

Sikker boring gjennom sylte



NFF's tekniske rapporter er utarbeidet av fagpersoner utnevnt av NFF's styre, og med delegert myndighet til utviklingskomiteen. Innholdet er i samsvar med kjent viten på det tidspunktet redaksjonen ble avsluttet. Feil eller mangler kan allikevel forekomme.

NFF, forfatter eller fagkomiteen har intet ansvar for feil eller mangler i rapporten og mulige konsekvenser av disse.

Det forutsettes at rapporten benyttes av kompetente, fagkyndige ingeniører eller skytebaser med forståelse for begrensingene og forutsetningene som legges til grunn.

Forsidebilde Ahsli foto/Norsk Stein as

Forord

For Norsk Forening for Fjellsprengningsteknikk (NFF) er det sentralt å engasjere seg i arbeid som kan utvikle og styrke norsk bergteknologi. Dette arbeidet skjer i nært samarbeid med bransjen

Utviklingsarbeider i regi av NFF gjøres kjent gjennom utvidelse av håndbøker eller tekniske rapporter.

Utviklingskomiteen i NFF har som en del av sin handlingsplan etablert et samarbeid med NTNU for å kunne benytte studenter i utviklingsoppgaver. Denne tekniske rapporten har som formål å tydeliggjøre hvilke forutsetninger og tiltak som må være tilstede for å oppnå akseptabel risiko ved boring gjennom tidligere sprengt såle.

Arbeidet er basert på data og studier i hovedoppgave ved NTNU-IBAT utført av Torbjørn S. Bakketun og Roger Gården (2005). Utviklingskomiteens representant, og leder for styringsgruppa har vært Kjell Øivind Haugland, Norsk Stein as.

For kvalitetssikring har det vært benyttet en styringsgruppe som har bestått av følgende representanter fra forskjellige bedrifter:

Kjell Øivind Haugland, Norsk Stein as
Vegard Olsen, NTNU
Sigbjørn Lian, Direktoratet for Samfunnssikkerhet og Beredskap (DSB)
Ståle Nilsen, T. Stangeland Maskin

Utviklingskomiteen i NFF har fungert som referansegruppe og stått for kvalitetsikring av rapporten.

Under utarbeidelse av rapporten hadde komiteen følgende sammensetning:

Pål Egil Rønn, formann, Scandinavian Rock Group AS
Lise Backer, AF Spesialprosjekt AS
Amund Bruland, NTNU
Kjell Øivind Haugland, Norsk Stein as
Jan Elvøy, Mesta AS
Jan Eirik Henning, Vegdirektoratet
Hans Petter Moe, Dyno Nobel Europe

NFF, Utviklingskomiteen

November 2005

Sammendrag

Målet med denne rapporten er å klarlegge hvilke forhold som må ligge til grunn for at risikoen for uønsket detonasjon av sprengstoff, ved boring gjennom tidligere sprengt såle (sylta), er akseptabel. Det er viktig å presisere at formålet ikke er å ufarliggjøre boring gjennom sylta for alle sprengningsarbeider.

Denne rapporten inneholder resultater fra en simuleringsmodell som kan bli et hjelpemiddel for bransjen til å klarlegge risikoen for en uønsket påboring av gjenstående sprengstoff (forsager) ved de respektive foretak. Det er også skissert forskjellige tiltak som kan redusere risikoen ved sylteboring. Noen tiltak er allerede tilgjengelige, mens andre kan komme i fremtiden.

Resultater fra simulering av en standard tenkt pallsalve har resultert i en sannsynlighet for påboring av forsager som er lavere enn det Direktoratet for Samfunnssikkerhet og Beredskap (DSB) anser som et akseptabelt nivå for uønsket hendelse.

Resultatene fra simuleringer viser at enkle tiltak, som for eksempel avviksmåling av borhull, kan redusere risikoen ved sylteboring betraktelig.

Det oppfordres på det sterkeste at foretak som borer gjennom sylta foretar en egen risikovurdering av sine bore-/sprengingsoppgaver for å oppnå akseptabel risiko. Foretaket kan da benytte simuleringsmodellen og tiltaksforslagene beskrevet i rapporten til å tallfeste og redusere sannsynligheten for påboring.

INNHold

Forord.....	3
Sammendrag	5
1 Innledning	7
2. Bakgrunn.....	8
2.1 Praksis	9
2.2 Uønskede hendelser	9
3 Risikovurdering.....	11
3.1 Uønsket detonasjon	11
3.2 Borhullsavvik	11
4 Simuleringsmodell	13
4.1 Risikoparametere.....	13
4.2 Resultat fra simulering	15
5 Akseptabel risiko.....	15
5.1 Risikoreduserende tiltak	16
5.2 Teknikker og ideer for fremtiden	16
6 Oppsummering.....	18
7 Referanser	18
8 Vedlegg	19

1 Innledning

Forutsetningen for at vi skal kunne utføre bore- og sprengningsarbeider her i landet, er at det kan skje med en akseptabel risiko for samfunnet. Risikoen vil alltid veies opp mot samfunnsnyttene, men jo flere uønskede hendelser, jo større press vil det bli på å stramme inn på regelverket knyttet til bore- og sprengningsarbeider.

Enhver bruker har derfor et ansvar, ikke bare ovenfor seg selv og sin arbeidsgiver, men også ovenfor samfunnet og bransjen, til bevisst å planlegge og utføre arbeidet på en slik måte at uønskede hendelser ikke forekommer.

Brann- og eksplosjonsvernlova § 10-12 stiller krav om at ”pallen skal være forsvarlig rensket, sikret og kontrollert mot gjenstående ladninger og deler av ladninger før boring på tidligere sprengte områder”. Loven sier også at borhull skal settes slik at hull som kan inneholde ladninger ikke påbores. Dette kravet er kommet for å hindre ulykker med påboring av gjenstående sprengstoff.

Denne rapporten gjør det mulig å tallfeste risikoen for påboring ved boring på pall under normal produksjon i steinbrudd, og omtaler hvilke tiltak og forhåndsregler som skal og må tas hensyn til for at boring skal kunne skje på en forskriftsmessig og sikker måte.

Rapporten er ment som et hjelpemiddel for bransjen til å utarbeide risikovurderinger og sikker-jobb-analyse for boring gjennom tidligere sprengt såle.

2. Bakgrunn

Før boring skal fjellet være sikret mot påboring av gammelt sprengstoff. Når man borer på steder hvor det ligger sylte, må man normalt renske fjellet for løsmassene over fast fjell. Enkelt forklart er sylte de massene som ligger igjen på pallen etter at et overliggende nivå har blitt sprengt, og etter at det meste av massene er blitt fraktet bort. Med andre ord de massene som det er vanskelig å fjerne med hovedlasteutstyret.

Hvis det velges å bore gjennom sylta, vil dette kreve en risikovurdering for å kunne dokumentere at det er sikkert.



Bilde 1 *Tverrsnitt av sylte ved Norsk Stein på Jelsa.
Foto: Torbjørn S. Bakketun*

2.1 *Praksis*

For større dagbrudd innen malm- og mineralindustrien har det alltid vært vanlig praksis å bore gjennom sylta. Dette fordi det vanlige produksjonsutstyret er store rotasjonsborerigger som krever en slett såle å arbeide på. Den samme praksisen har også vært vanlig ved større masseuttak i forbindelse med mange av våre store dambyggingsprosjekter.

I den senere tid er det også blitt vanlig med boring gjennom sylta innenfor pukk- og steinbruddsindustrien. Dette har skjedd som følge av økt uttak og større produksjonsutstyr.

2.2 *Uønskede hendelser*

Det skjer stadig sprengningsulykker, men svært få i steinbrudd. De fleste påboringene skjer i tunnel, vegskjæringer og ved grøftesprengning. Undersøkelsene viser at det ikke er registrert påboring ved normal palldrif i steinbrudd de siste 14-15 årene. Det må presiseres at omfanget av boring gjennom sylta i denne perioden har vært lite. Statistikken kan derfor gi et ufullstendig bilde av risikoen. Det vil alltid være en risiko for påboring ved boring i steinbrudd, og da særlig ved sylteboring.

For å gi en pekepinn på hvor ofte uønskede hendelser inntreffer i forbindelse med bore- og sprengningsarbeider, og som bakgrunn for vurdering av inndata til risikoanalyse, vises det til statistikk fra DSB for perioden 1991-2004.

Hendelse	Antall	Merknad
Påboring	6	1 ved boring av knøl i steinbrudd
Uttidig detonasjon	2	Flåsprengning og vegarbeid
Knusing	1	
Utlasting / graving	5	3 pukkverk, 1 tomt, 1 annet
Pallrensk	1	Uønsket detonasjon ved rensk
Pigging	6	2 veianlegg, 2 tomt, 1 grøft, 1 annet
Funn av forsager	2	
Sprut	1	Industritomt
Avfyring av forsager	1	Steinbrudd
Feil på tennmiddel	7	

Tabell 1 Rapporterte hendelser i forbindelse med sprengningsarbeider over jord. (DSB 1991-2004).

Det finnes ikke et spesifikt arkiv med hendelser ved påboring, men et arkiv over alle ulykker som blir meldt inn. All reklamasjon på sprengstoff skal meldes inn til de respektive sprengstoffleverandørene, og alle ulykker til DSB. Sammenligner man innkomne rapporter hos DSB med ulykker som er omtalt i media, får DSB bare inn rapporter om ca 30 % av uhellene her til lands. /1/

3 Risikovurdering

Brann- og eksplosjonsvernloven § 10-14 krever at det etter sprengning skal kontrolleres at det ikke står igjen rester av eksplosiv vare. Ved boring i steinbrudd har man en risiko for påboring av forsagere særlig ved uønsket pall. Mange faktorer innvirker, enten direkte eller indirekte, på sannsynligheten for påboring. Det er vanskelig å påvise nøyaktig hvilke faktorer som eventuelt er avgjørende ved påboring. Dersom man kartlegger alle aktuelle faktorer, kan man gjøre forebyggende arbeid og redusere faren for hver enkelt av disse.

3.1 Uønsket detonasjon

Sannsynligheten for uønsket detonasjon av sprengstoff ved påboring er avhengig av 3 hendelser, som alle må inntreffe for at detonasjon skal forekomme:

- Muligheten for at det finnes udetonert sprengstoff i sylte eller pall.
- Muligheten for at man treffer på forsager ved boring.
- Muligheten for at sprengstoffet går av ved påboring.

Disse tre punktene har dannet grunnlaget for en simuleringsmodell utarbeidet ved NTNU-IBAT. Simuleringsmodellen gir sannsynligheten for en uønsket hendelse. Med en uønsket hendelse, menes da påboring av forsager som får en uønsket detonasjon. Det er mange faktorer som kan gi forsaging ved sprengningsarbeid, men hovedårsakene til forsagere er:

- Svikt i opptenning eller tennmiddel.
- Detonasjonen stopper opp eller brytes i ladestrengen.

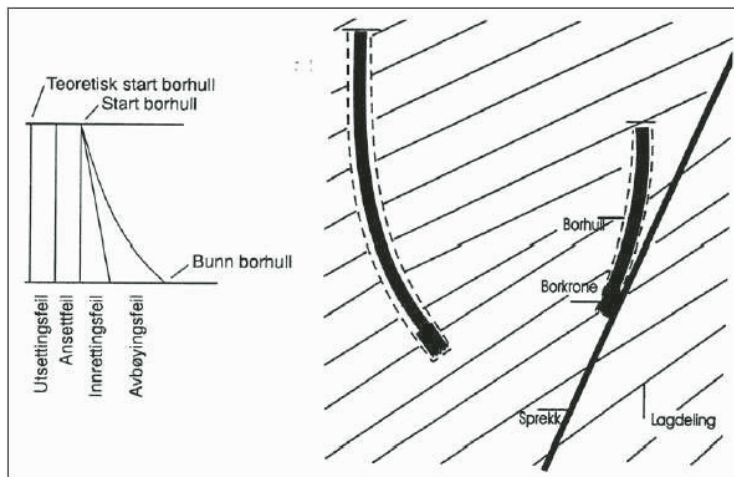
3.2 Borhullsavvik

Borhullsavvik er en vesentlig faktor med tanke på vurdering av risikoen ved sylteboring. Praktisk talt alle borhull i en pallsalve har et større eller mindre borhullsavvik. Dette fører til at bormønsteret i salva kan bli svært forskjellig fra det som ble planlagt. Avvikene øker ofte med hulldybden og blir vanligvis størst ved bunnen. Denne sonen er den

mest kritiske delen av salva fordi den har størst innspenning og tyngst utslag. Borhullsavvik kan derfor gi svært uheldige sprengningsresultater med storstein, knøler og steinsprut./2/

Avvik fra borplanen kan skyldes menneskelige faktorer, fjellets egenskaper, gravitasjon eller maskinelle faktorer. De viktigste årsakene til borhullsavvik er:

- Utsettingsfeil: Hullet er avmerket på feil plass.
- Innrettingsfeil: Bortårnet blir ikke rettet inn til riktig kastvinkel og retning.
- Påhuggfeil/ ansettfeil/ påskråmingsfeil: boreriggføreren treffer ikke utsatt bormønster når han skal bore. Påskråmingsfeil gir ansettfeil.
- Avbøying under boring. Se Figur 1. /3/



Figur 1 Årsaker til borhullsavvik. /3/

4 Simuleringsmodell

Simuleringsmodellen for beregning av sannsynligheter utidig detonasjon ved påboring, som er vist i denne rapporten, er basert på Monte Carlo-simulering gjennom bruk av datasimuleringsprogrammet Definitive ScenarioTM. Andre metoder for beregning av sannsynligheter finnes.

Modellen er ment som et hjelpemiddel for å beregne sannsynlighet for påboring. Det må presiseres at vurderingene rundt hver enkelt risikoparameter i modellen må gjøres av kvalifisert personell, og at kvaliteten på vurderingene sterkt avgjør gyldigheten av beregningene.

4.1 Risikoparametere

De tre hovedhendelsene som er nevnt over kan deles inn i flere risikoparametrene i flere nivå. Simuleringsmodellen er basert på høy detaljeringsgrad, men lar seg også utføre på et mindre detaljert nivå. For hver parameter velges 3 verdier (min, middels og maks) som angir sannsynligheten for at hendelsen skal inntreffe, jfr. vedlegg 2.

Figur 2 viser en skjematisk fremstilling av simuleringsmodellen.

1. Sannsynlighet for at det oppstår forsager.

Sannsynlighet for produktfeil vurderes ut fra kvalitetskrav hos leverandør og registrerte reklamasjoner. Sannsynligheten for feil ved lade og koblingsarbeid avhenger av bl.a. tennsystem, koblingsplan og hvor oversiktlig pallforholdene er. Sannsynligheten for feil som følge av bergforhold, påvirkes av bergmassens oppsprekkingsgrad, sleppe- og vannforhold.

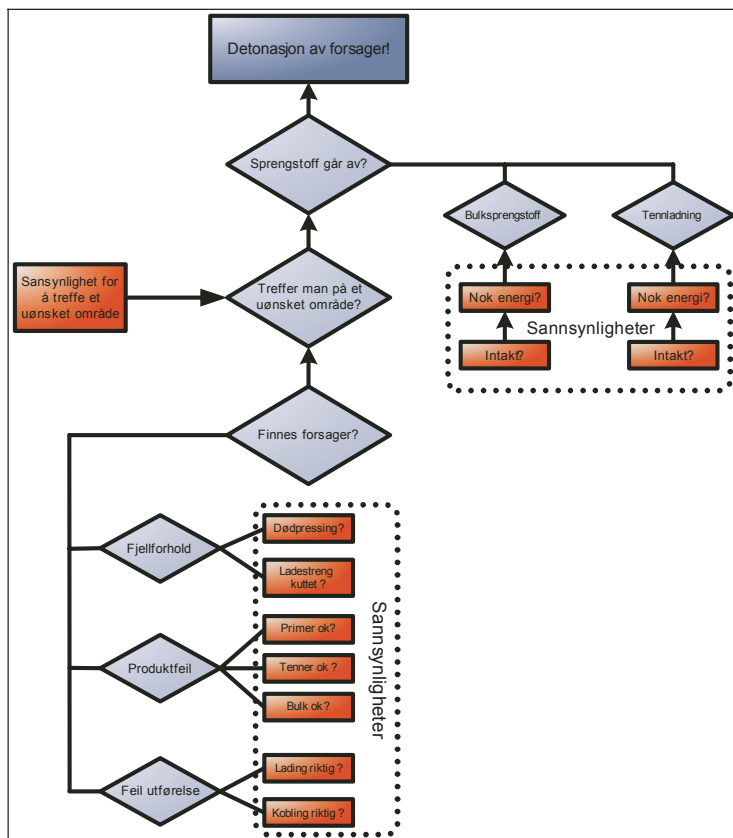
Det kan være vanskelig og skille mellom de ulike årsakene, og redusert detaljeringsgrad vil kunne være nødvendig.

2. Sannsynlighet for å treffe på område hvor det kan ligge udetonert sprengstoff.

Sannsynligheten bestemmes matematisk v.h.a. størrelse på primerpatron, bormønster, borkronediamter m.m.

3. Sannsynlighet for at forsager detonerer ved påboring.

Sannsynligheten for at tennladning vil detonere er i første rekke avhengig av hvor lenge siden overliggende pall ble sprengt. Det samme gjelder for bulksprengstoffet. Bulksprengstoffet vil løses opp i løpet av forholdsvis kort tid, mens tennladningen vil kunne være følsom selv etter flere tiår dersom emballasje er intakt.



Figur 2 Skjematisk fremstilling av simuleringsmodell.
Inputparametre er markert med røde bokser.

4.2 Resultat fra simulering

Simulering er gjort på grunnlag av basisforutsetningene vist i vedlegg 1 og vedlegg 2.

Resultatet fra simuleringen gir en forventet sannsynlighet for påboring av forsager i sylta på $1,1 \times 10^{-7}$. DSB anser $2,0 \times 10^{-7}$ som et akseptabelt nivå for uønsket hendelse. Dette viser at risikoen vil kunne være akseptabel.

Ved endring av basisfaktorene (vedlegg 1) vil simuleringen gi økt eller redusert sannsynlighet. Generelt kan en si at større borutstyr og grovere borhulldiameter vil gi mindre sannsynlighet for påboring. Dette på grunn av økt bormønster og mindre borhullsavvik.

Forutsigbare fjellforhold vil også virke positivt, spesielt med tanke på at sannsynligheten for forsagere vil bli redusert.

Gjennom kartlegging av borhullsavvik og innmåling av borhulskoordinat vil man kunne redusere sannsynligheten for treff av forsager ytterligere, og i simuleringen reduseres den totale sannsynligheten til $2,2 \times 10^{-8}$.

For nærmere informasjon om bruk av simuleringsmodell og programvare, ta kontakt med NFF eller NTNU, Inst. for bygg, anlegg og transport.

5 Akseptabel risiko

Som beskrevet i forrige kapittel så vil man under normale forhold ved pallsprengning være innenfor akseptabel risiko. Allikevel er det et hvert foretaks plikt å gjøre en vurdering av sine egne bore- og sprengningsoppgaver.

Videre i dette kapittelet nevnes en del tiltak som kan bidra til å redusere risikoen ved sylteboring. Hvilke tiltak som er egnet må vurderes individuelt for hvert enkelt foretak.

5.1 Risikoreduserende tiltak

1. Heving av bunnprimer over lastenivå.

Ved bruk av grove borhulldiameterer kan bunnprimeren henges opp over lastenivå. Dette kan gjøres så lenge sprengstoff kan renne fritt forbi primeren ned i bunn av borehullet. Dette sikrer at dersom bunttenner og primer ikke har detonert så vil de bli lastet opp og detonerer (mest sannsynlig) i knuser.

2. Avviksmåling og innmåling.

Avviksmåling av borhull og koordinatfesting av topp og bunn i borhull vil gi ekstakt plassering av hullbunn og kan benyttes for sikker utsetting av borhull på neste nivå.

3. Videofilming.

Videofilming av salver er en enkel og effektiv teknikk for å kontrollere opptenningen. Med dagens videoutstyr kan man overføre og redigere filmsekvenser slik at man kan følge opptenningen i salven i sakte film og på den måten kontrollere om alle tennere går av.

4. Elektroniske tennsystemer.

Elektroniske tennere gir mulighet til å kontrollere at alle tennere er koblet med og detonert. Systemene som eksisterer i dag har toveis kommunikasjon og gjør det mulig å kontrollere samtlige tennere før og etter detonasjon.

5.2 Teknikker og ideer for fremtiden

1. Radiosender/sporingsbrikke.

Et aktuelt tiltak i fremtiden kan være å støpe inn en radiosender eller sporingsbrikke i primer. Da vil det være mulig å spore opp eventuelle forsagere etter sprengning, og slik unngå påboring.

2. Videreutvikling av borrhigger.

Riggene kan utstyres med GPS, avvikssonde, PC og programvare som på bakgrunn informasjon om nivåer og bormønster automatisk generer "sikkert" bormønster på neste nivå. Noe av teknikken finnes i dag, men det er rom for videreutvikling. Pansring eller fjernstyring av borrhigger vil kunne redusere konsekvensen ved en ulykke.

3. Redusert sprengstofflevetid.

Dette kan være et aktuelt tiltak. Dersom sprengstoffet blir ferskvare, med en viss holdbarhet kan eventuelle forsagere i sylta være ufarlige dersom de er utgått på dato ved påboring.



Figur 2 Avviksmåling ved Feiring Bruk. Foto: Vegard Olsen

6 Oppsummering

Forutsetningen for at vi skal kunne utføre sprengningsarbeider her i landet, er at det skal skje med akseptabel risiko for samfunnet. Risikoen vil alltid veies opp mot samfunnsnyttene, men jo flere uønska hendelser, jo større press vil det bli på å stramme inn på regelverket knyttet til bruk av sprengstoffer.

Det er derfor viktig å bevisst planlegge og utføre arbeidet på en slik måte at uønska hendelser ikke forekommer. For å opprettholde sikre arbeidsforhold og samfunnets aksept av bransjen er det viktig at planer og risikovurderinger utføres av, eller i samråd med, fagkyndig personell.

7 Referanser

/1/ Dyno Nobel (2001): "Et dødsfall i forbindelse med sprengning hittil i år," *Fjellsprengern*, nr 2 Desember 2001, artikkel på side 9.

/2/ Nielsen, K og Hansen, S. E. 1996: Finstoffdannelse ved pallsprengning. Konsekvenser av unøyaktig boring. Fjellsprengningskonferansen 1996, 11 sider.

/3/ NTNU- Anleggsdrift (2002): "*Kompendium i Anleggsteknikk*," Institutt for bygg anlegg og transport, NTNU, Trondheim.

8 Vedlegg

Borutstyr	Toppammerrigg
	89 mm "drop center retrac" krone
	T51, borstål
Sprengbarhet	Middels, SPR = 0,47
Sprengstofftype	Slurry / ANFO
Opptenning	Nonel
	Topp- og bunntenning
	Bunnprimer, Dynoprime 1 kg.
Bormønster	2,4 x 3,0 m
Borhullsavvik	Middels
Pallhøyde	15 m
Avviksmålt salve	Nei
Koordinatfesting av borhull	Nei

Vedlegg 1 Grunnlagsdata for beregningene i simuleringsmodellen.

Usikkerhetsfaktor	Sannsynlighet		
	Min	Middels	Maks
Treffe på uønsket område	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$1,9 \cdot 10^{-3}$	$3,3 \cdot 10^{-3}$
Feil på bulksprengstoff	0	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-5}$
Feil på tenner	0	$4,0 \cdot 10^{-6}$	$5,0 \cdot 10^{-5}$
Feil på primer	0	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$
Feil ved ladearbeid	$1,0 \cdot 10^{-7}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$
Feil ved kobling	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$
Dødpressing	$7,0 \cdot 10^{-7}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$5,0 \cdot 10^{-6}$
Kutt av ladestreg	$1,0 \cdot 10^{-7}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$
Bulksprengstoff intakt	0	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$
Nok energi til detonasjon. av bulksprengstoff	0	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$
Tennladning intakt	0,95	0,999	1,0
Nok energi til detonasjon av tennladning	0,5	0,9	1,0

Vedlegg 2 Sannsynlighetsverdier for faktorene brukt i simuleringsmodellen.

Håndbøker fra NFF/NBG

- Nr. 1: Fjellinjeksjon. Praktisk veiledning i valg av tettestrategi og injeksjonsopplegg. (kr 200,-)
Nr. 2: Engineering Geology and Rock Engineering. (kr. 500,-)
Nr. 3: Arbeidsmiljø under jord. (kr. 150,-)
Nr. 4: Håndbok for skytebas. (kr. 150,-)

Tekniske rapporter fra NFF/NBG (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.

Norwegian Tunneling Technology

- No. 1: Hard Rock Tunneling
No. 2: Tunneling Technology
No. 3: Hydropower Tunneling
No. 4: Road Tunneling
No. 5: Tunneling Today
No. 6: Geology of Norway (a map)
No. 7: Tunneling Reviewed in the International Press
No. 8: Subsea Tunneling
No. 9: Underground Storage
No. 10: Urban Tunneling
No. 11: Hard Rock TBM Tunneling
No. 12: Water Control Tunneling
No. 13: Health and Safety in Norwegian Tunneling
No. 14: Norwegian Tunneling

Fjellsprengningsdagen (Høstkonferansen)

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

Rapporten kan bestilles hos:

NFF/

Postboks 34 Grefsen

0401 OSLO

Fax: 22 89 11 01

E-post: nff@nff.no

NORWEGIAN TUNNELLING SOCIETY



REPRESENTS EXPERTISE IN

- Hard Rock Tunneling techniques
- Rock blasting technology
- Rock mechanics and engineering geology

USED IN THE DESIGN AND CONSTRUCTION OF

- Hydroelectric power development, including:
 - water conveying tunnels
 - unlined pressure shafts
 - subsurface power stations
 - lake taps
 - earth and rock fill dams
- Transportation tunnels
- Underground storage facilities
- Underground openings for public use



NORSK FORENING FOR FJELLSPRENGNINGSTEKNIKK
Norwegian Tunnelling Society

P.O. Box 34 Grefsen, N-0409 Oslo, Norway
nff@nff.no



NORSK FORENING FOR
FJELLSPRENGNINGSTEKNIKK

Adresse:
Postboks 34 Grefsen
0409 Oslo
NORGE

ISBN 82-92641-03-3