



Mælefjelltunnelen gjenstående 628 m driving Optimalisering av forinjeksjon. Del 2: Oppsummering

Rev. 01 – 9. februar 2017

1 Innledning

Rapport datert 1. februar 2017 med tittel som gitt over (del 1) ble diskutert på anlegget onsdag 8. februar med SVV og NCC for å konkludere mht hvilke deler av foreslåtte justeringer som skal prøves ut i praksis og på hvilken måte dette skal skje. For å gjøre dokumentet lettere tilgjengelig og mer praktisk anvendelig, har denne oppsummeringen form av en arbeidsprosedyre som skal kunne brukes direkte, men med relevante kommentarer og forklaringer og med nødvendig fleksibilitet for tilpasning etter behov. Som kjent er det ikke mulig å lage en enkel prosedyre som i detalj skal kunne dekke all mulig variasjon i forholdene på stoff. Erfaringene så langt i Mælefjelltunnelen demonstrerer dette klart.

Her omhandles forøvrig bare *første skjerm fra ny stoff*. Utviklingen etter første skjerm varierer så mye at det bare er mulig å anvende de samme prinsippene som for første skjerm, mens detaljerte prosedyrer ikke har noen hensikt. Arbeidsledelsen må her beslutte alle deler av videre utvikling til endelig resultat.

2 Materialer for injeksjon

- Injeksjon skal i hovedsak gjennomføres med mikrosement (MasterRoc 650) med blanderesepser som tidligere angitt og benyttet.
- Mikrosementen skal suppleres med bruk av Ultrafin 12 (ultrafin sement) når dette kreves pga små sprekker, leirinfeksjon og vanskeligheter med å oppnå tilstrekkelig inngang.

Justering av blanderesepser for ultrafin sement har allerede vist at med redusert dosering av dispergeringsmiddelet, MasterGlenium 151 C, er det oppnådd god reduksjon av settingtid. Det bør gjøres flere forsøk for å fastlegge hvor mye videre forbedring av settingtid som kan oppnås med ytterligere reduksjon av doseringen. Det anbefales dessuten å teste egenskapene for ultrafin sement med sterkt redusert dosering, eksempelvis helt ned til 2% før endelige blanderesepser fastlegges. Testing kan gjøres med eksempelvis halve blandinger når det injiseres med ultrafin, der det tas kopp-prøver og bleeding og Marshkon-tid også måles.

I den grad det blir vanskelig å oppnå nødvendig tetting med ultrafin pga kombinasjon av bergforhold og ekstra høyt vanntrykk (begrenset mulig overtrykk for injeksjon), er det undertegnedes anbefaling å beholde kolloidal silica (KS) som et supplement.

Hvis ekstrem situasjon påtreffes igjen, med 1000-vis av L/min vannlekkasje, mulig vannstrømm i berget og ingen trykkoppbygging (pga utvasking og vekkspyling av massen), bør det overveies å supplere bruk av aksellerator i sementinjeksjonen med samtidig pumping av polyurethan (PU). Det vil å så fall kreves høy PU-pumpekapasitet for god effekt (opptil 50 L/min).

3 Boring av hull, normal injeksjon

3.1 Sonderboring

Det bores 4 sonderhull. Mengde innlekkasje fra disse brukes til å bestemme om det må injiseres.

- Innlekkasje større enn totalt ca. 10 L/min fra de 4 sonderhullene medfører forinjeksjon. Da Gvammenstuppen går på fall, må dette kriteriet bli brukt litt konservativt.

3.2 Injeksjonsboring, første skjerm

Innlekkasje gjennom sonderhullene behandles ifølge 4 hovedklasser:

- | | |
|--------------------------|---|
| 1. Mindre enn 100 L/min: | Bor ytterligere 18 hull til totalt 22 hull |
| 2. 100 – 400 L/min: | Bor ytterligere 12 hull til totalt 16 hull |
| 3. 400 – 1000 L/min: | Bor ytterligere 8 hull til totalt 12 hull |
| 4. Over 1000 L/min: | Bor ytterligere 4 hull til totalt 8 hull |

Kommentarer:

Injeksjonshull bør nå 6 m utenfor teoretisk tunnelkontur på odd. Utstiksvinkel må derfor justeres etter planlagt lengde av borhull.

Antall borhull for injeksjon avhengig av innlekkasjeklasser er retningsgivende. Eksempelvis må det tas hensyn til vanntrykk og bergkvalitet i stuppen (risiko for lekkasjer gjennom stuppen). Spesielt for klasse 4 kan det være gunstig å bore færre enn 8 hull ved ekstreme vannmengder og trykk og ugunstig bergkvalitet. Justeringer må vurderes og avgjøres fra gang til gang av de som leder injeksjonsarbeidet.

3.3 Stoppkriterier ved injeksjon

Ett poeng med å bruke rasktsettende mikrosegment er å utnytte muligheten for å redusere konduktivitetskontrast ved f.eks. 2 begrensede injeksjonsomganger (skjermer) på den tiden som ellers kanskje ville medgå til 1 skjerm. Dette krever et stoppkriterium på *mengde* i tillegg til på trykk.

3.3.1 Trykkstopp

- Tilsiktet netto overtrykk ved stopp injeksjon er 30-50 bar, men vurderes ut fra hvordan inngang og trykkutvikling, samt forhold ved aktuell stoff påvirker risiko for gjennombrudd i stuppen.

Kommentarer:

For effektivitet av injeksjon er det netto overtrykk som er avgjørende. Ønsker man 50 bar overtrykk og vanntrykket er 50 bar, betyr det stopp injeksjon ved 100 bar på pumpemanometeret.

Hvis utstyret er dimensjonert for maksimum 120 bar (av sikkerhetsgrunner) og vanntrykket går over 70 bar, vil en måtte akseptere netto stopp(over)trykk på mindre enn 50 bar.

Spesielt ved injeksjon av hull i første skjerm ved stor innlekkasje, kan inngang på et hull bli ekstremt stor uten noen vesentlig økning av pumpetrykk. Nettopp da er det grunn til å benytte avtalt mengdestopp, evt ta i bruk akselleratordosering for å provosere motstand og trykkøkning. Det kan også inntreffe at når man nærmer seg stoppmengden, så begynner trykket å stige. Det må da være anledning til å overskride stoppmengden noe, for evt å oppnå et rimelig mottrykk. Også her kan prosessen hjelpes med dosering av aksellerator for å spare sement og tid.

Noter at ved små lekkasjer og leirinfiltrert berg kan mange hull gå til stopp-trykk ved praktisk talt ingen inngang. I så fall er hullet bortkastet. Slike hull bør testes til om nødvendig 100 bar for å se om det dannes en splitt med trykkfall og start av mørtelinngang. I så fall kan hullet utnyttes til effektiv injeksjon.

3.3.2 Mengdestopp

Tilsiktet mengdestopp er avhengig av innlekkasjeklasse for sonderhullene og kan listes som følger:

1. Mindre enn 100 L/min:	Mengdestopp:	3000 kg
2. 100 – 400 L/min:	Mengdestopp:	3000 kg
3. 400 – 1000 L/min:	Mengdestopp:	6000 kg
4. Over 1000 L/min:	Mengdestopp:	10000 kg

Kommentarer:

I klasse 1 vil nok normal situasjon være at det er problemer med å få inn nok masse. Stopp kriterium på mengde vil derfor ofte være overflødig. Med den store variasjonen i bergforhold som er erfart ved anlegget kan det likevel ikke utelukkes at ett eller flere hull er i kontakt med relativt åpne kanaler. Når det skjer, og derfor inngang ved lave overtrykk, har det liten hensikt å pumpe mer enn det som trengs for fylling i nærområdet til tunnelen. Stopp ved 3000 kg er kanskje sogar i overkant av det nødvendige.

For klasse 4 må det presiseres at angitt stoppmengde ikke gjelder ekstremsituasjoner som f.eks. ved grunnvannstrøm i berget (som ikke skyldes lekkasje til tunnelen). Ved start injeksjon vil man ikke vite hva som er aktuell situasjon foran stoffen, utover det man vet om trykk og vannmengde gjennom sonderhull. Nettopp derfor er det grunn til å stoppe ved 10 t og ta en vurdering av situasjonen. Eksempelvis: 10 t pumpet uten trykkstigning og blankt vann og full mating tilbake fra hullet umiddelbart etter stopp injeksjon vil være signaler om en ekstremsituasjon som tilsier spesielle tiltak (bruk av aksellerator, innmating av PU). Igjenn så kreves det at vurderinger og tiltak må kunne justeres av de som leder arbeidet, basert på observasjoner som bare kan gjøres i tunnelen.

3.4 Variasjon av v/s-tall

Ved bruk av mikrosegment er det viktig å unngå bleeding for å unngå restkanaler etter at massen har satt seg. Spesielt ved vanskelig inngang og små sprekker må man dessuten tilsikte lav viskositet, som tilsier høyt v/s-tall. Balansering av disse hensyn gir normalt et maksimalt v/s-tall på ca. 1.0. I den andre enden av skalaen, ved mye vann og store kanaler, bør v/s-tallet reduseres. Da oppnås null bleeding, raskere herding, bedre fasthet og også raskere reaksjon om det må doseres aksellerator. For hull som ser ut til å gå mot mengdestopp anbefales følgende justeringer av v/s-tall:

1. Mindre enn 100 L/min:	Stopp: 3000 kg	1.0 – 0.9
2. 100 – 400 L/min:	Stopp: 3000 kg	0.9 – 0.8
3. 400 – 1000 L/min:	Stopp: 6000 kg	0.8 – 0.6
4. Over 1000 L/min:	Stopp: 10000 kg	0.6 – 0.5

Første verdi brukes fra start og inntil ca. 50% av stoppmegden er pumpet. Deretter kan en vurdere å gå ned til den andre (lavere) verdien.

4 Pakkere, split-rør, stand-pipes og bag-packers

- Anlegget samarbeider med produsenten av engangspakkere for å forbedre disse mht å ta enda høyere pumpetrykk, bedring av styrke og stivhet spesielt for lange staver ved innsetting mot mye vann under høyt trykk. For 64 mm borhull representerer 80 bar trykk mot en pakke 2.6 t og 100 bar blir 3.2 t.
- Det ble besluttet å ikke forsøke split-rør. Først og fremst fordi patenten er noe følsom for borhulldiameter og i kvartsitt vil diameterslitasje på kronene være uunngåelig. Det er heller ikke kjent fra erfaring hvordan split-rør vil virke ved så høye trykk. Anlegget har dessuten utviklet løsninger med engangspakkere, f. eks. innsetting av to ekspandere i samme hull og dette fungerer bra.
- Stand-pipes (SP) og bag-packers (BP) vil bli forberedt og evt testet ved behov. Disse er bare nødvendige hvis det ikke kan unngås å utføre en normal sonderboring fra en stoff (og første få meter videre fremover) i ekstremt dårlig berg (verre enn noe av det som er erfart så langt og som bare potensielt kan inntreffe). SP er et stålrør med innerdiameter stor nok for boring av sonder- og injeksjonshull gjennom røret. Det bores et grohull i stoffen (76 mm eller mer), 5-6 m langt og stålrøret settes inn i grohullet og støpes fast med rasktsettende mørtel. BP brukes i stedet for SP hvis grohullet allerede treffer så mye vann at faststøping av SP blir vanskelig eller umulig. Separat beskrivelse og bilder av BP vil bli framsendt. SP og BP er problemforebyggende og bør ha høyest prioritet for evt anvendelse på Gvammenstøffen (på fall).

5 Styrt herding

Aktuell mikrosement er meget reaktiv med egnet aksellerator, spesielt ved lavt v/s-tall. Dette kan og bør utnyttes til å stoppe utlekkasje av sement gjennom stoffen, eller andre steder ved dosering av aksellerator på pakken. I tillegg kan det vurderes å snu den vanlige teknikken med gradvis fortykning av injeksjonsmassen ved store innganger, helt på hodet. (Se side 11/11 i rapport 1. februar 2017).

- Start hullet ved å pumpe 1-2 blandinger *uten* aksellerator (for coating av sprekker i borhullet og smøring av kanaler).
- Pump etter med 2 blandinger *tilsatt* aksellerator på pakke for tilsiktet settingtid. Dette kan eksempelvis være en 3% dosering for 20-30 min settingtid.
- Fortsett på normal måte *uten* aksellerator. Hensikten er å bruke ikke-aksellerert masse til å dytte en plugg i fronten som gradvis blir tykkere, slik at det etterhvert bygges opp trykk helt fra pluggen og tilbake til pakken. Det området som først og fremst skal injiseres (nærmest tunnelperiferien) blir derved trykksatt og spredning av masse på midlere og finere sprekker kan oppnås. Samtidig kan man spare sementmengde totalt sett.
- Det kan inntreffe at riktig store kanaler krever mer aksellerator og/eller mer aksellerert masse. Hvis reaksjon uteblir, kan en ekstra plugg med aksellerert masse pumpes inn (eksempelvis med 4 blandinger og 5% dosering) før det byttes til normal masse igjen.

6 Bruk av drenshull

Hvis det er vanskelig å oppnå spredning av ultrafin sement eller KS på grunn av bergforhold og ekstra høyt vanntrykk og det likevel lekker nok vann til at videre tetting anses nødvendig, så kan noen få drenshull være god hjelp.

- Bor noen hull med god spredning (hullavstand eksempelvis 3 m) utenfor injeksjonsskjermen med vinkel som gir ca. 9 m avstand til tunnelkontur på odd (3 m utenfor injeksjonshullene) for drenering og trykkavlastning.
- Utfør injeksjon som planlagt og typisk vil dette forbedre inntrengning av masse pga redusert motstand fra vanntrykket. Stopp injeksjon ved forbindelse til drenshull.
- Injiser drenshullene til slutt (eller støp dem igjen på utsiden av innsatt pakker).

Århus 9. februar 2017

Knut Garshol
Ingeniørgeolog