



SINTEF



Logic Grouting

Pilottesting av sanntidsanalyse av
injeksjon under utførelse på Sollihøgda

Helene Strømsvik

Teknologi for et bedre samfunn

Formål med injeksjonsmodul

Redusere overforbruk av injeksjonsmasse og tid!

Sanntidsanalyse under injeksjon gjør operatør/entreprenør oppmerksom på risikofaktorer for høyt forbruk av injeksjonsmasse på et tidlig tidspunkt i injeksjonen. En veileder vil gi forslag for hvilke tiltak som kan vurderes, men det er byggherre/entreprenør sitt ansvar å vurdere riktige tiltak.

Sanntidsanalysen kan brukes sammen med dagens prosedyrer, eller det kan utformes tilpassede prosedyrer.

Det er et verktøy som tilrettelegger for å utføre tiltak og tilpasning av injeksjon på et tidligere tidspunkt enn i dag.



Sanntidsanalyse under injeksjon

- Grafisk visning av injeksjonsforløpet (inkludert PF indeks)
- Varsel ved hydraulisk jekking, eller avvik fra forventet injeksjonsforløp (anomali)
Hensikt: utføre tiltak for å få forsiktig trykkoppbygning i hullet, samt begrense forbruk.
- Varsel på hull med risiko for høyt forbruk
Hensikt: utføre tiltak for å få trykkoppbygning i hullet, samt begrense forbruk.





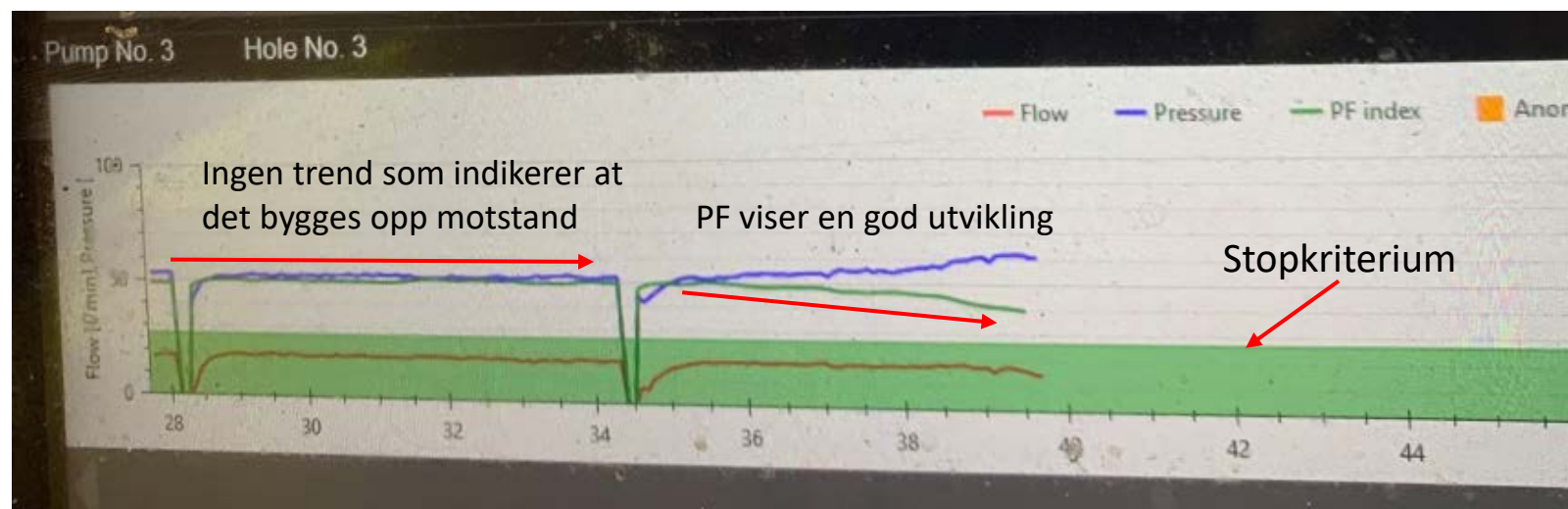
SINTEF



Hva er og brukes PF-indeks til ?

1. PF indeks er en indikator på hvor lett injeksjonsmassen går inn i bergmassen.
2. Nyttig parameter for visuell vurdering av progresjonen under injeksjon, men hensyn på å nå et stoppkriterium basert på et sluttrykk.
3. Hjelpeparameter i algoritmene som brukes i sanntidsanalyseverktøyet i programvaren.

Sluttrykk [bar] der strømming er 0	PF
30	54
40	45
50	36
60	27
70	18
80	9



PF er lineær horisontal etter 34 min, målet om å nå et stoppkriterium på trykk er svært langt unna. Bytte av resept med redusert v/c etter 34.5 min. PF-kurven begynner å gå nedover mot 27 (grønt skravert område), som tilsvarer stopptrykk på 60

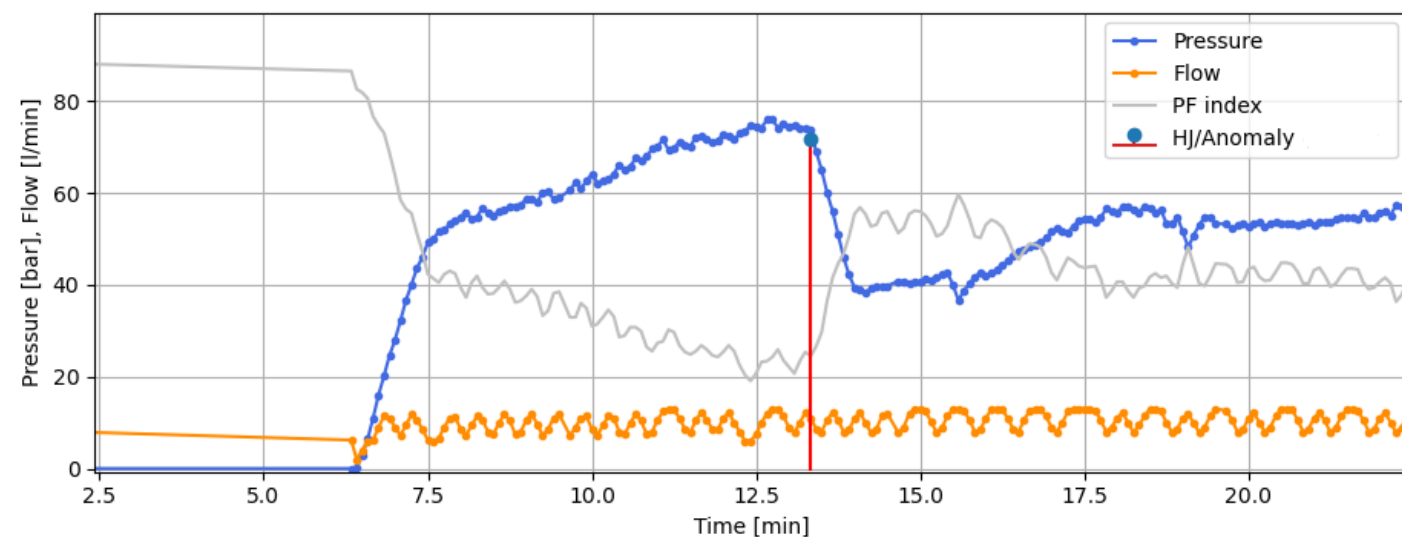
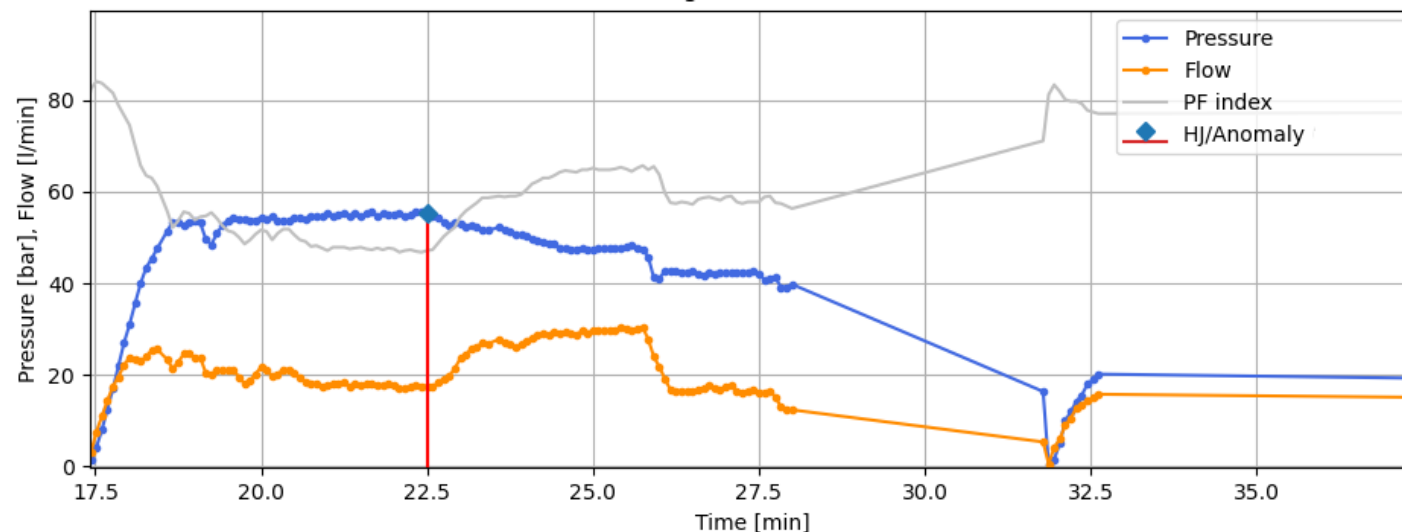
Hvordan kan hendelser av HJ registreres under injeksjon?

Praktisk sett kan hydraulisk jekking defineres ved at injeksjonsmassen plutselig går lettere inn.

Dette trenger ikke bare skyldes hydraulisk jekking.

Kan også skyldes utvask/erosjon av sprekkefyll og utgang av masse på stoff. Hendelsene er derfor definert som HJ/Anomali.

Uansett årsak, bør stor inngang av masse og høyt injeksjonstrykk unngås i disse hullene.

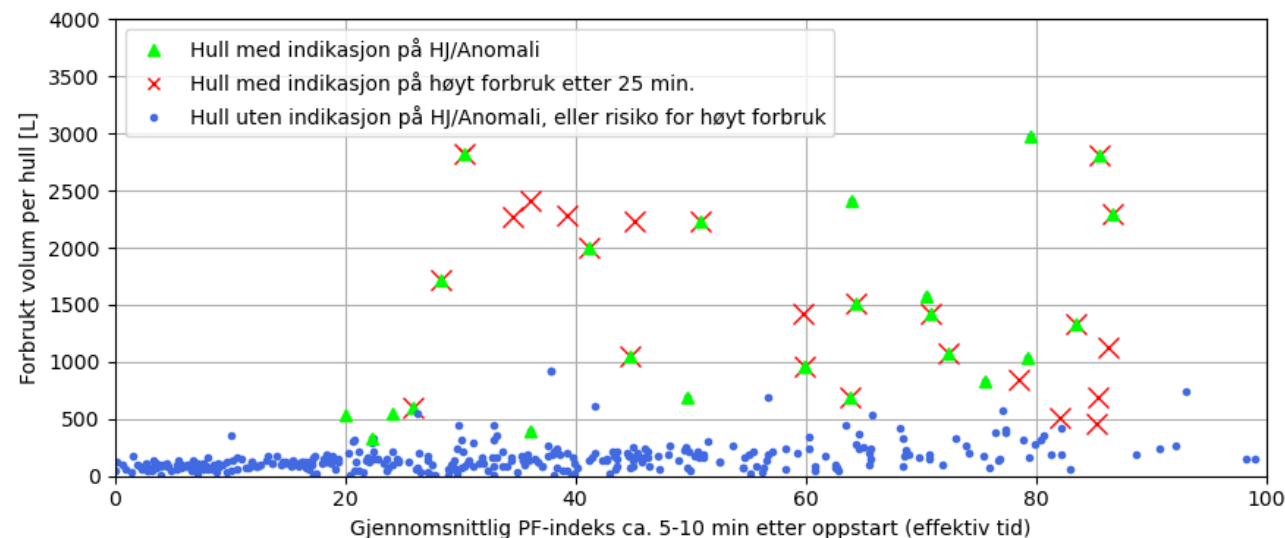


Identifikasjon av hull med høy risiko for stort forbruk av mengde og tid

- Programvaren analyserer injeksjonsdata etter 25 min. injeksjon.
- I programvaren blir boksen for volum injisert rødt, om det er risiko for høyt forbruk.

Bakgrunn for utvikling av funksjon:

- Rødt kryss viser hull der programvaren tolker at det er risiko for høyt forbruk etter analysen.
- Er mulig å analysere tidligere men da øker usikkerheten.



Eksempelet viser analyse av utført injeksjon av 444 injeksjonshull fra et tunnelprosjekt.



SINTEF



Forhold på Avtjerna (Sollihøgda)

- Krevende geologiske forhold og tunnelen følger en tuff-sone.
- Strengt tetthetskrav med systematisk injeksjon.
- Relativt stort forbruk av sement.
- Flere etterfølgende injeksjonsskjermer med restlekkasjer over kriterier
- Lang herdetid på sement, både industri og mikro.
- Mange utganger av injeksjonsmasse på stoff

For å få best mulig resultat ønsket vi å få testet prosedyrer og tiltak som kunne være til hjelp for prosjektet i samråd med SKANSKA og SVV





SINTEF



Optimalisering av prosedyrer

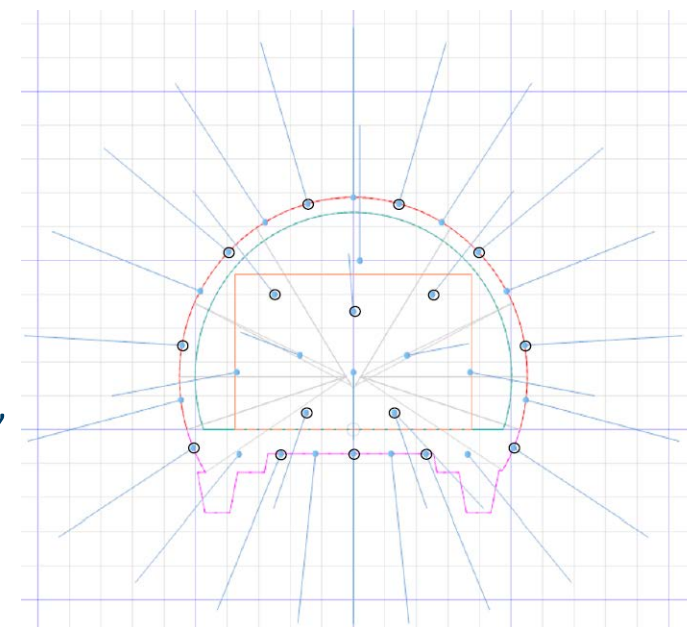
Basert på informasjon fra prosjektet foreslo vi å benytte "split spacing", for å ivareta tetthetskravene.

Primærskjerm: fyller større sprekker, med begrenset mengde (industriement)

Sekundærskjerm: vanlig injeksjon med fokus på å oppnå mottrykk/stopptrykk (mikroement).

Formål: hindre unødvendig spredning av injeksjonsmasse i store sprekker, få bedre motstand for mer effektiv injeksjon av mindre sprekker → mindre bruk av masse+ tettere bergmasse

Denne metodikken anbefales ikke ved "normale forhold", pga. ekstra opp- og nedrigging.

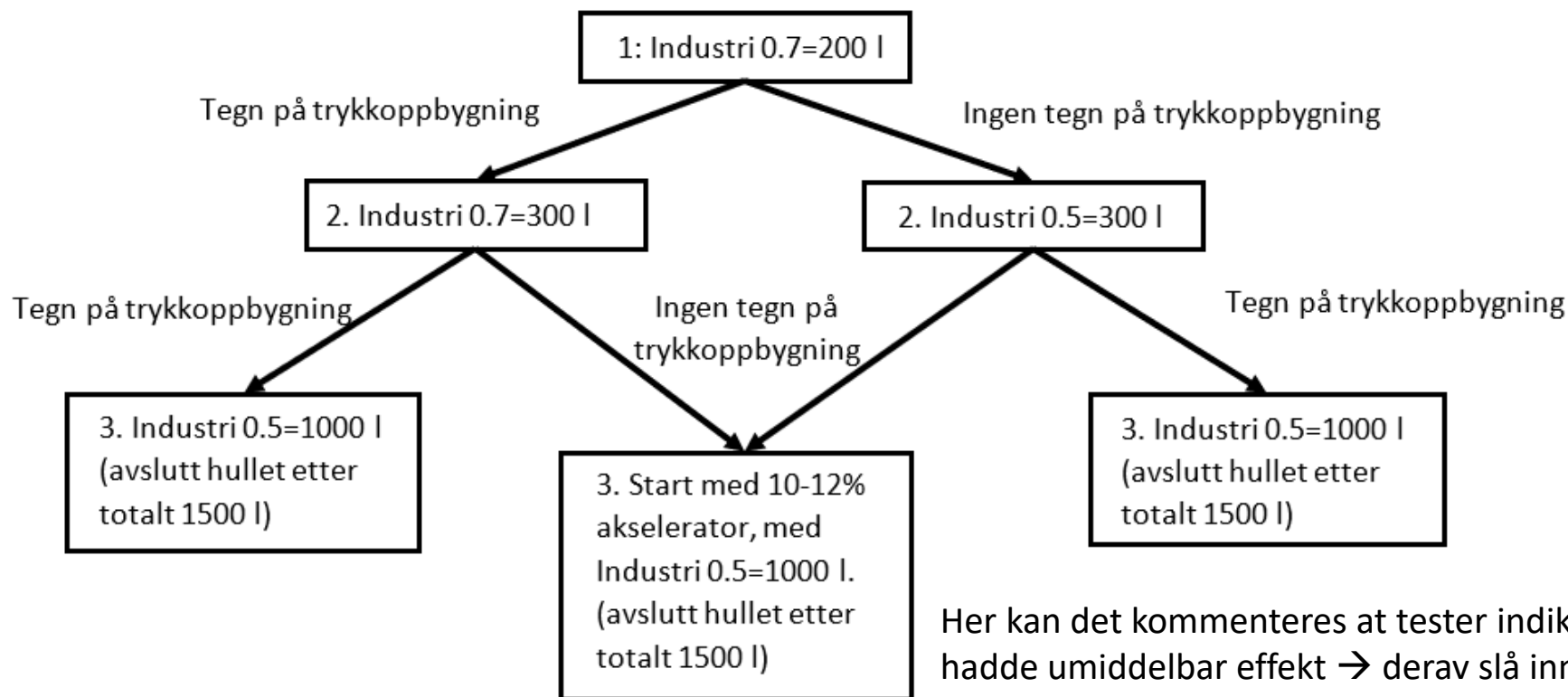




SINTEF



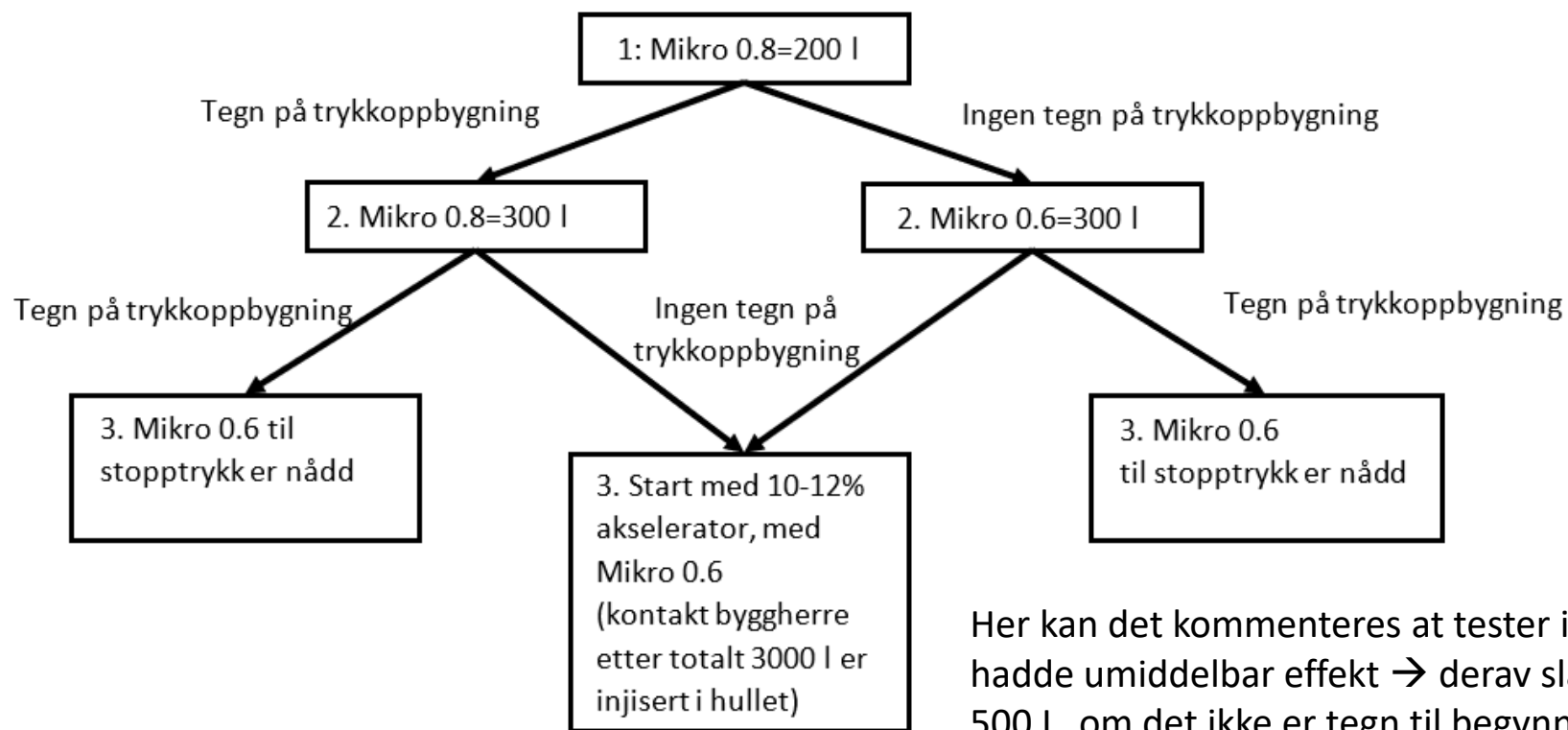
Primærskjerm



Her kan det kommenteres at tester indikerte at akselerator ikke hadde umiddelbar effekt → derav slå inn i prosedyren etter bare 500 L, om det ikke er tegn til begynnende trykkoppbygning.

Senere har det vist seg at det var feil på akseleratorpumpa

Sekundærskjerm

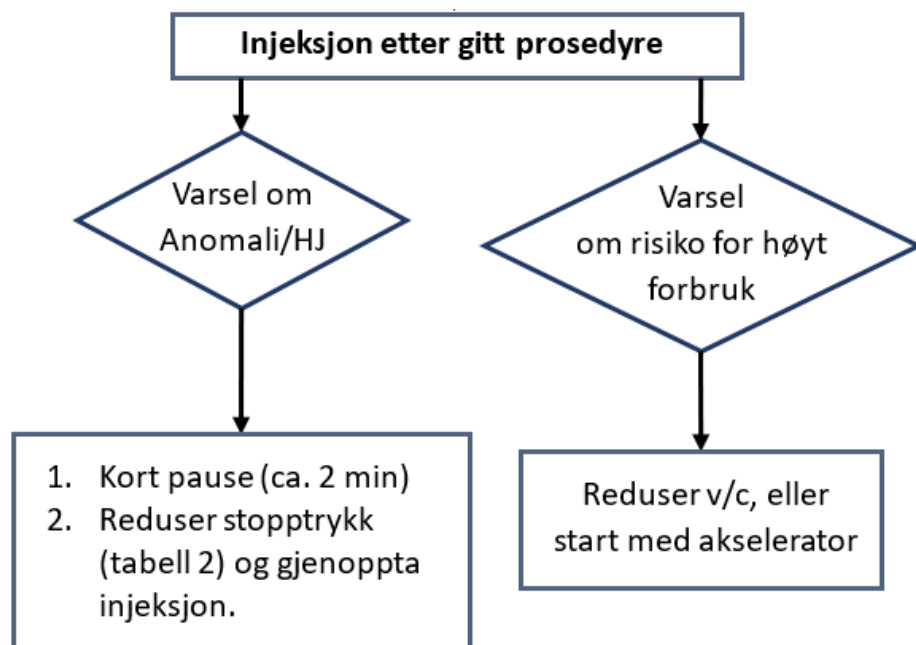


Her kan det kommenteres at tester indikerte at akselerator ikke hadde umiddelbar effekt → derav slå inn i prosedyren etter bare 500 L, om det ikke er tegn til begynnende trykkoppbygning.

Senere har det vist seg at det var feil på akseleratorpumpa

Prosedyrer for sanntidsanalyser

Dette var vår første pilot, jeg fulgte derfor sanntidsanalysen og prosedyren for tiltak på dette.



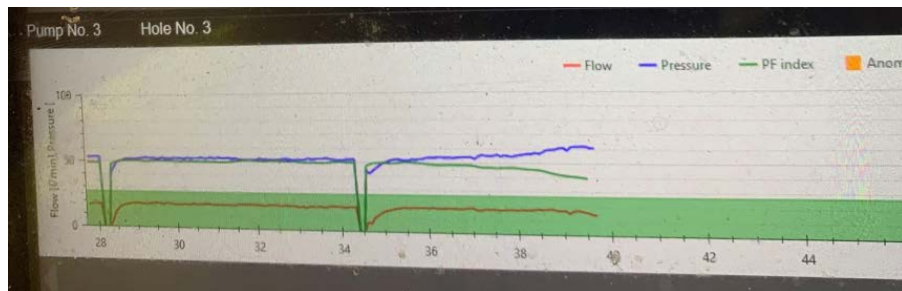
Overdekning	Stopptrykk (eksisterende prosedyre)		Redusert stopptrykk*	
	Øvre stuff	Nedre stuff	Øvre stuff	Nedre stuff
5-15	30	40	15	20
15-30	40	50	20	25
> 30 m	50	60	25+GV-trykk**	30+GV-trykk**
*Brukes bare ved indikasjon på Anomali/HJ (i testfasen vil SINTEF dobbeltvurdere Anomali/HJ)				
**Rund av til nærmeste femmer eller tier				
Med stopptrykk menes stående trykk målt over 2 minutter				

På Avtjertna ble redusert stopptrykk **30 bar for øvre stuff og 35 bar for nedre stuff**

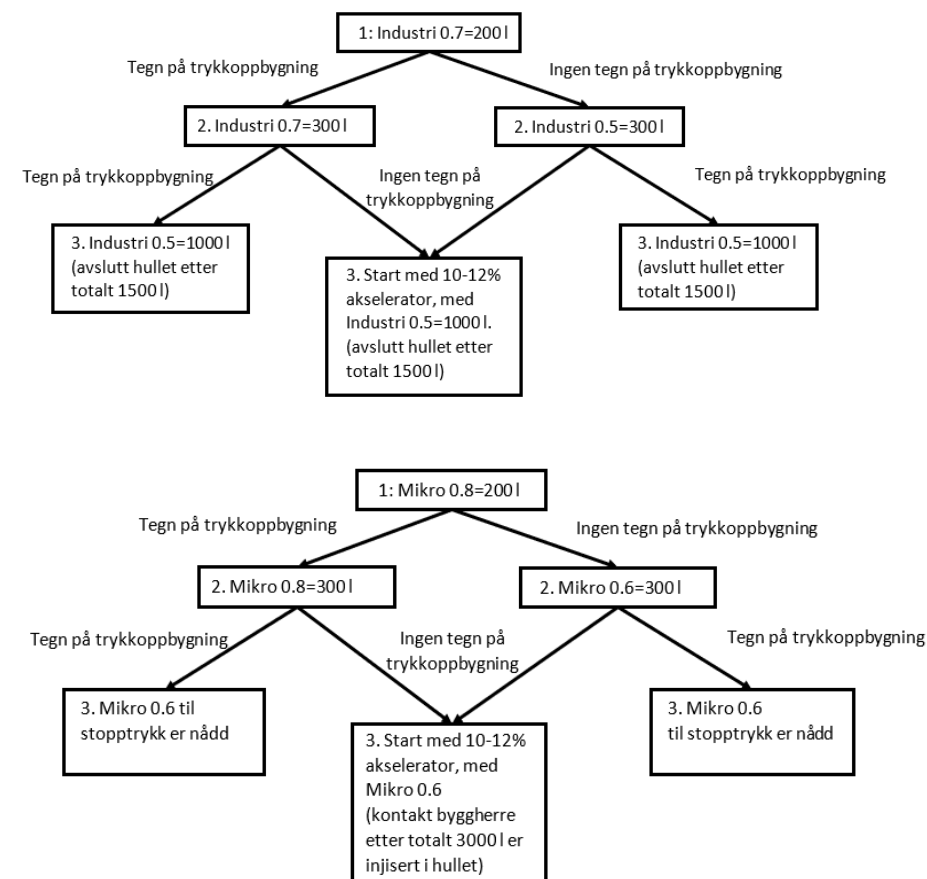


SINTEF

Utførelse



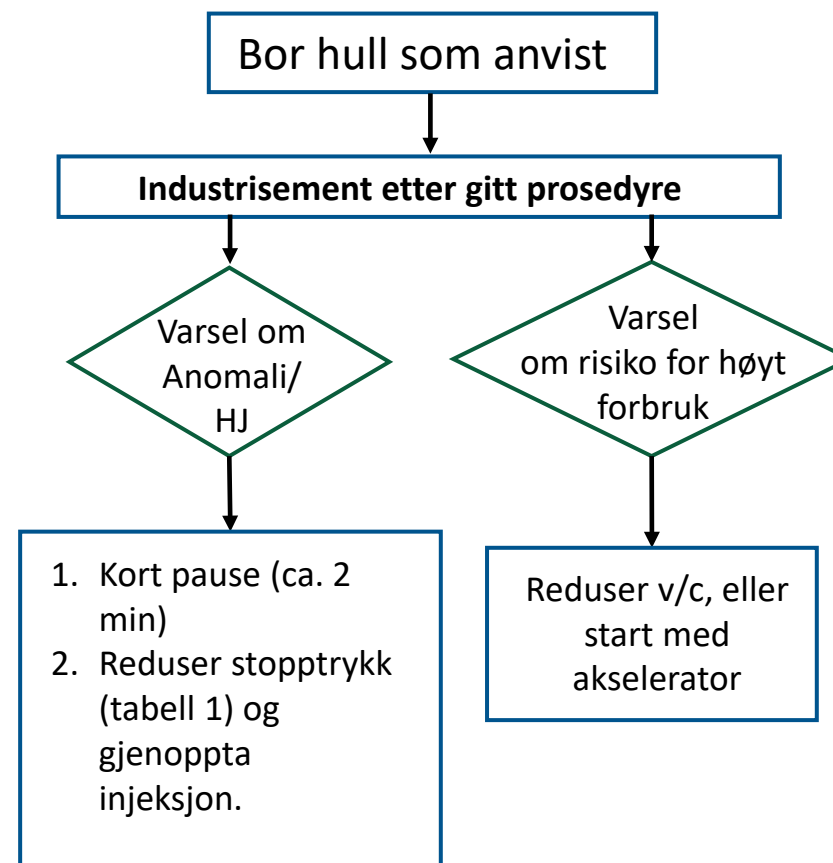
- Ble benyttet annen superplastiserende i injeksjonsmassen i vår pilot. Vi var ikke tilfreds med herdetid eller stabilitet på injeksjonsmassen som tidligere var blitt benyttet, spesielt under de regjerende forholdene.
- Ny sammensetning av injeksjonsmasse resulterte høyere marsh cone tid og mer en halvering av herdetid, ble derfor aldri behov for bruk av akselerator.
- Med to agitatorer på 4 linjer var det vanskelig å ha riktig v/c tilgjengelig for å følge prosedyren.
- Ble ikke brukt mikro i sekundærskjerm, da rigg og silo fortsatt hadde industri.



Sanntidsanalyse

- Det var noen få varsler om HJ/Anomali, der vi reduserte sluttrykk.
- Det var flere hull med risiko for høyt forbruk, der lavere v/c ble anbefalt, det ble endret v/c med første anledning.

Med to agitatorer var det vanskelig å ha riktig v/c tilgjengelig for å følge prosedyren.

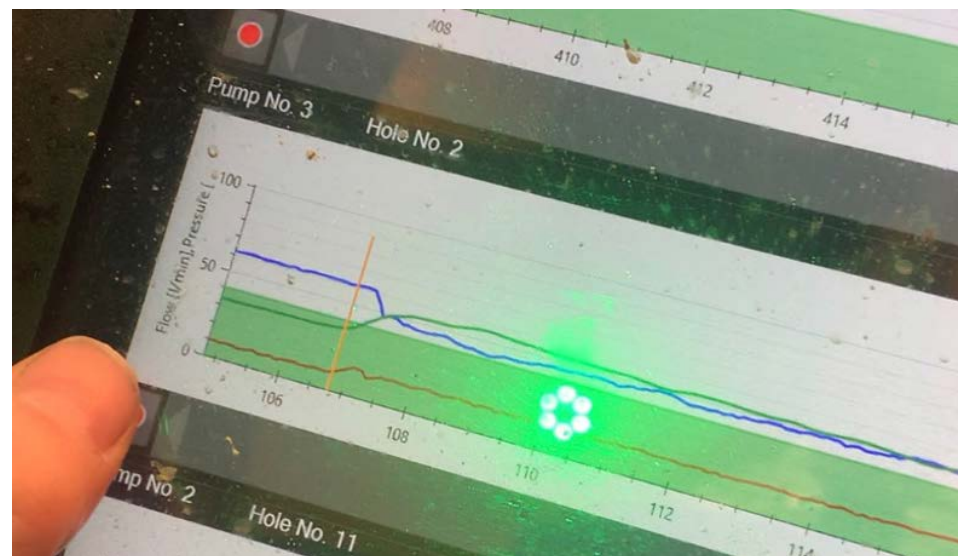
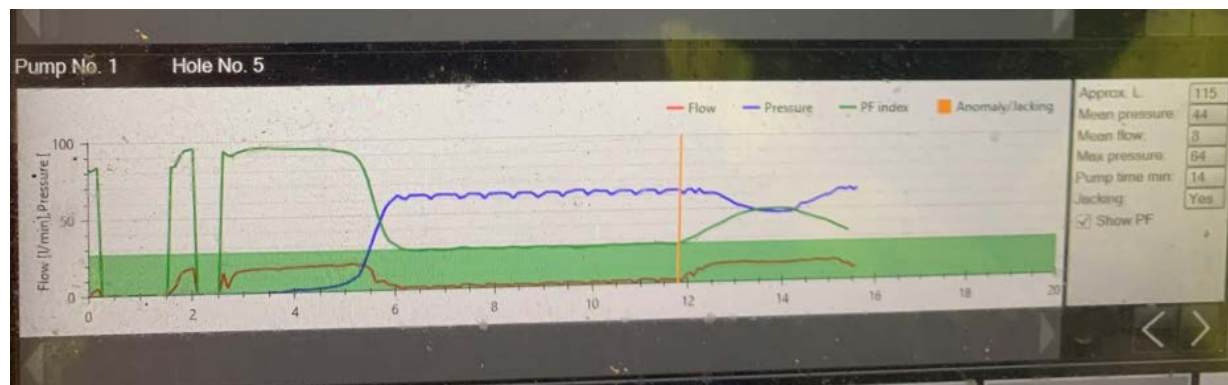
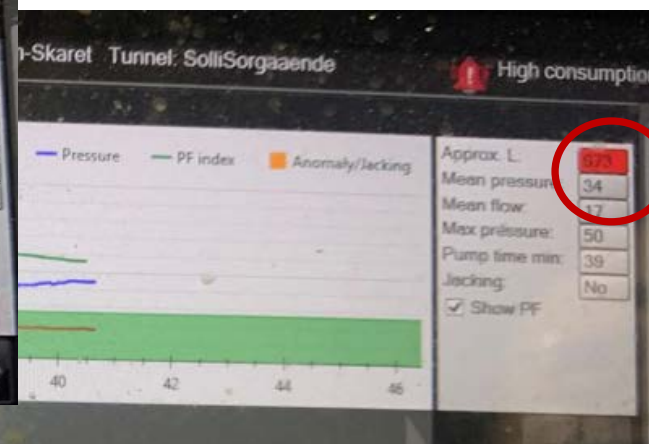
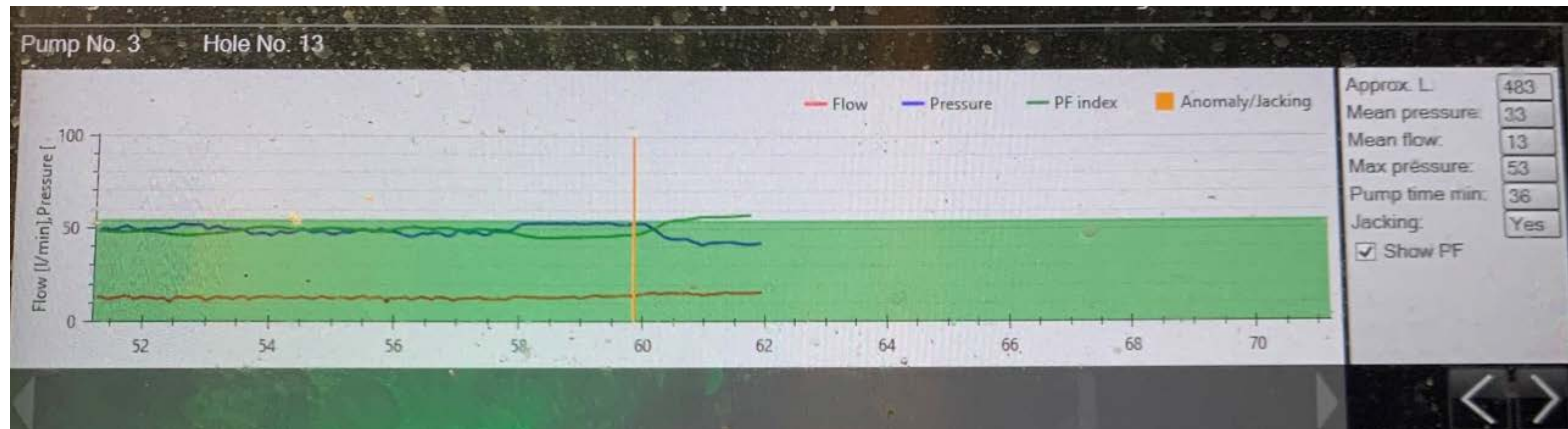


Redusert stopptrykk blir **30 bar for øvre stuff og 35 bar for nedre stuff**,



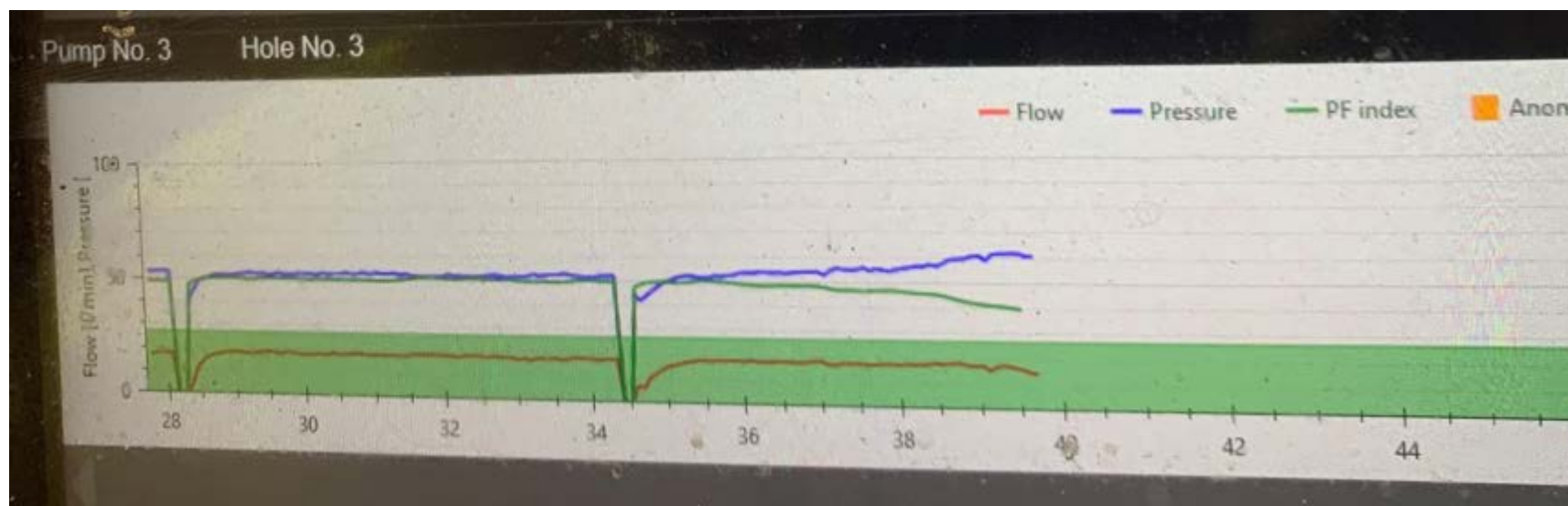
SINTEF

Eksempler fra sanntidsanalyse Hydraulisk jekking/anomali



Eksempler fra sanntidsanalyse

Bytting av v/c ved horisontal PF-linje, motstandsoppbygging begynner etter dette.



Skjermer med utført med ny prosedyre

Avtjerna sørgående

4289	Primær	Sekundær	Totalt
Antall hull	21	16	37
Kg sement	6659	5881	12540
Tidsbruk	5	5	10

Til forandring fra tidligere runder ble det relativt rask trykkoppbygning. Årsaken til dette er antatt til å skyldes:

1. Trege tider på marsch cone, en forventet i forhold til v/c.
2. En mer stabil masse på grunn av Rheobuild 2000 (mer motstand ved pumping?)

Det ble derfor aldri behov for å benytte akselerator i disse skjermene.

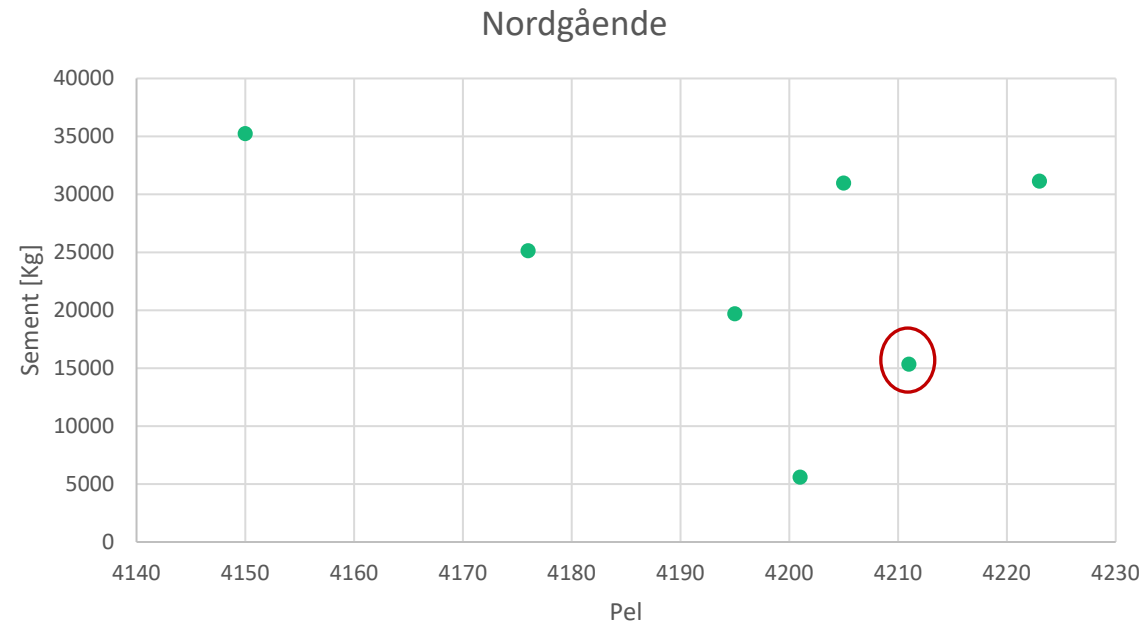
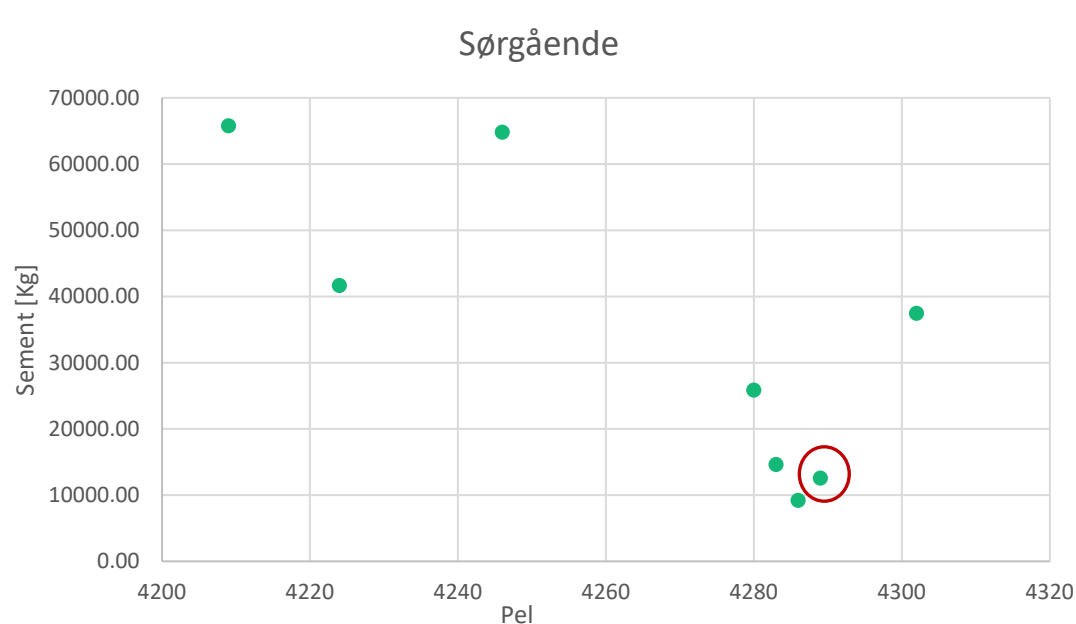
Avtjerna nordgående

4211	Primær	Sekundær	Totalt
Antall hull	16	15	31
Kg sement	7940	7382	15322
Tid [timer]	4,5 timer	4,25	8,75

I det er vanskelig å konkludere med at sanntidsanalyse og "split spacing" har redusert forbruket, da de fleste hullene i sekundærskjerm ble avsluttet på stopptrykk uten betydelig stort forbruk.

Indikerer hvor viktig det er å ha kontroll på egenskapene til injeksjonsmassen med tanke på forbruk.

Sammenligning med andre skjermer



Vanskelig å gjøre noen god sammenligning, på grunn av at det har vært mange påfølgende overlappende skjermer i forkant av piloten.

Er brukt "split spacing" på Nordgående pel 4223, men utover dette ble ikke ny prosedyre benyttet, samt "gammel miks" injeksjonsmasse ble benyttet etter vår pilot. Det antas at høyt forbruk av sement er relatert til SP stoffet.

Nytte og læring

Sett fra vårt perspektiv var piloten en suksess:

- Fikk bekreftet at sanntidsanalysen fungerer i praksis i tunnel.
- Informasjonen som programvaren er nyttig i forhold til den praktiske utførelsen.
- Vi fikk utført svært mange forbedringer på brukergrensesnitt og rettet på flere feil.
- Vi lærte et nytt potensielt bruksområde. Ved utgang av masse på stuff må pumpingen på alle linjene stanse, før det blir et detektivarbeid med å finne hvilket hull utgangen er koblet med. Kan dette fremgå via sanntidsanalysen? Kan spare mye tid på dette, samt slipper å stoppe hull unødvendig. Videre arbeid på dette. Vil gi høy motivasjon for operatører til å benytte programvaren praktisk.
- Utfordring: hvordan motivere operatørene på stuff til å benytte verktøyet

Takk til SKANSKA 😊

Vi fortsetter våre pilot-forsøk, også på andre prosjekter. Ta kontakt om dere er interessert!
Ønsker bred erfaring, før det blir et kommersielt produkt i Januar 2023!

Teknologi for et
bedre samfunn

Computerized tunneling