



SINTEF

Vurdering av utført berginjeksjon i norske tunnelprosjekter

Assessment of High Pressure Pre-Excavation Rock Mass

Grouting in Norwegian Tunnelling

Helene Strømsvik

Teknologi for et bedre samfunn



SINTEF

Agenda

1. Motivasjon og bakgrunn for PhD
2. Problemstilling
3. Forskingsmetodikk
4. Tolkning av data fra injeksjonsrigger
5. Undersøkelse av injisert bergmasse
6. Konklusjoner
7. Videre arbeid

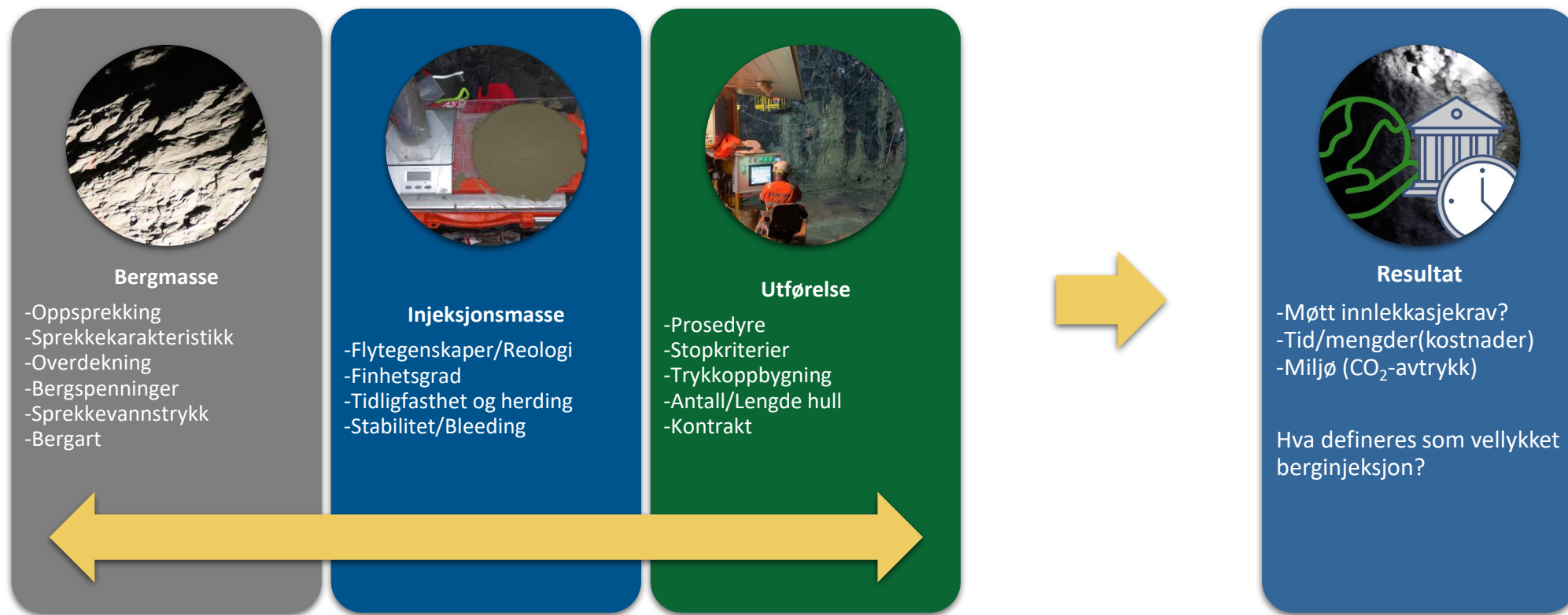




SINTEF

Faktorer og resultat

Berginjeksjon er sammensatt av mange avhengige faktorer



Hvordan tilpasse ressursbruk?



- Faktorene som er mest resurskrevende må identifiseres
 - *Påvirkelige faktorer som åpenbart er resurskrevende men ikke bidrar til et bedre resultat må fjernes.*
- Faktorer som kan forbedre resultatet med mindre bruk av resurser må identifiseres
 - *Proessen må optimaliseres ved å utnytte disse faktorene på riktig måte*

Må ha god kjennskap til hvordan berginjeksjon utøves i praksis for å kunne utføre ovenforstående vurderinger.

Målet for PhD arbeidet var å tilføre en økt forståelse av injeksjonsprosessen for å videre vurdere om dagens praksis er tilfredsstillende i forhold til ressursbruk og miljø. Konklusjonen til slutt ble: Nei.





SINTEF

Tolkning av data fra injeksjonsrigger

Datagrunnlag

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



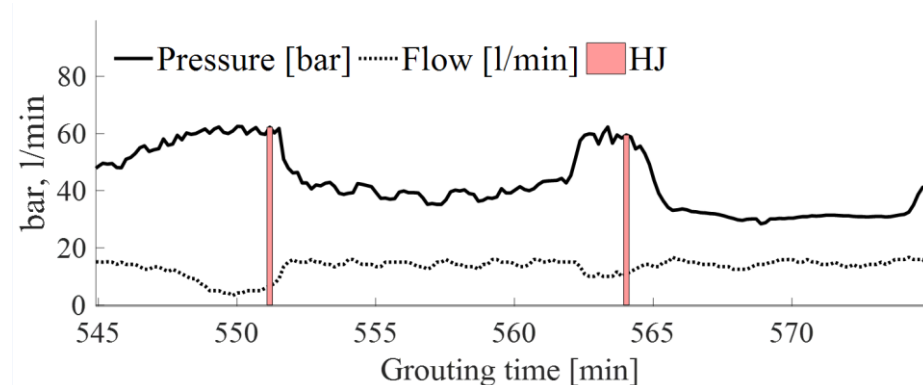
SINTEF

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.

- Hydraulisk jekking oppstår nå kraften fra væsketrykket i bergsprekken overgår innspenningen fra bergmassen.
- Sprekker som jekkes er sprekker der sementen har god inntrengning og er spesielt utsatt om de står vinkelrett på minste hovedspenning.





SINTEF

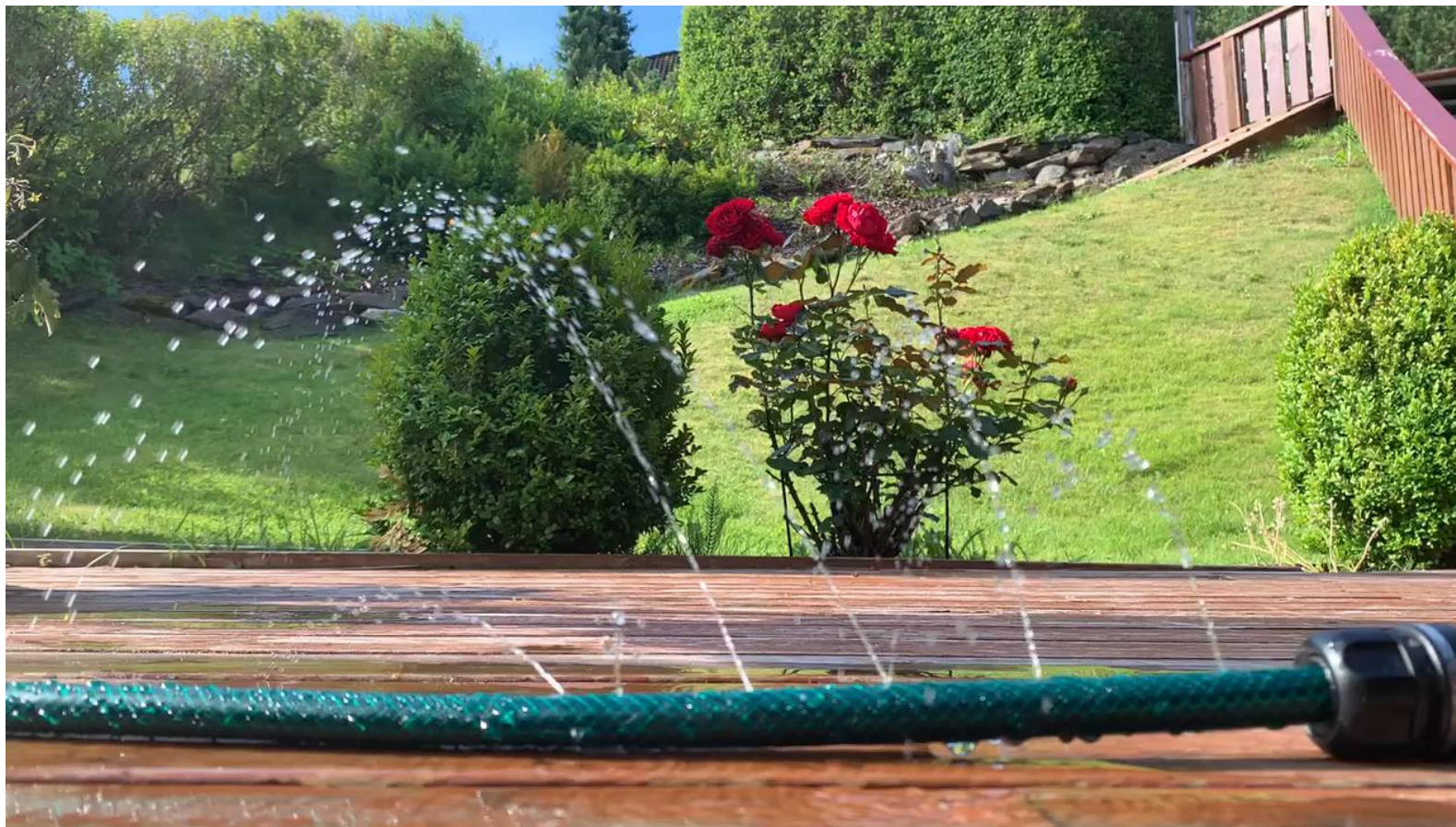
Negative konsekvenser ved hydraulisk jekking

- Trykktap etter jekking er reelt for hele sprekkesystemet tilknyttet injeksjonshullet, som praksis betyr dårligere injeksjon av sprekker som ikke har blitt jekket.
- Jekking fører i mange tilfeller til utgang av masse i stuff
- Tidkrevende å nå stoppkriteriet og konsekvensen blir unødvendig høyt forbruk av sement.
- Spredning av masse langt utover ønsket effektområde rundt tunnelen.
- Økt sprekkevolum, da deler av volumøkningen er permanent.
- I et stivt system vil volumøkningen av en sprekke under injeksjon rent teoretisk føre til kompresjon av andre nærliggende sprekker under selve injeksjonen.
- Om sprekkeene er orientert horisontalt, kan det gi heving/løfting av overdekning.
- Økt risiko for at injeksjonsmassen når dagen.



SINTEF

Hva skjer når en "sprekk" blir større?





SINTEF

Videre studie av hydraulisk jekking

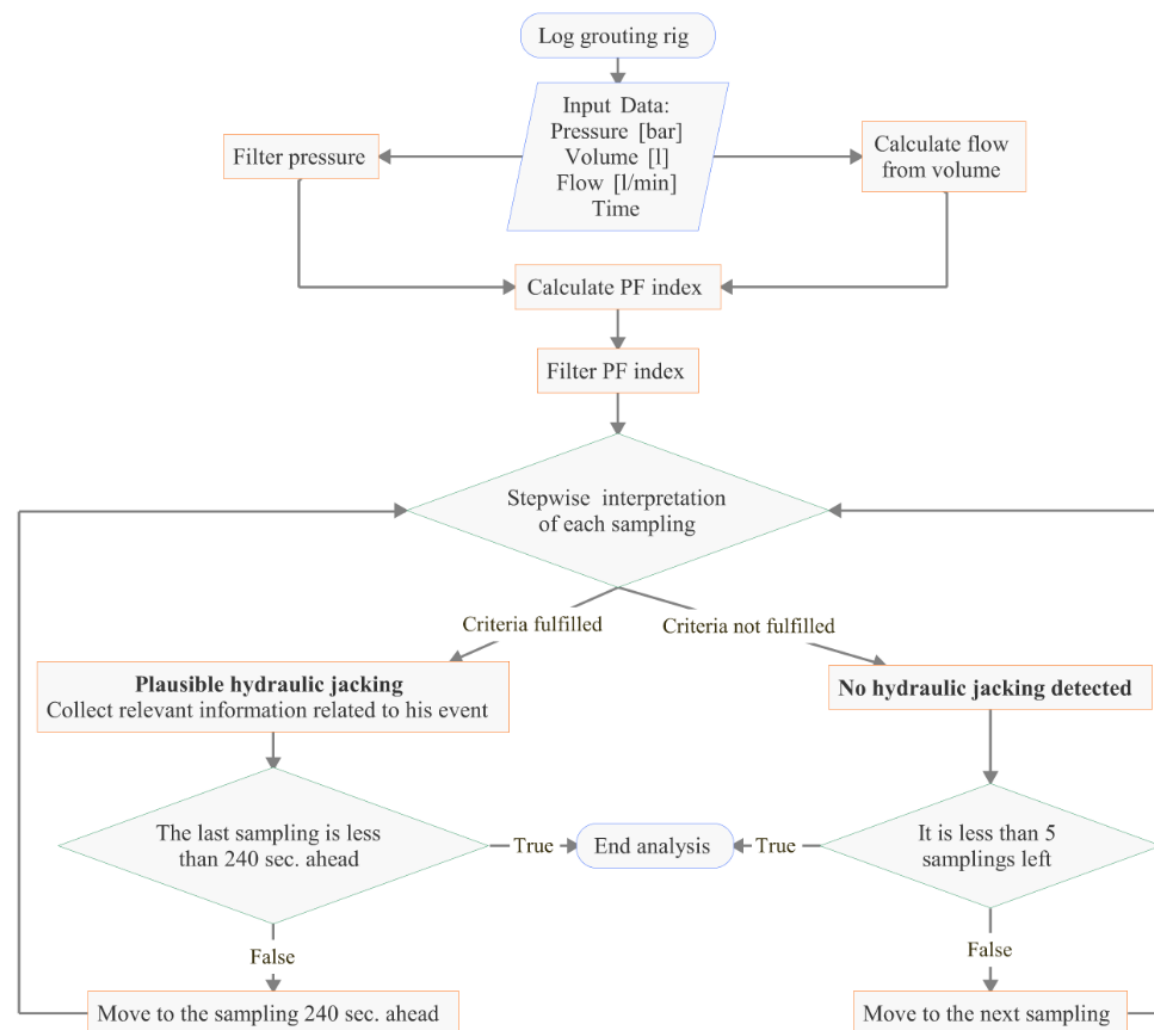
Laget en algoritme for å identifisere hydraulisk jekking i dataloggene.

Utviklet en hjelpeparameter for å lettere identifisere slike hendelse, kalt PF-indeks.

$$PF\ index = 0.9^{min/l} * Q - \frac{0.9 * P}{1\ bar} + 81$$

Q= strømningsrate [l/min]

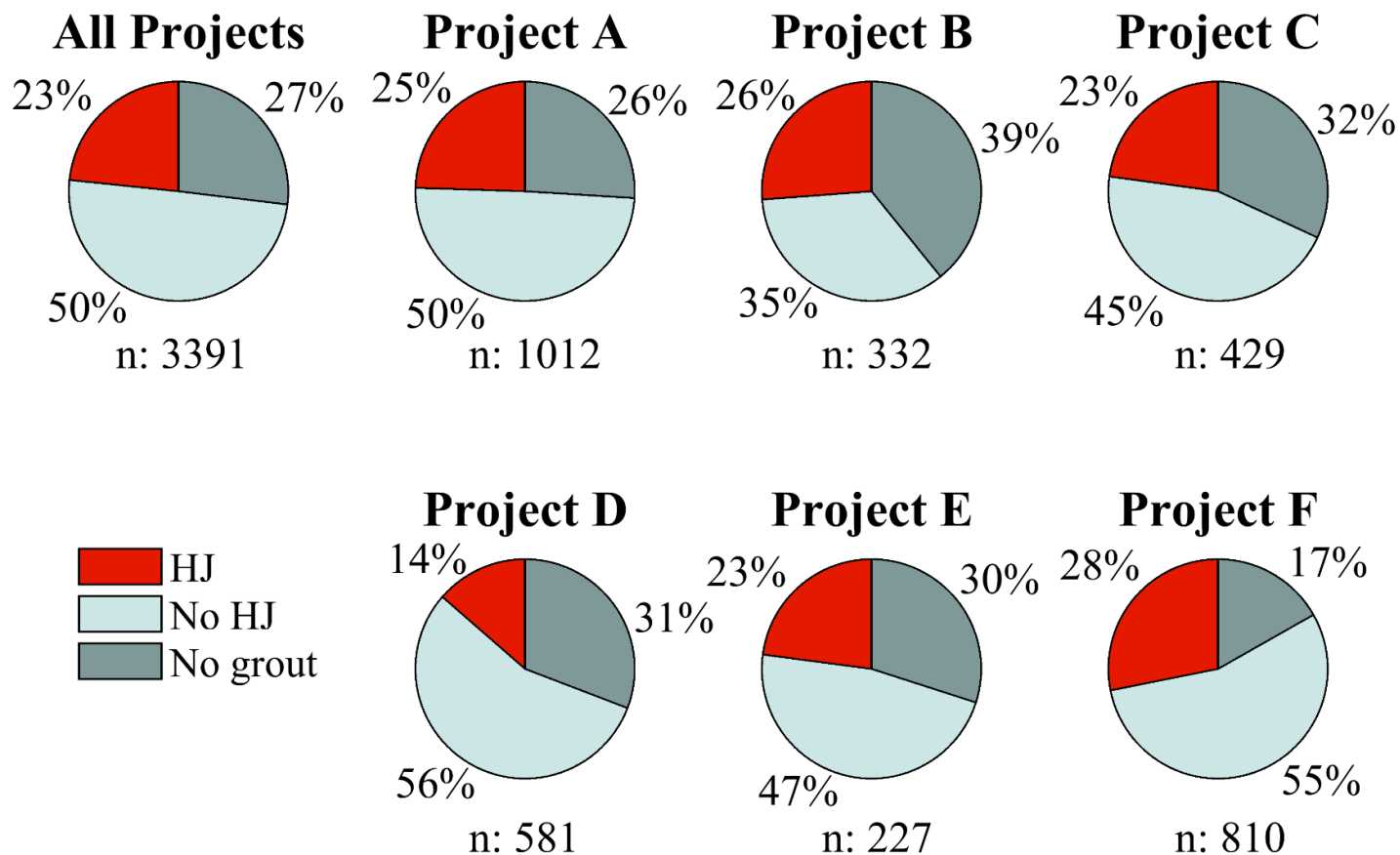
P= injeksjonstrykk [bar]





SINTEF

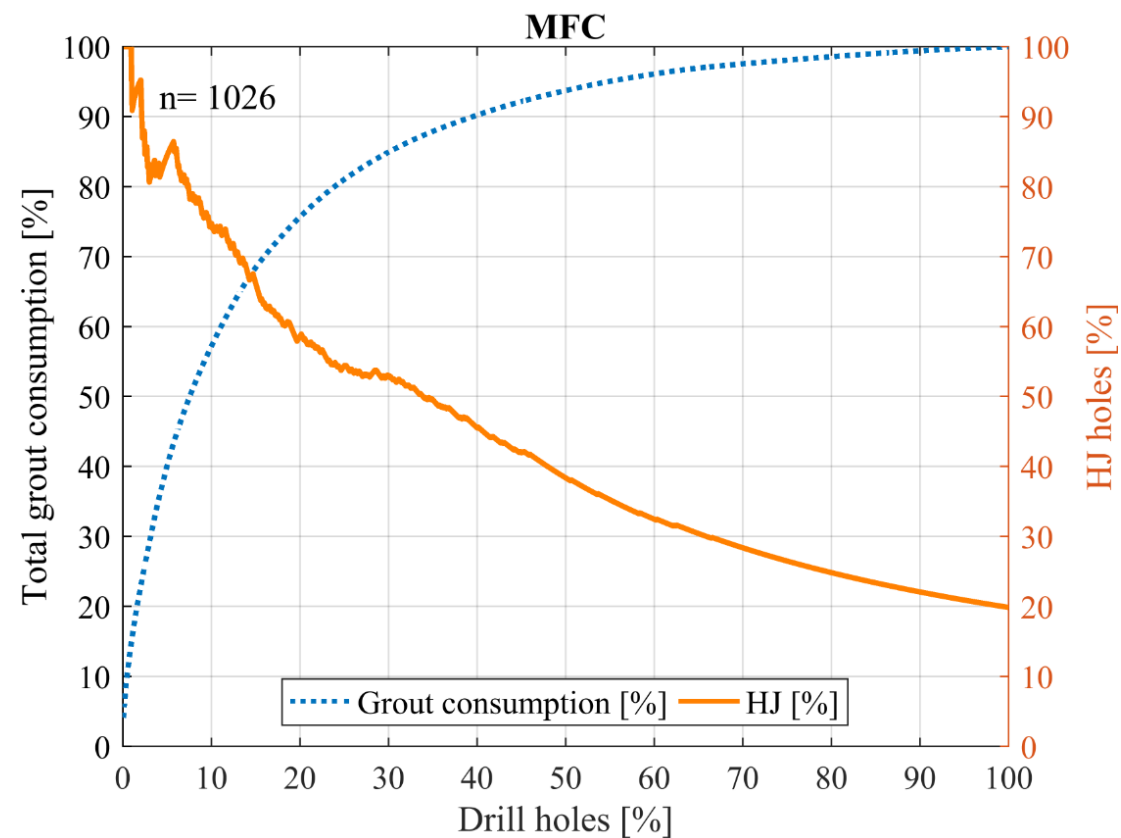
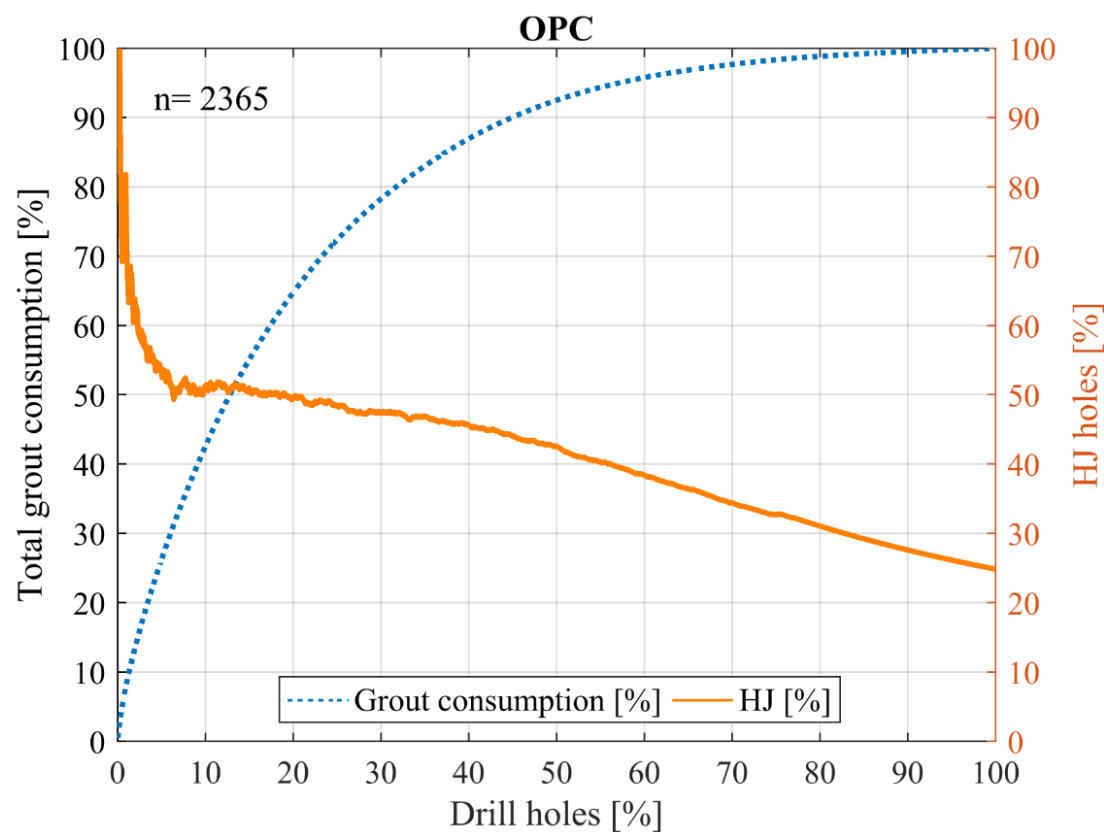
Andel hull med hydraulisk jekking





SINTEF

Andel av hull, forbruk av masse og HJ





SINTEF

Sammenligning av industri- og mikrosement

		Median OPC	Median MFC
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%



SINTEF

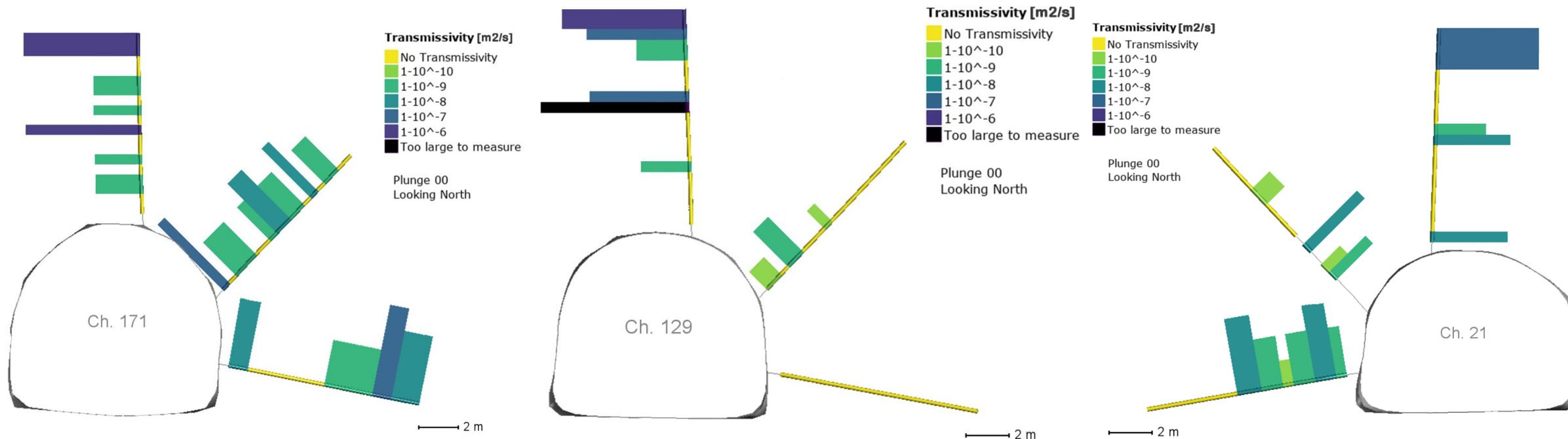
Hvorfor så stor forskjell mellom industri og mikro?

- Sementpartiklene i mikroement har høyere spesifikk overflate, som betyr større overflate i forhold til vekt. Påvirker flytegenskapene i form av høyere flytspenning og viskositet på grunn av høyere overflateaktivitet mellom korn. Virker som dette har mest virkning i mindre sprekker.
- Herdeprosessen i mikroement begynner raskere, som også gi høyere flytspenning og viskositet.
- 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 alltidslig at mikroement er en løsning.



SINTEF

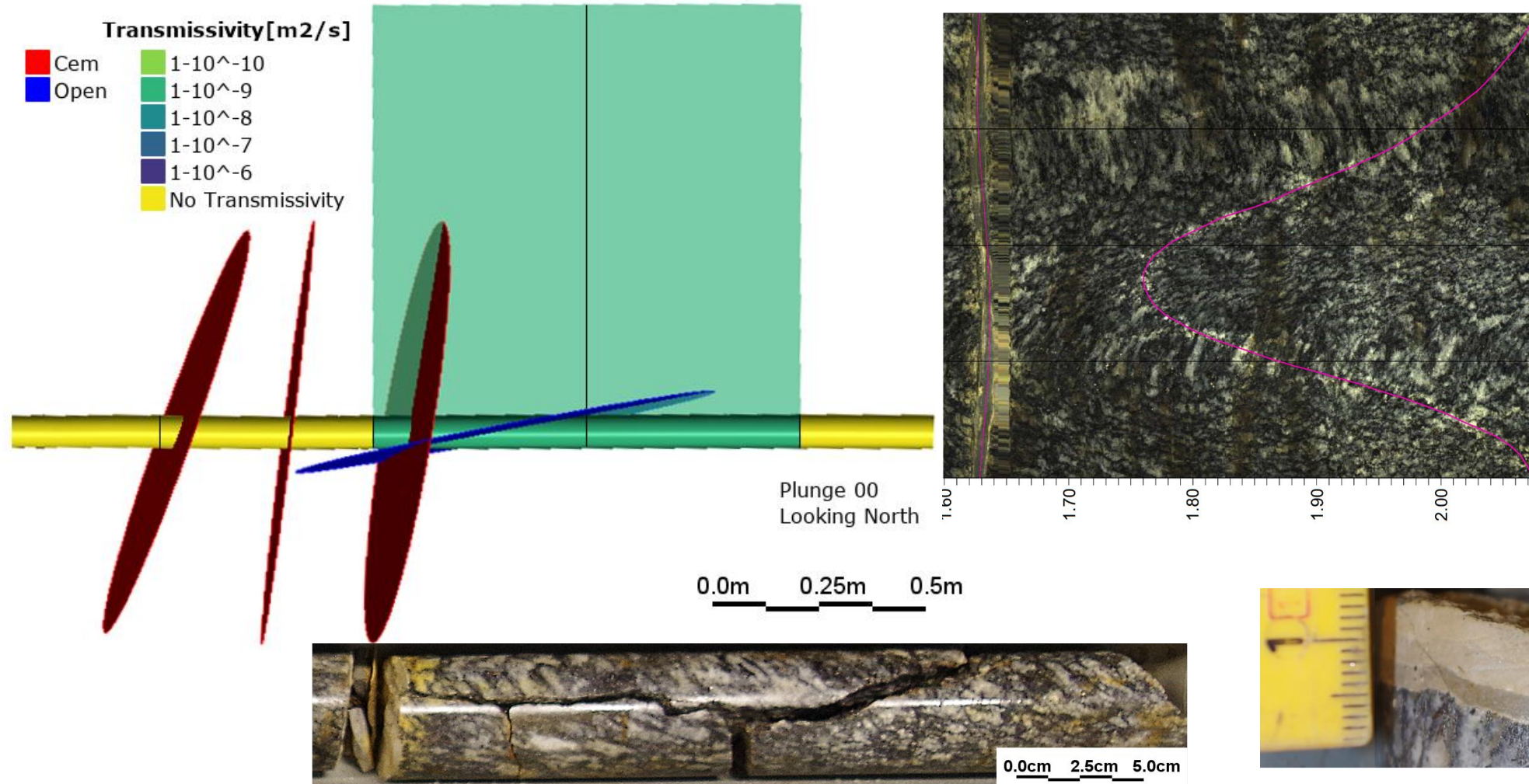
Studie av injisert bergmasse, Åsland





SINTEF

Studie av injisert bergmasse, Åsland





SINTEF

Oppsummering

- Resultatene fra prosjektet 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 sannsynligvis er den viktigste faktoren når det kommer til forbruk av injeksjonsmasse og tid**, men at det også er betydelig innsparing å hente når det kommer til **få bedre kontroll på hule med høy masseinngang samt endre prosedyre ved hydraulisk jekking**.
- 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 CO₂-fottavtrykk bør også inkluderes i større grad**.
- 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.



SINTEF

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. AMV, Bane NOR, Veidekke, Skanska og Mos IA er samarbeidspartnere i prosjektet.

Prosjektet har som formål å introdusere nye metoder og programvare for å tolke injeksjonsforløpet under utførelse, 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)*



SINTEF

Teknologi for et
bedre samfunn