

PRAKTISK BERGINJEKSJON FOR UNDERJORDSANLEGG



NFFs håndbøker er utarbeidet av fagpersoner oppnevnt av NFF. Innholdet er i samsvar med kjent viten på det tidspunkt redigering ble avsluttet.

NFF, forfattere eller utviklingskomiteen har intet ansvar for eventuelle feil eller mangler i håndboken og mulige konsekvenser av slike.

Det forutsettes at håndboken benyttes av kompetente, fagkyndige personer med forståelse for begrensninger og forutsetninger som legges til grunn.

© Norsk Forening for Fjellsprenkningsteknikk – NFF

ISBN 978-82-92641-20-0

Forsidebilde: Freddy Samson Fagerheim, Jernbaneverket

1. Forord

Et av formålene til Norsk Forening for Fjellsprengningsteknikk (NFF) er å utvikle og styrke norsk bergteknologi. Dette arbeidet skjer i nært samarbeid med bransjen.

Utviklingsarbeidet i regi av NFF gjøres kjent gjennom utgivelse av håndbøker og tekniske rapporter.

Håndbok nr. 1 ble første gang utgitt i 1995 under tittelen Fjellinjeksjon. Den ble revidert i 2002 og gitt tittelen Berginjeksjon. I foreliggende utgave er det gjort betydelige endringer. Det gjelder både innhold og utforming. Det er derfor valgt å gi håndboken ny tittel, nytt NFF nummer og dermed også ny ISBN

Målgruppen er rådgivere, byggherrer og utførende av berginjeksjon. Arbeidsgruppen har lagt vekt på veiledning for den praktiske utførelse av berginjeksjon.

Arbeidet med håndboken er utført av en arbeidsgruppe med følgende sammensetning:

Hans Olav Hognestad	BASF
John Ivar Fagermo	AF Gruppen
Alf Kveen	Statens vegvesen
Lise Backer	Jernbaneverket
Eivind Grøv	SINTEF
Erik Frogner	Norconsult
Arnstein Aarset	NGI

Norsk Forening for Fjellsprengningsteknikk – NFF
Utviklingskomiteen

Juli 2010

Innhold

1	INNLEDNING.....	10
2	SJEKKLISTE FOR INJEKSJON	11
3	OPPRIGGING FOR INJISERING	12
3.1	RYDDING.....	12
3.2	FARINGSVEGER.....	12
3.3	PLASSBEHOV	12
3.4	PLASSERING AV VANNPUMPE	12
3.5	SIKRING AV BERGROM FØR INJEKSJON	12
4	BORING AV INJEKSJONSSKJERM.....	13
4.1	BORMETODER	13
4.2	BORPLAN FOR INJEKSJONSSKJERM	13
4.3	SPERRESKJERM.....	15
4.4	STANGHÅNDDTERING	16
4.5	BORHULLDIAMETER	16
4.6	BORING AV RETTE HULL	16
4.7	AVVIKSMÅLING	16
4.8	PLASSERING OG MERKING AV HULL	17
4.9	BORHULLSLOGGING VED HJELP AV BORPARAMETERTOLKNING (MWD).....	17
4.10	MÅLING AV INNLEKKASJE FRA BORHULL	17
5	INJEKSJONSRIGGEN.....	19
5.1	KRAV TIL INJEKSJONSRIGGEN	19
5.2	SILØER.....	20
5.3	BLANDERE	20
5.4	KAPASITET PÅ INJEKSJONSPUMPER	20
5.5	AUTOMATISK LOGGSYSTEM	21
5.6	OVERSIKT OVER ARBEIDSSTEDET	21
5.7	ARBEIDSPLATTFORM	21
6	PAKKERE, STAVER, SLANGER OG KOBLINGER.....	22
6.1	BRUKSOMRÅDE FOR ULIKE TYPER PAKKERE.....	22
6.2	ENGANGSPAKKERE.....	22
6.3	FLERGANGSPAKKERE	23
6.4	STAVER- OG PAKKERPLASSERING	24
6.5	"STANDPIPES" VED MYE VANN OG HØYT TRYKK	24
6.6	INJEKSJON GJENNOM SELVBORENDE INJISERBARE STAG.....	26
6.7	TRYKK-KLASSE FOR INJEKSJONSSLANGER	26
6.8	KOPLINGER	26
6.9	SERVICEAPPARAT	26
7	VEDLIKEHOLDSRUTINER.....	27
7.1	KONTROLLPLAN FOR VEDLIKEHOLDSRUTINER.....	27
7.2	RENGJØRING.....	28
7.3	VEDLIKEHOLD	28
7.4	STRØMFORSYNING OG STRØMFORDELING.....	29
7.5	SVIKT I KOBLINGER.....	29

8	INJEKSJONSMATERIALER	30
8.1	GENERELT	30
8.2	SEMENTER.....	30
8.3	STANDARD INJEKSJONSSEMENT - INDUSTRISEMENT.....	31
8.4	MIKROSEMENTER OG ULTRAFINE SEMENTER.....	31
8.5	STABILISERENDE STOFFER.....	31
8.6	SUPERPLASTISERENDE STOFFER – BLANDING AV INJEKSJONSMASSE.....	33
8.7	VANN.....	33
8.8	AKSELERATOR TIL STYRT HERDING	33
9	INJEKSJONSUTFØRELSE	35
9.1	KRAV TIL KOMPETANSE.....	35
9.2	INJEKSJONSPROSEDYRER	36
9.3	INJEKSJONSPROSEDYRE FRA BÆRUMSTUNNELEN, DOBBELTSPORET JERNBANETUNNEL..	36
9.4	PROSEDYRE FRA DRIVING OG INJEKSJON AV BERGHALL PÅ MONGSTAD	38
9.5	EKSEMPEL PÅ INJEKSJONSPROSEDYRE FRA T-FORBINDELSEN (UNDERSJØISK TUNNEL) ...	39
9.6	INJEKSJONSPROSEDYRE LØRENTUNNELEN (HØYTRAFIKKERT MOTORVEI)	41
9.7	INJEKSJONSPROSEDYRE GEVINGÅSEN TUNNEL (ENKELTSPORET JERNBANETUNNEL) ...	45
9.8	OPPSTARTSHULL OG INJEKSJONSREKKEFØLGE	47
9.9	BEHOV FOR HERDETID	48
9.10	KONTINUERLIG INJEKSJON	48
9.11	MENGDE OG TRYKK SOM STOPPKRITERIER	48
9.12	GIN-METODEN	49
9.13	JEKKING.....	50
9.14	INJEKSJONSMASSENS INNTRENGNINGSEVNE	50
9.15	KOMMUNIKASJON OG SKIFTBYTTE.....	50
9.16	UTGANGER AV INJEKSJONSMASSE	51
9.17	TILTAK FOR Å UNNGÅ UTGANGER AV INJEKSJONSMASSE.....	51
10	KONTROLL OG DOKUMENTASJON AV INJEKSJONSARBEIDER.....	53
10.1	LEVERANSE OG KONTROLL AV INJEKSJONSMATERIALER	53
10.2	KONTROLL AV "BLEEDING"	53
10.3	LAGRING AV MATERIALER	54
10.4	KONTROLL AV V/C-TALL	54
10.5	KONTROLL AV VISKOSITET	55
10.6	KONTROLL AV STØRKNING	57
10.7	KONTROLL AV OPPNÅDD TETTHET MED MÅLETERSKLER.....	57
10.8	DOKUMENTASJON PÅ UTFØRT INJEKSJON.....	58
10.9	UTSKRIFTER FRA LOGG.....	60
11	HMS	61
11.1	GENERELT	61
11.2	SPRUTFARE.....	61
11.3	UTPRESSING AV PAKKERE	61
11.4	OBSERVASJON AV BERGSTABILITET UNDER INJEKSJON	62
11.5	MILJØHENSYN KNYTTET TIL INJEKSJONSMATERIALER.....	62
12	INJEKSJON I TBM TUNNELER	63
12.1	GENERELT	63
12.2	PRAKTISKE HENSYN VED INJEKSJON FRA TBM MASKIN.....	64
12.3	STABILISERING AV GRUNNEN FORAN STUFF VED TBM DRIFT	65

13 ETTERINJEKSJON.....	66
13.1 GENERELT	66
13.2 PRAKTISKE RÅD VED ETTERINJEKSJON	67
13.3 AKTUELLE PRODUKTER TIL ETTERINJEKSJON AV BOLTEHULL.....	67
13.4 AKTUELLE PRODUKTER TIL ETTERINJEKSJON AV PUNKTLEKKASJER	67
13.5 AKTUELLE PRODUKTER TIL ETTERINJEKSJON AV STORE FLATER.....	68
13.6 KOLLOIDAL SILIKA.....	68
13.7 KOMBINASJONSINJEKSJON	69
14 FUNKSJONSKRAV	71
14.1 BESTEMMELSE AV FUNKSJONSKRAV	71
14.2 FASTSETTELSE AV INNLEKKASJEKRAV.....	71
14.3 INNLEKKASJEKRAV UT FRA HENSYN TIL OMGIVELSENE	72
14.4 INNLEKKASJEKRAV FOR SELVE ANLEGGSDRIFTEN	72
14.5 INNLEKKASJEKRAV AV HENSYN TIL UNDERGRUNNSANLEGGETS FUNKSJON.....	73
14.6 SPESIALINJEKSJON I OVERGANG FRA LØSMASSER TIL BERG.....	74
14.7 KRITERIER FOR NÅR DET SKAL INJISERES	75
14.8 TEKNISK OG ØKONOMISK VURDERING VED VALG AV INJEKSJONSSTRATEGI	76
15 KONTRAKT	77
15.1 UTVIKLING AV OPPGJØRSFORM FOR INJEKSJONSARBEIDER	77
15.2 INSITAMENTER, RISIKO OG ANSVARSFORDELING	77
15.3 ANBEFALT OPPGJØRSFORM.....	77
16 HYDROGEOLOGI OG BERGINJEKSJON.....	79
16.1 VANNSTRØMNING I BERGMASSEN.....	79
16.2 MODELLERING AV GRUNNVANNSSTRØMNING I BERG.....	79
16.3 VANNBALANSE	80
16.4 BEREGNING AV INNSTRØMNING I BERGROM.....	80
16.5 STRØMNINGSINTENSITET	80
17 KONSEKVENSER AV INNLEKKASJE I UNDERGRUNNSANLEGG	81
17.1 SAMMENHENG MELLOM INNLEKKASJE OG INFLUENSAVSTAND	81
17.2 SAMMENHENG MELLOM INNLEKKASJER OG PORETRYKKSREDUKSJON	81
17.3 SETNINGER OG SETNINGSFORLØP	83
17.4 ALUNSKIFER OG GRUNNVANNSNIVÅENDRINGER.....	85
18 VANNTAPSMÅLING OG PERMEABILITET	86
18.1 BERGARTERS OPPSPREKKING OG PERMEABILITET	86
18.2 DEFINISJON PÅ LUGEON-VERDIEN.....	86
18.3 LUGEON TEST	86
18.4 PERMEABILITETSKOEFFISIENTEN.....	87
19 ORDLISTE	88
20 REFERANSER	95

1. Innledning

Innen temaet berginjeksjon, foregår det en kontinuerlig utvikling både når det gjelder utstyr, utførelse og injeksjonsmaterialer. En viktig forbedring er tiltak knyttet til HMS ved injeksjonsarbeider i tunneler og bergrom.

Foreliggende håndbok er en dokumentasjon på alminnelig og normal praksis for berginjeksjon i Norge i dag. Første del av boka er en veiledning i praktisk gjennomføring av injeksjon i bergrom med hovedvekt på utstyr, materialer og utførelse på stuff. Det gis korte beskrivelser av hver av de operasjoner som inngår i berginjeksjon. Mange av rådene i boka er mest egnet for prosjekter med systematisk injeksjon, men kan også være nyttig å støtte seg til ved prosjektering eller utførelse av behovsprøvd injeksjon.

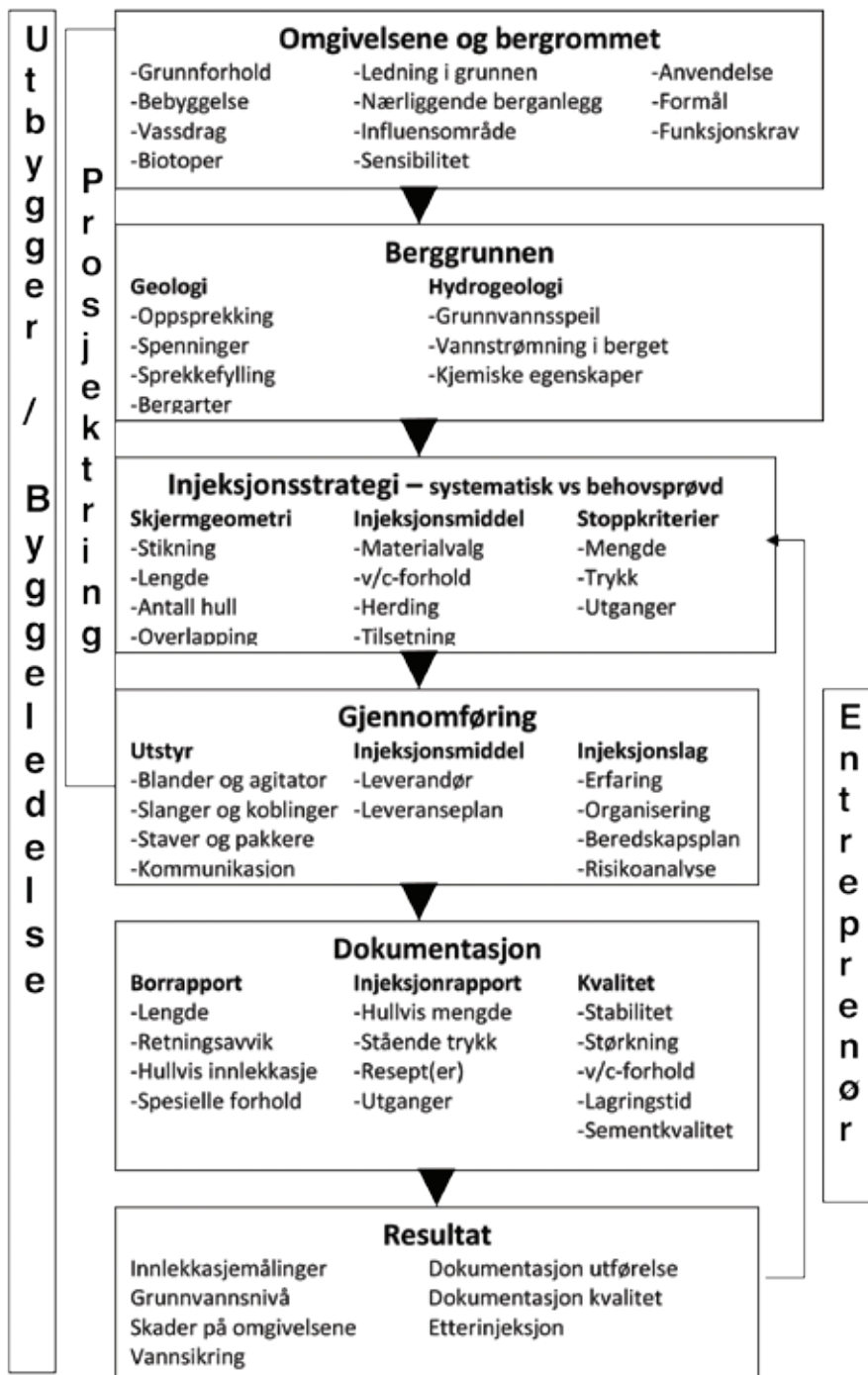
Håndboka omhandler hovedsakelig sementbasert injeksjon, men alternative injeksjonsprodukter og metoder er også omtalt. Håndboka har til hensikt å belyse at det er flere måter å komme fram til tilfredsstillende resultater. Det vil normalt være en del hovedprinsipper som legges i bunn, og en teknisk/økonomisk optimalisering som tilpasses for hvert enkelt prosjekt.

I bransjeprojektet "Miljø- og samfunnstjenlige tunneler" (2001-2004) ble en stor del erfaringsdata knyttet til sammenhengen mellom setningspotensial, berggrunnspermeabilitet, naturens sårbarhet, innlekkasjekrav og tettingsteknikk samlet og systematisert. Disse erfaringene er nå videreført i revidert utgave av Statens vegvesens prosesskode og i NS3420, og på kontraktsutforming for nye prosjekter hvor det utføres systematisk injeksjon. Hovedvekten av grunnlagsmaterialet til denne boka bygger også på disse erfaringene.

Bak i boka er det tatt med utdypende bakgrunnsstoff med teoretiske sammenhenger som har betydning for valg av tettestrategi, materialvalg og injeksjonsprosedyrer. Det gis også retningslinjer for fastlegging av krav til tetthet av bergrom og tunneler, og grunnlag for hvilke beslutningskriterier som vil være avgjørende for når og hvordan det bør utføres berginjeksjon.

Under revisjonsarbeidet med denne boka er det avdekket et behov for å innføre en ordning med krav til opplæring og sertifisering for injeksjonsarbeider, på samme måte som for personell som skal prosjektere, utføre og kontrollere sprøytebetongarbeider.

2. Sjekkliste for injeksjon



3. Opprigging for injisering

3.1 Rydding

Før man starter opprigging for injeksjon bør området ved stuff ryddes for stein og vannansamlinger. Underveis i injeksjonsprosessen vil det være mye ferdsel langs tunneleveggen slik at det kan være behov for å innsisere stabiliteten på tunnelveggene bak stuff. Ryddighet letter dette arbeidet og bidrar til redusert risiko for skader.

3.2 Faringsveger

Under injeksjonsprosessen vil det være mye ferdsel fra lageret med staver/pakkere og fra injeksjonsriggen. I dette området bør det være lagt til rette for sikker ferdsel. Godt avrettet såle og god belysning er god arbeidsmetodikk.

3.3 Plassbehov

Riggområdet der injeksjonsriggen står bør være plant og stort nok til at personell kan ferdes rundt riggen. Etterforsyning av injeksjonsmateriell må kunne utføres uhindret. Arbeidet med vedlikehold av injeksjonsstaver kan med fordel utføres ved injeksjonsriggen.

3.4 Plassering av vannpumpe

Ved behov for vannpumping på stuff, bør det etableres en klart definert grop som samler vannet fra hele stuffområdet. Ved utganger og spill/vasking vil det komme sementslam i vannet. For å unngå at dette tetter pumpen og rørgaten, bør pumpen plasseres noe opp fra bunnen i pumpesumpen. Løsning for å hindre at PP-fiber skal tette pumpene kan være å plassere et filter rundt pumpen som slipper vannet igjennom, men som hindrer fibrene i å nå pumpen.

3.5 Sikring av bergrom før injeksjon

Ved injeksjonsarbeider benyttes trykk som er vesentlig større enn atmosfæretrykket. Dersom slikt trykk får virke på flater parallelt med tunneloverflaten kan sprekker åpne seg og blokkutfall initieres. Det er derfor svært viktig å sikre bergrommet godt med bolter og sprøytebetong, og om nødvendig tyngre sikring, før injeksjon skal utføres. Ved injeksjonsarbeider i tilknytning til svakhetssoner er det ofte nødvendig å sikre stuff-flaten med bolting. Her kan det med fordel benyttes glassfiberbolter.

Bolter skal gyses før injeksjonsarbeidet starter opp for å hindre utganger i boltehull.

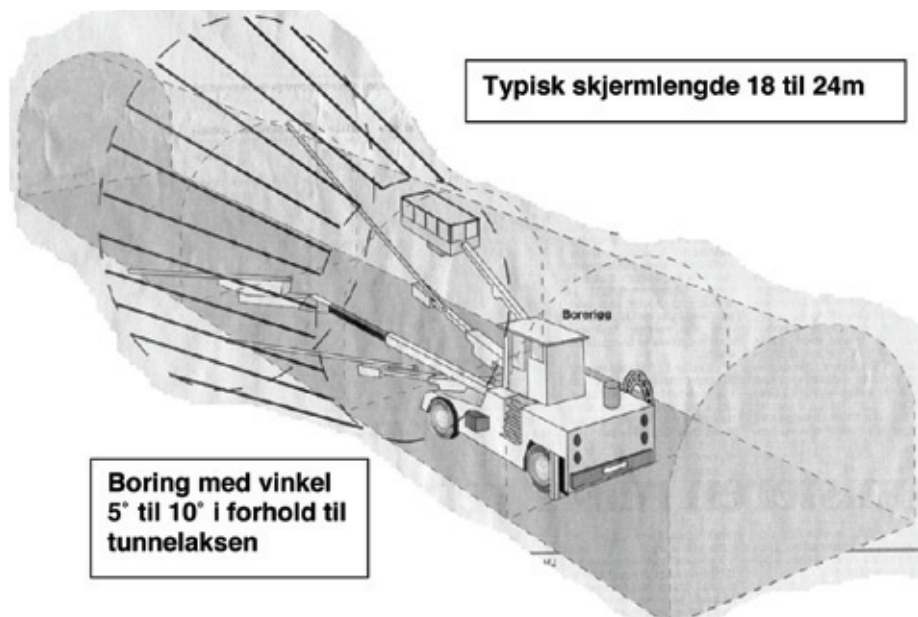
4 Boring av injeksjonsskjerm

4.1 Bormetoder

I de fleste tilfellene ved injeksjon i tunneler og bergrom blir injeksjonshullene boret ved bruk av tunnelriggen (topphammerboring). Tunnelriggen er godt egnet for boring av normale injeksjonsskjerm lengder (18-24 meter). Større borlengder kan gi store borhullsavvik. Ved normal langhullsboring benyttes to- og treboms rigger.

Spyletrykket ved injeksjonshullboring med bruk av tunnelriggen bør være minst 15 bar. Det er viktig at spyletrykket og vannmengden er stor nok slik at borkakset ikke tetter sprekken i berget. For lavt spyletrykk reduserer inndriften og hullene har lettere for å bli ovale og gi større avvik.

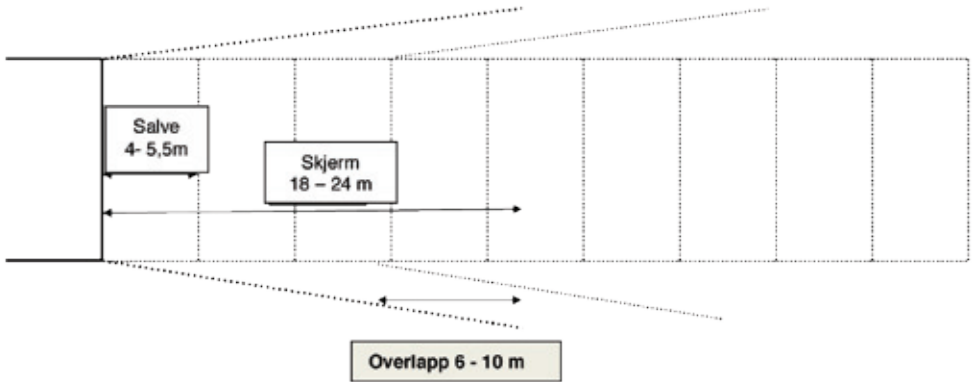
Rengjøring av hull etter boring med en blanding av luft og vann er nødvendig. I bløtere bergarter bør man vurdere å utføre en utvidet spyling av borhullsveggen med radielle dyser og høye vanntrykk (150 - 250 bar). Det er vist ved forsøk at mangelfull spyling reduserer Lugeonverdiene i borhullene med 10-50 %. Ved svært dårlige bergmasser må det vises forsiktighet med bruk av høyt trykk så hullet ikke går tapt.



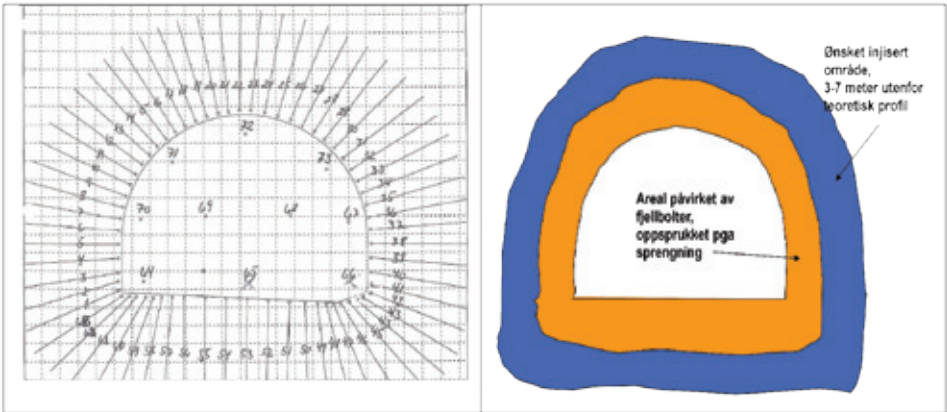
Figur 1 Boring av injeksjonsskjerm med bruk av 3- boms borrygg

4.2 Borplan for injeksjonsskjerm

Forslag til borplaner for ulike tettekrav utarbeides som regel av byggherren. Antall hull i skjermen, og lengde og retning på hullene må tilpasses bergets beskaffenhet og de tettekrav som skal tilfredsstilles. Spesielt er bergmassens sprekkekarakteristikk avgjørende for utforming av borplanen, og denne må kunne justeres etter hvert som man får erfaringer med retningsavvik på borstreng og resultater fra utført injeksjon.



Figur 2 Eksempel på injeksjonsskjerm og salvelengde sett i lengderetning



Figur 3 Eksempel på injeksjonsskjerm for 110 m² tverrsnitt, Lysaker – Sandvika.

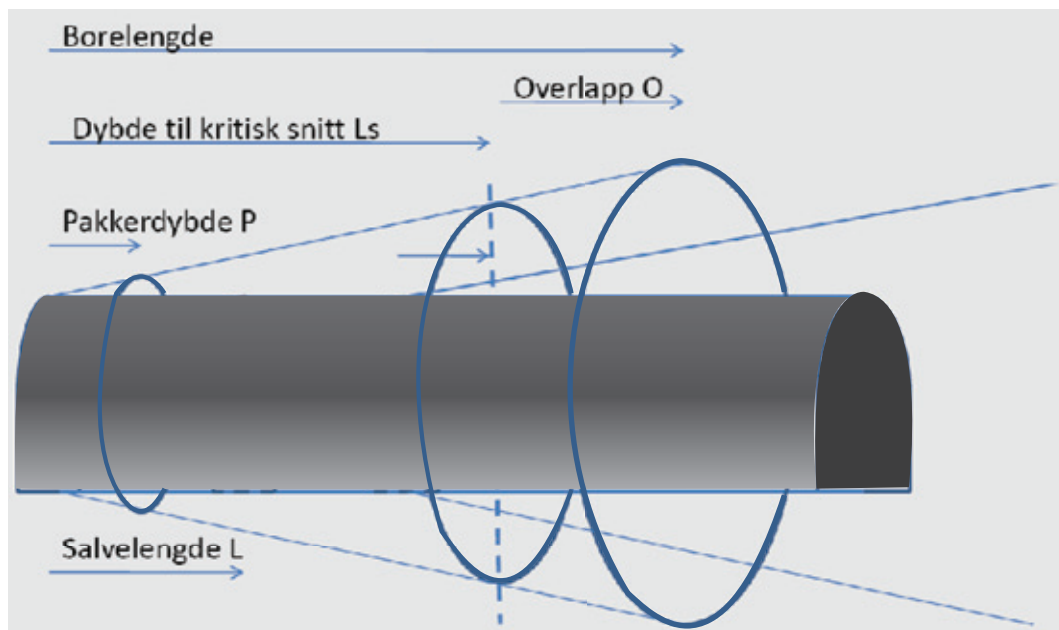
Det stilles spesielle krav til utforming av injeksjonsskjermen der tunnelen eller bergrommet endrer geometri, som eksempel ved kryssområder for tverrslag, profilutvidelse for nisjer og ved doble tunnellop.

Tabell 1 Typiske hullavstander ved ulike tetthetskrav

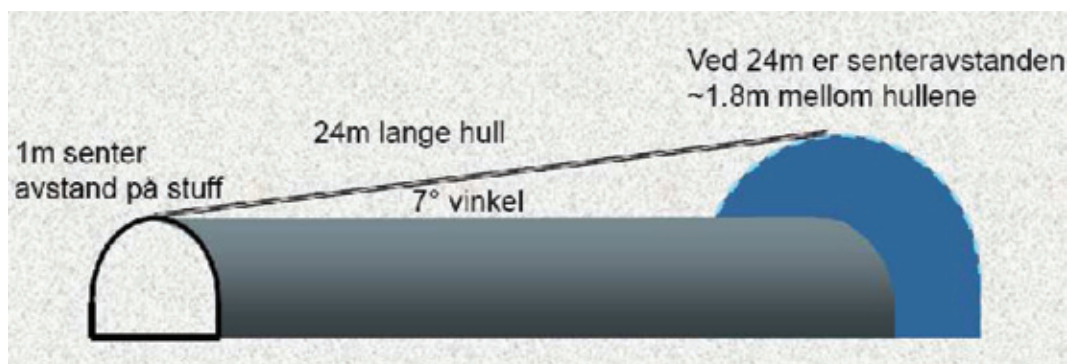
Tettekriterium	Strengt krav	Middels krav	Lavt krav
Ved ansett	0,5 – 1,0 m	1,0 – 1,5 m	1,5 – 2,5 m
I kritiske snitt	1,0 – 1,5 m	1,5 – 2,0 m	2,0 – 3,0 m

I tillegg til hullavstand er også avstanden mellom skjermintervallene avgjørende for hvor tett bergmassen blir ved forinjeksjon. Et reelt mål på hullavstand kan være å sjekke faktisk hullavstand

ved et såkalt "kritiske snitt", det vil si et tverrsnitt der pakkerne plasseres i neste injeksjonsskjerm (se figur 4). Hullavstanden i dette snittet er avhengig av både utvinkling av hull, avstand mellom skjermene og hullavstand ved ansett.



Figur 4 Illustrasjon som viser plassering av kritisk snitt, L_s



Figur 5 Eksempel på teoretisk forhold mellom hullavstand ved ansett og inn i bergmassen. I tillegg kommer borhullsavvik.

4.3 Sperreskjerm

Ved minimal bergoverdekning kan det være hensiktsmessig å etablere en ekstra "sperreskjerm" som injiseres med lavt trykk for å fylle opp hulrom og grove sprekker i en "sone" utenfor selve injeksjonsskjermen. Målsetningen er å tette bergmassen tilstrekkelig slik at det kan injiseres med høyere trykk i hovedskjermen uten at injeksjonsmassen kommer opp i dagen eller forsvinner utenfor tiltenkt sone.

4.4 Stanghåndtering

Boring av lange hull krever en lang borstreng, med mange borstenger. Inn- og utlasting av stenger i borstrengen er tungt arbeid, som med fordel kan utføres maskinelt. De fleste moderne tunnelborerigger kan i dag leveres med utstyr for mekanisk assistanse av stanghåndteringen. Videre utvikling og forbedring av utstyr for stanghåndtering ved langhullsboring er nødvendig for å bedre hverdagen for tunnelarbeiderne.

4.5 Borhulldiameter

Borhullets diameter trenger ideelt sett ikke være større enn at det kan oppnås en sementstrøm som ikke storkner i hullet. Behovet for lange hull med lite avbøyning vil ofte bestemme borhulldiameteren. Avbøyningen blir generelt mindre med økende borhulldiameter, som følge av kraftigere og stivere borstreng. Det er viktig å være klar over at kraften på pakken er tilnærmet proporsjonal med kvadratet av borhulldiameteren. Dette tilsier at borhulldiameteren ikke bør være for stor. Prosesskoden stiller krav til minimum borhulldiameter på 45 mm. I dag benyttes vanligvis borhulldiameter mellom 45 og 64 mm.

Tabell 2 Typiske data for boring av injeksjonshull

Bormetode	Hullengde	Hulldiameter	Typisk borsynk pr. borhammer	Gjennomsnitt kapasitet for 3-boms rigg	Normalt krav til avvik
Topp-hammer	18-24 m	45-64 m	1,5 – 2,5 m/min	60-90 bm/time	<5%

4.6 Boring av rette hull

Bergartens oppsprekking og eventuelle foliasjon/lagdeling vil i stor grad påvirke boravviket. Avbøyning kan reduseres ved å benytte stive borstenger, og/eller borkroner med langt skjørt for økt styring. Bruk av ekstra stiv stang (styrestang) nærmest kronen fører til mindre avbøyning, men kan gi stor rotasjonsmotstand i lange hull, og er derfor lite benyttet.

Det er svært viktig at operatøren på borryggen retter inn matebjelken etter ansett, og at det ikke gis for høyt matetrykk under innboringen. Moderne borrygger har betydelig større borkapasitet og bedre presisjon enn tidligere. Normalt baseres ekvivalenttidsregnskapet i tunnelkontrakter på 60-90 bormeter/time. Det er imidlertid viktig å være klar over at høy borsynk kan gå ut over presisjonen og føre til store borhullsavvik.

4.7 Avviksmåling

Ved omfattende injeksjonsskjermer og ved strenge krav til tetthet, bør det utføres avviksmålinger. Avviksmåling av borhull er en viktig del av retningsstyrt boring. Er det store avvik, bør omfanget av avviksmålinger økes til en har kommet frem til riktige tiltak. Dersom avvikene skyldes geologiske forhold kan det være riktig å justere borplanen for å motvirke dette. Ansett bør eventuelt justeres etter de avvik man registrerer, eller det kan settes supplerende hull. Et krav som har vært benyttet for langhullsboring er at hullene skal ha mindre enn 5 % avvik fra teoretisk plan på odd.

Der tunnelen drives med bruk av forbolter kan sonden som benyttes til måling av boravvik bli påvirket av stålet i forboltene. Tilsvarende bør man være oppmerksom på at enkelte bergarter kan magnetisk påvirke slike målinger. En annen metode for å få en indikasjon på boravvik er å montere en lykt på et armeringsjern og føre denne inn i borhullet. Dersom lyset forsvinner etter kun få meter tyder det på for store avvik.

4.8 Plassering og merking av hull

Borhullene skal plasseres i samsvar med gjeldende borplan, og hull i tunnelperiferien ansettes normalt utenfor ansett til konturhull i tunnelsalven.

Det er viktig for dokumentasjonen av injeksjonsarbeidet at hullene merkes med samme nummer som hullene har på borplanen. Merkingen bør utføres med spraymaling direkte på stoffen slik at den er godt synlig fra tunnelsålen.

4.9 Borhullslogging ved hjelp av borparametertolkning (MWD)

Ved boring av injeksjonshull skal det normalt føres protokoll som angir:

- Matetrykk
- Rotasjonstrykk
- Inndrift
- Borproblemer
- Tap av spylevann
- Vanninnbrudd

Denne informasjonen kan logges automatisk på borrhiggen. Borparametertolkning eller measuring while drilling (MWD) er betegnelsen på innsamling og tolkning av bordata fra borrhiggen. Disse dataene blir kalibrert og tolket ved hjelp av programvarer som for eksempel Rockma. Resultatene fra denne tolkningen kan gi nyttig informasjon om bergmassen foran stoff. Det er mulig å få ut informasjon om variasjoner i hardhet, bergartsvariasjoner, oppsprekningsgrad og om en borer på vann. Dette gir mulighet til å justere injeksjonsskjermen, tilpasse stavlengder og bestemme grenser for injeksjonstrykk og velge egnet injeksjonsmateriale.

4.10 Måling av innlekkasje fra borhull

Den mest effektive metoden for å måle innlekkasje fra borhullene er å benytte en "målestav." Dette er en kort injeksjonsstav med en åpen pakker som kan skrus ut av hullet igjen. Pakkere strammes lett opp i hullet, slik at vannet ledes ut av staven. Ved hjelp av stoppeklokke og en bømte måles vannmengden over et gitt tidsintervall.

Det kan være lurt å skrive målt innlekkasje direkte på stoffen fortløpende (gjærne med en annen farge enn hullnummeret). Det vil sikre at målte innlekkasjer rapporteres i riktig hull.

Innlekkasjen kan også samles og måles med enklere utstyr, for eksempel med en gummislange som tres inn i hullet, men det er da fare for at ikke alt vannet fanges opp og måles.

Der det stilles strenge krav til maksimal innlekkasje, er det viktig at innlekkasjen måles straks vannstrømmen har stabilisert seg etter boringen, slik at pakkere kan settes i hullene så snart som mulig. Alle hull med lekkasje måles, selv om det er gjennomgang til nabohullene og "samme" vannet måles flere ganger. Er det gjennomgang, bør det noteres hvilke hull dette gjelder for å bedre tolkningen av total innlekkasje fra injeksjonshullene.



*Figur 6 Eksempel på kraftig vanninnbrudd ved tunnelanlegg på Island.
Foto Bjørn Hardarson.*

5. Injeksjonsriggen

5.1 Krav til injeksjonsriggen

Injeksjonsriggene blir i økende grad underlagt strenge kravspesifikasjoner knyttet til injeksjonskapasitet og dokumentasjon av utført arbeid. Ved krav om samtidig injeksjon av flere sementtyper bør injeksjonsriggene utstyres med flere siloer, flere blandere, kar for mellomlagring av ferdig blandet injeksjonsmasse, samt flere injeksjonspumper.

Moderne injeksjonsrigger er utformet for å være en sikker og god arbeidsplass med avskjerming mot sjenerende vanndrypp, støy og støv. Riggene bør være utstyrt med godt lys, både i retning mot stuff og ved blanderne. Løft av personell skal utføres med sertifisert og godkjent personløfter. Øvrige delkomponenter/ koblinger etc. bør også ha krav om sertifisering/godkjenning.

På prosjekter med lavere krav til kapasitet, og der injeksjon ikke er en sentral del av produksjonen, typisk i mindre injeksjonsarbeider og ved sporadisk injeksjon, kan mindre injeksjonsenheter benyttes. Slike enheter kan være utstyrt med én til to pumper og med manuell sementmating i blandere.



Figur 7 Eksempel på utstyr som inngår i en moderne injeksjonsrigg.

5.2 Siloer

På prosjekter med behov for injisering med både industrisement og mikrosegment bør injeksjonsriggen være utstyrt med to siloer. Vekslingen mellom industrisement og mikrosegment kan da utføres uten langvarig stopp i injiseringen. Siloene bør være utstyrt med tett lokk, slik at man unngår vanddrypp ned i sementen. Den vanligste leveranseformen er i storesekker. Over inntaket på siloen bør det være montert en kniv som skjærer hull i sekken, slik at fylling av siloene kan utføres uten at personer må oppholde seg nær tappingen.

5.3 Blandere

Blandere for sementsuspensjoner bør være en høyhastighet aktivator (> 1500 r.p.m) som er i stand til å skille de enkelte korn fra hverandre. Dette er spesielt viktig ved blanding av mikrosegmenter. Normal blandetid er ca 2 minutter.

En omrører eller mellomblander (agitator) som holder injeksjonsblandingen i suspensjon og som injeksjonsmørtelen pumpes fra, bør være inkludert i det utstyret som kreves for en høyverdig injeksjon. På denne måten vil injeksjonspumpingen foretas kontinuerlig uten stopp i påvente av en ny blanding.

5.4 Kapasitet på injeksjonspumper

Injeksjonspumpene bør ha rikelig kapasitet for det maksimale trykk som skal benyttes. En kapasitet på 100 liter pr. minutt ved ca. 80 % av maksimalt tillatt trykk er ønskelig.



Figur 8 Eksempel på styringsenhet på en moderne injeksjonsrigg

5.5 Automatisk loggsystem

Injeksjonsriggen bør ha utrustning for automatisk logging av alle parametre som inngår i injeksjonsrapporteringen. Dette bør omfatte:

- Utført volum av ulike resepter i hvert hull
- Trykk
- Start- og stopptid for ulike blandinger

5.6 Oversikt over arbeidsstedet

Operatøren av injeksjonspumpene bør ha god oversikt over arbeidsstedet fra operatørplassen. Ved hyppige slangeskift er det svært viktig med god kommunikasjon mellom operatøren og den som kobler slangene til og fra stavene, intercom kan med fordel benyttes.

5.7 Arbeidsplattform

Arbeide i høyden krever bruk av godkjent personløfter/arbeidsplattform. Rekkevidden til personløfteren bør være slik at alle staver kan nåes fra én oppstilling. Løfteren må kunne opereres fra sålenivå dersom det oppstår en nødssituasjon/ strømstans og lignende.

6 Pakkere, staver, slanger og koblinger

6.1 Bruksområde for ulike typer pakkere

Ved høye trykk, det vil si mer enn 60 bar, må man bruke pakkere som er tilpasset slike høye trykk. Man må samtidig sørge for å feste staven i stuffen med kjetting. Pakkere som er beregnet på høye injeksjonstrykk (60-100 bar), må ikke forveksles med pakkerne til lave trykk (<60 bar). Stavene har forskjellig utforming der de trykker på pakkerne. Disse to systemene går ikke om hverandre.



Figur 9 Pakkere med sete for inntil 60 bar til venstre og inntil 100 bar til høyre.

Engangspakkere leveres oftest med lengde på ca. 15 cm (gummi). Pakkere kan også leveres som dobbelpakkere med ca. 30 cm lengde. Disse er konstruert for bedre feste (friksjon) i hullet.



Figur 10 Komplette stav med akseleratormunnstykke (demoversjon med forkortet stav)

6.2 Engangspakkere

Dette er den mest brukte pakkertypen ved berginjeksjon. Den har en ventil i fronten og spennes opp i borhullet ved hjelp av injeksjonsstaven. Det er forskjellige varianter av låseskiver bak på pakkeren. Låseskivene gjør at pakkeren sitter fast i hullet og man kan skru av staven etter endt injeksjon. Da vil pakker sitte igjen i hullet og staven kan rengjøres og er klar for gjenbruk (se figur 14).



Figur 11 Høytrykspakker med hydraulikkran og festeøyre for kjetting til venstre og en sikkerhetspakker med ekstra oppstramming på selve lansen til høyre (demoversjon med forkortet stav).



Figur 12 Pakkere med mekanisk ekspansjonshylse

6.3 Flergangspakkere

Flergangspakkere brukes normalt til vanntapsmåling og spesielle injeksjonsoppgaver. Eksempel på en enkel flergangspakker er en vanlig pakker der låseskiva er fjernet, slik at den går tilbake til opprinnelig diameter etter at staven spennes av. Hydrauliske pakkere er en type pakkere som spennes opp med bruk av vanntrykk. Pakkeren kan etter bruk avlastes og tas ut av hullet. Hydrauliske pakkere leveres som regel i 1,0 meter og 0,5 meter lengder (figur 13).



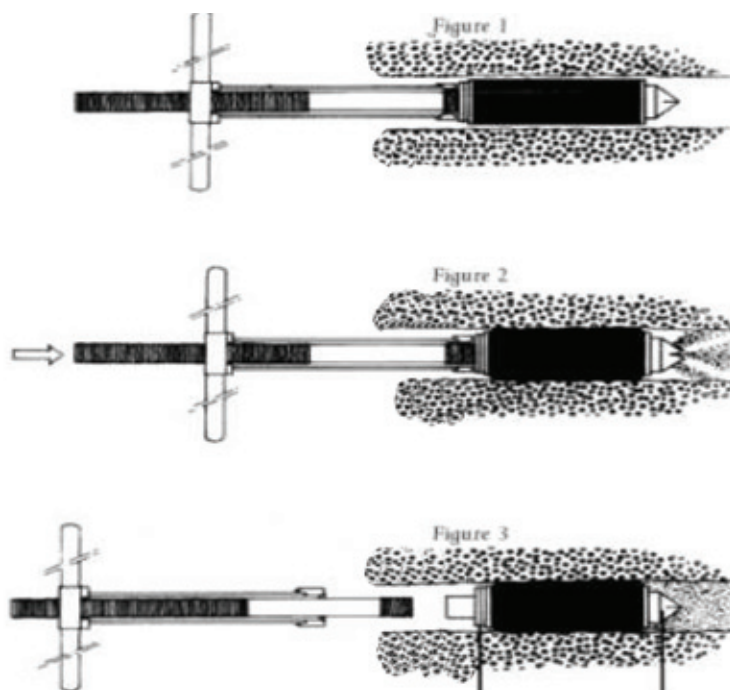
Figur 13 Eksempel på hydrauliske pakkere

Eksempler på bruksområde for hydrauliske pakkere:

- Ekstremt dårlig berg.
- Injeksjon av spuntvegger.
- "Etappe" injeksjon – der man begynner i bunn av hullet, og suksessivt trekker pakkeren opp, og fortsetter å pumpe i etapper, til ønsket høyde oppnås.
- Tilfeller der man skal fylle opp store hull med sement.

6.4 Staver- og pakkerplassering

Injeksjonsstavene finnes i forskjellige lengder fra 1 m til 6 meter. Den mest vanlige stavlengden er 3 meter. Pakkere settes normalt 1,5 til 2,5 meter inn i borhullet, men denne avstanden skal tilpasses bergmassekvaliteten på stoff. I spesielle tilfeller kan det være aktuelt å plassere pakkere 10-15 meter inn i borhullet.



Figur 14 Prinsipp for montering av pakker

6.5 "Standpipes" ved mye vann og høyt trykk

Hvis man borer på vann med høyt trykk, kan det være svært vanskelig å få inn en pakker. Får å få det til kan det hjelpe å skjære tuppen av pakkeren, slik at den leder noe av vannet ut gjennom staven. Hvis ikke dette er nok, må man bore avlastingshull, slik at man får ledet vekk noe av vannet fra injeksjonshullet. Det kan være nødvendig å bore flere avlastingshull. Alle pakkere som settes i disse hullene må være uten tupp, slik at vannet har passasje ut gjennom staven.



Figur 15 Eksempel på situasjon ved store innlekkasjer.

Under ekstreme forhold kan ikke tradisjonelle pakkere benyttes. Såkalte "Standpipes" kan da være et godt alternativ. En "Standpipe" består av et 4" stålrør som støpes fast ca. 2 meter inn i ett grovt nok hull i stuffen. Man kan med fordel bruke polyesterpatroner for å feste rørene for å spare tid. Når rørene er festet, settes det på et adapter med en ventil på røret, slik at røret kan lukkes når man treffer på mye vann. Man borer deretter gjennom standpipen. Når boringen er ferdig, trekkes borstrengen ut og "standpipen" stenges. Deretter kopler man på injeksjonsslangen direkte på standpipen, åpner ventilen og starter injiseringen.



Figur 16 Elementene som inngår, og en sammensatt "Standpipe" stav.

6.6 Injeksjon gjennom selvborende injiserbare stag

Ved behov for injeksjon i svært dårlig bergmasse kan det være hensiktsmessig å benytte injiserbare selvborende stag. Stagene festes med gysmasse før det kan injiseres med trykk.

6.7 Trykk-klasser for injeksjonsslanger

Injeksjonsslengene må være av høy kvalitet for å kunne tåle injeksjonstrykk opp til 100 bar. Det benyttes minimum er et-lags hydraulikkslange. Slinger bør ha en innvendig diameter som gir minst mulig trykktap fra pumpen til mørtelen passerer pakkeren. Trykktapet i systemet bør dokumenteres ved gjennomkjøring av mørtel. Det er vanlig å benytte slanger med $\frac{3}{4}$ " innvendig diameter.

6.8 Koblinger

Det er vanlig å bruke hurtigkoblinger (Camlock), og vanlige kuleventiler når man injiserer opp til 60 bar trykk.

Hurtigkopling er ikke sertifisert for høyere trykk. Ved injeksjon med høyere trykk, er det vanlig å anvende hydraulikk-kraner og skru injeksjonsslangen direkte på staven.

6.9 Serviceapparat

Det bør være hurtig tilgang på reservedeler, slik at slanger og koblinger kan skiftes ut straks det oppdages kritiske skader eller slitasje. Reserveslanger kan med fordel ligge klar på arbeidsstedet. Pulsring i slangene som følge av trykkvariasjoner vil føre til slitasje, og slangene bør legges slik at de ikke unødig slites direkte mot skarpe steiner. Etter hver injeksjonsrunde må slanger og koblinger kontrolleres, og utskifting bør gjennomføres før brudd oppstår.

Se for øvrig også neste kapittel om vedlikeholdsrutiner.

7 Vedlikeholdsrutiner

7.1 Kontrollplan for vedlikeholdsrutiner

Injeksjonsutstyret må underlegges strenge vedlikeholdsrutiner. Renhold er svært viktig. Følgende plan for renhold og vedlikehold kan være veiledende:

Tabell 3 Vedlikeholdsrutiner

Komponent	Vedlikeholdsfrekvens	Kommentar
Siloer	Mateskruer bør kontrolleres regelmessig og eventuelt rengjøres Silo må tømmes ved langvarig stans.	Skruen kan kontrolleres når siloen er kjørt tom.
Høyhastighets – blander (Aktivator)	Renhold etter hver injeksjonsomgang: Skifte av impeller/ skovlhjul med ett års mellomrom.	Grundig rengjøring er nødvendig. Manglende renhold kan føre til at størket sement faller ned i sementen og gir store driftsproblemer under injeksjon. Impeller/skovlhjul/ kniver slites og vil gradvis gi dårligere blanderesultat. Disse skal byttes når de ikke lenger gir samme skjærkraft i blandeprosessen.
Omrører (Agitator)	Etter hver injeksjonsomgang.	Grundig rengjøring, hindre at sement gror fast, også i toppen av mikseren. Alle flater må kontrolleres.
Injeksjonspumpe	Etter hver injeksjonsomgang.	Må demonteres, rengjøres og smøres innvendig, syrefri vaselin.
	Etter hver injeksjonsomgang.	Kontroll av slitasje på koblingsstykker gjenger og låsesplinter.
	Etter hver injeksjonsomgang.	Kontroll av slitasje og skader. Skadede slanger skal skiftes ut.
Injeksjonsstaver	Etter hvert hull.	Grundig rengjøring og smøring av gjenger.
Pakkere	Kontrollere de pakkere som skal brukes før hver injeksjonsomgang	Kontrollere at det ikke er produksjonsfeil på låsemekanisme
Kraner/kuleventiler	Etter hvert hull og underveis i injeksjonen. Ved store innganger bør funksjonalitet kontrolleres ved å åpne kranen.	Viktig å kontrollere funksjonalitet, særlig på trykkavlastingsventiler.
Injeksjonsrigg	Jevnlig rengjøring/smøring, minimum etter hver injeksjonsomgang	Slippolje bør påføres etter endt vask. Det er fordel om riggen er utstyrt med høytrykksvasker for kontinuerlig renhold under injeksjonsprosessen.
Vekter	Annenhver måned, eller etter 200 tonn	Måleceller kontrolleres.

7.2 Rengjøring

For å unngå at sement herder i produksjonsapparatet og på injeksjonsriggen, må det utføres omfattende rengjøring. Forholdene må legges til rette for slikt renhold ved at det er høytrykksspyler og arbeidsbenk (se fig 17) tilgjengelig ved injeksjonsriggen.

Så snart ett hull er ferdig injisert, kan man skru løs staven, og ta denne ut. Det anbefales å vaske staven utvendig og innvendig med en gang for å unngå at sement begynner å gro fast til stålet. (sement herder i injeksjonsstaven)



Figur 17 Eksempel på arbeidsbenk på en injeksjonsrigg

7.3 Vedlikehold

Injeksjonsstaver må vedlikeholdes. Det er veldig viktig at gjengepartiet holdes rent og i god stand. Det anbefales at gjengene settes inn med fett med jevne mellomrom. Hvis ikke gjengene er i orden, klarer man heller ikke å stramme til pakkeren på en skikkelig måte. Rene gjenger er derfor veldig viktig med tanke på sikkerhet.

I tillegg til sikkerhet er det god økonomi i å ta godt vare på injeksjonsstavene. Kraner og staver er dyrt, og de kan brukes mange ganger hvis de får nødvendig vedlikehold. Et godt råd er å ha med en arbeidsbenk med skruestikke og annet verktøy inn på stuff. På denne måten blir det enkelt å vedlikeholde staver under injeksjonen.

7.4 Strømforsyning og strømfordeling

De fleste injeksjonsrigger er strømdrevet og har begrenset mulighet for drift uten strøm. Strømforsyningen er dermed kritisk viktig ved injeksjon. Strømtans kan føre til at blandere og miksere blir stående med ferdigblandet sement. Slangene kan bli stående med fullt injeksjonstrykk og tilgang til koblinger på staver over bakkenivå kan bli begrenset. Det er en fordel at injeksjonsriggen er utstyrt med vaskeutstyr som fungerer med høyt trykk selv om riggen er strømløs. Likedan bør arbeidsplattformen/ korga kunne kjøres uten strøm (med dieseldrift). Generelt er det viktig at strømforsyningen er underlagt vedlikehold og kontroll, som beskrevet i forskrifter. Avhengig av forholdene må behov for reserveaggregat vurderes.

7.5 Svikt i koblinger

Hurtigkoblinger slites ved gjentatt bruk, og bør byttes ut når låsemekanismen blir slitt. Kraner må åpnes/lukkes med jevne mellomrom for å hindre at de størkner fast.

8 Injeksjonsmaterialer

8.1 Generelt

Det er normalt å skille mellom sementbaserte og ikke-sementbaserte injeksjonsmaterialer. Sementbaserte produkter er det mest vanlige injeksjonsmaterialet ved berginjeksjon i Norge. Ikke-sementbaserte injeksjonsmaterialer blir mest benyttet ved etterinjeksjon, ved behov for ekstra injeksjonsomgang eller ved spesialtilfeller for eksempel ved store vanninnbrudd, og er derfor beskrevet under kapittel 13 "Etterinjeksjon".

Tabell 4 Valg av injeksjonsmaterialer

Type og størrelse av sprekk/åpning (sprekkemateriale)	Typisk Lugeonverdi	Injeksjonsmateriale
Åpne kanaler, karst (stein/grus)	>50	Standardsement CEM I 42,5 RR med tilslag av sand/grus.
Store sprekker, < 1 cm åpning (grov grus)	10 - 50	Standardsement CEM I 42,5 RR med tilsetning av silika eller P/ekspanderende tilsetninger.
Middels store sprekker, 0,3 - 1 cm (grus)	3 - 15	Standardsement CEM I 42,5 RR med SP-tils. og silika
Små sprekker, 0,01 - 0,1 cm (grov- middels sand)	1 - 5	Mikrosementer med SP-tilsetning og silika
Svært små sprekker > 0,01 cm (fin-/mellomsand)	< 1	Fineste mikrosement med SP-tilsetning /silika og/eller silkater, epoxy, kolloidal silika, polyuretan.
Spesialtilfeller	Rennende vann	Vurder akselerator/ ekspanderende tilsetninger eller polyuretan, se kapittel 8,8 og 13

8.2 Sementer

I prinsippet kan alle typer sement brukes til injeksjon, men de grovest malte vil ha begrenset inntrengningsevne i fine sprekker. Grovmalte sementer bør derfor kun brukes til å fylle store sprekker og hulrom.

For at sement skal tilfredsstillе de funksjonskravene som stilles til berginjeksjon må de blandes med ulike tilsetningsstoffer. Dette gjelder spesielt kravet til at injeksjonsmasser skal være stabile, de skal flyte lett og de skal størkne så raskt som mulig når de er plassert i bergmassen.

8.3 Standard injeksjonssement - Industrisement

I statens vegvesens prosesskode 025 er standard injeksjonssement definert som sementer med kornstørrelse $d_{95} > 20 \mu\text{m}$. Dette er det mest vanlige injeksjonsmaterialet, og sementkvaliteten er kjent som Industrisement eller Rapidsement, tilsvarende CEM I 42,5 RR. Denne sementen har typisk en Blaine på 400 – 450, og $d_{95} < 40 \mu\text{m}$. Man skal være klar over at denne sementen har svært mange bruksområder. Berginjeksjon er bare en liten del av hva den blir brukt til. Industrisement er derfor ikke spesiallaget for injeksjon.

Denne sementen har normalt for mye "bleeding" ved v/c-tall over 0,6 - 0,7, og det er vanlig å begynne injiseringen med v/c = 0,8 eller v/c = 1,0. For å unngå "bleeding" tilsettes silikaslurry i injeksjonsmassen.

8.4 Mikrosement og ultrafin sement

Mikrosementer er helt vanlige sementer som er ekstra finmalt. Mikrosement finnes i flere forskjellige finheter. Alle typer sement som har en $D_{95} < 20$ mikron regnes som mikrosement. I Statens vegvesens prosesskode 025 er ultrafin sement definert som materiale med $D_{95} < 10$ mikron.

De mest brukte mikrosementene i Norge, har en $D_{95} < 16$ mikron. Det er viktig å være klar over at det er stor forskjell på de forskjellige mikrosementenes egenskaper. Noen herder svært langsomt, mens andre herdner raskt. Før man starter å injisere, er det viktig å kjenne den valgte sementens egenskaper. Hvis man jobber med en rask sement, må man passe på at man ikke får herding i injeksjonsutstyret. På den annen side, vil man måtte vente lenger før man kan kontrollbore hvis man bruker en langsom sement.

Mikrosementer har stor spesifikk overflate og er derfor mye mer kjemisk aktive (delvis temperaturavhengig) enn industrisementer og stiller derfor større krav til blandingprosessen for å unngå fnokking og redusert inntrengningsevne.

Det er også stor forskjell på stabiliteten til forskjellige mikrosementer. Enkelte har praktisk talt ikke "bleeding" i det hele tatt ved v/c-tall = 1,0, mens andre kan ha mer enn 10 % fritt vann ved v/c-tall = 1,0.

Bruker man en stabil mikrosement, kan man injisere med v/c-tall 1,0 uten fare for å få bleedingkanaler. Er sementen derimot ustabil, bør man vurdere tiltak for å stabilisere sementen.

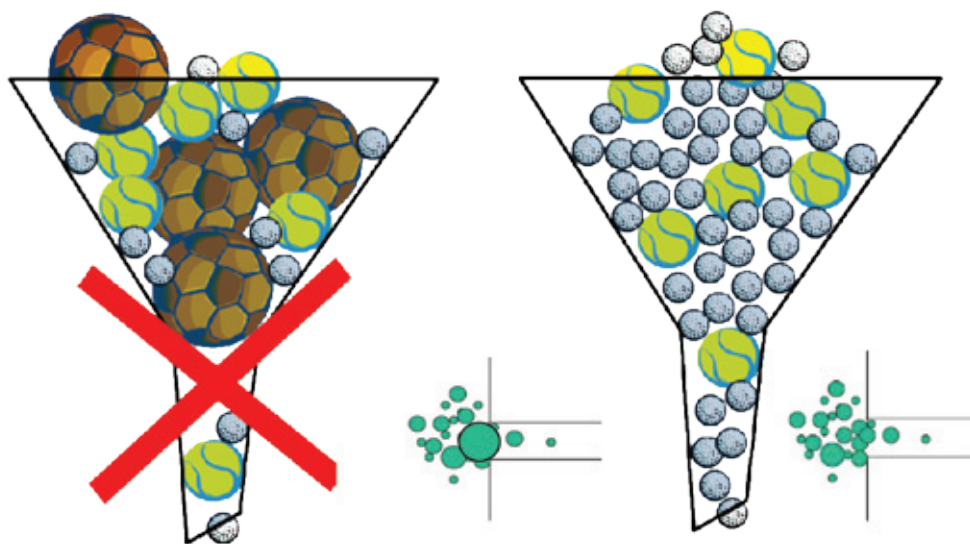
8.5 Stabiliserende stoffer

For å oppnå et godt injeksjonsresultat er stabilitet av injeksjonsmassen viktig. Stabilitet betyr at sementblandingen klarer å holde på vannet slik at man unngår "bleeding" eller separasjon, det vil si unngå at sementen synker til bunns og fritt vann blir liggende på toppen. Hvis dette skjer inne i bergsprekkene, vil man få vannførende kanaler som kan medføre restlekkasjer. Disse restlekkasjene er svært vanskelig å tette i en eventuelt ekstra injeksjonsomgang. For å redusere dette problemet, kan man tilsette stabiliserende tilsetningsstoffer. I tillegg til at de skal være stabiliserende, er det viktig at de ikke øker viskositeten nevneverdig. Hvis viskositeten blir for høy, vil dette gå utover inntrengningsevnen i de fine sprekke (høy viskositet betyr seigere masse).

I Norge er silikaslurry mest brukt til dette formålet. Silikaslurry er suspensjon av amorf silisiumdioksid med svært små partikkelstørrelser løst i vann. Silikaslurry virker som et stabiliserende stoff, slik at man kan pumpe stabile masser med høyere v/c - tall enn man ellers kunne ha brukt. En normal dosering i de fleste tilfeller er mellom 5 og 10 % slurry av sementvekt, forutsatt en silikaslurry med 50 % tørrstoff.

I utlandet er bentonitt også brukt som stabiliserende tilsetningsstoffer. Bentonitt er en leire med spesielle egenskaper som gjør sementmassen stabil og "glatt". Problemet med bentonitt er at kornene er formet som små flak. Hvis disse flakene blir liggende på tvers har de en større diameter enn sementen, og kan redusere massens inntrengningsevne. Herdet injeksjonsmasse med tilsatt bentonitt får også lavere skjærfasthet enn uten tilsetning av bentonitt.

Felles for stabiliserende stoffer, er at de retarderer størkningsprosessen. Det tar altså lengre tid før injeksjonsmassen stivner. Uansett er det viktig at disse stabiliserende stoffene har mindre partikler enn sementen har. Hvis ikke vil de oppføre seg som "overstørrelser" og hindre inntrengningen (se figur 18).



Figur 18 De grove partiklene vil hindre de små partiklene i å trenge inn i fine sprekker. Figuren til høyre inneholder ikke "overstørrelser", og gir bedre inntrengning.

8.6 Superplastiserende stoffer – blanding av injeksjonsmasse

Superplastiserende stoffer (dispergerende middel) benyttes ved de fleste tilfeller ved blanding av sementbaserte injeksjonsmasser. Disse stoffene tilsettes for at sementpartikler skal dispergere og ikke henge sammen i klumper. Superplastiserende stoffer løser opp de elektriske bindingene, slik at klumpene løses opp og man får dermed en finere masse med bedre inntrengningsevne.

- Normal dosering av superplastiserende stoffer er 1,5 – 2 % av sementvekt.

Ved blanding av injeksjonsmasse starter man med å tilsette vann og dispergerende stoff i blanderen. Når dette er gjort, tilsettes sementen og eventuelt silikaslurry. Det er viktig å blande massen godt, men samtidig må man ikke blande for lenge. Hvis man gjør det, vil friksjonsvarmen som blir utviklet i høyhastighetsblanderen gjøre at sementen kan herde i blanderen. Bruk derfor aldri blanderen som lagertank!

- Anbefalt blandetid er normalt 2 minutter.

På varme sommerdager med oppvarmet injeksjonssement og varmt vann vil sementen reagere mye raskere enn normalt. En tommelregel sier at for hver 10 °C temperaturen stiger så halveres åpentiden (størkningstiden).

Så snart blandingen er ferdig, sendes den over i etterblanderen (agitatoren). Agitatoren er bare en lagertank med en omrører. Ved små innganger, bør man vente med å lage ny blanding før agitatoren er nesten tom. På den måten sikrer man at man alltid har ferskest mulig injeksjonsmasse.

8.7 Vann

For at injeksjonsmassen skal oppføre seg som forventet er det viktig at vannkvaliteten er god. Det er i dag vanlig å benytte resirkulert vann (renset driftsvann) til mange prosesser i undergrunnsanlegg. Resirkulert vann blir også ofte benyttet til injeksjon. Problemer som kan oppstå ved bruk av resirkulert vann er veldig rask størkning og herding av injeksjonsmassen. Det resirkulerte vannet har ofte høy pH-verdi, høyere temperatur og inneholder salter fra sprengstoff. Det er særlig saltene som medfører svært rask herding, med fare for å tette utstyret og hindre inntrenging i borede hull. Hvis man får problemer med for rask herding, bør man sjekke vannkvaliteten. Det kan være nødvendig å justere pH-verdien til vannet, eller i verste fall bytte ut det resirkulerte vannet med vann fra ledningsnettet.

8.8 Akselerator til styrt herding

Styrt herding er et ganske nytt hjelpemiddel innen berginjeksjon. I tilfeller der det ikke oppnås mottrykk etter at det er pumpet inn en angitt mengde injeksjonsmasse, er tilsetning av akselerator en løsning som kan gi trykkoppbygging. Hvis dette systemet blir brukt på rett måte, kan det spare store mengder injeksjonsmasse og pumpetid. Når en injeksjonsomgang avsluttes med styrt herdetid får en "plugget" hullet. I de fleste tilfeller får man da avsluttet med ønsket trykk, og kan raskere starte boring for kontrollhull eller ny salve. Dette er et nyttig hjelpemiddel ved utganger i og bak stuff, og ved store innganger av injeksjonsmaterialer.

Det benyttes normalt alkalifri akselerator av tilvarende type som benyttes ved sprøytebetong til bergsikring.

Akseleratoren tilsettes i et munnstykke framme på staven (se figur 10). På denne måten har man ikke akselerator i utstyret, og man får ikke problemer med herding i slanger og utstyr. For å kunne utnytte styrt herding fullt ut, må man ha ei akseleratorpumpe som virker som "en slave" til injeksjonspumpa. Dette betyr at man får rett dosering akselerator uansett hvilken strømningshastighet (flow) injeksjonspumpa har.

Det er viktig å være klar over at styrt herding ikke fungerer like bra med alle sementer. Den beste virkningen får man ved enkelte mikrosementer. Har man et godt doseringssystem sammen med mikrosement, kan man styre åpentiden til sementen fra 20 minutter ned til ca 3 minutter.

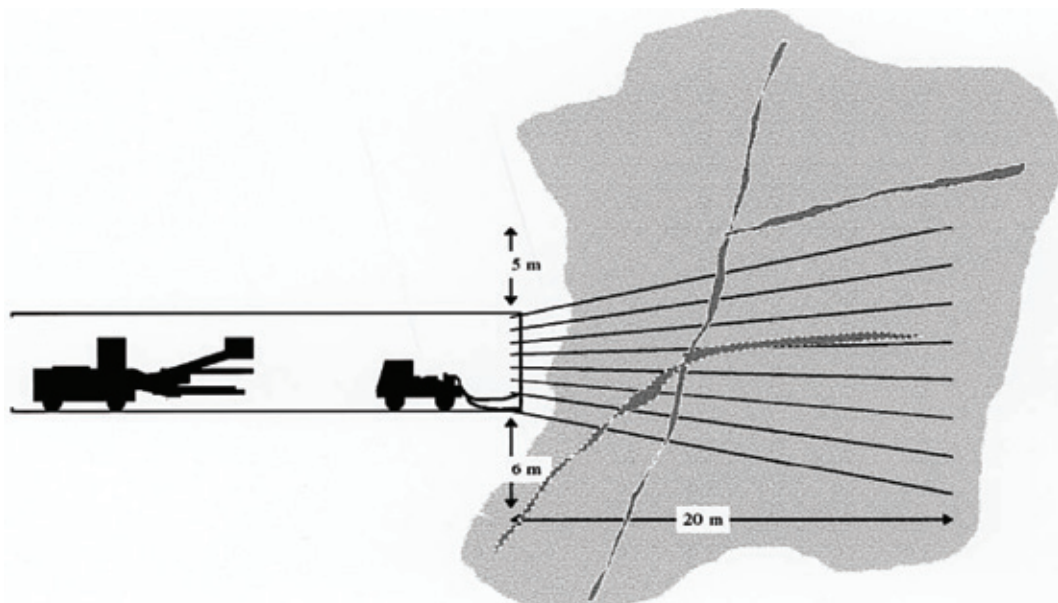
Ved bruk av industrisement med lavt v/c-tall kan akselerator brukes for å framskynde størkningsprosessen, men erfaringene har vist at det er vanskelig å styre åpentiden i samme grad som ved bruk av mikrosement.

9 Injeksjonsutførelse

9.1 Krav til kompetanse

Moderne injeksjon med bruk av kompliserte injeksjonsrigger har blitt et avansert håndverk som stiller krav til ferdighet og forståelse for arbeidet. Det er derfor viktig at nøkkelpersonell som er involvert i injeksjonsarbeidene, både på byggherresiden, hos entreprenøren og konsulenten har en inngående kjennskap til injeksjonsprosedyrene. Nøkkelpersonell må kjenne de tiltak og justeringer av injeksjonsopplegget som må iverksettes for at målsetningene for injeksjonsarbeidene skal oppnås.

For å få en felles forståelse av formålet med injeksjonen og tettestrategien er det hensiktsmessig å gjennomføre felles injeksjonsseminar for alt involvert personell både hos entreprenøren og byggherren. I tillegg må det holdes jevnlig fagmøter mellom entreprenøren og byggherren for oppsummering og oppfølging av erfaringer. Eventuelle behov for endringer og forbedringer i injeksjonsprosedyrer er eksempler på tema som drøftes på slike møter.



Figur 19 Illustrasjon av forinjeksjonsprinsippet

Arbeidsledelsen hos entreprenøren må ha kompetanse og erfaring med injeksjonsarbeider. Basen som leder det praktiske injeksjonsarbeidet må enten ha oppdatert erfaring eller bli skolert for oppgaven. Ved vanskelige bergforhold, og ved tetting av rennende vann og etterinjeksjon kreves det erfaring og grunnleggende kunnskap om vann i berget for valg av borplan, resepter og stoppkriterier. Ved høye krav til tetthet er det viktig at alle involverte er informert om kravene og konsekvenser ved å fravike dem.

Ved bruk av en moderne injeksjonsrigg kreves det at én person styrer blandere og pumper samt fører logg over produksjonen. I de fleste tilfeller er dette injeksjonsbasen. En til to personer

flytter slanger mellom staver og klargjør utstyr underveis i injiseringen. En til to personer må sørge for levering av materiell fram til injeksjonsriggen. Gode rutiner og god kommunikasjon er viktig ved injeksjonsarbeider. Det er derfor en fordel at arbeidslaget er godt innarbeidet, eller har klare prosedyrer for arbeidet. Det er viktig at arbeidsleder eller injeksjonsbas og byggherrens kontrollingeniør kan diskutere detaljer om injeksjonsopplegget, som for eksempel tilpasninger av stoppkriterier og rekkefølge i hull.

For undergrunnsanlegg hvor det forventes omfattende injeksjonsarbeider skal det stilles krav til injeksjonskompetanse for entreprenørens mannskap. Det må kunne vises til referanseprosjekter og erfaring med tilsvarende type injeksjon. Tilsvarende krav må stilles til personell som skal prosjektere, utføre og kontrollere sprøytebetongarbeider.

9.2 Injeksjonsprosedyrer

Ved utarbeidelse av injeksjonsprosedyrer er det en rekke forhold å ta hensyn til. I første rekke er det hvilke innlekkasjekrav som stilles, undergrunnsanleggets størrelse og beliggenhet og hvilken bergmasse anlegget drives i. Sjekklisten i kapittel 2 gir en oversikt over alle elementer som inngår i injeksjonsprosessen.

Generelt kan injeksjon splittes i to ulike metoder der én er systematisk injeksjon og én annen er behovsprøvd injeksjon

I de følgende underkapitlene gjengis kort utdrag fra injeksjonsprosedyrer fra noen utvalgte typiske tunnelprosjekter. De fleste er eksempler på injeksjonsstrategi med systematisk forinjeksjon mens eksemplet fra T-forbindelsen har behovsprøvd injeksjon.

9.3 Injeksjonsprosedyre fra Bærumstunnelen, dobbeltsporet jernbanetunnel

Data fra Bærumstunnelen:

- Bergart: Kambro-siluriske sedimentære skifre, kalk- og sandsteins bergarter med intrusivganger.
- Tunneltverrsnitt: ca 110 m²
- Omkrets ca 42m
- Antall hull: 63 hull i kransen + 10 hull i stoffen, totalt 73 hull
- Hullavstand ved ansett ca 0,67 meter
- Skjerm lengde: 23,5 meter
- Skjerm hver 3. salve/ ca 15 meter, og overlapp ca 8 meter
- Krav til innlekkasje: 4 l/min og 100 meter
- Resultat målt etter ferdig sprengt tunnel: ca 2,0 liter/min/100 meter

Injeksjonsprosedyre



Jernbaneverket

Injeksjonen utføres etter følgende opplegg:

- | | | | |
|-------------------------|----------------|---------|---------------------|
| 1. Resept 1 $v/c = 0,8$ | Industrisement | Mengde: | ca 300 liter |
| 2. Resept 2 $v/c = 0,6$ | Industrisement | Mengde: | ca 600 liter |
| 3. Resept 3 $v/c = 0,5$ | Industrisement | Mengde: | ca 600 liter |

Med resept 4 $v/c = 0,8$ under pkt 1 skal det blandes i ca 7 % microsilika.

Dersom foreskrevet trykk ikke er oppnådd etter pkt 1, pumpes det etter pkt 2.

Dersom foreskrevet trykk ikke er oppnådd etter pkt 2 kan hullet med fordel "hvile" ca 1 til 2 timer. Det skal deretter pumpes etter pkt 3.

Dersom foreskrevet trykk ikke oppnås skal innpumping i dette hullet avsluttes med en blanding med industrisement og akselerator.

I øvre halvdel av skjermen kan det være en fordel å forsøke å avslutte alle hull med innblanding av akselerator.

Innpumpingshastigheten bør begrenses til 40 liter/min.

Ved utganger i stoff skal det brukes sement med blanding med akselerator eller mauring.

Følgende trykk skal brukes:

Bergoverdekning	Borhull i heng og vegg	Borhull i såle og i stoff
0-5 meter	20 bar	30 bar
5-15 meter	40 bar	60 bar
> 15 meter	80 bar	80 bar

Figur 20 Eksempel på injeksjonsprosedyre fra Bærumstunnelen.

9.4 Prosedyre fra driving og injeksjon av berghall på Mongstad

Lagring av flytende propan ved atmosfærisk trykk i uforet berghall, medførte et designkriterium på at innlekkasjen i hele hallen skulle være mindre enn 15 liter.

Bergallen har følgende mål:

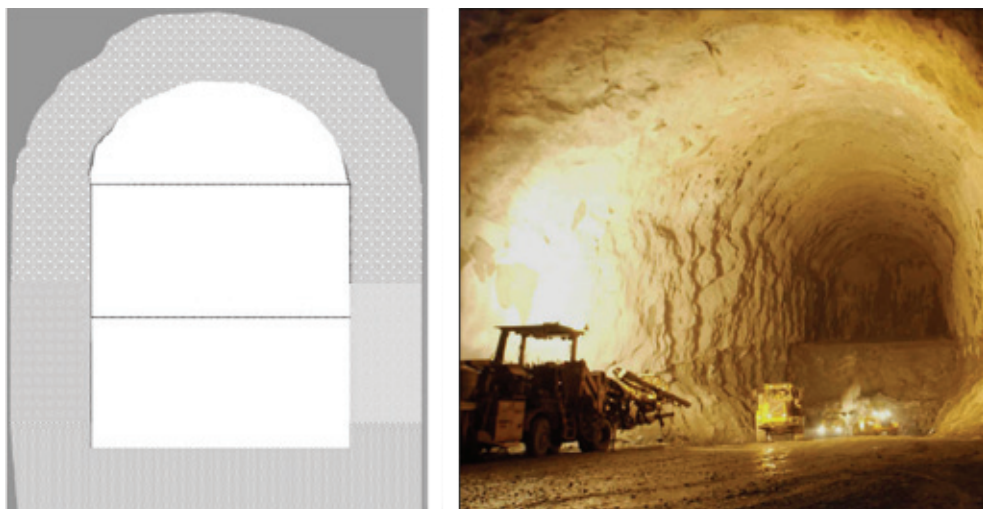
H: 33m, B: 21m og L: 134 m

Sålen ligger 83 m under havnivået.

(Nordsjøen er rett på utsiden av portalen).

Berggrunnen består av lyse og mørke anortosittiske gneiser, amfibolitt og gabbro.

- Systematisk forinjeksjon med skjerm lengde normalt 24 meter
 - Hullavstand i injeksjonsskjermen skulle ikke overstige 2,2 meter på odd
 - Kontrollhullsrunder etter hver injeksjonsskjerm
 - Skjermgeometri var designet slik at bergmassen skulle være så tett som mulig 8 meter utenfor teoretisk sprengningsprofil.
 - Sluttrykk ved injeksjon ble satt til 80 bar
 - Det ble boret 30 000 meter injeksjonshull
 - Forbruk ca. 410 tonn mikrosement.
 - Etter at hallen var ferdig ble det målt en total innlekkasje på 2 l/min.
 - Det ble også boret 4000 meter hull for vanninfiltrasjon over hallen.
1. Driving av takskive – forinjeksjon rundt heng og vegger ned til ca 2 over såle i første bunnstross
 2. Driving av første bunnstross, forinjeksjon av vegger.
 3. Driving av nederste bunnstross, forinjeksjon av nedre del av vegger samt såle.



Figur 21 Driving og injeksjon av propanlagringshall på Mongstad

9.5 Eksempel på injeksjonsprosedyre fra T-forbindelsen (undersjøisk tunnel)

T-forbindelsen er ny øst - vest forbindelse mellom E39 i Tysvær og rv. 47 på Karmøy, samt ny nord - sør forbindelse mellom Fosen og E134 i Haugesund.

Prosjektet har to undersjøiske tunneler med profil T 11.5. Den ene er 3977 meter lang under Karmsundet, med maks dybde 139 meter, og den andre er 3764 meter lang under Førresfjorden, med maks dybde 136 meter.

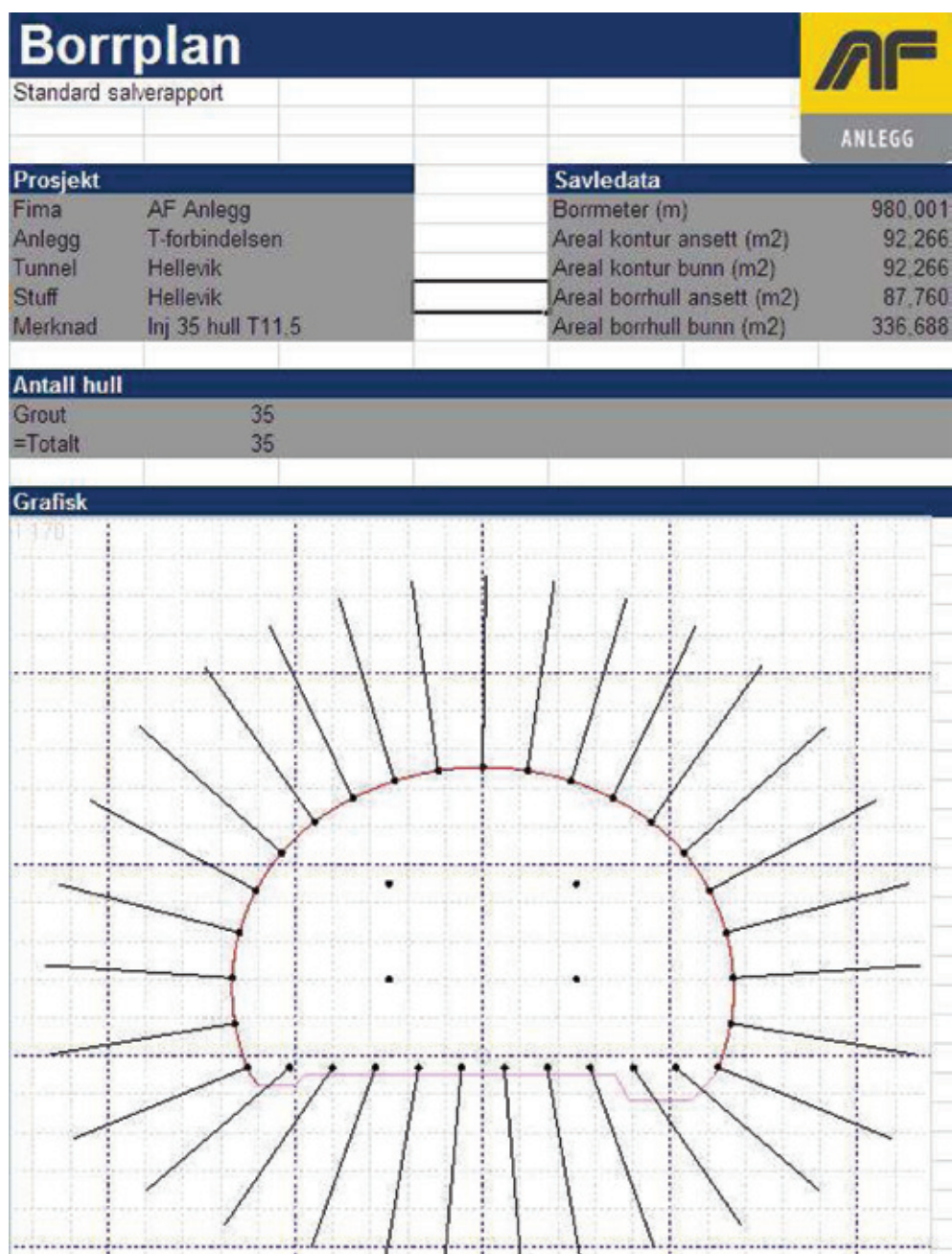
Funksjonskravene til tunnelen legger kriteriet for hvor store innlekkasjer som aksepteres. Det utføres derfor sonderboring med 4 hull a 28 meter, to i vederlag og to i såle. Injeksjon utføres når det måles mer enn to liter/min fra enkelthull eller mer enn 5 liter/min totalt.

Statens vegvesen region vest	Prosjekt: 300141	PROFnr:	Nr:
KONTROLLØRMELDING			
PROSJEKT: T-forbindelsen			
Dok.dato:	Rev: dato:	Dok. ansv.:	

Kontrakt:	K1 Håvik – Mjåsund – Hellevik Mjåsund
Entreprenør:	AF Gruppen
Byggherre	Statens Vegvesen Region Vest
Emne	☒ Teknisk kvalitet ☐ Kontraktsgrunnlag ☐ HMS ☐ Orientering ☐ Ytre miljø ☐ Annet.....
Tittel	Injeksjon Mjåsund

Melding til entreprenør: Injeksjonsskjerm bores som standard skjerm 36 hull. Lengde 24 m. Det skal injiseres opp til 60 bar på alle hull. Ved mengder over 2000 liter per hull skal byggherre kontaktes for videre opplegg. Det skal fremlegges Logac rapport etter avsluttet injeksjon. Det brukes industrisement med normal resept, start v/c 0,8. Etter 500 liter gå over til v/c 0,6. Ved store innganger skal mauring vurderes, det skal regelmessig foretas inspeksjon i Litlavatnes vestre ende under injeksjonsprosessen.

Figur 22 Eksempel på injeksjonsprosedyre fra T-forbindelsen



Figur 23 Eksempel på borplan fra T-forbindelsen.

9.6 Injeksjonsprosedyre Lørentunnelen (høytrafikkert motorvei)

Lørentunnelen går mellom Økern og Sinsen på Ring 3 i Oslo. Tunnelen er ca. 1200 meter lang hvorav 915 m i berg, og 300 meter i betongkulvert ved inngangspartiene. Lørentunnelen har to løp med tre kjørefelt hver veg med påkjøringsramper slik at teoretisk sprengningsprofil har en spennvidde på opptil 15 meter. Det er tett bebyggelse over tunnelen og strenge krav til innlekkasje, slik at det er systematisk forinjeksjon langs hele tunnelstrekningen.

Hullengden 23 m

Stikning 6 m utenfor teoretisk profil i heng og såle, og 5 m utenfor teoretisk profil i vegg.

2 salver mellom skjermene

Salvelengde 5.5 m (Full salvelengde)

Antall hull = 44

Antall hull i profil = 37

Antall hull i stuff = 7



Statens vegvesen

Prosedyre med standard injeksjonssement for Lørentunnelen (Industrisement)

- Ved injeksjon skal sluttrykket være inntil 80 bar.
- Ved små innganger (< 100 liter) skal injeksjonstrykket økes til ca. 80 bar og holdes i 5 min. før ev. injeksjon avsluttes i dette hullet.
- Ved store innganger (>1500 liter) kan injeksjonen avsluttes ved et sluttrykk på 30 bar.
- Følgende resepter benyttes primært ved injeksjon:

Resept	Vann-/sementforhold	Dispergert mikrosilika i forhold til tørrvekt
3	1,0	10%
5	0,8	10%
6	0,7	5%
8	0,5	Uten silikaslurry

- Injeksjon starter alltid med resept 3.
- Skifte av resept gjøres etter følgende prinsipp:
 - Ved inngang på et hull på 680 l med resept 3 uten trykkoppbygging, byttes det til resept 5.
 - Ved inngang på samme hull på 345 l med resept 5 uten trykkoppbygging, byttes det til resept 6.
 - Ved inngang på samme hull på 330 l med resept 6 uten trykkoppbygging, byttes det til resept 8.
 - Dersom det ikke er oppnådd sluttrykk etter 600 l med resept 8, avsluttes injeksjonen.
- Ved gradvis trykkoppbygging uten at sluttrykk oppnås, kan det vurderes å benytte samme resept utover angitt mengde. Ved utganger kan det byttes til tykkere resept for den angitte mengden er oppnådd. Vurdering om det er nødvendig å skifte resept, må gjøres i hvert enkelt tilfelle.



Statens vegvesen

Prosedyre med mikrosement for passering av dyprenne på Lørentunnelen

Startprosedyre:

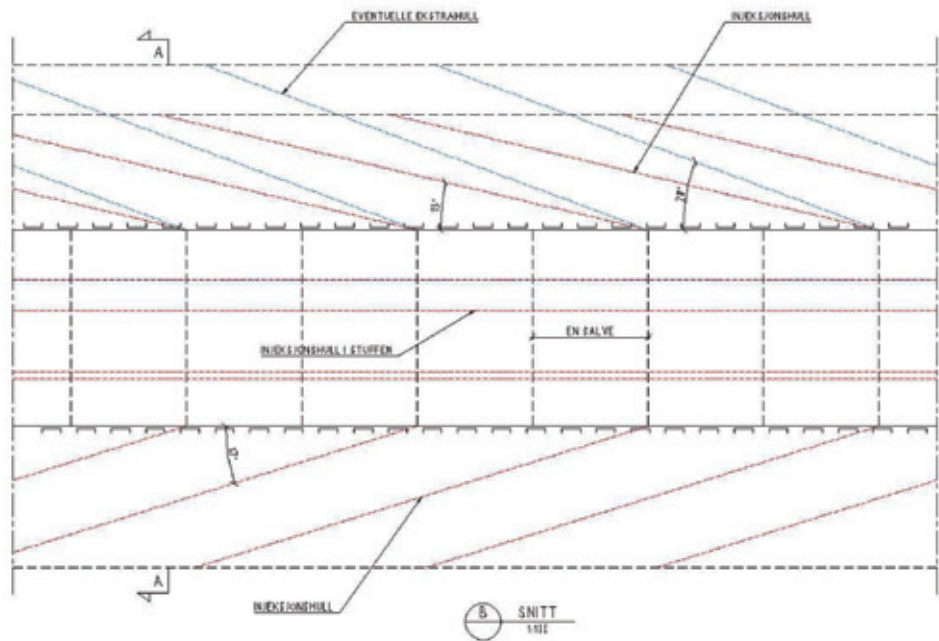
- Antall hull i skjerm 89 (55 i profilet, 19 i stuff + eventuell sperreskjerm 15)
- 15 stk 19 m lange hull med stikning 5,5 m, lokalisert i senter heng, bores først. MWD-data fra disse hullene overføres til byggherre som vurderer om hullene skal injiseres umiddelbart som sperreskjerm, eller inngå i full injeksjonsskjerm
- Dersom det ikke er behov for sperreskjerm: Resten av skjermen bores og injiseres. I dette tilfellet bores ikke mellomliggende hull i hengen.
- Ved behov for sperreskjerm: 15 hull i heng injiseres i egen omgang. Når sperreskjermen er etablert og herdet, bores resterende hull i skjerm, inklusive 16 stk mellomliggende hull (innerskjerm) med lengde 15 m og stikning 3,5 m.
- Det tillates boring av injeksjonshull i sålen før behov for separat injeksjon av sperreskjerm er avklart. Øvrig injeksjonsboring tillates ikke før injeksjonsmiddel i sperreskjerm er herdet tilstrekkelig.
- Antall stuffhull i standardsskjerm settes i utgangspunktet til 20 hull som fordeles over tverrsnittet med avtagende stikning mot senter av stuff. Dersom dårlig berg registreres under boring av skjerm kan det bli aktuelt å øke antall stuffhull.
- Dersom det bores ut i løsmasser under injeksjonsboring kontaktes byggherre umiddelbart og boring i heng stanses.
- Før injeksjonsstaver settes, prepareres pakkere med spiker eller singel i åpningsspalte, slik at ved å la kran stå åpen, kan hull som har intern kommunikasjon identifiseres.
- Alle hull injiseres med mikrosement.

Injeksjonspumping skal utføres med mikrosement etter følgende prosedyre:

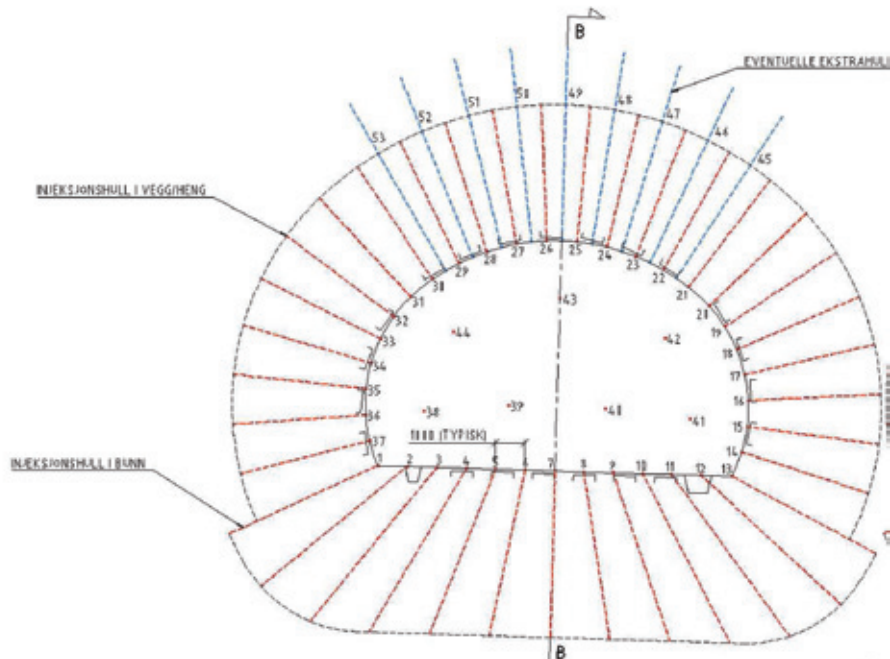
1. Mikroresept nr. 9 – v/c = 1,0	Mengde: inntil 340 liter
2. Mikroresept nr. 11 – v/c = 0,8	Mengde: inntil 340 liter
3. Mikroresept nr. 14 – v/c = 0,5	Mengde: inntil 800 liter (340 liter i sperreskjerm)

Reseptene det vises til er gitt i KM-E20-1009

- Maks trykk i heng skal være 60 bar. Maks trykk i såle 80 bar.
- Styrkt herding skal iverksettes dersom trykkoppbygning over 30 bar ikke oppnås ved maks inngang på 1500 liter.
- I sperreskjerm skal styrkt herding iverksettes dersom trykkoppbygning over 30 bar ikke oppnås ved maks inngang på 1000 liter.



Figur 24 Lengdesnitt av injeksjonsskjermer for annenhver salve på Lørentunnelen



Figur 25 Eksempel på borplan for T9,5 profil på Lørentunnelen

9.7 Injeksjonsprosedyre Gevingåsen tunnel (enkeltsporet jernbanetunnel)

**Jernbaneverket**

Gevingåsen jernbanetunnel går mellom Hommelvik og Værnes og er første trinn i en modernisering av Nordlandsbanens søndre del. Tunnelen er 4400 meter lang med et teoretisk sprengningstverrsnitt på ca 70 m².

1. Kriterium for igangsetting av injeksjon

Injeksjon igangsettes normalt når innlekkasjen for ett eller flere av sonder- eller salvehullene overstiger krav oppgitt i kontrakten, dvs. hovedsakelig 15 l/min, og 5 l/min i enkelte områder. Total innlekkasje og vurdering av lekkasjebildet i området vil også være bestemmende for når injeksjon igangsettes.

2. Boring av injeksjonsskjerm

Standardskjerm: Hullengde 24 m.

c/c 1,2 m

Stikning 4-5 m ut i heng og vegger, 5-6 m i såle.

Det bores evt. i tillegg 3-9 hull i stuffen som angitt av kontrollør

Hull fra sonderboring skal også injiseres

Det skal normalt bores full skjerm, men ved konsentrert lekkasje i én side kan byggherren bestemme at det bare skal bores deler av skjermen.

Dersom det er problemer med å oppnå hullengde på 18 kan lengden etter avtale med kontrollingeniører reduseres noe.

Dersom det er stor lekkasje kan det være aktuelt å bore noen ekstra hull. Dette må vurderes under boringen.

3. Injeksjon

Injeksjonen starter nederst i profilet. Injeksjonsarbeidet skal organiseres slik at en påbegynt injeksjonsomgang ikke skal avsluttes før den er fullført, hvis ikke annet er avtalt med byggherren.

Som avtalt benyttes mikrofin sement (kontraktens prosess 81501.31.632). Type sement kan bli endret basert på erfaring fra injeksjonsarbeidene.

Injeksjonen skal utføres etter følgende opplegg:

1. Resept nr. 9, dvs. 200 kg microsement og v/c-tall 1,0.
2. Resept nr. 10, dvs. 220 kg microsement og v/c-tall 0,92.
3. Resept nr. 11, dvs. 250 kg microsement og v/c-tall 0,80.

(Resepter som beskrevet i forslag fra BASF).

Det skal injiseres med trykk på 70 bar.

Med bakgrunn i de gjeldende Bergforholdene på stedet og erfaring fra injeksjonen kan reduksjon i trykk vurderes.

Innpumpingshastigheten bør begrenses til 40 l/min.

Injeksjon starter med resept nr. 9 (200 kg og v/c-tall 1,0). Etter inngang av 500 liter i hvert hull uten trykkstigning til 70 bar, fortsettes injeksjonen med resept nr. 10 (220 kg og v/c-tall 0,92). Etter inngang av 500 liter i hvert hull uten trykkstigning til 70 bar også her fortsettes injeksjonen med resept nr. 11 (250 kg og v/c-tall 0,80) til enten 70 bars trykk eller total masseinngang på 2000 liter er oppnådd.

Dersom beskrevet trykk heller ikke oppnås ved bruk av resept nr. 11, skal det benyttes styrt herding.

Ved utganger i stoff skal utgangen primært forsøkes stanses ved bruk av lavt v/c-tall og ved at man lar hullet "hvile" og går videre til andre hull før man vender tilbake til hullet som ikke fikk full trykkoppbygging. Dersom dette ikke er tilstrekkelig til å stanse utgangen skal injeksjonsmasse med styrt herding benyttes.

Ved avslutning pga. trykkoppbygging kan resterende blanding tynnes ut for bruk på neste hull.

Mengden som pumpes inn med hver blanding må vurderes av utførende sammen med kontrollingeniør under injeksjonen, og tilpasses de til enhver tid rådende forhold (bergart, oppsprekking etc).

Styrt herding:

Styrt herding benyttes dersom det blir utgang i stoffen eller bak stoff, eller dersom det er mistanke om at massene går ut i dagen.

Styrt herding tilsettes ellers aldri før en har gjennomført injeksjon som beskrevet i punkt 1, 2 og 3 ovenfor (dvs. resept 9, 10 og 11).

4. Ekstra ventetid

Ekstra ventetid i tillegg til 1 time nedrigg vil bli bestilt spesielt av byggherren i hvert enkelt tilfelle.

5. Kontrollhull

Eventuelle kontrollhull kan bli bestilt av byggherren i hvert enkelt tilfelle. Byggherren kan også bestille vanntapsmåling i forbindelse med injeksjonsarbeidene. Kontrollhull og hull for vanntapsmåling skal ikke injiseres med mindre dette er avtalt med byggherren i hvert enkelt tilfelle.

6. I tilfelle punktering av skjerm

Dersom skjermen punkteres under boring av kontroll- eller salvehull, skal hullet plugges med pakker (nødvendigheten av dette kan vurderes avhengig av hvor mye masse som lekker), og det skal ventes ytterligere 1 time før boring fortsetter.

Det gjøres oppmerksom på at dette er en foreløpig versjon og at entreprenøren selv kan tilpasse injeksjonsarbeidene nå i oppstartsfasen. Større endringer og tilpasninger skal diskuteres med kontrollingeniør. Revision av prosedyren vil bli utført.

9.8 Oppstartshull og injeksjonsrekkefølge

Det er vanlig å begynne å injisere i sålehullene, og deretter fortsette suksessivt oppover mot hengen. Selv om man har en situasjon hvor det for eksempel lekker mye oppe i vederlaget, anbefales det at man begynner å injisere ved sålen. En grunn til dette er at sålehullene er spesielt vanskelige å komme til senere, slik at disse bør behandles før de blir påvirket fra andre hull. Får man restlekkasje i sålehull har erfaringer vist at disse er svært krevende å etterinjisere.

En annen grunn er at sementmassen er tyngre enn vann, slik at ved å begynne nede, utnytter man gravitasjonen. Man "skviser" vannet fram og opp, og fyller på med sement. Dette ser man ofte ved at det går mindre sement i de øverste hullene.

Tidligere var det ikke vanlig å sette pakker i hullene før de skulle injiseres. På denne måten så man enkelt om det var forbindelse mellom noen hull. Hvis man har forbindelse, skal disse hullene injiseres først, før man går tilbake til den opprinnelige prosedyren. Grunnen til at dette er at man har to eller flere innganger til samme lekkasjesystem. Ved å ta disse fortløpende, unngår man at sementen setter seg, og hindrer full fylling av det vannførende sprekkesystemet.

Ved dagens injeksjon med høye trykk, skal det normalt settes pakkere i alle hull som er boret før pumping av injeksjonsmasse starter opp. Grunnen til dette er hensyn til sikkerhet og HMS krav. Utlekkende sement i et hull virker som smøremiddel, og det blir dårligere friksjon mellom pakker og berg. Dette kan føre til at pakkeren sklir ut når trykk pålastes og skaper en farlig situasjon.

Det er to måter å unngå dette på. En er å vaske ut sementen i hullet før pakkeren plasseres. Dette gjøres enklest med en stiv PVC slange som føres inn og ut av hullet.

En annen måte er å sette inn en liten stift i ventilen på pakkeren eller benytte pakkere som er laget slik at vannet kan renne gjennom før de blir injisert (se figur 26). På denne måten står pakkeren åpen, slik at man ser om det er forbindelse. Når pakkeren senere skal injiseres, vil stiften bli pumpet inn i hullet, og pakkeren fungerer som normalt.



Figur 26 Pakkere som er åpne og slipper igjennom vann før det blir injisert

9.9 Behov for herdetid

Ved systematisk forinjeksjon på undergrunnsanlegg med moderate vanntrykk er det normalt ikke behov for ekstra herdetid. På anlegg med store tverrsnitt vil tiden det tar fra påbegynt injeksjon i sålehullene til det er klart for salveboring i samme del av stoffen være tilstrekkelig tid for størkning/herding. I enkelte tilfeller for eksempel ved lav temperatur kan eventuelt behov for ekstra herdetid løses ved å benytte sementer med raskere herdetid.

Under normale omstendigheter har standard injeksjonssement en størkningstid på 8 – 10 timer, mens en rask mikrosement under samme betingelser størkner på rundt 2 timer.

På undergrunnsanlegg der tettestrategien er basert på behovsprøvd injeksjon kan det oppstå situasjoner med vanninnbrudd under høye trykk. I slike tilfeller vil det være behov for ekstra herdetid etter at injeksjonen er utført før det drives videre.

9.10 Kontinuerlig injeksjon

Normalt bør en påbegynt injeksjonsomgang fullføres som en kontinuerlig prosess. Det anbefales å planlegge injiseringsarbeidet slik at man kan fullføre hele injiseringen i en operasjon.

Arbeidstidsbestemmelser for støyende arbeider er en problemstilling som begrenser fleksibiliteten i en effektiv produksjon for undergrunnsanlegg i boligområder. For å utnytte døgnet til ikke-støyende aktivitet har man på anlegg med store tverrsnitt og omfattende injeksjonsskjermer (>70 hull) delt opp injeksjonsskjermen. Ved å bore ferdig nedre del av skjermen først, og injisere nedenfra og opp, og deretter starte boringen øverst, så har dette gitt tilfredsstillende resultater. Det er alltid viktig at alle borede hull injiseres før en tar en pause i injeksjonen for å bore resterende hull. Hvis ikke risikerer en at hull er delvis fylt med masser på grunn av gjennomgang mellom hullene, og at disse går tapt.

9.11 Mengde og trykk som stoppkriterier

Mengder og trykk blir normalt angitt i spesifikasjonen som blir utarbeidet av byggherren. Normalt har man 2 stoppkriterier:

- Angitt trykk
- Angitt mengde

Ved all berginjeksjon bør det som hovedregel tilstrebes beskrevet mottrykk i alle hull. Dette betyr at v/c-tall, strømningshastighet og injeksjonstrykk må justeres underveis i injiseringen. Noen ganger er det svært vanskelig å oppnå mottrykk, og man må da slutte å injisere etter å ha pumpet inn maks mengde. For en 21 meter lang injeksjonsskjerm på 30-40 hull er ofte en typisk maks mengde 1000 – 1500 kg sement pr hull. Det anbefales å se skjermen under ett, slik at det kan tillates mer enn angitt stoppkriterium i noen hull dersom det ikke går inn masse i andre hull. I spesielle "problemhull" kan det være en løsning å la hullet hvile og deretter gjenoppta forsiktig pumping.

I enkelte tilfeller har man erfart at injeksjon med høyt trykk fra starten gir bedre inntrengning i finere sprekker. Uansett er det spesielt viktig å observere hva som skjer i en startfase av injeksjonsarbeidet, slik at utførelse og stoppkriteriene kan tilpasses forholdene.

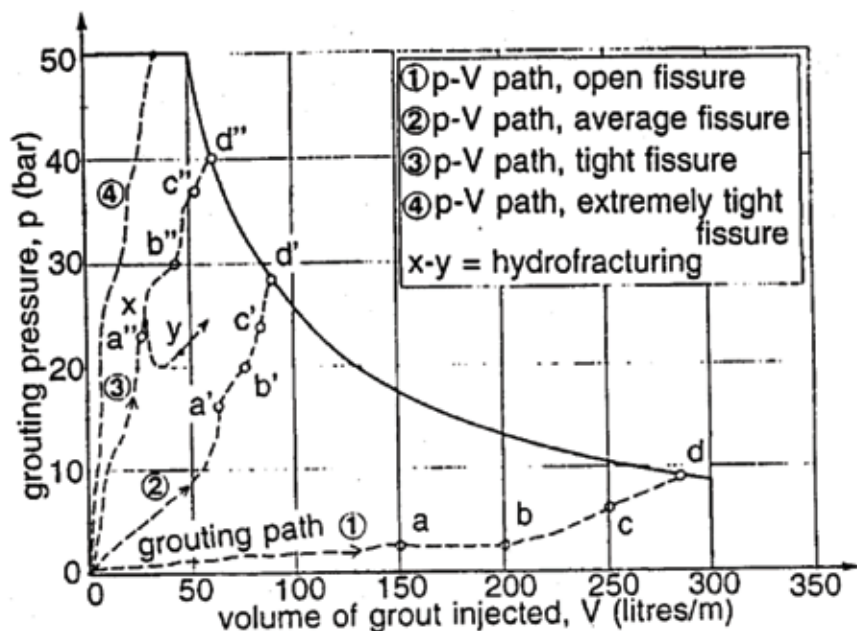
Et annet alternativ eller supplement til stoppkriterier basert på oppnådd trykk eller maksimal mengde kan være å bruke styrt herding (se kapittel 8.8).

Avhengig av overdekning, in-situ bergspenninger og bergkvalitet, vil tillatt injeksjonstrykk varierer fra noen få bar opp til 100 bar. Injeksjonstrykket kan dermed overstige bergspenningen med fare for påfølgende splitting/jekking av bergmassen. Injeksjonsmasse trenger inn på sprekkeplan og kan utøve store krefter. Det er viktig å være klar over at injisering i enkelte tilfeller også kan føre til heving av berggrunn. Overflateparallele sprekker kan fylles med injeksjonsmasse og føre til at bergoverflaten beveges.

9.12 GIN-metoden

Ved spesifisering av maksimalt avsluttende trykk og maksimal sementinnngang pr. pakningsplassering kan det ved enkelte forhold (svært porøse forhold) være fornuftig å kombinere inngang pr. bormeter og trykk ved å angi dette som en "injeksjonsintensitet". Dette begrep er innført i internasjonale injeksjonsarbeider av Lombardi (1993) og kalles GIN-metoden. GIN står for Grout Intensity Number og er produktet av trykket (i bar) og injeksjonsinnngang (i liter pr. bormeter). Se figur 27.

Hensikten med GIN-systemet er å tilpasse influensradiusen av injeksjonen til borhullsmønsteret man bruker. For norske anlegg ville det valgte GIN-tallet variere avhengig av geologiske og hydrogeologiske forhold, av tetthetskrav og injeksjonsmetode.



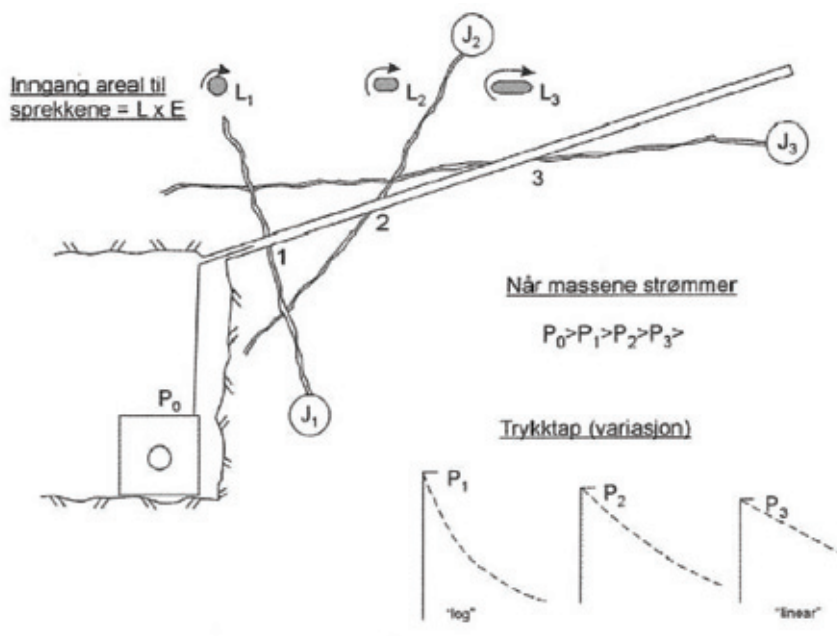
Figur 27 Kurve som viser prinsipp for bruk av GIN metoden

9.13 Jekking

Injeksjonsmassen vil strømme inn i sprekker og kanaler som står i forbindelse med injeksjonshullet. Ved økende trykk vil injeksjonsmassen kunne overstige bergspenningene og jekke berget slik at nye kanaler åpnes. Dette kan observeres ved å følge trykkoppbyggingen underveis i injeksjonsprosessen. Trykket bygges gradvis opp for så å ligge stabilt på et nivå. Dersom trykket brått faller eller strømningshastigheten plutselig øker, indikerer det at injeksjonsmassen har funnet nye kanaler og hulrom. Med mye leire på sprekke og/eller problemer med å få inn masse på de vannførende kanalene, kan dette være en ønsket effekt. I andre tilfeller kan jekking føre til uønsket stor inngang av masse. Riktig injeksjonstrykk må derfor vurderes på plassen ut fra de erfaringene som gjøres.

9.14 Injeksjonsmassens inntrengningsevne

Inntrengningsevnen til injeksjonsmassen er knyttet til massens viskositet, kornstørrelse og trykk. Ved store sprekkevolum kan høy viskositet (lavt v/c-forhold) benyttes i kombinasjon med høyt trykk. Massen vil som følge av den høye viskositeten ha stor motstand mot inntrengning. Som følge av at trykket reduseres med avstanden fra pumpen vil derfor injeksjonsmassen i liten grad trenge langt inn i berget.



Figur 28 Prinsip som viser trykktap i forhold til avstand fra pumpe

9.15 Kommunikasjon og skiftbytte

Gode rutiner for å sikre god kommunikasjon er viktig ved injeksjonsarbeider. En vellykket injeksjonsomgang avhenger av at operatøren kan styre og holde oversikt over hvor mye av hver injeksjonsmørtel som til en hver tid går med i hvert hull. Dette avhenger til dels av hvor oversiktlig injeksjonsriggen er. Et hensiktsmessig skjema for notater er også avgjørende for å holde oversikten og videreformidle status ved skiftbytte.

9.16 Utganger av injeksjonsmasse

Bruk av høyt trykk ved injisering kan føre til at injeksjonsmassen transporteres langt bort fra borhullet. Det er derfor nødvendig å gjøre inspeksjoner i områder der det kan oppstå utganger til terreng. I bergrom med kort avstand til andre bergrom, rørledninger, konstruksjoner eller til terrengoverflaten må det etableres rutiner for inspeksjoner for å oppdage eventuelle utganger av injeksjonsmasse. Kartlegging av slike områder bør utføres før injiseringen starter. Under injeksjonsutførelsen er det viktig å ha kommunikasjon mellom kontrollør i dagen og mannskapet på stoff slik at pumping kan stoppes umiddelbart når det observeres utganger. Det er viktig å få satt i gang tiltak med opprydding før injeksjonsmassen størkner.



Figur 29 Eksempel på utganger i dagen.

9.17 Tiltak for å unngå utganger av injeksjonsmasse

Ved ugunstig sprekkeorientering, for liten overlapp mellom injeksjonsskjermene eller anlegg med sporadisk injeksjon vil det kunne komme utganger av injeksjonsmasse inn i bergrommet.

For å redusere problemer med slike utganger på stoff er følgende tiltak aktuelle:

- Bruk av lengre staver /plassere pakker lenger inn
- Stoppe utganger med trekiler
- Benytte dyttestrie eller svartsement

For anlegg med forventet injeksjonsbehov, og hvor det skal drives to parallelle tunnellop eller bergrom nært inntil hverandre, bør det planlegges slik at injeksjonsarbeidene i det ene løpet ikke forstyrrer drivingen i det andre. For parallelle tunneler bør den ene stoffen ligge ca 50 meter foran den andre, ref Håndbok 021.

Ved systematisk injeksjon vil det være mindre problemer med utganger av injeksjonsmasse bak stoff enn ved sporadisk injeksjon. Det er uansett viktig å foreta inspeksjonsrunder bakover i tunnelen for å se etter tegn på utpressing/ destabilisering.

I partier der det benyttes forbolting (spiling), skal bergmassen normalt injiseres før det bores for forbolter. Dersom det må gjøres unntak, må forbolter gyses før injisering for å unngå utganger av injeksjonsmasse.

Utgang langs radielle bolter kan forekomme selv om boltene er gyst. Dersom dette blir et gjentakende problem ved systematisk injeksjon, bør utformingen av injeksjonsskjermene endres, slik at punktering med bolter unngås. For å stanse utganger i boltehull kan det brukes sikringsbolter med pakning av typen Thorbolten eller lignende produkter.

10 Kontroll og dokumentasjon av injeksjonsarbeider

10.1 Leveranse og kontroll av injeksjonsmaterialer

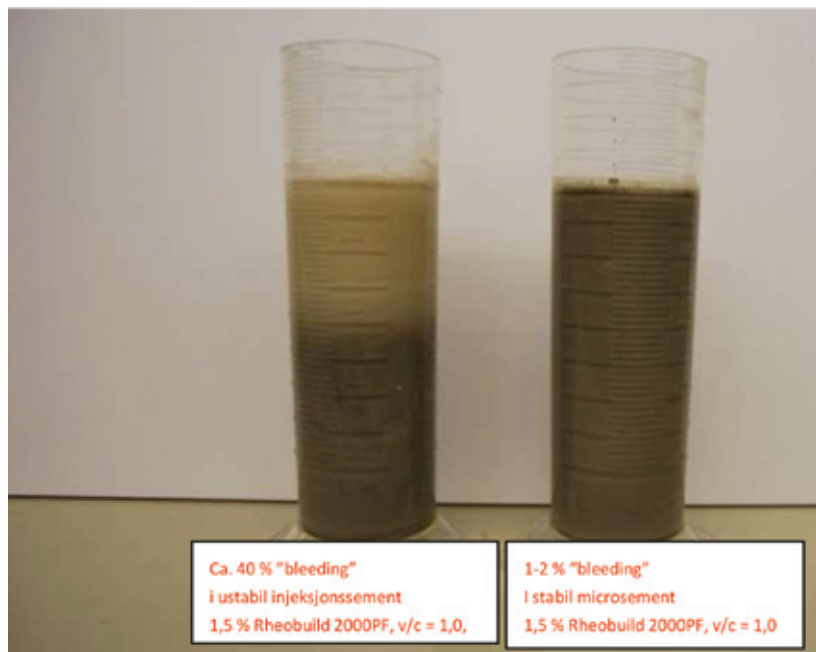
Det er viktig at sement som brukes til injeksjon er fersk. Har man gammel sement vil dette ofte gi et dårlig resultat. Er man i tvil om kvaliteten, kan man sammenligne størkningstid og "bleeding" med fersk sement. En gammel sement er vanligvis langsommere og har mer "bleeding" enn fersk sement.

På anlegg hvor det er forutsatt injeksjon bør det inngås avtaler med leverandører som er i stand til å levere fersk sement på kort varsel. Det er også viktig å ha en leverandør som er i stand til å levere det ønskede kvantumet til rett tid. En god leverandør vil i tillegg være i stand til å utføre kvalitetskontroll på produktene.

Sekker med sement som blir levert til injeksjon bør ha produksjonsdatoen påskrevet sekken. Videre bør det også være mulig å spore sementen tilbake til produksjonen, for å se på resultatene av produksjonskontrollen. Leverandøren skal kunne levere et produksjonssertifikat for hver leveranse. Dette sertifikatet bør inneholde data som størkningstid, "bleeding", Blaine og siktekurve.

10.2 Kontroll av "bleeding"

Når man utfører kontroll på sement, er det veldig viktig å blande sementen godt. Et eksempel på egnet utstyr er vanlig kjøkkenstavmikser. Bruk v/c-tall=1,0. Når injeksjonsmassen er godt blandet, tømmes massen opp i en sylinder. Etter 2 timer leser man av hvor mye fritt vann det er på toppen av sylindren. Dette vannet er bleeding vannet. Hvis man får mye mer "bleeding" på den gamle sementen enn på ferske sement, tyder dette på at sementen er for gammel.



Figur 30 Illustrasjonsfoto som viser kontroll av "bleeding"

Uvanlig mye bleeding tyder på at cementen er for gammel. Sammenlign med test av fersk cement. API Filter Press test er utviklet for borvæske i oljebrønner men anbefales benyttet som prøvemethode for injeksjonsmaterialer.

10.3 Lagring av materialer

Sementer til injeksjon blir stort sett levert i 1000 kg "storsekk" eller i bulk. I Norge blir småsekk bare unntaksvis levert.

Industrisement blir levert i vevde sekker, med kun plastbeskyttelse på toppen. Denne sementen er derfor svært sårbar for feil lagring. Mikrosementer blir stort sett levert i de samme typer sekker, men med hel innersekk av plast. Dette gjør at denne sementen er bedre egnet til lagring. All sement skal lagres tørt og luftig. Det beste er å lagre sementen i en plashall med god ventilasjon.

Den verste form for lagring er å lagre under en presenning ute i det fri. Selv om presenningen beskytter mot direkte regn, vil det renne vann inn under presenningen, og man får nærmest et drivhus når solen seinere skinner på presenningen. Luftfuktigheten vil trenge inn i sekkene, og prehydrere sementen.

Sement skal heller ikke lagres i tunnelen over lengre tid. I tunnelen er det høy luftfuktighet, som vil forringe sementkvaliteten. I perioder med lite injeksjon, er det viktig å rullere lageret, slik at man tar av den eldste sementen først. På denne måten sikrer man at man alltid har sement av høy kvalitet.

Man kan ikke kategorisk si at en sement er for gammel bare ved å se på produksjonsdatoen. Lagring, luftfuktighet osv. har stor innvirkning på kvaliteten. Kravet til maksimal lagringstid vil derfor være avhengig av lagringsforholdene. Produktene som skal brukes til injeksjon bør uansett være merket med produksjonsuke. Da kan man tilpasse kontrollomfanget av materialer avhengig av alder og lagringsforhold slik at man unngår å bruke dårlig sement i injeksjonen.

10.4 Kontroll av v/c-tall

Det er svært viktig å ha kontroll på v/c - tallet, det vil si forholdet mellom vann og sement. Vann er en helt nødvendig del av injeksjonsmassen, og et veldig bra "transportmiddel". Likevel kan for mye eller for lite vann i massen ødelegge mye for resultatet. Har man for mye vann, vil man få mye separasjon, og en ødelagt sementmasse og vanskelighet med avbinding av massen. Har man for lite vann, vil massen bli så tykflytende at man ikke får penetrasjon i sprekkene i berget.

Fasthetsutviklingen til injeksjonsmasser påvirkes også for en stor del av v/c-tallet. Sluttfastheten til sementsuspensjoner er tilnærmet omvendt proporsjonal med v/c-forholdet, det vil si en injeksjonsmørtel med v/c-tall 1,0 vil ha en fasthet som er 25-30 % av fastheten ved v/c-tall på 0,4.

Den enkleste måten å kontrollere v/c- tallet på, er å bruke en vanlig vekt (bildet på neste side på figur 30). I felt kan v/c- tallet kontrolleres med en såkalt "mud-balance". Se fig. 31 og 32.



Figur 31 Standard utrustning for kontroll av v/c-tall, "mud-balance".

10.5 Kontroll av viskositet

For å kontrollere injeksjonsmassens viskositet kan det benyttes en Marsh-cone. Standard betegnelse er API Marsh Funnel 110-10. Dette er en enkel trakt, med 4,3 mm åpning hvor man måler hvor lang tid det tar at 1 liter masse renner ut.

Det er to viktige faktorer utenom v/c-tallet som påvirker Marsh-cone-tiden, nemlig tilsetning av flytmiddel og begynnende størkning. Det anbefales at injeksjonsmasse (målt på prøve fra agitatoren) som får for eksempel 10 sekunder økt Marsh-cone-tid i forhold til fersk vare skal forkastes.

Tabell 5 viser resultater fra prøver som er utført i laboratorium med resept bestående av standard injeksjonssement + 1,5 % superplastiserende tilsetningsstoff av sementvekt. For prøvene med tilsatt silikaslurry, er det benyttet 10 % silikaslurry med 50 % tørrstoff.



Figur 32 Kontroll av v/c-tall med bruk av Marsh-cone

Hvis tiden fraviker fra de verdiene som er oppgitt i tabell 5, må man kontrollere og eventuelt justere vekt og andre veiesystemer på injeksjonsriggen.

Eksempel: $v/c\text{-tall} = 1,0$ med silika betyr at det er brukt $v/c\text{-tall} = 1,0$ pluss 10 % slurry regnet av sementvekt. Silikaen er altså ikke regnet inn i pulvermengden, kun tilsatt i tillegg.

Utstyr:

- Marsh-cone
- 1000 ml målesylinder (1 liter)
- Stoppeklokke
- Digital vekt

Prosedyre:

- Marsh-cone fylles til underkant sil mens tuten tettes med fingeren
- Fingeren slippes og stoppeklokke startes
- Når målesylinderen når 1000 ml stoppes klokken og Marsh-cone tiden noteres
- Vekt: Nullstill vekt med tom målesylinder, fyll målesylinder med 1000 ml og les av på displayet.

Tabell 5 Forholdet mellom egenvekt og Marsh-cone tid med og uten silika.

Vann/ sement forhold	Egenvekt	Marsh-cone tid	Egenvekt med 10 % silika 50/50 slurry	Marsh-cone tid med 10% silika 50/50 slurry
v/c 0,5	1,83 kg/l	Ikke målbar	1,80 kg/l	Ikke målbar
v/c 0,6	1,73kg/l	50 sek.	1,71kg/l	42 sek
v/c 0,7	1,66kg/l	43 sek	1,65 kg/l	37,5 sek
v/c 0,8	1,60kg/l	38 sek	1,57 kg/l	35 sek
v/c 0,9	1,55 kg/l	35 sek	1,52 kg/l	34 sek
v/c 1.0	1,52 kg/l	33 sek	1,46 kg/l	32 sek
vann	1,00 kg/l	29 sek		

10.6 Kontroll av størkning

Kontroll av størkning gjøres i lab ved bruk av Vicatnål, se figur 33. Når injeksjonsmassen er så stiv at nåla stopper inne i prøvekroppen, har vi begynnende størkning, og når nåla bare trenger inn 1 mm regnes massen som størknet, testmetoden er nærmere beskrevet i NS-EN 480 2. Når injeksjonsmassen er størknet er den sterk nok til å motstå vanntrykk i bergmassen, og bergrommet kan drives videre. For å kontrollere dette på stoff kan det benyttes en type håndholdt Vicatnål.



Figur 33 Vicat nål til testing av størkning

Det kan også brukes en plastkopp som fylles med injeksjonsmateriale, merkes, og settes til side. Koppen skal ikke stå på selve injeksjonsriggen, da vibrasjoner fra riggen vil forstyrre størkningen. Koppen bør settes på sålen, slik at injeksjonsmassen i koppen får mest mulig like betingelser som den massen som er pumpet inn i bergmassen. Når injeksjonsmassen er så stiv at man kan snu koppen på hodet uten at massen renner ut, har man nok størkning til videre drift (boring) i tunnelen.

10.7 Kontroll av oppnådd tetthet med målesterskler

For å kontrollere hvor mye vann som renner inn i tunnelen eller bergrommet kan det etableres såkalte målesterskler. I tunneler etableres tersklene på tvers på egnede steder. Avstanden mellom tersklene tilpasses innlekkasjekrav. For tunneler med strenge innlekkasjekrav er typisk avstand i størrelse 250 meter. Det må sikres at terskelen er tett i overgangen berg, støp. Den må derfor armeres og forankres og kontaktninjiseres. Høyden på terskelen er avhengig av tunnelens stigning og vannmengde. Det må støpes inn et målerør som fører vannet slik at det er enkelt å få til pålitelige målinger ved bruk av bølge og stoppeklokke. Alternativt kan det støpes inn et standard V-overløp slik at vannmengden som renner over overløpet kan måles ved hjelp av tommestokk.

Ved måling er det viktig å ha et stabilt vannspeil. Målingene må gjøres i perioder uten driving, helst i forbindelse flere dagers driftsstans for å få målt reell innlekkasje uten tilførsel av driftsvann. Det anbefales å måle flere ganger over en tidsperiode for å sikre at innlekkasjen er stabil. Dette er spesielt viktig i anlegg med de strengeste innlekkasjekravene.

I bergrom eller ved driving av tunneler på synk kan utpumping av vann som samles ved stuff også brukes til å måle innlekkasje. Her lar en vannet renne inn over en gitt tid og så måler deretter mengden man pumper ut for å nå samme nivå som når man startet å pumpe.

10.8 Dokumentasjon på utført injeksjon

De fleste kontrakter stiller krav til at det skal føres injeksjonsrapport. Det må føres egen protokoll eller injeksjonsrapport for hver injeksjonsomgang. Denne rapporten bør føres på egne skjema og inneholde følgende opplysninger:

- Tunneldel eller annen områdebeskrivelse
- Injeksjonsstoff (profilnummer) og injeksjonsomgang (primærskjerm, sekundærskjerm, kontrollskjerm)
- Hvert enkelt borhullsplassering i tunneltverrsnittet, gjerne med en figur som viser injeksjonsskjermen med hullnummer inntegnet.
- Borhullets retning og lengde
- Dybde på pakkeplassering (avhenger av stavlengden)
- Målte innlekkasjer, gjerne på figuren som viser skjerm og hullnummer
- Anvendt injeksjonsmørtel (type sement, v/c-forhold og tilsetninger)
- Noter der det er registrert utganger av injeksjonsmasse på og bak stoffen
- Medgått injeksjonsmengde (volum og/eller kg) for hver injeksjonsmørteltype i hvert enkelt hull
- Injeksjonstrykk mot tid i hvert enkelt hull, med angivelse av sluttrykk og om mottrykk (ståtid) er oppnådd
- Injeksjonstid (start/slutt injeksjon og eventuelt start/slutt boring)
- Dato, klokkeslett og signatur

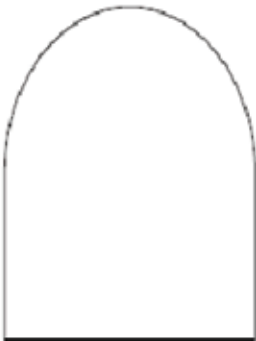
KONTRAKT: LS04 Sandvika Øst
Revisjonsdato: 25.06.07 Rev.nr.:0

Nr.: TP-12.02
INJEKSJONS RAPPORT - TUNNEL

Tunnel		Stoff		Pel	
Start			Slutt		
Dato	Klokka		Dato	Klokka	
Boring					
Injeksjon					

Hull nr	Rapid liter	v/c forhold	Stopptrykk bar	Hull nr	Rapid liter	v/c forhold	Stopptrykk bar

Sonderboring 12<24m	m			Industrisement R.build 2000PF Silicaslurry Rheocem800	kg
Sonderboring 24<36m	m	Pakkere	stk		kg
Måling av vannlekkasje	stk			Akselrator MEYCO SA162	kg
Ventetid ved stoff	timer				
Type tilsetningsstoff		Prosent av cementvekt			%
Anmerkninger					
Dato/sign. SKANSKA					



Figur 34 Eksempel på injeksjonsskjema brukt på ”nytt dobbeltspor Lysaker - Sandvika”.

10.9 Utskrifter fra logg

Utskrift fra loggen på injeksjonsriggen skal være en del av injeksjonsrapporten. Denne inneholder detaljerte opplysninger om gjennomføringen av injeksjonsomgangen (figur 35).

Logg fra boringen (borparametertolkningen) skal også være en del av injeksjonsrapporten. I tillegg bør det registreres informasjon om variasjoner i borsynk, farge på borvann og angivelse av borproblemer, leire osv.

LOGAC

WORKSITE: 1

SECTION: 1

PRINTOUT DATE: 17.10.2008

Grouting Report

Atlas Copco

	HOLE NO.	HOLE LENGTH	STAGE NO.	RECIPE NO.	INJECTION NO.	WIC	CODE	DATE	START TIME	STOP TIME	LOGGING TIME	VOLUME	PRESSURE	CHECKS
		[m]						[yyyymmdd]	[hh:mm:ss]	[hh:mm:ss]	[hh:mm:ss]	[Litre]	[Bar]	
1	4	23	1	23	1	0.0	None	2008:10:16	18:08:13	18:45:49	00:37:36	174.9	79.2	OK
2	5	23	1	23	1	0.0	None	2008:10:16	18:46:29	18:53:30	00:07:01	38.1	76.7	OK
3	6	23	1	23	1	0.0	None	2008:10:16	18:54:20	19:03:30	00:09:10	18.3	75.8	OK
4	7	23	1	23	1	0.0	None	2008:10:16	19:04:20	19:14:41	00:10:21	53.8	84.2	OK
5	8	23	1	23	1	0.0	None	2008:10:16	19:15:41	19:23:52	00:08:11	15.2	78.2	OK
6	9	23	1	23	1	0.0	None	2008:10:16	19:24:32	19:44:33	00:20:01	308.3	58.5	OK
7	10	23	1	23	1	0.0	None	2008:10:16	19:45:13	20:01:55	00:16:42	28.2	70.1	OK
8	11	23	1	23	1	0.0	None	2008:10:16	20:02:35	20:06:26	00:03:51	47.8	78.9	OK
9	12	23	1	23	1	0.0	None	2008:10:16	20:07:18	20:16:58	00:08:42	46.2	76.0	OK
10	13	23	1	23	1	0.0	None	2008:10:16	20:17:00	20:25:20	00:08:12	48.8	79.8	OK
11	14	23	1	23	1	0.0	None	2008:10:16	20:48:14	21:12:07	00:23:53	324.0	51.2	OK
12	15	23	1	23	1	0.0	None	2008:10:16	21:12:37	21:49:20	00:36:43	258.5	53.6	OK
13	16	23	1	23	1	0.0	None	2008:10:16	21:50:00	21:56:51	00:06:51	52.5	81.1	OK
14	17	23	1	23	1	0.0	None	2008:10:16	21:57:51	22:16:41	00:12:50	49.7	85.8	OK
15	18	23	1	23	1	0.0	None	2008:10:16	22:12:11	22:43:53	00:31:42	155.1	71.4	OK
16	19	23	1	23	1	0.0	None	2008:10:16	22:45:03	22:56:44	00:11:41	2.8	77.9	OK
17	20	23	1	23	1	0.0	None	2008:10:16	23:00:14	23:30:25	00:30:11	61.7	80.2	OK
18	21	23	1	23	1	0.0	None	2008:10:16	23:09:34	23:31:16	00:24:41	76.7	78.7	OK
19	22	23	1	23	1	0.0	None	2008:10:16	22:48:23	23:05:24	00:17:01	42.1	73.4	OK
20	23	23	1	23	1	0.0	None	2008:10:16	22:01:21	22:37:12	00:35:51	282.8	47.1	OK
21	24	23	1	23	1	0.0	None	2008:10:16	21:41:09	22:06:51	00:19:42	253.7	49.3	OK
22	25	23	1	23	1	0.0	None	2008:10:16	21:32:47	21:46:19	00:07:32	52.7	83.3	OK
23	26	23	1	23	1	0.0	None	2008:10:16	21:24:57	21:32:07	00:07:10	55.2	72.7	OK
24	27	23	1	23	1	0.0	None	2008:10:16	21:11:07	21:23:47	00:12:40	53.7	79.7	OK
25	28	23	1	23	1	0.0	None	2008:10:16	21:03:25	21:19:27	00:16:02	53.9	74.7	OK
26	29	23	1	23	1	0.0	None	2008:10:16	20:55:24	21:02:25	00:07:01	55.1	79.1	OK
27	30	23	1	23	1	0.0	None	2008:10:16	20:43:53	20:54:34	00:10:41	55.2	69.7	OK
28	31	23	1	23	1	0.0	None	2008:10:16	20:33:21	20:42:53	00:09:32	56.0	85.2	OK

Figur 35 Eksempel på automatisk utskrift av dokumentasjon fra injeksjonsriggen.

11 HMS

11.1 Generelt

Berginjeksjon har dessverre vært preget av en del uønskede hendelser. Flere av hendelsene har hatt høyt skadepotensial, og en dødsulykke (i 2005) er forårsaket av svikt knyttet til injeksjonsarbeid. Årsakene til hendelsene er sammensatte, men et vesentlig forhold er utilstrekkelig kunnskap om risikoforhold. NFF's Teknisk rapport nr 08 Sikkerhet ved berginjeksjon, november 2008 er basert på erfaringer bransjen har om uønskede hendelser og tilhørende tiltak.

Sprut av injeksjonsvæske, og utpressing av pakkere har utgjort en stor andel av de uønskede hendelsene. Slike hendelser har ofte vært knyttet til injeksjonsarbeid med høye trykk. Ved hjelp av gode arbeidsrutiner kan faren for sprut reduseres betydelig. Opplæring av alle involverte og god kommunikasjon internt i arbeidslaget er også viktige faktorer.

Bruk av intercom mellom medlemmene i injeksjonslag kan være svært nyttig. Etablering av sikkerhetssone med begrenset adgang foran stuff, samt fysisk sikring av staver mellom hullene er vanlige gjennomførte og gode tiltak.

11.2 Sprutfare

Bruk av riktig verneutstyr er essensielt. Vernebriller og hansker skal alltid benyttes. Tilgang på øyeskyllemiddel nært arbeidsstedet er viktig. Førstehjelpskurs med gjennomgang av øyeskader bør gjennomføres. Erfaringer viser at det kan være viktigere å gi god førstehjelp/øyeskylling enn å bringe den skadde til lege. Støvmaske skal benyttes ved fare for sement eller silika i lufta. Hyppig skylling av hender er nødvendig og bruk av fuktighetskrem forebygger uttørring av hud.

HMS-datablad bør være lett tilgjengelig på arbeidsstedet.

Det er også svært viktig at alt utstyr er sertifisert for det maksimale trykk som skal brukes.

11.3 Utpressing av pakkere

Noen viktige årsaker til utpressing av pakkere er kartlagt:

- Dårlig oppspenning
- Dårlig friksjon mellom pakker og borhull
- Tett oppsprukket berg der pakkeren plasseres
- Feil type pakker benyttes
- Svikt i pakkerens låsesystem

Godt vedlikehold av staver, med særlig fokus på tilstramming av pakkere er viktige for å unngå dårlig oppspenning. Ytterror bør byttes ut dersom det er skadet i anleggsflaten. Gjenger må renses for gammel sement, og gjerne smøres opp mellom hver injeksjonsomgang. Det kan være en god regel å etterstramme pakkeren før slangen kobles på staven. Følg leverandørens anvisninger.

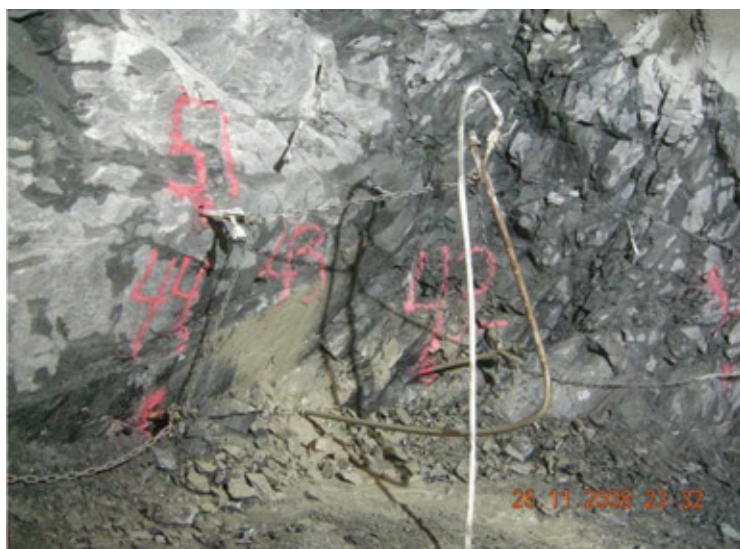
Hull som er "smurt" av injeksjonsmasse vil generelt ha mindre friksjon. Pakkere bør som regel settes i hullene før injeksjonen starter.

Staver med lengde opp til 6 m bør være tilgjengelig slik at pakkeren kan settes langt inn i hullet dersom berget er tett oppsprukket. I tilfeller med ekstremt vanskelig feste for pakkeren kan hele staven og pakkeren gyses fast inne i hullet. Dette vil imidlertid føre til at staven kan gå tapt.

Friksjonskraften som skal holder pakkeren fast i hullet er proporsjonal med borhulldiameteren. Aksiell utpressingskraft for pakkeren derimot, er proporsjonal med kvadratet av borhulldiameteren. Faren for utpressing av pakkeren øker altså med økende borhulldiameter. Dette er det viktig å vurdere ved valg av borhulldimensjon.

Valg av pakker krever at dette forholdet vurderes. Det er viktig å være klar over at det i tette hull (hull uten inngang) kan være en luftlomme under høyt trykk. Løsner pakkeren i slike hull vil den skyte ut av hullet.

Staver kan forankres til berget eller nærstående staver for å hindre at pakkeren glir ut av hullet (se figur 36). Injeksjonsutstyr sertifisert for høye trykk er i dag tilgjengelig som vanlig handelsvare.



Figur 36 Kjetting som holder igjen staven når pakkeren er presset ut

11.4 Observasjon av bergstabilitet under injeksjon

Ved høytrykksinjeksjon er det alltid fare for at bergmassen på stuff og i heng kan bli trykket ut. Ved avslutning av injeksjonshull med trykkoppbygging og liten inngang av masse på grunn av at hullet er tett så vil det være en fare for utknekkning av stuff/heng. En får mest trykk ute mot tunnelrommet. Ser det ut til at sprøytebetongen i heng sprekker opp må man avslutte injeksjonen og trekke seg ut for å sikre ustabil parti.

11.5 Miljøhensyn knyttet til injeksjonsmaterialer

Retningsgivende verdier for alle sementer som blir brukt i Norge oppgir at maksimal mengde vannløselig krom (Cr6+) ikke skal overstige 2 ppm (parts per million). Med andre ord, det tillates altså kun svært små mengder vannløselige krom. Dette er viktig med hensyn på arbeidsmiljøet. Selv små mengder med vannløslig krom kan gi eksem hvis den gjentatte ganger kommer i kontakt med ubeskyttet hud. Det skal derfor alltid brukes hansker ved håndtering av injeksjonsmaterialer.

12 Injeksjon i TBM tunneler

12.1 Generelt

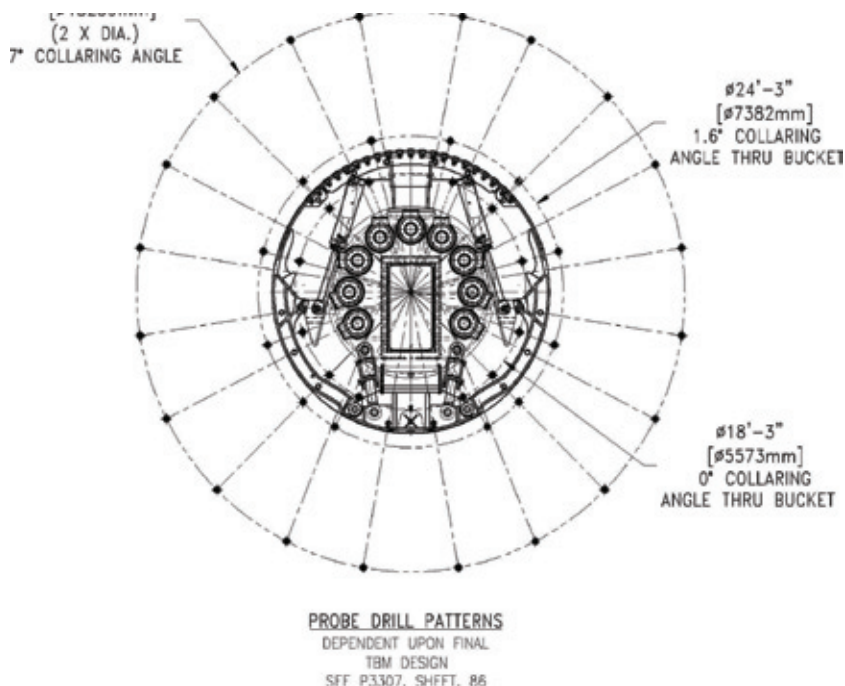
I TBM borede tunneler vil det ofte være behov for forinjeksjon. Formålet med denne injeksjonen kan være:

- Tetting av vannlekkasjer
- Stabilisering av grunnen

I tillegg kan det ofte være nødvendig å bore sonderhull for å undersøke grunnforholdene foran maskinen.

Det er ikke ønskelig å bore sonder- og injeksjonshull gjennom borhodet og normalt vil derfor ansett for slike hull være gjennom spesielle utsparinger i skjoldet bak borhodet.

Spesielt for TBMer med diameter opp til 4-5 meter vil det være begrenset med plass i maskinområdet og det er nødvendig med spesialtilpasset borutstyr. For større maskiner blir plassen i maskinområdet bedre og tilpassing av borutstyret enklere. Muligheten til å variere hullplasseringen vil variere i forhold til hvilken maskintype og diameter som anvendes. Det vil normalt være enklest å tilpasse borutstyret i en åpen maskin. I skjoldmaskiner blir plassen mindre og det kan være nødvendig å trekke ansett av injeksjonshull noe lenger bak i maskinområdet. Ettermontering av utstyr gir kompliserte og uheldige løsninger.



Figur 37 Eksempel på mulig plassering av injeksjonshull.

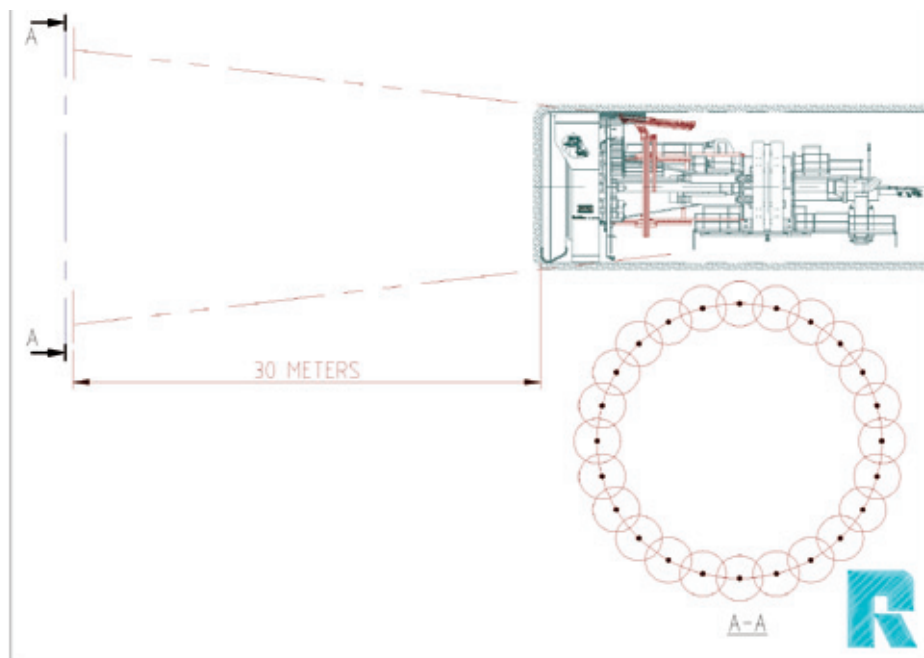
12.2 Praktiske hensyn ved injeksjon fra TBM maskin

Som oftest vil det være behovet for vanntetting som gjør at injeksjonsarbeider må igangsettes. Store vannlekkasjer inn i tunnelen kan hindre fremdriften og / eller det kan være nødvendig å tette slik at det ikke blir senking av grunnvannet med påfølgende setningsskader.

Ved skjolddrift med bruk av segmentringer som føring skal det etterinjiseres i mellomrommet mellom betongsegmentene og berget for å sikre varig tetthet uten bruk av forinjeksjon. Men med mye vann under trykk (mer enn 70 – 100 mvs) vil det kunne oppstå problemer både med skjoldpakninger, forseglinger og etterinjeksjon. I slike tilfeller vil forinjeksjon likevel bli nødvendig.

Injeksjonsteknikken vil være lik den som anvendes i en sprengt tunnel. Tunnelboringen stanses og det bores hull 25- 30 meter foran borhodet i en skjerm som vist i figur 38. Disse injiseres på vanlig måte før tunnelen kan bores frem til det gjenstår normalt 6-8 meter for at det skal bli overlapp til neste injeksjonsomgang. Injeksjonspakkerne må plasseres i tilstrekkelig avstand (normalt ca 2 meter) foran borhodet slik at injeksjonsmassen ikke finner utgang til tunnelen. Dette betyr at det må benyttes lengre injeksjonsstaver enn det som er vanlig i en sprengt tunnel.

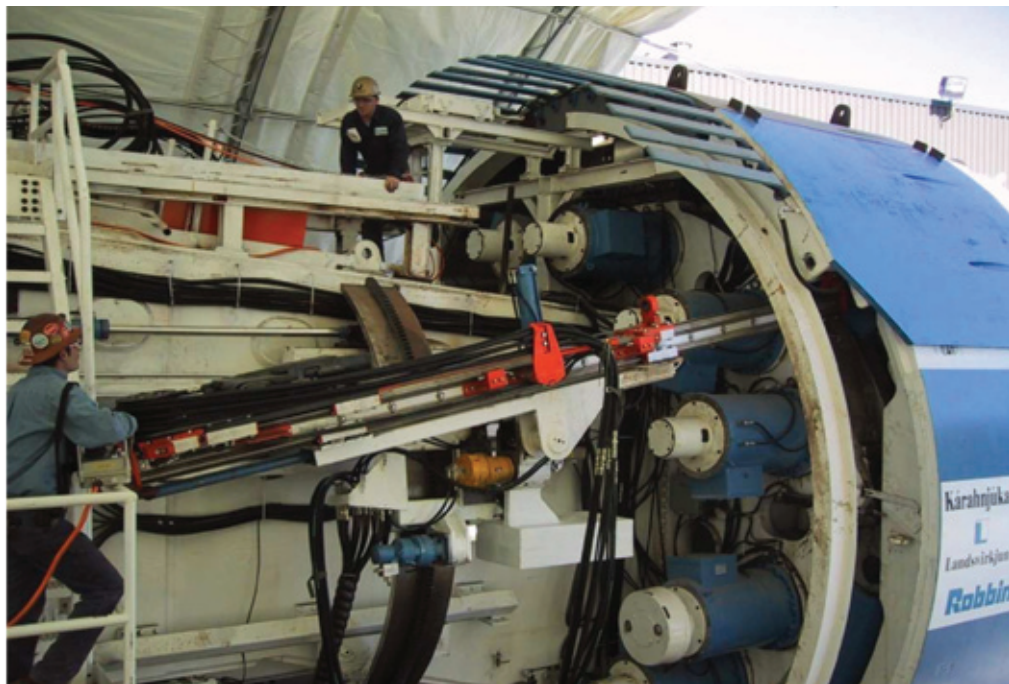
Miksere og pumper plasseres på hensiktsmessig sted i bakriggen slik at tilførsel av sement og andre injeksjonsmidler blir lettest mulig.



Figur 38 Prinsipp for injeksjonsboring ved TBM drift

12.3 Stabilisering av grunnen foran stuff ved TBM drift

Ved enkelte tilfeller kan større forkastningssoner være vanskelig å bore gjennom. En løsning er da å forinjisere disse for dermed å øke stabiliteten. Borprosedyren for injeksjonshullene vil normalt være den samme som for vanntetting, men det kan være nødvendig å benytte andre injeksjonsmaterialer, avhengig av forholdene på stedet.



Figur 39 Sonderbormaskiner på en åpen TBM.

13 Etterinjeksjon

13.1 Generelt

Erfaringer med etterinjeksjon viser at det er vanskelig og tidkrevende å tette innlekkasjer etter at bergrommet er drevet ut. Det er derfor viktig at man bruker nødvendig tid for best mulig å oppnå kravet til tetthet under forinjeksjonen. Der resultatet fra forinjeksjon ikke har vært tilfredsstillende, har man erfart at selv mindre lekkasjer kan være møysommelig å ettertette i en tunnel.

Ved strenge krav til tetthet vil det noen ganger være behov for en viss ettertetting av forinjisert bergrom. For å lykkes med ettertetting er det viktig å ha en gjennomtenkt plan for etterinjeksjonsarbeidet.

Detaljert informasjon om ulike injeksjonsprodukters egenskaper må hentes fra leverandør.

13.2 Praktiske råd ved etterinjeksjon

Generelt anbefales det å tette bergmassen utenfor den sprengningspåvirkede sonen. Denne sonen er erfaringsmessig fra 0,5 til 1,5 meter utenfor konturen. Utenfor denne sonen har man vanligvis en spenningsomlagring (økt normalspenning) som kan være fra halv til hel tunneldiameter utenfor tunnelprofilen.

Før etterinjeksjon påbegynnes bør orienteringen til de vannførende sprekke kartlegges. For undergrunnsanlegg der hele konturen er dekket med sprøytebetong er den ingeniørgeologiske kartleggingen fra drivingen da svært nyttig. Borhullene bør orienteres slik at de krysser vannførende sprekker anslagsvis 5 - 10 meter utenfor profilet. Borhull som påtreffer de største lekkasjene (kanalene) bør i første omgang brukes som avlastningshull. Injeksjonen bør startes etter at alle hullene er boret. Hullene som ligger lengst unna drenasjehullene bør injiseres først. Under denne injeksjonen bør utganger av injeksjonsmasse i størst mulig grad tettes med tjæredrev eller lignende. Før man avslutter injeksjonen i de eller det hull som gir mest utlekkasjevann bør den øvrige injeksjonen være herdet i minimum ett døgn slik at ikke denne injeksjonsmassen vaskes ut når man "plugger" det siste hullet.

Erfaringer med denne fremgangsmåte viser at lekkasjene flytter på seg når et parti er ettertettet. Det er derfor viktig at det bores etterinjeksjonshull i god avstand til begge sider for de observerte lekkasjene. Hvor lang denne avstanden bør være avhenger av anleggets bergoverdekning og bergmassenes oppsprekningsgrad. Om man allikevel får nye lekkasjepunkter må man starte på nytt med boring på de sprekke man mener er de vannførende og gjennomføre samme prosedyren på nytt.

Det er lettere å utføre en etterinjeksjon der man har en utstøpning eller sprøytebetong som tåler litt injeksjonstrykk (1-2 bar). Imidlertid bør prinsippet med injeksjon følge det ovenstående eksempel ved at man injiserer den innerste delen av hullet først (pakningsplassering på 5 meter eller dypere) og derved kan man benytte et høyere trykk samtidig som hovedlekkasjeveien blir injisert først.

Det finnes mange typer etterinjeksjon. Det kan være alt fra injeksjon for boltehull som lekker, mer eller mindre konsentrerte punktlekkasjer ut av berget, til lange strekninger hvor det siver inn mer vann enn akseptabelt.

13.3 Aktuelle produkter til etterinjeksjon av boltehull.

Tetting av lekkasjer fra bolter er kanskje den enkleste formen for etterinjeksjon. Først må man bore seg på boltehullet ca. 0,5 meter innenfor konturen og sette i en liten pakker med tilbakeslagsnippel (samme type som en fettnippel). Man fyller ei lita pumpe med injeksjonsproduktet, kopler slangen på nippelen, og begynner å pumpe.

Et egnet produkt å bruke til dette, er 1-komponent polyuretan (PU) skum. Dette er et flytende produkt som man tilsetter akselerator etter behov. Så lenge det ikke kommer vann til denne blandingen, skjer det ingen reaksjon. Når man så pumper den inn i lekkasjen, vil massen, så snart den treffer vann, skumme opp. Under skumprosessen, vil massen drive seg videre innover mot vannet. På denne måten vil man få ett kompakt skum som tetter vannlekkasjen.

Denne typen PU-skum har fri ekspansjon på ca. 20 – 25 ganger. Det vil si at 1 liter skum ekspanderer til ca 20-25 liter. PU skummet får ikke fri ekspansjon inne langs bolten og må derfor jobbe seg mot vannet, innover i berget. Maksimalt ekspansjonstrykk er ca 8 bar for 1-komponent PU-skum. Skummet er ferdig reagert i løpet av ca 2 minutter.

13.4 Aktuelle produkter til etterinjeksjon av punktlekkasjer

En annen type etterinjeksjon er punktlekkasjer ut av berget. Disse er ofte vanskelige å tette med sementbaserte produkter. Et alternativ er 2- komponent PU-skum. Fordelen med å benytte 2- komponent i stedet for 1-komponent er at 2- komponent skum også reagerer uten at det treffer vann.

2 -komponent PU-skum krever en 2-komponent pumpe som kan pumper like deler av komponent A og komponent B. Komponentene kommer sammen i blandestykket, hvor de blandes før de blir pumpet inn i berget gjennom pakkeren.

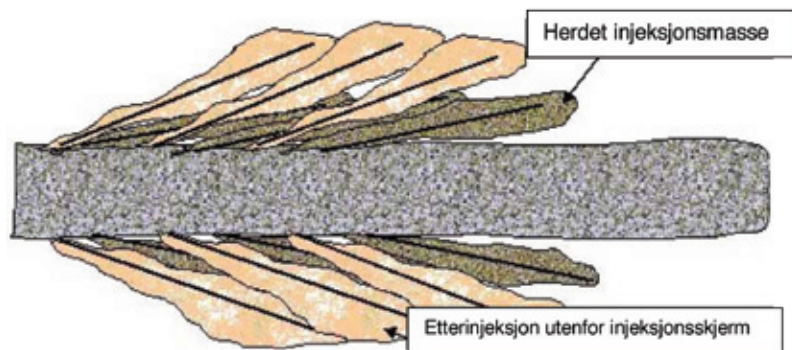
Det finnes mange varianter av 2-komponent PU skum. Alt fra langsomt skummende med lav skumfaktor, til raskt skummende med høy skumfaktor. Til denne type injeksjon foretrekkes vanligvis raske varianter med høy skumfaktor.

Det anbefales å bore minst 2 hull på skrå, slik at disse avskjærer vannførende kanaler ca. 4 – 8 meter inne i berget. Er det en stor lekkasje, må det bores flere drenasjehull hvor man setter åpne pakkere slik at vannet fra lekkasjen dreneres mens det injiseres i de andre hullene.

Man begynner så å injisere på det hullet som avskjærer lekkasjen nærmest tunnelen. Når massen kommer ut av lekkasjehullet, eller lekkasjen stopper, avsluttes pumping og man går til neste hull. På denne måten tetter man den siste delen av lekkasjekanalene først, og fortsetter så å pumpe PU bakover i lekkasjen.

13.5 Aktuelle produkter til etterinjeksjon av store flater

Ved etterinjeksjon av store flater eller lengre strekk i en tunnel, må man i prinsipp tenke tilsvarende som ved forinjeksjon. Her er man ikke ute etter å blokkere en enkeltlekkasje, men å penetrere sprekker slik at vannsivet stopper.



Figur 40 Prinsipp for utførelse av etterinjeksjon, etterinjeksjonshullene bør bores i motsatt retning av forinjeksjonshullene.

Ved denne typen etterinjeksjon, blir det gjerne benyttet mikrosement eller kolloidal silika. Det er viktig å bruke produkter med best mulig inntregningsevne. Der bergmassen har blitt injisert tidligere kreves det god penetrasjonsevne for å bedre tettheten. Kolloidal silika er et produkt som gir god penetrasjon og har vist gode resultat ved denne typen arbeider. Utstyret for denne typen injeksjon er normalt samme injeksjonsrigg som benyttes til forinjeksjon.

Etterinjeksjonshullene bør bores i motsatt retning av forinjeksjonshullene, og de kan med fordel bores i fiskebeinmønster. Man borer hull som går dypere inn enn den som ble brukt til forinjeksjon. Når denne fiskebeinsskjermen er injisert, trekker man seg for eksempel 5 meter tilbake og slår en ny skjerm. På denne måten vil massen fra skjerm 2 "butte" i den første skjermen og tette berget ut mot tunnelen.

Før man starter en slik "baklengs fiskebein framdrift" settes det gjerne en sperreskjerm. Dette er en skjerm som settes 90 grader på tunnelretningen. Tanken er at denne sperreskjermen skal sperre for massen i den første fiskebeinsskjermen.

13.6 Kolloidal silika

Kolloidal silika er en spesiell type silika i flytende form. Det er et mineralsk injeksjonsprodukt, som ikke må forveksles med silikaslurry. Kolloidal silika benyttes vanligvis der det ikke har lyktes å oppnå tetthetskravet med sementbaserte injeksjonsmidler, men det kan også benyttes som forinjeksjon ved krevende forhold.

Kolloidal silika har en viskositet på 5 mPa·s (milliPascalsekund) når den er klar til bruk. Dette er svært nær viskositeten til vann som har 1mPa·s ved 20 °C. Kolloidal silika har svært små partikler, med en gjennomsnittlig kornstørrelse på 0,016 mikron. Disse partiklene er løst i vann.

I utgangspunktet er partiklene i kolloidal silika negativt ladet. Ved å tilsette en saltvannsløsning som katalysator vil de positivt ladede natriumpartiklene føre til at silikapartiklene "kolliderer" med hverandre, og det dannes en gel. Denne gelen utvikler styrke over tid.

Normalt brukes vanlig koksalt, NaCl i saltvannsløsningen, men andre typer salt, som for eksempel vegsalt kan også anvendes. Jo mer salt man tilsetter, jo raskere geltid får man. Vanligvis benyttes en 10 % saltløsning (1 kg salt til 9 liter vann som gir en egenvekt på 1,07 kg/l). Man kan fritt justere åpentiden fra ca 10 minutter til 2½ time med full kontroll. Vanlig åpentid ved berginjeksjon er 20 – 40 minutter.

Temperaturen vil innvirke på hvor raskt gelen dannes, slik at det anbefales å utføre noen prøveblandinger ved stoff for å justere åpentiden før selve injeksjonen starter.

Saltløsningen er kun en katalysator og inngår ikke i selve geldannelsen. Erfaringene viser at det vil lake ut salt fra prosessen de første to ukene etter injeksjonen, men at dette etter hvert stopper helt opp.

Vanlig injeksjonsutstyr egner seg godt for injeksjon med kolloidal silika. Man blander silika og saltvannet i blanderen, og injiserer på vanlig måte. For å unngå klumpdannelse er det viktig at blanderen med kolloidal silika går når saltvannsløsningen tilsettes.

Kolloidal silika er ikke merkepliktig da produktet ikke er helsefarlig for mennesker og miljø.

13.7 Kombinasjonsinjeksjon

I enkelte tilfeller kan det være aktuelt å blande ulike injeksjonsmaterialer for å løse vanskelige tilfeller. Et eksempel på kombinasjonsinjeksjon kan være å bruke polyuretan i kombinasjon med tradisjonell sementinjeksjon (ca. 5-10 % av sementmengden), for å minske forbruket av sement. Sementmengden kan reduseres når injeksjonen styres med et ikke vannløselig material med kontrollert reaksjonsprosess. En 1-komponent polyuretan kan foreksempel brukes som tilsetningsstoff til sement når:

- Sementen pumpes inn i berget uten at mottrykk oppnås og sementforbruket blir unormalt stort
- Sementen ikke rekker å herde før den renner ut på stoffen (stoppemiddel)

For å få den ønskede effekten anbefales det å innhente erfaringer med blanding fra de aktuelle materialleverandørene før denne type løsning velges.



Figur 41 Forsøk som viser spredning av polyuretan.

14 Funksjonskrav

14.1 Bestemmelse av funksjonskrav

Når det skal settes funksjonskrav til inn- eller utlekkasjer i et undergrunnsanlegg, er det en rekke forskjellige forhold som kommer i betraktning. Disse kan grovt deles i tre hovedgrupper:

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

Et vesentlig spørsmål er hvordan funksjonskrav bør utformes og hvilke metoder man har for å følge opp at funksjonskrav blir oppfylt. I dag blir oppfølging og kontroll av funksjonskrav knyttet til følgende metoder:

- Vanntapsmålinger i berget før og etter injeksjon.
- Innlekkasjemålinger (utlekkasje) i anlegget.
- Poretrykk- og grunnvannstandsmålinger i berg og løsmasser rundt anlegget samt setningsmålinger på omkringliggende bebyggelse.

Ingen av disse metodene kan benyttes alene. De metoder som bør velges avhenger av de krav som stilles.

14.2 Fastsettelse av innlekkasjekrav

Vurderinger knyttet til innlekkasjekrav baseres på følgende faktorer:

- Anleggets formål
- Anleggets plassering
- Anleggets overdekning og størrelse
- Lekkasjekonsekvenser – økonomiske og miljømessige (inkludert omdømme)
- Sikkerhetsmessige forhold
- Permanent og midlertidig funksjonskrav
- Økonomi

Maksimal tillatt innlekkasje gis vanligvis som liter pr. minutt pr. 100 meter tunnel/bergrom.

Iskjøving i frostsone i en tunnel vil oppstå ved drypp og mindre vannsig.

Utlekkasje fra et gass- eller oljelager må vurderes på bakgrunn av sikkerhetsmessige og miljømessige forhold. Klima- og forurensningsdirektoratet (Klif) og Direktoratet for brann- og eksplosjonsvern (DBE) må normalt godkjenne/fastsette funksjonskravet.

Tabell 6 Eksempler på typiske innlekkasjekrav

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

14.3 Innlekkasjekrav ut fra hensyn til omgivelsene

Følgende konsekvenser må vurderes når det skal fastsettes hvilke toleransekrav omgivelsene stiller til et undergrunnsanlegg:

- Mulighet for drenering av og setning i omkringliggende løsmasser.
- Svelling i alunskifer.
- Skader på skog og jordbruk ved endret grunnvannstand.
- Miljømessige påvirkning av overflatevann og plante- og dyreliv.
- Reduksjon av grunnvannsmagasiner (brønner).
- Mulighet for forurensning fra utlekkende gasser og væsker.
- Sulfatholdige bergarter (eksempelvis OPS E18 Grimstad - Kristiansand)

På grunn av konsekvensene av grunnvannssenkning er kravene til tetthet i undergrunnsanlegg i byområder med bebyggelse fundamentert på løsmasser svært strenge. Det er svært ønskelig/nødvendig med poretrykkmålinger i god tid (minst 1 år) før anleggsstart. I praksis kan det på de mest ømfintlige områder ikke tolereres synlige lekkasjer på stuff. Dette stiller meget strenge krav til både planlegging og utførelse av injeksjonsarbeidet. I disse tilfellene bør det også planlegges en beredskap med vanninfiltrasjon og eller vanntett utstøpning.

Skadekonsekvenser er ikke alltid direkte økonomiske målbare, og det kan oppstå skader og ulemper som følge av drenasje som man på forhånd ikke har full oversikt over. I byer og tett bebygde områder kan man ikke bare se på et enkelt tunnelanlegg isolert, men må vurdere påvirkning fra eksisterende undergrunnsanlegg og kanskje også fremtidige tunnelanlegg i det samme området. I Oslo-området har dette ført til at kravene til innlekkasje i nye tunnelanlegg stadig har blitt skjerpet.

14.4 Innlekkasjekrav for selve anleggsdriften

Følgende hensyn må vurderes når det skal fastsettes hvilke innlekkasjekrav som bør stilles av hensyn til selve anleggsdriften:

- Hindre større vanninnbrudd
- Problemer og kostnader forbundet med utpumping av vann.
- Spesifisering av maksimal pumpekapasitet for dykkede anlegg
- Stabilitet av bergrommet
- Arbeidsmiljø
- Redusert kvalitet på støpearbeider.
- Bestemmelse av maksimal innlekkasje med tanke på utførelse av sikring ved bolting, sprøytebetong, utstøpninger etc.
- Bestemme maksimal tillatt innlekkasje på stuff med tanke på boring av salver
- Unngå ladeproblemer
- Merknader ved bruk av patronert sprengstoff på grunn av store vannlekkasjer
- Bestemmelse av maksimal tillatt innlekkasje med tanke på utvasking av kjørebane

For undergrunnsanlegg der omgivelsene ikke stiller særskilte krav til maksimal innlekkasje, bestemmes injeksjonsomfanget ut fra ulemper innlekkasjer har for anleggsdriften. Krav til pumpekapasitet er forskjellig avhengig av drift på synk eller stigning. Vanlig pumpekapasitet for en anleggspumpe er rundt 500 l/min ved 50 meter mottrykk og 2000 l/min ved 15 meter mottrykk. Grenseverdien for hvor stor lekkasje som kan tillates med hensyn til anleggsdriften kan derfor være

i størrelsesorden 1000 - 2000 l/min. Dette vil variere fra anlegg til anlegg og vil avhenge av så vel geologiske som anleggsmessige forhold.

Med hensyn til tunneldrift på flat såle kan drengroftenes kapasitet bli for liten slik at det kan bli nødvendig med rørledning og pumper for å holde veibanen i orden.

14.5 Innlekkasjekrav av hensyn til undergrunnsanleggets funksjon

Følgende momenter bør vurderes når innlekkasjekrav skal fastsettes ut fra undergrunnsanleggets funksjon:

- Iskjøving
- Levetid på tekniske installasjoner (korrosjon)
- Problemer og kostnader forbundet med utpumping av vann (spesielt for lavbrekk/undersjøiske tunneler)
- Overledning i elektriske anlegg
- Betydning av fuktig miljø for kvalitet, levetid og driftskostnader
- Utlekking fra undergrunnsanlegg
- Trafikk og sikkerhetsaspekt

Ulike bruksområder for undergrunnsanlegget stiller forskjellige krav til omfang av tetting. Her er det gitt noen eksempler på hvilke vurderinger som bør gjøres for ulike anleggstyper:

• Samferdselstunneler

Dersom omgivelsene ikke stiller krav til maksimal innlekkasje bestemmes injeksjonsomfanget ut fra en vurdering av sikkerhet og levetidskostnader. Det bør da gjøres en kost/nytte vurdering av injeksjon sett i forhold til kun avskjerming/drenering. I de fleste tilfeller er det uhensiktmessig kostbart å injisere bergmassen rundt et undergrunnsanlegg så tett at vannavskjerming kan unnlates. Der omgivelsene stiller krav til omfattende injeksjon kan nødvendig omfang av vann- og frostsikring i enkelte tilfeller reduseres. Statens vegvesen har et prosjekt (Moderne vegtunneler) hvor man ser på 100-års levetidsperspektiv for bergkonstruksjonen. Økt omfang av berginjeksjon er et av flere tiltak som vurderes for å øke kvalitet/levetid.

• Undersjøiske tunneler

Undersjøiske tunneler har et uendelig reservoar av vann over seg. Levetidskostnader og driftskostnader i forbindelse med utpumping av lekkasjevann må sees i forhold til investeringer i forinjeksjon.

• Vanntunneler

Tapt produksjon som følge av lekkasjer fra tunnelsystemet ved aktuelle driftsvanntrykk må vurderes i forhold til kostnader til injeksjon. Tunneler som normalt skal være vannfylte vil kunne stå tomme i perioder. Miljøkonsekvenser på grunn av innlekkasjer må derfor vurderes. Akseptabel innlekkasje må vurderes i forhold til heft forbundet med vedlikehold av tunnel eller installasjoner.

• Gasslagre og lagring av LNG

Ved vurdering av utlekkasje fra gasslagre i berg hvor gass skal stå under trykk, må man ta hensyn til at gass lettere slipper gjennom slepper og sprekker enn vann. Som en tilnærmet regel kan man regne med at forholdet mellom penetrasjonsevnen til vann i forhold til gass (luft) er 1 til 100. Kravet til tetthet er så stort at man må regne med å benytte avansert injeksjonsteknologi. Dette vil i praksis si at tettearbeidene kan bli en betydelig økonomisk faktor. Ved gasslagre er forurensningsproblematikk også avgjørende

når injeksjonsomfanget skal bestemmes. En problemstilling som må vurderes er oppsprekking som følge termospenninger forårsaket av at nedkjølt gass trenger inn i eksisterende sprekker.

- **Trykktunneler**

Utlekkasje fra trykktunneler kan oppstå der minste hovedspenning σ_3 er mindre enn vannets trykkehøyde. Det finns eksempler på utlekkasje fra slike anlegg med tildels betydelige skader og store reparasjonsutgifter som følge. Selv om man ved en injeksjon vil kunne redusere lekkasjen i sprekkesystemet, vil det fortsatt være fare for utvasking av sleppematerialet og derved tiltakende lekkasje.

- **Varelagre og publikumshaller**

For berghaller til publikum og varelagring vil injeksjonsomfanget normalt være bestemt av anleggstekniske forhold og levetidskostnader. For lagring av fuktighetsømfintlige produkter vil avskjerming/drenering i de fleste tilfeller være nødvendig. Tettheten kan avveies mot nødvendig temperatur/friskluftsystem.

14.6 Spesialinjeksjon i overgang fra løsmasser til berg

For påhugg til bergtunneler som ligger i setningsutsatt område, eller for sjakter som går gjennom både jord og berg, i særlig sensitivt område eller for særskilt bruk kreves tettetilak tilpasset den aktuelle situasjonen. Bruk av gamle gruver som deponi for farlig avfall kan være eksempel på prosjekt der det må stilles tilpasset krav til injeksjonsopplegget.

Injeksjon utføres i flere trinn med eksempelvis 3 pakkerplasseringer. Det brukes en kombinasjon av polyuretan og sementbasert injeksjon, der første injeksjonstrinn etablerer en tettegardin eller kappe. Dermed vil påfølgende injeksjonsomgang kunne utføres med bedre mottrykk.

Kunnskap og erfaring fra injeksjon av damfot ved stort antall damprosjekter gir godt grunnlag for tettestrategi. Imidlertid har en ikke på samme måte tilgang til rensket bergoverflate. Overgangssonen og den grunneste bergmassen må derfor ofres grundig omtanke. Først etableres en tett overgang mellom tett støttevegg (slissevegg, spunt, rørsput, sekantpeler) og berg. Flere metoder kan være aktuelle; geometri og geotekniske forhold avgjør hvilken vil være best egnet. I sand og grus kan jet-injeksjon gå bra, i leire må en gjerne ty til en spesiell jet-injeksjon. Det innebærer utstøping av utspylt hulrom (EC-1, Triplex jet-grout). I faste, permeable masser kan jordinjeksjon med "Tub-a-manchette" fungere. En skal ta i betraktning at disse metodene primært er utviklet for å oppnå stivhet og styrke, ikke for tetthet. En en-komponent PU vil bidra til økt tetthet. For sjakter og tunnelpåhugg bør den tette støtteveggen føres et stykke inn i berg. Det er mulig med bruk av eksempelvis sekantpeler og rørsput.

Tetting må ofte skje via lange føringsrør i jord/støttevegg og utføres med tett hullmønster i flere intervaller med gradvis trykkøkning og gjentatt oppboring gjennom "dagbergsonen". Når innlekkasjekravet er strengt må en sikre seg kontroll over resultatet før innvendig utgraving i jordseksjonen kan fullføres.

Ett eksempel på komplisert tetting kan hentes fra Møllenberg i Trondheim. Tunnelsystemet bygges i perioden 2010 – 2013 og omfatter bl.a. overgang fra løsmassetunnel til bergtunnel. Det er strenge krav til innlekkasje. Typisk situasjon er 15 m kvikkleire over berg der det etableres forskjæring og tunnelpåhugg. Spuntveggen utføres med rørsput som bores 1 – 2 m inn i berget og støpes fast med sementmørtel. Injeksjonsskjerm bores i styrerør med senteravstand ca 70 cm til en dybde på ca 10 m under bunn forskjæring. Det injiseres i flere omganger med gjentatt oppboring. Injeksjon utføres med en kombinasjon av PU og sement, der PU i hovedsak benyttes for å oppnå en kappe i den grunneste sonen. Spuntvegger med injeksjonsskjerm utgjør en lukket karm som testes for tetthet med prøvepumping før innvendig utgraving under grunnvannsstand påbegynnes.

14.7 Kriterier for når det skal injiseres

Ved undergrunnsanlegg med strenge krav til inn- eller utlekkasje og krevende grunnforhold er det nødvendig med omfattende grunnvannskontroll for å bestemme injeksjonsopplegget. I tillegg til de forholdene som er omhandlet i tabellen vil det også være nødvendig å ta i betraktning levetid/driftskostnad.

Tabell 7: Forhold som har betydning for beslutning av injeksjonsstrategi

Type anlegg	Krav til tetthet	Omgivelser	Omfang av injeksjon	Injeksjons-middel	Alternativ/supplement
Kraftverks tunneler	Ikke tap av vann som gir økonomiske driftskonsekvenser	Grunnvannsendring	Sporadisk (behovsprøvd)	Sementer	Utforing, (stål, betong)
Samferdsels-tunneler					
\tettbebygde strøk	Unngå skade på omgivelsene	Grunnvannsenkning og setninger	Systematisk injeksjon	Sementer	Avskjerming, drenering, vannfiltrasjon
	Vannisproblemer i tunnel			Kjemiske midler	Vanntett utstøpning
\undersjøiske	Pumpekapasitet/økonomi	Uavhengig	Ut fra systematisk sonderboring	Sementer	
	Vannisproblemer i tunnel			Kjemiske midler	Avskjerming, drenering. Vanntett utstøpning
\øvrige	Vannisproblemer i tunnel Krav i drivefasen	Grunnvannsenkning	Etter sonderboring i på forhånd kartlagte soner	Sementer	
Olje-gasslagre	Gasstett, hindre forurensning	Forurensning	Etter sonderboring	Sementer	
	Driftskostnader			Kjemiske midler	Vannfiltrasjon
Varelagre	Avhengig av type lager	Grunnvannsenkning, setninger	Avhengig av type lager og varer	Sementer	Avskjerming, drenering
				Kjemiske midler	

14.8 Teknisk og økonomisk vurdering ved valg av injeksjonsstrategi

For flere av samferdselstunnelene som har blitt drevet i Oslo-området på 2000-tallet har kostnadene til berginjeksjon vært i samme størrelsesorden som kostnadene til driving og sikring. Det er derfor svært viktig å gjøre en grundig vurdering av både nødvendig omfang og valg av injeksjonsopplegg ved planlegging av prosjekter hvor det er behov for omfattende berginjeksjon. I slike vurderinger bør det tas stilling til:

- Nødvendige innlekkasjekrav
- Injeksjonsmetode
- Eget utstyr
- Egnede materialer

Maksimalt tillatt innlekkasje setter kravet til hvor omfattende injeksjon som må utføres, men det vil som regel være flere løsninger som tilfredsstiller kravet. Antall hull som er nødvendig i skjermen må vurderes opp mot hvor høye trykk som kan tillates og bergmassens injiserbarhet.

Kostnader ved forinjeksjon vil være betydelig høyere dersom det må injiseres mer enn en omgang før det kan drives videre. For noen definerbare situasjoner vil det være nødvendig å injisere i to omganger. Det kan være situasjoner der man må "stenge" noen grove kanaler, "stenge" mot tilbakestrøm, forspenne sprekker som har lite lukketrykk eller legge en ytre skjerm før man injiserer hovedskjermen (kap. 4.2). Når/hvis det vurderes å være sannsynlig å greie seg med én injeksjonsomgang bør det velges hullavstander og injeksjonsmaterialer for faktisk å klare tetthetskravet.

Inntrengningsevnen til industrisement er lavere enn hos mikrosement slik at i tungt injiserbare bergmasser må det kompenseres med tettere hullmønster. En aktuell vurdering vil derfor være å sammenlikne kostnader for ekstra bormeter opp mot prisdifferanse mellom for eksempel mikrosement og industrisement. Dette er en forenklet framstilling og vil i stor grad avhenge av oppsprekkingsmønsteret til bergmassen.

Et annet aspekt i totalkostnadsbildet er knyttet til verdistigning og kostnader ved venting og stopp i drivingen. Dette aspektet må vurderes ved valg av metode og utstyr og materialvalg.

Man må være klar over at selv de fineste sementene vil ikke kunne nå lekkasjekanaler som det ikke er direkte kommunikasjon til, selv ikke med høyt trykk og masser med høy inntrengningsevne.

Ved strenge innlekkasjekrav og tungt injiserbar bergmasse må man normalt bore tett for å øke sannsynligheten for å treffe lekkasjekanalene, slik at de kan injiseres.

15 Kontrakt

15.1 Utvikling av oppgjørsform for injeksjonsarbeider

Historisk sett har god tunnelproduksjon ofte blitt knyttet til høy inndrift, det vil si flest mulig tunnelmeter pr. uke. I et slikt bilde ble ofte behov for injeksjon sett på som "plunder og heft" i forhold til den "egentlige" produksjonen. I de senere års kontraktsbeskrivelser er oftest begreper som stopptid og hefttid byttet ut med injeksjonsarbeid og injeksjonstid, og forståelsen for at injeksjonsarbeidet er en viktig del av tunnelproduksjonen har økt hos alle involverte. Dette er en positiv utvikling.

15.2 Insitamenter, risiko og ansvarsfordeling

Det er en god hovedregel at oppgjørsform og insitamenter i kontrakten forsøker å plassere risiko og ansvar hos den aktøren som er nærmest til å påvirke risikoen. Dette vil eksempelvis si at risiko for produktivitet/kapasitet som avhenger av geologi og grunnforholdene ikke bør bæres av entreprenøren, men av byggherre.

Videre kan det være forhold som entreprenøren er nærmest til å påvirke, det være seg produktivitet som en følge av kvalitet på utstyr eller personell som det blir urimelig at byggherren skal bære risikoen for.

Et viktig prinsipp for ansvarsfordelingen er at den blir mest mulig balansert mellom partene, og at partene evner å håndtere eventuelle uenigheter underveis på en profesjonell og smidig måte.

15.3 Anbefalt oppgjørsform

Den tidligere oppgjørsformen med at entreprenørens arbeider knyttet til injeksjonsarbeider i hovedsak kun skulle oppgjøres gjennom en fastsatt enhetspris for injeksjonsmaterialet uavhengig av tidsforbruk frarådes. De senere modellene hvor injeksjonsarbeidene i hovedsak gjøres opp etter medgått tid anses som en balansert oppgjørsform som i langt større grad plasserer risikoen riktig sted, og sikrer et bedre resultat både for kvalitet og HMS.

Vurder om det i anbudsgrunnlaget bør skille på injeksjonstid innenfor og utenfor normal arbeidstid i tunnel.

Et slikt avregningsprinsipp som nærmer seg et regningsarbeid i formen krever tett dialog og oppfølging mellom partene, og en gjensidig tillitt. Kapasiteter til utstyr, krav til bemanning/kompetanse etc. bør beskrives best mulig på forhånd, men samtidig må partene evne å tilpasse/endre opplegg ved behov. Medgått tid til injeksjonsarbeider bør gi tilsvarende byggetid gjennom et ekvivalenttidsregnskap.

Slik prosesskoden er bygd opp er boring av injeksjonshull en ren meterpris. Siden kapasitet på boring også avhenger av bergets beskaffenhet, kan gjerne tidsavhengige kostnader for boring også vurderes avregnet etter en egen rate for borrhøg og mannskap. Et slikt prinsipp ble benyttet av Jernbaneverket på Jong-Asker utbyggingen. En ulempe ved at boringen også gjøres opp etter timer, er at det kan oppstå diskusjoner rundt oppnådd kapasitet i forhold til hvilke krav som er satt i kontrakten (ofte 80-90 bm/time).

For alle kostnader og arbeider med selve injeksjonen avregnes dette etter avtalt timerate og virkelig tidsforbruk, injeksjonstid. Her er det ofte satt krav til 3 separate injeksjonslinjer, og diskusjon kan oppstå dersom ikke alle linjer er i bruk. Her må byggherre og entreprenør i fellesskap finne riktig balanse mellom kapasitet og tilstrekkelig kontroll på pumping/injeksjonsforløp.

Materialer gjøres opp etter materialkostnad og levert kvantum injeksjonsmiddel.

Uavhengig av oppgjørsform vil et riktigst mulig estimat for de ulike mengder (bm, kg, timer, ekvivalenttid etc) i konkurransegrunnlaget være et viktig suksesskriterie.

16 Hydrogeologi og berginjeksjon

16.1 Vannstrømning i bergmassen

De fleste bergarter i Norge har liten evne til å transportere vann (en lav hydraulisk konduktivitet.) Grunnvannsstrømningen foregår langs sekundære strukturer eller sprekker og kanaler som dannes når bergarten blir utsatt for spennings- og temperaturendringer. Bergmassen i fastlands Norge er altså en sprekkeakvifer og betydningen av porer er neglisjerbar. Forskjellige bergarter har forskjellig oppsprekningsintensitet og mønster. De mekaniske egenskapene til bergarten og den geologiske historien til området er avgjørende for oppsprekningen.

Vannledningsevnen i bergmassen er avhengig av den hydrauliske konduktiviteten til den enkelte sprekke, samt forbindelsen i sprekkenettverket for området. Strukturer i bergmassen som forkastninger, folder og bergartsgrenser har en mye høyere sprekkeintensitet enn resten av bergarten. Disse sonene kan på grunn av den høye sprekkeintensiteten ha en mye høyere hydraulisk konduktivitet enn sidebergarten. Forkastningssoner kan være både hydraulisk ledende og forseglende. I soner der det har foregått store bevegelser i forkastningssoner kan nedknusningen ha gitt mye finmateriale som kan gjøre sonen forseglende i forhold til områdene rundt og derved skape en grunnvannsbarriere.

Den vanligste tilnærmingen for å beregne strømning i en bergmasse er å regne på laminær strømning mellom to parallelle plater. I virkeligheten kan imidlertid mye av strømmingen foregå i "kanaler" som kan oppstå i skjæringen mellom to sprekker. "Kanalene" kan også dannes som følge av skjærdeformasjoner langs en ru (ujevn) sprekkeoverflate eller som følge av lokal utvasking eller oppløsning av fyllingsmateriale på sprekker.

16.2 Modellering av grunnvannsstrømning i berg

Innstrømning av grunnvann til et tunnelanlegg i berg og innvirkningen på poretrykk og grunnvannsstand i omgivelsene rundt er et meget komplisert modelleringsproblem. De viktigste årsakene er:

- En bergmasse er et meget komplekst strømningsmedium, der hydraulisk konduktivitet på sprekker og kanaler varierer mye innen korte avstander, ofte i et meget komplekst 3-dimensjonalt mønster.
- Bergmassene er ofte overlagret av jordmasser som også kan ha sterkt varierende hydraulisk konduktivitet, for eksempel fra grusig sand med typisk $k=10^{-4}$ m/s til leire med typisk $k=10^{-9}$ m/s.
- Kompleks topografi i området som innebærer store forskjeller i naturlig avrenning og infiltrasjon. Effektiv infiltrasjon eller mating av grunnvannet er selvsagt også sterkt avhengig av løsmassenes og bergets hydrauliske konduktivitet, og om man er i urbane strøk hvor mye nedbør blir fanget opp i overvannsanlegg eller i uforstyrret mark.
- På grunn av variasjoner i effektiv infiltrasjon gjennom året vil man alltid ha variasjoner i grunnvannsstand og poretrykk selv om lekkasjeforholdene eller hydraulisk konduktivitet i grunnen ellers er konstant rundt tunnelanlegget.
- Hvis man inkluderer umettet sone og jord/bergs magasinerende evne blir modellering av vannstrømning og dets effekter enda mer komplisert. Disse aspektene kan være viktige for modellering av transiente tilstander i områder med løsmasser.

I tillegg til at modellering av strømningsproblemet i seg selv er meget komplekst, er det en stor utfordring ved forundersøkelser å få bestemt de virkelige variasjoner man har i løsmassenes og bergets hydrauliske konduktivitet.

16.3 Vannbalanse

Den naturlige vannbalanse/grunnvannstrøm i et område er bestemt av en rekke forhold som vist her:

- Nedbør
- Størrelse på nedslagsfelt
- Hvor mye av nedbøren som fordampes
- Hvor mye av nedbøren som renner av på overflaten

Disse parametrene bestemmer hvor mye vann som virkelig infiltreres ned i grunnen. I tillegg vil følgende parametre bestemme vannets oppførsel i grunnen:

- Permeabilitet i jord og berggrunn
- Jord- og bergmassenes magasinierende evne
- Tilstedeværelse av og infiltrasjon fra åpne grunnvannsmagasiner (vann, elver, bekker)

Virkningen av en tunnellekkasje for grunnvannsbalansen vil være avhengig av de samme faktorene. Tunnelens påvirkning på poretrykk og grunnvannstand vil også være avhengig av tunnelens dybde under grunnvannstand. Et sentralt begrep i denne sammenheng er influenssonen, det vil si det området omkring tunnelen hvor poretrykk/grunnvannstand blir påvirket.

16.4 Beregning av innstrømning i bergrom

For en tunnel beliggende i et ideelt isotropt homogent bergmassiv med konstant permeabilitet i en viss dybde under grunnvannsnivå kan innstrømning til tunnelen beregnes fra:

$$Q = \frac{2 \cdot \pi k h}{\ln(2 h/r - 1)}$$

der

h = dybde under grunnvannstand

r = tunnelens radius

k = bergets permeabilitet

16.5 Strømningsintensitet

Hvis grunnvannstanden skal forbli upåvirket må tilførselen av overflatevann lokalt tilsvare den beregnede strømningsintensiteten gjennom bergoverflaten.

Den naturlige effektive tilførsel av overflatevann i form av nedbør er vesentlig mindre enn middelnedbøren sett på årsbasis. Den effektive infiltrasjonskoeffisienten avhenger av en lang rekke faktorer slik som topografi, overflatens natur, jordsmonn og fordampning. Det foreligger liten informasjon om dette for bystrøk, men det er antatt at bare 15% av nedbøren i Oslo sentrum tilføres grunnvannet.

17 Konsekvenser av innlekkasje i undergrunnsanlegg

17.1 Sammenheng mellom innlekkasje og influensavstand

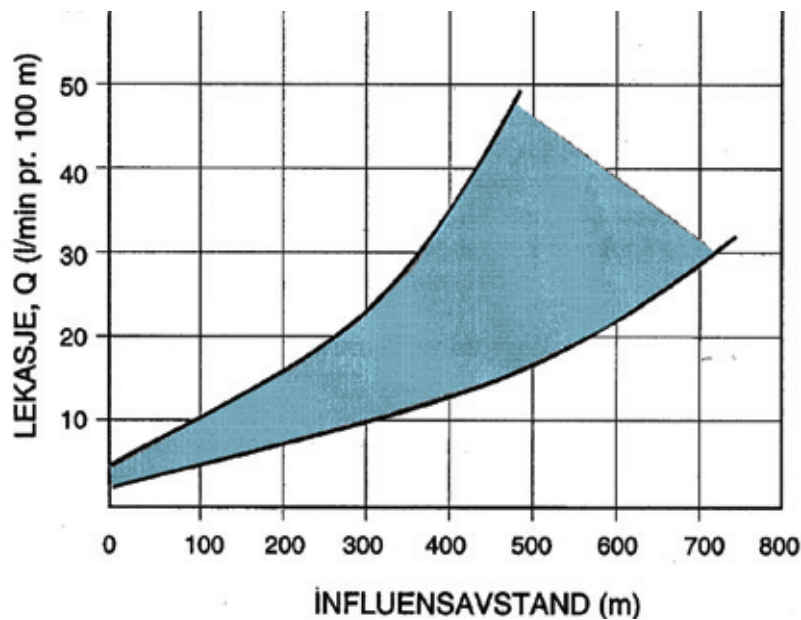
Erfaringer fra prosjektet "Miljø- og samfunnstjenelige tunneler" viste hvordan influensavstanden varierer med avstanden fra tunnelen.

17.2 Sammenheng mellom innlekkasjer og poretryksreduksjon

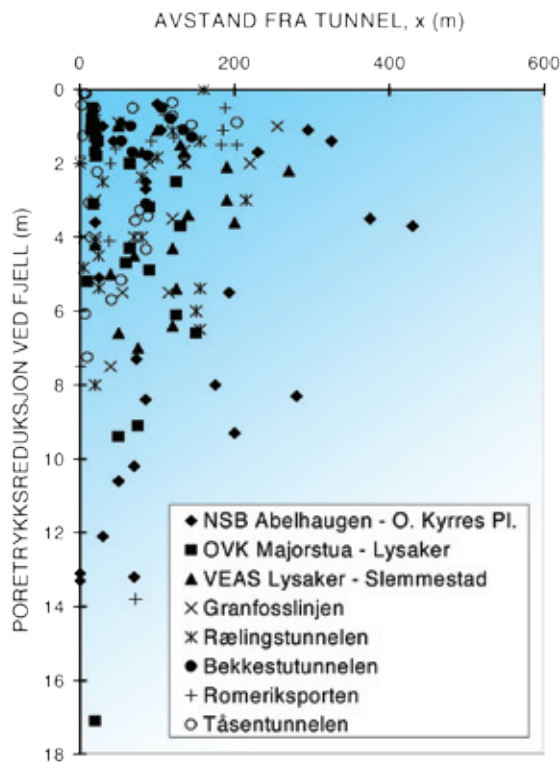
Problemer med poretryksreduksjon er ofte knyttet til dyprenner. Når en leirfylt dyprenne får redusert poretrykk ved bergoverflaten vil en konsolideringsprosess settes i gang, og poretrykket oppover i leira vil gradvis synke. Hvis leirlaget er av en viss mektighet, og det er en viss tilgang på overflatevann, vil øvre grunnvannstand bli lite influert. Likevektsporetrykket ved stasjonær strømming er da bestemt av permeabilitetsvariasjonene gjennom leirlaget, og blir lineært hvis permeabiliteten er konstant med dybden.

Forhold som påvirker den naturlige vanntilførsel til dyprenner er rennens dybde, bredde og lengde og områdets topografi. I tillegg må følgende forhold vurderes:

- I hvilken grad det er mer permeable vannførende avsetninger (grus, morene) i overgangen mellom leire og berg.
- Omfang og orientering av spesielt vannførende sprekkesoner i berget (f.eks. diabasganger, knusnings-soner eller forkastninger/tensjonssprekker) og i hvilken grad de er direkte gjennomskåret av tunnelen.
- Hvor god tetting som er oppnådd og hvordan lekkasjene i tunnelen fordeler seg lokalt.



Figur 42 Influen savstand i forhold til innlekkasjenivå.



Figur 43 Målt poretrykksreduksjon ved bergoverflaten, i forhold til avstand fra tunnel.

Lekkasje, q (l/min/100 m)	Poretrykksreduksjon ved berg Δu_f (m)	Maksimal influensavstand (m)
< 1	0	0
1 - 3	0 - 2	0 - 200
3 - 5	2 - 4	100 - 400
5 - 10	4 - 6	200 - 600
10 - 20	6 - 8	300 - 800
20 - 40	8 - 10	400 - 1000
> 40	10	>500 - 1000

Tabell 8 Sammenheng mellom innlekkasje i tunnel, q , og påvirkning på poretrykk i dyprenne rett over tunnelen, Δu_f , basert på erfaringer fra tunneler i Oslo-området.

Med de geologiske forhold man har i Oslo-området viser erfaringer at lekkasjen i en trafikk tunnel på ca. 30 meter dybde, uten noen form for tetting, i gjennomsnitt er fra 10-40 l/min. pr. 100 meter tunnel. Den potensielle påvirkningen av poretrykket i bunn av dyprenner er derfor meget stor. Til sammenligning har den delen av Fjellinjen som ble tettet med permanent forinjeksjon en innlekkasje på ca. 2 l/min/100 meter.

Erfaringer fra tunnelanlegg i kambrosiluriske skiferbergarter i Osloområdet har vært at de største utfordringene med vanninntrenging har vist ved kontakt med ulike gangbergarter.

17.3 Setninger og setningsforløp

Skal man få vurdert potensialet for setninger som følge av et tunnelanlegg, må man starte med en grundig kartlegging av løsmassene langs traséen. Undersøkelsene bør som utgangspunkt dekke hele det potensielle influensområdet, se figur 44.

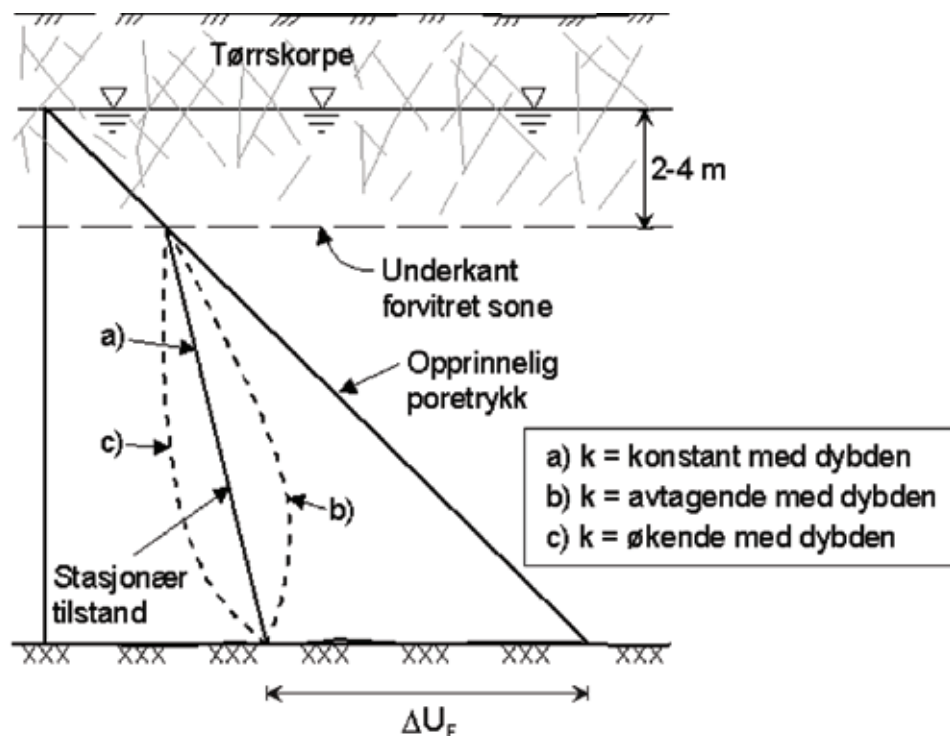
Bruk av seismikk kan være rasjonelt for å danne seg et bilde av dybde og utstrekning av leirfylte dyprenner. Grunnboringer vil være et helt nødvendig supplement, også for å kalibrere seismikken.

Man må for den enkelte dyprenne også skaffe pålitelige data om leiravsetningenes egenskaper. Spesielt viktig er in-situ poretrykkstilstand, om eller i hvilken grad leira er forbelastet (overkonsolidert), og modultall (stivhet).

Forventede setninger og setningsforløp som følge av en gitt poretrykksreduksjon ved bergoverflaten kan beregnes ved klassisk konsolideringsteori. Konsolideringsparametere kan bestemmes ved ødometerforsøk på representative prøver. Det er av spesielt stor betydning å få bestemt leiras forkonsolideringstrykk med stor nøyaktighet.

Trykksonderinger (CPTU-sonderinger) kan være nyttige for å bestemme hvorledes forkonsolideringstrykket varierer i dybden og over et område. Det vil normalt kreve at man har enkelte gode prøveresultater som kan danne grunnlag for lokale korrelasjoner mellom resultat av trykksonderinger og forkonsolideringstrykk bestemt på gode prøver.

In situ poretrykkstilstand er helt nødvendig å få kartlagt. Uten den informasjonen lar det seg ikke gjøre å bestemme om eller i hvilken grad leira utviser et forkonsolideringstrykk større enn dagens in situ effektivspenning. Det er også viktig å få kartlagt om eller i hvilken grad området tidligere har vært utsatt for temporært eller permanent lavere poretrykk enn dagens tilstand.



Figur 44 Eksempel på typisk stasjonær poretrykkstilstand

Den stasjonære poretrykkstilstanden man vil nå etter lang tid, kan vanligvis antas å variere rettlinjet fra en dybde 2–4 m under naturlig grunnvannspeil, eller 2–4 m under underkant av den øverste faste tørreskorpen, og ned til berg, se figur 45. Årsaken til denne antagelsen er at den øverste tørreskorpen/forvitringssonen har vesentlig høyere permeabilitet enn underliggende uforvitret leire. Har man leire i dybden med varierende permeabilitet, må man være oppmerksom på at den stasjonære fordelingen vil avvike fra den lineære.

Både teoretiske betraktninger og målinger i forbindelse med tidligere tunnelanlegg viser at grunnvannsspeilet i et leiområde ikke blir påvirket i noen vesentlig grad selv for de største tunnellekkasjer og poretrykksreduksjoner. Dette har sin forklaring i at de vannmengder som strømmer gjennom leira selv under store gradienter er meget små sett i forhold til den naturlige tilførselen av grunnvann gjennom naturlig infiltrasjon fra overflaten.

17.4 Alunskifer og grunnvannsnivåendringer

En permanent grunnvannsenkning i et område med alunskifer vil medføre at skiferen kan forvitre, noe som kan gi svelleskader på bygg, samt gi opphav til surt og sulfatrikt vann.

Uforvitret alunskifer kan dessuten swelle av en mer kjemisk betinget mekanisme. Ved tilførsel av oksygenrikt vann kan skiferens sulfidmineraler oksidere langsomt, og medføre en jevn swelling som kan pågå i titalls år.

Tunnelanlegg kan gi opphav til begge former for swelling, dels ved midlertidig eller varig grunnvannsenkning med senere tilførsel av vann igjen. Undergrunnsanlegg kan forandre strømningsgradienter og derved vannhastigheter og mengder som igjen kan gi større oksygentilførsel enn tidligere.

For begge mekanismer er swelleretningen normalt på skifrihetsplanet. Svelletrykkene går sjeldent opp i mer enn 1,5-2,0 MPa og belastninger fra konstruksjoner av samme størrelsesorden som svelletrykket vil motvirke swelling.

Uforvitret alunskifer inneholder større eller mindre mengder med finfordelt sulfid i form av pyritt og en spesiell form for magnetkis. Ved forvitring går sulfidene over til sulfater. Dersom sulfatkonsentrasjonen i grunnvannet blir høyt nok, opptrer de typiske sulfatangrep på betong fremstilt med Standard Portlandsement. Dessuten er det sure vannet svært aggressivt overfor armering og andre metallkonstruksjoner.

18 Vanntapsmåling og permeabilitet

18.1 Bergarters oppsprekking og permeabilitet

Permeabilitet betegner et materiales evne til å overføre væske eller gass. Antar vi laminær strømning og at væsken vi bruker er inkompressibel vil permeabiliteten være en materialkonstant for den gitte væske (viskositet) som er definert ved Darcy's lov:

$$v = k \cdot i$$

der

v = strømningshastighet

k = permeabilitetskoeffisienten

i = hydraulisk gradient

Darcy's lov antar et homogent materiale. Imidlertid vil permeabiliteten av en bergmasse for en stor del være bestemt av permeabiliteten på sprekker og riss. Det bør av den grunn skilles mellom begrepene massepermeabilitet og sprekkepermeabilitet (-konduktivitet).

Massepermeabilitet betegner permeabiliteten i et antatt homogent materiale. Den kan også betegnes som ekvivalent permeabilitet eller gjennomsnittspermeabilitet.

Sprekkepermeabilitet gir konduktiviteten for en fysisk begrenset vannvei. Ved praktisk utførelse av f.eks. en vanntapsmåling (Lugeon-test) vil denne utføres i berg i en målestokk som gjør at det som måles er en form for sprekkepermeabilitet mens resultatet med få unntak utgis for å være en massepermeabilitet.

Permeabilitetskoeffisienten, k , måles i laboratorium ved å benytte Darcy's formel:

$$k = q / A \cdot i$$

der

q = m³/sek

k = permeabilitetskoeffisient (m/sek)

A = areal av prøve (m²)

i = hydraulisk gradient

18.2 Definisjon på Lugeon-verdien

Lugeon (L) defineres som den vannmengde i liter som presses inn et borhull pr. minutt og pr. løpemeter borhull ved 10 bar overtrykk.

Lugeon: $Q(\text{liter}) / 10(\text{bar}) / \text{tid}(\text{min}) \cdot \text{målelengde}(\text{m}) \cdot \text{overtrykk}(\text{bar})$

En Lugeon-enhet som beregnes ved målinger av vanntapet i et borhull vil, ved antatt homogene forhold, tilsvare en gjennomsnittspermeabilitet, k , på $\sim 1 \cdot 10^{-7}$ m/s.

18.3 Lugeon test

Dette er den mest brukte test i Norge og dels i utlandet i dag. Opprinnelig ble testen utført etter følgende kriterier:

- 1) Hulldiameter: 46-76 mm
- 2) Max. trykk: 10 bar
- 3) Målelengde: 1-2 m

Lugeon-verdien beregnes så på grunnlag av å måle volumet av vann som pumpes inn i borhullet i en 5 min. periode ved konstant overtrykk. Målingene skal foretas inntil to påfølgende måleperioder gir samme innpumpet volum. Ved målinger i berg med lav permeabilitet vil man trenge lengre tid før "stasjonærtilstanden" ("steady state") oppnås.

I dag benyttes vanligvis 50 mm borhull, men erfaringer viser at det ikke har noen vesentlig betydning på resultatet av vanntapet om diameteren er f.eks. 40 mm eller 70 mm.

Måling av innpresset vannmengde, Q , gjøres vanligvis med en mekanisk vannmengdemåler. Ved små vanntap (<1 Lugeon) kan nøyaktigheten på telleverket i en vannmengdemåler ha for lav nøyaktighet til å registrere det eksakte vannvolumet. Ønsker man mer nøyaktige målinger bør man bruke målekar som man pumper ifra. Vannmåler må kontrolleres med jevne mellomrom.

Pr. definisjon skal Lugeon-verdien beregnes ved 10 bar overtrykk. Det betyr at man må kjenne det sprekkevannstrykk (mottrykk) en har omkring borhullet. I permeable bergarter kan dette måles i borhullet før eller etter test. Der tilsiget er lite foreslås det at hullet "pumpes opp" og at trykkfall mot tid registreres.

Testen kan utføres både med enkeltpakker og dobbelpakker. I Norge er enkeltpakker mest brukt. Vanligvis blir vanntapsmålingene utført i 5 - 10 meters intervaller og denne intervallengden blir brukt i beregningen av Lugeon-verdien. Imidlertid vil en da ved bergforhold med få lekkasjer fordele vannet over en så stor lengde at verdien blir lavere enn det som for eks. er kravet selv om enkeltprekker i hullet er injiserbare. Det er derfor, i mange prosjekter, innført en standard utregningslengde på for eks. 3 eller 5 meter. En antar derved at lekkasjen fordeler seg over denne lengden istedenfor hele testlengden. Hvilken Lugeon-verdi som er mest riktig er mer et akademisk spørsmål, men for moderate til lite oppsprukne grunnfjellsgneiser er det å anbefale at en benytter beregningslengde på 3 - 5 meter.

19 Ordliste

Ordlisten nedenfor inneholder definisjoner på terminologi som benyttes ved berginjeksjon. Ordlisten er et utdrag av Glossaret i europeisk standard NS-EN12715: "Utførelse av spesielle geotekniske arbeider – Injisering" supplert med vanlige begreper innen berginjeksjon.

Agitator	En lavhastighets etterblander som holder injeksjonsmørtelen i suspensjon etter at den er blandet i en høyhastighetsblander.
Aktivator	Høyhastighetsblander som brukes for at blandingen skal bli mest mulig homogen slik at alle enkeltkorn i sementen er i suspensjon. Betegnelsen kolloidal blander brukes også om aktivatorer.
Avbinding	Den tilstanden en injeksjonsmasse er i når den ikke er plastisk lenger, vanligvis målt ved inntrengning eller deformasjon. Innledende avbinding viser til den første stivningen og avsluttende avbinding viser til at en tilstrekkelig stivhet er oppnådd.
Avbindingstid	Tidsrommet fra materialet blandes og til det oppstår en betydelig endring i de rheologiske egenskapene. Avbindingstiden er avhengig av volum og temperatur og måles på flere måter.
Bestandighet	Motstand mot mekanisk og kjemisk nedbryting.
Binghamvæske	Et stoff som innehar både viskositet og kohesjon.
Blaine	Sementens finhetsgrad blir oftest uttrykt i Blaine. Blaine er sementens spesifikke overflate, og blir uttrykt i m ² /kg. Eksempelvis hvis arealet av overflaten til alle sementkorn i 1 kg sement, kan man f. eks få 600 m ² , dvs. Blaine 600. NB! Blaine blir noen ganger oppgitt i cm ² /gram. Tallet man da får er 10 ganger større. Blaine på 6000 cm ² /gram betyr altså det samme som Blaine 600.
D95	Sementens partikkelstørrelse blir som regel uttrykt som D95. D95 betyr at 95 % av sementpartiklene er mindre enn denne størrelsen. En typisk D95 kan for eksempel være 50 mikron for Industrisement.
Dispergeringsmiddel	Et stoff som endrer overflatespenningen til kolloidale dråper slik at de ikke løper sammen men holdes suspendert.
Dobbelpakker	En innretning som består av et par forseglinger som er montert på et injeksjonsrør i en viss forhåndsbestemt avstand og som benyttes for å avgrense injeksjonen til grunnen mellom de to forseglingene.
Effektivt trykk	Det faktiske trykket i injeksjonsmassen i grunnen.

Epoxymørtel	En harpiksinjeksjonsmasse med flere komponenter som har svært høy strekkfasthet, trykkfasthet og heftfasthet.
Filterpresse	Et instrument som brukes til å måle en injeksjonsmasses filtreringsegenskaper.
Flow	Begrep som brukes om injeksjonsmassens strømningshastighet fra pumpe og inn i bergmassen
Flytespenning	Den laveste skjærspenningsverdien der det er et plutselig fall i verdien på den spenningen som påføres og der den kontinuerlige forlengelsen oppstår ved mer eller mindre samme spenningsverdi.
Flytkonus	En innretning til å måle injeksjonsmassens konsistens, der man lar et forhåndsbestemt volum injeksjonsmasse slippe gjennom en nøyaktig målt åpning. Flyttiden benyttes til å angi konsistens.
Flytmiddel	Et tilsetningsstoff som forbedrer en injeksjonsmasses strømningssegenskaper ved at det nedsetter injeksjonsmiddelets viskositet.
Flødet	Begrep som brukes om injeksjonsmassens strømningshastighet fra pumpe og inn i bergmassen
Gelfasthet	Skjærfastheten til en gel. Denne kan måles ved et fastsatt tidspunkt etter at en gel er blandet eller oppløst eller når gelen er fullt utviklet.
Geltid	Det tidsrommet som måles fra en injeksjonsmasse blandes til det dannes en gel.
GIN- metode GIN- verdi	GIN står for "Grouting Intesity Number". Metoden benytter denne verdien som en parameter for å avgrense området for injeksjonen til en største GIN-verdi. Denne verdien framkommer ved at volum til den injiserte massen (i liter) multipliseres med injeksjonstrykket (i bar) pr. meter borhull.
Grunnvannstand	Ved grunnvannstanden er porevannstrykket lik det atmosfæriske trykket dvs. vannstanden som etablerer seg i et hull som graves i grunnen.
Harpiks	Et materiale som danner grunnlaget for et system av organiske injeksjonsmaterialer som akryl, epoksy, polyester og uretan.
Herdetid	Den tiden det tar før injeksjonsmassen når den dimensjonerende fastheten.
Herding	Økning i fastheten til en injeksjonsmasse etter avbinding.
Herdner	I en kjemisk injeksjonsvæske med to komponenter er det den komponenten som fører til at grunnkomponenten herder.

Hurtigavbinding	Det at en nylig blandet injeksjonsmasse raskt blir stiv, vanligvis samtidig med at det utvikles betydelig varme. Denne stivheten kan ikke fjernes og det er heller ikke mulig å gjøre massen plastisk igjen ved å fortsette å blande uten å tilsette vann.
Hydraulisk splitting	Oppsprekking av grunnen forårsaket av at vann eller injeksjonsmasse injiseres under trykk som er høyere enn den lokale strekkfastheten og det lokale omgivende trykket.
Industrisement	Sementkvalitet med kornstørrelse $d_{95} > 20\mu\text{m}$. Tilsvarende sementkvalitet betegnes også som Standard injeksjonssement eller Rapid sement.
Injeksjonsmasse	Et pumpbart materiale (suspensjon, løsning, emulsjon eller mørtel) som stivner og avbinder over tid.
Injeksjonssement	Standard injeksjonssement er definert som en sementkvalitet med kornstørrelse $d_{95} > 20\mu\text{m}$. Tilsvarende sementkvalitet betegnes også som Industrisement eller Rapid sement.
Injeksjonstrykk	Det trykket som påføres under injeksjonsprosessen og som måles på nærmere angitte steder (pumpetrykk).
Kjemisk injeksjonsvæske	Alle injeksjonsmaterialer som kjennetegnes ved at de er en løsning, dvs. de har ikke partikler.
Kolloid	Et stoff som består av svært små partikler som er dispergert i et kontinuerlig medium. En kolloidal partikkel har en størrelse på mellom 5 og 5.000 Ångström.
Kolloidal kvern	Samme som aktivator, det vil si høyhastighetsblander som brukes for at blandingen skal bli mest mulig homogen slik at alle enkeltkorn i sementen er i suspensjon
Konsistens	Den relative bevegeligheten til nylig blandet injeksjonsmasse og den evnen den har til å strømme. De vanlige målingene er synkmål for stive blandinger og strømning for mer flytende blandinger.
Kontaktinjeksjon	Injeksjonsmasse injiseres inn i grensesjiktet mellom betongkonstruksjoner og grunnen/bergmassen.
Kornfordeling	Kornfordelingen eller siktekurven til sementen er også viktig for evnen til å penetrere. Akkurat som det er viktig å ha en god siktekurve på tilslag ved sprøytebetong, er det viktig å ha en fin kurve for sementen. En velgradert siktekurve vil gi en mer stabil blanding enn en sement med en ensgradert siktekurve.
Lugeon-verdi	En relativ enhet for transmissivitet målt i liter pr. minutt pr. meter borhull med diameter 76 millimeter ved et overtrykk på 1 MPa i berg.

Løsning	En væske som dannes ved at kjemikalier oppløses fullstendig i vann slik at det blir en homogen væske uten faste partikler.
Marsh-viskositet	Viskositetprøvinger foretas med Marsh-konusen. Det tidsrommet et gitt volum strømmer, uttrykt i sekunder, kalles Marsh-viskositet. Se også flytkonus.
Mikro-sement	Et svært fint sement med en jevn, bratt partikkelfordelings-kurve, der $d_{95} < 20 \mu\text{m}$.
Mud balance	Målemetode for injeksjonsmassens viskositet. Instrumentet som kontrollerer romvekt og dermed kontrollere vann/sementforholdet.
Newtonsk væske	En sann væske som utviser en konstant viskositet ved alle skjærhastigheter. En Newtonsk væske har ingen flytespenning.
Overdekning	Tykkelse på det berg- og jordmateriale som ligger over det hullet som injiseres.
Oversize	"Oversize" er en betegnelse som brukes hvis en finmalt sement har for stor andel store korn. De store kornene eller partiklene vil blokkere små sprekker i berget, slik at de mindre partiklene ikke kan trenge inn. Blaine, D95 og oversize sier oss altså noe om sementens evne til å trenge inn i sprekker og riss.
Pakker	En innretning som føres inn i et borhull for å isolere en del av hullet fra en annen. En pakker er vanligvis en innretning som kan utvide seg og som aktiveres mekanisk, hydraulisk eller pneumatisk.
Permeabilitet	Et mål for hvor lett det er for en væske å passere gjennom et porøst medium.
Polyuretaner	Kjemiske harpikser som reagerer ved å danne skum.
Pozzolan	Et kiselholdig eller kiselholdig og aluminiumholdig materiale som i seg selv har liten eller ingen sementerende virkning, men som vil, i en fint oppdelt form og hvis det er fuktig, reagere kjemisk med kalsiumhydroksyd og danne sammensetninger som innehar sementerende egenskaper.
Rapid sement	Sementkvalitet med kornstørrelse $d_{95} > 20\mu\text{m}$. Tilsvarende sementkvalitet betegnes også som Standard injeksjonssement eller Industrisement.
Reologiske egenskaper	De egenskapene som styrer strømmingen av en væske eller plastisk fast stoff.

Satsvolum	Den mengde injeksjonsmasse som blandes samtidig.
Sedimentering	De partiklene i en injeksjonsmasse som på grunn av tyngdekraften samler seg på bunnen av en beholder når massen ikke blir omrørt.
Sementmørtel	En injeksjonsmasse der det viktigste bindemiddelet er sement.
Silikaslurry	Silikaslurry er suspensjon av finmalt silisiumdioksid løst i vann. Brukes som stabiliserende middel slik at man kan injisere injeksjonsmasser med høyere v/c - tall uten at man får separasjon.
Skum	Skum som benyttes ved injeksjon er faste stoffer som omslutter luft, vanligvis lukkede porer. De dannes enten ved at gass injiseres i en injeksjonsmasse eller ved en reaksjon mellom injeksjonsmasse og grunnvannet som frigjør en gass.
Spesifikk masseinnngang	Den målte mengde injeksjonsmasse som injiseres i en volumenhet av grunnen, eller en lengdeenhet av injeksjonshullet.
Spredningsradius	Den teoretiske avstanden som injeksjonsmassen vandrer fra injeksjonspunktet.
Stabil suspensjon	I stabile suspensjoner skal det i løpet av 2 timer skilles ut mindre enn 5 prosent klart vann øverst i en 1000 ml sylinder med indre diameter 60 millimeter ved en temperatur på 20°C.
Superplastiserende middel	Tilsetningsstoffer som gjør mørtel mer plastisk og reduserer viskositeten til suspensjoner.
Suspensjon	En blanding av flytende og faste materialer. Oppfører seg som Bingham-væske når den renner og innehar både viskositet og kohesjon. Partikkelholdige suspensjoner inneholder partikler som er større enn leirfraksjonen, mens kollodiale suspensjoner inneholder partikler av leirstørrelse.
Svinn	En reduksjon i injeksjonsmassens volum.
Synerese	Utskillelse av væske fra en gel som er avbundet og som ikke er utsatt for spenning, ledsaget av at gelen trekker seg sammen. Synerese oppstår over et tidsrom på noen måneder.

Tiksotropi	Den egenskap hos et materiale som gjør at den stivner på relativt kort tid når den ikke blir rørt, men at det ved omrøring eller manipulering får svært myk konsistens eller går over væske med høy viskositet, og at prosessen er helt og fullt reversibel dvs. at viskositeten til tiksotrope væsker avtar med økende skjærhastighet og går tilbake til sin opprinnelige verdi etter at den har regenerert en stund.
Tilsetningsstoff	Alle andre ingredienser i en injeksjonsmassen (for eks. flytemiddel, stabiliserende stoffer) enn grunnkomponentene som benyttes til å endre de egenskapene som injeksjonsmassen har som fast stoff eller væske.
v/c-tallet	Vann/sement-forholdet er forholdet mellom vekten av vannet og innholdet av tørr sement i en injeksjonsmasse. Har man f. eks en blanding av 80 l vann og 100 kg sement, har man ett v/c- tall på 0,8.
Vanninnhold	Forholdet, uttrykt som en prosentandel, mellom vekten av vann i et gitt injeksjonsmateriale og vekten av tørre, faste partikler.
Vannutskillelse	Den autogene strømmen av blandet vann inne i, eller vann som kommer ut av, injeksjonsmasse som nylig er anbrakt.
Vicat nål	En Vicat nål brukes til å bestemme om sementen har størknet. Litt grovt kan man si at sementen er hard nok, til videre drift når en Vicat nål ikke trenger lengre inn i en sementkopp enn 10 mm.
Viskositet	Den indre væskemotstanden i et stoff som gjør at det motstår en tendens til å renne.

20 Referanser

NFF	(2002)	Håndbok nr 1,
NFF	(2008)	Teknisk rapport nr 08,
Statens vegvesen	(2003)	Publikasjon nr 103
Statens vegvesen	(2004)	Publikasjon nr 104
Statens vegvesen	(2003)	Intern rapport 2323
Statens vegvesen	(2001-04)	Rapportserie fra Miljø og Samfunnstjenlige tunneler
Statens vegvesen	(2005)	Teknisk rapport 2424
Statens vegvesen	(2007)	Håndbok 025 Prosesskode
Statens vegvesen	(2010)	Håndbok 021 Vegtunneler
BASF	http://www.basf-cc.no	
RESCON	http://www.mapei.no/	
DENEFF	www.deneef.no	
TESS	www.tess.no	
CODAN	http://www.codan-gummi.no/portal/	

MEDVIRKENDE I PROSJEKTET

AARSET, Arnstein, Sivilingeniør, rådgiver innen bergteknologi, bl.a. prosjektering og oppfølging av underjordsanlegg.

Adresse: Norges Geotekniske Institutt, Postboks 3930 Ullevål Stadion, 0806 Oslo

Tlf.: 22 02 30 00, Fax: 22 02 04 48, arnstein.aarset@ngi.no

BACKER, Lise. Sivilingeniør, erfaring som rådgiver innen bergteknologi med erfaring fra planlegging og oppfølging av underjordsprosjekter både for byggherre, konsulent og for entreprenør.

Nå ansatt som prosjektleder i Jernbaneverket.

Adresse: Jernbaneverket Utbygging, Postboks 217 Sentrum, NO -0103

Tlf.: 90 55 44 03, lise.backer@jbv.no

FAGERMO, John Ivar, Sivilingeniør. Erfaring fra gjennomføring av flere tunnelprosjekt der injeksjonsarbeide har vært sentralt, men med ulike krav til tetthet. Ansatt som prosjektleder i AF Gruppen.

Adresse: AF Anlegg, Postboks 6272 Etterstad, N-0603 Oslo

Tlf.: 900 76 086 / 22 89 11 00 Fax: 22 89 11 01; john.ivar.fagermo@afgruppen.no

FROGNER, Erik, Sivilingeniør. Erfaring fra entreprenørvirksomhet, med hovedvekt på tyngre anleggsdrift med planlegging og gjennomføring. Prosjektdirektør Plan og samferdsel i Norconsult.

Adresse: NORCONSULT, Postboks 626, N – 1303 Sandvika.

Tel.: 90 55 47 77 / 67 57 17 37, Fax.: 67 54 45 76, erik.frogner@norconsult.com

GRØV, Eivind. Sivilingeniør. Erfaring fra rådgivnings- og forskningsvirksomhet. Deriblant vannkraftprosjekter, tunneler, kaverner for lagring av olje og gass. Klassifisering, numerisk modellering og vurdering av sikringsbehov. Forskningsleder i Sintef for område geo- og bergmekanikk.

Adresse: Sintef, Geo og Bergmekanikk, NO – 7465 Trondheim

Tel.: 73 59 11 38, Fax.: 73 59 33 50, eivind.grov@sintef.no, www.sintef.no

HOGNESTAD, Hans Olav. Technical Manager Injection BASF International, ansvar for underjordsinjeksjon for BASF worldwide. Omfattende og lang erfaring fra tunnel injeksjon i inn og utland.

Adresse: BASF Construction Chemicals Europe AG, Granerud Industriområde, N - 2120 Sagstua

Tel.: +47 62 97 00 24, +47 957 06 985 (mbl); Fax: +47 62 97 18 85 hans-olav.hognestad@basf.com

KVEEN, Alf, Cand.scient med hovedfag i ingeniørgeologi, Arbeidsområder er rådgivning innen ingeniørgeologi og forundersøkelser, utarbeidelse av normaler og retningslinjer, kvalitetskontroll. Ledet bransjeprojekt "Miljø- og samfunnstjenlige tunneler"

Adresse: Seksjon Tunnel og betong, Statens vegvesen Vegdirektoratet, Postboks 8142 Dep, 0033 OSLO, Besøksadresse: Brynsengfare 6A, OSLO

Tel.: 22 07 39 63 / 90 60 86 77, alf.kveen@vegvesen.no, www.vegvesen.no, firmapost@vegvesen.no

Gjennomgang og tilretteleggelse for produksjon

RAVLO, Aslak. Sivilingeniør bygg og anlegg. Tidligere faglig sekretær NFF. Bred erfaring fra entreprenørvirksomhet og rådgivning i Norge og utlandet.

Adresse: Siviling. A.Ravlo, Postboks 245, 1319 Bekkestua

Tlf.: 67 14 13 34, a-ravlo@online.no

SKJEGGEDAL, Thor. Siviling med erfaring fra entreprenørvirksomhet og rådgivning, spesielt innen mekanisk driving av underjordsanlegg. Er også NFF's Faglige sekretær.

Adresse: Skjeggedal Construction Services AS, Utsiktsvn.18A, 1369 Stabekk.

Tlf.: 67 10 57 66, Fax.: 67 10 57 67, thor@skjeggedal.com,

Trykking:

Helli Grafisk AS

Brobekkvn.115B, 0582 Oslo

Tlf.: 23 06 78 40, Fax: 23 06 78 48, E-post: firmapost@helligrafisk.no

Bilder og grafer

Der ikke annet angitt er illustrasjoner stilt til disposisjon av forfattere og medlemmer i foreningen.

Baksidebilde: Hilde Lillejord, Jernbaneverket

PUBLIKASJONER

- Nr. 1: Fjellinjeksjon. Praktisk veiledning i valg av tettestrategi og injeksjonsopplegg. (Kr.200)
Nr. 2: Engineering Geology and Rock Engineering. (kr. 500,-) [utgitt av NBG]
Nr. 3: Arbeidsmiljø under jord. (kr. 150,-)
Nr. 4: Håndbok for skytebas. (kr. 150,-)
Nr. 5: Tung bergsikring i undergrunnsanlegg (kr. 200,-)

Tekniske rapporter fra NFF (kr. 100,- pr. stk)

- 01: Redningskammer for underjordsdrift.
02: Diesel under jord. Sluttrapport fra forprosjektet.
02E: Diesel Underground - a project report.
03: Sikker sprengning i dagen.
04: Plastmaterialer i tunneler og bergrom - sikker håndtering i anleggsfasen.
05: - Informasjon, takk! Råd og tips om kommunikasjon i en anleggshverdag.
06: Sikker boring gjennom sylte
07: Dieseldrift under jord
08: Sikker injeksjon.
09: Behandling og utslipp av driftsvann fra tunnelanlegg

Norwegian Tunneling Technology

- No. 1: Hard Rock Tunnelling
No. 2: Tunnelling Technology
No. 3: Hydropower Tunnelling
No. 4: Road Tunnelling
No. 5: Tunnelling Today
No. 6: Geology of Norway (a map)
No. 7: Tunnelling Reviewed in the International Press
No. 8: Subsea Tunnelling No. 9: Underground Storage
No. 10: Urban Tunnelling
No. 11: Hard Rock TBM Tunnelling
No. 12: Water Control in Tunnelling
No. 13: Health and Safety in Norwegian Tunnelling
No. 14: Norwegian Tunnelling
No.15: Sustainable Underground Concepts
No.16: Underground Construction for the Norwegian Oil and Gas Industry
No.17: Underground Openings – Operation, Maintenance and Repair
No.18: Subsea Tunnels
No.19: Rock Support in Norwegian Tunnelling

Fjellsprengningskonferansen (Høstkonferansen)

En årlig konferansebok som er kommet fortløpende siden 1963. (Flere årganger er utsolgt.)

Publikasjoner kan bestilles hos: NFF, E-post: nff@nff.no



REPRESENTERER FAGKUNNSKAP INNEN

- Bergsprengning og masseflytting
- Tunnel teknologi
- Bergmekanikk og Ingeniørgeologi

FJELLSPRENGNINGSFORENINGEN

AVGJØRENDE FOR FORUNDERSØKELSER, PLANLEGGING OG GJENNOMFØRING AV

- Fjellarbeid generelt, produksjon av knust berg og mineraluttak
- Vegbygging
 - I dagen
 - Under jord
- Vannkraftutvikling med
 - Stasjonshaller
 - Overføringstunneler
 - Trykksjakter
 - Damanlegg
- Oljeprosjekter
 - Planering for landanlegg
 - Landfall av rørledninger
 - Produktlager for olje og gass
- Grunnarbeid for hus og industri
- Idrettsanlegg, lager, parkeringsanlegg i fjell, og mye mer.....

www.nff.no



www.heligrafisk.no



NORSK FORENING FOR
FJELLSPRENGNINGSTEKNIKK

www.nff.no
nff@nff.no

ISBN 978-82-92641-20-0