



Statens vegvesen

BANE NOR

## Fellesprosjektet Arna – Stanghelle

### Supplerende teknisk beskrivelse for forsøk med injeksjon

|                                                                                                                                    |                     |                                                 |                              |                                |                         |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-------------------------------------------------|------------------------------|--------------------------------|-------------------------|--|
|                                                                                                                                    |                     |                                                 |                              |                                |                         |  |
| 00E                                                                                                                                | Første oversendelse | 11.04.2025                                      | K. G. Holter<br>H. Strømsvik | E. Grøv                        | P.D. Jakobsen<br>S. Log |  |
| Revisjon                                                                                                                           | Revisjonen gjelder  | Dato                                            | Utarb. av                    | Kontr.av                       | Godkj. av               |  |
| <b>Tittel:</b><br><b>Fellesprosjektet Arna – Stanghelle</b><br><br><b>Supplerende teknisk beskrivelse for forsøk med injeksjon</b> |                     | <b>Sider:</b><br><b>25</b>                      |                              |                                |                         |  |
|                                                                                                                                    |                     | <b>Produsert av:</b>                            | <b>SINTEF / NGI</b>          |                                |                         |  |
|                                                                                                                                    |                     | <b>Prod.dok.nr.:</b>                            |                              | <b>Rev:</b>                    |                         |  |
|                                                                                                                                    |                     | <b>Erstatter:</b>                               |                              |                                |                         |  |
|                                                                                                                                    |                     | <b>Erstattet av:</b>                            |                              |                                |                         |  |
| <b>Prosjekt:</b> 770031<br><b>Entrepriise:</b> E01 Forberedende arbeider veg og tunnel                                             |                     | <b>Dokumentnummer:</b><br><b>FAS-99-A-00001</b> |                              | <b>Revisjon:</b><br><b>00E</b> |                         |  |
| <br>Statens vegvesen<br><br>BANE NOR            |                     | <b>Drift dokumentnummer:</b>                    |                              | <b>Drift rev.:</b>             |                         |  |
|                                                                                                                                    |                     | <b>BN:</b>                                      |                              |                                |                         |  |
|                                                                                                                                    |                     | <b>Svv:</b>                                     |                              |                                |                         |  |

SINTEF Community  
Postadresse:  
Postboks 4760 Torgarden  
7465 Trondheim  
Sentralbord: 40005100  
info@sintef.no

Foretaksregister:  
NO 919 303 808 MVA

Norges Geotekniske Institutt  
Postboks 5687 Torgarden  
7485 Trondheim

Sentralbord: 22023000  
www.ngi.no

# Notat

## Fellesprosjektet Arna-Stanghelle

Supplerende teknisk beskrivelse for forsøk med injeksjon med økt tettemål og sprøytebetong med økt vanntetthet

VERSJON  
1.0

DATO  
2025-04-11

FORFATTER(E)  
Karl Gunnar Holter (NGI)  
Helene Strømsvik (SINTEF)

OPPDRAGSGIVER(E)  
Fellesprosjektet Arna-Stanghelle

OPPDRAGSGIVERS REFERANSE  
Kari Bremnes

PROSJEKTNUMMER  
-

ANTALL SIDER OG VEDLEGG:  
16 og 0 Bilag/vedlegg

### Sammendrag

Notatet beskriver metode for utførelse av et alternativt konsept for kontroll av innlekkasje av vann med en innovativ tilnærming, med mål om å redusere behovet for vann- og frostsikring i en test-strekning i adkomst-/transporttunnelen ved Romslo og Naustvika. Målet med konseptet er å betydelig redusere innlekkasjen, slik at behovet for en vannsikring blir sporadisk. Målet vil være å bygge en permanent tunnelkonstruksjon med en funksjonelt tørr overflate av sprøytebetong. Bergsikringssprøytebetongen vil utgjøre den endelige innvendige overflaten av tunnelen. Konseptet innebærer behovsprøvd forinjeksjon med et høyt tettemål. En spesielt utviklet sprøytebetong med høyere vanntetthet enn ordinær bergsikringssprøytebetong planlegges benyttet for å fjerne mindre resterende lekkasjer. Målet er å etablere egnede løsninger for hovedtunnelene for både vei- og jernbane i Fellesprosjektet Arna-Stanghelle, som gir god funksjonalitet, lavere investeringskostnad og ressursinnsats, samt mindre CO<sub>2</sub>-bidrag enn dagens løsninger. Prosedyrer, prosjekterte detaljer og utførelse må revideres og tilpasses underveis i arbeidene i adkomsttunnelen. Et hovedpunkt er å prøve ut hensiktsmessige kriterier for behovsprøving av injeksjonsarbeidene basert på kartlegging og målinger av de stedlige forholdene.

GODKJENT AV (NGI)  
Pål Drevland Jakobsen

SIGNATUR



GODKJENT AV (SINTEF)  
Sindre Log

SIGNATUR



Sindre Log (11. April 2025 15:46 GMT+2)

PROSJEKTNOTAT NR  
2

GRADERING  
Åpen



---

| VERSJON | DATO       | Versjonsbeskrivelse                      |
|---------|------------|------------------------------------------|
| 1.0     | 2025-04-11 | Leveres Fellesprosjektet Arna-Stanghelle |

# Innholdsfortegnelse

|          |                                                                                |           |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Bakgrunn og hensikt.....</b>                                                | <b>4</b>  |
| <b>2</b> | <b>Generell beskrivelse av konseptet.....</b>                                  | <b>4</b>  |
| <b>3</b> | <b>Strategi for systematisk sonderboring og behovsprøvd forinjeksjon.....</b>  | <b>6</b>  |
| 3.1      | Nivå 1, injeksjon av sonderhull .....                                          | 10        |
| 3.2      | Forinjeksjon Nivå 2 .....                                                      | 11        |
| 3.3      | Forinjeksjon Nivå 3.....                                                       | 13        |
| 3.4      | Injeksjonstrykk og stopkriterier .....                                         | 14        |
| 3.5      | Resepter og testing av injeksjonsmassen .....                                  | 15        |
| 3.6      | Etterinjeksjon .....                                                           | 18        |
| 3.7      | Modifikasjoner av prosedyre, design og materialer under arbeidene .....        | 19        |
| <b>4</b> | <b>Sekundært lag med sprøytebetong i områder med fuktutslag og drypp .....</b> | <b>20</b> |
| 4.1      | Sprøytebetong med forhøyet vanntetthet .....                                   | 20        |
| 4.2      | Kvalitet på kontursprengning.....                                              | 21        |
| <b>5</b> | <b>Angivelse av foreslåtte teststrekninger .....</b>                           | <b>21</b> |
| <b>6</b> | <b>Rapportering av utførte arbeider fra entreprenør.....</b>                   | <b>22</b> |
| <b>7</b> | <b>Referanser .....</b>                                                        | <b>24</b> |

---

---

## 1 Bakgrunn og hensikt

Fellesprosjektet Arna-Stanghelle ønsker utprøving av en alternativ overordnet tilnærming med ny metodikk for å redusere behovet for vann- og frostsikring, for både vei- og. Formålet med dette er å etablere egnede løsninger for hovedtunnelene, som gir mindre CO<sub>2</sub>-utslipp enn dagens løsninger. NGI og SINTEF beskriver i dette notatet et alternativt konsept til allment brukte metoder for vann- og frostsikring i form av vanninnlekkasjekontroll med en utvidet og tilpasset metodikk for forinjeksjon. Det alternative konseptet er en videreutvikling av kjente metoder som benyttes i Norge, og støtter seg på erfaringer fra flere nylig gjennomførte prosjekter og forskning. Prosjektet vil prøve ut denne metodikken i en test-strekning i adkomsttunnelen/transporttunnelen ved Romslo og Naustvika. Konseptet innebærer behovsprøvd forinjeksjon med høyt tettemål i kombinasjon med en sprøytebetong som har høyere vanntetthet enn ordinær sprøytebetong for bergsikring.

Dette notatet sammenfatter de viktigste punktene for bestillingen av en fullskala utprøvningsprosess av prosedyrer, herunder videreutviklede og nye injeksjonsmidler og blanderesepser i kombinasjon med behovsprøvd forinjeksjon, sprøytebetong med forbedrede tetthetsegenskaper for å håndtere resterende fukt- og lekkasjepunkter, samt rapporteringskrav.

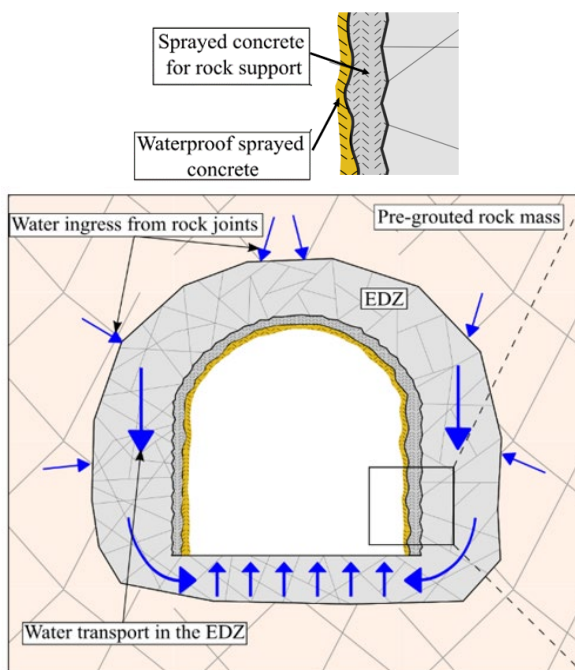
Det planlegges med at prosedyrer, plan og utførelse tilpasses underveis i arbeidene som en del av prosessen med å komme frem til egnede tekniske løsninger. Dette samsvarer med den endelige målsetningen til Fellesprosjektet Arna-Stanghelle, som er å etablere en egnet og forbedret løsning for hovedtunnelene i prosjektet.

## 2 Generell beskrivelse av konseptet

Konseptet består av to hovedelementer:

- 1) Behovsprøvd forinjeksjon med utvidet systematisk sonderboring.
- 2) Sprøytebetong som har høyere vanntetthet enn ordinær sprøytebetong for bergsikring.

Formålet med forinjeksjonen er å skape redusert vannstrøm inn mot tunnelen og med mål om en funksjonell tørr tunneloverflate. Det vil si at funksjonskravene til lekkasjer i tunnelen er styrende for injeksjonsarbeidene. Akseptkriteriene for mindre lekkasjer utenfor tunnelens trafikkområde revurderes basert på forventet behov for vedlikehold. Sprengingsskadesonen og sprøytebetongen i bergsikringen, kombinert med en drenerende såle vil også bidra til å redusere inntrengning av vann i heng og vegger.



Figur 1. Prinsipp for drenering av vann gjennom sprengingsskadesone (EDZ) og såle (Moe et. al, 2023)



Samvirket mellom sprengningsskadesone og sprøytebetong er illustrert i Figur 1, og kan beskrives som følgende:

- Tettemålet for behovsprøvd forinjeksjon av tunnelen differensieres for heng/vegger og såle. Dette vil være ulikt for veg- og jernbanetunneler. Vegger kan ha små vanninnsig, i form av små drypp og fuktflekker. Hengen i tunnelen direkte over trafikkområdet skal ha tetthet som ikke gir drypp. Såle kan ha et betydelig høyere vanninnsig.  
Når et slikt tettemål er praktisk demonstrert over en lengre forsøksstrekning, vil det være mulig å revurdere behovet for gjennomgående vann- og frostsikring i både veg- og jernbanetunnelene.
- I utgangspunktet kan intakt, dvs. uopprikket sprøytebetongmateriale, betraktes som vanntett, men under herdeprosessen dannes det riss i betongen. Disse rissene vil kunne gi fuktutslag og drypp i tunnelen. Sprøytebetongen skaper likevel en betydelig barriere mot innlekkasje. I områder hvor det er fuktutslag og drypp, skal det påføres et sekundært lag med en sprøytebetong som vil være mindre disponert for uttørkingssvinn. Forsøkene med sprøytebetong vil være utprøving av tiltak for å redusere omfanget av rissdannelse som skyldes uttørkingssvinn.
- I sprengningsskadesonen vil det forekomme økt oppsprekking i berget nær profilet, noe som gir en viss drenerende effekt. Med tettere bergmasse og sprøytebetong i heng, vederlag og vegger vil mye av innlekkasjen til tunnelen forekomme i sålepartiet. I sålen er det ingen barriere i form av sprøytebetong og vann vil kunne sige inn i drenglaget i sålen. Slik reduseres det hydrostatiske trykket i bergmassen umiddelbart rundt tunnelen. En redusert hydrostatisk påkjenning av sprøytebetongen vil kunne bidra til færre fuktutslag og drypp i tunnelen. Ved fokus på ytterligere forbedret kontursprenging med en mer skånsom påkjenning av bergmassen, kan man forvente en noe redusert effekt av sprengningsskadesonen. Dette vil bli undersøkt i dette programmet.

En grunnforutsetning for dette konseptet er at vannstrømmen inn i tunnelen, gjennom injisert sone ikke vesentlig overstiger kapasiteten til drenering i sprengningsskadesonen. Derfor vektlegges forinjeksjon i vegger, vederlag og heng, mens sålen tillates å drenere bergmassen.

### 3 Strategi for systematisk sonderboring og behovsprøvd forinjeksjon

Tettemålet for injeksjonsarbeidene vil sikte på en hydraulisk konduktivitet i bergmassen på ca.  $10^{-10}$  m/s i vederlag og heng. Målinger av innlekkasje i sonderhull er unøyaktig for et slikt tettemål. For å undersøke hydraulisk konduktivitet i bergmassen, er det nødvendig å utføre en tilpasset systematisk sonderboring med 6 - 8 hull, der målområdet er vegger, vederlag og heng. I sonderhull skal det måles innlekkasje samt utføres vanntapsmålinger, der hydraulisk konduktivitet estimeres på grunnlag av målt vanntap. Tabell 1 gir en punktvis beskrivelse av plan for sonderboring.

**Tabell 1. Plan for sonderboring**

| Prosess |                      | Beskrivelse                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|---------|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1       | Boring av sonderhull | Hullanvisning er gitt i Figur 5. Behov for justering av planen må alltid verifiseres ved geologisk kartlegging. Følgende faktorer skal vektlegges for å justere ansettpunkter og retning på sonderhull:<br>1) om sprekker er orientert omtrent parallelt med tunnelakse må sonderhull, plasseres og orienteres slik at de krysser sprekkeene på en best mulig måte, illustrert i figur 2.<br>2) i områder med synlig fukt/innlekkasje på stuff-flaten plasseres sonderhull/injeksjonshull slik at synlige lekkasjer fanges opp |
| 2       | Innlekkasjemåling    | Mål mengde vann som kommer ut av hvert sonderhull [liter/min]                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 3       | Vanntapsmåling       | Pump vann med 10 bars overtrykk til konstant strømming registreres. Denne strømningsverdien noteres som måleverdien for vanntap. Beregn hydraulisk konduktivitet/Lugeon verdi.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 4       | Vurdering            | Grenseverdiene for innlekkasje og vanntap er oppgitt i Tabell 2.<br>Nivå 0) Ingen injeksjon. Gjenstøping av sonderhull.<br>Nivå 1) Under grenseverdier: Injiser sonderhull iht. Tabell 3.<br>Nivå 2) For grenseverdier gitt i Nivå 2: utfør forinjeksjon iht. Tabell 3.<br>Nivå 3) For grenseverdier gitt i Nivå 3: utfør forinjeksjon iht. Tabell 3.                                                                                                                                                                          |

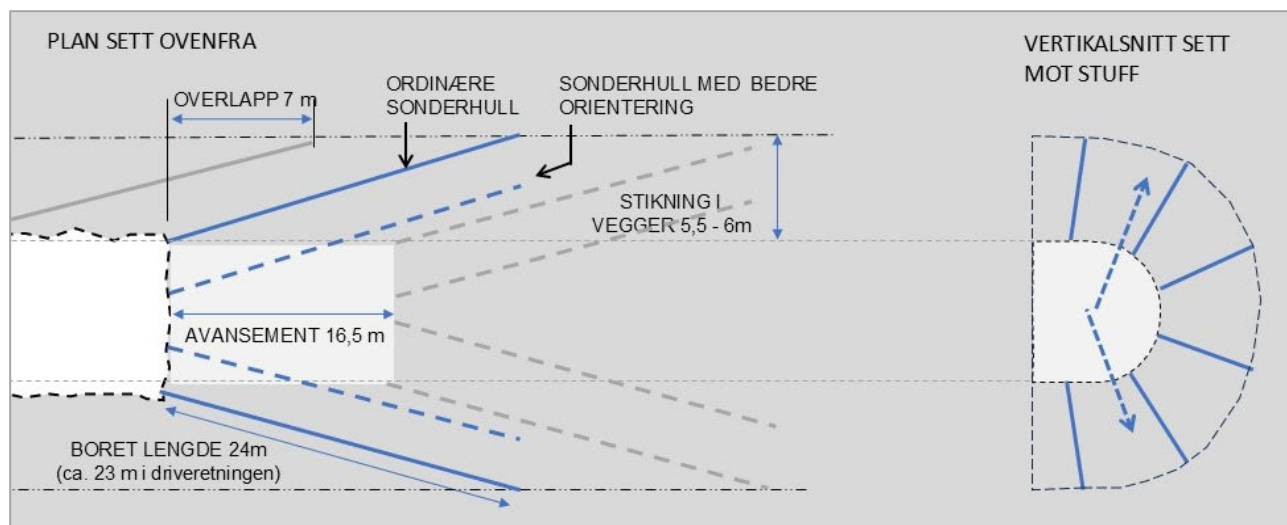
Med et strengt tettemål er det viktig at sonderboringsskjermen i størst mulig grad påviser lekkasjeførende geologiske strukturer. Derfor planlegges det med en mulighet for å legge inn tilleggshull i stuff, med en orientering som gir en bedre treffrate i forhold til retningen på lekkasjeførende sprekker. Figur 3 illustrerer prinsippet for sonderboring. Denne planen er basert på nyere erfaringer. Under utførelse på Arna-Stanghelle vil denne bli justert etter forholdene. Denne justeringen er å regne som en del av piloteringskonseptet. Dette medfører at antall sonderhull og plassering av sonderhull vil bli tilpasset underveis. Det vil også gjøres vurderinger om resultatene fra vanntapsmålinger riktig parameter å styre etter, som alternativ til målt innlekkasje i sonderhull.

Det er definert fire ulike nivåer for injeksjonsomfanget. Formålet med dette er å tilpasse injeksjonsomfanget til det stedlige behovet. Punkt 4 i Tabell 1 viser hvordan nivået for injeksjon bestemmes og arbeidsprosessen. Terskelnivåene for utførelse av forinjeksjon er angitt i Tabell 2. I tilfeller der måleverdiene for innlekkasje eller vanntapsmåling ikke faller innenfor samme nivå, er det høyeste nivå som gjelder. Grenseverdiene vil justeres og tilpasses under arbeidene.



SINTEF

NGI



Figur 3. Prinsippskisse for mønster for systematisk sonderboring, i plan ovenfra og snitt mot stuff. Ved vannførende geologiske strukturer som har ugunstig sub-parallell orientering med borhullsretningen, legges det til sonderhull med forbedret treffrate med geologiske strukturer

Tabell 2. Grenseverdier for utførelse av forinjeksjon.

|        | Terskelnivåer*                            |                                                                |
|--------|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
|        | Innlekkasje, sum målt i alle hull [L/min] | Vanntapsmåling, omregnet til hydraulisk konduktivitet [m/s] ** |
| Nivå 0 | 0 (tørr)                                  | $<10^{-10}$                                                    |
| Nivå 1 | $<5$                                      | $<10^{-9}$                                                     |
| Nivå 2 | $5 < \text{innlekkasje} < 30$             | $10^{-9} < \text{innlekkasje} < 10^{-8}$                       |
| Nivå 3 | $> 30$                                    | $>10^{-8}$                                                     |

\*målt i 24 m lange borhull med pakker plassert på ca. 2 m dyp.

\*\* Estimeres med omregningsformel



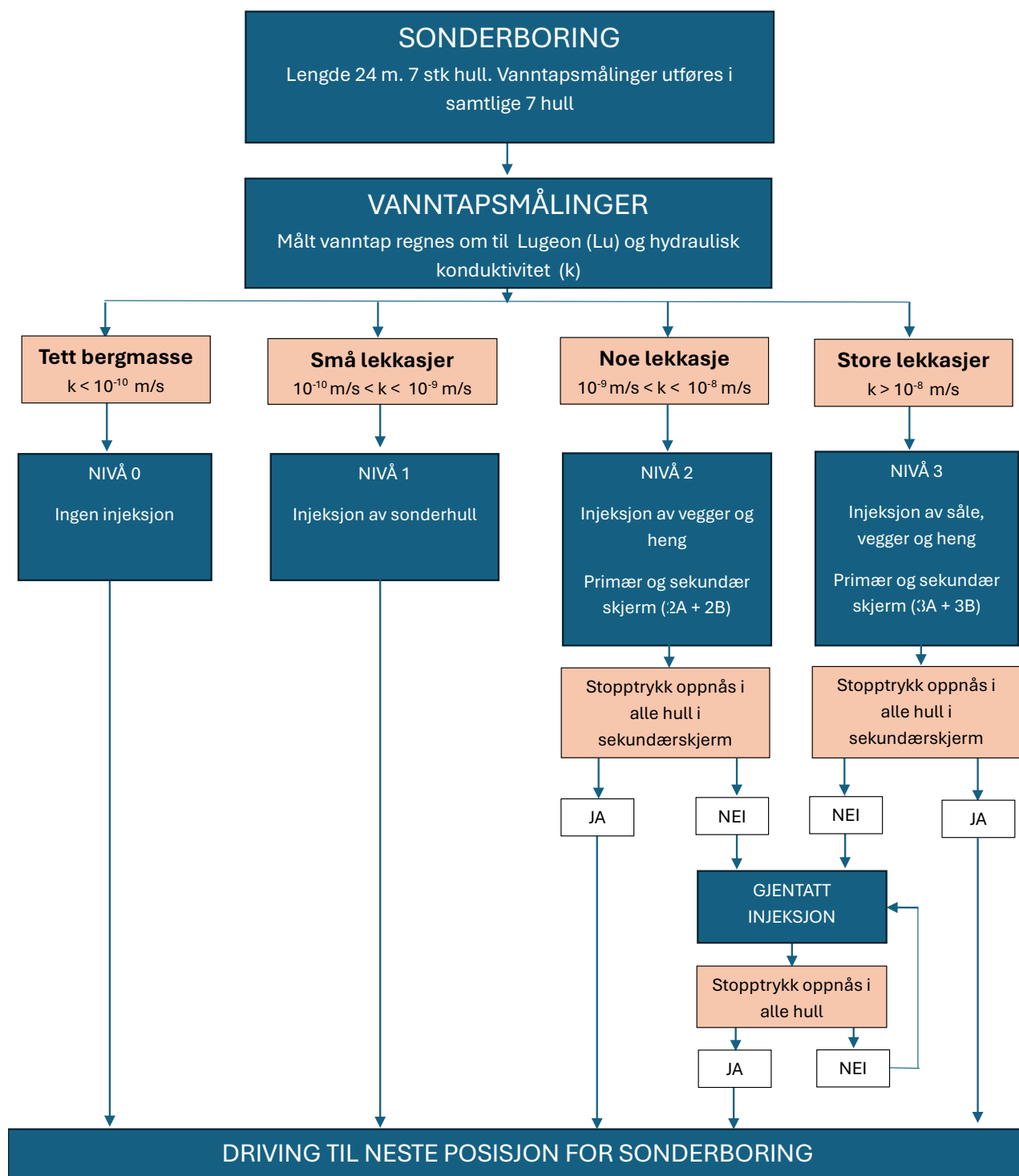
Tabell 3. Veiledende spesifikasjoner for injeksjon ved Nivå 1, Nivå 2 og Nivå 3\*.

|                                                   | Nivå 1<br>(sonderhull) | Nivå 2 A                                                                  | Nivå 2 B                            | Nivå 3 A                                                                  | Nivå 3 B                           |
|---------------------------------------------------|------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| Hullavstand kontur, c/c [m]                       | -                      | 1.4                                                                       | 1.4                                 | 1.4                                                                       | 1.4                                |
| Hullavstand såle, c/c [m]                         | -                      | -                                                                         | -                                   | 1.4                                                                       | -                                  |
| Antall hull i kontur (T9.5)                       | 5                      | 15                                                                        | 14                                  | 15                                                                        | 14                                 |
| Antall hull i stoff (T9.5)                        | 2                      | 5                                                                         | -                                   | 6                                                                         | -                                  |
| Antall hull i såle (T9.5)                         | -                      | -                                                                         | -                                   | 6                                                                         | -                                  |
| Antall hull (tverrsnitt for adkomsttunnel (T9.5)) | 7                      | 20                                                                        | 14                                  | 27                                                                        | 14                                 |
| Hullanvisning                                     | Se Figur 5             | Se Figur 7                                                                | Se Figur 8                          | Se Figur 10                                                               | Se Figur 11                        |
| Hullengde [m]                                     | 24                     | 24                                                                        | 23                                  | 18 – 24                                                                   | 17-23                              |
| Stikning [m]                                      | 5.5                    | 5.5                                                                       | 5.5                                 | 5.5                                                                       | 5.5                                |
| Stopptrykk                                        | Tabell 4               | Tabell 4                                                                  | Tabell 4                            | Tabell 4                                                                  | Tabell 4                           |
| Maksmengde (veiledende)                           | 800 L                  | 800 L                                                                     | 800 L                               | 1000 L                                                                    | 1000 L                             |
| Type injeksjonsmasse                              | Ultrafin sement        | Injeksjonssement<br>Norcem 25, evt.<br>Hurtigherdende<br>injeksjonssement | Ultrafin sement, evt.<br>Silica sol | Injeksjonssement<br>Norcem 25, evt.<br>Hurtigherdende<br>injeksjonssement | Ultrafin sement evt.<br>Silica sol |

\* Antall hull refererer seg til angitt c/c og vil variere avhengig av tverrsnittets størrelse, T9.5 er gitt som eksempel.

Etter boring av injeksjonshull foretas måling av innlekkasjen fra alle injeksjonshull. Under injeksjon skal det også vurderes om injeksjonsmassen går inn i hullene uten trykkoppbygning etter en viss injisert mengde, eller om det raskt opparbeides mottrykk under pumping. For Nivå 2 danner dette grunnlaget for om det ansees å være nødvendig å utføre en sekundær injeksjonsskjerm. For Nivå 3 skal det alltid injiseres både en primær og sekundær skjerm. Primærskjermen betegnes skjerm A og sekundærskjermen betegnes som skjerm B. Spesifikasjoner for primære og sekundære skjermer for Nivå 2 og 3 er gitt i Tabell 3.

Hensikten med å prøve ut en inndeling av primær- og sekundærskjerm i nivå 2, er å identifisere kriterier for når det er tilstrekkelig å injisere en enkeltskjerm og når det vil gi et bedre resultat å dele inn injeksjonsskjermen i nivå 2 i primær- og sekundærskjerm. Begrunnelsen for en inndeling i primær og sekundærskjerm, er at bergmassen ofte har oppsprekking med en betydelig kontrast i hydraulisk transmissivitet av sprekker. Dette vil si at oppsprekkingen er karakterisert ved grove sprekker som er svært vannførende som lett tar imot injeksjonsmasse, samtidig som det forekommer fine riss og sprekker som har mye lavere hydraulisk transmissivitet og derved ikke mottar injeksjonsmasse i samme grad ved samme injeksjonstrykk og samme injeksjonsmasse. Ved krav om meget høy tetthet, vil det være behov for å tette de fine rissene i tillegg til de grove mer vannførende sprekke.

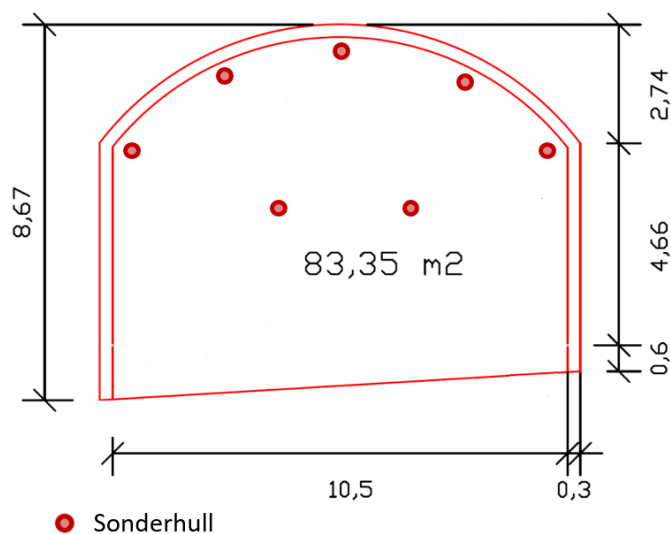


Figur 4. Basisflytskjema for injeksjonsnivåer og behovsprøving av injeksjonsinnsats.

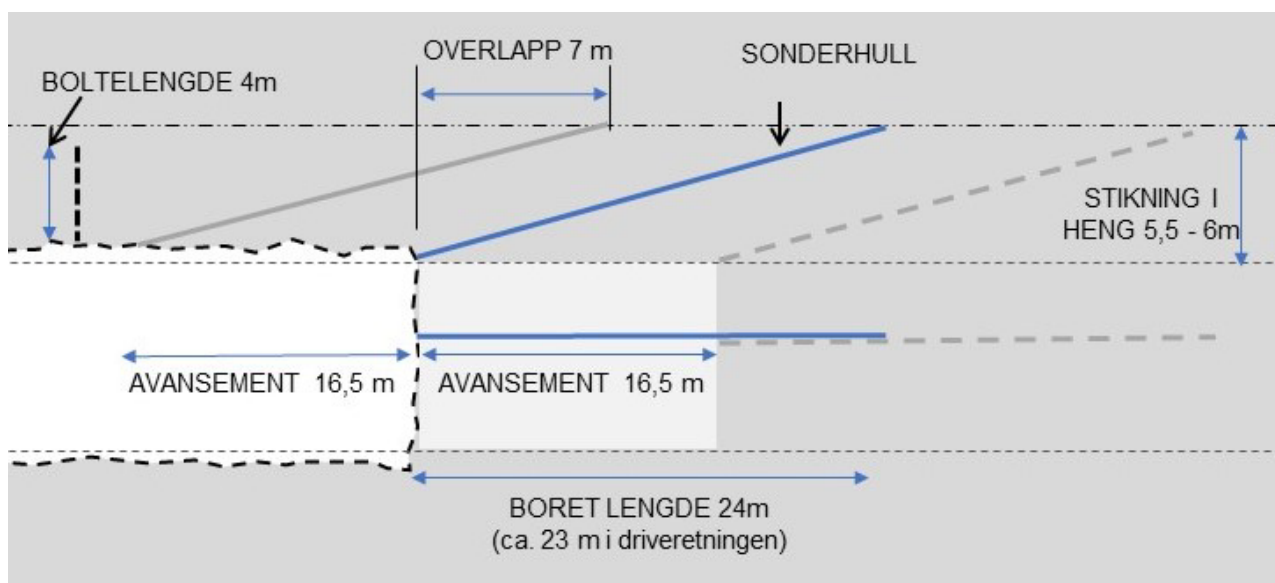


### 3.1 Nivå 1, injeksjon av sonderhull

Injeksjonsnivå 1, iht. Tabell 2, illustrert i Figur 5 og Figur 6, vil komme til anvendelse der det påvises små lekkasjer, eller det er tvil om bergmassen kan ansees som tett basert på vanntapsmålingene. Her er det benyttet, T9.5 som eksempel. Hullanvisning vil variere ved andre tverrsnitt. Det vil bli benyttet enten ultrafin sement eller lav-viskøst mineralsk injeksjonsmateriale. Det utføres ikke kontrollhull etter injeksjonsnivå 1.



Figur 5. Hullanvisning for sonderhull, basismønster.



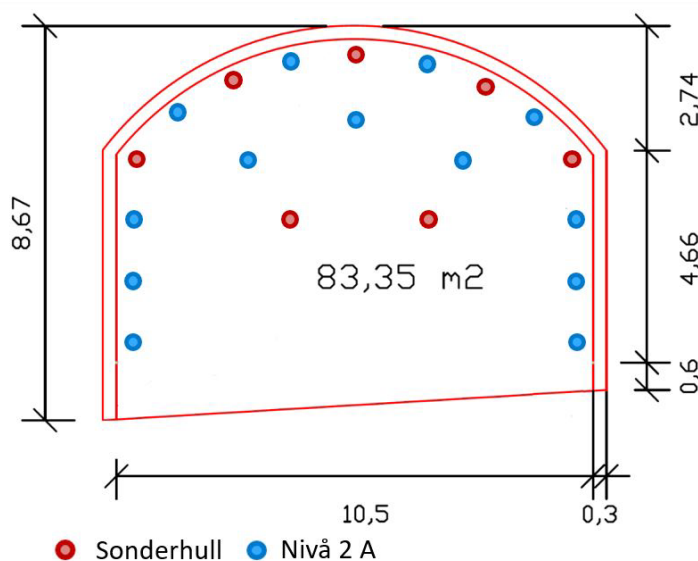
Figur 6. Lengdesnitt illustrasjon av konseptet for Nivå 1 forinjeksjon. Innenfor tillatt avansement mellom hver injeksjonsrunde, står entreprenøren fritt til å optimalisere salvelengde.

### 3.2 Forinjeksjon Nivå 2

Injeksjonsnivå 2 kommer til anvendelse der det påtreffes lekkasjer av moderat omfang, som tillater at man kan unnlate å injisere sålepartiet uten at innlekkasjen i tunnelen blir for stor. Injeksjonsnivå 2 foreslås med en basisprosedyre med en to-trinns injeksjon med primær- og sekundærskjerner som dekker vegger og heng i tunnelprofilen. Tettemålet oppnås etter at sekundærskjermen er utført. Det vil også bli forsøkt om man kan identifisere kriterier når man kan oppnå tettemålet i nivå 2 med hele injeksjonsskjermer utført i en omgang uten oppdeling i primær- og sekundærskjermer. Figur 7 og Figur 8 viser hullanvisning, der T9.5 benyttes som eksempel. Hullanvisning vil variere med andre tverrsnitt.

Prinsippet for oppdelingen i primær- og sekundærskjermer er å tette de mest vannførende sprekkene i bergmassen med primærskjermen. Sekundærskjermen har til hensikt å tette de fineste rissene for å oppnå den endelige tilsiktede tettingen av veggene og hengen i tunnelen.

I primærskjermen foreslås benyttet standard mikrosement. I sekundærskjermen foreslås det å benytte ultrafin sement eller lavviskøst mineralsk injeksjonsmaterial.

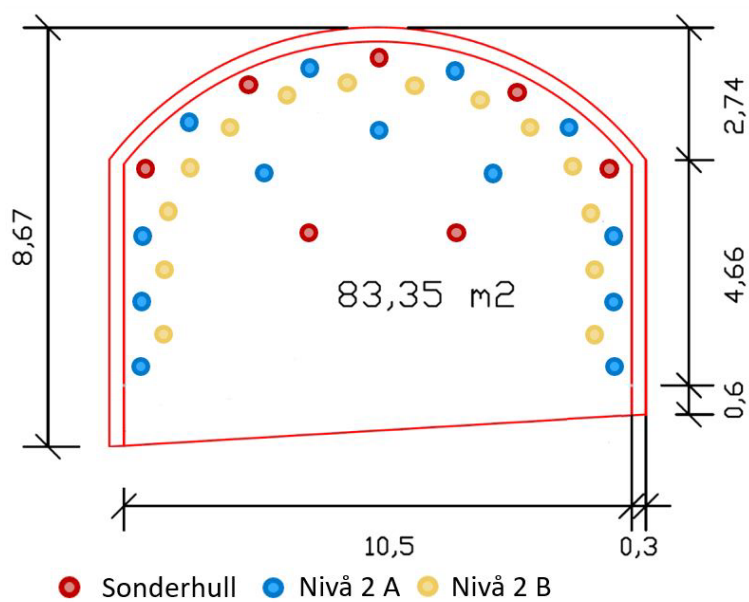


Figur 7. Hullanvisning for Nivå 2 A. Sonderhullene inngår som en del av skjermen.

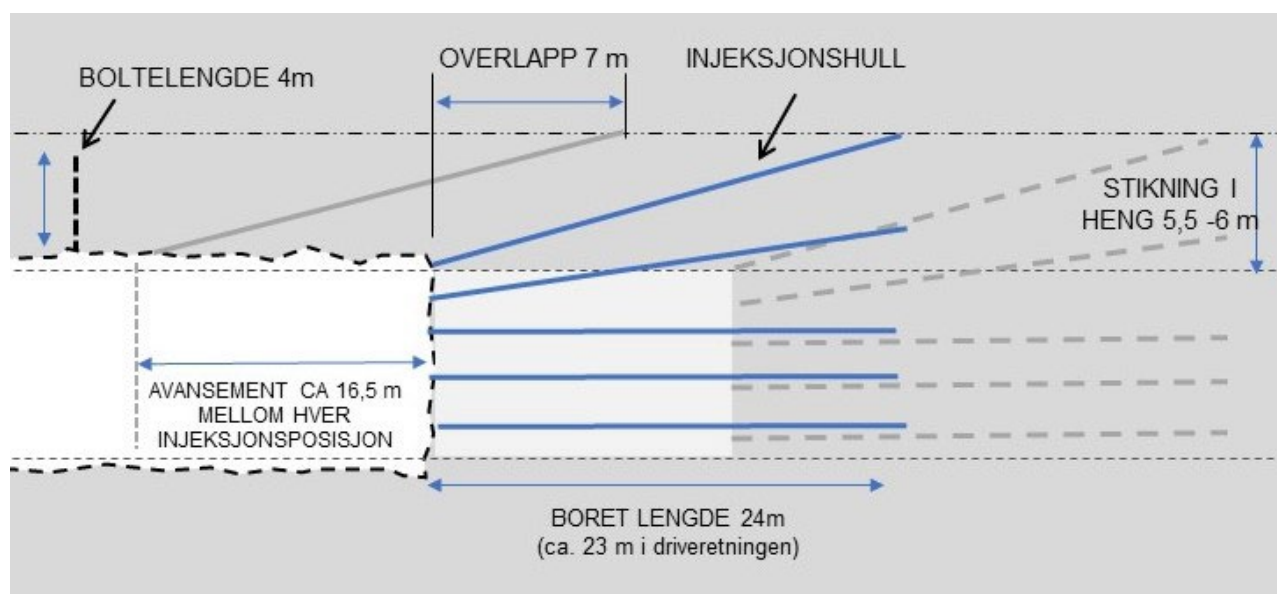


SINTEF

NGI



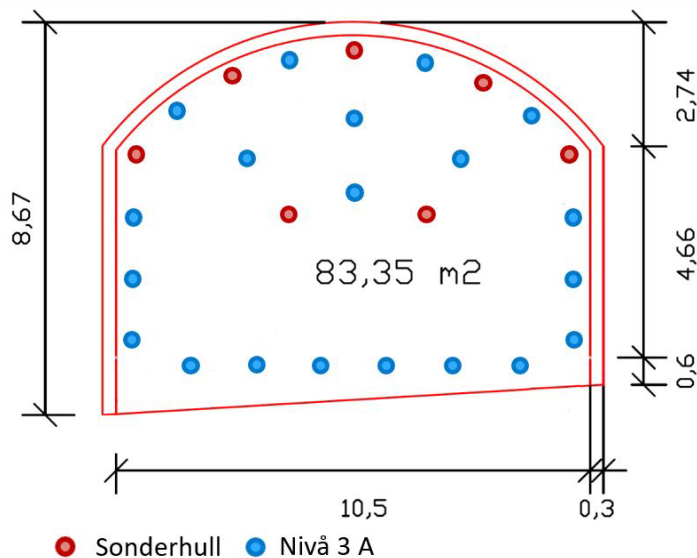
Figur 8. Hullanvisning for Nivå 2 B i gult.



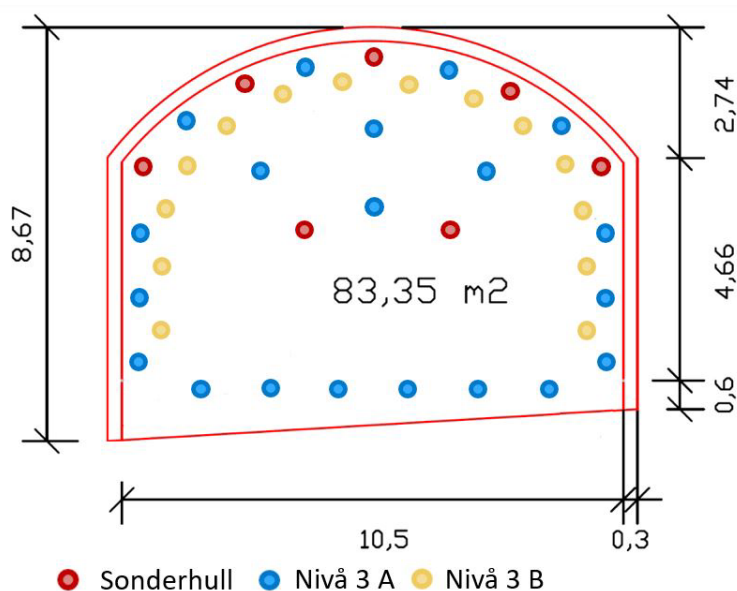
Figur 9. Lengdesnitt illustrasjon av konseptet for Nivå 2 forinjeksjon

### 3.3 Forinjeksjon Nivå 3

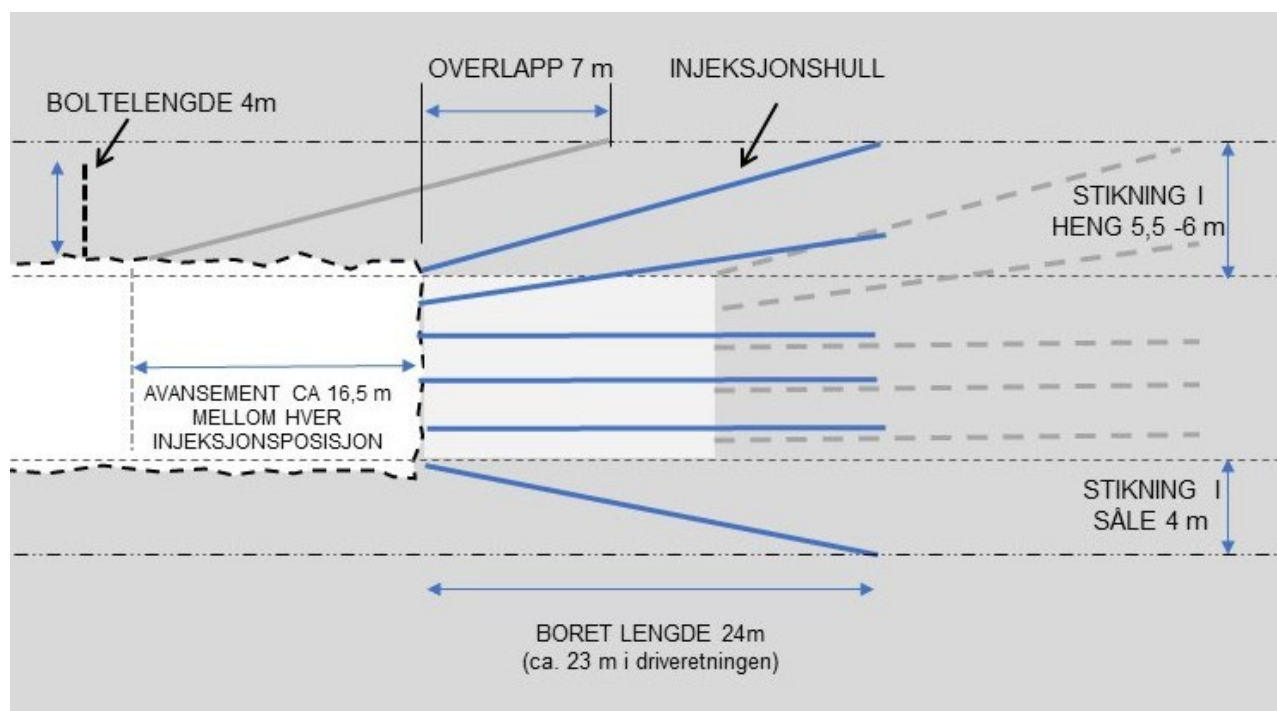
Injeksjonsnivå 3 kommer til anvendelse i tilfeller med store lekkasjer, der det ansees nødvendig å injisere sålen for å redusere den totale innlekkasjen i tunnelen. Ellers er nivå 3 prosjektert likt med nivå 2. For nivå 3 planlegges det med primær- og sekundærskjerm som standard. Figur 10 og Figur 11 viser hullanvisning, der T9.5 benyttes som eksempel. Hullanvisning vil variere med andre tverrsnitt.



Figur 10. Hullanvisning for Nivå 3 A. Sonderhullene inngår som en del av skjermen.



Figur 11. Hullanvisning for Nivå 3 B i gult.



Figur 12. Lengdesnitt illustrasjon av konseptet for Nivå 3 forinjeksjon

### 3.4 Injeksjonstrykk og stoppkriterier

Tabell 4 viser stopptrykk relatert til bergoverdekning. Stoppkriteriet defineres som oppnådd spesifisert injeksjonstrykk ved en strømningsrate  $< 2$  l/minutt, holdt i ett minutt. I utgangspunktet skal stopptrykket også ansees som et ønsket injeksjonstrykk. Dette betyr at under injeksjon skal det forsøkes å holde injeksjonstrykket nærmest mulig stopptrykket, så fremt det er praktisk mulig å opprettholde høy nok strømningsrate. Her er det viktig at materiallogistikken på injeksjonsriggen tilrettelegges for høy nok pumpekapasitet. Injeksjonsriggen må ha en egen pumpe til hver linje.

Høyre side av Tabell 4 viser redusert stopptrykk som skal benyttes om det er indikasjoner på hydraulisk jekking (HJ) under injeksjon. Redusert stopptrykk gjelder spesifikt for hullet med indikasjon på hydraulisk jekking. Det skal utføres en kontinuerlig vurdering under injeksjonen ved bruk av sanntidsanalyse, for å vurdere om det er tegn til hydraulisk jekking, slik at trykket raskt kan reduseres i dette hullet. Under utførelse på Arna-Stanghelle vil trykktabellen bli revidert. Denne revideringen er å regne som en del av piloteringskonseptet.

Tabell 4, Stopptrykk/injeksjonstrykk relatert til overdekning.

| Bergoverdekning<br>[m] | Stopptrykk [bar]  |                    | Redusert stopptrykk ved tegn til HJ [bar] |                   |
|------------------------|-------------------|--------------------|-------------------------------------------|-------------------|
|                        | Øvre del av stoff | Nedre del av stoff | Øvre del av stoff                         | Øvre del av stoff |
| <15*                   | 20                | 25                 | 15                                        | 20                |
| 15-30                  | 35                | 40                 | 30                                        | 35                |
| 30-80                  | 60                | 60                 | 50                                        | 50                |
| >80                    | 70                | 70                 | 60                                        | 60                |

Stoppkriterier for injeksjon er som følger:

1. Stopptrykk ved strømningsrate  $< 2$  l/min, holdt i 1 minutt.
2. Maksmengde injeksjonsmasse (Tabell 3).

### 3.5 Resepter og testing av injeksjonsmassen

Injeksjon utføres med mikrosement og ultrafin sement. Her defineres mikrosement som injeksjonssement med  $D_{95} < 25 \mu\text{m}$  og ultrafin sement med  $D_{95} < 12 \mu\text{m}$ . Resepter med rasktherdende mikrosement med  $D_{95} < 20 \mu\text{m}$  vil bli prøvd. Mikrosement  $D_{95} < 25 \mu\text{m}$  vil utgjøre hovedmaterialet som benyttes. Spesifikk reseptbeskrivelse avhenger av sementtypen som benyttes. I Tabell 5 til Tabell 9 gis eksempler på resepter som er antatt å gi ønsket kvalitet på injeksjonsmassen. Reseptene må justeres basert på resultatene fra testing, som beskrevet under.

Det spesifiseres leveranser av tilsetningsstoffer til injeksjonsmasse fra to leverandører, Master Builders Solutions og Mapei. Det åpnes for at produkter fra andre materialleverandører kan tilbys, forutsatt at dokumentasjon på at ytelsene tilsvarer produkter fra Master Builders Solutions og Mapei. Disse to leverandørene brukes i de fleste tunnelprosjekter i Norge i dag, også der det pågår utfordrende arbeid med forinjeksjon. Konseptene til de to leverandørene gir noe ulike egenskaper til injeksjonsblandingene. En utprøving av begge vil gi grunnlag for en ytelsesbasert spesifisering av injeksjonsmaterialene basert på presist angitte egenskaper til injeksjonsblandingene. Disse spesifiseringene vil komme til anvendelse i hovedtunnelene.

I tillegg til ulike kjemiske tilsetningsstoffer vil bruk av mikrosilika slurry med doseringer mellom 5 og 30% slurryvekt av sementvekt bli prøvd ut. Hensikten er å teste ut de positive effektene mikrosilika slurry har på injeksjonsblandingens egenskaper for å som bl.a. trykkstabilitet, viskositet og avbindingstid.

**Tabell 5. Eksempel på nylig benyttet resept med injeksjonssement 25 og tilsetningsstoffer fra Master Builders Solutions som kan forventes å gi tilfredsstillende å gi god kvalitet på injeksjonsmassen.**

| Komponent                                      | v/c 0.9<br>Mengde [kg] | v/c 0.6<br>Mengde [kg] |
|------------------------------------------------|------------------------|------------------------|
| Vann                                           | 231                    | 181                    |
| MasterGlenium ACE30, 0.5 – 0.8 % av sementvekt | 1.32-2.11              | 1.57-2.5               |
| MasterXSEED 130, 1 % av sementvekt             | 2.64                   | 3.13                   |
| Injeksjonssement 25 (tidl. Norcem Micro)       | 264                    | 313                    |
| Tot                                            | 500                    | 500                    |
| v/c                                            | 0.90                   | 0.60                   |



**Tabell 6. Eksempel på resept med injeksjonssement 25 og tilsetningsstoffer fra Master Builders Solutions som kan forventes å gi forbedret kvalitet på injeksjonsmassen.**

| Komponent                                           | v/b 1.0*<br>Mengde [kg] | v/b 1.2*<br>Mengde [kg] |
|-----------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Vann                                                | 277.3                   | 404                     |
| MasterGlenium ACE30, 0.9 – 1.5 % av sementvekt**    | 2.08-3.46               | 2.08-3.46               |
| Mikrosilika Slurry hhv 10 og 15% for v/c 1.0 og 1.2 | 26.6                    | 47.0                    |
| Injeksjonssement 25 (tidl. Norcem Micro)            | 264                     | 313                     |
| Tot                                                 | 571.2                   | 767                     |
| v/b                                                 | 1.00                    | 1.20                    |

\*Vann fra mikrosilika slurry og faststoff fra mikrosilika slurry regnes inn i v/b forholdet

\*\*Doseringsbehovet for SP er ulikt for sement og mikrosilika (høyere for mikrosilika). Presis kalkulasjon av SP dosering er nødvendig

**Tabell 7. Eksempel på nylig benyttet resept med injeksjonssement 25 og tilsetningsstoffer fra Mapei som er antatt til å gi tilfredsstillende kvalitet på injeksjonsmassen.**

|                                            | v/c 0.9<br>Mengde [kg] | v/c 0.6<br>Mengde [kg] |
|--------------------------------------------|------------------------|------------------------|
| Vann                                       | 231                    | 181                    |
| SP (Grout tech System W), 1% av sementvekt | 2.64                   | 3.13                   |
| Mapefast SA, 1% av sementvekt              | 2.64                   | 3.13                   |
| Injeksjonssement 25 (tidl. Norcem Micro)   | 264                    | 313                    |
| Tot                                        | 500                    | 500                    |
| v/c                                        | 0.90                   | 0.60                   |

**Tabell 8, eksempel på resept med ultrafin sement og tilsetningsstoffer fra Master Builders Solutions som er antatt å gi ønsket kvalitet på injeksjonsmassen.**

| Komponent                                      | v/c 0.9<br>Mengde [kg] | v/c 0.6<br>Mengde [kg] |
|------------------------------------------------|------------------------|------------------------|
| Vann                                           | 231                    | 181                    |
| MasterGlenium ACE30, 0.5 – 0.8 % av sementvekt | 1.32-2.11              | 1.57-2.5               |
| MasterXSEED 130, 1 % av sementvekt             | 2.64                   | 3.13                   |
| Ultrafin sement UF12                           | 264                    | 313                    |
| Totalt                                         | 500                    | 500                    |
| v/c                                            | 0.90                   | 0.60                   |

**Tabell 9, eksempel på resept med rasktherdende mikrosement som er antatt å gi ønsket kvalitet på injeksjonsmassen.**

|                                                                                                                      | v/c 1.0<br>Mengde [kg] | v/c 0.7<br>Mengde [kg] |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|------------------------|
| Vann                                                                                                                 | 247.5                  | 202                    |
| MasterGlenium151, 1 % av sementvekt<br>(Rheobuild 2000PF eller GroutTech System W<br>opsjoner ved lave temperaturer) | 2.5                    | 2.95                   |
| MasterRoc MP650 eller Mikrocem6500                                                                                   | 250                    | 295                    |
| Totalt                                                                                                               | 500                    | 500                    |
| v/c                                                                                                                  | 1.00                   | 0.69                   |

Det vil være aktuelt å benytte andre vann-/sementforhold enn det som er vist i Tabell 5 til Tabell 9.

Injeksjonsmassens flyteegenskaper og herdetid skal testes i forkant av oppstart av hver injeksjonsrunde, slik at justeringer av blanderesepten kan foretas, samt testing én gang etter ca. 5000 liter injisert per injeksjonsskjerm. Følgende tester utføres ved injeksjonsriggen i tunnel under produksjon i den rutinemessige kontrollen:

- Avbindingstid målt ved kopptest
- Stabilitet: bleeding/vannseparasjon
- Flyteegenskaper: marshkontid
- Densitet: mud balance

Det legges vekt på kriteriene nevnt nedenfor, målt i laboratorium, ved utarbeidelse av detaljerte blanderesepser. Relevans og viktighet av egenskapene flytskjærspenning, viskositet og stabilitet mot separasjon for injeksjonsblandingenes egnethet og kvalitet vil bli undersøkt.

- Avbindingstid (initiell herdetid) skal være justerbar med ulike tilsetningsstoffer. Initiell herdetid målt ved kopptest skal ligge på ca. 3-4 timer. Kan være at det blir justering på ønsket herdetid underveis.
- Bleeding: < 2 %
- Marshcone: v/c 1.0 og høyere < 33 s, v/c 0.9 < 37 s, v/c 0.6 < 55 s.
- Mud balance: v/c 0.9 ca. 1.55 kg/l, v/c 0.6 ca. 1.73 kg/l
- Flytskjærspenning (yield stress, Y) og viskositet (V): rheometer
- Stabilitet mot separasjon, målt i API filterpresse

Filtrasjonsstabilitet på injeksjonsmassen skal måles i forkant av prosjektets oppstart og minimum to ganger i uken. Formålet med måling av filtrasjonsstabilitet er å undersøke om målingene kan ha praktisk nytte for å verifisere inntrengningsevnen til injeksjonsmassen, samt hvilken målemetode som eventuelt vil være best å benytte. Resultatene fra slike målinger kan benyttes som grunnlag for eventuell spesifisering av materialegenskapene til injeksjonsblandingene. Følgende metoder for måling av filtrasjonsstabilitet skal benyttes:

- Filterpumpe i henhold til NS-EN 14497
- API filterpumpe

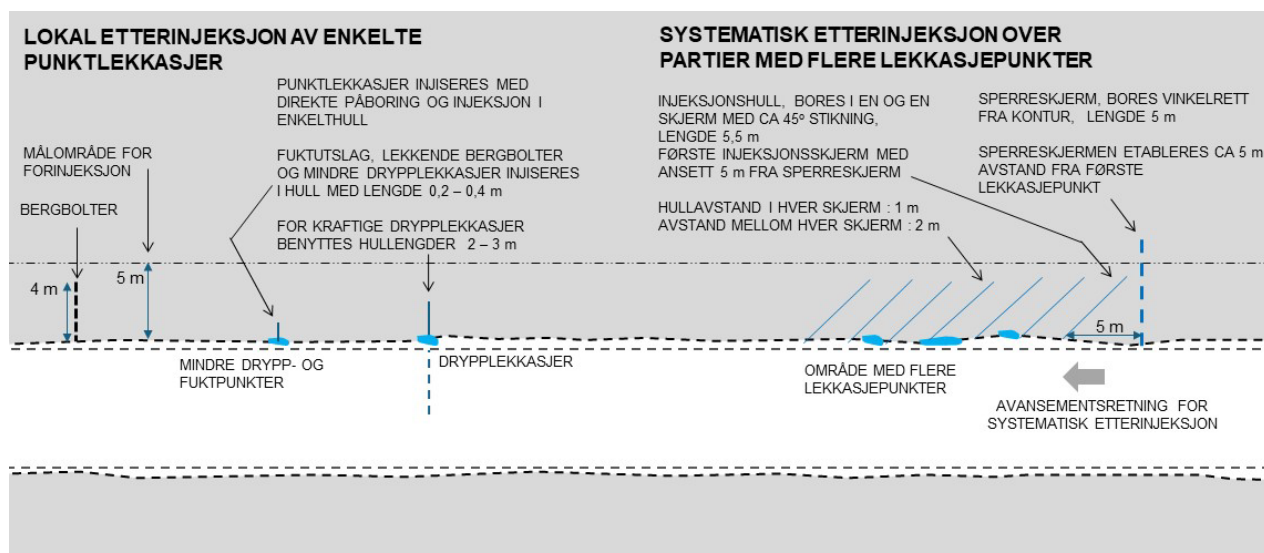
Materialleverandør skal stille med følgende kompetanse og utrustning til disposisjon for entreprenør for oppfølging av injeksjonsarbeidene

- Fagspesialist tunnelinjeksjon, med minimum 3 års erfaring innen praktisk oppfølging av injeksjonsarbeider
- Laboratoriekjøretøy eller egnet feltutrustning for målinger av injeksjonsblandingenes material egenskaper under produksjon i tunnel:
  - Avbindingstid
  - Bleeding
  - Marshcone tid
  - Mud balance
  - Flytskjærspenning (yield stress,  $Y$ ) og viskositet ( $V$ ) målt i rheometer
  - Stabilitet mot separasjon, målt i API filterpresse og filterpumpe NS-EN 14497

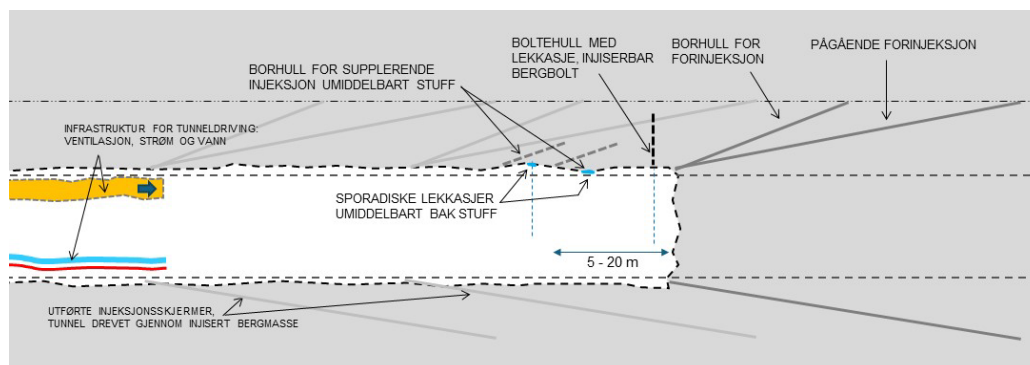
### 3.6 Etterinjeksjon

Det forventes bergforhold som vil gi et visst omfang av mindre restlekkasjer. Noen av disse vil det være nødvendig å fjerne for å oppnå funksjonskravet om tørr tunneloverflate. Prosedyrer og materialer for etterinjeksjon foreslås, inkludert med følgende prosesser:

1. Injeksjon av boltehull med injiserbare bergbolter, utført som umiddelbar bergsikring (12)
2. Supplerende injeksjon av opptredende drypp- og fuktpunkter, utført umiddelbart bak stuff (12)
3. Sporadisk, punktvis etterinjeksjon utført bak stuff (11)
4. Systematisk etterinjeksjon utført bak stuff (11)



**Figur 13. Etterinjeksjon av opptredende lekkasjer bak stuff. Konseptskisse for lokale punktinjeksjoner og systematisk etterinjeksjon**



**Figur 14. Metodikk for etterinjeksjon rett bak stuff gjennom injiserbare bergbolter og etterinjeksjon gjennom supplerende hull i forbindelse med forinjeksjon**

For dette formålet er følgende prosesser inkludert tilbudsgrunnlaget:

- Injiserbar bergbolt, med nøyaktig teknisk spesifisering
- Metodebeskrivelse for boring og injeksjon av hull med ansett fra 3 til 20 m bak stuff, med bruk av utstyr og materialer som for forinjeksjon, definert som etterinjeksjon ved stuff
- Materialer og metodikk for lokal punktinjeksjon i 10 mm diameter borhull med lengde 100- 400 mm og injeksjon med 1-komponent polyuretan
- Metodebeskrivelse for systematisk etterinjeksjon utført bak stuff, med borutrustning og injeksjonsmaterialer som beskrevet for forinjeksjon

### 3.7 Modifikasjoner av prosedyre, design og materialer under arbeidene

Hensikten med injeksjonsarbeidene beskrevet i dette notatet er å videreutvikle injeksjonsmetodikken basert på nyere erfaringer for å oppnå en effektiv injeksjonsprosess som møter målsetningen om å sterkt redusere behovet for vann- og frostsikring. Det overordnede målet er å etablere egnede tekniske løsninger som kan spesifiseres for hovedtunnelene i prosjektet. Detaljene i arbeidsprosedyrene vil derfor bli tilpasset og justert flere ganger i løpet av dette prosjektet. Følgende punkter trekkes frem:

- Kriterier og terskelverdier for å iverksette injeksjon er definert på grunnlag av siste erfaringer fra andre prosjekter. Om disse er satt noe for lavt, blir det unødvendig høy injeksjonsinnsats og omvendt. Ved for mye restlekkasje må grenseverdiene senkes og om det er lite restlekkasje kan det være hensiktsmessig å øke grenseverdiene for å identifisere grenser for hvor lite injeksjon som kreves.
- Antall hull i sonder- og injeksjonsskjermer. De angitte hullanvisninger og hullengder i dette notatet er veiledende basisprosedyrer. Justeringer basert på erfaring underveis, løpende geologiske vurderinger og oppsprekkingens geometri vil bli foretatt for design av injeksjonsskjermer under utførelsen.
- Økt stikning har tidligere vist seg å ha god effekt i områder med stor overdekning og høyt grunnvannstrykk. Justering av stikning ansees å være en viktig faktor under utprøvingen.
- Ved ugunstig orienterte vannførende sprekkesett parallelt tunnelaksen, vil sonderhullene, bli plassert og orientert slik at de krysser sprekken.
- Utprøving av tre ulike typer sement, silica sol og tilsetning av mikrosilika slurry, samt anvendelsesområdet for disse er en viktig del av prosjektet. En viktig hensikt er å komme fram til ytelsesbaserte beskrivelser av egenskapene til injeksjonsmassen, inkludert egnede resepttekniske detaljer som kan benyttes på kontraktene for hovedtunnelene.

## 4 Sekundært lag med sprøytebetong i områder med fuktutslag og drypp

### 4.1 Sprøytebetong med forhøyet vanntetthet

Utviklingsarbeidet i SUPERCON-prosjektet med sprøytebetong med forhøyet vanntetthet har funnet sted i perioden 2019-2023. Dette betongkonseptet baserer seg på en modifikasjon av eksisterende bergsikringssprøytebetong der sement og betongtilslag fra lokal kilde, og produksjon på vanlige betongblandeverk skal kunne benyttes.

Normal bergsikringssprøytebetong utført i partier med fuktutslag og mindre drypp vil normalt fjerne et betydelig antall fuktpunkter. Fra SUPERCON prosjektet vil det bli foreslått en resept for et sekundært lag med sprøytebetong som har høyere tetthet enn bergsikringssprøytebetong. På denne måten vil enda flere fuktpunkter kunne fjernes med en sprøytebetongbasert løsning.

Det foreslås en betongresept for SUPERCON betong basert på de siste rundene med feltforsøk i hhv Drammen i 2022 og Hestnestunnelen i 2023 og 2024.

Reseptforslag for SUPERCON sprøytebetong er vist i Tabell 10.

**Tabell 10. Reseptforslag for sprøytebetong med forhøyet vanntetthet basert på funn fra SUPERCON- prosjektet**

| KOMPONENT                                                                             | Anbefalt basisresept<br>Arna-Stanghelle,<br>juni 2024, doseringer<br>[kg/m <sup>3</sup> ] |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sement Norcem Std FA, CEM II B-M                                                      | 400 - 450                                                                                 |
| Elkem Mikrosilika                                                                     | 18 - 25                                                                                   |
| Franzefoss Kalkfiller                                                                 | 90 - 140                                                                                  |
| Vann (totalt, ca) justeres for masseforhold 0.42 ut fra blandeverk                    | 180 - 220                                                                                 |
| Lokalt tilslag 0/4 mm + 0 /8 mm, eller 0 /8 mm, ihtendelig proposjonering av betongen | Ca. 1350 - 1450                                                                           |
| SP MasterEase 1020                                                                    | 3 - 4                                                                                     |
| MasteRock SRA 1XX                                                                     | 2 – 2.5                                                                                   |
| MasterXSEED 100                                                                       | 10 - 12                                                                                   |
| MasterAir 11                                                                          | 0,6                                                                                       |
| Polymer ETONIS 3500W                                                                  | 20                                                                                        |
| Fiber DRAMIX 4D 65/35                                                                 | 35                                                                                        |

Merknader til proporsjonering av betongen:

Matriksvolum: minimum 440 liter/m<sup>3</sup>, bindemiddelmengdene justeres for dette matriksvolumet

Mål for w/c blandeverk: Max tillatt masseforhold 0,42

Mål for synkmål ved start sprøyting: 240-260 mm

Mål for ferskbetongtemperatur ved sprøyting: 22 °C (minimum 20 °C maksimum 24 °C)

Prøveblanding må foretas med tilslaget som skal anvendes, enten direkte på lokalt blandeverk, eventuelt på betonglaboratorium.

For å oppnå minst mulig langtidssvinn, vil det bli gjort forsøk med fukting/ vanning av sprøytebetongen etter utførelse. Dette vil bli testet både i full skala på utført betong på bergveggen og i prøvestykker i form av sprøytete kasser.

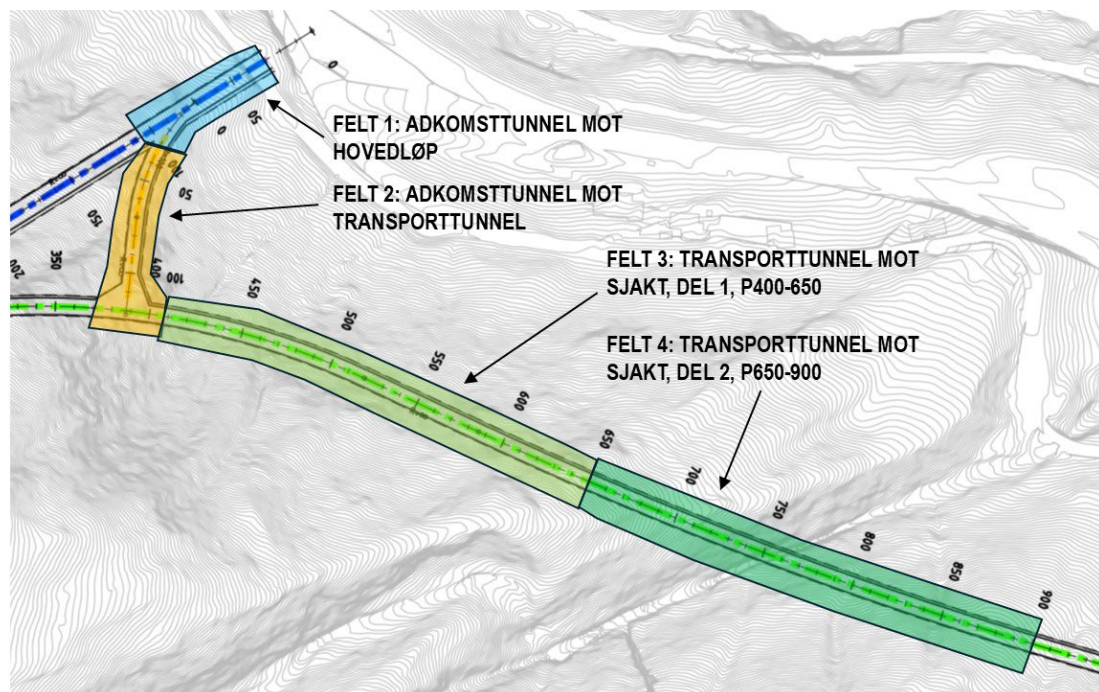
## 4.2 Kvalitet på kontursprengning

Ved prosjektering av en endelig tunnelkledning som baserer seg på overflaten av bergsikringssprøytebetongen med spesiell vanntettingssprøytebetong i fuktpartier, vil kvaliteten av den sprengte bergkonturen i tunnelen være viktig. Konsekvensene av en ujevn tunnelkontur for det tekniske resultatet og kostnadene vil være mer negative enn for tekniske løsninger basert på frittstående vann- og frostsikringshvelv.

Målemetode og dokumentering av sprøytebetongtykkelse, skanning og statistisk representasjon av data

## 5 Angivelse av foreslåtte teststrekninger

I samråd med prosjektledelsen for Fellesprosjektet Arna-Stanghelle foreslås fire testfelt. Disse er vist i Figur 15. For de fire testfeltene foreslås det fire injeksjonskonsepter som utføres innen hvert av test feltene. Injeksjonskonseptene er vist i Tabell 11 og en prognose for mengder av hovedprosessene er vist i Tabell 12.



Figur 15. Oversikt over foreslåtte forsøksfelt



Tabell 11. Forsøksfelt med opplysninger om beliggenhet og omfang

| Forsøksfelt<br>Detaljer           | Felt 1                            | Felt 2                                              | Felt 3                    | Felt 4                    |
|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------|
|                                   | Adkomsttunnel mot hovedløp        | Adkomsttunnel mot transporttunnel                   | Transporttunnel mot sjakt | Transporttunnel mot sjakt |
| Lokalitet                         | P 30 – 110, inkludert kryssområde | P 30 – 100, i tillegg kryssområde fra P 100 + 25 lm | P 400 - 650               | P 650 - 900               |
| Sprengings-tverrsnitt             | 115,16 m <sup>2</sup>             | 75,66 m <sup>2</sup>                                | 83,35 m <sup>2</sup>      | 83,35 m <sup>2</sup>      |
| Antall injeksjons-skjermer totalt | 6                                 | 6                                                   | 15                        | 15                        |
| Nivå 0, stk                       | 0                                 | 0                                                   | 4                         | 4                         |
| Nivå 1, stk                       | 1                                 | 2                                                   | 3                         | 3                         |
| Nivå 2, stk                       | 3                                 | 1                                                   | 6                         | 6                         |
| Nivå 3, stk                       | 1                                 | 2                                                   | 2                         | 2                         |
| Kryss, stk                        | 1                                 | 1                                                   | 0                         | 0                         |

Tabell 12. Forsøksfelt med foreslåtte hovedtyper av injeksjonskonsepter med prognose for mengder.

| Forsøksfelt<br>Detaljer                         | Felt 1                                                | Felt 2                                               | Felt 3                                               | Felt 4                                                |
|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
|                                                 | Adkomsttunnel mot hovedløp                            | Adkomsttunnel mot transporttunnel                    | Transporttunnel mot sjakt, del 1                     | Transporttunnel mot sjakt, del 2                      |
| Injeksjons-konsepter                            | Primærskjerm: TARMAC650<br>Sekundærskjerm: Silica sol | Primærskjerm: NORCEM25<br>Sekundærskjerm: ULTRAFIN12 | Primærskjerm: NORCEM25<br>Sekundærskjerm: ULTRAFIN12 | Primærskjerm: TARMAC650<br>Sekundærskjerm: Silica sol |
| Mengde boring sondering og injeksjon [bormeter] | 6275                                                  | 5368                                                 | 9672                                                 | 9672                                                  |
| Opp/nedrigg for boring + injeksjon [stk]        | 11                                                    | 10                                                   | 23                                                   | 23                                                    |
| NORCEM25 [kg]                                   | 0                                                     | 87200                                                | 139200                                               | 0                                                     |
| ULTRAFIN12 [kg]                                 | 0                                                     | 30800                                                | 44800                                                | 0                                                     |
| TARMAC650 [kg]                                  | 89000                                                 | 0                                                    |                                                      | 121800                                                |
| Silica sol [kg]                                 | 27400                                                 | 1200                                                 | 2400                                                 | 36000                                                 |

## 6 Rapportering av utførte arbeider fra entreprenør

Det vil være behov for nøyaktige data fra gjennomføringen av forsøkene. En betydelig del av disse dataene må entreprenøren forplikte seg til å rapportere i et egnet format på et gitt tidspunkt etter utførelsen. Disse dataene, med rapporteringsform og tidspunkt, som kan regnes som «ekstraordinært» i forhold til ordinær praksis er vist i tabell 13.

**Tabell 13. Oversikt over data som skal rapporteres fra entreprenør, rapporteringsformat og tidspunkt for rapportering.**

| Prosess som rapporteres                            | Data som skal rapporteres                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Rapporteringsformat                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Tidspunkt for rapportering til byggherre                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sonderboring                                       | Borhullsdata: Lengde og orientering<br>Målt innlekkasje                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | MWD-fil<br>Oversiktstabell med hulldata og lekkasjedata                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 6 timer etter avsluttet sonderboring                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Vanntapsmåling                                     | Målt vanntap i l/min iht. prosedyre                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | I oversiktstabell for sonderboring                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 3 timer etter avsluttet vanntapsmåling                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Injeksjonsboring og data for injeksjonsmengder     | Borhullsdata: Lengde og orientering<br>Målt innlekkasje<br>Injiserte mengder og stopptrykk for hvert hull                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | MWD-fil.<br>Oversiktstabell, pdf format med følgende data:<br>Hull lengder og posisjon<br>Innlekkasjedata<br>Vanntapsmåledata<br>Injeksjonsmengder og stopptrykk for ulike injeksjonsmaterialer/ulike v/c forhold                                                                                                                                    | MWD fil: 6 timer etter avsluttet skjermboring<br>Oversiktstabell i pdf format: 3 timer etter avsluttet vanntapsmåling                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Injeksjonsdata                                     | Komplette data skal være løpende tilgjengelig og inkludere:<br>- Unik lokasjon<br>- Detaljert reseptbeskrivelser, inklusive reseptendringer.<br>- Alle sluttkriterier<br>- Detaljerte hendelsesbeskrivelser inkluderte oppveide mengder, løpende oppdatert<br>- Tidsstemplede data med unik ID, resept, trykk, flow, akkumulert volum og vektor med 1 sek oppløsning samplingintervall fra hver pumpe.                                                                 | Online sanntids- rapportering av injeksjonsdata skal gjøres tilgjengelig for all injeksjon. Sanntidsdata fra injeksjonsrigg skal kunne oversendes byggherre løpende i et åpent, moderne og dokumentert filformat som er maskinlesbare, f.eks. JSON, eller CSV. Dataene skal kunne sendes løpende basert på TCP/IP-forbindelse over wifi og ethernet. | Online sanntids kommunikasjon fra første injeksjonsskjermer.<br><br>I tillegg skal det leveres oppsummeringsrapport (PDF/Excel) senest 3 timer etter endt injeksjon med følgende: type sement, resepter brukt, mengde sement (kg), mengde injeksjonsmasse (Liter), tilsetning, oppnådd trykk, makstrykk og stoppkriterium, per hull. Samt oppsummering at total oppveide mengder. |
| Sprøytebetong, skanning av tykkelse og fuktpunkter | Skanning av:<br>- bergflate<br>- endelig overflate av bergsikringsprøytebetong<br>- overflate etter evt. utførelse av vanntett sprøytebetong<br>- 3 måneder etter ferdigstilling av testfelt for kartlegging av fuktpunkter<br>Georefererte data, minst to stk. skanneroppstillinger per skann<br>- Statistisk presentasjon av måledata med 10 % persentil, median, gjennomsnitt og 75 % persentil av bestilt tykkelse<br>- Fargedigram som angir tykkelsesintervaller | Rapportdokumenter i pdf format                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Tykkelsesdata basert på skanning leveres senest 3 arbeidsdager etter skanning                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

## 7 Referanser

- [1] SVV, «Fagrapport Anleggsgjennomføring, E16 og Vossebanen, Arna-Stanghelle,» SVV, 2020.
- [2] SVV, «N500 Vegtunneler,» SVV Vegdirektoratet, 2022.