

Luftkvalitet ved tunneldriving, helsemessig eksponering og mulige tiltak



NFFs tekniske rapporter er utarbeidet av fagpersoner oppnevnt av utviklingskomiteen i NFF. Innholdet er i samsvar med kjent viten på det tidspunkt redigering ble avsluttet. Feil eller mangler kan likevel forekomme. NFF, forfattere eller fagkomiteen har intet ansvar for eventuelle feil eller mangler i rapporten og mulige konsekvenser av disse.

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

© Norsk Forening for Fjellsprenningsteknikk - NFF

ISBN - 978-82-92641-27-9

Forsidebilde:



Trykk: Helli - Visuell kommunikasjon

Forord

Norsk Forening for Fjellsprengningsteknikk (NFF) er en åpen forening for personer og virksomheter knyttet til eller interessert i aktiviteter som angår norsk bergteknologi. En sentral del av foreningens arbeid gjelder utviklingsprosjekter til nytte for bransjen. Dette skjer i nært samarbeid med relevante aktører, og de oppnådde resultater gjøres kjent gjennom NFF sine publikasjoner, håndbøker eller tekniske rapporter.

Teknisk rapport nr.13 omfatter to deler. Del én er en rapport fra et omfattende prøveprogram for å dokumentere hvordan helsen til arbeidere bli påvirket av arbeidsmiljøet i underjordsanlegg. Denne delen er utarbeidet av

Overlege, dr. med., Bente Ulvestad, Statens arbeidsmiljøinstitutt

Avdelingsdirektør, dr. med., Dag G. Ellingsen, Statens arbeidsmiljøinstitutt

Forskningssjef, cand.real., Yngvar Thomassen, Statens arbeidsmiljøinstitutt

Del to omfatter praktiske råd for ventilering av underjordsanlegg og kontroll av de tiltak som etableres. Det gjelder blant annet målinger av CO, NO₂, oljetåke og α-kvartsinnhold i tunnelatmosfæren og hvor det bør måles og når det skal måles. Videre pekes på betydning av motorteknologi, drivstoffkvalitet, drifting av ventilasjonsanlegg og vedlikehold av vegbane relatert til støv. Del to er utarbeidet av Jan Elvøy og John Ivar Fagermo.

Vår takk til forfattere og andre bidragsytere til rapporten.

November 2012

NFF - Utviklingskomiteen

Innhold

Luftkvalitet ved tunneldriving, eksponering og mulige tiltak.....	4
Tidligere rapporter	4
Del 1: En studie av helse og eksponering ved driving av tunnel	5
1 Sammendrag	5
2 Summary	7
Methods.....	7
Results.....	7
Discussion.....	7
3 Bakgrunn for undersøkelsen	8
4 Studiens målsetninger.....	9
5 Deltagere i undersøkelsen og metode	9
5.1 Prøvetaking og bestemmelse av forurensninger i luft	10
5.2 Bestemmelse av forurensninger i luft ved direktevisende utstyr	11
5.3 Fordypningsundersøkelse av eksponering	12
5.4 Statistisk analyse	12
6 Resultater	14
6.1 Eksponering.....	14
6.2 Lungefunksjon ved første helseundersøkelse	15
6.3 Lungefunksjonsendringer i løpet av oppfølgingstiden (9 dager).....	15
6.4 Biomarkører for inflammasjon	15
7 Diskusjon	16
8 Oppsummering og konklusjon	17
Tabell 1. Konsentrasjoner av luftforurensninger ved arbeid i tunnel	18
Tabell 2. Bakgrunnsvariabler for studiegruppene	19
Tabell 3. Lungefunksjon før eksponering (gjennomsnitt (standard avvik)).....	19
Figur 1. Luftkonsentrasjon (gjennomsnitt og konfidensintervall) av kvarts i de undersøkte tunnelene.	20
Figur 4. Variabilitet av luftkonsentrasjonen av ammoniakk ved utlasting av masse etter sprengning.....	21
Figur 5. Variabilitet av luftkonsentrasjonen av nitrogendioksid ved vedlikehold av borerigg i nisje	22
Figur 6. Sammenhengen mellom reduksjon i lungefunksjon (FVK) hos tunnelarbeidere i forhold til eksponering for organisk karbon	23
Figur 7. Konsentrasjoner av CC16 (gjennomsnitt og konfidensintervall) etter arbeidshistorie	23
Referanser	24
Del 2: Praktiske råd for ventilerer av underjordsanlegg.....	25
Myndighetskrav	25
Motorteknologi	25
Gass og støvmålinger	25
Støv i tunnelatmosfæren	25

Samtidige aktiviteter	25
Planlegging	25
Generelt	25
Eksponeringstid	26
Luftbehov ved tunneldrift	26
Plassering av ventilasjonvifter	26
Maskiner og utstyr	27
Vegbane	27
Luftbehov bak stuff	27
Automatisk styring	28
Parallelle aktiviteter/innredningsfasen	28
Sjakt	29
Gjennomføring	29
Rettilinjet oppheng.	29
Vedlikehold av ventilasjonduk	30
Tilpasset duk gjennom kurver	30
Støvdemping	30
Oppsummering	32

Luftkvalitet ved tunneldriving, eksponering og mulige tiltak

Denne rapporten inneholder to deler. Del én er en rapport fra et omfattende prøveprogram for å dokumentere hvordan helsen til arbeidere bli påvirket av arbeidsmiljøet i underjordsanlegg. Studiet er det mest omfattende som noen sinne er utført innenfor eksponering og helseeffekter ved underjordsarbeider. Materiale er derfor svært interessant og meget nyttig i forhold til det videre arbeidet som nødvendigvis må gjøres for å få kontroll med luftkvaliteten under jord. Del to inneholder en del praktiske råd til ventilering av underjordsanlegg i drivefasen.

Studiet viser at noen av tiltakene som følge av prosjekt som NFF har deltatt i har hatt sin effekt. NFF har, i senere år, vært delaktig i følgende prosjekt som vedrører luftkvalitet ved underjordsarbeider;

Tidligere rapporter

NFF har tidligere utgitt tekniske rapporter knyttet til arbeidsmiljø i tunneler. Vi viser til hjemmesiden til NFF (<http://www.nff.no>) for linker til rapportene. «Diesel under jord» var et prosjekt som over flere år fram til 2006, samlet erfaring fra hvordan dieselmotorer påvirket arbeidsmiljø og luftkvalitet ved tunnelvirksomhet. Vi vil her bare kort gjengi rådene som framkommer i sammendragene i de tekniske rapportene fra prosjektet «diesel under jord».

- Anleggsmaskiner som benyttes under jord bør ha renseutstyr for avgasser. Ettermontering av renseutstyr gir godt resultat.
- Bruk av renseutstyr må kombineres med lavsvoveldiesel.
- Vedlikehold av motorer, drivstoffsystem og tankanlegg er viktig.
- Utskifting til lavemisjonsmotorer evt. med fabrikk montert avgassrensing.
- Forbedre måleutstyr og metoder slik at luftkvaliteten kan overvåkes.
- Undersøke konsekvenser av de spesielt skadelige fine partiklene (nanopartikler) i avgasser.
- Etablere prosedyrer for kontroll av arbeidsmiljø, Hva, når og hvordan skal det måles?
- Økt fokus fra alle parter på dokumentasjon av luftkvalitet som en viktig del av arbeidsmiljøet.

Del 1: En studie av helse og eksponering ved driving av tunnel

Overlege, dr. med., Bente Ulvestad, Statens arbeidsmiljøinstitutt

Avdelingsdirektør, dr. med., Dag G. Ellingsen, Statens arbeidsmiljøinstitutt

Forskningssjef, cand.real., Yngvar Thomassen, Statens arbeidsmiljøinstitutt

1 Sammendrag

Tunnelarbeidere er eksponert for en rekke luftforurensninger i sitt arbeid. Det har vært vist at eksponering for partikler kan resultere i inflammasjon i luftveiene og reduksjon i lungefunksjon. Anti-inflammatoriske proteiner som Clara-celle-protein-16 (CC16) og Surfactant-Protein-D (SPD) kan benyttes som biomarkører for inflammasjon i luftveiene. Vår hypotese var at eksponering ved tunneldriving ville føre til reduksjon i lungefunksjon og endringer i serumkonsentrasjonen av proteinene CC16 og SPD.

Metode

Nitti tunnelarbeidere og en kontrollgruppe på 51 funksjonærer som ikke var utsatt for luftforurensning i noen betydelig grad, ble undersøkt med lungefunksjonstester og blodprøver etter en eksponeringsfri periode på 12 dager. De ble undersøkt på ny 9 dager senere, dvs. etter 9 dager på jobb.

Det ble gjennomført en omfattende eksponeringskartlegging.

Resultater

Luftkonsentrasjonene for partikler og α -kvarts (i torakal aerosolfraksjon) ble målt henholdsvis i området mellom 0,1 og 11,3 mg/m³ og 3 og 919 μ g/m³. Luftkonsentrasjonen for oljetåke var i området 0,1 til 15 mg/m³. Den gjennomsnittlige luftkonsentrasjonen for ammoniakk ble målt i området mellom 0 og 18 ppm. Reduksjon i lungefunksjon (målt som FEV₁(liter)) hadde sammenheng med antall år ansatt som tunnelarbeider, alder og legediagnostisert astma. I eksponert gruppe falt lungefunksjonen målt ved forsert vitalkapasitet (FVK) med gjennomsnittlig 51 ml i løpet av arbeidsperioden på 9 dager. Reduksjonen i FVK var statistisk signifikant assosiert med eksponering for organisk karbon. Det var også reduksjon i FEV₁ hos eksponert gruppe, men vi fant ingen samvariasjon med eksponering.

Konsentrasjonen av SPD gikk signifikant ned fra 84,8 til 77,7 ng/ml i den eksponerte gruppen. Denne konsentrasjonsforandringen i SPD var relatert til timer med arbeid i tunneler i løpet av oppfølgingsperioden.

Den gjennomsnittlige konsentrasjonen av CC16 målt ved den første undersøkelsen var positivt assosiert med lungefunksjon (FEV₁ prosent av forventet), og var signifikant lavere hos personer som røykte. CC16 var også negativt assosiert med år med tunnel arbeid.

Diskusjon

Eksponering for kvarts og oljetåke kan være betydelig. Kortvarige episoder med høy eksponering for partikler og ammoniakk kan også være betydelig. Eksponeringen fører til

reduksjon i lungefunksjon på kort sikt, og mest sannsynlig også på lang sikt. Eksponeringen fører også til endring i konsentrasjonen av biomarkører for inflammasjon i luftveiene. Bransjen anbefales å gjennomføre tiltak for eksponeringsreduksjon.

2 Summary

Tunnel workers are exposed to a mixture of airborne contaminants. It has been proposed that particulate exposure results in pulmonary inflammation and lung function impairment. Clara-cell-protein-16 (CC16), an anti-inflammatory protein secreted along the bronchial tree, and the Surfactant-protein-D (SPD) secreted by the alveolar epithelium may function as biomarkers of pulmonary inflammation. We hypothesized that exposure during tunneling would cause lung function decline and changes in the serum concentration of the pneumoproteins CC16 and SPD.

Methods

Ninety tunnel workers and 51 referents without airborne occupational exposure were examined with lung function tests, blood samples and a questionnaire after an exposure free interval of 12 days. They were re-examined 9 days later.

An extensive exposure assessment was carried out.

Results

The air concentrations of particles and α -quartz in the thoracic aerosol fraction ranged from 0.1 to 11.3 mg/m³ and from 3 to 919 μ g/m³, respectively. The air concentration of elemental carbon ranged from 4 to 172 μ g/m³ and oil mist from 0.1 to 15 mg/m³.

Forced expiratory volume in one second (FEV₁) declined significantly during follow-up by 64 ml in the exposed workers, in contrast to a non-significant decline of 4 ml in the referents. SPD declined significantly from 84.8 to 77.7 ng/ml in the exposed workers, in contrast to the referents who had a non-significant decline of 1.2 ng/ml. The decline in SPD was related to self-reported hours of work in tunneling during the follow-up period.

The mean concentrations of CC16 measured at the first examination were positively statistical significantly associated with FEV₁ percent of predicted, significantly lower in subjects reporting chest wheezing, in current smokers, and were also negatively associated with years of tunnel work.

Discussion

Air exposure in tunnel work to α -quartz and oil mist has substantial impact on decline in lung function and the determined concentrations of the pneumoproteins. SPD and FEV₁ declined significantly during the follow-up period. The industry should identify measures to reduce exposure to α -quartz, oil mist and gasses.

3 Bakgrunn for undersøkelsen

Eksponering og helseeffekter blant tunnelarbeidere ble studert i Norge på 1990 tallet (Ulvestad et al. 2000 og 2001, Bakke et al. 2001a og 2001b). Den undersøkelsen påviste at 14 % av aktive tunnelarbeidere hadde kronisk obstruktiv lungesykdom (KOLS). Høy forurensning i arbeidsatmosfæren kan være en årsak til utvikling av KOLS. Andre studier har også vist økt forekomst av lungesykdommer blant tunnelarbeidere og andre anleggsarbeidere (Oliver et al. 2001 og 2006, Sullivan et al. 1995).

Tunnelarbeidere kan være eksponert for en rekke luftforurensninger som støv, α -kvarts, dielelektos, oljetåke, nitrogendioksid og karbonmonoksid i varierende grad (Bakke et al., 2001a). Store mengder mineralstøv frigjøres ved sprengning av fjell. Graden av kvartseksponering er sterkt avhengig av lokale geologiske forhold. Det genereres støv ved fjellboring, blanding av sement, betongsprøyting og transportoperasjoner. Dieseldrevne maskiner som brukes i de fleste anleggsprosesser, slipper ut karbonmonoksid, nitrogendioksid, forskjellige hydrokarboner og partikler til arbeidsatmosfæren (Bakke et al., 2001a). Tunnelarbeidere kan eksponeres for svært høye konsentrasjoner av både støv og gasser i kortere perioder (Bakke et al., 2001a), og kontinuerlige for lavere konsentrasjoner i lengre perioder.

Eksponering for støv (partikler), α -kvarts, nitrogendioksid og oljetåke forekommer som oftest samtidig, og det kan være vanskelig å skille mellom disse i forhold til eventuelle helseeffekter (Bakke et al., 2001b). I en tidligere studie fant en at den gjennomsnittlige luftkonsentrasjonen av nitrogendioksid var moderat (0,8 ppm) (Bakke et al., 2001a). Luftkonsentrasjonen av partikler (respirabelt støv) ble målt i området 1.2 mg/m^3 - 3.6 mg/m^3 , mens konsentrasjonen av α -kvarts ble målt i området 1 til $2000 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ i totalt 299 målinger blant tunnelarbeidere på 1990-tallet (Ulvestad et al., 2001). Kortvarige, høye eksponeringer for støv er dårlig kartlagt.

Siden 1990 tallet har flere endringer funnet sted i måten tunneler drives. Dette kan ha betydning for eksponeringssituasjonen ved tunneldriving. Sprengstoffet Slurry har erstattet ANFO, ventilasjonen skal være forbedret og dumpere og andre maskiner er modernisert og skal ha lavere utslipp av eksos. Likevel er det sannsynlig at tunnelarbeidere fremdeles er eksponert for en rekke luftveisirriterende stoffer.

I denne studien ønsket vi å studere om eksponering for støv og gass ved tunneldriving i dag kan føre til negativ påvirkning av lungefunksjon og gi risiko for lavgradig betennelse

(inflammasjon) i lungene og eventuelt utvikling av inflammasjon andre steder enn i lungene (systemisk inflammasjon).

Studien er et samarbeidsprosjekt mellom entreprenørene AF-gruppen AS, Mesta AS og Veidekke ASA, Norsk forening for fjellsprengningsteknikk og Statens arbeidsmiljøinstitutt. Studien er finansiert av Fondet for regionale verneombud i bygge- og anleggsbransjen og av Statoils arbeidsmiljøfond, samt av deltagende entreprenører.

4 Studiens målsetninger

- Kartlegge eksponering
- Studere lungefunksjon
- Studere biomarkører for inflammasjon i lungene
- Studere biomarkører for inflammasjon andre steder enn i lungene (biomarkører for hjerte-kar sykdom)
- Studere forholdet mellom eksponering og de målte effektparametre
- Studere mønsteret i eksponering ved bruk av direktevisende utstyr

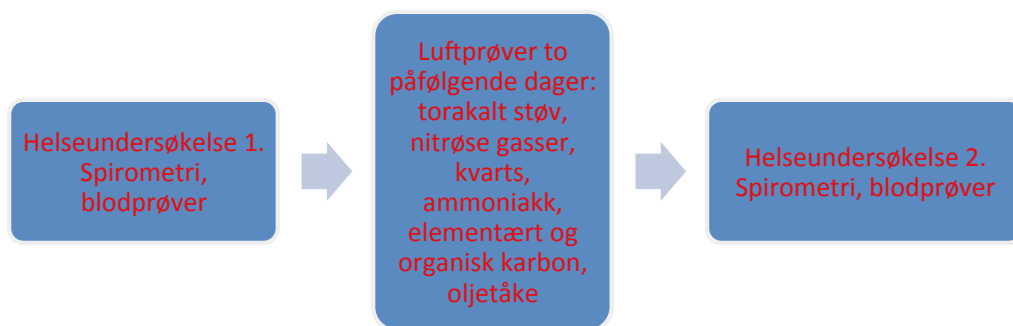
5 Deltagere i undersøkelsen og metode

Generelt kan ansatte ved driving av tunnel inndeles etter arbeidsoppgaver. De som er involvert i selve drivingen er høyest eksponert for støv og gasser og utgjorde målgruppen for denne studien. I tillegg er det på anleggene administrativt/teknisk personell og personer involvert i planlegging og ledelse av arbeidet. Disse er stort sett ikke eksponert for støv og gasser. Fra disse ble det rekruttert kontrollpersoner. Til sammen deltok 90 tunneldrivere og 51 kontrollpersoner, som var fordelt på ti tunnelanlegg og en sjakt. To tunneldrivere ønsket ikke å delta i undersøkelsen. Tunneldrivere ble delt inn i følgende jobbgrupper; stoffarbeider, stoffreparatør, laster, bakstoffarbeider, betongsprøyter, forinjeksjonsarbeider og sjaktdriver. Sjaktdriverne drev sjakt fra arbeidsplattform (Alimak).

De ansatte arbeider turnus med 12 dager arbeid og 9 dager fri. Helseundersøkelsene ble utført rett før arbeidsperioden og helt mot arbeidsperiodens slutt. Ved disse anledningene ble det gjort lungefunksjonsmålinger, og det ble tatt blodprøver for bestemmelse av biologiske markører (Clara celle protein 16 (CC16) og Surfactant protein D (SPD)). CC16 er et anti-inflammatorisk protein som skilles ut langs bronkialtreet. SPD er også et anti-inflammatorisk protein som skilles ut av epitelcellene i lungeblærene (alveolene). Disse proteinene fungerer som biomarkører for lavgradig inflammasjon i luftveiene.

Et spørreskjema ble brukt for å registrere bakgrunnsvariabler og annen relevant informasjon av betydning for tolkningen av resultatene. Spørreskjemaet ble fylt ut av deltagerne. Komplettheten av svarene ble kontrollert ved undersøkelsen.

Arbeidsperioden



5.1 Prøvetaking og bestemmelse av forurensninger i luft

Personbårne eksponeringsmålinger ble gjort to påfølgende arbeidsdager i perioden mellom helseundersøkelsene. De eksponerte arbeidstakerne ble utstyrt med bærbare prøvetakerne som samler inn forurensningskomponenter som de utsettes for gjennom hele arbeidsskiftets varighet.

En bærbar torakal sykron utstyrt med to luftfiltre for oppsamling av partikler, α -kvarts og nitrogendioksid ble benyttet i kombinasjon med en luftpumpe som opprettholder en konstant luftgjennomstrømning i syklonen på 1.7 l/min. 37 mm PVC, 5 μ m membranfiltre og cellulose gassfiltre impregnert med NaI ble benyttet. Elementært karbon ble bestemt som en markør for dieseleksospartikler. Prøver for analyser av elementært og organisk karbon ble samlet på kvartsfiltre.

Partikkelfilteret ble analysert for total masse (torakal aerosolfraksjon) ved gravimetri ved veiing av kondisjonerte filtre før og etter prøvetaking. Nitrogendioksid omdannes til nitritt/nitrat i gassfilteret og disse forbindelsene ble bestemt ved ionekromatografi.



Bildet viser en tunnelarbeider som bærer måleutstyr for analyse av støvinnhold.

5.2 Bestemmelse av forurensninger i luft ved direktevisende utstyr

Et utvalg arbeidstakere ble utstyrt med bærbare elektrokjemiske gass-sensorer for bestemmelse av nitrogendioksid og ammoniakk. Dette direktevisende måleutstyret viser variabiliteten av konsentrasjonen av gitte luftforurensninger som funksjon av tid.

5.3 Fordypningsundersøkelse av eksponering

Det er grunn til å tro at konsentrasjonen av forurensningene i arbeidsatmosfæren varierer betydelig og at arbeidstakerne utsettes for kortvarige høye eksponeringer. Disse bidrar i betydelig grad til den totale eksponeringen. PIMEX metoden er et visualiseringsverktøy for toppeksposeringer og ble anvendt i fordypningsstudien. Sensorene overfører signaler til en liten bærbar datalogger som umiddelbart sender signalene telemetrisk til en datamaskin. Datamaskinen mottar samtidig et videobilde av arbeidstakeren (en person må videofilme arbeidstakeren). Videobildet kobles sammen med forløpet av forurensningskomponentene i arbeidsluften. Derved kan man visualisere arbeidsprosessene som utføres samtidig med at eksponeringen måles. Anvendelse av dette prinsippet kan gi viktig forståelse av årsaker til toppeksposeringer og hvordan disse eventuelt kan håndteres i forebyggende henseende.

5.4 Statistisk analyse

Skjevt distribuerte effektmål ble transformert ved bruk av naturlige logaritmer. Det ble testet statistisk for forskjeller mellom alle eksponerte og kontroller. Videre var utviklingen i effektmålene over arbeidsperioden primært i fokus. I tillegg er forskjeller i differansen i målte effekter over tid mellom eksponerte og kontroller viktig. Dette medfører at statistiske tester for både parett og uparett utvalg ble brukt. Videre statistisk testing for å evaluere forholdet mellom dose og respons ble gjort ved hjelp av multipl lineær regresjonsanalyse.

Noen utenforliggende variabler må kontrolleres for i de statistiske analyser. Alder er av vesentlig betydning. Videre kan røykevaner og overvekt ha betydning for konsentrasjonen til flere av effektmålene.

Det statistiske dataprogrammet SPSS ble brukt til analysene. Tosidige p-verdier på 0,05 eller lavere anses å angi statistisk signifikante gruppeforskjeller.



Bildet viser filter fra målinger i ulike arbeidsatmosfærer. Det mørkeste er benyttet i sjakt.

6 Resultater

6.1 Eksponering

Totalt 89 tunnel drivere deltok i eksponeringsundersøkelsen ved å bære måleutstyr på seg gjennom skiftet. De fleste (>90 %) bar måleutstyr i 2 påfølgende arbeidsdager.

Luftkonsentrasjonene av partikler og α -kvarts (i torakal aerosolfraksjon) lå henholdsvis i området mellom 0,1 og 11,3 mg/m³ og 3 og 919 μ g/m³ (tabell 1). De høyeste luftkonsentrasjonene av partikler og α -kvarts ble påvist hos sjaktdriverne.

Luftkonsentrasjonen av elementært karbon, som er en markør for dieseleksospartikler, ble målt i området mellom 2 og 174 μ g/m³ (tabell 1). Konsentrasjonen av oljetåke var i området mellom 0,1 og 15 mg/m³ (tabell 1). Den høyeste luftkonsentrasjonen av oljetåke ble påvist hos sjaktdriverne.

Luftkonsentrasjonen av α -kvarts varierte mellom tunneler og mellom forskjellige jobb grupper (figur 1, 2 og 3). Bortsett fra sjaktdriverne var det bakstufarbeiderne som hadde den høyeste eksponeringen for α -kvarts (figur 3).

Den gjennomsnittelige luftkonsentrasjonen av ammoniakk ble målt i området mellom 0 og 18 ppm. Konsentrasjonen av ammoniakk målt på "lasteren" var høyest rett etter sprengning (figur 4), og lå deretter ganske stabilt gjennom utlastingsperioden. Konsentrasjonen av ammoniakk var ofte så høy at alarmen gikk på den direktevisende sensoren, som dermed ble slått av.

Den gjennomsnittelige luftkonsentrasjonen av nitrogendioksid (NO₂) lå i området mellom 0,01 og 1,05 ppm, gjennomsnitt var 0,05 ppm. Korttidseksponering for NO₂ var høy under arbeid i nisse i tunnelen mens utlasting av masse pågikk (figur 5).

Luftkonsentrasjonen av oljetåke samvarierte med luftkonsentrasjonen av organisk karbon (Spearman's rho = 0,6, p<0,001).

Kartlegging av korttidseksponering med PIMEX viste høye konsentrasjoner av partikler ved blanding av sement for gysing av bolter og forinjisering, og ved påsprøyting av olje for å beskytte maskiner og utstyr for betongsøl.

6.2 Lungefunksjon ved første helseundersøkelse

Lungefunksjonsdata er presentert i tabell 2 og 3. Lungefunksjonen målt ved første helseundersøkelse viste ingen statistisk signifikant forskjell mellom tunneldriverne og kontrollgruppe. En del av kontrollgruppen, nemlig funksjonærer som hadde arbeidet som tunneldriver tidligere, hadde statistisk signifikant lavere lungefunksjon enn funksjonærer som aldri hadde jobbet i tunnel. Tidligere tunnelarbeidere hadde også lavere lungefunksjon enn de som i dag er aktive tunneldriverne (tabell 3). Reduksjonen i lungefunksjon (målt ved FEV₁(liter)) hadde sammenheng med antall år ansatt som tunnelarbeider, alder og legediagnostisert astma. I de statistiske analysene kontrollerte vi for andre faktorer som kan påvirke lungefunksjon (høyde, kroppsmasseindeks (KMI), røyking, selvrapportert luftveisinfeksjon).

6.3 Lungefunksjonsendringer i løpet av oppfølgingstiden (9 dager)

I eksponert gruppe fant vi en reduksjon i lungefunksjonen målt ved forsert vitalkapasitet (FVK) med gjennomsnittelig 51 ml i løpet av arbeidsperioden på 9 dager, sammenliknet med en ikke-signifikant stigning på 33 ml blant kontrollene. Reduksjonen i FVK var statistisk signifikant assosiert med eksponering for organisk karbon (figur 6). I eksponert gruppe fant vi også fall i FEV₁ i løpet av 9 dager på jobb, men vi fant ingen samvariasjon med eksponering etter å ha kontrollert for andre faktorer som kan påvirke lungefunksjon (høyde, KMI, røyking, selvrapportert luftveisinfeksjon).

6.4 Biomarkører for inflammasjon

Det var ingen statistisk signifikant forskjell i konsentrasjonene av biomarkører for inflammasjon i lungene (SPD og CC16) mellom tunneldriverne og kontrollgruppe ved første helseundersøkelse. SPD ble redusert signifikant fra 84,8 til 77,7 ng/ml, $p=0,003$, i eksponert gruppe, mens kontrollene hadde en ikke-signifikant reduksjon på 1,2 ng/ml. Reduksjonen i SPD hadde sammenheng med antall timer tunnelarbeid de undersøkte rapporterte i løpet av oppfølgingstiden.

Den gjennomsnittelige konsentrasjonen av CC16 ved første helseundersøkelse hadde sammenheng med lungefunksjonen (FEV₁ i prosent av forventet), dvs. jo bedre lungefunksjon jo høyere konsentrasjon av CC16. Konsentrasjonen av CC16 var signifikant lavere hos personer som rapporterte luftveissymptomer som pipelyd i brystet og hos røykere. Lav CC16 hadde også sammenheng med antall år ansatt som tunnelarbeider, dvs. jo flere år som tunnelarbeider jo lavere CC16. Konsentrasjonen av CC16 var lavest hos en del av kontrollgruppen som hadde vært tunnelarbeidere tidligere, men som nå var funksjonærer (skiftledere) (figur 7).

Andre effektmål for inflammasjon (biomarkører for hjerte-kar sykdom) viste ingen forskjell mellom gruppene og heller ingen endring gjennom arbeidsperioden.

7 Diskusjon

Denne studien viser at pågående eksponering ved tunneldriving fører til akutt reduksjon i lungefunksjon. Resultatene kan også indikere at lungefunksjonen reduseres på lang sikt. Eksponeringen påvirker også konsentrasjonen av anti-inflammatoriske proteiner som CC16 og SPD som dannes i luftveiene. Dette kan tyde på at eksponeringen fører til lavgradig inflammasjon i luftveiene som resulterer i lungefunksjonsfall. Tidligere har det vært vist at kvartseksponering av arbeidere i et steinbrudd kan føre til lavere konsentrasjoner av CC16 (Bernard et al. 1994).

Eksponering for støv (partikler i torakal aerosolfraksjon) synes ikke spesielt høy når man sammenlikner gjennomsnittet av luftkonsentrasjonene ($0,6 \text{ mg/m}^3$) med foreslått administrativ norm (5 mg/m^3). Kun ved driving av sjakt var eksponeringen høy (11 mg/m^3). PIMEX metoden viste imidlertid kortvarige episoder med svært høye konsentrasjoner av partikler (opp til 150 mg/m^3) ved enkelte arbeidsoppgaver som for eksempel blanding av sement for boltegyssing og forinjisering. Dette er kortvarige arbeidsoppgaver og tiltak for eksponeringsreduksjon anbefales.

Luftkonsentrasjonene av α -kvarts varierte mellom tunnel og kan være et uttrykk for varierende geologiske forhold. Vi så imidlertid at det kunne være store forskjeller mellom tunneler innenfor samme geografiske område, noe som både kan avspeile lokale geologiske forskjeller, men kan også være et uttrykk for dårligere yrkeshygieniske forhold med høy støvutvikling i enkelte tunneler. Eksponeringen for α -kvarts ved sjaktdriving var høy ($919 \mu\text{g/m}^3$).

Eksponeringsmålinger av oljetåke foregår kun over to timer og ble gjennomført ved stoffen og i sjakta mens boring pågikk. I sjakta dannes oljetåke av trykkluftdrevne bor. Eksponering for oljetåke ved sjaktdriving er svært høy (15 mg/m^3). Ved arbeidsoppgaver framme ved stoffen kan eksponering for oljetåke også være høy. Oljetåken på stoff oppstår mest sannsynlig mekanisk ved at borrene slår og nakkeolje (smøreolje) slynges ut i arbeidsatmosfæren. Oljetåke oppstår også når olje sprøytes på maskiner for å beskytte mot betongsprut. Luftkonsentrasjonene av organisk karbon samvarierte med luftkonsentrasjonene av oljetåke og kan muligens være et mål for eksponering for oljetåke.

Dette må klarlegges i videre undersøkelser. Reduksjon i lungefunksjon var statistisk assosiert med eksponering for organisk karbon.

Direktevisende måleutstyr viste at eksponering for ammoniakk kan være betydelig i tiden etter sprengning og under utlasting. Eksponering for NO₂ synes å ha blitt betydelig lavere siden 1990 tallet. En nærliggende, mulig forklaring kan være at man benytter sprengstoffet Slurry. Direktevisende måleutstyr viste imidlertid at eksponering for NO₂ fremdeles kan være betydelig ved arbeid i nisje i tunnelveggen mens utkjøring av masse pågår. Dette er imidlertid basert kun på en måling og bør undersøkes nærmere. Den aktuelle målingen av NO₂ (figur 5) ble tatt under utkjøring av masse fra et mellomlager. Det var to døgn siden siste sprengning pga feil på en borerigg. NO₂ kommer dermed mest sannsynlig fra dieseleksos i dette tilfellet.

8 Oppsummering og konklusjon

Eksponering ved tunneldriving fører til en akutt reduksjon i lungefunksjon, og mest sannsynlig også en permanent reduksjon i lungefunksjon på lang sikt. Eksponeringen påvirker også konsentrasjonen av anti-inflammatoriske proteiner som dannes i luftveiene.

De viktigste forurensningene i arbeidsatmosfæren som kan føre til lavgradig inflammasjon i luftveiene og reduksjon i lungefunksjon er kvarts og oljetåke. Det er stor variasjon av luftkonsentrasjonene av α -kvarts mellom tunneler, og det er stor variasjon i prosentinnholdet av α -kvarts i støvet. Eksponering for α -kvarts vil variere med geologiske forhold, men også med yrkeshygieniske forhold i den enkelte tunnel. Oljetåke dannes ved boring med luftdrevet bor, men antagelig også mekanisk ved hydraulisk boring ved at smøreolje slynges ut i arbeidsatmosfæren. Oljetåke dannes også ved påsprøyting av olje for å beskytte utstyr. Tiltak for eksponeringsreduksjon anbefales.

Tabell 1. Konsentrasjoner av luftforurensninger ved arbeid i tunnel

	Antall målinger	Aritmetisk gjennomsnitt	Geometrisk gjennomsnitt	Lavest	Høyest	Administrativ norm
Torakalt støv [mg/m ³]	171	0,75	0,6	0,1	11	5 (foreslått)
α-kvarts i torakal fraksjon [µg/m ³]	170	103	60,7	3	919	100 (i respirabel fraksjon)
Oljetåke [mg/m ³]	57	1,1	0,3	0,1	15	1
Elementært karbon [µg/m ³]	156	51,4		2,4	174	
Organisk karbon [µg/m ³]	156	171	144	51	707	
Ammoniakk [ppm]	56	4,3		0	18	25
Nitrogen dioksid [ppm]	170		0,1	0,01	1,1	0,6

Tabell 2. Bakgrunnsvariabler for studiegruppene

	Ekspontert (n=90) Gjennomsnitt (SA)	Kontroll (n=51) Gjennomsnitt (SA)
Alder [år]*	39 (12)	43 (10)
Høyde [cm]	181 (5)	180 (6)
BMI*	25,7 (3,3)	27,2 (3,8)
År som tunnelarbeider*	14 (11)	5 (9)
Daglig røyker [%]*	38	20
Tidligere røyker [%]	23	29
Aldri røyker [%]	39	49
Astma [%]*	2	12
Allergi [%]	11	8

*=gruppeforskjeller ($p < 0,05$)

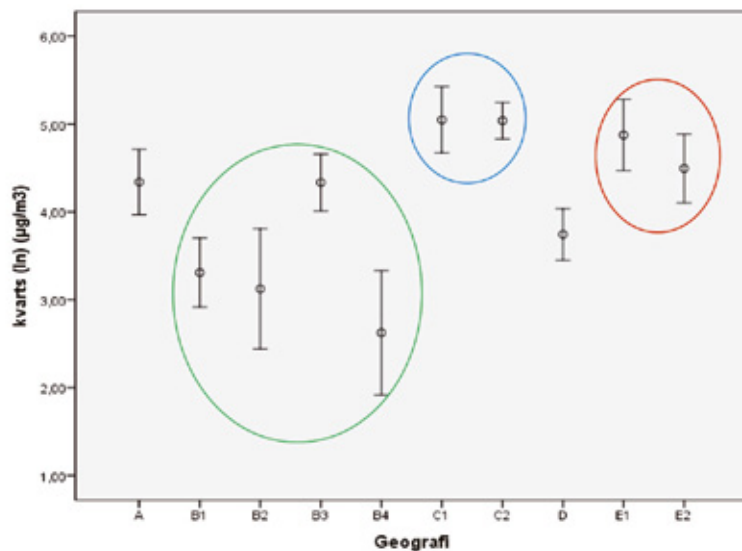
SA= standard avvik

Tabell 3. Lungefunksjon før eksponering (gjennomsnitt (standard avvik))

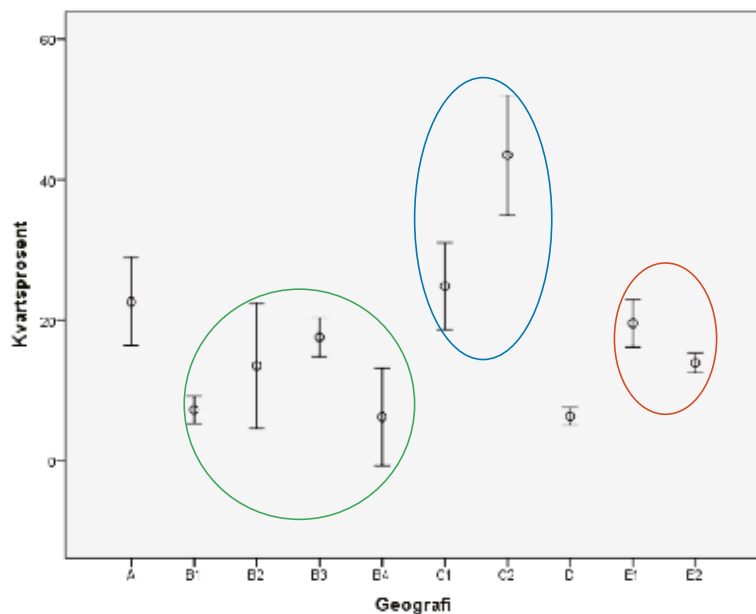
		FVK (L)	FVK % av forventet	FEV₁ (L)	FEV₁ % av forventet
Tunnel drivere (n=90)		5,1 (0,8)	100,5 (11,8)	4,0 (0,7)	95,6 (13,3)
Kontroller (alle) (n=51)		4,8 (0,8)	99 (12)	3,8 (0,7)	96 (12,7)
	Tidligere tunnel drivere (n=17)	4,4 (0,9)*	92,3 (13,4)*	3,4 (0,7)*	88,8 (12,1)*
	Aldri tunnel (n=36)	5,0 (0,7)	102 (9,9)	4,0 (0,6)	100 (11,5)

*signifikant lavere verdier enn tunnel drivere og enn kontroller uten erfaring som tunnel driver ($p < 0,01$)

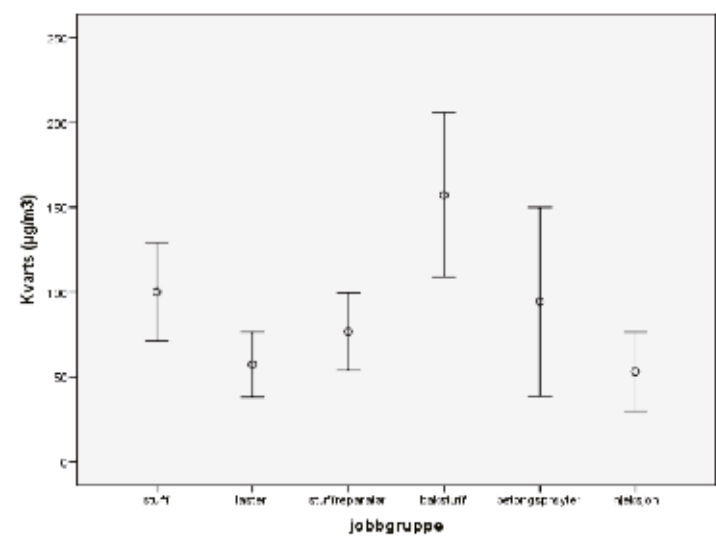
Figur 1. Luftkonsentrasjon (gjennomsnitt og konfidensintervall) av kvarts i de undersøkte tunnelene. Tunneler med samme bokstav i navnet (B, C eller E) ligger i nærheten av hverandre.



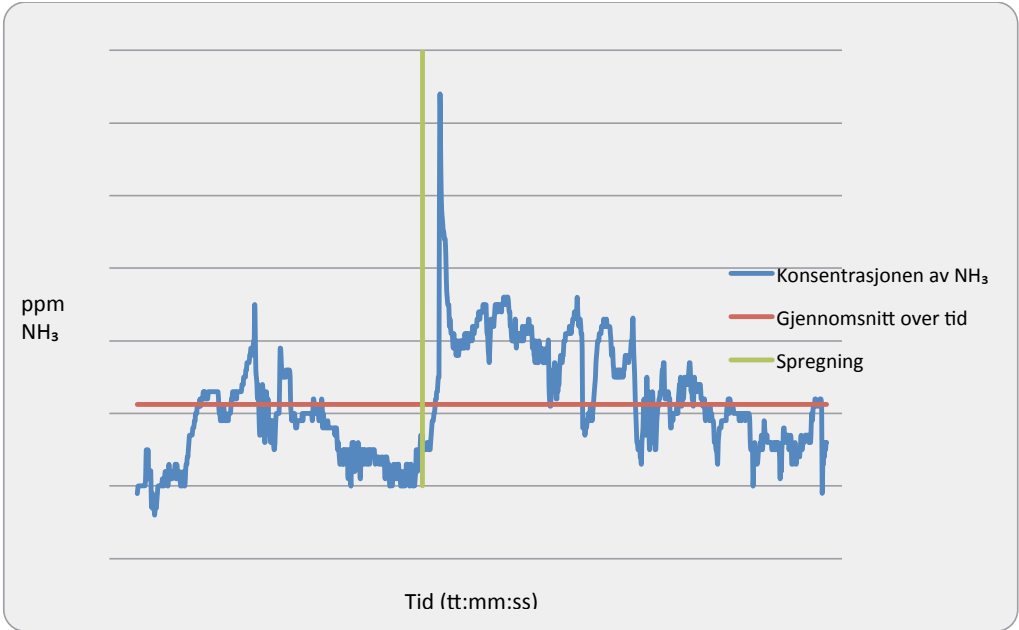
Figur 2. Prosent kvartsinnhold i torakalt støv (gjennomsnitt og konfidensintervall) i de undersøkte tunnelene. Tunneler med samme bokstav i navnet (B, C eller E) ligger i nærheten av hverandre.

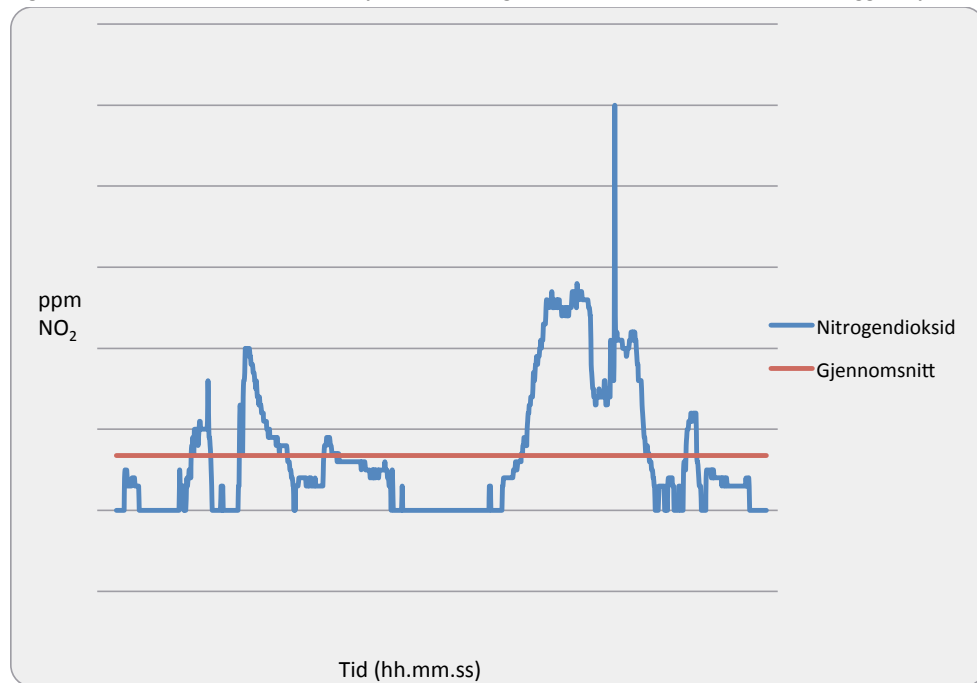


Figur 3. Luftkonsentrasjonen av kvarts (gjennomsnitt og konfidensintervall) delt inn etter forskjellige jobbgrupper.

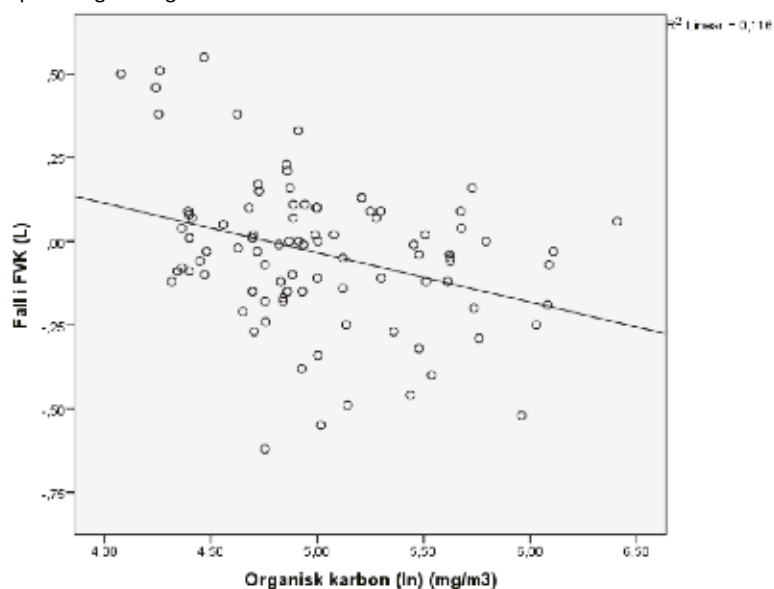


Figur 4. Variabilitet av luftkonsentrasjonen av ammoniakk ved utlasting av masse etter sprengning

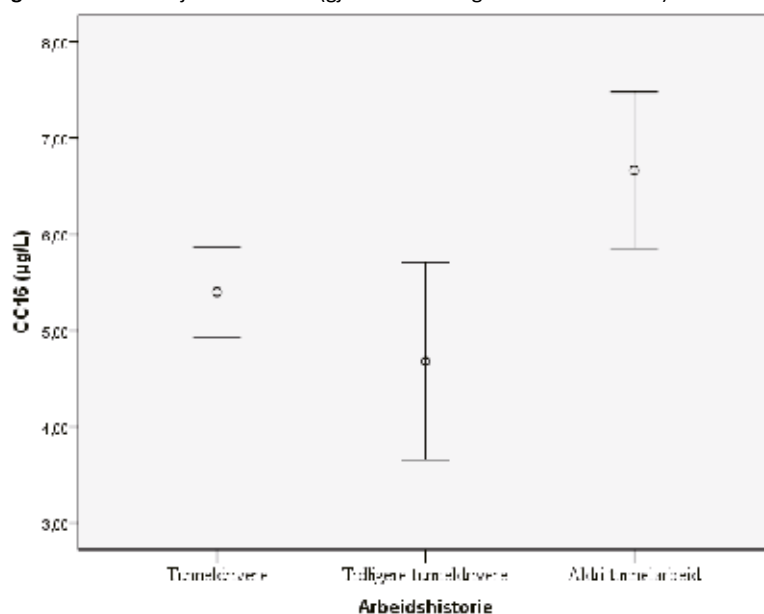


Figur 5. Variabilitet av luftkonsentrasjonen av nitrogendioksid ved vedlikehold av borerigg i nisje

Figur 6. Sammenhengen mellom reduksjon i lungefunksjon (FVK) hos tunnelarbeidere i forhold til eksponering for organisk karbon



Figur 7. Konsentrasjoner av CC16 (gjennomsnitt og konfidensintervall) etter arbeidshistorie



Referanser

Bakke B, Stewart PA, Ulvestad B, Eduard W. Dust and gas exposure in tunnel construction work. *Am Ind Hyg Assoc J* 2001a;62:457-65.

Bakke B, Ulvestad B, Stewart P, Lund MB, Eduard W. Effects of blasting fumes on exposure and short-term lung function changes in tunnel construction workers. *Scand J Work Environ Health* 2001b;27:250-7.

Bakke B, Ulvestad B, Stewart PA, Eduard W. Cumulative exposure to dust and gases as determinants of lung function decline in tunnel construction workers. *Occup Environ Med* 2004;61:262-269.

Bernard AM, Gonzalez-Lorenzo JM, Siles E, Trujillano G, Lauwerys R. Early decrease of serum Clara cell protein in silica-exposed workers. *Eur Respir J* 1994;7:1932-7.

Oliver LC, Miracle-McMahill H, Littman AB, Oakes JM, Gaita Jr RR. Respiratory symptoms and lung function in workers in heavy and highway construction: A cross-sectional study. *Am J Ind Med* 2001;40:73-86.

Oliver LC, Miracle-McMahill H. Airway disease in highway and tunnel construction workers exposed to silica. *Am J Ind Med* 2006;49:983-96.

Sullivan PA, Bang KM, Hearl FJ, Wagner GR. Respiratory disease risks in the construction industry. *Occup Med* 1995; 10: 313 - 34.

Ulvestad B, Bakke B, Melbostad E, Fuglerud P, Kongerud J, Lund MB. Increased risk of obstructive pulmonary disease in tunnel workers. *Thorax* 2000;55:277-82.

Ulvestad B, Bakke B, Eduard W, Kongerud J, Lund MB. Cumulative exposure to dust causes accelerated decline in lung function in tunnel workers. *Occup Environ Med* 2001;58:663-9.

Del 2: Praktiske råd for ventilering av underjordsanlegg

Myndighetskrav

Det bør stilles krav til beregning av nødvendig ventilasjonskapasitet i alle prosjektets faser, samt spesifikt maskinvalg. Dette kravet bør framkomme i konkurransegrunnlaget. Et dataprogram for entydig beregning av nødvendig kapasitet bør utvikles av bransjen/byggherrer.

Motorteknologi

Det er i dag vanlig at byggherrene stiller krav om at det skal benyttes diesel av høyeste kvalitet ved bruk under jord. Det finnes i dag nye produkter som vi ikke kjenner alle effekter av. Et eksempel på dette er syntetisk diesel som visstnok skal gi lavere utslipp av partikler og NO_2 . Det er naturlig at det også stilles krav til dieselmotorene som benyttes under jord. Utviklingen i motorteknologi har redusert utslippene betydelig og det er viktig å dra nytte av dette. Kravene kan utformes til motorens renseteknologi, og bør gjelde for maskiner og utstyr som benyttes i alle prosjektets faser. Det bør beskrives bruk av høyeste praktiske gjennomførbare eurostandard.

Gass og støvmålinger

Overvåking av luftkvalitet (CO og NO_2) kan utføres kontinuerlig ved hjelp av sensorer som sender registreringsdata fra sin plassering i tunnelen. Det anbefales at det innføres krav om slik kontinuerlig overvåking av arbeidsatmosfæren i områder der personer oppholder seg. Eventuelle overskridelser av normverdier må føre til krav om tiltak for å redusere verdiene. Overvåkingen bør gjennomføres i alle faser av byggingen på tunnelen. Ansvar for at overvåking gjennomføres bør ligge hos byggherren, og han bør også ha sanksjonsmulighet dersom arbeidsmiljøet ikke er tilfredsstillende.

Støv i tunnelatmosfæren

Byggherren bør forlange at entreprenøren utarbeider prosedyrer for støvdempende tiltak på røys, vegbane og tunnelvegger. Det bør benyttes utstyr som gir minimal støvbelastning til tunnelatmosfæren. Kravet må følges opp av byggherren.

Samtidige aktiviteter

Byggherre bør beskrive maksimalt antall samtidige aktiviteter ved innredningsarbeider. Byggetiden må gjenspeile dette. Entreprenøren skal utarbeide en fremdriftsplan som viser at kravene til luftkvalitet er ivaretatt i alle prosjektets faser.

Planlegging

Generelt

For å sikre at arbeidsatmosfæren i tunneler oppfyller de krav som stilles med tanke på øvre verdier for gass og støvnivå kreves det at ventilasjonsanlegget prosjekteres og planlegges for

alle prosjektets faser. Kravene til arbeidsatmosfære påvirker også valg av utstyr, vedlikeholdsrutiner, type vegbane, plassering av lager/verksted osv.

I samferdselprosjekter er ofte innredningsarbeidet så omfattende at ventilasjonen må regnes som en egen fase med krav om egen planlegging. Komplisert lufttrykk i tunnelen etter gjennomslag, med mange parallelle aktiviteter og ulike forurensningskilder er krevende både i plan- og gjennomføringsfasen.

Eksponeringstid

Ved ordinær tunneldrift vil gass- og støvkonsentrasjonene variere betydelig over et skift. Personer som oppholder seg i tunnelen vil i korte perioder bli utsatt for høye konsentrasjoner av både støv og gass. I dårlig ventilerte områder bak stuff kan gasskonsentrasjonene være høye over lengre perioder. Ved grunnarbeider og innredningsarbeider som gjennomføres etter at tunnelventilasjonen er fjernet, og før permanent ventilasjon er installert, kan ofte høye gass- og støvkonsentrasjoner være en stor utfordring. Ved slike arbeider kan eksponeringstiden med høye konsentrasjoner av farlige gasser og støv bli lang.

Luftbehov ved tunneldrift

Ventilasjonskapasiteten må dimensjoneres basert på behovet for utspyling av gass og støv fra forurensningskildene inne i tunnelen. Forurensningskildene er hovedsakelig salveskyting, samt utslipp fra maskiner i arbeid med opplasting, transport og bruk av servicemaskiner. For å føre luft fram til arbeidsplassen ved stuff krever gode ventilasjonskanaler. Som regel benyttes ventilasjonsduk som henges opp i tunneltaket. Duken danner en pølse som må tåle trykket som kreves for å føre luften fra ventilasjonsviften fram arbeidsstedet. Trykket øker i duken som følge av friksjonen som oppstår i duken. Faktorer som gir trykkøkning i duken er bl.a. krappe kurver, større lekkasjepunkt, tverrsnittsendringer på duken, og lengde på ventilasjonsduken.

Ved innføringen av emulsjonssprengstoff for tunneldriving ble mengden nitrøse gasser fra salvesprengning betydelig redusert. Emulsjonssprengstoff utvikler også mindre gass ved detonasjon, og dette fører til at det produseres mindre støv ved salvesprengning. Salvesprengning gir imidlertid høye konsentrasjoner av CO i tillegg til fortsatt betydelige mengder støv. I enkelte prosjekt kan det dannes betydelige mengder med Ammoniakk som følge av reaksjonen mellom betong eller injeksjonsmasse og ammonium i sprengstoffet. Opphold i områder med ladd vil gi stor sannsynlighet for overskridelse av administrative normverdier for både støv, NH₃ og CO. Bruk av støvmaske anbefales selv ved korte opphold i ladden, og opphold i ladden over lang tid må unngås. Avgasser fra dieselmotorer inneholder blant annet NO₂. I lange tunneler vil det ta lang tid å blåse ut ladden, og det da særlig viktig at utslipp av gasser og støv er minst mulig.

Plassering av ventilasjonvifter

Vifter må plasseres slik at forurenset luft som kommer ut av tunnelen ikke suges inn og blandes med friskluft. Vinterstid stiger ofte forurenset luft fra tunnelen til værs i kontakt

med kald uteluft. Sommerstid kan imidlertid forurenset luft ligge langs bakken ut fra tunnelen og faren er større for at den kan bli sugd inn i ventilasjonsviften. Ved å plassere ventilasjonsviften minimum 20 m fra påhugget unngås som regel blanding av forurenset og frisk luft. Duken mellom vifter og påhugg må være robust og godt forankret med tanke på vindbelastning. Nedfall av snø og is fra påhugget kan også føre til skader på duken. Støy fra viften kan føre til behov for støydempende tiltak. Slike tiltak kan f.eks. være ekstra støydempere montert på innsug- og/eller trykksiden, kle inn vifte med innsug, eller å flytte viften inn i tunnelen. Dersom viftene flyttes inn i tunnelen må det sikres at forurenset og frisk luft ikke blandes.

Maskiner og utstyr

Utslipp fra dieseldrevne kjøretøy utgjør det største bidraget til NO₂ innholdet i tunnellufta. Generelt gir utviklingen i motorteknologi stadig mindre utslipp fra dieselmotorer. Utslippene kan imidlertid øke betydelig ved dårlig forbrenning. Dårlig forbrenning kan f.eks. komme av tette luftfiltre. Det er derfor svært viktig at maskiner og utstyr som benyttes i tunnel er underlagt godt periodisk vedlikehold. Det anbefales å følge serviceintervallene. Vedlikeholdsrutinene må også omfatte luftverktøy som kompressorer og bormaskiner. Feil oljedosering for nakkesmøring på hydrauliske bormaskiner kan gi betydelig belastninger på arbeidsatmosfæren lokalt.

Vegbane

Vedlikeholdet av anleggsveger er viktig for at massetransporten kan gjennomføres på en sikker og effektiv måte. Hullete og fuktig vegbane gir økt transportarbeide, med hyppige fartsendring. Dårlig vegbane fører også til produksjon av slam og støv. Lav rullestand og høy hastighet bidrar til å holde utslippsnivået lavt. Fast dekke anbefales i de tilfeller det lar seg gjennomføre, som f.eks. inn til eventuell omlastestasjon i fjell. Støv fra vegbanen bør dempes, f.eks. ved å tilføre dekket på anleggsvegen salt.

Luftbehov bak stuff

Områder der det er behov for at personer oppholder seg bak stuff må kartlegges. Slike områder må ventileres med egne uttak fra ventilasjonsduken, eller med egen duk ført inn fra tunnelåpningen. Lagerområder, verkstednisjer eller konstruksjonsarbeider er eksempler på områder som trenger god ventilasjon. Ventilasjonsbehovet må regnes med i det totale luftbehovet og dermed være med å bestemme størrelse på vifter og ventilasjonsduk. Luftstrømmen i tunneltverrsnittet vil være størst midt i tunneltverrsnittet, og liten inn mot tunnelveggene og i nisjer. Luften i lagerområder blir derfor ofte stillestående med liten luftutskifting, og det må derfor tilføres luft fra ventilasjonsduken. Avgreininger bør planlegges slik at størrelse og utforming gir ønsket resultat. For stor tilførsel av luft til avgreininger kan hindre luftstrømmen i hovedløpet. Fra stuff og bakover vil luften gå mot tunnelåpningen med en hastighet som avhenger av størrelsen på tunneltverrsnittet og tilført luftmengde. Det er vanlig at hastigheten er ca. 1 m/s i et T 8,5 tunnelprofil. Forurensning fra kjøretøy vil føre til at innholdet av NO₂ stiger utover i tunnelen mens transport fra stuff pågår. I lange tunneler kan selv områder med god

luftstrømning, inneholde konsentrasjoner over administrativ norm med NO₂. Det er viktig at det ikke oppholder seg personer unødige i den forurensede luften. Lokalt kan konsentrasjonen med skadelige gasser reduseres ved å legge inn en kontrollert lekkasje i duken. En slik lekkasje vil imidlertid føre til trykkøkning i duken, mindre luft fram til stuff og dermed høyere konsentrasjon av gasser i området mellom stuff og lekkasjen.

Automatisk styring

Ventilasjonen kan styres automatisk ved hjelp av sensorer som installeres i tunnelen. Ved å benytte automatisert ventilasjonsstyring kan effektforbruket optimaliseres ved at effekten på viftene justeres opp og ned etter målt luftkvalitet. For å kunne benytte en slik styring må det plasseres ut sensorer ved alle arbeidsområdene i tunnelen. Signaler fra sensorene må formidles på en sikker måte til datamaskinen som styrer vifteeffekten. Slik signalformidling kan i de fleste tilfeller gjennomføres med trådløst nettverk, og dermed kombineres med annen kommunikasjon i tunnelen. Kontinuerlig overvåking av arbeidsmiljøet i form av gassmålinger er et godt hjelpemiddel for alle aktørene for å oppnå kunnskap om luftkvaliteten i tunneler og for å sikre arbeidsmiljøet for tunnelarbeiderne.

Parallelle aktiviteter/innredningsfasen

På enkelte prosjekter er byggetiden satt så kort at det må gjennomføres mange parallelle aktiviteter for å kunne klare tidsfristene. Parallelle aktiviteter gir ofte store utfordringer for arbeidsmiljøet. Ofte må arbeidsoperasjoner utføres i områder som er forurensset med avgasser fra andre aktiviteter. Framdriften på de enkelte aktiviteter må da planlegges nøye. Tiltak som forskjøvet arbeidstid på enkelte aktiviteter, lokal ventilering rundt arbeidsoperasjoner osv. kan være aktuelt. Prosjektet må prosjekteres slik at arbeidsatmosfæren kan ivaretas i alle faser av byggingen. Dette er særlig krevende i samferdselsprosjekter, som ofte inneholder omfattende arbeider i innredningsfasen. Innredningsfasen inneholder ofte sprengning for grøft og kummer, gravearbeider, transport og utlegging av masser knyttet til grunnarbeider. Deretter følger legging av bitumenholdige bærelag og dekke, samt boring, boltemontasje, montasje av vann/frostsikring og brannsikring med sprøytebetong tilsatt polypropylenfiber. Flere av disse aktivitetene går ofte parallelt. I tillegg til å utgjøre en stor utfordring med tanke på logistikk, gir aktivitetene betydelig forurensing av arbeidsatmosfæren. Ofte må ventilasjonsduken fjernes i denne fasen av prosjektet, for å gi rom for arbeidsoperasjonene. Naturlige variasjoner i lufttrykk og luftstrømmer kan føre til at luftstrømmen i tunnelen blir vanskelig å styre, og til tider er stillestående. Underveis i innredningsarbeidet kan den naturlige ventilasjonen endre seg som følge av at berget kles inn og varmen dermed stenges ute fra tunnelen. Konsentrasjonene med farlige gasser kan bli høye, og det må kunne iverksettes tiltak for å overholde administrativ norm. Bruk av vifter som genererer en kontrollert luftstrøm i tunnelen er ønskelig. Tiltakene for å oppnå dette kan bli omfattende, særlig dersom det ikke er lagt til rette for dette i prosjekteringsfasen. Tidlig installasjon av den permanente ventilasjonen kan være en god løsning for å gi en luftstrøm gjennom tunnelen. Dette vil imidlertid føre til at viftene må rengjøres/overhales før overlevering. Standardiserte

løsninger for vifter kan gi entreprenørene muligheter for gode løsninger med gjenbruk på eget utstyr, uten at det påvirker konkurransesituasjonen. Forskyvning av arbeidstid, slik at man utnytter hele døgnet for å unngå opphopninger av forurensing er et annet mye bruk virkemiddel. Kontinuerlig overvåking og dokumentasjon av arbeidsmiljøet i innredningsfasen anbefales. Det vil kunne sikre arbeidsmiljøet og gi god kunnskap om arbeidsatmosfæren. Byggherrene må ha ansvar for at dokumentasjon på arbeidsmiljøet foreligger og at målingene gjennomføres i relevante områder. NB! Byggherren må sørge for tilstrekkelig lang byggetid, for å sikre et forsvarlig arbeidsmiljø.

Sjakt

Prosjekter som inneholder sjakter bør vurdere valg av drivemetode nøye med tanke på arbeidsmiljø. Bruk av stigortheis (Alimak) innebærer store utfordringer og ventilasjonen må dimensjoneres og utføres slik at det oppnås tilstrekkelig utskifting av luft på stoff. Overvåking av arbeidsmiljøet på stoff bør gjennomføres systematisk, både med tanke på gass, oljetåke og støv, og tiltak må iverksettes straks eventuelle overskridelser av normer blir avdekket. Riktig valg av maskiner og utstyr, og tett oppfølging og vedlikehold av dem er svært viktig for å oppnå akseptabelt arbeidsatmosfære. Utskiftingen av luft på stoff i en Alimakdrevet sjakt utføres med trykkluft som delvis passerer gjennom bormaskiner. Denne lufta vil i utgangspunktet inneholde små mengder olje fra kompressoren. I tillegg blir det tilsatt olje for smøring av bormaskinen. Normal dosering av nakkesmøringsolje kan føre til at oljetåkeinnholdet blir kritisk høyt. Det bør derfor legges opp en separat lufttilførsel/ventilasjon som tilfører ren luft, uten olje. Det kan monteres etterkjøler, kjøletørke, forfilter, kullfilter og partikkelfilter for å rense luften etter kompressoren. Det er også en fordel å benytte elektrisk drevet kompressor. Innsuget til kompressoren må sikres best mulig luftkvalitet, gjerne ved et eget uttak fra ventilasjonsduken. Arbeidet er fysisk krevende og bruk av verneutstyr som friskluftmaske anses som krevende og lite egnet. Det er derfor nødvendig med tett oppfølging av arbeidsatmosfæren på stoff i sjakta. Det anbefales at alternativer til bruk av stigortheis bør vurderes nøye.

Gjennomføring

For å oppnå god utskifting av luft i tunnelen er det svært viktig at ventilasjonsopplegget utføres nøyaktig og med riktig materiell. På lange stuffer er kvaliteten på ventilasjonsarbeidet og materialene essensielt. God linjeføring, riktig oppheng og godt vedlikehold gir lavt lufttap underveis og bidrar til å redusere effektforbruk betydelig.

Rettlinjet oppheng.

Oppheng av ventilasjonsduken må utføres slik at utilsiktede lekkasjer og trykktap kan holdes på et akseptabelt nivå. Rettlinjet montasje er svært viktig. Opphengsbolter for ventilasjonwire må derfor bores nøyaktig på linje, gjerne etter stikningsdata. Enkleste løsning er å legge bolteplasseringen inn på borplanen til tunnelsalven. Trykktapet i ventilasjonsduken kommer av motstanden mot tunnelduken og turbulens i luftstrømmen. For å unngå turbulens må duken holdes tett, og tverrsnittet så

konstant som mulig. Selv et hull på størrelse med et kronestykke i duken er nok til å gi turbulens, og dermed dårligere luftstrømning.

Dersom et rettlinjert element med duk monteres med knekk, reduseres det effektive tverrsnittet som transporterer luft. Unøyaktig dukmontasje med knekkpunkter, fører dermed til at det effektive tverrsnittet reduseres og trykket øker. Duken vil bevege seg i den turbulente luftstrømmen som oppstår, og slitasjen og fare for skader på duken øker. Trykkøkningen fører til økt tap i alle lekkasjepunkt, og redusert luftmengde fram til stuff. Duken må henges opp slik at den henger med tilstrekkelig avstand til tunneltak eller -vegg, slik at kontakt med bergveggen unngås. Det er viktig å være klar over at diameteren på duken øker noe etter hvert som trykket i duken øker.

Vedlikehold av ventilasjonsduk

Duken kan få skader som følge av kontakt med tunneltak, tretthetsbrudd som følge av bevegelser som skyldes turbulens eller kontakt med transport. Lekkasje kan også komme av dårlige lagringsforhold for duken og feil montasje. Det er viktig at montasjeanvisninger fra leverandørene følges for å oppnå tette koblinger. Hull må lappes slik at de ikke utvikler seg og blir større. Hull som ligger opp mot tunneltaket kan være vanskelig å finne. Det må derfor med jevne mellomrom gjennomføres en kontroll av duken fra arbeidsplattform, slik at også toppen av duken kan inspiseres. I lange tunneler vil det bli høyt trykk i første del av duken, og det bør velges en dukkvalitet som tåler høyt trykk.

Tilpasset duk gjennom kurver

Gjennom krappe kurver og i kryssområder bør det monteres dukelementer som er tilpasset kurven. Dette er særlig viktig dersom kurven blir utsatt for høyt trykk. Tilpassede elementer vil lette montasjen og reduseres risikoen for skader og tap av luft.

For å oppnå godt resultat av opphenget må opphengswire monteres med korte strekk mellom opphengsbolter, for å oppnå riktig kurve.

Støvdemping

Den viktigste støvkilden i tunnelen er salvesprengningene. Vannspyling på tunnelsalven vil effektivt dempe støv. Det bør derfor etableres et system for effektiv vannspyling av tunnelsalvene. Erfaringene med bruk av store mengder vann spylt over røysa med vannkanon er gode. Demping av støvet vil i tillegg til bedre arbeidsmiljø i tunnelen, gi bedre sikt og lavere vedlikeholdskostnader på maskiner og utstyr. Dersom tunnelsteinen skal transporteres langs offentlig veg kan det være nødvendig å begrense vannmengden slik at det ikke oppstår avrenning fra lassene og ut på vegbanen.

Det kan være en fordel å vaske ned tunnelveggene regelmessig bak stuff. Slam fra vegbane og støv fra stuff vil over tid legge seg på veggene, og vil utgjøre en kilde til støvdannelse.

Ved blanding av gysemasse eller injeksjonsmasse inne i tunnelen kan konsentrasjoner med sementstøv lokalt bli svært høye i tunnelatmosfæren. Det bør benyttes utstyr for blanding

som gir minst mulig spredning av støv. Avsug over blanderen eller tett forbindelse mellom sementsilo og blander er ønskelig.

I forbindelse med håndtering av sementsekker til blanding er sannsynligheten for sementstøv i lufta stor og støvmaske må benyttes.

Det er en fordel å stille ned ventilasjonen slik støvet ikke spres unødvendig i tunnelatmosfæren.

Om mulig bør blandeoperasjonen plasseres slik at støvet driver bort fra de som arbeider med blandingen.

Ved leveranse av sement i storsekk bør knivene som skal skjære hull i sekken over sementsiloen være så skarpe at sekken åpnes effektivt i bunnen.



Bildet viser tømming av storsekk i silo på injeksjonsbil. Sementstøv kan skimtes til høyre i bildet.

I innredningsfasen av tunnelen utføres operasjoner som produserer mye støv.

Brannsikringen av PE-skum med sprøytebetong er et eksempel på dette. Forskyvning av arbeidstid er ofte benyttet slik at sprøytingen utføres som eneste aktivitet på deler av døgnet. Bruk av vanntåke kan avhjelpe spredningen av støvet fra sprøyting. Vanntåken kan innebære ulemper, som f.eks. at luftstrømmen stopper opp.

Oppsummering

Det skal gjennomføres systematiske målinger av CO, NO₂, oljetåke og α -kvartsinnhold i tunnelatmosfæren. Målingene skal gjennomføres i områder der det oppholder seg personer. Dette innebærer i praksis en strekning på ca. 100 m fram mot stuff og i områder bak stuff som benyttes til lagring eller mellomlagring og i verkstednisjer. Overvåkingen av gassene bør utføres kontinuerlig, med mulighet for dokumentasjon av resultatene. Overvåkingen bør også gjennomføres i tunnelenes innredningsfase, og inkludere samtlige arbeidsoperasjoner. Det anbefales at byggherrer innfører krav om dokumentert overvåking.

Det bør stilles strenge krav til motorteknologi på alle motorer som benyttes på tunnelprosjekter, gjennom alle prosjekts faser.

Kravet til bruk av reneste dieselkvalitet må opprettholdes.

God planlegging av ventilasjonsanlegg for alle prosjektets faser er nødvendig.

Underveis må det gjennomføres vedlikehold og service på maskiner, utstyr, ventilasjonsanlegg, og vegbane for å sikre en forsvarlig arbeidsatmosfære.

Kilder til støv kan ved forholdsvis enkle tiltak begrenses betydelig.

Byggetiden må være tilstrekkelig til å sikre et godt arbeidsmiljø.

Håndbøker fra NFF

- Nr. 1: Fjellinjeksjon. Praktisk veiledning i valg av tettestrategi og injeksjonsopplegg. (kr 200,-)
- Nr. 2: Engineering Geology and Rock Engineering. NBG (kr. 500,-)
- Nr. 3: Arbeidsmiljø under jord. (kr. 150,-)
- Nr. 4: Håndbok for skytebas. (kr. 150,-)
- Nr. 5: Tung bergsikring i underjordsanlegg (kr. 150,-)
- Nr. 6: Praktisk berginjeksjon for underjordsanlegg (kr.150,-)
- Nr. 7: Håndbok for bestiller av bergsprengningsarbeid (kr.150,-)

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

- Nr.01: Redningskammer for underjordsdrift
- Nr.02: Diesel under jord. Sluttrapport fra forprosjektet.
- Nr.02E: Diesel Underground – a project report.
- Nr.03: Sikker sprengning i dagen.
- Nr.04: Plastmaterialer i tunneler og bergrom – sikker håndtering i anleggsfasen.
- Nr.05: - Informasjon, takk! Råd og tips om kommunikasjon i en anleggshverdag.
- Nr.06: Sikker boring gjennom sylte.
- Nr.07: Diesel under jord
- Nr.08: Sikkerhet ved berginjeksjon
- Nr.09: Behandling og utslipp av driftsvann fra tunnelanlegg
- Nr.10: Rescue chamber for underground work. Transl. of techn.rept 1
- Nr.11: Nøyaktig boring
- Nr.12: Konturkvalitet i sprengte tunneler
- Nr.13: Ventilasjon ved tunneldrift

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
- No. 15: Sustainable Underground Concepts
- No. 16: Underground Constr. for the Norwegian Oil and Gas Industry
- No. 17: Underground Openings - Operations, Maintenance and Repair
- No. 18: Subsea Tunnels
- No. 19: Rock Support in Norwegian Tunnelling
- No. 20: Rock Mass Grouting
- No. 21: Contracts in Norwegian Tunnelling

Fjellsprengningsdagen (Høstkonferansen)

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

Publikasjoner kan bestilles hos: NFF, Postboks 626, NO-1303 Sandvika

E-post: nff@nff.no



NFF

NORSK FORENING FOR
FJELLSPRENGNINGSTEKNIKK

e-post: nff@nff.no

ISBN 978-82-92641-27-9