

TIGHT – ET FORSKNINGSPROSJEKT INNEN INJEKSJON

Fremtidens Injeksjonsprosedyre
Chief Scientist/Professor II Eivind Grøv, SINTEF/NTNU
Prosjektleder TIGHT



TIGHT - Akronym for:
True Improvement in Grouting
High pressure Technology for
tunneling



Hva er utfordringen ved høytrykksinjeksjon?
Kan vi forstå eller beskrive de fysiske
mekanismene knyttet til høytrykksinjeksjon?
Jekking syntes å være en vanlig hendelse!
Hvordan håndterer vi slike hendelser?

TIGHT - Hva er det?

- Kompetanse Prosjekt for Næringslivet (KPN), BIA er programmet i NFR (Brukderdefinert InnovasjonsArena)
- Budsjett 17 mill NOK over 4 år (2014 - 2018)
- Finansiert gjennom NFR med 80% kontant
- Industripartnere ombord med 20% kontant
- Partnerne får fordelen av å ha tilgang til alle resultater når de erverves og får også styre forskningen i prosjektet
- KPN, bygge kunnskap som deles med bransjen
- Innovasjon skal finne sted hos partnerne basert på den kunnskapen som erverves i prosjektet

TIGHT – Hvorfor?

Tankene bak søknaden:

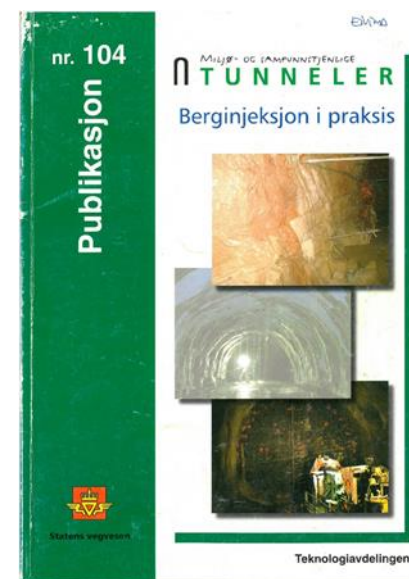
- Norsk tunneldriving ble rammet hardt av Romeriksporten på 90-tallet – politisk & utenomfaglig fokus
- Skapte 'Miljø- og Samfunnstjenlige Tunneler'
- Det ble ett vendepunkt; ny giv og tilnærming til injeksjon i norske tunneler drevet i urbane strøk
- 15 år har nå gått siden dette siste FoU-prosjektet
- En oppfatning at vi falt bakut med tanke på vitenskapelig og akademisk dokumentasjon om injeksjon i Norge
- Norge; empiriske tilnærming – Sverige; akademisk/teoretisk
- Behov for å heve kunnskapsnivået og dokumentere



Puttjern – foto Aftenposten

I 2004 ble 'Aktiv Injeksjon' ble skapt

- Definert som gradvis trykkoppbygging
- Så høyt trykk som praktisk mulig - 100 bar
- Stoppkriterie på trykk
- Gradvis trykkoppbygging balansert mot W/C-tall
- Så lavt W/C-tall som praktisk mulig
- Krever fortløpende monitorering og oppfølging
- Lavt W/C-tall gir trykktap for å hindre at injeksjonsmassen tar langt avgårde og skader omgivelser
- Injisere også hull i stoffen og mange hull



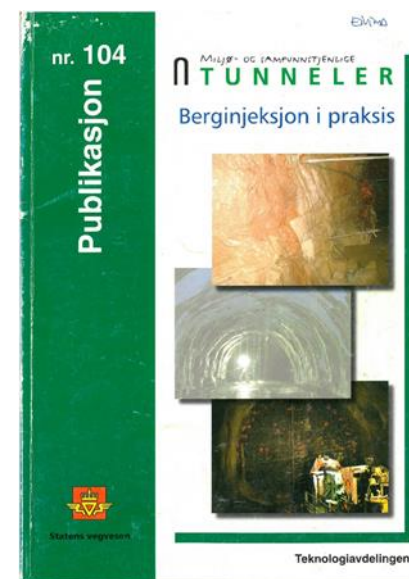
TIGHT - fokus sammenfallende – raffinere konseptet!

I 2004 'Aktiv Injeksjon' ble skapt

Aktiv injeksjon krever forståelse og fokus på:

- Bergmassekarakteristika
- Injeksjonsmidlenes egenskaper
- Tilsetningsstoffer, mix design inkl. grove tilsetningsmasser
- Injeksjonens spredning og penetrering
- Skjermgeometri, hullplassering og antall hull
- Injeksjonstrykk
- Injeksjonsmengde (rent forbruk)

Dette tok TIGHT med!



Følger vi prinsippet om Aktiv Injeksjon?

Kopiert fra et nylig gjennomført tunnelprosjekt

Maksimaltrykk skal overholdes:

OVERDEKNING

0 – 5 m
5 – 15 m
> 15 m

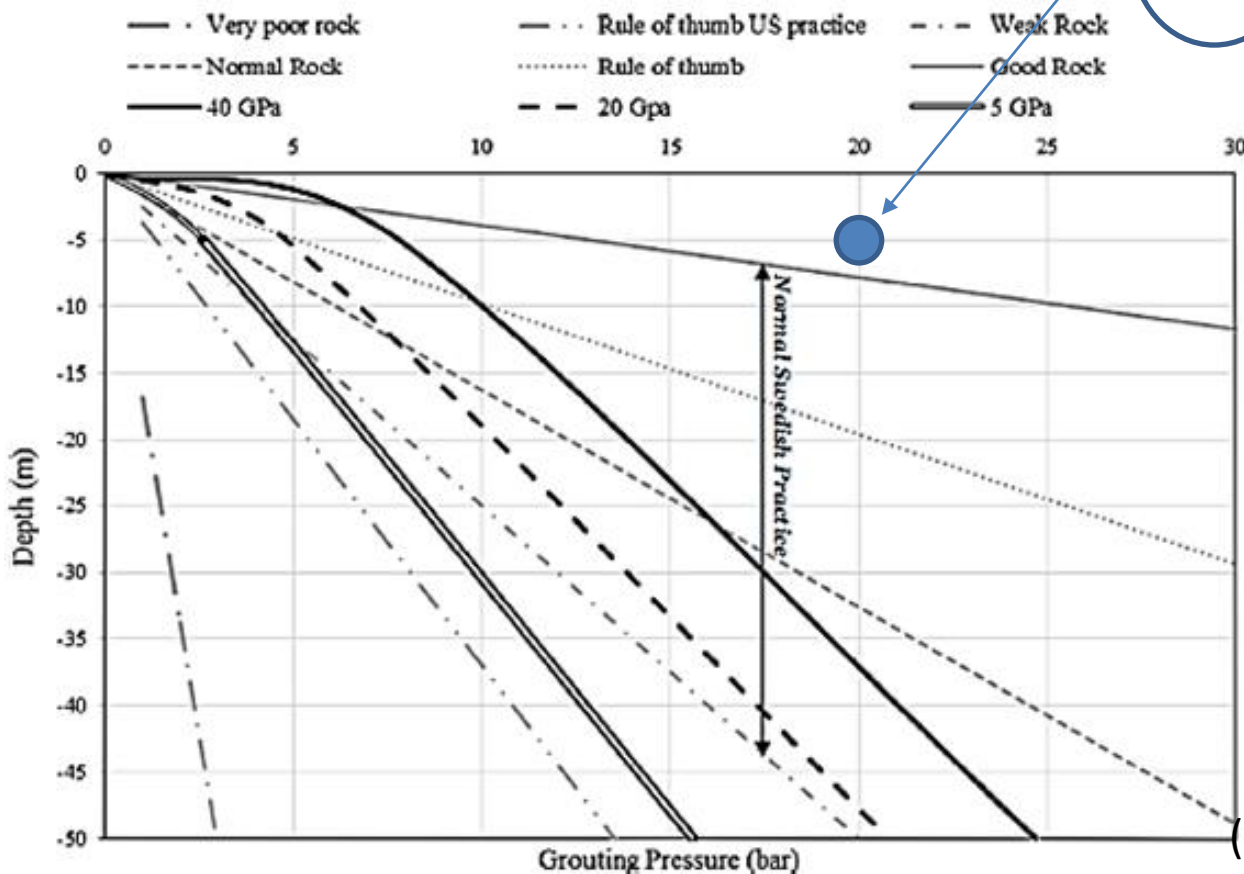
MAKSIMALTRYKK

Borehull heng/vegg

20 bar
40 bar
100 bar

Borehull såle/stuff

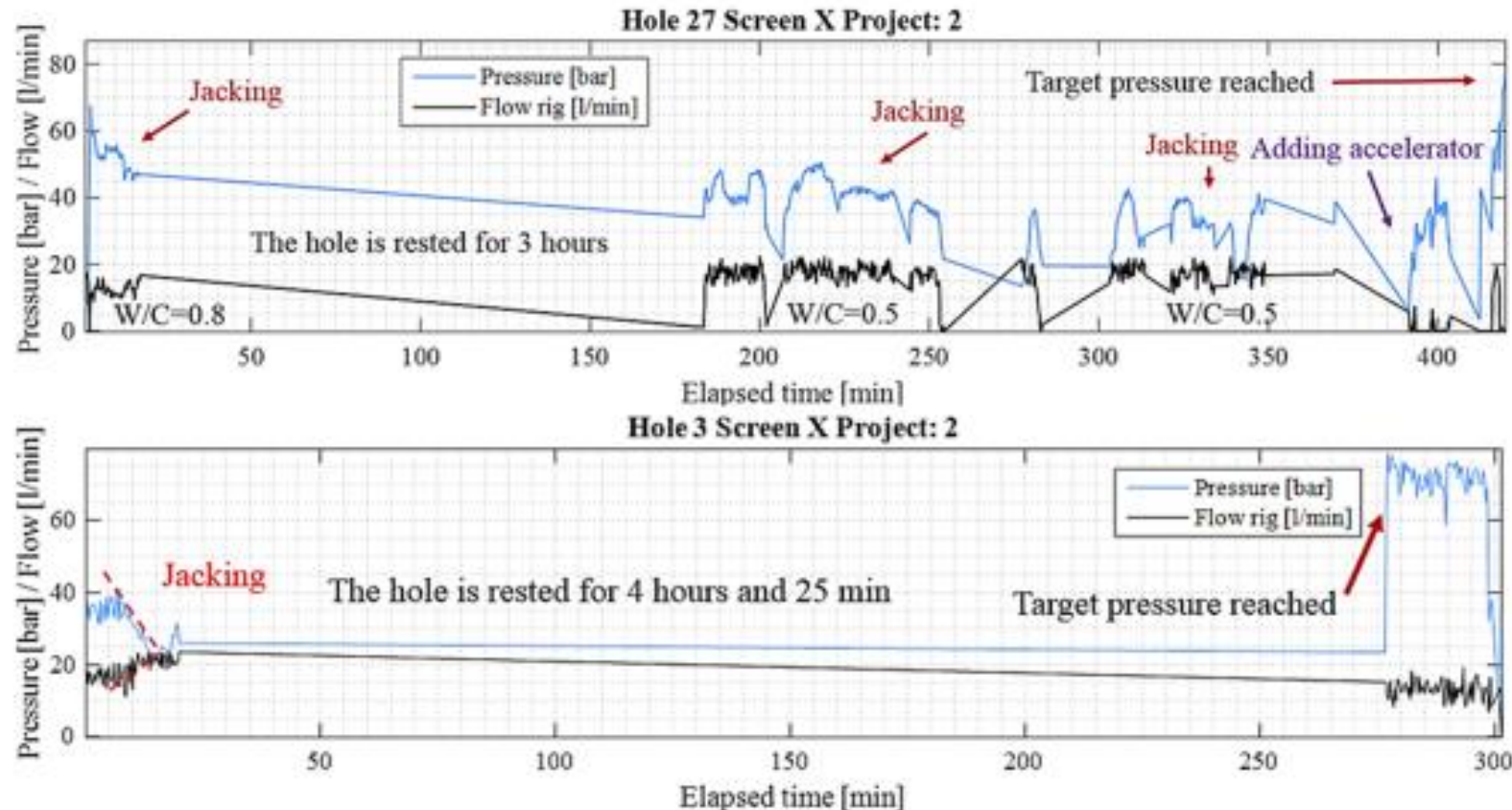
30 bar
60 bar
100 bar



Ikke nødvendigvis feil med høyt trykk, men norsk praksis ligger godt over andre mhp trykk

(Rafi og Stille, 2015)

Følger vi prinsippet om Aktiv Injeksjon?



Strømsvik, H.
Nordic
Grouting
Symp. 2016

Prosjektprosedyren er nok fulgt; hvile hullet – lavere W/C – aksellerator – oppnår trykk. Er dette i tråd med Aktiv design? Noen vil nok hevde - NEI - Kunne resultatet blitt annerledes?

Hva forventer vi av/etter TIGHT?

- Utvikle dybdekunnskap om ulike injeksjonsparametre's påvirkning på utførelse og resultat – utfordring å klare det
- Økt kunnskapsnivå og forståelse av berginjeksjon er viktig for å optimalisere eksisterende injeksjonsmetoder,

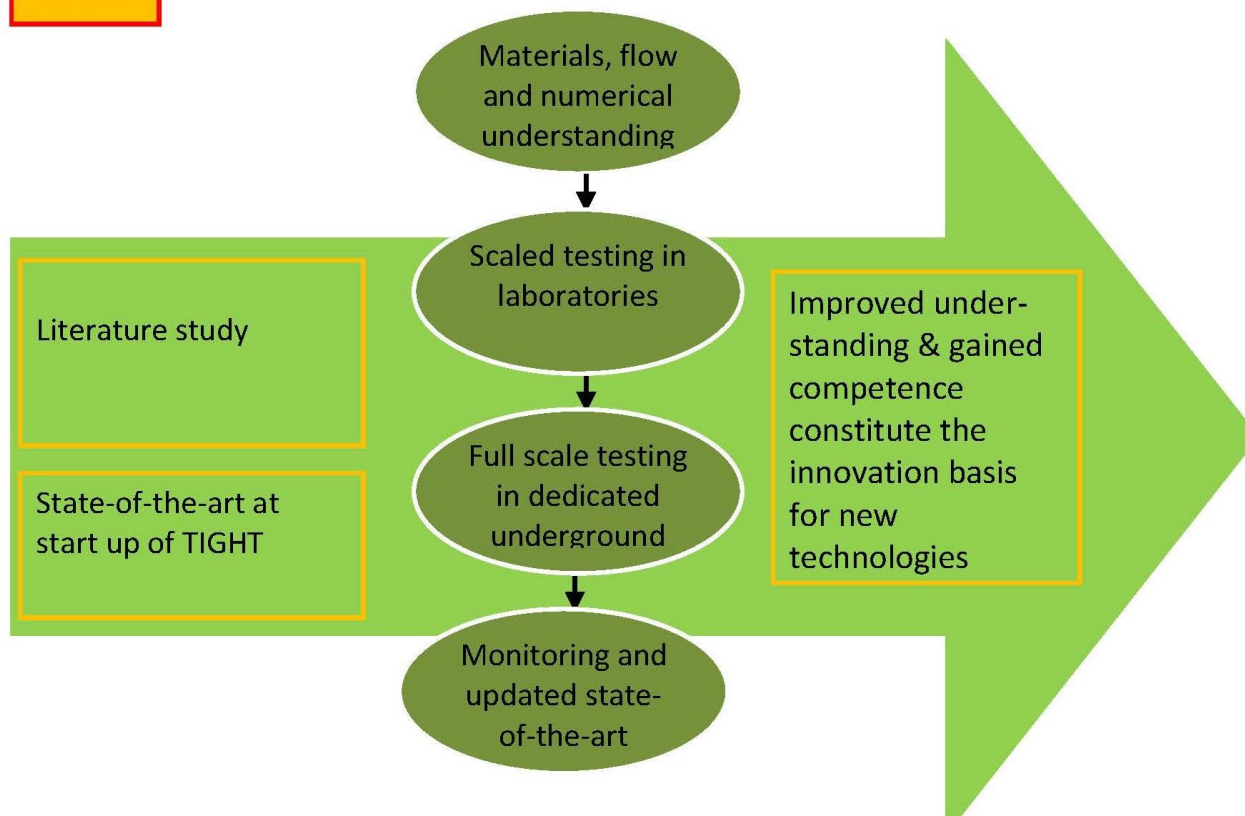
OG GJENNOM DET

- Finne muligheter som skaper mer tids- og kostnadseffektive injeksjonsmetoder
- Ønsker å identifisere elementer som gir merverdi for deltakere i TIGHT og for industrien
 - Differensiere ulike materialer og trykk, stoppkriterie, øke kunnskapen om metoder og utstyr, gi mulighet for anleggsmessige og operasjonelle krav

Operasjonell modell

Bakgrunn: Injeksjon blir mer vanlig enn uvanlig i dagens tunnelprosjekter!

TIGHT



Kompetanse til industrien og innovasjon blant partnere i TIGHT

Verktøyene vi har – kraften er i WP'ene

WP1 Project management

WP2 Collecting existing material & current state-of-the-art

WP3 Grout materials understanding

WP4 Flow models in rock description

WP5 Numerical modeling of coupled flow & rock models

WP6 Scaled laboratory model

WP7 Full scale testing work site/underground test facility

WP8 Monitoring

WP9 State-of-the-art at project completion. Innovation potential

WP10 Dissemination

Studenter er viktige støttespillere og arbeidet deres viktig:

Helene Strømsvik, PhD

+ 8 MSc'ere

WP 2 State-of-the-art report

Oppgaven var å samle inn eksisterende materiale og beskrive det som var state-of-the-art ved oppstart av prosjektet.

Det definerte også retningen og innsnevringen av forskingsvinkelen som TIGHT skulle ta.

Litteraturstudie og utarbeidelse av state-of-the-art.

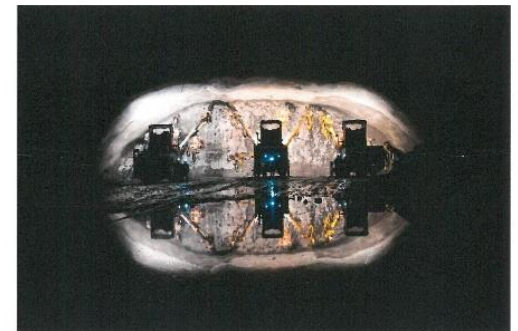
SBF 2015 A0318 - Åpen

Rapport

State of the art for sementbasert forinjeksjon

Forfattere

Kristin H. Holmøy
Helene Strømshvik, PhD-kandidat
Torun Rise



WP 3 Grout Materials Understanding

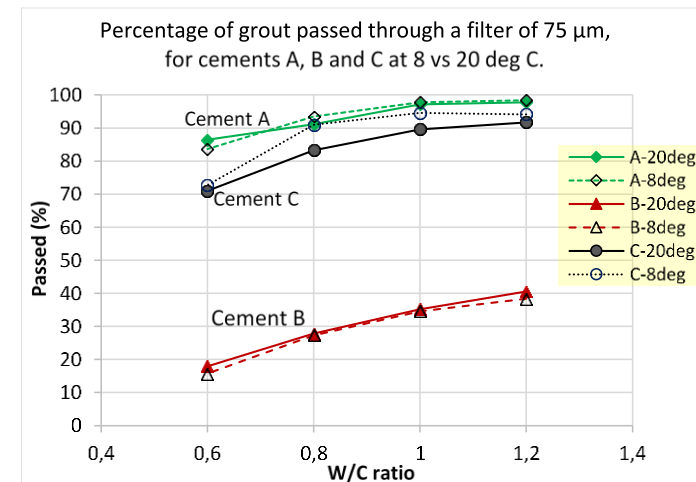
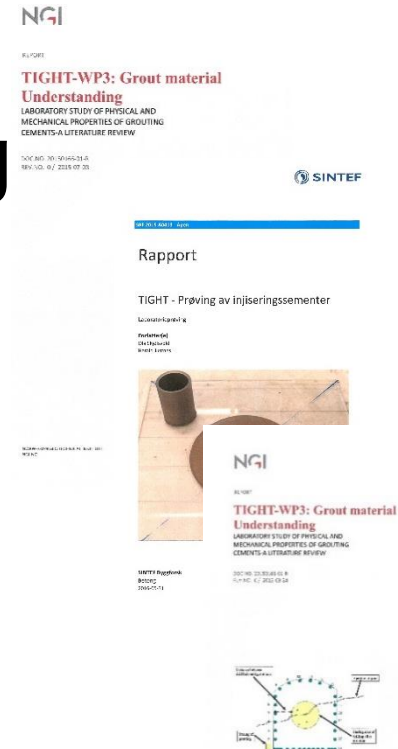
Fokusere forståelse av materialenes rheologiske egenskaper og demonstrere hvorfor materialer er bedre egnet enn andre

Beskrive basismaterialet og teste.

- Rheologisk beskrivelse/fysisk material test
- Strukturoppbygging OPC/MC
- Teste materialstruktur ved testing mot trykk
- Test materialer + ulike additiver
- Test herdede kjerner

TUST (2018): Strength and filtration stability of cement grouts at room and true tunneling temperatures + +

Filtreringstester av tre sementer ved 8 og 20 °C.

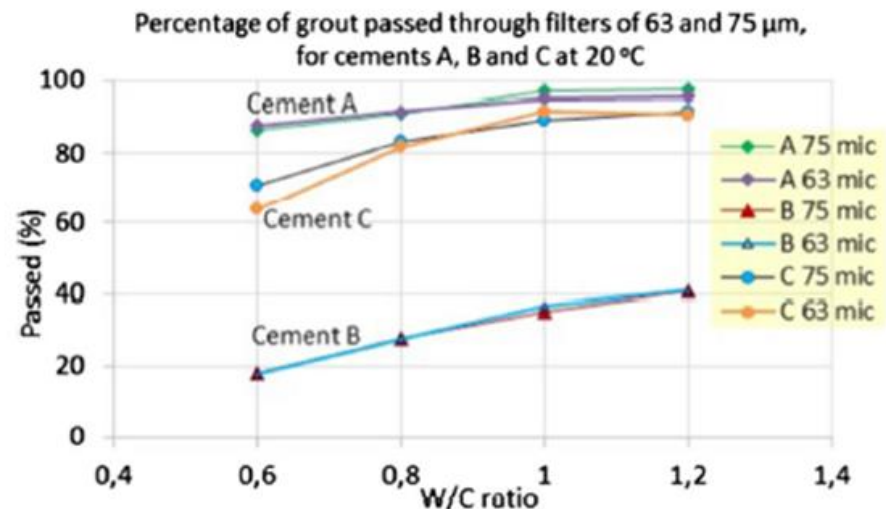
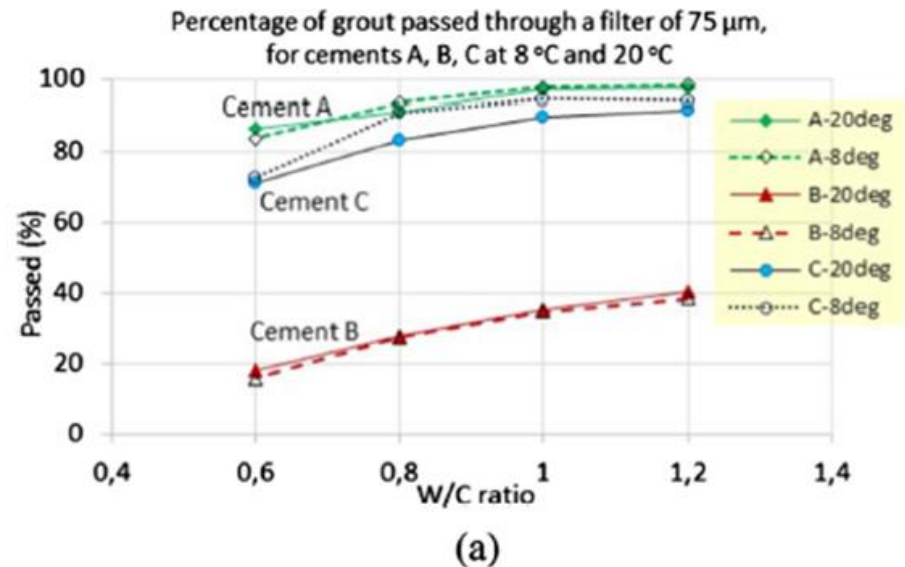


WP 3 Grout Materials Understanding

Filtertest så vi på som
en representative måte
å demonstrere
inntrengningsevnen

Resultatene viser 3 ulike
sementer med stor
egenskapsvariasjon

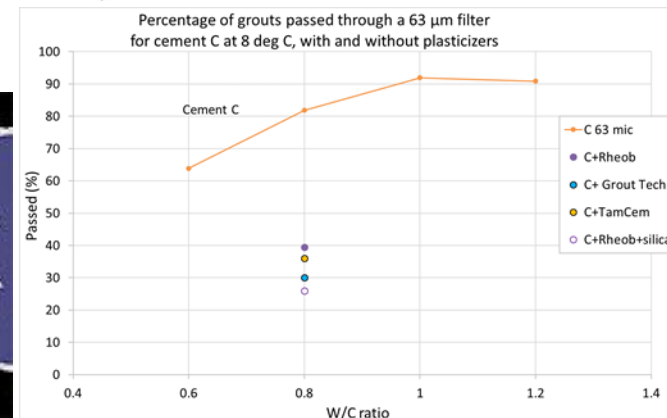
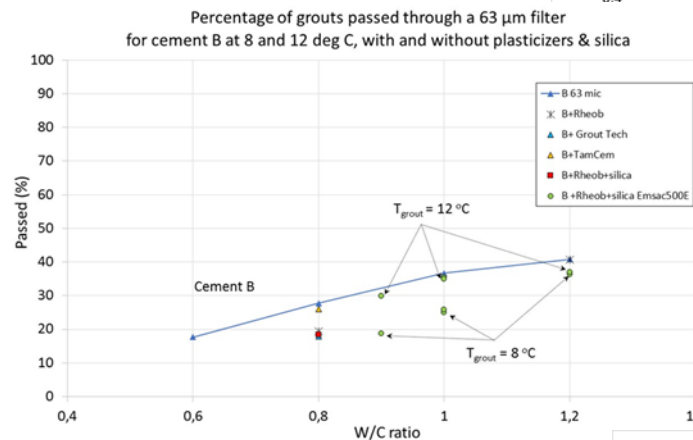
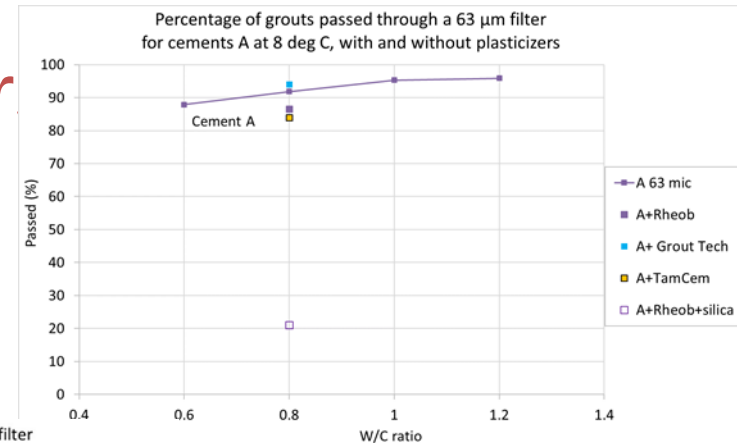
Alle testene ble gjort
anonyme. Bahman
forteller nok mer om
dette.



WP 3 Grout Materials Under

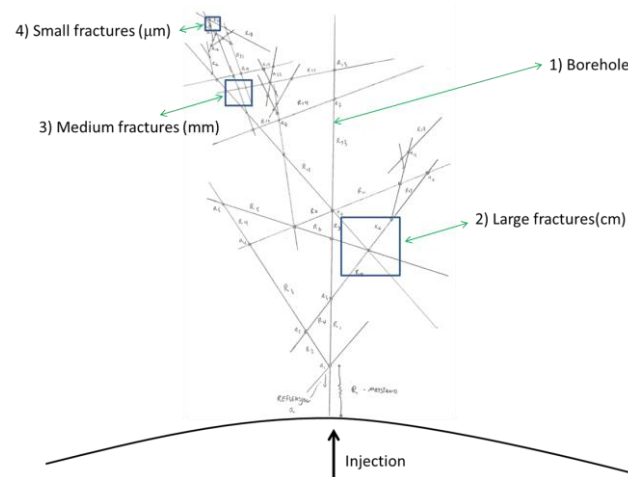
Filtertester med tilsetningsstoffer. Overraskende resultat, måtte kjøre tester på nytt. Fikk negativ respons på inntrengningsevne.

Læringen: Test alltid den blanderespeten man planlegger å bruke. Ikke alt gir ønsket eller forventet resultat



WP 4 Flow models in rock description

- Se på væskestrøm fra pumpe til sprekkenettverk
- Mobilitet i sprekkenettverket
- Sprekkenettverksstatistikk
- Simulere ulike sprekkegeometrier
- Identifiser eksisterende flytmodeller
- To-fase situasjon vann - sement
- Kjørt numerikk på ulike væsker
- Lag en beskrivende konstitutiv modell av injeksjonsmasse og strømningstap



SINTEF

Memo
TIGHT: Numerical simulations of cement injection

PROJESKTNUMMER: 1000000000
Dato: 10.01.2016
Faglig ansvar: [Name]

INFORMASJON
Faglig ansvar: [Name]
Prosjektleder: [Name]
Løst dato: [Date]
Innholdsfortegnelse: [Table]

PROJESKTNUMMER: 1000000000
Dato: 10.01.2016
Faglig ansvar: [Name]

Table of Contents

1. INTRODUCTION	1
2. OBJECTIVE	2
3. SCOPE	3
4. METHODOLOGY	4
5. RESULTS	5
6. CONCLUSIONS	6
7. REFERENCES	7
8. APPENDICES	8
9. SUMMARY	9
10. REFERENCES	10
11. APPENDICES	11
12. SUMMARY	12
13. REFERENCES	13
14. APPENDICES	14
15. SUMMARY	15
16. REFERENCES	16
17. APPENDICES	17
18. SUMMARY	18
19. REFERENCES	19
20. APPENDICES	20
21. SUMMARY	21
22. REFERENCES	22
23. APPENDICES	23
24. SUMMARY	24
25. REFERENCES	25
26. APPENDICES	26
27. SUMMARY	27
28. REFERENCES	28
29. APPENDICES	29
30. SUMMARY	30
31. REFERENCES	31
32. APPENDICES	32
33. SUMMARY	33
34. REFERENCES	34
35. APPENDICES	35
36. SUMMARY	36
37. REFERENCES	37
38. APPENDICES	38
39. SUMMARY	39
40. REFERENCES	40
41. APPENDICES	41
42. SUMMARY	42
43. REFERENCES	43
44. APPENDICES	44
45. SUMMARY	45
46. REFERENCES	46
47. APPENDICES	47
48. SUMMARY	48
49. REFERENCES	49
50. APPENDICES	50
51. SUMMARY	51
52. REFERENCES	52
53. APPENDICES	53
54. SUMMARY	54
55. REFERENCES	55
56. APPENDICES	56
57. SUMMARY	57
58. REFERENCES	58
59. APPENDICES	59
60. SUMMARY	60
61. REFERENCES	61
62. APPENDICES	62
63. SUMMARY	63
64. REFERENCES	64
65. APPENDICES	65
66. SUMMARY	66
67. REFERENCES	67
68. APPENDICES	68
69. SUMMARY	69
70. REFERENCES	70
71. APPENDICES	71
72. SUMMARY	72
73. REFERENCES	73
74. APPENDICES	74
75. SUMMARY	75
76. REFERENCES	76
77. APPENDICES	77
78. SUMMARY	78
79. REFERENCES	79
80. APPENDICES	80
81. SUMMARY	81
82. REFERENCES	82
83. APPENDICES	83
84. SUMMARY	84
85. REFERENCES	85
86. APPENDICES	86
87. SUMMARY	87
88. REFERENCES	88
89. APPENDICES	89
90. SUMMARY	90
91. REFERENCES	91
92. APPENDICES	92
93. SUMMARY	93
94. REFERENCES	94
95. APPENDICES	95
96. SUMMARY	96
97. REFERENCES	97
98. APPENDICES	98
99. SUMMARY	99
100. REFERENCES	100

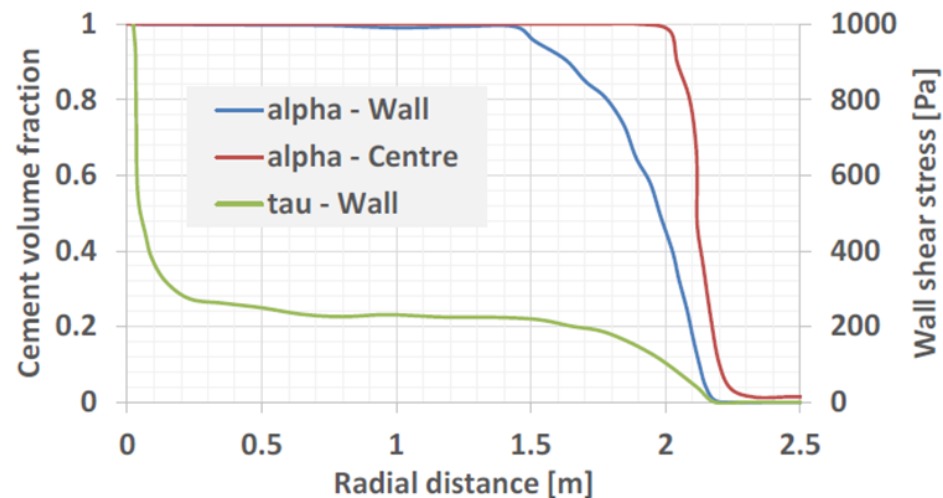
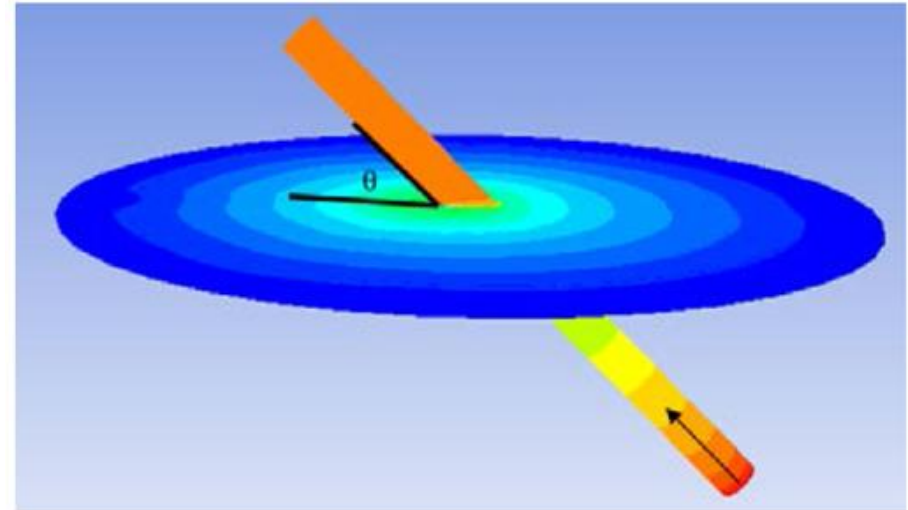


WP4 Flow models in rock description

Numerisk modellering viste at vinkelen mellom injeksjonshull og sprekke ikke er av betydning unntaken parallell



I vannfylte sprekker viser modellen at 'wetting' gir reduksjon av skjærkrefter og bedre strømning



WP 5 Numerical modelling of coupled flow & rock models

Bygge modelleringsverktøy for ulike aspekter av injeksjon og integrere disse i en strukturert arbeidsflyt som kan brukes til forskning og til slutt ingeniørberegninger.

Numerisk modellering i koplede modeller

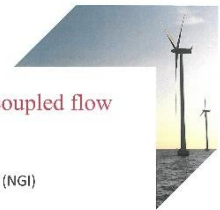
- Etabler konstitutive modeller
- Identifiser software
- Teste

Artikkel/presentasjon Nordic Grouting 2016

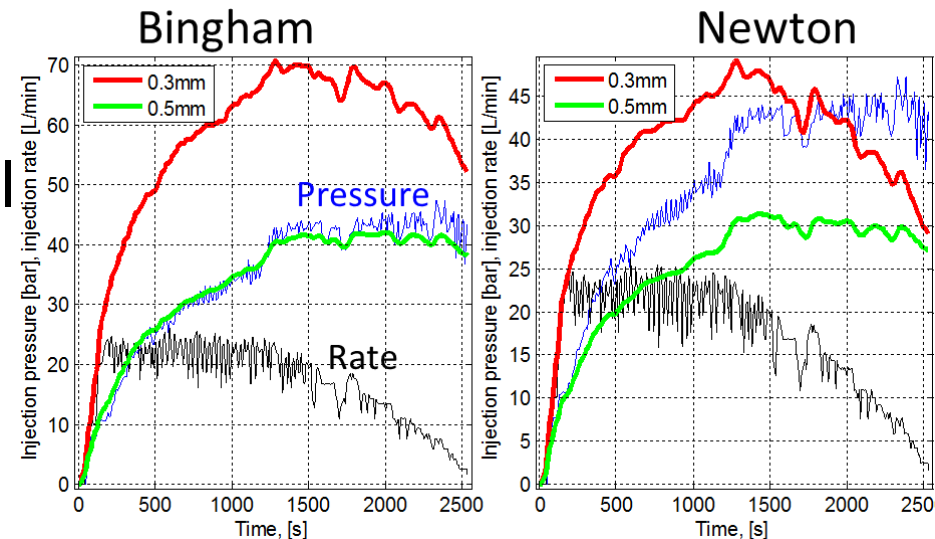
NGI

TIGHT – WP5:
Numerical modeling of coupled flow
and rock models

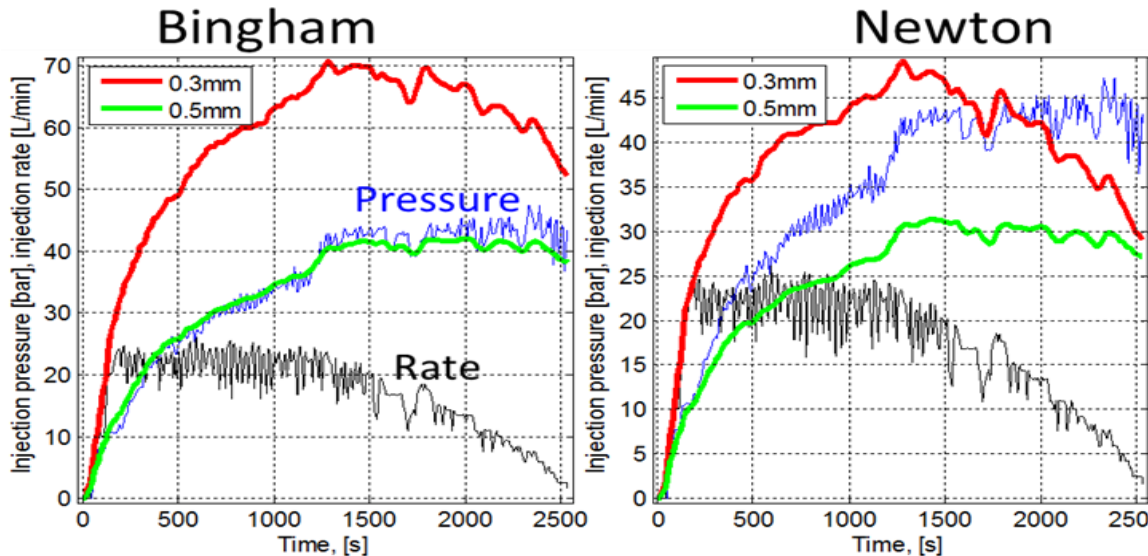
Tore Ingvald Bjørnå (NGI)



Validering mot injeksjonsdata
rød og grønn kurve er numerisk



WP5 Numerical modelling of coupled flow & rock models



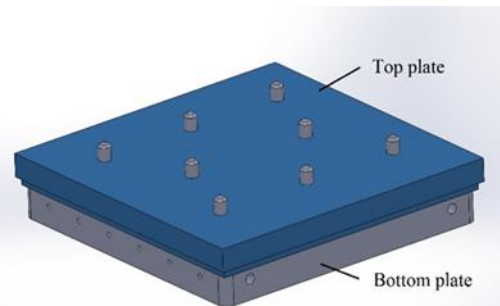
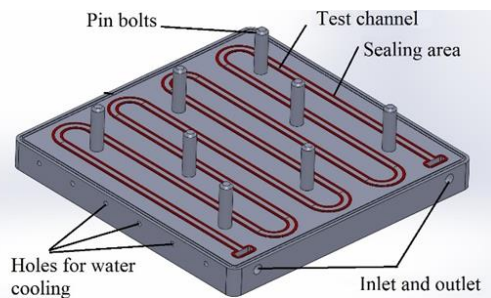
Vanntapsmåling er ikke en god måte
å simulere Injeksjon på

WP 6 Scaled laboratory model

Skalert laboratoriemodell, funksjonalitet og anvendelse.

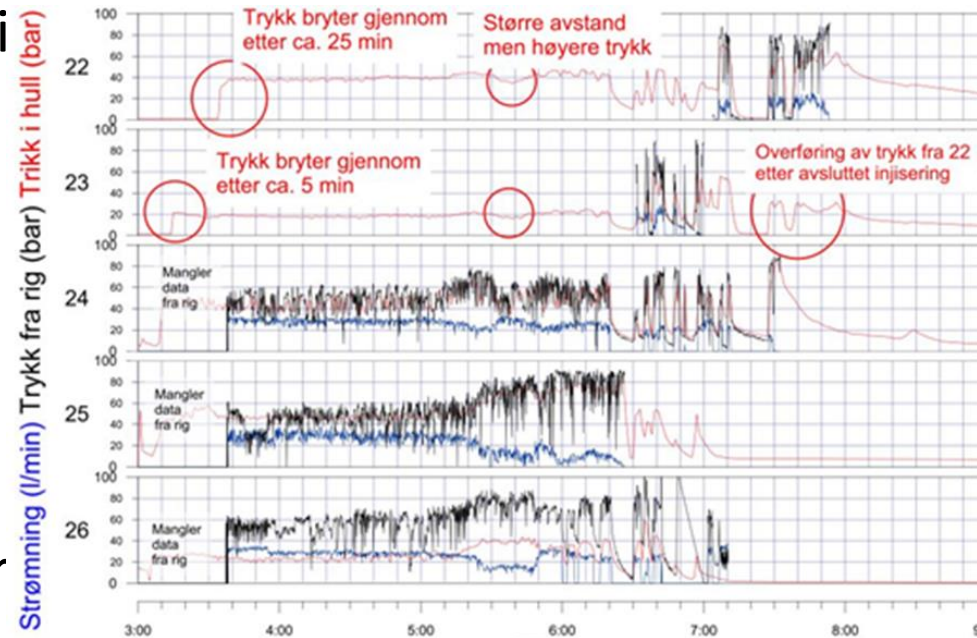
- Kjør tester med lab.utstyr
- Varier parameter innen masser, additiver, bergmasse, hulldiameter
- Så virkelighetsnært som mulig

- State-of-the-art rapport på lab.testar er laget
- Stålmodell, 1 sprekk 4,5m lang, aperture 30-100 μm
- Kan legge til flere sprekker 600x600 mm modell
- Teste vanlige injeksjonsmaterialer i Norge
- Varier parameter for W/C, trykk, sprekkeåpning

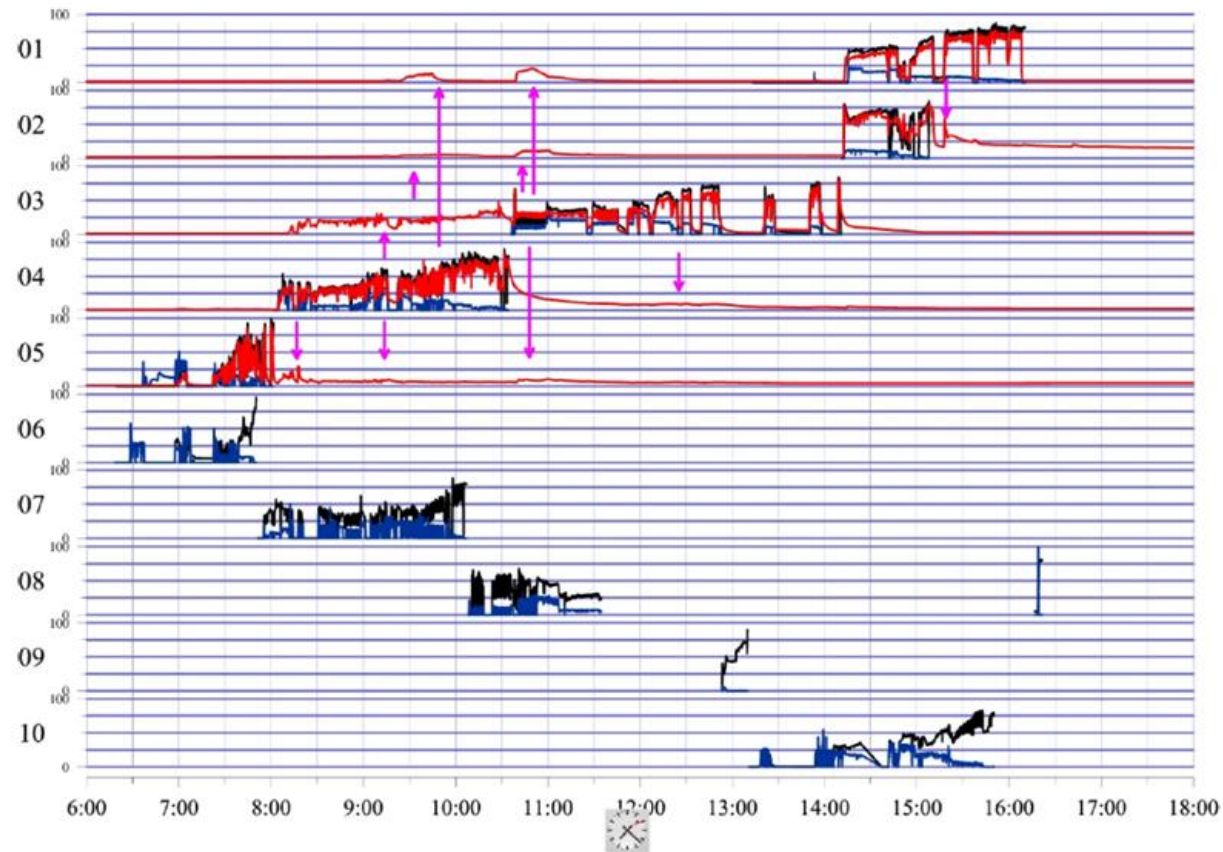


WP 7 Full scale testing work site/ug test facility

- Dokumentere trykkoppbygging i sprekkevannsregimer; i borehull og i nærliggende berg før, under og etter injeksjon
- Utvikle målesystem for trykk i injeksjonsmasse inn i hullene
- Registrere trykk på baksiden av pakker inne i borehullene under forinjeksjon
- Måler i flere injeksjonshull over flere runder av injeksjon i tunneler

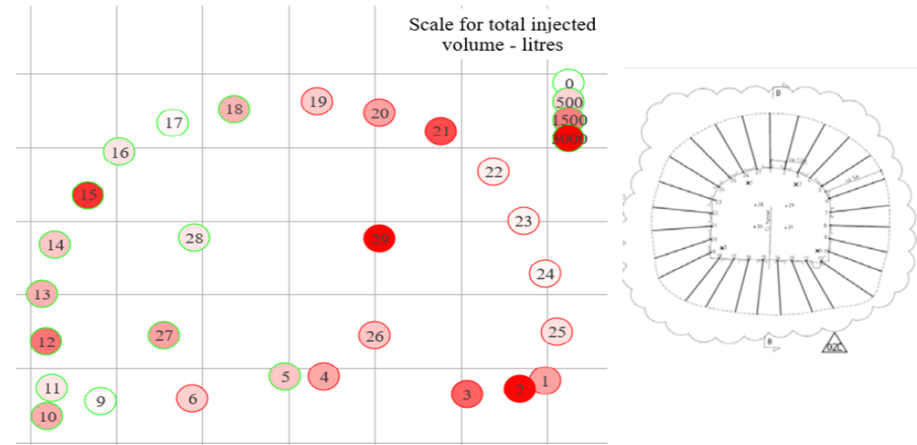
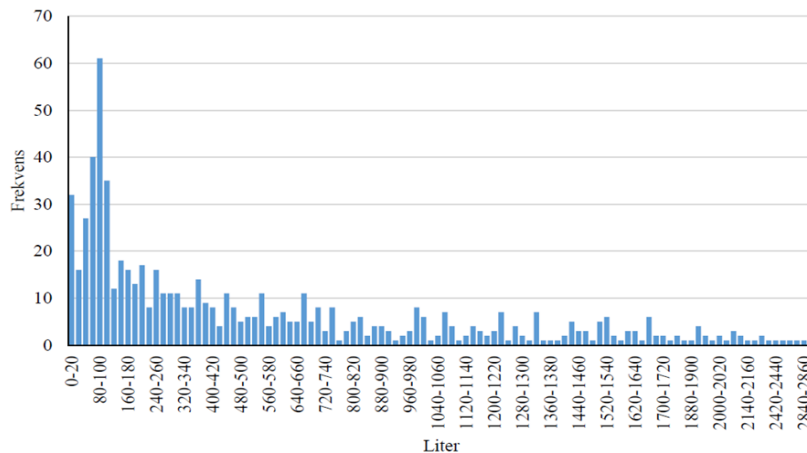


WP 7 Full scale testing work site/underground test facility.



Det er tydelig god forbindelse

WP 8 Full scale testing work site/underground test facility

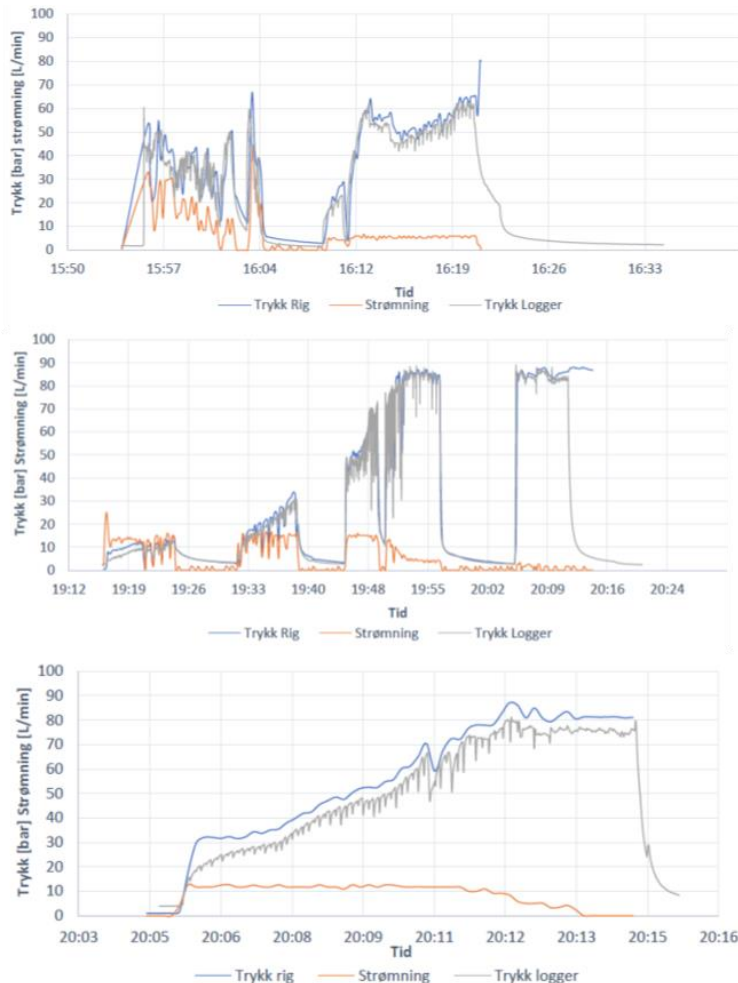


Fra MSc'er i TIGHT

- Sølve Pettersen; "> 30% av injeksjonshullene hadde mindre enn 120 liter massinngang"
- Stine Moe: "Injeksjonshull med stort volum har større mengde jekkehendelser"
- Sondre Wenaas: "Jekking leder til øket volum- og tidsforbruk"

Jekking er registrert med trykk mindre enn forventet minste hovedspenning og overekning.

WP 7 Full scale testing work site/underground test facility.



En MSc-student gikk gjennom alle de dataene NGI hadde innsamlet for TIGHT

Resultatene viser etter bearbeiding at det er god sammenheng mellom injeksjonstrykk målt på injeksjonsriggen og målt i hullet.

Vann ble også testet, men viste dårlig sammenheng mellom rigg og målt i hullet

Lite tap av trykk fra rigg til hull.



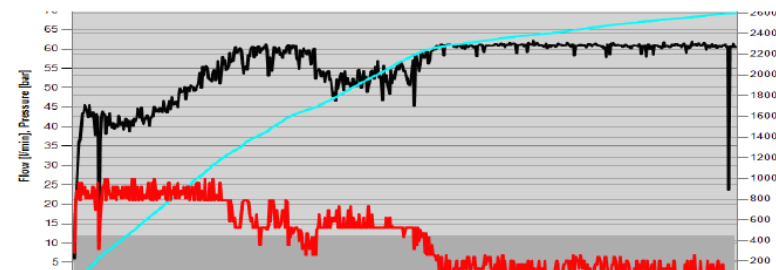
WP 8 Monitoring

Utvikle et instrument som kan måle trykk og overføre data fra forskjellige dybder i lange borehull for å dokumentere faktisk trykk inne i bergmassen. Et viktig verktøy for å bestemme de materialer og trykk som gir best resultat under forskjellige forhold.

- Etablere systemer for trykkovervåkning på forskjellige steder i hull/bergmasse
- Trådløs overføring
- Rapporter om funn fra testing

Real time monitoring

- Example of graphical data

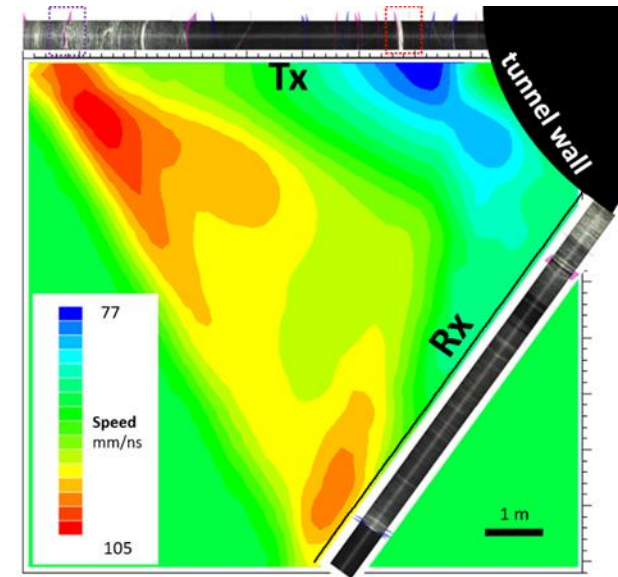


WP 8 Monitoring

Prøvde med GPR 2D Tomography

Det syntes som om dette oppsettet kan benyttes i borhull for å evaluere injeksjonsresultatene og vannfylte sprekker basert på hastighetsdistribusjon.

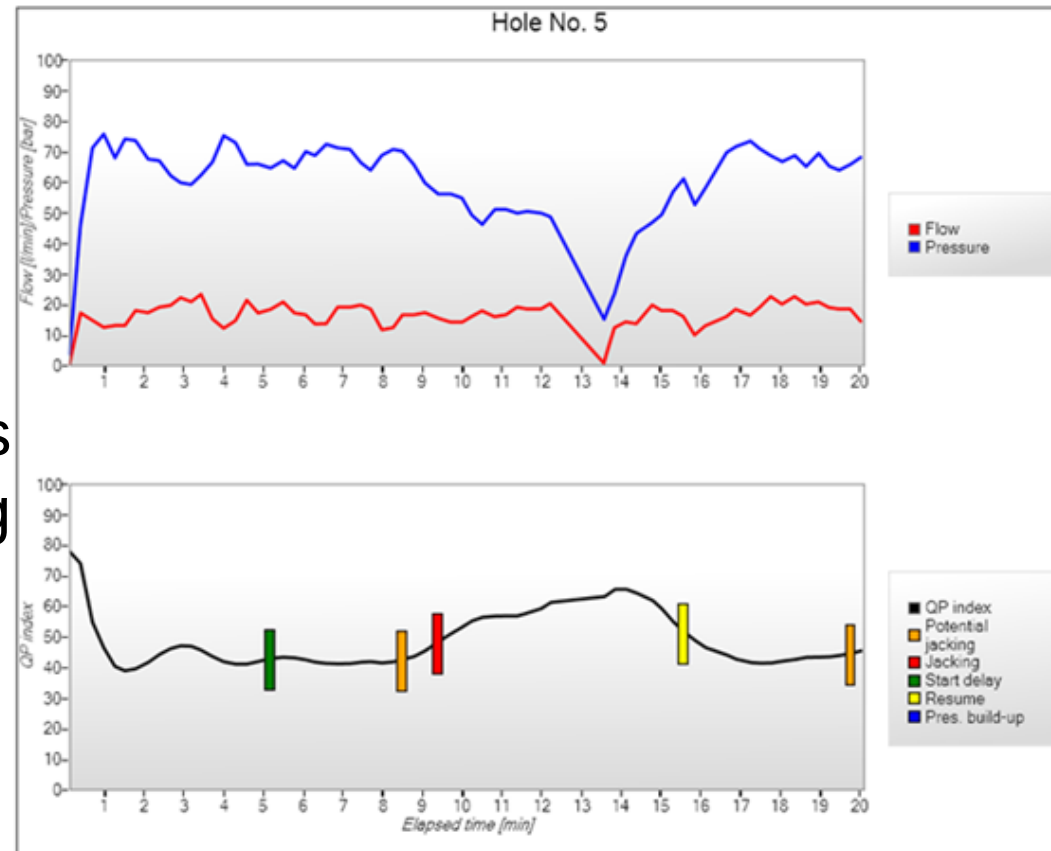
Det ble gjort lite arbeid på dette i prosjektet og det er begrenset konfidens i testingen, dessverre



WP 8 Monitoring

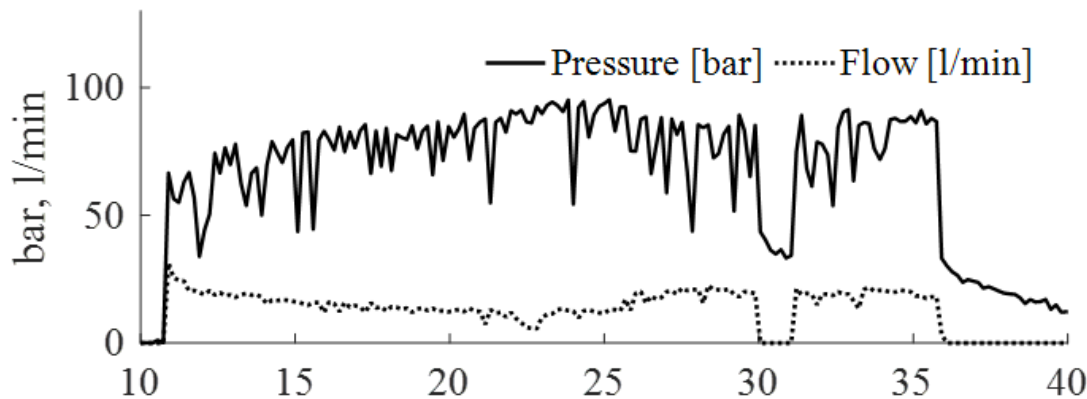
AMV/Bever Control
oppgradert logger og
datapresentasjon

- Hyppigere logging
- Logger etter pumpestans
- Jobber m/grafisk tolkning
- Helene og partnere

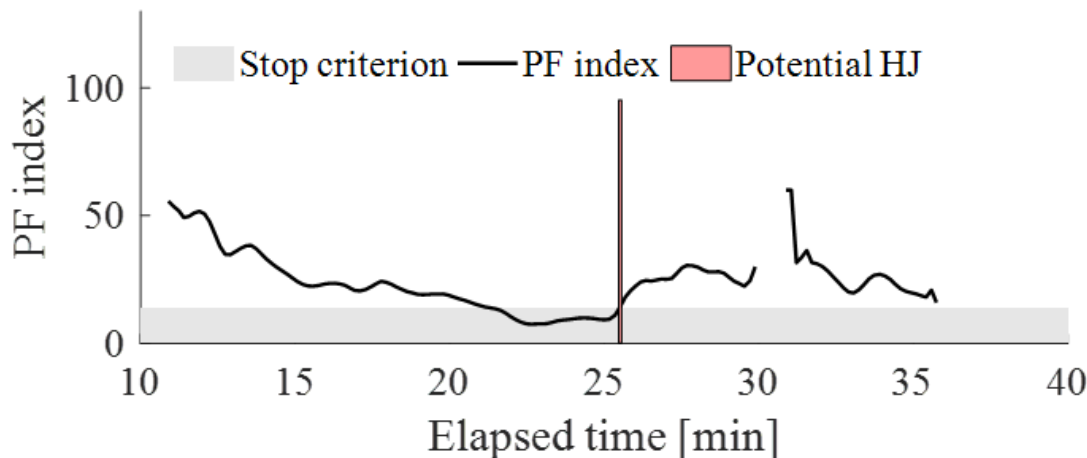


Bever Control – sanntidsregistrering av
injeksjonsforløp – verktøy for oppfølging

PF-Index utviklet av Helene Strømsvik gjennom en nitidig studie av et stort antall injeksjonsomganger



Dette vil dere
få høre mer av
Helene i løpet
av dagen i
dag



Fra Helene Strømsvik

Jacking- an incident of positive or negative impact? (1)

All groups seem to accept that jacking occurs when the grout pressure exceeds the normal stresses acting over a fracture.

Higher pressure will give a faster flow

Jacking implies that the fracture aperture will increase.

The increase of fracture aperture will depend on the excess grout pressure and the spread of the grout.

Jacking- an incident of positive or negative impact? (4)

Some issues to be further discussed

What happens with the spread and penetration of the grout into the finer fractures?

Lack of experiences from the field?

How to keep jacking under control? Stop criterion and indicators from monitoring of the grout course?

1. Jacking when grouting – an incident of positive or negative impact – wanted or unwanted?
2. How can we balance high pressure as something required for good quality grouting with the risk of jacking?

Jacking- an incident of positive or negative impact? (2)

All groups seems to consider that jacking may have negative effect.

Common negative effects are loss of control and higher grout consumption. Some groups have also taken up the risk for opening up new larger water channels. Some groups have indicated the risk for the workers.

How to balance high pressure and good quality grouting (1)

Many groups suggest that the pressure should be close to the jacking pressure. Some groups indicate that a short period of higher pressure in the very start can be allowed.

Many groups suggest that monitoring should be used to control that jacking will not occur. Stop criterion is mandatory. (*N.B. not stop pressure*). Adapt the rheological properties to the actual situation. Use stable grout. Investigation of the in situ stresses and geology. Education of people involved.

Nordic Grouting Symposium
«State of the art – Future Developments»

September 26-27, 2016 in Oslo



The Norwegian Group of Rock Mechanics (NRG) and the Norwegian Tunneling Society (NTS) have the pleasure to announce that the 9th Nordic Grouting Symposium will take place 26-27 of September 2016. The symposium will be held at Radisson Blu Scandinavia Hotel in Oslo, Norway. We hereby invite our Nordic colleagues to present papers, exchange experiences and discuss the latest development in Rock Grouting amongst like-minded.

Subjects for the Symposium:

- Case studies, recent Nordic projects, and international hard rock projects / examples
- Grouting approach and strategy
- Properties – materials, rock mass, accessories and equipment
- Groutability / Grout penetration
- Grout pressure
- Development potential – equipment, software, documentation and analysis

Deadlines for authors:

Abstract Submission 5th of February 2016
Abstract Acceptance 5th of March 2016
Paper Submission 1st of June 2016
Final Paper Submission 1st of September 2016

Call for papers:

Authors are requested to submit a 200 word abstract, which will constitute the basis for preliminary acceptance by the Scientific Committee. Abstract must be submitted to: abstract@nordicgrouting.com in pdf.

Organized by:

GNFF



Visit our website:
<http://nordicgrouting.com>

Jacking- an incident of positive or negative impact? (3)

All groups have indicated that under some circumstances jacking may be beneficial.

In general the positive effect can be utilised for deep and rural tunnels. The effect may be a better penetrability, less risk for clogging and faster flow of the grout.

Some groups have pointed out that this requires that a reasonable stop criterion is established and used to be in control and to prevent high grout consumption.

Tilbakemeldinger Nordic Grouting Symp.

Hvorfor jekking er uønsket:

- Resulterer i et større forbruk av inj. masse (67%).
- Risiko for skade på arbeidere og eller miljø (56%).
- Tap av injeksjonskontroll (45%).
- Åpne nye store vannkanaler (22%)

Hvordan balansere dette?

- Påføring av høyt trykk over kort tid (45%).
- Måling og kontroll av strøm og trykk (45%).
- Bruk av høy kvalitet, stabil injeksjonsmasse (33%).
- Kort oppstart med høyere trykk før trykket senkes (22%).
- Et stoppkriterium på mengde skal være obligatorisk (22%).

Høyt trykk gir (positivt):

- Hurtigere injeksjon (45%).
- Bedre inntrengning (45%).
- Større mengde er sikret (22%).
- Mindre risiko for tetting av hull uten effekt (11%).

Tilbakemeldinger
kompilert av MSc-
stud. Eivind Moe

Nordic Grouting Symposium
«State of the art – Future Development»

September 26-27, 2016 in Oslo



The Norwegian Group of Rock Mechanics (NRG) and the Norwegian Tunneling Society (NTS) have the pleasure to announce that the 4th Nordic Grouting Symposium will take place on 26-27 of September 2016. The symposium will be held at Radisson Blu Scandinavia Hotel in Oslo, Norway. We kindly invite our Nordic colleagues to present papers, exchange experiences and discuss the latest development in Rock Grouting amongst the members.

Subjects for the Symposium:

- Case studies, recent Nordic projects, and international Rock Grouting projects
- Grouting approach and strategy
- Properties – materials, rock mass, accessories and equipment
- Groutability, Grout penetration
- Grout process
- Development potential – equipment, software, documentation and analysis

Call for papers:

Authors are requested to submit a short abstract, which will constitute the basis for preliminary acceptance by the Scientific Committee. Abstracts must be submitted to: info@nordicgrouting.com

Organized by:



Deadlines for authors:

Abstract Submission: 1st of February 2016

Abstract Acceptance: 1st of March 2016

Final Submission: 1st of May 2016

Final Project Submission: 1st of September 2016

Visit our website: <http://www.nordicgrouting.com>

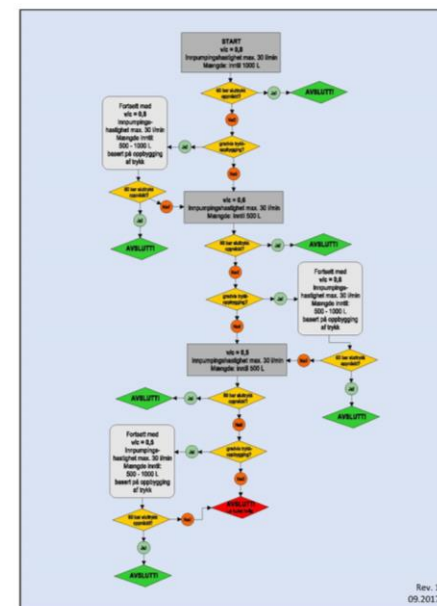
Veien videre

TIGHT var et 4-årig prosjekt, men det er fortsatt mye som gjenstår :

- Bedre forståelse av spredningen av injeksjonsmasse i berget
- Verktøy for oppfølging av arbeidene
- Kontrakter som gir tilstrekkelig kontroll på kvalitet og kvantitet og derigjennom risikodeling – spesifikasjoner som stiller de rette kravene til materialer og utførelse
- Artificial Intelligence – AI – i injeksjonsarbeider, hvor vil det lede oss hen
- Hvordan skal vi kunne ta Injeksjon inn i undervisning som et fag

Hvordan inkludere TIGHT-resultater i prosedyren

- Grundig testing av materialer og blandinger før bruk og under gjennomføring
- Ethvert undergrunnsprosjekt er unikt – test prosedyrene før de blir hellige – ingen 'cut & past'
- Trenger høyt trykk – men hvor høyt? Hva er den samlede motstanden i systemet?
- Skal vi fokusere på 'effektiv trykk' – det er det som er kjernen i utførelsen
- Stedlig involvering av alle parter på stuff under arbeidet – tross alt 1/3 av drivekostnad
- Kan bruke sanntidsdata på riggen til oppfølging og beslutningshjelp
- Modifiser prosedyre i henhold til observasjoner



Injeksjonsarbeider – en kursendring

Ut ifra TIGHT er min oppfatning som følger:

- Må justere kursen for hvordan dette arbeidet blir utført – gjennom prosedyren
- Høyt trykk er nødvendig – men med rett forståelse
- Må ha tydelig prosjektspesifikk prosedyre - tilpasset bergmasse og omgivelser
- Trykket er den samlede motstanden væskestrømmen møter – vanntrykk, sprekkeopptreden, spenninger etc.
- Trykkfall = potensiell uønsket situasjon



Takk for oppmerksomheten!