



— 70 years —  
1950-2020

# VURDERING AV UTFØRT BERGINJEKSJON I NORSKE TUNNELPROSJEKTER

- PRESENTASJON AV RESULTATER FRA TIGHT-PROSJEKTET OG PHD

Helene Strømsvik

Fjellsprengningsdagen 2020

# TIGHT-prosjektet (2014-2018)

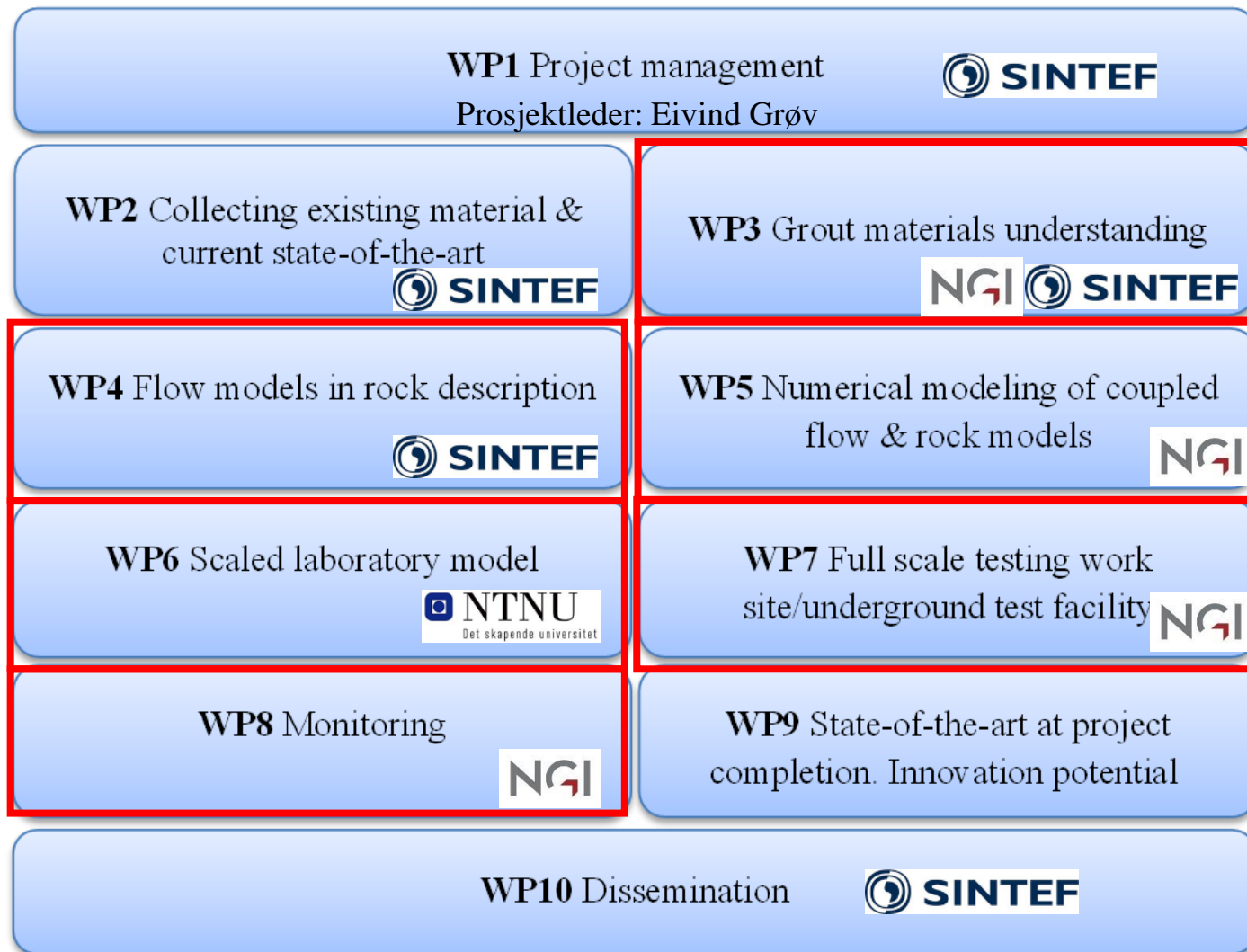
True Improvement in Grouting High pressure Technology for tunnelling

---

KPN (Kompetanseprosjekt for Næringslivet) i Norges  
Forskningsråds program BIA (Brukerstyrt Innovasjonsarena)

*Målet for TIGHT var å øke forståelsen og kunnskapen for ulike  
prosesser og materialer, som videre kunne tilføre kunnskap til  
bransjen, samt en optimalisering av injeksjonsprosessen.*





## Tilknyttet prosjektet:

1 PhD

7 MSc

# TIGHT Sluttrapport

---

En sammenfatning av prosjektarbeid  
og resultater



[https://www.sintefbok.no/book/index/1251/semntbasert\\_berginjeksjon\\_sluttrapport\\_fra\\_prosjektet\\_tight](https://www.sintefbok.no/book/index/1251/semntbasert_berginjeksjon_sluttrapport_fra_prosjektet_tight)

# WP 3: Laborrietester

---



*Kilde: Bohloli et al (2016)*

Ulike v/c-forhold og temperaturer, med og uten tilsetningsstoffer.

Enaksiell trykkfasthet (UCS), filtrasjon, stabilitet, avbinding, konsistens, kalorimetri, densitet, overflateareal på sementkorn (BET), kornfordeling og permeabilitet.

**Det man forventer teoretisk sett kan divergere betydelig fra resultatene man får i praksis.**

Bør utføre relevante tester på de sementblandningene man skal benytte under stedlige forhold, med tilsvarende blandemetoder som benyttes ved injeksjon.

# WP 4: Strømningsmodeller

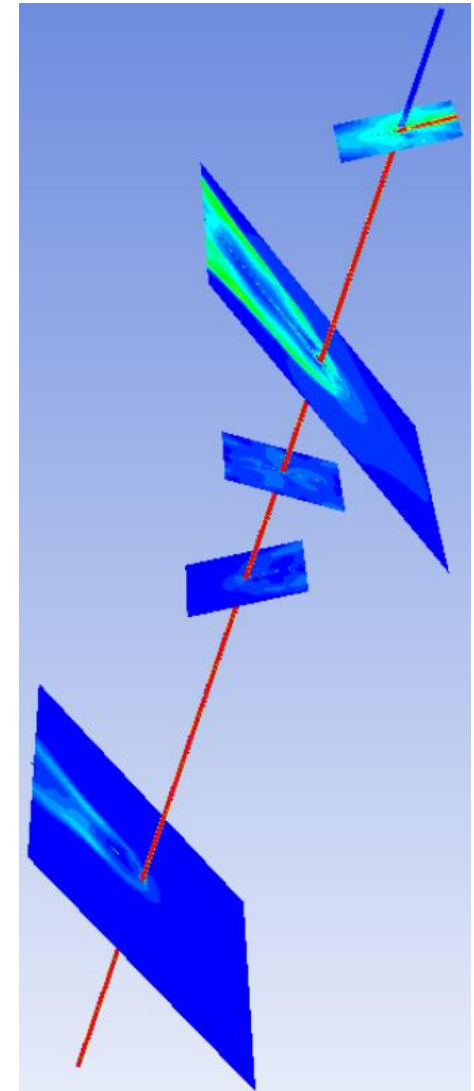


## *Numerisk modellering*

Vurdering av hvilke parametere som medvirker til trykktap i injeksjonsmassen ettersom den sprer seg i sprekke.

I praktisk betydning betyr dette trykket som måles på injeksjonsriggen.

Størrelsen på sprekkeåpningen og de viskøse egenskapene til sementen er friksjonsparametere som dominerer, spesielt i små sprekker.



*Kilde: Skjetne & Mo (2016)*



# WP 5: Strømningsmodeller koblet mot bergmekanikk



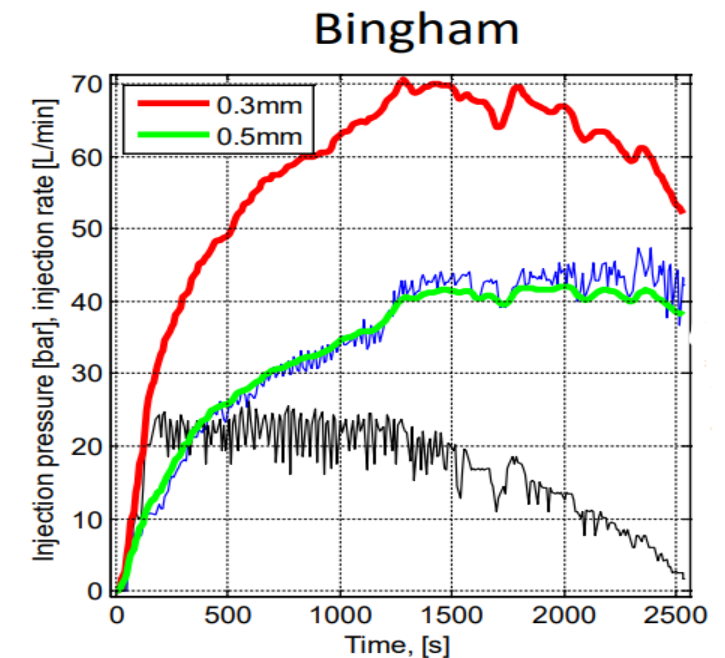
## Numerisk modellering

Benyttet teoretisk formelverk i kombinasjon med faktiske data fra utført injeksjon.

Bekreftet at det er mulig å innhente informasjon om sprekkesystemet man injiserer underveis i injeksjonen, samt definere hendelser som hydraulisk jekking under injeksjonsforløpet.

Dette er også mye av tankegangen, metodikken og formelverket rundt RTGC-metoden (Real Time Grouting Control). *Stille (2015)*

Denne typen beregninger kan ha et stort potensial i fremtiden, men krever mye informasjon om flytegenskapene til injeksjonsmassen,



Kilde: *Bjørnarå et al. (2017)*

# WP 6: Skalert laboratoriemodell

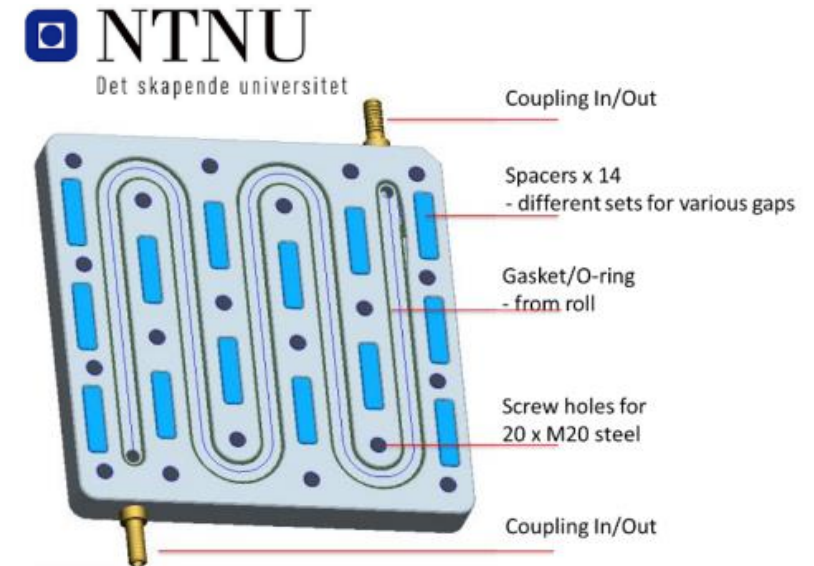
Dimensjonert for høyt injeksjonstrykk tilsvarende det som brukes i praksis.

Tidkrevende prosess, preget av forsinkelser i produksjonen og leveranser av utstyr.

Blandemetoder skulle utføres om på anlegg.

Ble utført Marsh Cone-test og bordutflytningstest med to blandinger tilsvarende to av blandingene benyttet i WP 3, ved å benytte kolloidalmikser.

Betydelig forskjell mellom blandningene og indikerer at viskositeten er høyere i sement blandet med kolloidalmikseren versus laboratoriemikseren.



d)



Kilde: Vistnes & Nilsen (2018)



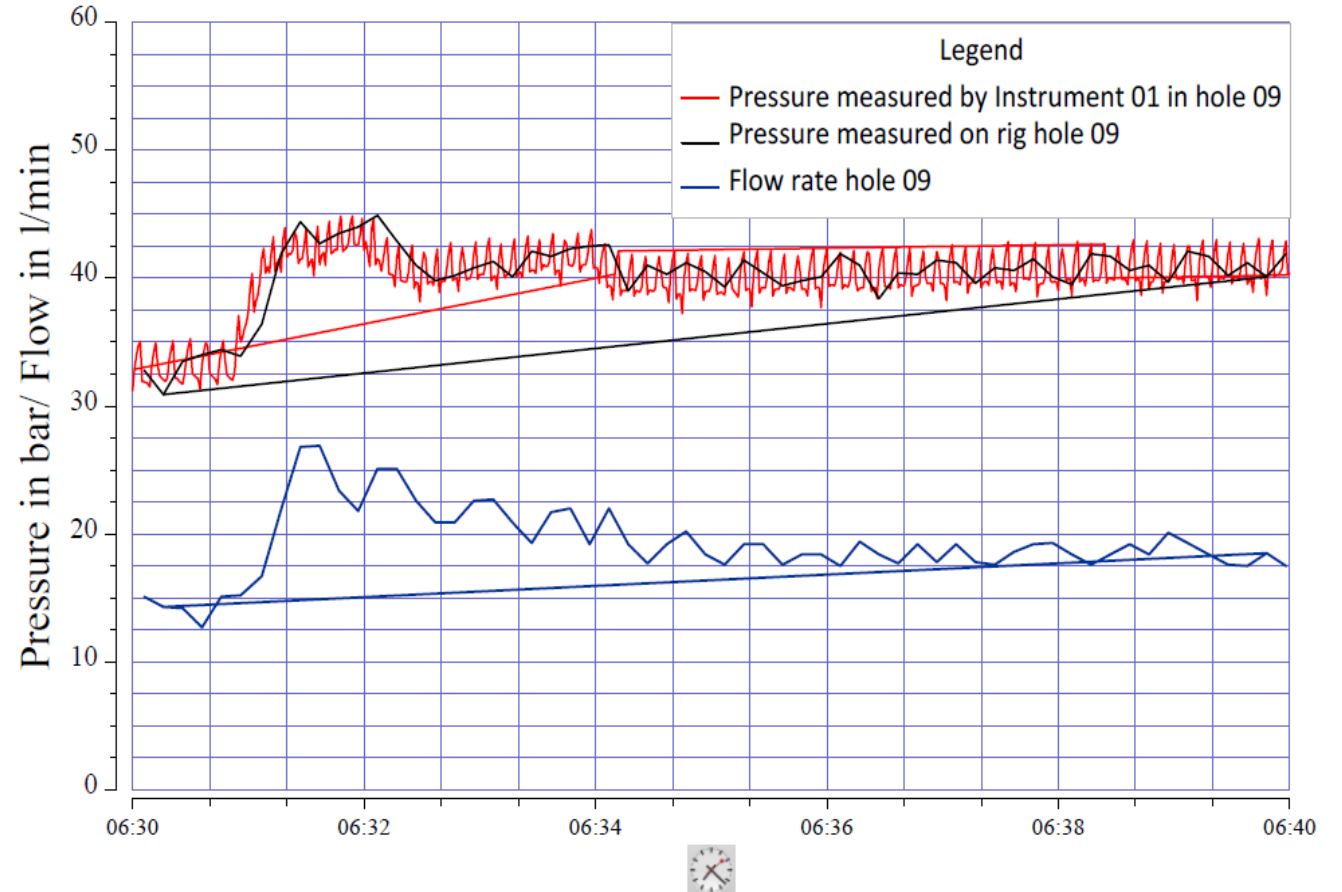
# WP 7: Fullskala testing i tunnel



## Måling av trykk i injeksjonshull



Foto: Helene Strømsvik



Kilde: Tunbridge & Nilsen (2018)

# WP 8: Monitorering

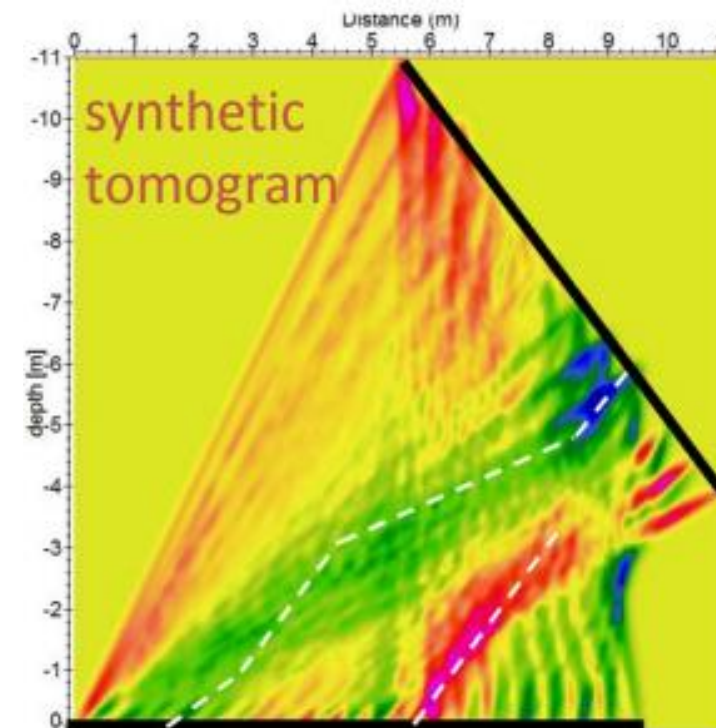
---

Undersøkte metoder for å dokumentere spredning av injeksjonsmasse i berget.

Det er vanskelig å finne gode metoder for å kunne "se" i bergmassen.

I dette prosjektet ble Ground Penetrating Radar (GPR) benyttet som et verktøy for å evaluere spredning av sement i bergmasse.

Resultatene var lovende, og det hadde vært interessant å utføre flere tester ved bruk av GPR for å utforske potensialet nærmere.



*Kilde: Basin (2018)*

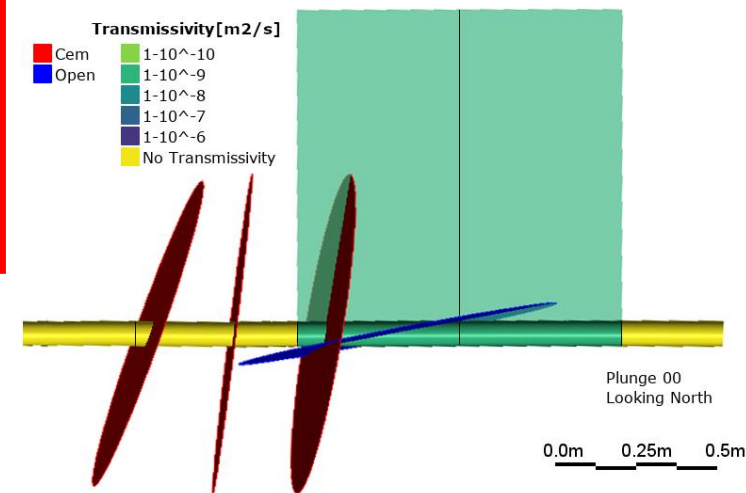
# PhD

PhD arbeidet hadde fokus på å dokumentere dagens injeksjonspraksis og forskningen ble utført fra hovedsakelig to vinklinger

```
Section;7717
HoleNo;1
HoleLen;24.0
Stage;2
Recipe;11
Injection;1
Date;2017:03:30
Time;      Pressure;Mom. Flow;  Volume
HH:MM:SS; Bar; Litres/minute; Litres
07:24:58; 93.8;  0.0;    0.0
07:25:08; 93.3;  0.0;    0.3
07:25:18;  0.2;  4.2;    1.0
```

1. Tolkning av data fra injeksjonsrigger; stor database med overdekning, geologisk kartlegging, type injeksjonsmasse, skjermgeometrier og rådata fra injeksjonsrigger. Benyttet til tolkning av injeksjonsforløp og statistiske analyser.

2. Feltstudie av injisert bergmasse; kjerneboret 9 hull med 10 meters dybde i injisert bergmasse på Åsland. Kjernelogging for å finne sement i bergsprekker og bestemme bergartstyper, OTV, og vanntapsmålinger med høy nøyaktighet i hver halvmeter i alle hull. All data ble sammensatt i en 3-D modell.



Kilde: Strømsvik & Gammelsæter (2020)

# Datagrunnlag

---

<b>Tunnel</b>	<b>Rounds</b>	<b>Holes</b>	<b>Type cement</b>	<b>Overburden</b>	<b>Geology</b>	<b>Target Pressure</b>
<b>A</b>	31	1012	OPC	9-45 m	Gneiss with veins of Diabase	60-80 bar
<b>B</b>	8	332	MFC	65-100 m	Gneiss with veins of Amphibolite and Pegmatite	80 bar
<b>C</b>	12	429	9 MFC 3 OPC	24-86 m	Gneiss with veins of Amphibolite and Pegmatite	60-80 bar
<b>D</b>	16	581	8 MFC 8 OPC	165-200 m	Banded gneiss	80 bar
<b>E</b>	6	227	1 MFC 5 OPC	183-188 m	Amphibolite	80 bar
<b>F</b>	18	810	OPC	23-78 m	Monzonite	80 bar

*Kilde: Strømsvik (2019b)*

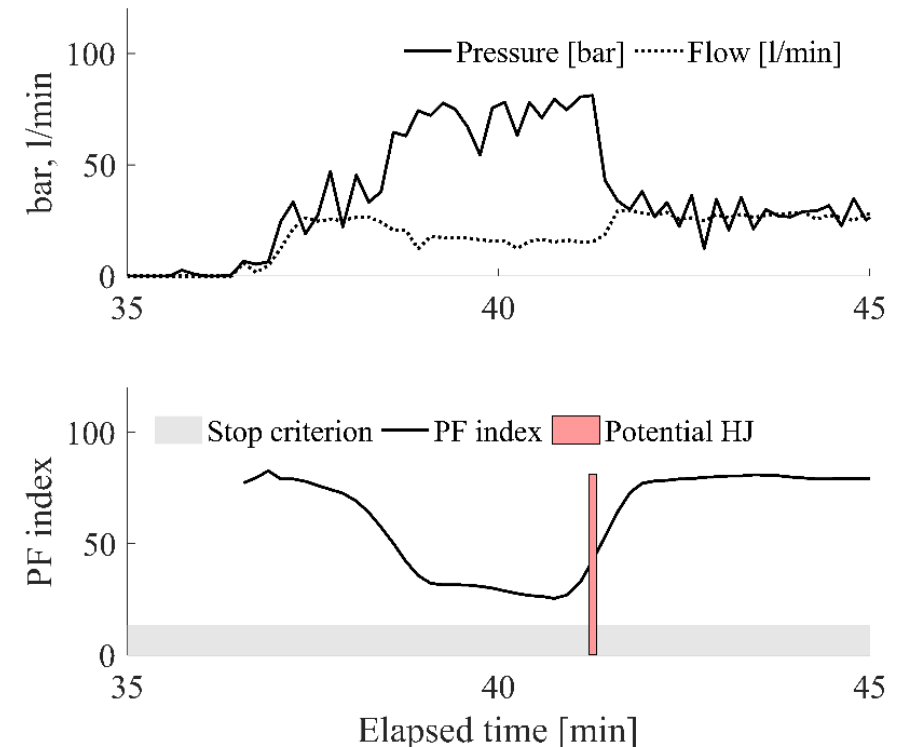
# Tidlig fokus på hydraulisk jekking

Markante hendelser i injeksjonsforløpet i form av plutselig hendelser med trykktap og økt strømning.

Dette ble tidlig vurdert til å ha en signifikant betydning for forbruk av sement og tid.

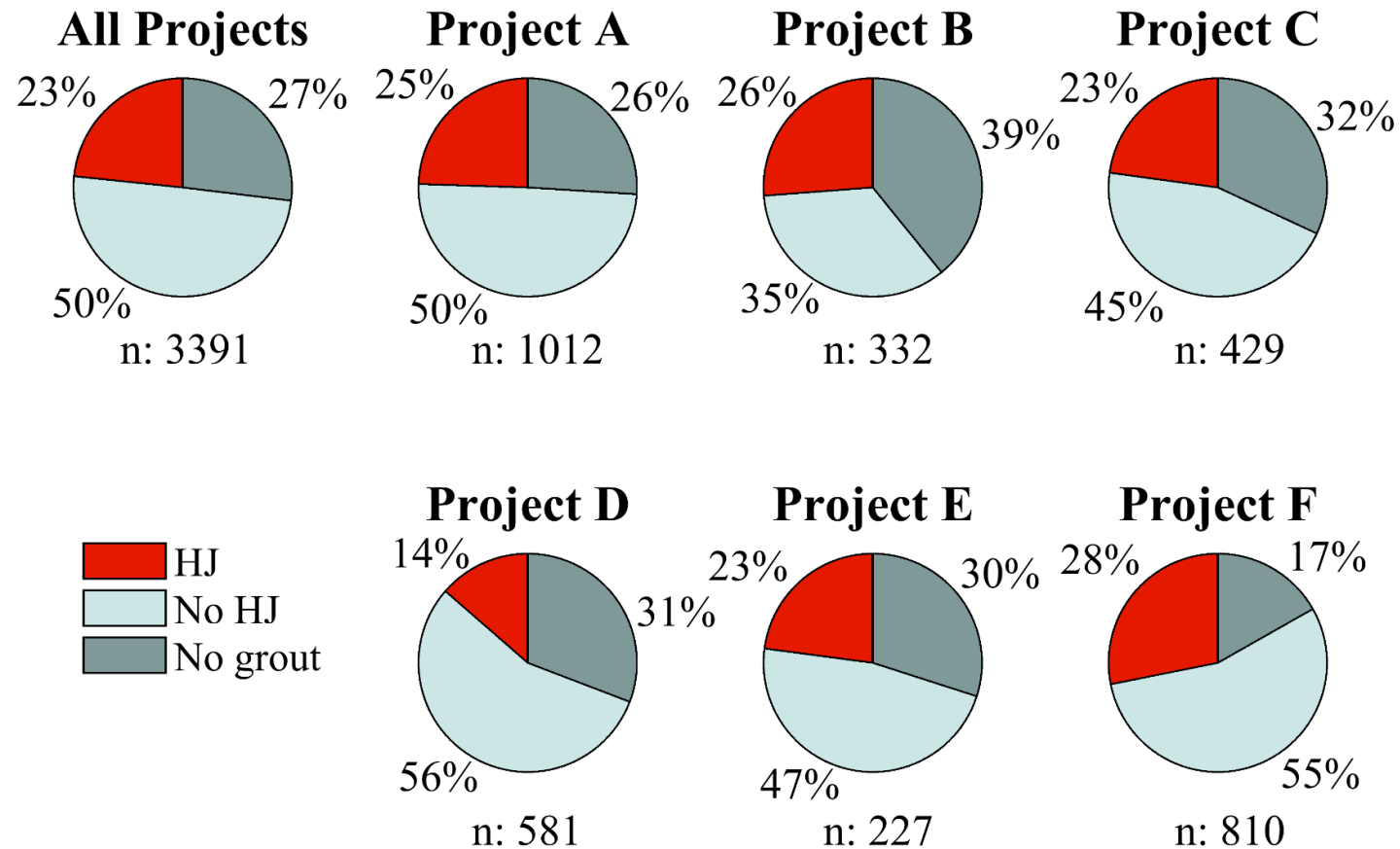
Laget en algoritme for å registrere hydraulisk jekking i databasen.

Ble utviklet en hjelpeparameter for å letter identifisere slike hendelse, PF –indeksen.



Kilde: Strømsvik et al. (2018)

# Andel hull med hydraulisk jekking



# Sammenligning av industri- og mikrosegment

		<b>Median OPC</b>	<b>Median MFC</b>
1	Forbruk av injeksjonsmasse per skjerm	26 000 liter	13 000 liter
2	Andel hull med ingen inngang av sement	21%	35%
3	Andel hull med indikasjon på hydraulisk jekking	24%	19%
4	Forbruk av injeksjonsmasse per meter hull, uten jekking	29 l/m	17 l/m
5	Forbruk av injeksjonsmasse per meter hull, med jekking	52 l/m	41 l/m
6	Forbruk av tid per meter hull, uten jekking	3.4 min	2.1 min
7	Forbruk av tid per meter hull, med jekking	6.4 min	4.7 min
8	Prosentandel høyere forbruk av injeksjonsmasse i hull med jekking	68%	115%
9	Prosentandel høyere forbruk av tid i hull med jekking	79%	90%

# Hvorfor så stor forskjell mellom industri og mikro?

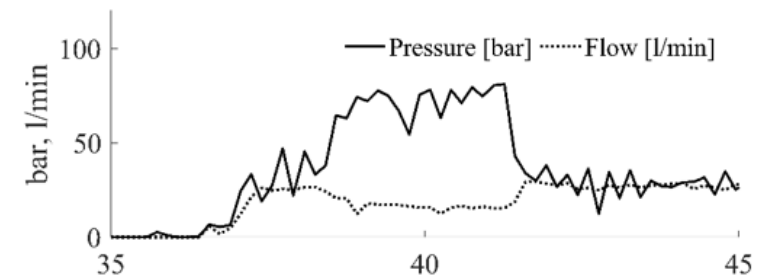
---

- Sementpartiklene i mikroement har høyere spesifikk overflate, som betyr større overflate i forhold til vekt. Påvirker flytegenskapene i form av høyere flytspenning og viskositet.
- Herdeprosessen i mikroement begynner raskere.
- Inntrengning i små sprekker er ikke nødvendigvis bedre med finkornet sement (*Stille, 2015*). Det er derfor ikke slik at man forbruker mer av injeksjonsmassen på unødvendig små sprekker. I tilfeller der man ikke får tettet små nok sprekker med industrisement, er det derfor ikke slik at mikroement er en løsning.



# Fakta om hydraulisk jekking

- Sprekker som jekkes er sprekker sementen har god inntrengning i.
- Trykktapet som måles på injeksjonsriggen etter at jekking har oppstått er reelt for hele sprekkesystemet tilknyttet injeksjonshullet. I praksis betyr dette dårligere injeksjon av de sprekkeene som ikke har blitt jekket.
- I et stivt system vil volumøkningen av en sprekke under injeksjon rent teoretisk føre til kompresjon av andre nærliggende sprekker under selve injeksjonen
- Økt sprekkevolum, da deler av volumøkningen er permanent.
- Tidkrevende å nå stoppkriteriet og konsekvensen blir unødvendig høyt forbruk av sement.



# Hva skjer når en "sprekk" blir større?

---



# Logic Grouting

---

I begynnelsen av 2020 startet prosjektet Logic Grouting, et treårig kommersialiseringsprosjekt støttet av Norges Forskningsråd (KOMMERSFORSK19).

Logic Grouting er ledet av SINTEF med Bever Control som partner, og AMV og Bane NOR er samarbeidspartnere. Veidekke og Skanska bidrar med data til prosjektet.

Prosjektet har som formål å introdusere nye metoder og programvare for å tolke injeksjonsforløpet i sanntid, deriblant automatisk detektering av hydraulisk jekking under injeksjon.

Tilrettelegges for at entreprenør og byggherre lettere kan følge injeksjonen under og etter utført arbeid.



*Kilde: Nordøyvegen, Møre og Romsdal Fylkeskommune (Facebook)*

# Oppsummering

---

- Resultatene fra TIGHT og PhD indikerer at bruken av høyt trykk bør differensieres og at det i mange tilfeller er fordelaktig å redusere kravet til oppnådd sluttrykk
- Valg av injeksjonsmasse er sannsynligvis den viktigste faktoren når det kommer til stuttresultatet
- Potensiale for betydelig innsparing når det kommer til optimalisering og tilpasning av prosedyrer til stedlige forhold.
- En tunnel som er tett nok til at de stedlige innlekkasjekravene er oppfylt er det viktigste målet, da dette ivaretar miljø, overliggende konstruksjoner og infrastruktur. Men; en vellykket injeksjon bør ikke bare bedømmes i forhold til oppnådd reduksjon i innlekkasje, faktorer som økonomi og miljø bør også inkluderes.
- Ny forskning og teknologisk utvikling er viktig for å nå framtidige mål om vellykket injeksjon med hensyn på krav til innlekkasje, som også ivaretar økonomi, byggetid og miljø.



# Referanser

---

Bazin, S. (2018). "TIGHT WP8-Grout monitoring; Imaging of grout distribution with crosshole *GPR*". NGI. Oslo

Bjørnarå, T. I., Tunbridge, L., & Bohlooli, B. (2017). "Hydromechanical modelling of rock mass grouting". Paper presented at the 51st U.S. Rock Mechanics/Geomechanics Symposium, San Francisco, California, USA.

Bohlooli, B., Skjølsvold O. & Omolo L. (2016) "TIGHT WP3: Grout material understanding- Results of lab tests by Sintef and NGI". TIGHT meeting January 13th 2016.

Skjetne, P., & Mo, S. (2016). "Numerical simulations of grout flow in simplified geometries". Paper presented at the 8th Nordic Grouting Symposium, Oslo, Norway.

Strømsvik, H. (2019a). "Assessment of High Pressure Pre-Excavation Rock Mass Grouting in Norwegian Tunnelling". (PhD). Norwegian University of Science and Technology,

Strømsvik, H. (2019b). "The significance of hydraulic jacking for grout consumption during high pressure pre-grouting in Norwegian tunnelling". *Tunnelling and Underground Space Technology*, 90, 357-368.

Strømsvik, H., & Gammelsæter, B. (2020). "Investigation and assessment of pre-grouted rock mass". *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*.

Strømsvik, H., Morud, J. C., & Grøv, E. (2018). "Development of an algorithm to detect hydraulic jacking in high pressure rock mass grouting and introduction of the PF index". *Tunnelling and Underground Space Technology*

Tunbridge, L., & Nilsen, E. (2018). "WP 7 Full scale testing -Summary report". NGI. Oslo

Vistnes, G., & Nilsen, B. (2018). "TIGHT WP6 Scaled laboratory model, Report 2: Model design and initial testing". NTNU. Trondheim



— 70 år —  
1950-2020

Teknologi for et bedre samfunn