

Fremtidens injeksjonsprosedyre

Tema: Strategi for injeksjonsarbeider

Ola Woldmo, Byggeråd &
Eivind Grøv, SINTEF/NTNU

Presentert v/ Ola Woldmo

Fremtidens Injeksjonsprosedyre

Injeksjonsstrategi

Disposisjon

- Forutsetninger, prosjektspesifikke krav og innlekkasjekrav
- Metodikk, sonderboring, systematisk vs behovsprøvd og etterinjeksjon
- Injeksjonsmetode; skjermgeometri, trykk, stoppkriterier
- Injeksjonsmaterialer

Fremtidens Injeksjonsprosedyre

Injeksjonsstrategi

Bransjen har en betydelig mengde empiri samlet bak de viste referansene + en rekke artikler, MSc'er og PhD'er
Dette er åpent og nyttig materiale å støtte seg til når man skal sette opp en strategi for injeksjonsarbeidene



Fremtidens Injeksjonsprosedyre

Injeksjonsstrategi

Hva gav dette tunnelindustrien?

- En relativt omforent forståelse av 'best practise'
- Basis er tuftet på empiriske og praktisk tilnærming
- Viktige erfaringer å la andre prosjekter komme til gode
- Fokus har skiftet til miljøhensyn heller enn praktiske aspekter som det var tidligere
- Teknisk avklaringer har vi fått; høyt trykk, forinjeksjon, sementbasert,
- Demonstrere og dokumentere lærdom (både nasjonalt og internasjonalt)

Fremtidens Injeksjonsprosedyre

Injeksjonsstrategi

GRUNNLEGGENDE PRINSIPPER FOR INJEKSJON
HAR UTVIKLET SEG TIL Å BLI;

- Tett nok for formålet!
- Vann-/lekkasjekontroll
- Forinjeksjon!
- Forhindre – ikke reparere!



Fremtidens Injeksjonsprosedyre

Injeksjonsstrategi

Berginjeksjon utføres i den hensikt å tette berget for å hindre lekkasje av vann inn i tunnelen eller bergrommet = kontroll av innlekkasjenivået.

Disse kan grovt deles i tre formål knyttet til:

- Konsekvenser av lekkasjer for omgivelsene
- Konsekvenser for selve anleggsdriften
- Konsekvenser for det permanente anlegg

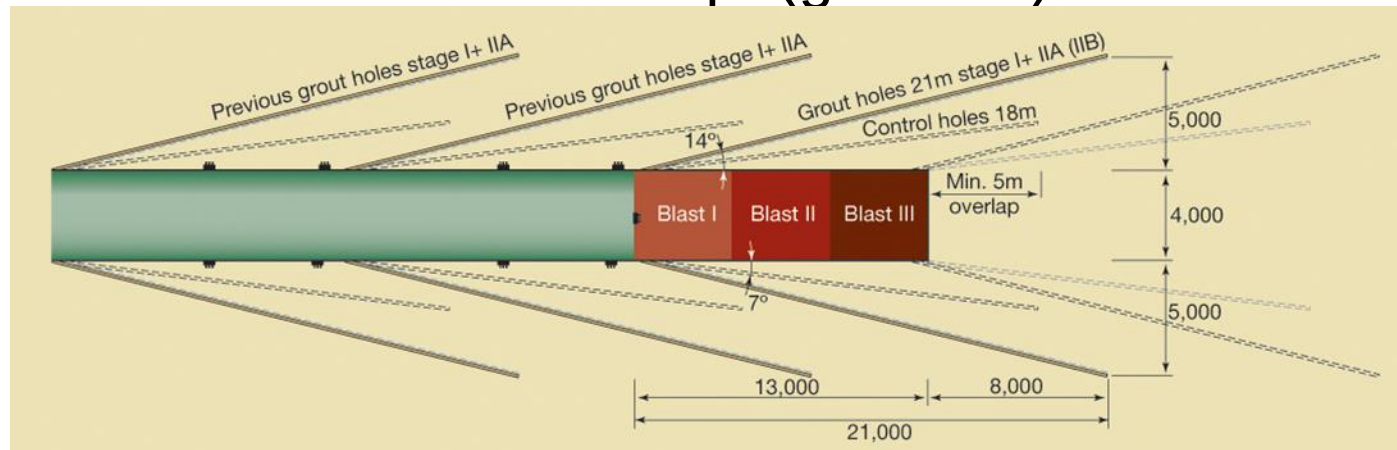


Fremtidens Injeksjonsprosedyre

Injeksjonsstrategi

Grunnleggende forutsetninger for kontroll av innlekkasjer

- Bergmassen er selv ofte en tilstrekkelig barrier (generelt)
- Tetting ved hjelp av injeksjon (tilfredsstille prosjektkrav)
- Forinjeksjon er dominant til etterinjeksjon (i Norge) = forhindre
- Etterinjeksjon=reparasjon, evt. infiltrasjon (når intet fungerer)
- Tett membranstøp benyttes unntaksvis (i Norge)
- Et drenert tunnelkonsept (generelt)



Fremtidens Injeksjonsprosedyre

Injeksjonsstrategi

Håndboken har kommet til følgende krav

	Strengt krav	Middels krav	Moderate krav
Tillatt innlekkasje	5 l/min/100meter	10 l/min/100meter	20 l/min/100meter
Funksjonskrav	Sensitive omgivelser	Moderat sensitive	Anleggsavhengige

Forskjellige krav kan være knyttet til spesielle eller ulike seksjoner av tunnelen avhengig av lokale konsekvenser av innlekkasjene

Fremtidens Injeksjonsprosedyre

Injeksjonsstrategi

Type anlegg	Krav til tetthet	Omgivelser	Omfang av injeksjon	Injeksjonsmid del	Alternativ/ supplement
Kraftverks tunneler	Ikke tap av vann som gir økonomiske konsekvenser. Krav i drivefasen	Grunnvanns- endring	Sporadisk (behovsprøvd)	Sementer	Utforing, (stål, betong)
Samferdsels- tunneler					
\tettbebygd strøk	Unngå skade på omgivelsene	Grunnvanns- Senkning og	Systematisk injeksjon	Sementer	Avskjerming, drenering. Vanninfiltrasjon
	Vann- isproblemer i tunnel	setninger		Kjemiske midler	Vanntett utstøpning
\undersjøiske	Pumpekapasitet/ økonomi	Uavhengig	Ut fra systematisk	Sementer	
	Vann- isproblemer i tunnel		sonderboring	Kjemiske midler	Avskjerming, drenering. Vanntett utstøpning
\øvrige	Vann- isproblemer i tunnel Krav i drivefasen	Grunnvanns- senkning	Etter sonderboring i på forhånd kartlagte soner	Sementer	
Olje- gasslagre	Gasstett, hindre forurensning	Forurensning	Etter sonderboring	Sementer	
	Driftskostnader			Kjemiske midler	Vanninfiltrasjon
Varelagre	Avhengig av type lager	Grunnvanns- senkning,	Avhengig av type lager og varer	Sementer	Avskjerming, drenering
	Driftskostnader	setninger		Kjemiske midler	

Fremtidens Injeksjonsprosedyre

Injeksjonsstrategi

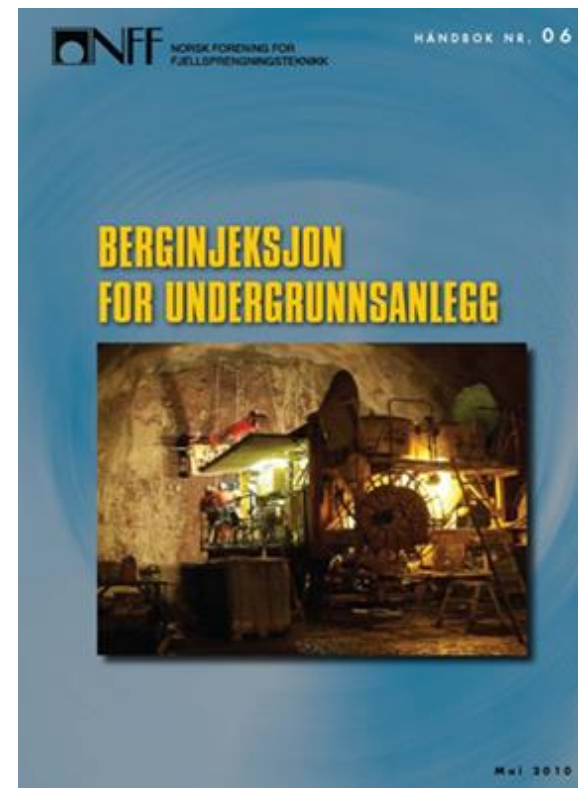
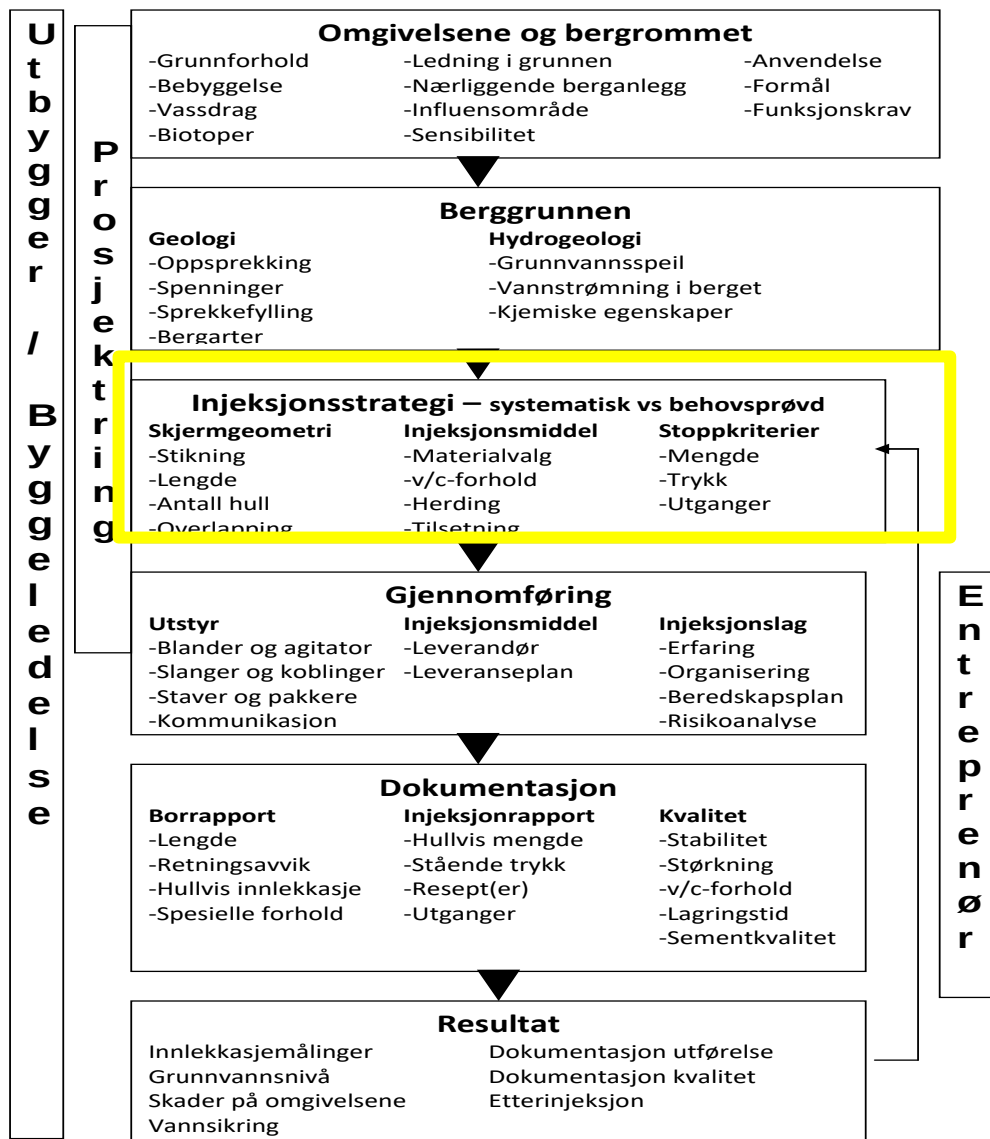
- Innlekkasjer under 10 l/min/100m krever 50–70% ekstra byggekostnader
- Tid/kost relatert til injeksjon er ikke en lineær funksjon mot LRIR
- Fremdriften reduseres med 10-60% med systematisk sonderboring og forinjeksjon avhengig av LRIR

Limit Residual Inflow Rate (LRIR)
(Maksimal tillatt restinnlekkasje)



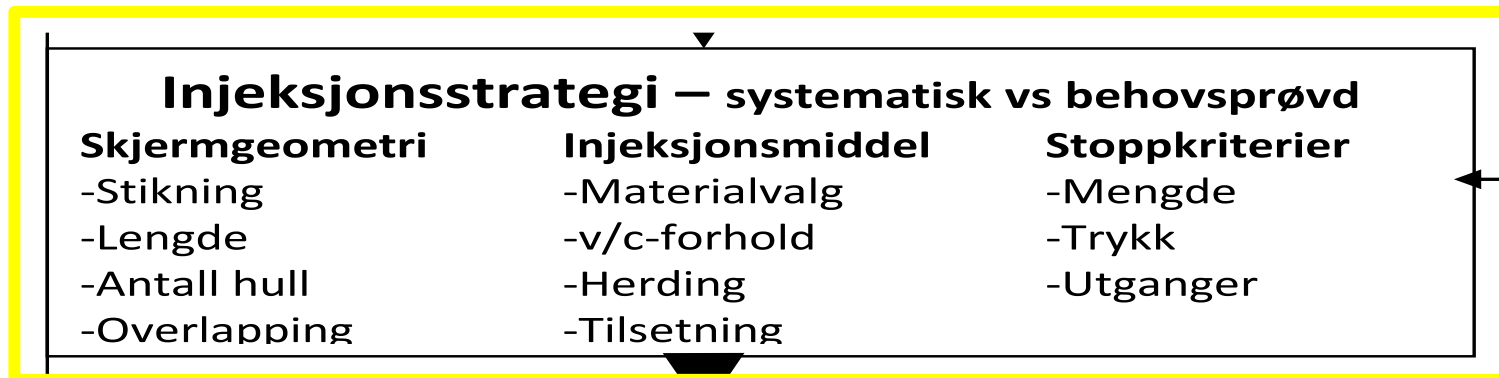
Fremtidens Injeksjonsprosedyre

Injeksjonsstrategi



Fremtidens Injeksjonsprosedyre

Injeksjonsstrategi



Injeksjonsstrategi bestemmes av prosjekteier/hans rådgiver ut i fra tetthetskrav som stilles til underjordsanlegget samt hensyn til omgivelsene. Valget påvirker i høy grad tidsplan og prosjektkostnader.

Injeksjonsstrategien beskriver rammene for utførelse av injeksjonsarbeidene i med tanke på injeksjonsmetode, utstyr, materialer og verifikasjon.

Forutsetninger og krav vil ligge fast gjennom hele prosjektet, men selve strategien, gjerne omtalt som injeksjonsprosedyren, bør være gjenstand for kontinuerlig vurdering og forbedring basert på stedlige forhold og responsen i bergmassen og omgivelsene på injeksjonen.

Fremtidens Injeksjonsprosedyre

Injeksjonsstrategi

Målsetningen ved injeksjonsarbeider kan sammenfattes slik:

”Redusere permanente vannlekkasjer inn i bergrommet til kravnivået med minst mulig tidforbruk og til en lavest mulig totalkostnad”

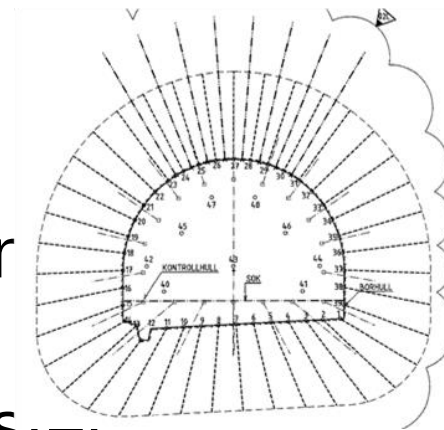
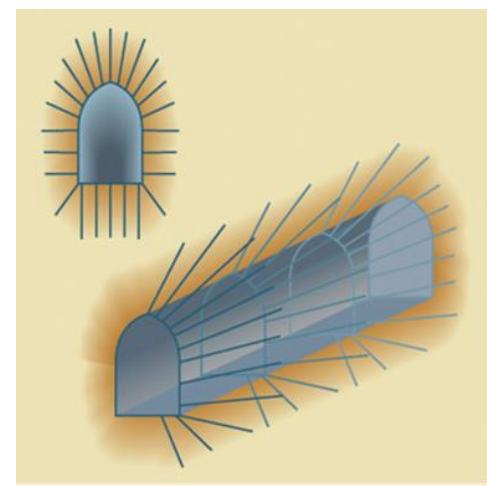


Fremtidens Injeksjonsprosedyre

Injeksjonsstrategi

Aspekt av en injeksjonsstrategi

- BASIS = Evaluer innlekkasjekravet
- Identifiser de mest permeable sonene
- Men ikke glem de minste!!!
- Målsetning; tett etter 1 injeksjonsrunde
- Fokuser på begrenset område rundt tunn
- Velg injeksjonstype (sementbasert), blanderesept, trykk & injeksjonshullmønster
- Inkluder additiver for å oppnå spesielle egenskaper med injeksjonsmassen
- Mål innlekkasjene, evaluer endringer i injeksjonsopplegget



Fremtidens Injeksjonsprosedyre

Injeksjonsstrategi

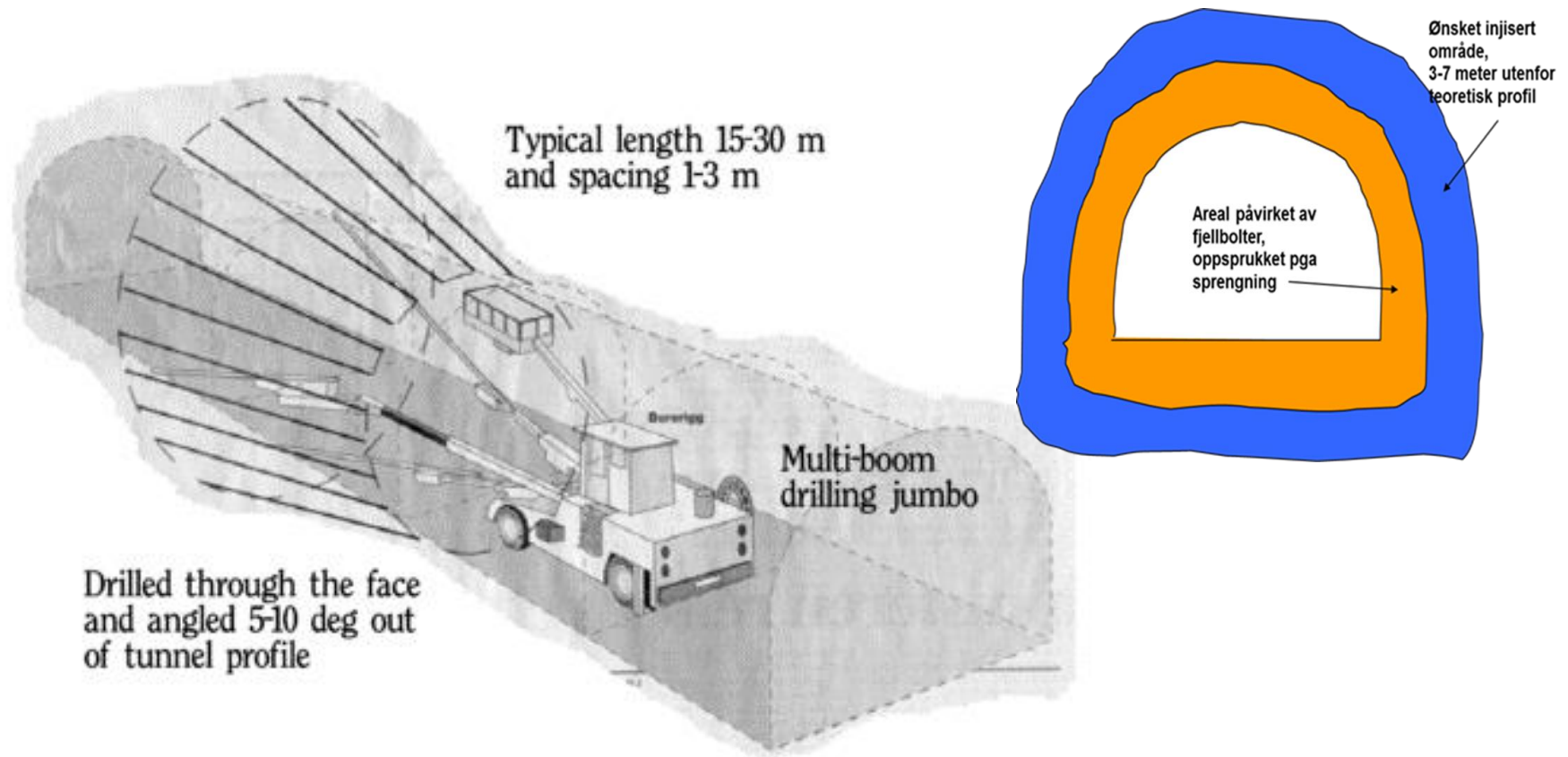
Injeksjonsmetodikk - sonderboring

- Sonderboring foran stuff utføres for å undersøke vannforekomster i bergmassen. Sonderboring vil også gi indikasjon på sprekker og svakhetssoner. Akseptkriterier for innlekkasje i sonderhull som utløser injeksjon av bergmassen må angis.
- Med dagens MWD teknologi kan boreparametere tolkes og omsettes til visuelle data som viser bergmassens beskaffenhet og sannsynlige vannlekkasjer.
- Et minimum av sonderhull bores foran stuff. Typisk lengde er 24 – 30 m med 40 – 64 mm borkrone. Dersom vann over akseptkriteriet påtreffes vil sonderhullene senere inngå i injeksjonsskjermen.
- Dersom det utføres kontinuerlig systematisk injeksjon vil sonderboring oftest erstattes av injeksjonsboring.

Fremtidens Injeksjonsprosedyre

Injeksjonsstrategi

Injeksjonsmetode - skjermgeometri



Fremtidens Injeksjonsprosedyre

Injeksjonsstrategi

Injeksjonsmidler - materialtyper

- Valg av injeksjonsmaterialer er en viktig del av injeksjonsstrategien. Det finnes ulike materialtyper som alle har unike egenskaper og anvendelsesområder.
- Sementens egenskaper kan modifiseres ved hjelp av ulike tilsetningsstoffer med hensyn på dispergering/inntrengning, vannseparasjon og størkningstid
- Måten vi disponerer vår kunnskap om materialeegenskaper kan ha stor betydning for:
 - Tetteresultatet
 - Medgått mengder
 - Medgått tid
 - Kort og godt suksessraten i arbeidet

Fremtidens Injeksjonsprosedyre

Injeksjonsstrategi

Injeksjonsmidler – materialtyper – typiske data

Type	Blaine	D 95 grain size	* Water separation	* Curing time
Ordinary Portland Cement	< 500 m ² /kg	< 40 mikron	10 – 20 %	> 6 hours
Micro-cement	> 650 m ² /kg	< 20 mikron	0-10 %	2 - 8 hours
Ultrafine cement	> 800 m ² /kg	< 12 mikron	0-10%	2-8 hours
Colloidal silica	liquid	5 mPa.s	-	10 - 150 min
Polyuretane	liquid	150 - 300 mPa.s	-	1 – 60 min

* Material properties at W/C=1 and temperature 20°

Fremtidens Injeksjonsprosedyre

Injeksjonsstrategi

Injeksjonsmetode - trykk

- Injeksjonstrykket skal sikre at injeksjonsmassen presses inn i alle sprekke som kan føre vannlekkasjer i umiddelbar nærhet av bergrommet.
- Høye trykk kan føre til at sprekke åpnes noe slik at massene lettere trenger inn.
- Høye trykk kan føre til at massene presses langt vekk fra bergrommet.
- Valg av injeksjonstrykk bestemmes av overdekningen, vanntrykk, bergspenning og hvilke injeksjonsmateriale som skal benyttes.
- Injeksjonstrykk i området 40 – 80 bar er mest vanlig i norske prosjekter.
- Ved liten overdekning eller dersom det er andre bergrom eller brønner i nærheten må injeksjonstrykket reduseres.
- Pumpetrykk: Trykket ut fra injeksjons-pumpa under injeksjonen.
- Stående trykk: Trykket i injeksjonsslangen etter at pumpingen er stanset

Fremtidens Injeksjonsprosedyre

Injeksjonsstrategi

Har vi alltid kontroll på disse parametrene før injeksjonsopplegget og stopptrykk bestemmes ?

Fra typiske beskrivelser finner vi:

Maksimaltrykk skal overholdes:

MAKSIMALTRYKK

OVERDEKNING

Borehull heng/vegg

Borehull såle/stuff

0 – 5 m

20 bar

30 bar

5 – 15 m

40 bar

60 bar

> 15 m

100 bar

100 bar

Entreprenøren må vurdere maksimal tillatt trykk med hensyn til blokkfall.

Fremtidens Injeksjonsprosedyre

Injeksjonsstrategi

Stoppkriterier

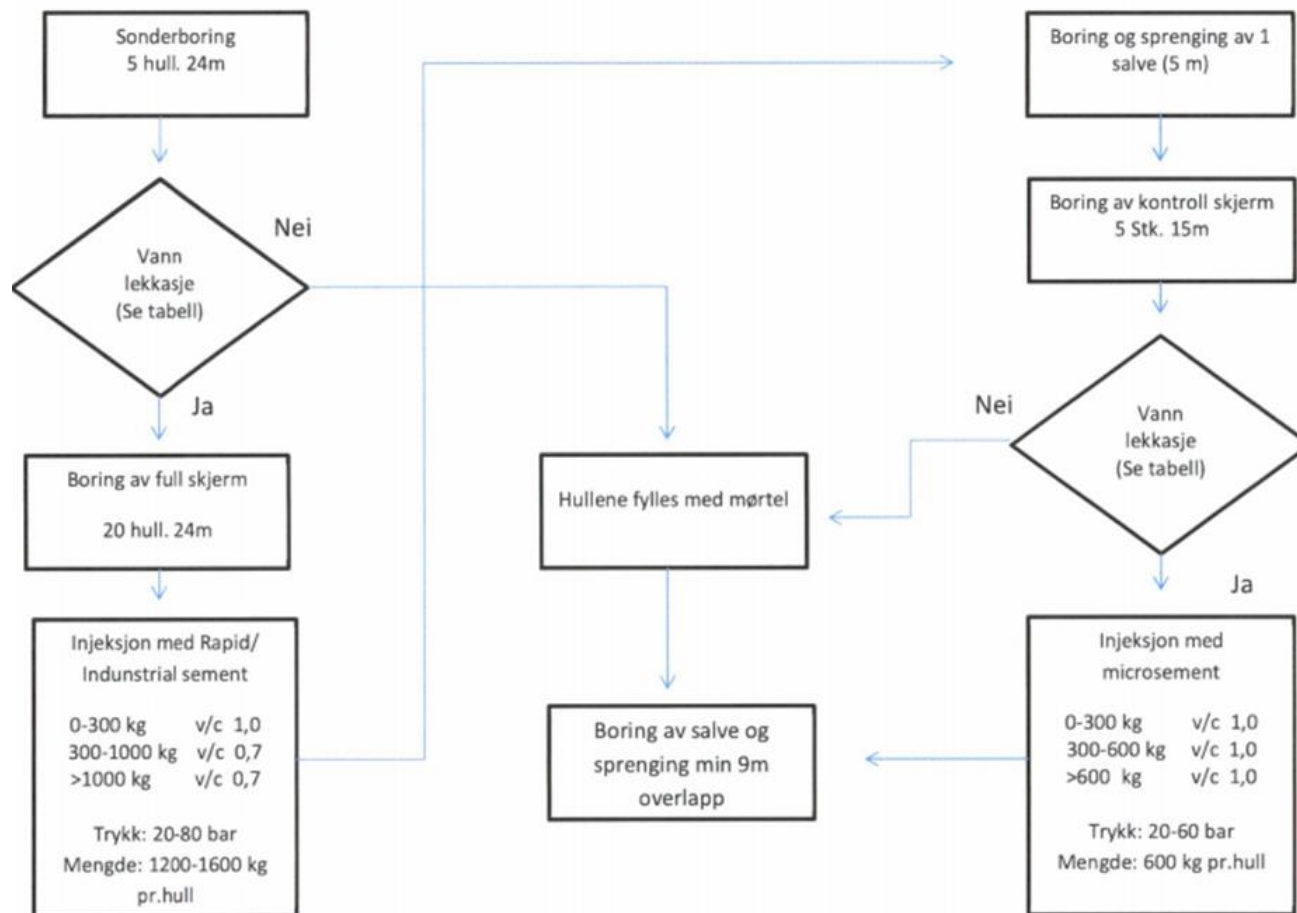
- Stoppkriterier som angir når et injeksjonshull er ansett som ferdig injisert skal inngå i injeksjonsstrategien.
- Normalt angis 2 stoppkriterier for hvert enkelt injeksjonshull
 - Oppnådd angitt stående trykk
 - Oppnådd angitt mengde injeksjonsmateriale
 - I publikasjon nr. 104 Moderne veitunneler, Vedlegg B er injeksjonstid foreslått som et tredje stoppkriterie.
- Stoppkriterier som en kombinasjon av trykk og masseinn gang er angitt i GIN metoden (Lombardi 1993) GIN metoden anvendes sjelden ved tunnel-injeksjon, men kan med fordel benyttes i porøse bergarter og ved damfot injeksjon.
- Styrt herding av injeksjonsmassen med tilsetning av akselerator gir kontroll med mengde og tidsforbruk i tilfeller hvor stoppkriteriene er vanskelige og oppnå.

Fremtidens Injeksjonsprosedyre

Injeksjonsstrategi

Typisk flytskjema for arbeidets gang

FLOW CHART. KLASSE B



Fremtidens Injeksjonsprosedyre

Injeksjonsstrategi

Oppfølging og målinger

- Analyser før bygging kan benyttes til overslag
- Arbeidsprosedyrer må etableres
- Målinger er påkrevet for å dokumentere effekten av tunneldriving på grunnvannsregimet:
 - På overflaten før bygging
 - Ved tunnelstufen fra sonderboring
 - Vanninnlekkasjer til tunnelen
 - På overflaten under/etter tunneldrivingen

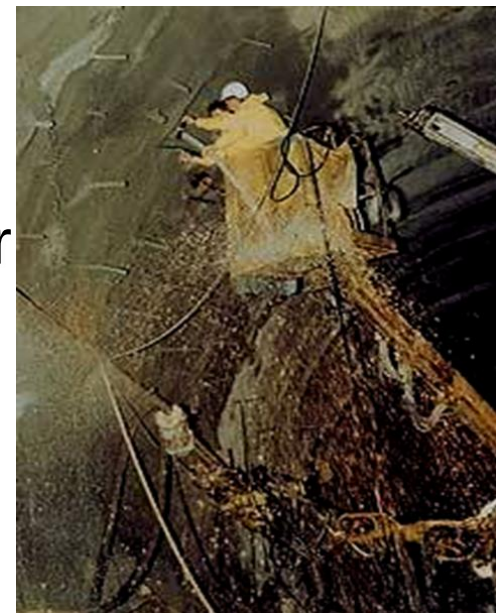


Fremtidens Injeksjonsprosedyre

Injeksjonsstrategi

Etterinjeksjon, noen elementer å tenke på

- Jakter vann fra lokalitet til lokalitet
- Normalt kostbare kjemiske injeksjonsmidler men og sementbaserte
- Spesialisert personell (ikke alltid)
- Tidkrevende og vanskelig å oppnå tetthetskravene og suksesskriteriene
- Begrenset påvirkning på tunnelfremdrift
- Oppnår som regel kravet til innlekkasje etterhvert
- Finnes det konsepter for effektiv etterinjeksjon?



Etterinjeksjon er betydelig mer ineffektivt enn forinjeksjon! (10 to 50 ganger mer kostbart å oppnå tetthetskravene)

Fremtidens Injeksjonsprosedyre

Injeksjonsstrategi

- Lekkasjekontroll med bruk av forinjeksjon er ikke 'Rocket science'!
- Heller basis metodologi/material kunnskap
- Trent og erfarent personale
- Moderne og effektivt utstyr
- Rett materialer
- Mye tålmodighet
- Hardt arbeid

