAMT
URS
TYPINJEKTERING INJEKTERINGSKLASS 2
SEKTION OCH PROFIL
F.NYLÉN
802301
D.PÅRSON
BLSTILLE
STOCKHOLM
2020-03-23
F.NYLÉN
A1
1:200
8448590
4 00 B 2A 15
A





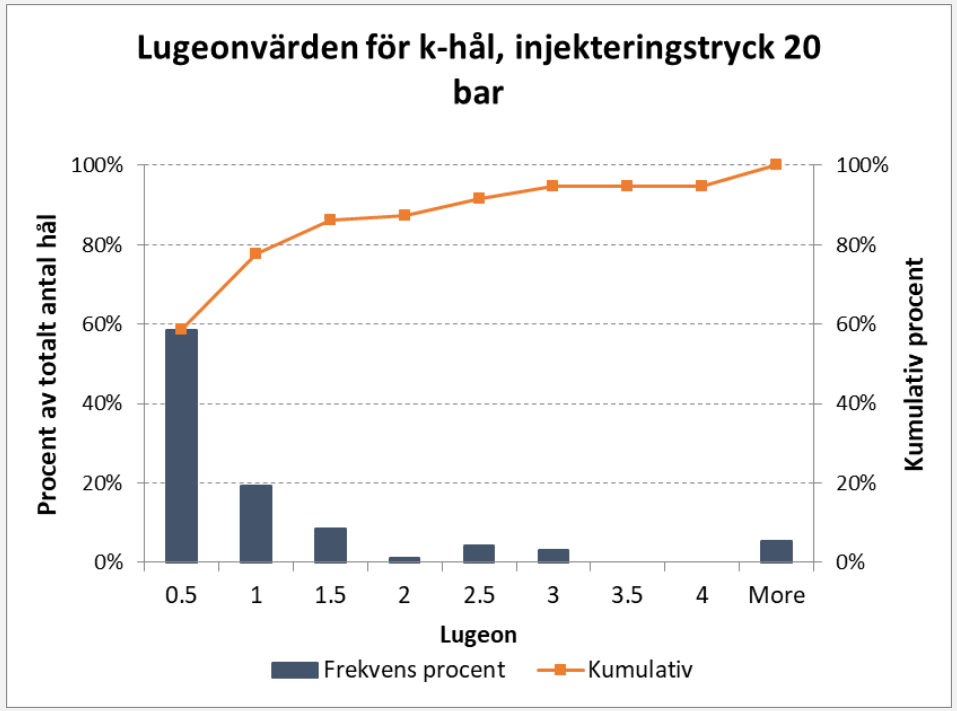


Uppföljning av injektering

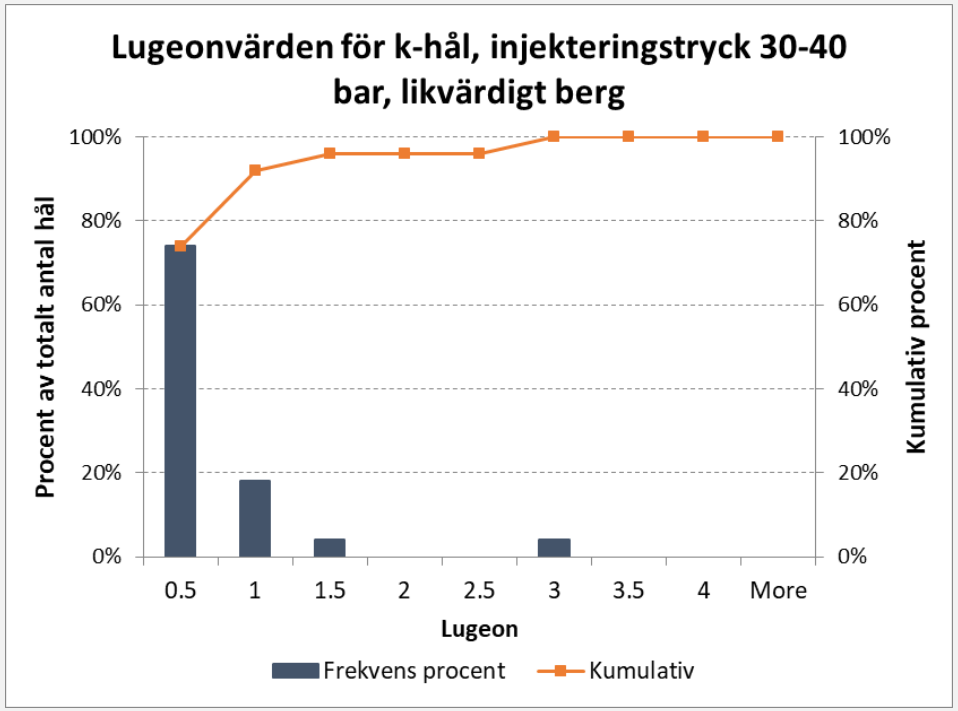

Total bruksåtgång förinjektering [kg]
Lovö södra, HT302N2
samtliga omgångar samtliga blandningar
60 000
55 000
50 000
45 000
40 000
35 000
30 000
25 000
20 000
15 000
10 000
5 000
0
Bruksåtgång [kg]
216/197
216/216
216/235
216/254
216/273
216/292
216/311
216/330
216/349
216/354
216/359
216/368
216/388
Längdmätning [m]
Omg 1
Omg 1A
Omg 1B
Omg 2
K-hål (1)
Omg 3
K-hål (2)
Annan åtgärd/Omg 4

Test av injektering med olika tryck 20 bar och 35 bar

Injektering med 20 bar jämfört med 35 bar utvärderat genom vattenförlustmätning



Antal hål: 94



Antal hål: 50

Tryckets sänktes från normala 35 bar till 20 bar.
Det blev lite tätare med 35 bar, men skillnaden var inte stor (ej signifikant skillnad).
Högre tryck ger större injekteringsvolym (significant)
Det är inte bara trycket som påverkar, brukets egenskaper påverkar lika mycket

Kem som komplement till cement vid förinjektering

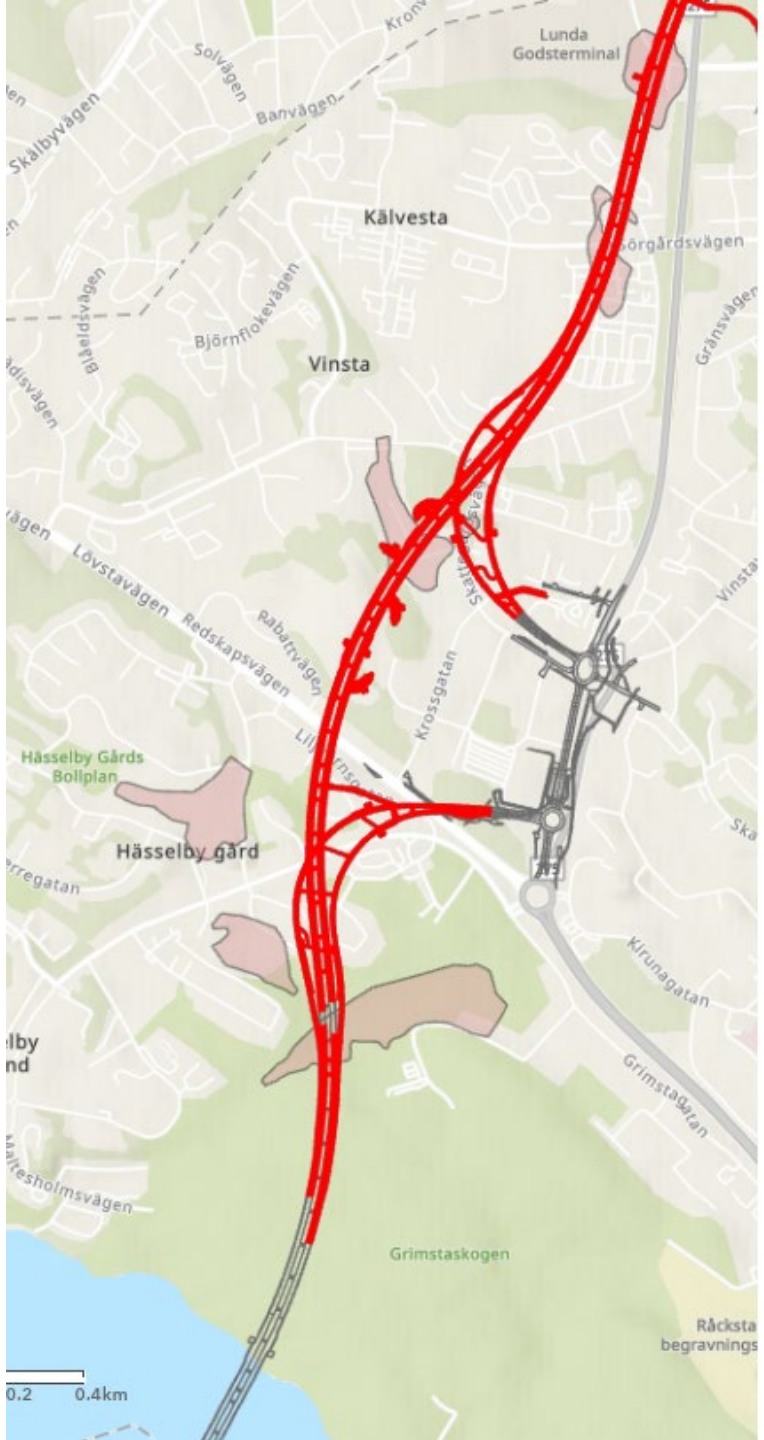
Provning av polyuretan och akrylatgel

Tunnel norr, FSE403

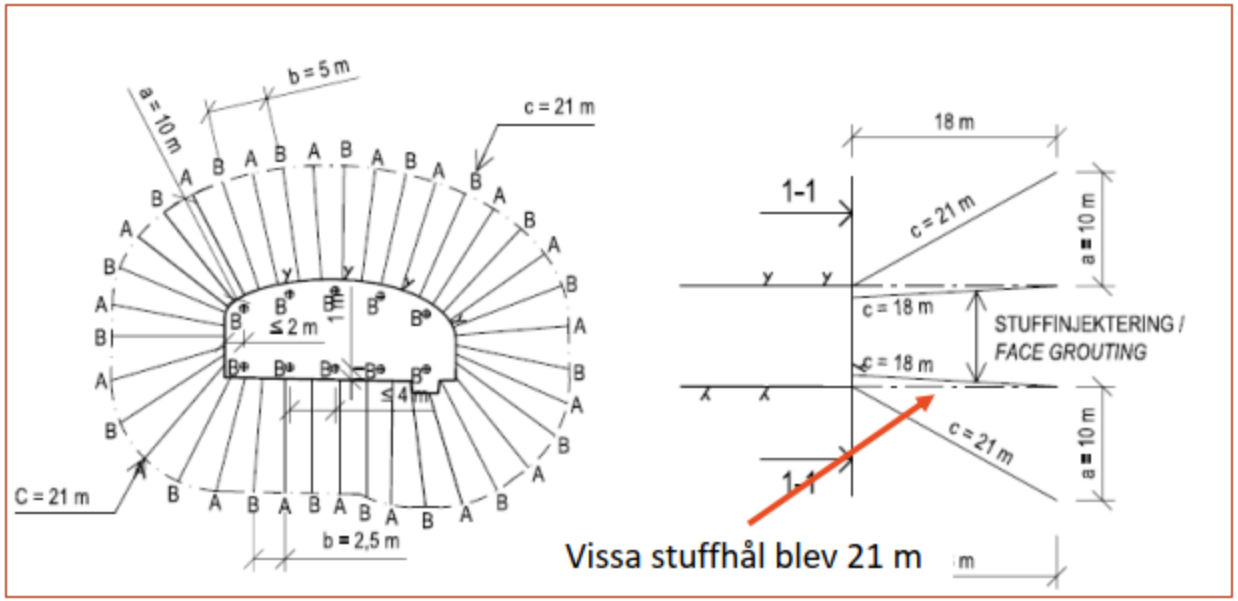
2021-10-26

Utmanande områden

- Sättningskänsligt
- Inläckage < 3lit/minut, 100m
- Tunnlarnas bredd vardera ca 32 meter, Area 225 m^2
- Kostnad per skärm (15 meter tunnel) mycket hög

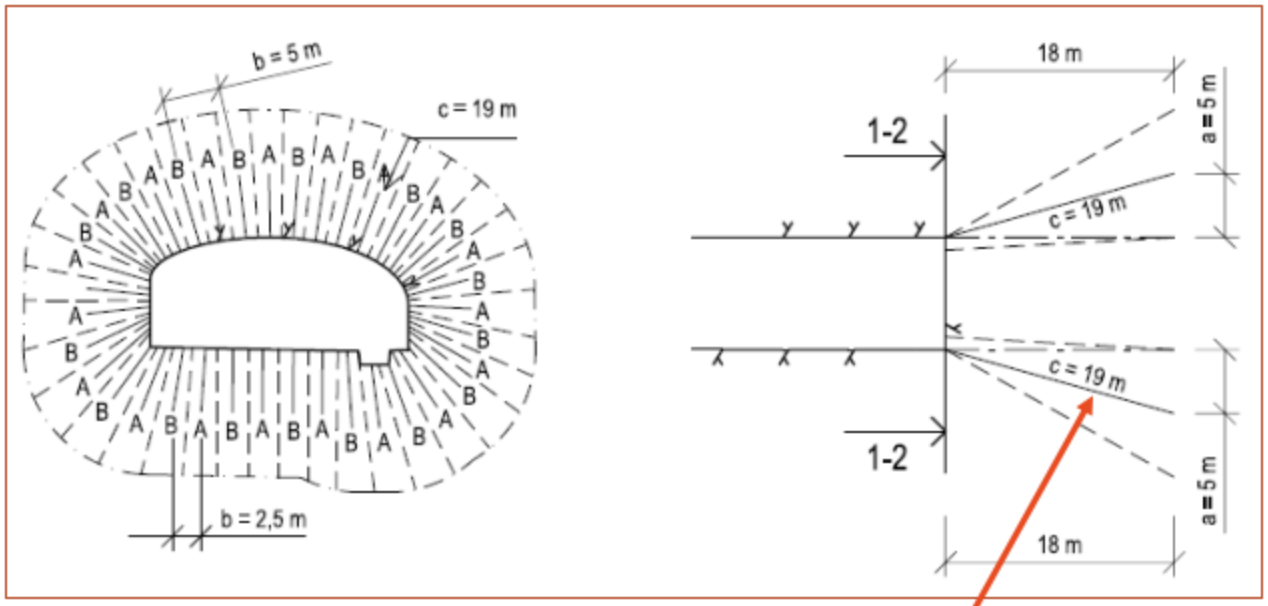


Omgång 1A+1B (cement)
Borrhål 21 m, stick 10 m



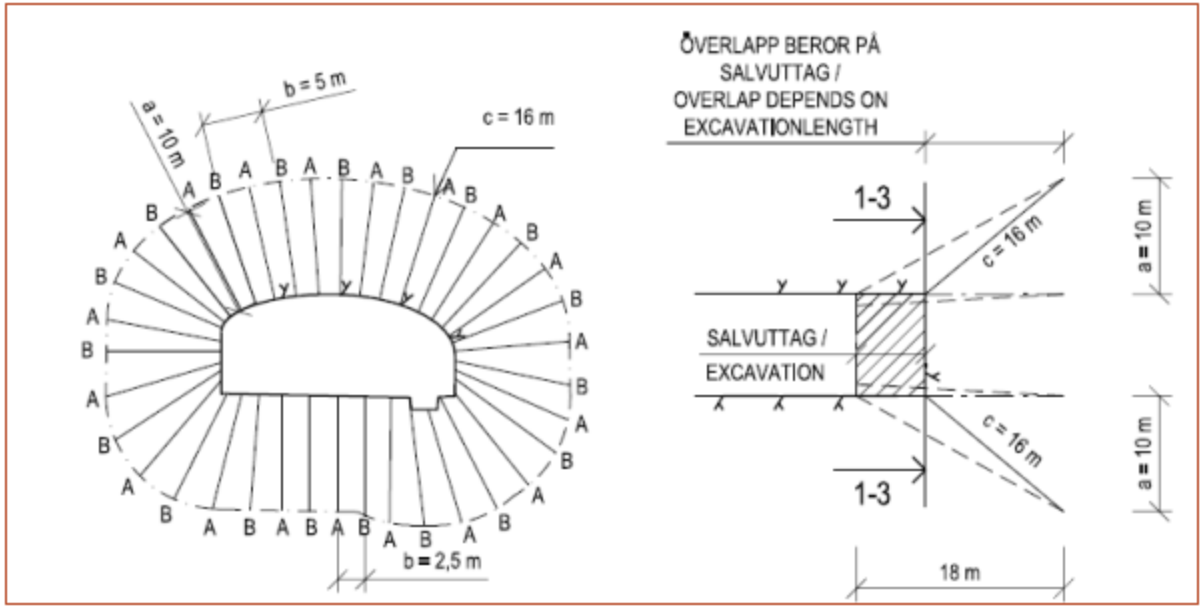
Vissa stuffhål blev 21 m

Omgång 2A+2B (kem)
Borrhål 19 m, stick 5 m



I vissa skärmar blev hålen 21 m långa

6 m salva
Omgång 4A+4B (cement)
Borrhål 16 m, stick 10 m



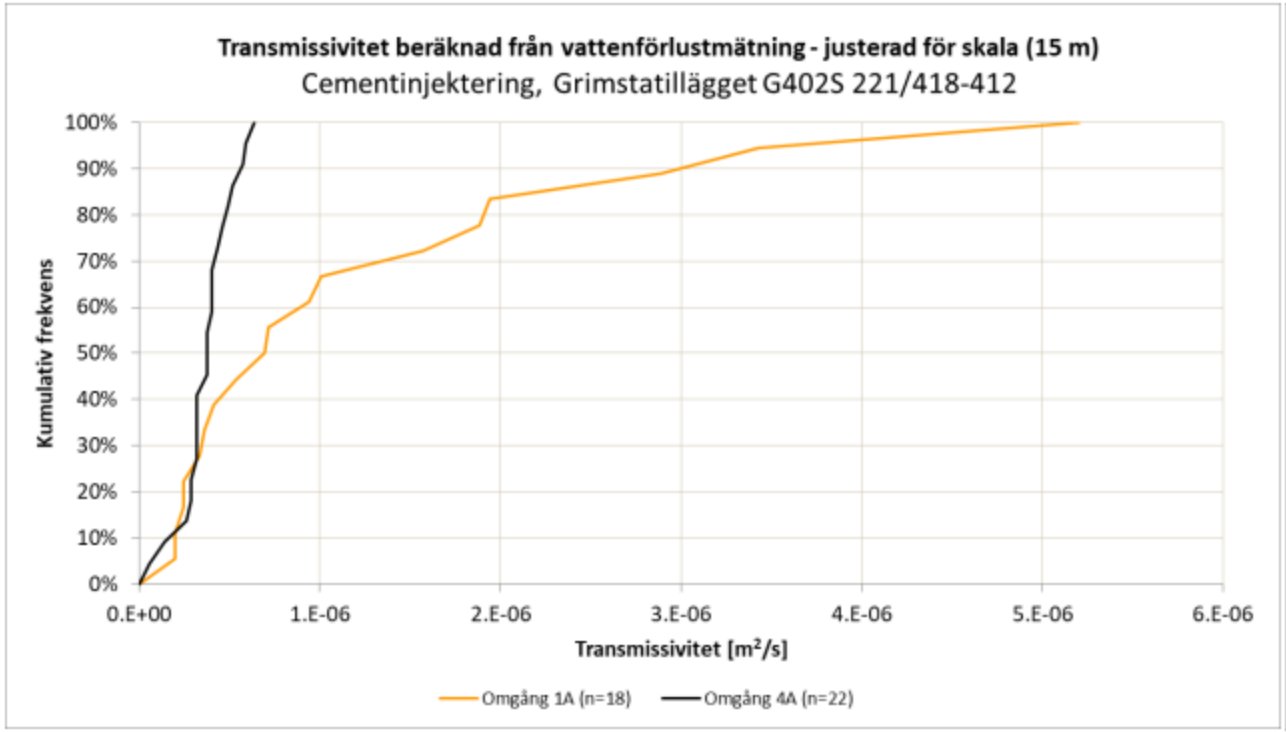
Injekteringsmedel

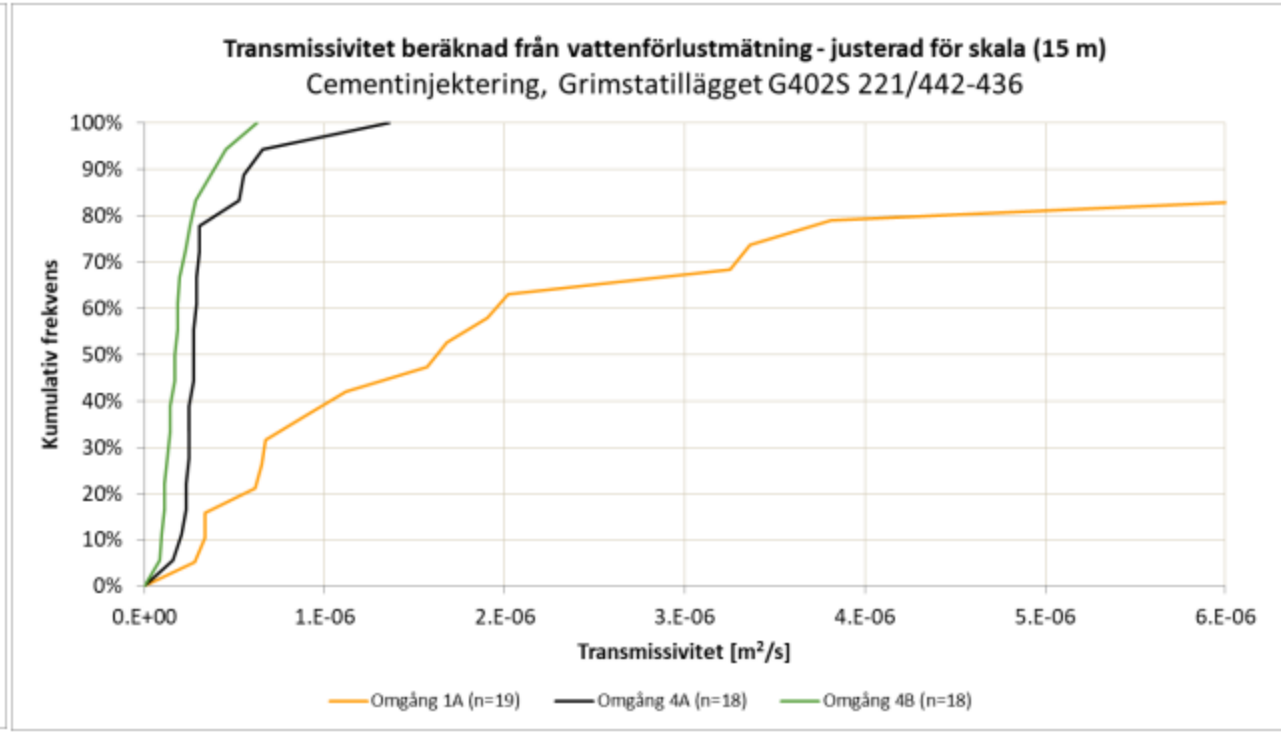
- Microcement UF 20
- Tvåkomponent polyuretan (PUR)
  - Härdplast
  - Lågviskös (fortfarande mycket högre än injekteringscement)
  - Reagerar långsamt, injekteringstid 40 min
- Tvåkomponent akrylatgel (AG)
  - Gel
  - Lågviskös (ungefär som injekteringscement)
  - Reagerar snabbt, injekteringstid 13-25 min (förlängdes dock under testet)

PUR som rinner på stuffen

AG som droppar från manschettrör

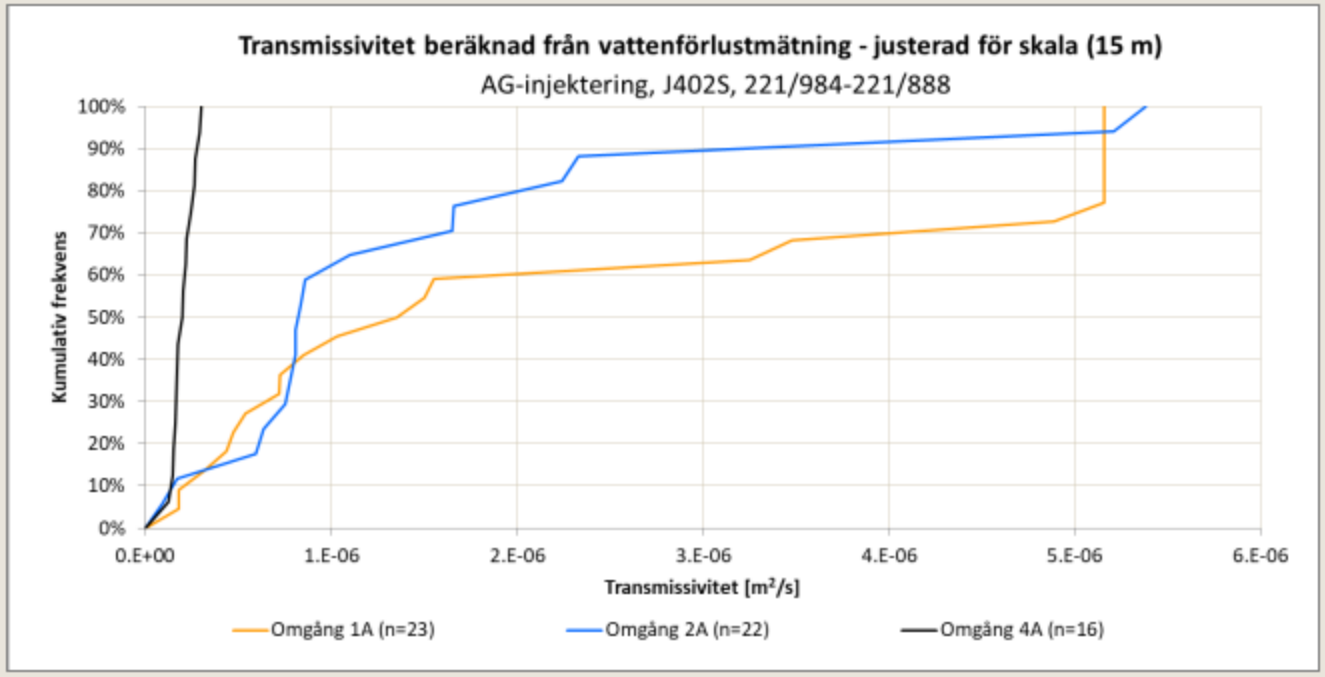
- Två exempel på cementinjektering med låg transmissivitet i omgång 4

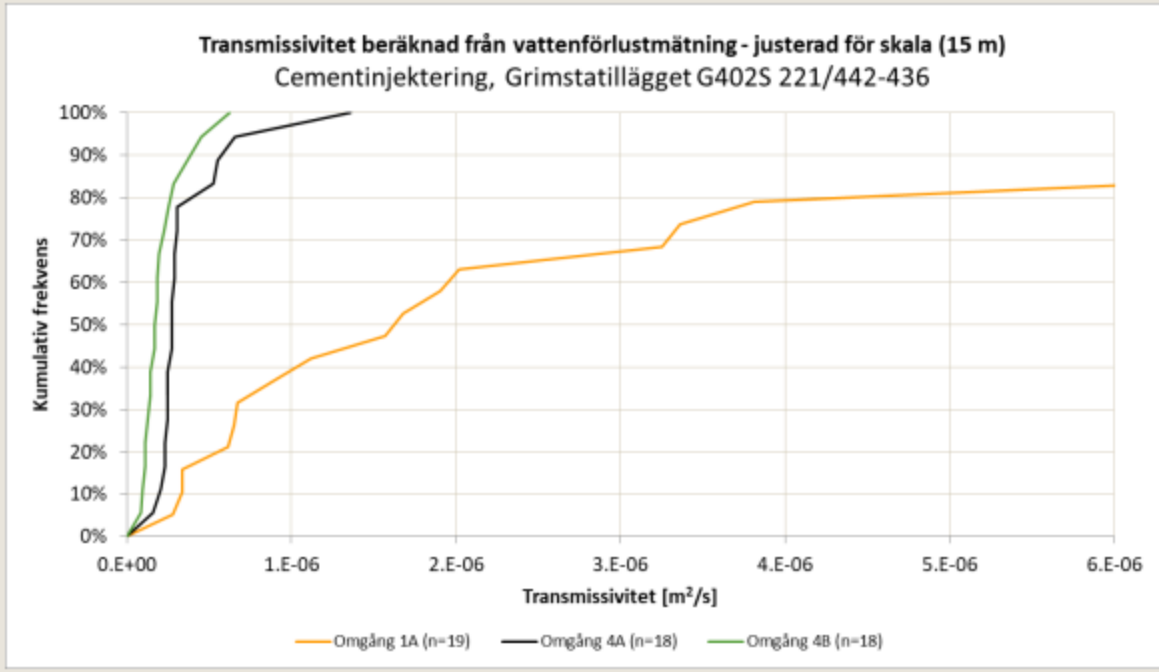




	Cement G402S 221/418-412		Cement G402S 221/442-336	
	Omgång 1A	**Omgång 4A**	**Omgång 1A**	**Omgång 4B**
Medelvärde T [m²/s]	$1{,}3 \cdot 10^{-6}$	$3{,}8 \cdot 10^{-7}$	$3{,}2 \cdot 10^{-6}$	$2{,}2 \cdot 10^{-7}$
Median T [m²/s]	$7{,}1 \cdot 10^{-7}$	$3{,}8 \cdot 10^{-7}$	$1{,}7 \cdot 10^{-6}$	$1{,}8 \cdot 10^{-7}$
K baserat på medelvärde T [m/s]	$8{,}5 \cdot 10^{-8}$	$2{,}5 \cdot 10^{-8}$	$2{,}1 \cdot 10^{-7}$	$1{,}5 \cdot 10^{-8}$

Notera att det finns en övre begränsning för vattenförlustmätning, för skärmar i kemtest cirka 2,4 Lugeon (ca 20-25 l/min)





	J402S AG 221/984-221/888		
	1A	2A	4A
Medelvärde T [m²/s]	$2{,}4 \cdot 10^{-6}$	$1{,}5 \cdot 10^{-6}$	$2{,}1 \cdot 10^{-7}$
Median T [m²/s]	$1{,}4 \cdot 10^{-6}$	$8{,}3 \cdot 10^{-7}$	$2{,}0 \cdot 10^{-7}$

	Cement G402S 221/442-336	
	Omgång 1A	Omgång 4B
Medelvärde T [m²/s]	$3{,}2 \cdot 10^{-6}$	$2{,}2 \cdot 10^{-7}$
Median T [m²/s]	$1{,}7 \cdot 10^{-6}$	$1{,}8 \cdot 10^{-7}$

- Omgång 1A Cement
- Omgång 1B Cement
- Omgång 2A AG
- Omgång 2B AG
- 6 m salva
- Omgång 4A Cement
- Omgång 4B Cement

Transmissivitet beräknade enligt:

$T = \frac{Q\rho g}{2\pi\Delta p} \ln\left(\frac{L}{2r_w}\right)$, (Ylinen, A. 1994)

Justerade för skala:

$T_{adj} = T \cdot \frac{L}{L_{bas}}$, L: 15 m , L_{bas}: $mätsträcka$

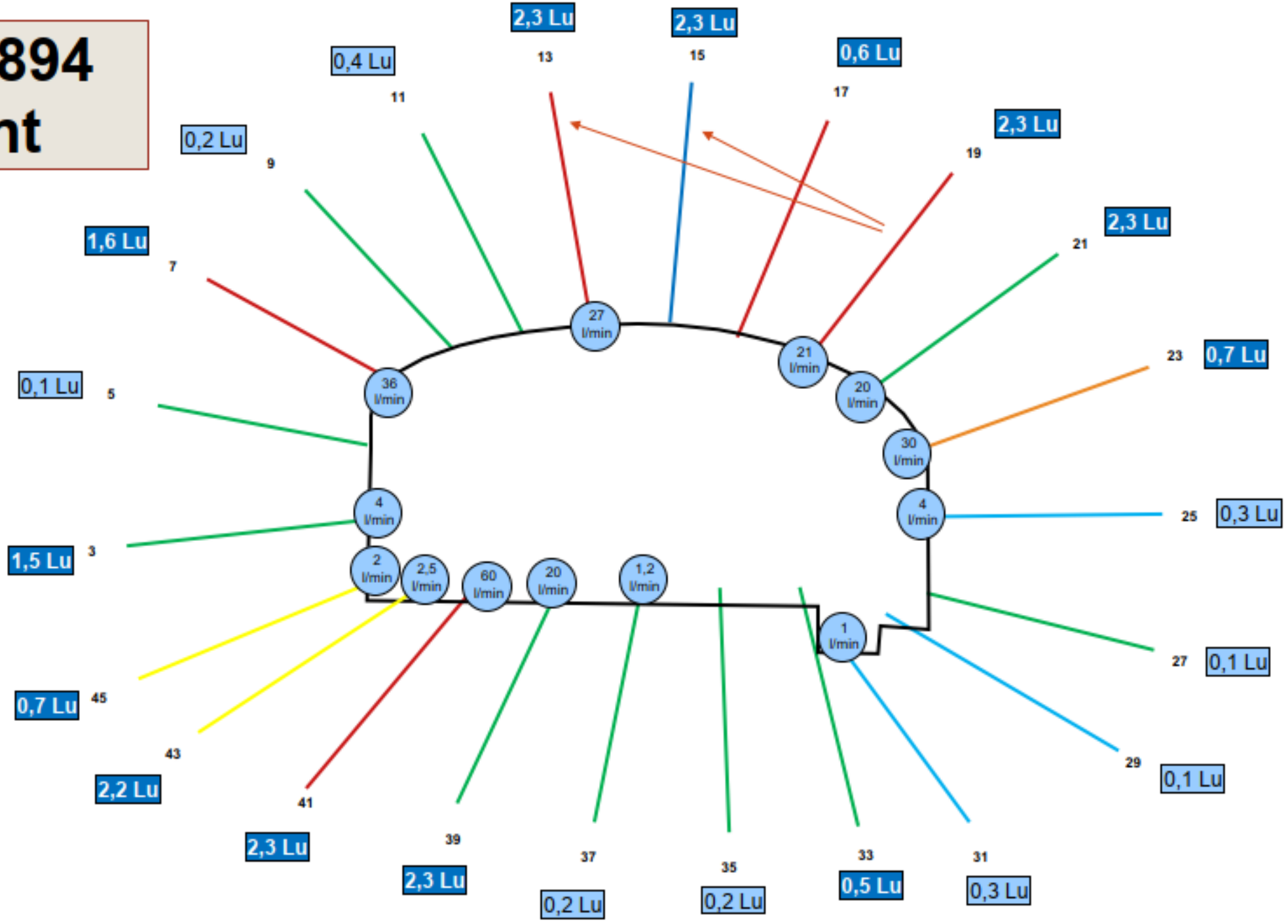
$Tätningseffekt = 1 - \frac{T_{omgång}}{T_{1A}}$

J402S 221/894
1A cement

Datum
2021-09-22
Antal hål
22
Håldjup
21 m
Total injekterad volym
11 439 liter
Medelvolym per hål
520 liter
Medelvolym per meter
27 liter/meter

- < 3 l/m
- 3 - 4 l/m
- 4 - 8 l/m
- 8 - 12 l/m
- 12 - 16 l/m
- 16 - 20 l/m
- 20 - 24 l/m
- > 24 l/m

Inflöde (5 l/min) **Vattenförlust** (2 Lu)



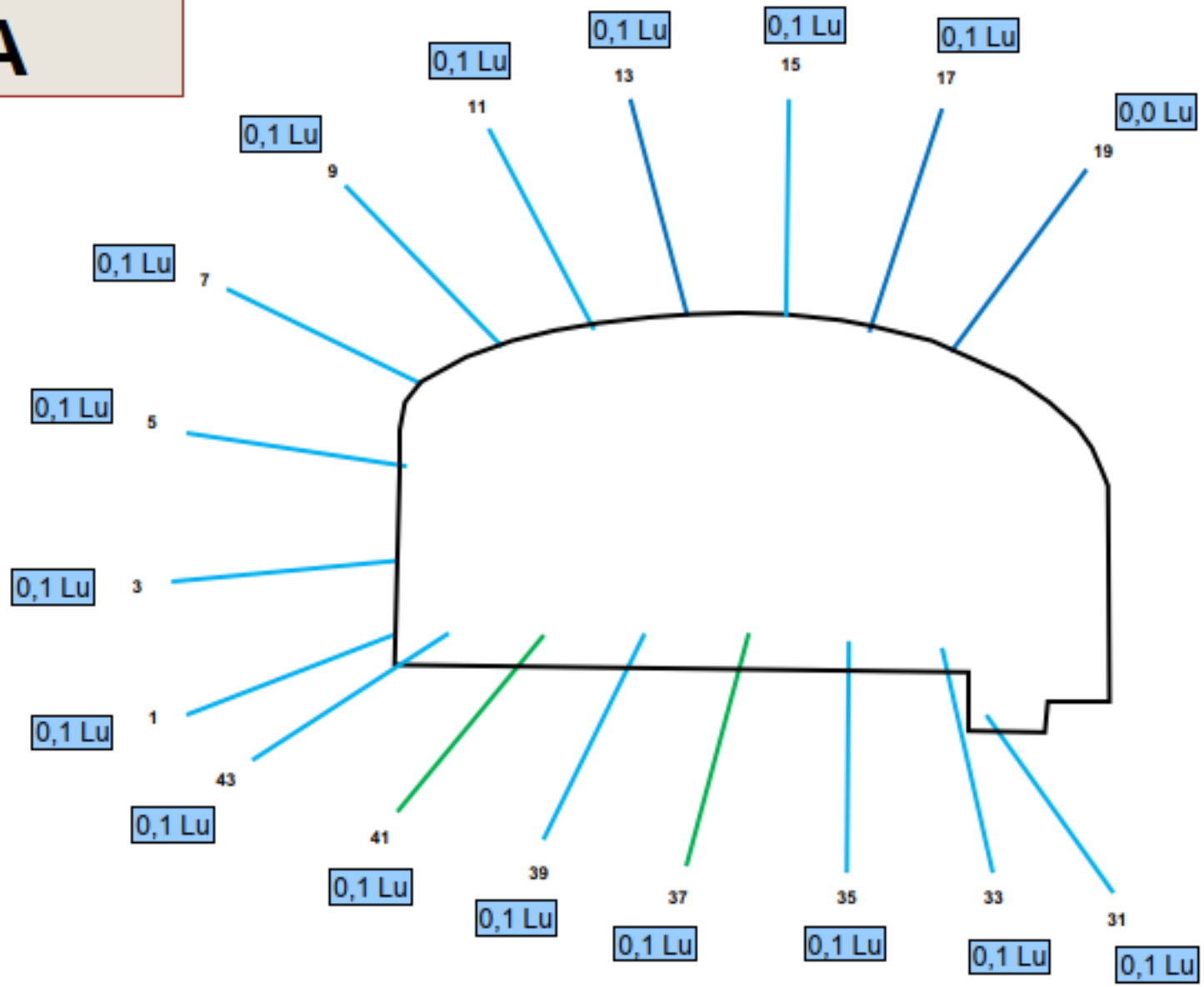
J402S 221/888
Cement 4A

Datum
2021-10-13
Antal hål
17
Håldjup
16 m
Total injekterad volym
850 liter
Medelvolym per hål
50 liter
Medelvolym per meter
3,3 liter/meter

< 3 l/m
3 - 4 l/m
4 - 8 l/m
8 - 12 l/m
12 - 16 l/m
16 - 20 l/m
20 - 24 l/m
> 24 l/m

Inflöde 5 l/min

Vattenförlust 2 Lu

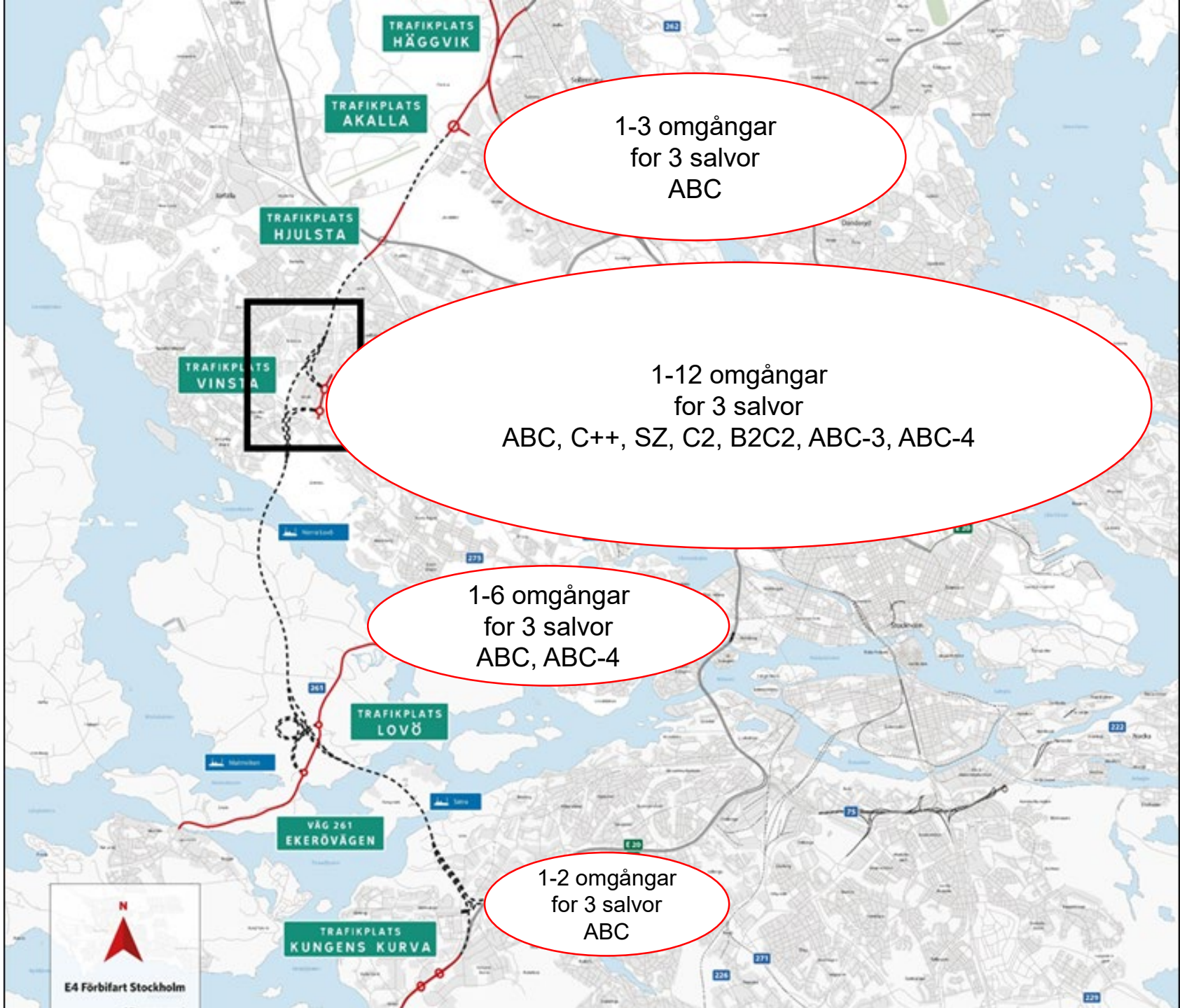


Slutsatser Keminjektering som förinjektering

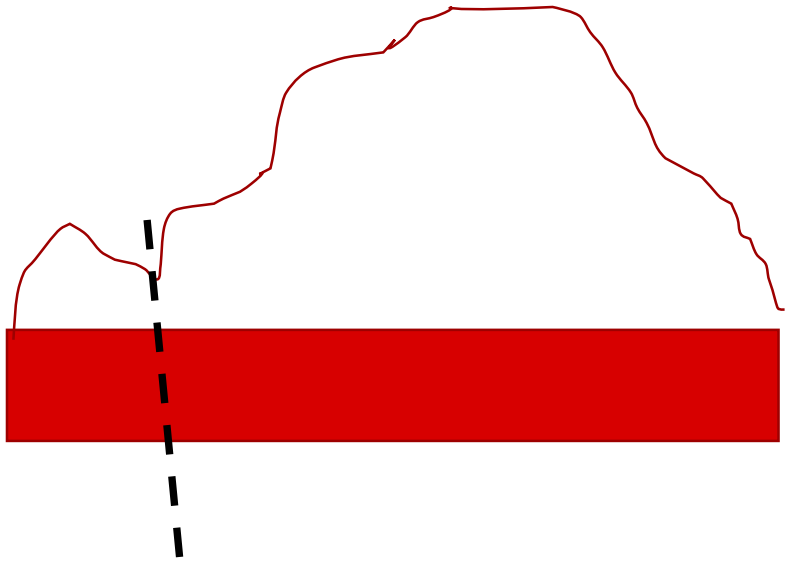
- Cement, cement, PUR, PUR – ej bättre än bara cement
- Cement, cement, AG, AG – lika bra eller möjligen lite bättre?
- Stora volymer går åt när keminjektering används som förinjektering
- Är det värt insatsen, rimligt?
- Polyuretanen verkar inte tränga in lika bra som cement, dvs inte så bra som förinjektering, bättre som efterinjektering där kort inträngning räcker

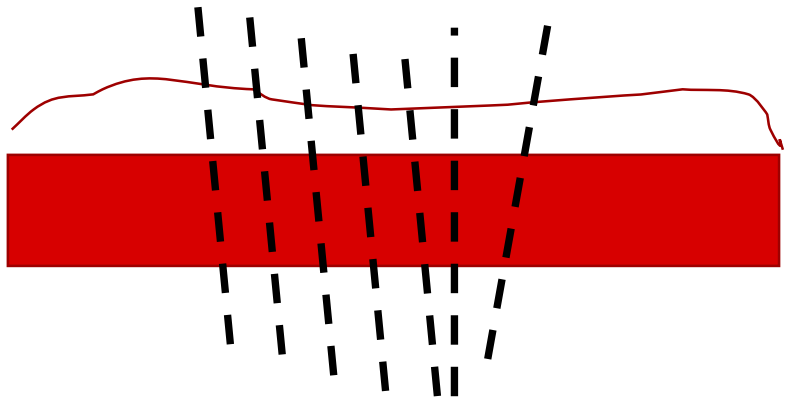
Slutsatser

Svårigheten att få det tätt varierar med geologin



- Hur ser den lokala geologin ut?
- Var finns det berg som försvunnit med inlandsisen
- Varför har berget försvunnit med inlandsisen?





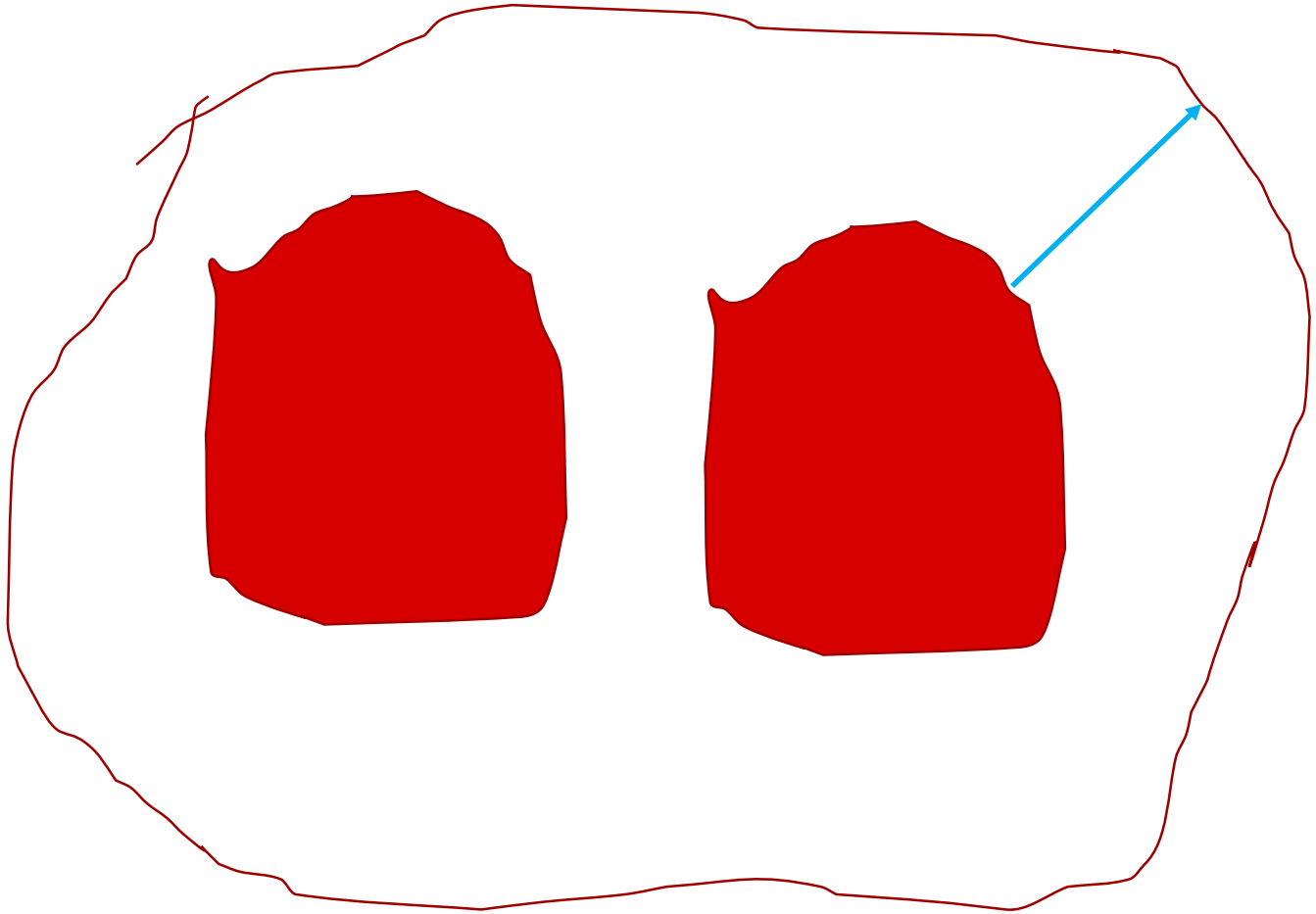
<u>Tänk på</u>

Skärmgeometri?

Max volym?

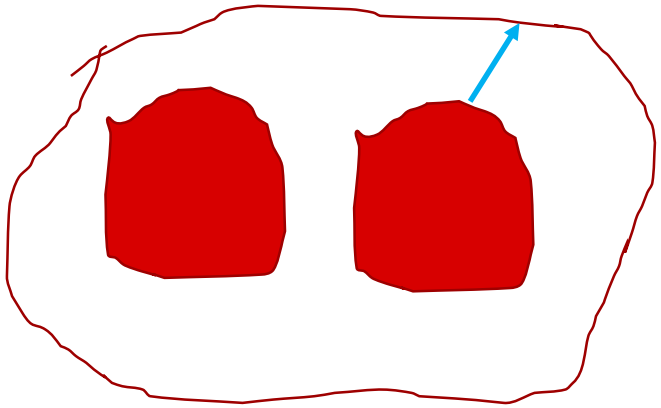
Tunnel width 25 m

Grouted zone ~10 m



Tunnel width 10 m,

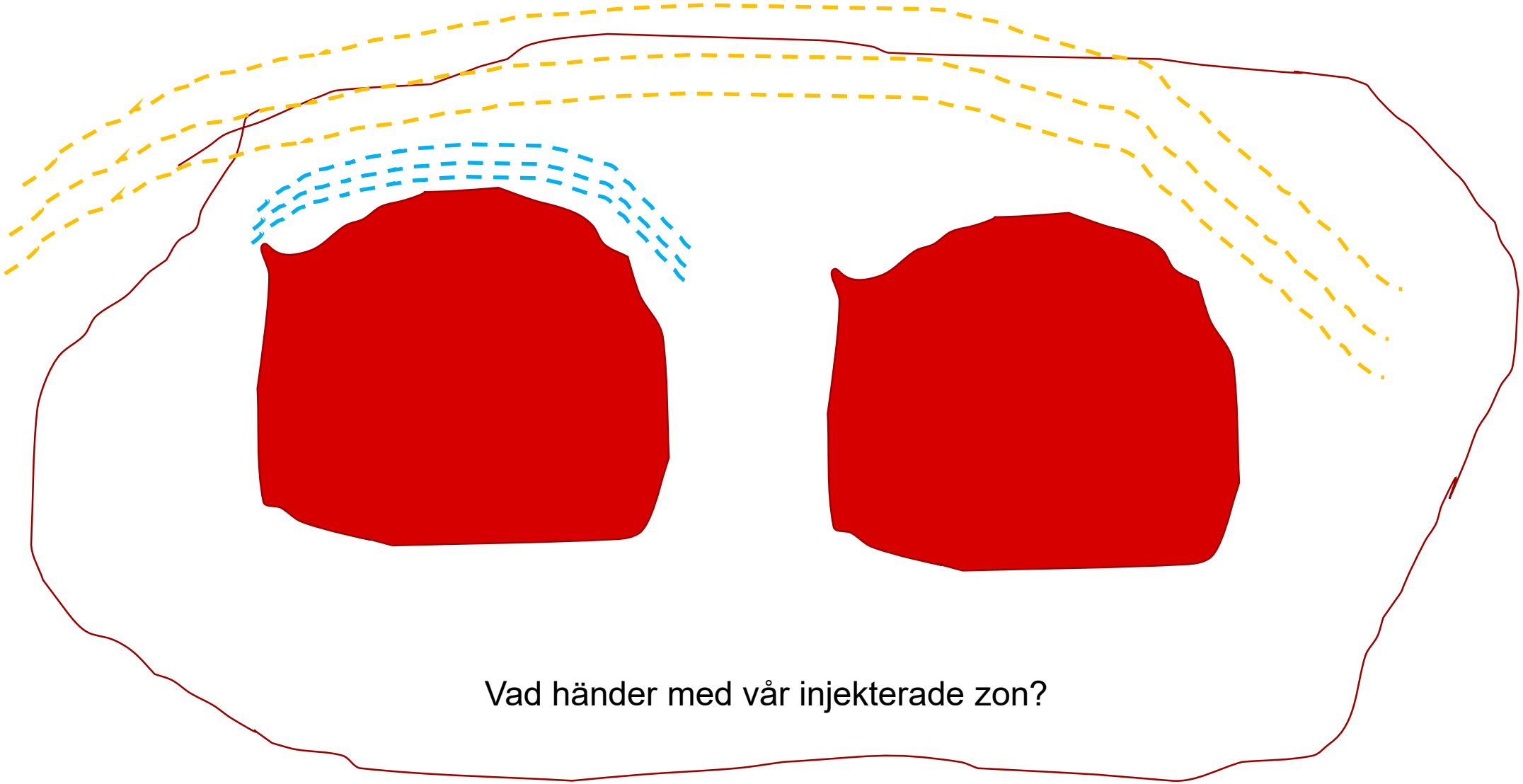
Grouted zone ~5 m



Ground reaction

Mjukt berg

Hårt berg



Vad händer med vår injekterade zon?

Nordic Grouting Symposium 4-6 oktober 2022, Stockholm

https://www.ngs2022.se/

1. Grouting design and concepts for grouting
- Grouting Strategy
- Theory in relation to practice
- Novel methods for grouting execution
- Aspects that govern grouting – grouting difficulty
- Completion criteria for grouting
- Investigations of steering parameters for grouting
- Concepts with environmental aspects

2. Grouting materials
- Grout components
- Grout mixing
- Grout characteristics
- Environmental aspects – greener grouting

3. Grouting design verification
- Measuring the grouting result
- Observational method
- Hydrogeology

4. Grouting equipment
- Development of grouting equipment
- Possibilities and limitations of current equipment
- Health and safety

5. Soil-rock grouting
- Grouting the zone between soil and rock
- Grouting with low rock coverage

6. Grouting contracts and compensation
- Time studies of grouting work
- Grouting compensation and adjustment of time
- Grouting education – Licence to Grout

7. Case studies
- Execution of grouting and result

Takk for oppmerksomheten