

”En studie av helse og eksponering ved driving av tunnel”

”Exposure and lung function in tunnel workers”

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 gjennomsnittelige 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 gjennomsnittelig 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

Eksposering 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, dieseleksos, 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.

Eksposering 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 $1.2 \text{ mg/m}^3 - 3.6 \text{ mg/m}^3$, 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

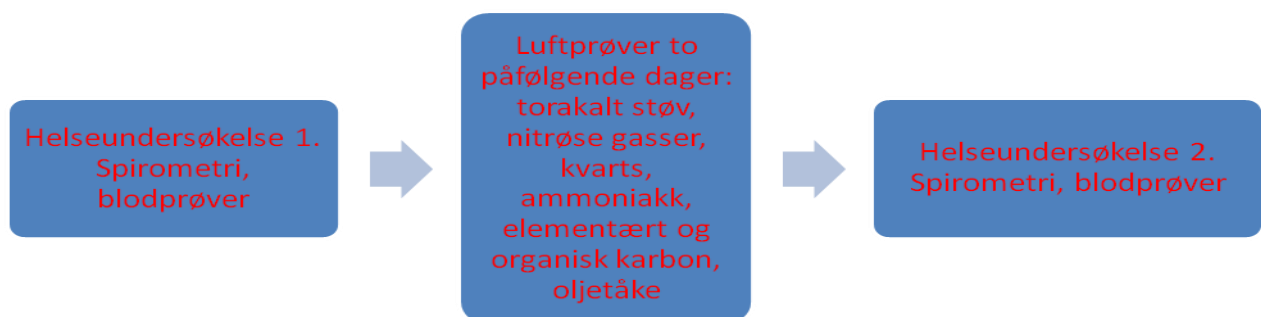
5 Deltagere i undersøkelsen og metode

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; stufferarbeider, stufferreparatør, laster, bakstufferarbeider, 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 skiller ut langs bronkialtreet. SPD er også et anti-inflammatorisk protein som skiller 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 bærbar prøvetakerne som samler inn forurensningskomponenter som de utsettes for gjennom hele arbeidsskiftets varighet.

En bærbar torakal sykklon 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 sykklonen 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.

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 toppeksponeeringer 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 toppeksponeeringer 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 multippel 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.

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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (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 nisje 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 tunneldrivere 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 (FEV_1 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 ($919 \text{ } \mu\text{g/m}^3$).

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)	Kontroll (n=51)
	Gjennomsnitt (SA)	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)

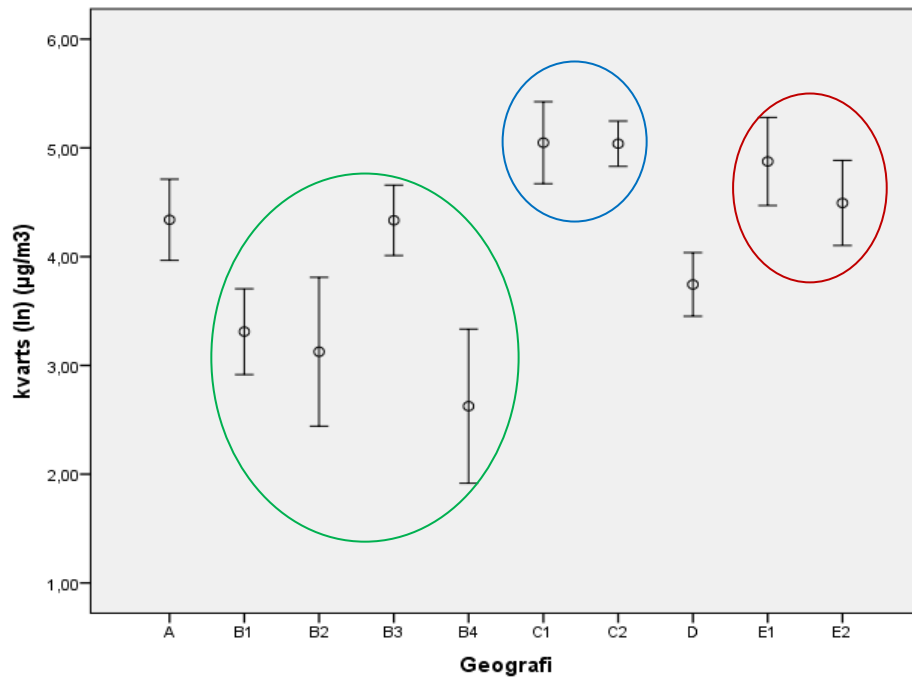
SA= standard avvik

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

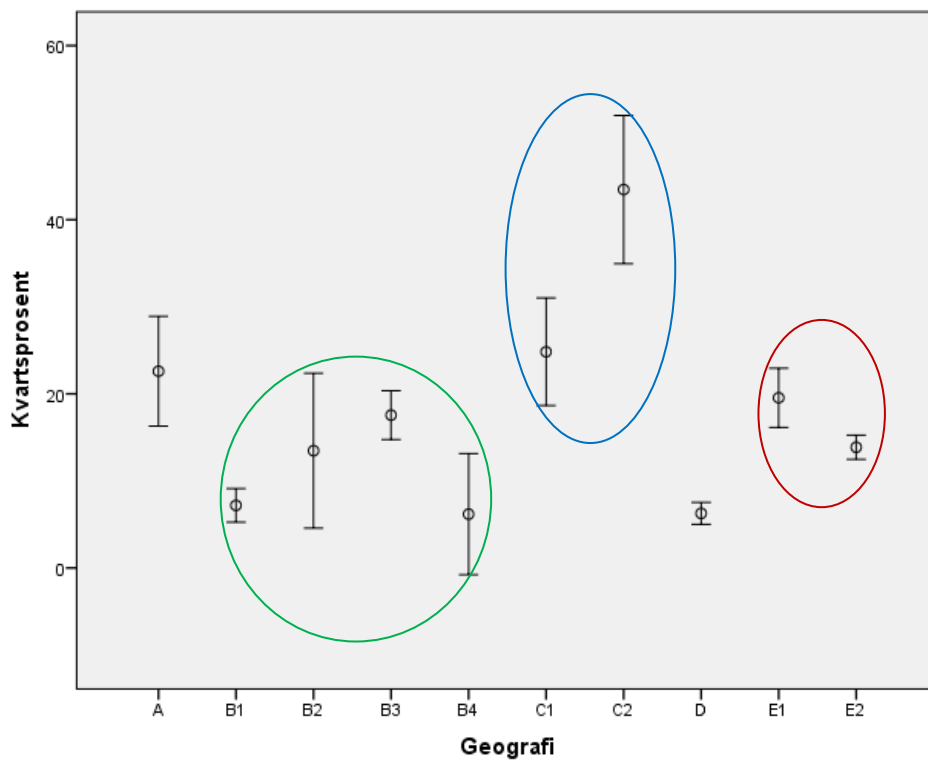
	FVK (L)	FVK % av forventet	FEV₁ (L)	FEV₁ % av forventet
Tunneldrivere (n=90)	5,1 (0,8)	100,5 (11,8)	4,0 (0,7)	95,6 (13,3)
Kontroller (alle) (n=51)	4,8 (0,8)	99 (12)	3,8 (0,7)	96 (12,7)
Tidligere tunneldrivere (n=17)	4,4 (0,9)*	92,3 (13,4)*	3,4 (0,7)*	88,8 (12,1)*
Aldri tunnel (n=36)	5,0 (0,7)	102 (9,9)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

*signifikant lavere verdier enn tunneldrivere og enn kontroller uten erfaring som tunneldriver (p<0,01)

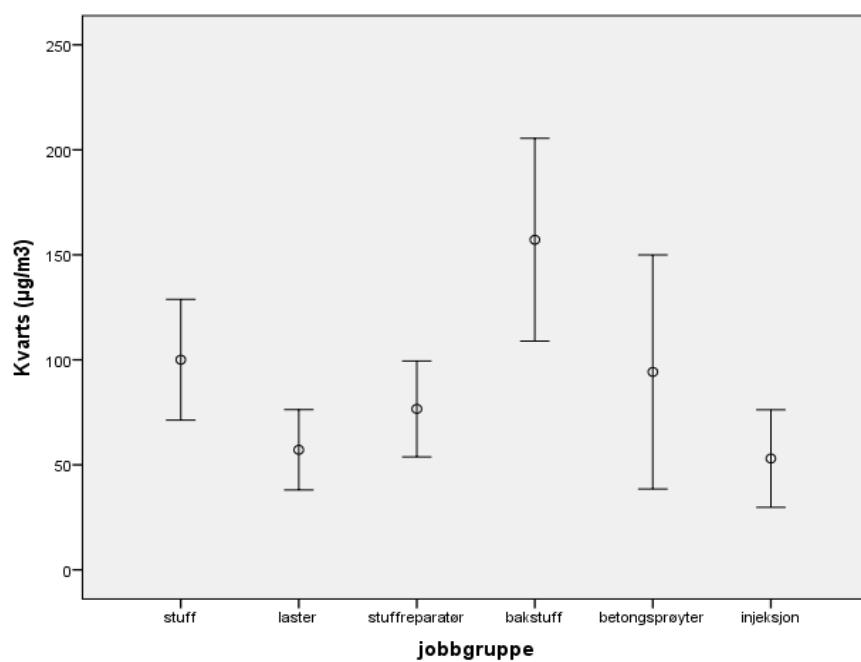
Figur 1. Luftkonsentrasjon (gjennomsnitt og konfidensintervall) av kvarts i de undersøkte tunnelene. Tunneler med samme bokstav i navnet (B, C eller E) ligger i nærheten av hverandre.



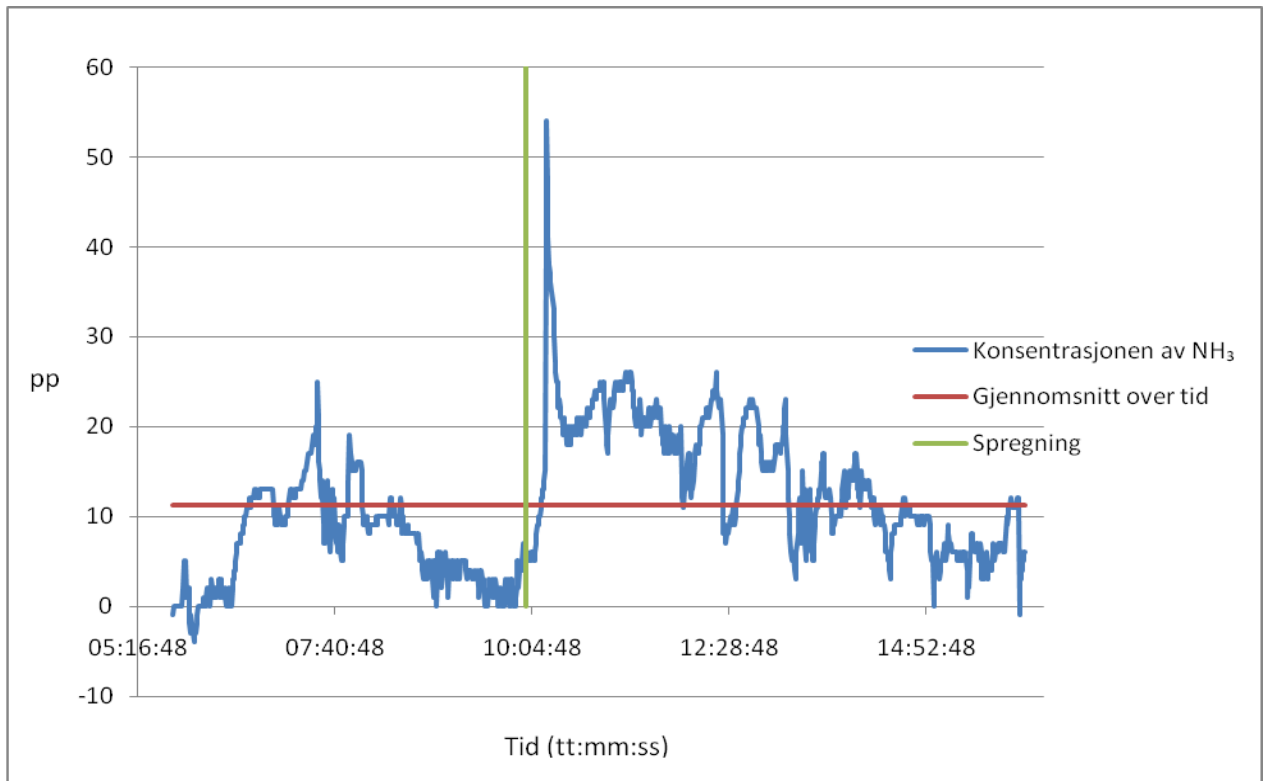
Figur 2. Prosent kvartsinnhold i torakalt støv (gjennomsnitt og konfidensintervall) i de undersøkte tunnelene. Tunneler med samme bokstav i navnet (B, C eller E) ligger i nærheten av hverandre.



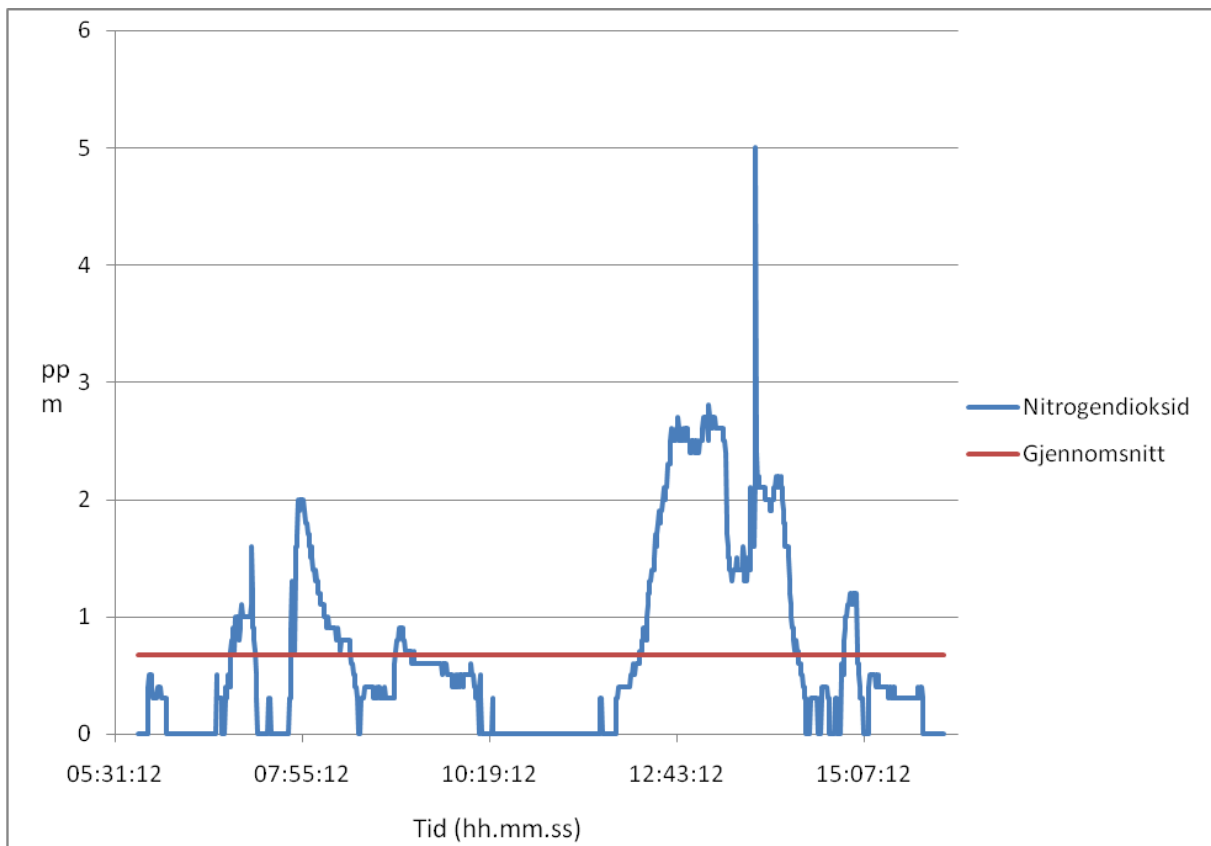
Figur 3. Luftkonsentrasjonen av kvarts (gjennomsnitt og konfidensintervall) delt inn etter forskjellige jobbgrupper.



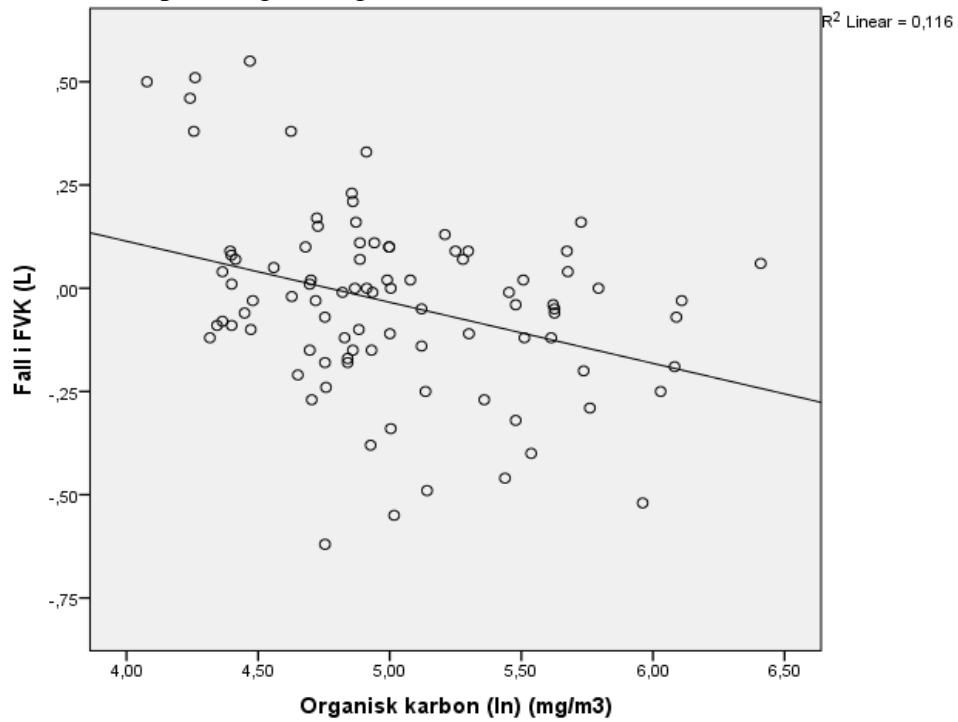
Figur 4. Variabilitet av luftkonsentrasjonen av ammoniakk ved utlasting av masse etter spregning



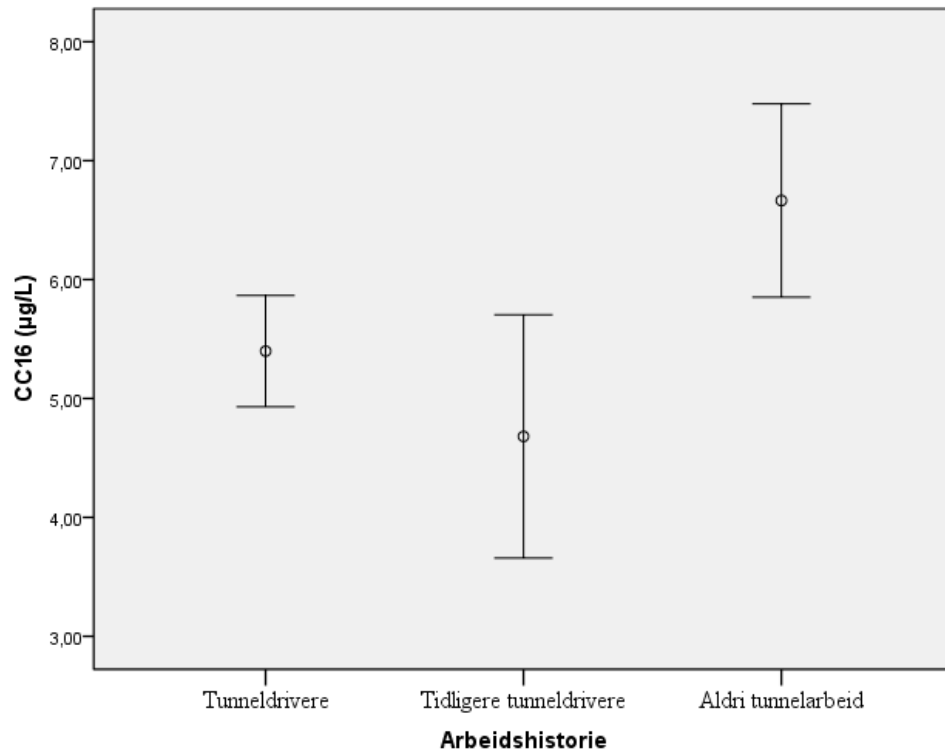
Figur 5. Variabilitet av luftkonsentrasjonen av nitrogendioksid ved vedlikehold av borerigg i nisje



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.