

REHABILITERING AV FREIFJORDTUNNELEN

YRKESHYGIENISKE OG ARBEIDSMEDISINSKE FORHOLD



Arbeidsmedisinsk avdeling

 **ST. OLAVS HOSPITAL**
UNIVERSITETSSYKEHUSET I TRONDHEIM

Forord

Freifjordtunnelen er en 5,1 km lang, undersjøisk veitunnel på Rv 70 i Møre og Romsdal. Arbeidsmedisinsk avdeling ved St. Olavs Hospital har i forbindelse med rehabilitering av denne tunnelen undersøkt de yrkeshygieniske og arbeidsmedisinske aspekter ved dette arbeidet. Denne rapporten beskriver de undersøkelser, metoder, analyser, resultater, vurderinger og konklusjoner som er resultatet av dette arbeidet. Rehabiliteringsarbeidet pågikk i ca 18 måneder i perioden august 2009 til desember 2010.

Fra Arbeidsmedisinsk avdeling har prosjektgruppa bestått av:

Prosjektansvarlig:	Professor / overlege Bjørn Hilt
Prosjektleder:	Yrkeshygieniker Morten Buhagen
Prosjektmedarbeider:	Yrkeshygieniker Solveig Føreland
Prosjektmedarbeider:	Lege i spesialisering Tonje Strømholm
Prosjektmedarbeider:	Avdelingssykepleier Torgunn Qvenild

I tillegg har yrkeshygieniker Torbjørn Aae og bedriftssykepleier Anna Bae Fagereng fra Averøy Bedriftshelsetjeneste periodevis vært tilknyttet prosjektet i forbindelse med noen av de yrkeshygieniske og arbeidsmedisinske prøvetakingene. I. amanuensis Rikke B. Jørgensen ved IØT, NTNU har deltatt og bidratt ved målinger av ultrafine partikler og ved utarbeidelse av rapportdelen som omhandler dette.

Ved den praktiske gjennomføringen av prosjektet har vi hatt uvurderlig hjelp av mange personer. Vi vil først og fremst takke HMS-leder Karstein Sandvik og resten av prosjektledelsen fra NCC Construction AS for stort engasjement og all mulig assistanse og tilrettelegging. Stor takk rettes også til Jan Erik Lien fra Statens vegvesen.

Takk til overingeniør Liv Ryan ved Institutt for kreftforskning og molekylær biologi, NTNU som har vært til stor hjelp ved analyse og tolkning av biologiske prøver.

Takk også til laboratoriepersonalet ved Kristiansund Sykehus som har levert oss tørris til frysing av biologiske prøver og til alle andre som har bistått oss i større eller mindre grad.

Den største takken rettes likevel til alle de arbeidstakerne som gjennom 18 måneders skift- og nattarbeid har stilt opp for oss til alle døgnets tider og med godt humør latt seg bruke ved de yrkeshygieniske og arbeidsmedisinske undersøkelsene. Tusen takk til hver enkelt av dere. Det er vårt håp at noen av de funn, resultater og konklusjoner som er beskrevet i denne rapporten vil ha positive effekter på det arbeidsmiljøet dere selv og deres kolleger vil møte ved tilsvarende rehabiliteringsarbeider i andre tunneler.

Trondheim, september 2011

Forord	2
Bakgrunn og innledning	7
Beskrivelse av rehabiliteringsarbeidet	8
Arbeidsoperasjoner i rehabiliteringsarbeidet	9
Statusrapporteringer og presentasjoner av prosjektet	15
Yrkeshygieniske undersøkelser	17
Personrelaterte prøver	17
Stasjonære prøver	18
Bakgrunnsinformasjon	19
Inndeling i arbeidsoperasjoner	23
Yrkeshygieniske vurderingskriterier	26
Resultatpresentasjon	27
Støy	29
Resultater	31
Diskusjoner og vurderinger	32
Støy – hovedkonklusjoner	37
Gasser	38
Nitrogendioksid	38
Karbonmonoksid	38
Saltsyregass	38
Grenseverdier, normer og krav	39
Måleutstyr og målemetoder	39
Prøveomfang	41
Resultater og diskusjoner	41
Nitrogendioksid	41
Karbonmonoksid	44
Saltsyregass	46
Gasser – hovedkonklusjoner	47
Støv og partikler	48
Prøveomfang	50
Resultater og diskusjoner	50
Inhalerbar støvfraksjon	50
Totalstøv	52
Torakal støvfraksjon	53
Respirabel støvfraksjon	55
Respirabel α -kvarts	57
Dieselpartikler	59
Oljetåke og oljedamp	61
PAH	64
Ultrafine partikler	65
Stasjonære støvmålinger	72
Biologisk tilgjengelighet av elementer i støvet	76
Støv og partikler – hovedkonklusjoner	76
Yrkeshygienisk del – Hovedkonklusjoner	77
Arbeidsmedisinske undersøkelser	78
Innledning	78
Undersøkellesgruppe og metoder	78
Undersøkelser og analyser	80
Spirometri	81
Utåndingsluft (NO og EBC)	82

Blodprøver.....	84
Resultater.....	84
Statistikk.....	85
Undersøkelser ved start	85
Undersøkelser ved start og slutt	86
Cross-shift-undersøkelser	91
Diskusjon.....	93
Arbeidsmedisinske prøver – Hovedkonklusjoner	95
Nattarbeid	96
Innledning.....	96
Undersøkelsesgruppe og metoder	96
Nattarbeid - resultater	97
Nattarbeid – diskusjon.....	100
Nattarbeid – Hovedkonklusjoner	101
Hovedkonklusjoner	102

- TABELLOVERSIKT -

Tabell 1 Lydinformasjon for en del kjente lydtkilder	29
Tabell 2 Støymålinger sortert på arbeidsoperasjon	32
Tabell 3 Prøveantall - gasser	41
Tabell 4 Måleresultater - nitrogendioksid	41
Tabell 5 Måleresultater - karbonmonoksid	44
Tabell 6 Prøveantall - partikler og støv	50
Tabell 7 Måleresultater - inhalerbar støvfraksjon	51
Tabell 8 Måleresultater - totalstøv og parallelle målinger av inhalerbar fraksjon	53
Tabell 9 Måleresultater - torakal støvfraksjon	54
Tabell 10 Måleresultater - respirabel støvfraksjon	55
Tabell 11 Måleresultater - α -kvarter i respirabelt støv	57
Tabell 12 Måleresultater - dieselpartikler (elementært karbon)	60
Tabell 13 Måleresultater - oljetåke	62
Tabell 14 Måleresultater - oljedamp	63
Tabell 15 Måleresultater - polyaromatiske hydrokarboner (PAH)	65
Tabell 16 Ultrafine partikler (5.6 nm – 100 nm) ved ulike arbeidsoperasjoner	68
Tabell 17 Undersøkelser av 70 personer i perioden 2009-2010	79
Tabell 18 Antall som deltok på undersøkelsene i løpet av anleggsperioden	79
Tabell 19 Bakgrunnsvariabler for de 70 som deltok i startundersøkelsen	80
Tabell 20 Bakgrunnsvariabler ved startundersøkelsene fordelt på arbeidsgiver	80
Tabell 21 Beskrivelse av relevante inflammasjonsmarkører	84
Tabell 22 Oppgitt antall år i arbeid og i forurenset arbeid ved startundersøkelsen	85
Tabell 23 Målte og forventede spirometriverdier ved startundersøkelsen	85
Tabell 24 Varigheten av oppfølgingstiden fra startundersøkelsen til sluttundersøkelsen	86
Tabell 25 Spirometriverdier ved start og slutt for deltakerne	87
Tabell 26 Andel med oppgitte luftveissymptomer ved start og slutt	89
Tabell 27 Hjerter-karsykdommer og KOLS ved start og slutt etter arbeidsgiver	89
Tabell 28 Inflammasjonsmarkører før skift ved start- og sluttundersøkelsene	90
Tabell 29 Lungefunksjonsverdier hos 40 av deltakerne ved cross-shift-undersøkelse	91
Tabell 30 Inflammasjonsmarkører i blod og utåndingsluft ved cross-shift-undersøkelsene	92
Tabell 31 Antall som besvarte spørreskjema ved hver måned/år i anleggsperioden	97
Tabell 32 Status for nattarbeidende gruppert etter tidligere og ikke tidligere nattarbeid	98
Tabell 33 Effekter av nattarbeid ved oppfølging og slutt	99

- FIGUROVERSIKT -

Figur 1 Blanding av gysemasse	9
Figur 2 Glidestøv av rekkverk	10
Figur 3 Bruk av sugebil for fjerning av masse	10
Figur 4 Ladning av sprengstoff	11
Figur 5 Boring med AMV (Gnomen 3)	12
Figur 6 Boring med Essverk-rigg	12
Figur 7 Sveising av PVC-duk	13
Figur 8 Asfaltfresing med fører(øverst) og styrer	14
Figur 9 Asfaltering av veibanen med asfaltlegger av typen Demag Df 135C	15
Figur 10 Arbeidstakere med diverse personbåret prøvetakingsutstyr	18

Figur 11 Stasjonært prøvetakingsutstyr ved PEL 3980.....	19
Figur 12 Temperatur i tunnelen avhengig av årstid	20
Figur 13 Lufthastighet i tunnelen avhengig av årstid.....	20
Figur 14 Lufthastighet i tunnelen avhengig av klokkeslett.....	21
Figur 15 Relativ fuktighet i tunnelen avhengig av årstid	22
Figur 16 Oversikt over kjøretøybelastningen i Freifjordtunnelen.....	23
Figur 17 Montering av belysning	24
Figur 18 Betongsprøyting.....	24
Figur 19 Oppmåling i tunnelen	25
Figur 20 Eksempel på box-plot	28
Figur 21 A- og C-veiekurver for lyd	29
Figur 22 Spark 706 støydosimeter	31
Figur 23 Tidsforløp, støymåling nr 8, boring.....	33
Figur 24 Tidsforløp, støymåling nr 12, formann / ingeniør	33
Figur 25 Tidsforløp, støymåling nr 26, stasjonær PEL 3640.....	34
Figur 26 Demping med hørselvern avhengig av brukstid.....	36
Figur 27 Dräger X-am 5000 gassmåler	39
Figur 28 Gassmåling med fargeindikatorrør	40
Figur 29 Måleresultater - nitrogendioksid.....	42
Figur 30 Personbårne og stasjonære NO ₂ -målinger fordelt på klokkeslett.....	42
Figur 31 Måleresultater - karbonmonoksid.....	44
Figur 32 Personbårne og stasjonære CO-målinger fordelt på klokkeslett	45
Figur 33 Helsebaserte aerosolfraksjoner	48
Figur 34 Prøvetakingskassetter for ulike støvfraksjoner.....	49
Figur 35 Måleresultater - inhalerbar støvfraksjon.....	51
Figur 36 Måleresultater - torakal støvfraksjon.....	54
Figur 37 Måleresultater - respirabel støvfraksjon	56
Figur 38 Måleresultater - α -kvarts i respirabelt støv	58
Figur 39 Måleresultater - dieselpartikler (elementært karbon)	60
Figur 40 Måleresultater - oljetåke	62
Figur 41 Måleresultater - oljedamp.....	63
Figur 42 Størrelsesforhold ultrafine partikler.....	66
Figur 43 Måleinstrument for ultrafine partikler	67
Figur 44 Ultrafine partikler ved glidebånd av betongrekkverk for maskinfører og pusser.....	69
Figur 45 Størrelsesfordeling ultrafine partikler ved horisontal og vertikal PVC-sveising	70
Figur 46 Antall ultrafine partikler ved horisontal og vertikal PVC-sveising.....	71
Figur 47 Endring i bakgrunnsnivå av ultrafine partikler ved kolonnepassering.....	71
Figur 48 Støvmåler pDR-1200	73
Figur 49 Stasjonære støvmålinger for 15 arbeidsskift	74
Figur 50 Stasjonære støvmålinger - dagtid	74
Figur 51 Gjennomsnittlig støvmengde og trendlinje for 4 påfølgende arbeidsøkter	75
Figur 52 Tidslinje ved "cross-shift" prøvetaking	78
Figur 53 Spirometrisk undersøkelse.....	81
Figur 54 Måling av NO	82
Figur 55 Oppsamling av pusteluftkondensat (EBC)	83
Figur 56 Endring i utvalgte lungefunksjonsparametre mellom start- og sluttundersøkelsen... ..	88
Figur 57 Box-plot over FEV1-verdier ved cross-shift-undersøkelsene	91

Bakgrunn og innledning

Høsten 2008 mottok Arbeidsmedisinsk avdeling ved St. Olavs Hospital en forespørsel fra Statens vegvesen om yrkeshygienisk og arbeidsmedisinsk bistand i forbindelse med den planlagte rehabilitering av Freifjordtunnelen. Denne undersjøiske tunnelen ble åpnet for trafikk i 1992 og er en del av Rv 70 mellom Kristiansund og Molde i Møre og Romsdal. Den er 5,1 km lang og 130 m dyp og går mellom Flatsetøya i Kristiansund kommune og Bergsøya i Gjemnes kommune. Ved åpningen var den verdens lengste undersjøiske veitunnel.

På grunn av begrensede omkjøringsmuligheter planla Statens vegvesen å gjennomføre rehabiliteringsarbeidet samtidig som det gikk trafikk i tunnelen. Med bakgrunn i en del forhold som oppsto ved rehabilitering av Ålesundstunnelene, satte Arbeidstilsynet strenge krav til overvåking av tunnelarbeidernes arbeidsmiljø og helse for å tillate at arbeidet ble gjennomført med påsatt trafikk. Det ble blant annet forutsatt at det i forbindelse med rehabiliteringen ble etablert et Forsknings- og Utviklingsprosjekt (FoU) med personer med dokumentert kompetanse innen yrkeshygiene og arbeidsmedisin. I Arbeidstilsynets vilkår ble det også presisert at nattarbeid skulle sidestilles med andre risikofaktorer ved rehabiliteringsarbeidet.

Etter samtaler med Statens vegvesen ultimo 2008 ble det fra Arbeidsmedisinsk avdeling fremlagt et tilbud på gjennomføringen av et slikt FoU-prosjekt den 30.01.2009. Dette tilbudet ble lagt til grunn ved de påfølgende forhandlinger, og endelig kontrakt mellom Statens vegvesen, Vegdirektoratet og Arbeidsmedisinsk avdeling ved St. Olavs Hospital ble undertegnet den 25.6.2009.

NCC Construction AS ble tildelt hovedentreprisen for rehabiliteringen. De største underentreprenørene har vært Giertsen Tunnel AS og KB Elektrotech A/S fra Danmark.

FoU-prosjektet har vært delt i en yrkeshygienisk og en arbeidsmedisinsk del. I den yrkeshygieniske delen har hovedintensjonen vært å kartlegge relevante eksponeringer ved rehabilitering av tunnel og sammenholde disse med andre kartlagte forhold som lufthastighet, temperatur, fuktighet og trafikkbelastning. Eksponeringsnivåene er i hovedsak sammenholdt med administrative normer.

Den arbeidsmedisinske delen har bestått av undersøkelser av endringer i lungefunksjon og inflammasjonsmarkører i blod og utåndingsluft, samt en vurdering av effekten av nattarbeid. Både endringer over hele anleggsperioden og endringer i løpet av ett arbeidsskift (cross-shift) er undersøkt.

Ettersom den arbeidsmedisinske delen av prosjektet ville medføre opprettelse av en biodatabank gjennom innsamling og lagring av biologisk materiale og spørreskjemaer, var det nødvendig å innhente samtykke fra Regional komité for medisinsk og helsefaglig forskningsetikk (REK) i Midt-Norge. Endelig godkjenning fra REK ble gitt før prøvetakingen startet høsten 2009. Informasjonsskriv til arbeiderne i forbindelse med prøvetakingen finnes i vedlegg 4, og samtykkeerklæring som ble underskrevet av arbeiderne er vist i vedlegg 5.

Beskrivelse av rehabiliteringsarbeidet

Freifjordtunnelen har de siste årene vært i dårlig forfatning. Så tidlig som i 2003 ble deler av det opprinnelige tunnelhvelvet demontert etter at plater løsnet. Resten av hvelvet ble demontert i 2006 slik at tunnelen i perioden 2006 - 2009 har vært uten vannsikring. Rehabiliteringsarbeidet har vært gjennomført for å oppgradere tunnelen til moderne standard med ny vannsikring, ny belysning, ny sikkerhetsutrustning (nødtelefoner, nødkiosker, brannslukkere, skilt), nye vifter og nytt styringsanlegg mot Vegtrafikksentralen. Det som ut fra arbeidsmiljømessige betraktninger har gjort dette rehabiliteringsarbeidet spesielt i forhold til driving av tunnel er:

- Arbeidet ble gjennomført samtidig med at det gikk trafikk gjennom tunnelen i kolonner
- Arbeidet i tunnelen ble utført om natta. Det foregikk mellom kl 1930 og kl 0700 (i perioden fram t.o.m. 17.04.10) eller mellom kl 1830 og kl 0600 (i perioden f.o.m. 18.04.10)
- På grunn av krav om at spylevannet ikke fikk slippes ned i drens-systemet og at det var dårlig tilgang til vann foregikk all boring tørt
- Det var lite sprengningsarbeid
- Det var ikke tilgang til strøm, og ved behov for strøm ble aggregater fraktet ned til det aktuelle arbeidsområdet i tunnelen
- Ventilasjonen var sammenlignbar med normal tunnelventilasjon, minimum 80 % av viftene skulle til en hver tid være i drift.

Det foregikk arbeid samtidig flere steder i tunnelen på forskjellige stadier:

- Strossing av nisjer
- Sikring av fjell
- Montering av midlertidig lys og kommunikasjonskabel
- Fjerning av deler av bankett
- Støping av nytt betongrekkverk
- Legging av nye trekkør og omfyllingsmasse bak betongrekkverk
- Fjerning av gamle vifter
- Hullboring og montering av boltene som polyvinylklorid (PVC) duken ble festet til
- Montering av PVC-duken
- Støping og innredning av tekniske bygg
- Montering av nye vifter, skilt, lys og elektrisk anlegg

På slutten av rehabiliteringsperioden ble også gammel asfalt frest vekk og ny asfalt lagt i hele tunnelen. Fresing og nytt asfaltdekke gjennom hele tunnelen var egentlig planlagt utført i 2011, men ble framskyndet slik at dette kunne utføres på slutten av rehabiliteringsperioden. Dette var ikke en opprinnelig del av rehabiliteringsarbeidet, og det ble lyst ut som egen entreprise som Kolo Veidekke AS ble tildelt.

Arbeidsoperasjoner i rehabiliteringsarbeidet

Nedenfor er det gitt en nærmere beskrivelse av de viktigste arbeidsoperasjonene som inngikk i rehabiliteringsarbeidet:

Trafikksikring

På dagtid var det normal trafikk gjennom tunnelen og to felt var åpne, ett i hver kjøreretning. Hastigheten var imidlertid nedsatt fra ordinært 70 km/t til 50 km/t. Om natten var det bare ett kjørefelt som var åpent gjennom tunnelen, og bilene ble ledet gjennom tunnelen i kolonner til faste tidspunkt med en ledebil først. Det var 1-2 kolonner i hver retning i timen natten igjennom, totalt 30 kolonner pr. natt.

Det var et oppstartmøte ved starten av hvert skift. Her ble nattens arbeid og trafikkdirigeringen gjennomgått. Dette møtet varte i ca. 30 minutter. Alle personer som skulle arbeide i tunnelen var tilstede. Deretter ble ordinær trafikk gjennom tunnelen stoppet, og når siste bil hadde passert, startet arbeidet med å sette opp sperringer (miniguarder) og hindermarkeringer (sebraskilt) for nattens kjøremønster. Kjøremønsteret kunne også bli endret i løpet av natten hvis det var behov for det pga. arbeidet. Før tunnelen åpnet for vanlig trafikk igjen, måtte merking og avsperring endres slik at den passet med ordinær trafikk om dagen. Miniguarder ble flyttet ved hjelp av gravemaskin og hjullaster. Sebraskilt ble fraktet på lasteplanet til pickuptruck inn og ut av tunnelen, eller plassert på banketten når de ikke var i bruk. Ansvar for trafikksikringen var i noen tilfeller lagt til de som skulle arbeide i det aktuelle området, mens det i andre tilfeller var enkelte arbeidere som hadde ansvaret for merkingen i hele tunnelen.

Sikring av dårlig fjell

Det ble brukt åpne borerigger (Commando DC 130R og 300R) for å bore hull til sikringsbolter. Boringen foregikk tørt, men det var påmontert avsug på boreriggen som samlet støvet i poser. Boltene ble festet med gysing, dvs. en ekspanderende sementblanding som ble pumpet inn i hullene før boltene ble satt inn. I alt 1250 sikringsbolter ble festet. Mye av arbeidet foregikk i lift da boltene skulle festes i hele tunnelens bue. I tillegg ble det påført 1300 m³ sprøytebetong med en sprøyterigg (AMV 7450 D) med lukket kabin.



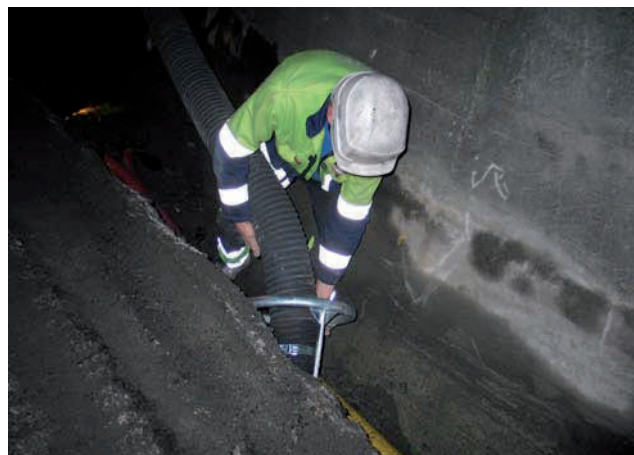
Figur 1 Blanding av gysemasse

Bankett, betongrekkverk og grøfter

Deler av banketten (halvdelen nærmest fjellveggen) som var i tunnelen fra før, ble fjernet ved hjelp av gravemaskin og kjørt vekk. Dette for å sikre god drenering ned i grøfta for vannet som rant ned bak duken og betongrekkverket. Det nye rekkverket ble støpt delvis innpå den resterende banketten. I nisjene som ble strosset ble det også støpt bankett. Det ble i hovedsak brukt en glidestøpmaskin ved støping av bankett og betongrekkverk. Ved bruk av glidestøpmaskin støpes banketten eller betongrekkverket i sin helhet i ett stykke av maskinen. Glidestøp av bankett ble gjort av NCC Profilbetong AS med en åpen glidestøper der det var en person som var sjåfør for maskinen (maskinfører), en person som passet på at betongen fra betongbilen traff der den skulle (rennemann), en person som la ut styrepinner og passet på at den gikk der den skulle (styremann) og to personer som gikk og finpusset betongen etter at maskinen hadde støpt, samt laget støpeskjøter (bevegelsesfuger) med jevne mellomrom for å hindre riss/oppsprekking av betongen. I tillegg var det personer som kjørte betongbiler. På steder der det var for brå svinger, for eksempel inn til nisjene måtte noe av støpingen foregå for hånd. Til sammen ble det støpt 10 200 m betongrekkverk.



Figur 2 Glidestøp av rekkverk



Figur 3 Bruk av sugebil for fjerning av masse

Ved portalene og ved noen få andre steder i tunnelen var det full masseutskiftning i grøftene. Arbeidet foregikk med gravemaskin, sugemaskin og for hånd. Nye trekkør for det elektriske anlegget ble lagt bak det nystøpte betongrekkverket, og masse ble lagt oppå trekkørerne. Nye kabler ble deretter trukket gjennom rørene fra de tekniske byggene.

Utvidelser av nisjer og tekniske rom

To av nisjene måtte utvides for å få plass til nye tekniske bygg. Det ble da brukt Commando borvogn uten kabin til boring av hull til sprengstoff. Det ble til sammen sprengt 12 salver på



Figur 4 Ladning av sprengstoff

like mange netter og brukt 2860 kg sprengstoff (patronert og rørladninger). Etter sprengning ble det brukt hjullaster til å fjerne steinmassene, samt gravemaskin med hydraulisk hammer til pigging for å fjerne løs stein. Det ble ved behov sprutet med betong i kombinasjon med boltesikring.

Elektrisk arbeid

Det elektriske arbeidet besto i å legge opp midlertidig anlegg, demontere eksisterende og montere nytt, både til belysning i tunnel, vifter, kommunikasjon, radio, koplingskap, tekniske rom (4 stk, to inne i tunnelen og et på hver side på utsiden). Det ble montert nye brannskap og telefonbokser. Arbeidet ble utført både inne i tunnellopet og i tekniske rom i tilknytning til tunnellopet. Mange av arbeidsoppgavene innebar bruk av lift. Det meste av arbeidet var ren montering/demontering.

Montering av vann- og frostsikker PVC-duk

Det ble først brukt en åpen AMV (Gnomen 3) borerigg for boring av hullene til fjellbolter til PVC-duken. Operatøren sto da ved siden av boreriggen med en fjernkontroll og styrte boringen. Ved slutten av rehabiliteringen ble det brukt en Essverk-rigg der operatøren satt inne i kabin og styrte riggen, og bare måtte ut og skifte bor en gang i blant.



Figur 5 Boring med AMV (Gnomen 3)



Figur 6 Boring med Essverk-rigg

Operatøren av boreriggen måtte også kvesse borene med jevne mellomrom. Det ble i alt boret ca. 28000 hull til boltene for PVC-duken. Det var stikningsingeniøren som målte ut senterlinjen som AMV-riggen måtte stilles nøyaktig opp etter. Han programmerte også Essverk-riggen som så ”navigerte seg selv”. I tillegg målte stikningsingeniøren inn referansebuer og kontrollmålte oppstillingen på boreriggen. For å feste boltene ble det brukt et polyesterbasert monteringslim som lå i en plastpølse. Denne ble lagt inn i hullet først og når bolten ble rotert inn i hullet gikk det hull på plasten og de to komponentene ble blandet slik at herdereaksjonen ble igangsatt og bolten festet. Det ble brukt håndholdt, luftdrevet muttertrekker for å rotere boltene inne i hullet. Boltene ble montert i fast mønster med 1,5 m avstand i lengderetningen og 2 - 2,5 m vertikalt (tilpasset buelengden i 2- og 3-felts del).

Det ble brukt lift for å feste bolter over vanlig arbeidshøyde. For å få festet PVC-duken ble det satt rammeverk på boltene. Duken ble hengt på dette rammeverket og strammet opp ved hjelp av utvendige dobbeltrammer. Hullene til boltene i duken ble laget ved å skjære med kniv og så tettet med bakskive og framskive på boltene. Først ble duken i taket lagt. Deretter ble sidedukene hengt opp og sveiset på. Dukene ble så sveiset sammen. En varmluftspistol ble brukt til sveisingen. Den horisontale sveisen var mest kritisk i forhold til vanngjennomtrenging. En stålramme ble brukt for å holde de to dukene som skulle sveises sammen rett i forhold til hverandre. Det ble på horisontal sveising først punktsveiset, deretter ble det lagt på en remse med lim (Tremco PL400) mellom de to dukene før det ble helsveiset ved hjelp av varmluftspistol og rulle.



Figur 7 Sveising av PVC-duk

Vertikal sveisesøm var ikke så kritisk i forhold til vanngjennomtrenging så her ble det bare fullsveiset. Etter at duken var sveiset, forstået montert og bolter skrudd fast, måtte duken festes til betongrekkverket. Dette ble gjort ved å først forbore hull i betongrekkverket til små skruer. Deretter ble duken festet vha. en plastlist og skruer i betongrekkverket. Det ble totalt montert 87 600 m² PVC-duk. Hver av dukene var 21 m lange og en bredde på 5,4 m eller 6 m avhengig av om det var takduk eller veggduk for tofelts eller trefelts vei.

Demontering og montering av skilt og vifter

Gamle vifter ble demontert etter hvert som arbeidet skred frem, og nye montert når PVC-duken var montert i den aktuelle delen av tunnelen. Det var opprinnelig 42 gamle vifter, men bare 36 som var i drift når renoveringsarbeidene startet. Disse ble erstattet med 32 nye vifter. Det var minimum 26 vifter i drift til enhver tid. Viftene ble styrt automatisk fra Vegtrafikksentralen ved hjelp av sensorer for CO og NO₂ i tunnelen. Vegtrafikksentralen kunne også styre viftene manuelt, for eksempel slå av vifter hvis det var ulempe for arbeidet, eller skru på høyere effekt (tretrinns vifter) ved behov. Viftene kunne også kjøres manuelt fra styretavle i tunnelen. Hvilken vei viftene skulle blåse var også bestemt automatisk ved hjelp av vindmålere som registrerte hvilken retning den naturlige trekken gikk, men dette kunne også overstyres manuelt ved behov. Det ble målt inn bolter til skilt og vifteoppheng som ble boret med Commando rigg eller for hånd og festet med gyste bolter.

Forskalingsarbeid

Forskalingsnekkerne satte opp fire betongbygg for tekniske installasjoner, to på utsiden og to inne i tunnelen. Til betongbyggene måtte forskaling settes opp, armering bindes og dekker måtte pusses for hånd. Noe av banketten måtte også støpes for hånd på denne måten.

Asfaltfresing

På slutten av rehabiliteringsperioden ble det brukt fem netter på å frese ned veidekket i hele tunnelen unntatt i nisjene. Dette ble gjort av Kolo Veidekke AS. Det ble brukt en planfres av typen Wirtgen W2100 med belter og åpen kabin. Maskinen ble betjent av en fører.



Figur 8 Asfaltfresing med fører(øverst) og styrer

I tillegg gikk det en person på hver side av fresen for å finstyre den. En tankbil ble brukt til å fylle på vann og drivstoff til asfaltfresen, og sjåføren av tankbilen hjalp også til med fresingen når det ikke var behov for kjøring. Tankbilen hadde en bensindrevet pumpe til vann og drivstoff. Asfalten som ble frest vekk ble matet på transportbånd til lastebiler som så fraktet den vekk. En feiebil med lukket kabin feide der fresemaskinen hadde vært.

Asfaltering

Det foregikk asfaltering i to perioder. Først ble det lagt asfalt i nisjene. Der var det ikke asfalt fra før, og det ble derfor lagt både et forsterkningslag og et slitelag. Denne asfalteringen ble gjort av NCC Roads AS, det var en del av rehabiliteringsarbeidet, og tok 4 netter. Arbeidet ble utført med en asfaltlegger av typen Amman PW5003 med åpent styrhus. En sjåfør, to styrere og to hjelpemenn betjente asfaltleggeren. Hjelpemennene kjørte også åpen veivals.

Asfalteringen av veibanen i hele tunnelens lengde ble gjort i løpet av 4 netter i slutten av november 2010 av Kolo Veidekke AS. Det ble brukt en asfaltlegger av typen Demag Df 135C. Etter at den gamle asfalten var frest, ble veibanen sprøytet med bindemiddel ved hjelp av en "limbil". Ett nytt lag asfalt ble så lagt. Personellet her besto av en sjåfør, to styremenn og en hjelpemann. I tillegg deltok semitrailere med asfalt samt to veivalser med kabin.



Figur 9 Asfaltering av veibanen med asfaltlegger av typen Demag Df 135C

Statusrapporteringer og presentasjoner av prosjektet

Arbeidstilsynet satte strenge krav til overvåking av tunnelarbeidernes arbeidsmiljø og helse. Det ble også satt som krav at funn, hendelser, problemer og framdrift ble presentert i statusmøter med Arbeidstilsynet hver andre måned. Seks slike statusmøter har vært avholdt. Arbeidsmedisinsk avdeling har deltatt på alle og presentert de yrkeshygieniske resultater som har vært tilgjengelige ved hvert møte. Det har også vært gjennomført et informasjonsmøte i februar 2010 som var ønsket av arbeidstakerne. Her ble prosjektet presentert muntlig og en del spørsmål ble besvart. I januar 2010 ble det etter ønske fra oppdragsgiver, skrevet en statusrapport. Det er også skrevet tre yrkeshygieniske statusrapporter med resultatinformasjon til arbeidstakerne. Disse er datert oktober 2009, januar 2010 og mai 2010.

Ettersom Freifjordtunnelen har vært en del av hovedforbindelsen mellom Kristiansund og fastlandet, har både rehabiliteringen og FoU-prosjektet vært av interesse for lokale medier. Både rehabiliteringsarbeidet og FoU-prosjektet er gjentatte ganger omtalt i lokalavisene og av NRK Møre & Romsdal, og det er også beskrevet i en artikkel i Arbeidsmanden (Nr. 01/2010) som er et fagblad for de som er organisert i Norsk Arbeidsmandsforbund.

Prosjektet med noen av de yrkeshygieniske resultatene har også vært presentert ved tre internasjonale konferanser i yrkeshygiene:

- International Occupational Hygiene Association (IOHA), Roma, oktober 2010.
- American Industrial Hygiene Conference and Exposition (AIHce), Portland, Oregon, mai 2011.
- AIRMON 2011, The 7th International Symposium on Modern Principles for Air Monitoring and Biomonitoring, Loen, juni 2011.

Ved de to første konferansene var resultater fra prosjektet presentert med to postere:

- Exposure assessment of exhaust related agents during subsea tunnel rehabilitation work
- Exposure assessment of dust and quartz during subsea tunnel rehabilitation work

På Airmon 2011 var prosjektet presentert med en poster:

- Exposure to ultrafine particles during welding of PVC membrane and verge building in a subsea road tunnel

Yrkeshygieniske undersøkelser

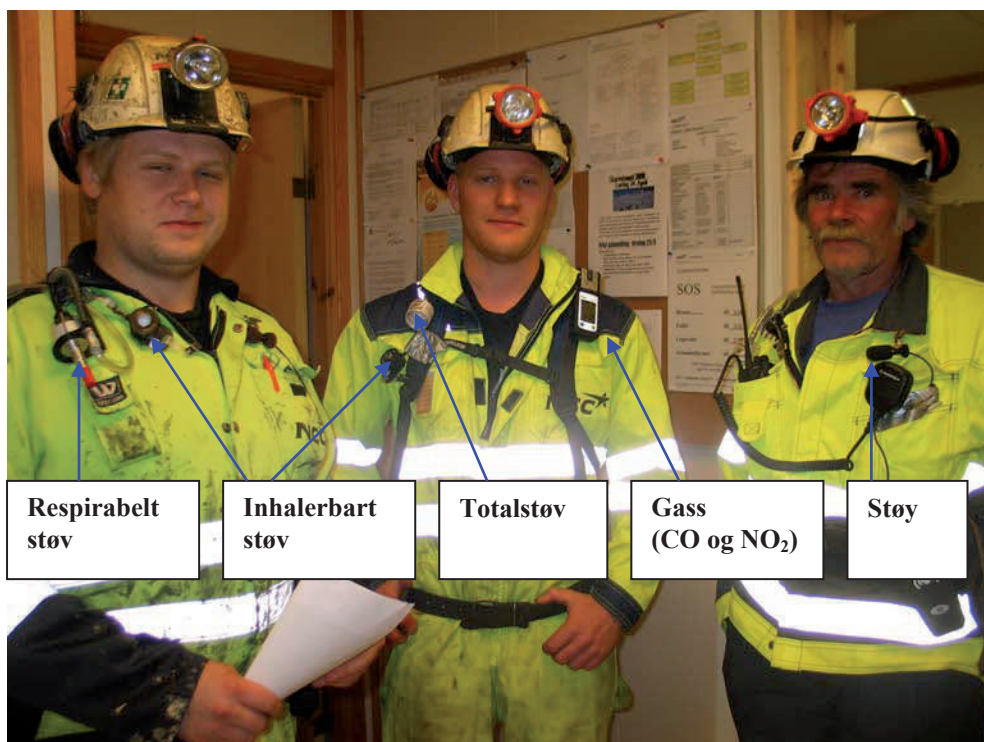
De yrkeshygieniske målingene har for det meste vært gjort ved hjelp av personbåret utstyr, dvs. at arbeidstakerne har båret prøvetakingsutstyret på seg gjennom hele arbeidsskiftet. Resultatene fra disse prøvene representerer den eksponeringen en arbeidstaker har vært utsatt for i løpet av et arbeidsskift, og de kan da sammenlignes med Arbeidstilsynets grenseverdier og administrative normer. I tillegg har det vært utplassert en stasjonær målestasjon i tunnelen hver natt det har vært gjort personbårne målinger. Den stasjonære målestasjonen har også i noen tilfeller målt på dager og tider når det ikke har vært arbeid i tunnelen og trafikken har gått som normalt. De stasjonære målingene har vært brukt for å se på det generelle bidraget fra trafikken og hvorvidt klimafaktorer har hatt innvirkning på eksponeringene.

Personrelaterte prøver

Følgende arbeidsmiljøfaktorer ble kartlagt med personbårne målinger:

- Støy
- Støv og partikulære forurensinger
 - Inhalerbart støv
 - ”Totalstøv”
 - Torakalt støv
 - Respirabelt støv
 - Respirabel kvarts
 - Dieselpartikler (som elementært karbon)
 - Oljetåke
 - Ultrafine partikler
 - Polyaromatiske hydrokarboner (PAH)
- Gasser
 - Nitrogendioksid (NO₂)
 - Karbonmonoksid (CO)
 - Saltsyredamp
 - Oljedamp

Prøvetakingen ble spredt utover hele anleggsperioden for å forsøke å fange opp de ulike arbeidsoperasjonene som ble utført, studere eventuelle sesongvariasjoner forårsaket av klimaparametre samt se på effekten av en stadig tørrere tunnel ettersom rehabiliteringsarbeidet gikk framover. Ved ”vanlig” prøvetaking gikk arbeiderne med prøvetakingsutstyr for NO₂, CO, inhalerbart støv og respirabelt støv eller dieselpartikler. Ved prøvetaking i forbindelse med cross-shift-undersøkelsen gikk arbeiderne med prøvetakingsutstyr for torakalt støv, respirabelt støv, dieselpartikler, NO₂ og CO. Prøvetaking av oljetåke og oljedamp har av praktiske hensyn blitt gjort i 5 perioder på 3-4 netter på rad. Det ble tatt stikkprøvemålinger av ultrafine partikler og saltsyredamp, og prøvetaking av PAH ble bare gjort i forbindelse med asfaltering. Prøvetakingskassetene ble plassert på skuldra til arbeiderne som vist i Figur 10. Det å gå med prøvetakingsutstyr har for de flestes vedkommende fungert tilfredsstillende, selv om utstyret ved noen arbeidsoperasjoner har vært til en viss sjenanse. For de personrelaterte prøvene er prøvetakingsmetodene nærmere beskrevet for hver av de undersøkte faktorene.



Figur 10 Arbeidstakere med diverse personbåret prøvetakingsutstyr

Stasjonære prøver

Den stasjonære målestasjonen besto fast av:

- Klimakoffert for måling av:
 - Temperatur
 - Relativ fuktighet
 - Lufthastighet
- Gassmålere for:
 - NO₂
 - CO
- Støvmåler:
 - Direktevisende støvmåler basert på lysspredning

Årsaken til at klimatiske forhold ble målt, var ønsket om å ha kontroll med disse parametrene siden de kan påvirke forurensningsnivået i tunnelen.

Den stasjonære målestasjonen er vist i Figur 11. Den ble forsøkt plassert på samme sted i tunnelen hver gang, men av praktiske hensyn var det ikke alltid mulig da den ville stå i veien for arbeidet, eller stå i fare for å bli ødelagt av aktiviteten i området. De fleste gangene sto den i en nisje ved PEL 3980 som er ca 1450 m inn i tunnelen fra Bergsøysiden. Ellers varierte plasseringen mellom PEL 2900 og 4400. Tunnelen strakte seg fra PEL 2532 til PEL 7625.

I tillegg ble det gjort noen stasjonære målinger av følgende:

- Inhalerbart støv
- Torakalt støv
- Respirabelt støv
- Respirabel kvarts
- Støy

- Oljetåke
- Oljedamp
- Dieselpartikler

Målemetoder for disse komponentene er de samme som for de personbårne målingene, og metoder og resultater for personbårne og stasjonære er presentert sammen.



Figur 11 Stasjonært prøvetakingsutstyr ved PEL 3980

Bakgrunnsinformasjon

Klimadata

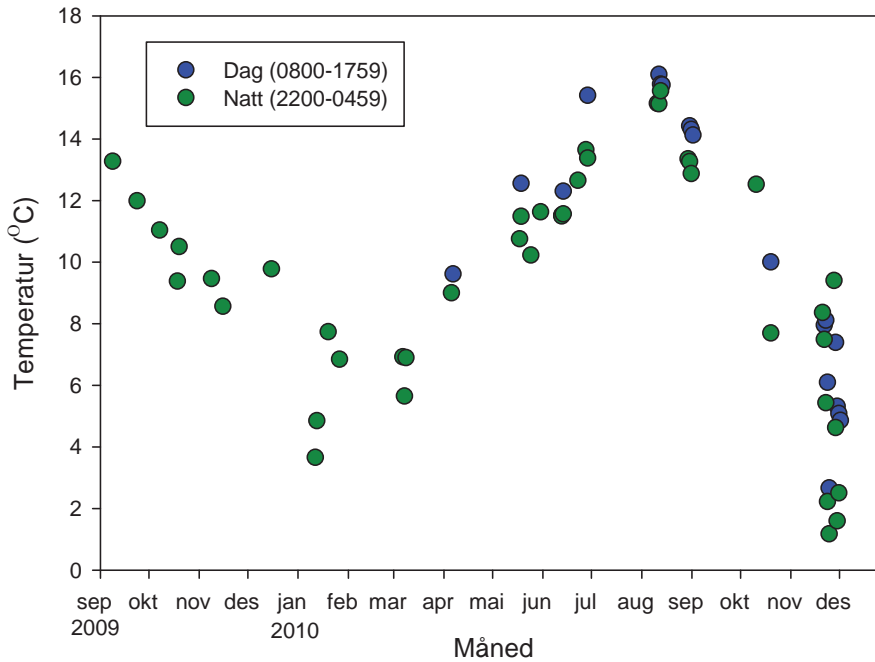
Klimaparametrene ble målt med en Velocalc 9555-P multifunksjonsmåler med tilhørende målesonde fra TSI Inc., USA.

Loggede data ble lastet ned fra instrumentet til PC ved hjelp av det medfølgende dataprogrammet TrakPro, versjon 4.2.0.15. Instrument og målesonde var kalibrert i forkant av prosjektet.

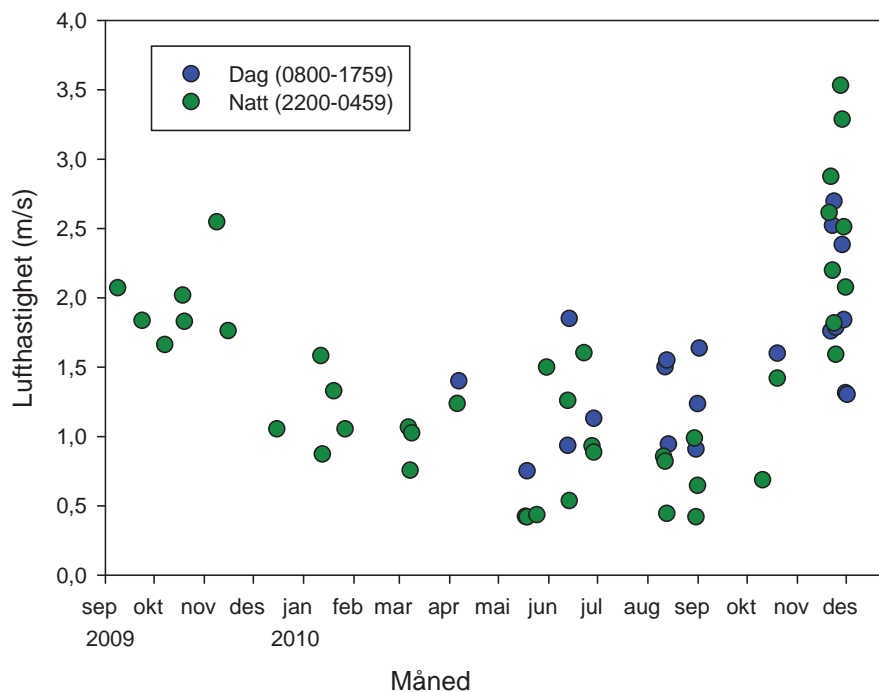
Resultater fra måling av temperatur, lufthastighet og relativ fuktighet i tunnelen er vist i Figur 12 til Figur 15. Forklaring på box-plot, slik det er presentert i Figur 14, er vist i tilknytning til Figur 20 med unntak av at kulepunktene i Figur 14 viser 5- og 95-percentilen og ikke utliggere.

Figur 12 viser at temperaturen i tunnelen varierte som forventet med årstiden. De høyeste temperaturene ble registrert om sommeren og de laveste om vinteren. Det var også jevnt over litt høyere temperaturer på dagtid (0800 – 1759) sammenlignet med om natten (2200 – 0459). Dette kan ses på figuren ved at de blå punktene ligger litt høyere enn de grønne. Den laveste gjennomsnittstemperaturen målt mellom kl 0800-1759 var 2,7 °C, mens den høyeste var 16,1

°C. Den laveste gjennomsnittstemperaturen målt mellom kl 2200 og kl 0459 var 1,2 °C og den høyeste var 15,5 °C. De laveste temperaturene ble målt i forbindelse med asfaltfresing og asfaltering i slutten av november 2010.



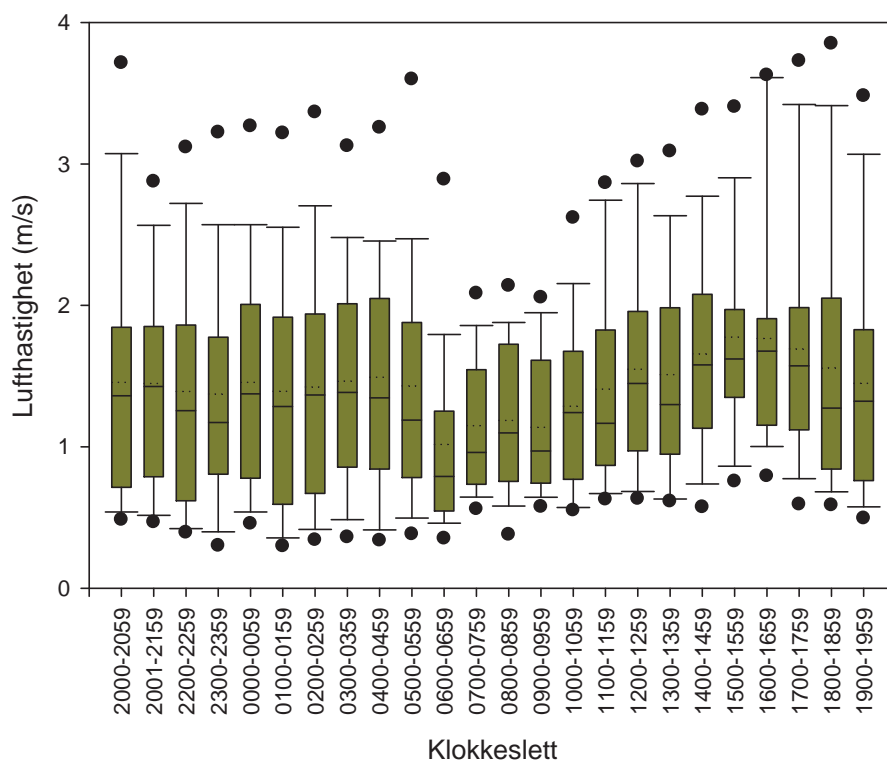
Figur 12 Temperatur i tunnelen avhengig av årstid



Figur 13 Lufthastighet i tunnelen avhengig av årstid

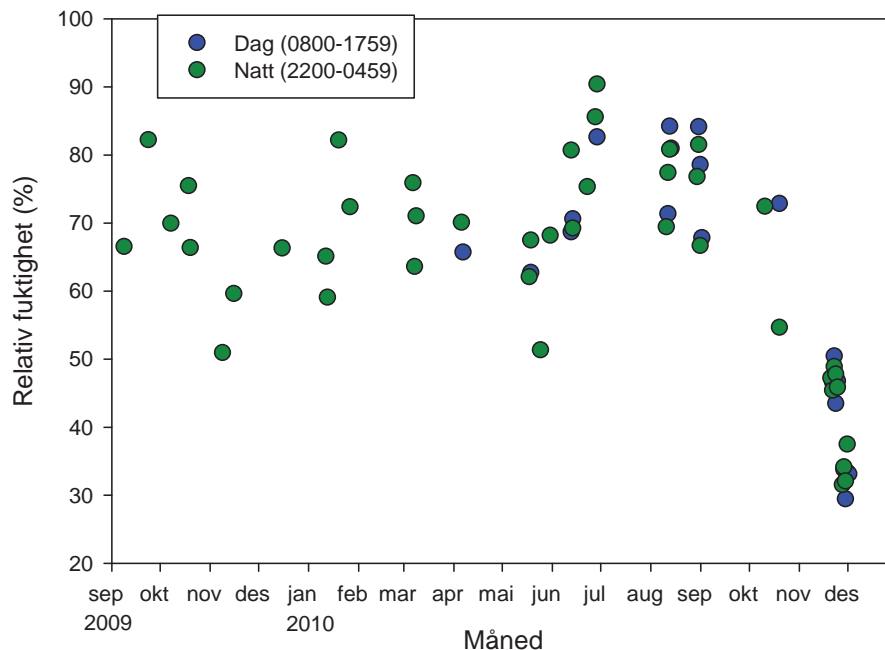
Lufthastigheten i tunnelen viste relativt store variasjoner, og som Figur 13 viser, ble det ikke observert noen tydelig årstidsvariasjon. Den perioden som skilte seg ut var under asfaltfresing og asfaltering av veibanen i slutten av november 2010. Her ble det den høyeste

gjennomsnittlige lufthastigheten om natten målt (3,5 m/s). Den høyeste gjennomsnittshastigheten på dagtid var også i denne perioden (2,7 m/s). Den laveste målingen både på dagtid og nattetid ble målt 19.5.2010 med lufthastigheter på henholdsvis 0,75 og 0,41 m/s. Som Figur 14 viser, ser det ut til å ha vært en viss døgnvariasjon i lufthastigheten, med høyest lufthastighet mellom kl 1500 og kl1800, relativt høye verdier når det ble arbeidet i tunnelen, og litt lavere verdier om morgenen og formiddagen. Toppen om ettermiddagen tyder på at det var biltrafikk i forbindelse med rushtid som førte til økt nivå av CO og NO₂, noe som igjen satte i gang viftene i tunnelen. Viftene var automatisk styrt av sensorer som målte NO₂ og CO. Grunnen til at det var relativt høy lufthastighet om natten kan være at bruken av dieselmaskiner og utstyr førte til økte nivåer av NO₂ og CO, samt at viftene ved noen anledninger ble styrt manuelt ved behov. Gjennomsnittlig lufthastighet var 1,55 m/s på dagtid og 1,44 m/s om natta.



Figur 14 Lufthastighet i tunnelen avhengig av klokkeslett

Det var ingen tydelig årstidsvariasjon i relativ luftfuktighet, men Figur 15 viser at perioden i slutten av november 2010 skilte seg ut ved å ha lav relativ fuktighet i forhold til resten av dagene. Dette var den perioden det foregikk asfaltfresing og asfaltering av vegbanen i tunnelen. Grafen viser også at det ikke var klare forskjeller mellom den relative fuktigheten på dagtid og om natten ved samme dato. Gjennomsnittlig lå den relative fuktigheten på dagtid på 60 % mot 64 % på nattetid, med en range fra 29-84 % på dagtid og 31-90 % om natten. Målingene på dagtid er fra april til desember 2010, mens målingene på nattetid er fra september 2009 til desember 2010.

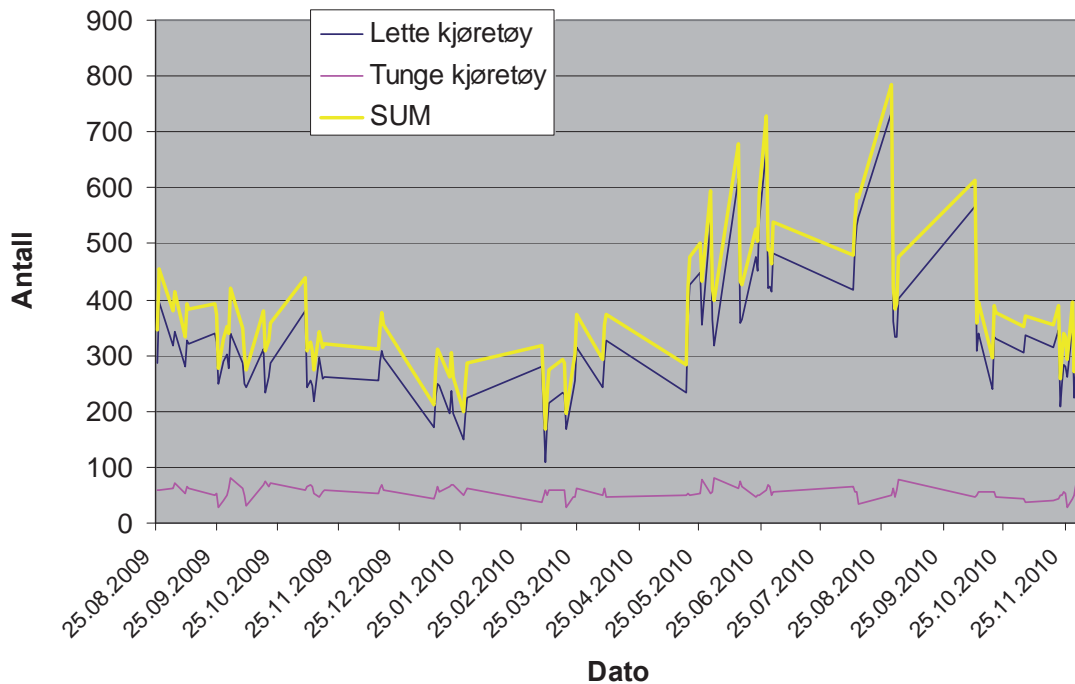


Figur 15 Relativ fuktighet i tunnelen avhengig av årstid

Et sammendrag av alle loggede klimadata finnes i Vedlegg 1.

Trafikkdata

Det er fra Securitas AS, som hadde ansvaret for trafikkavviklingen gjennom tunnelen, mottatt informasjon om antall kjøretøy i hver kolonne som har passert gjennom tunnelen i hvert arbeidsskift for de datoene det er gjennomført målinger. Dette omfattende materialet angir både antall tunge kjøretøy (busser, trailere, større lastebiler, etc.) og antall personbiler pr. kolonne, og det er brukt som bakgrunnsmateriale ved tolkningen av eksponeringsmålingene. En grafisk oversikt over trafikkbelastningen i prosjektets måleperioder er vist i Figur 16. Her fremgår det at antallet tunge kjøretøy gjennom tunnelen jevnt over var ca 60 pr. skift. Når det gjelder lette kjøretøy er antallet høyere og mer variert med et gjennomsnittlig antall på 319 (range 109 – 735). Det høyeste antall kjøretøyer som ble observert på ett skift var 785 (735 lette og 50 tunge). Dette skjedde den 29.8.2010.



Figur 16 Oversikt over kjøretøybelastningen i Freifjordtunnelen

Et sammendrag av trafikkdata er gitt i vedlegg 2, men detaljerte data er tilgjengelig for hver enkelt kolonne.

Inndeling i arbeidsoperasjoner

Rehabiliteringsarbeidet besto av mange arbeidsoppgaver av ulik varighet. Personene som gikk med prøvetakingsutstyr fikk med seg en liten lapp der de noterte hvilke arbeidsoppgaver som ble utført i løpet av natta og hvor lang tid som ble brukt på hver oppgave. I rapporten er rehabiliteringsarbeidet gruppert i de arbeidsoperasjoner som er beskrevet i detalj under. Da en arbeider kunne utføre flere ulike arbeidsoppgaver i løpet av en natt, er en måling plassert i en arbeidsoperasjon hvis mer enn 55 % av arbeidstiden besto av arbeid innen denne arbeidsoperasjonen.

Sjåfør ledebil

Det var personell fra Securitas AS som hadde ansvaret for trafikkavviklingen gjennom tunnelen om natta. Det var tre personer på jobb på hvert skift; en person som kjørte ledebilen for kolonnen, og en person var ved bommene i hver ende av tunnelen. Personene ved bommene oppholdt seg mesteparten av tiden i en vaktbod, men måtte jevnlig ut og snakke med bilister og åpne bommene. Hovedfunksjon var å sikre at ingen kjørte inn i tunnelen utenfor kolonnene samt informere om kolonnekjøringen. Sjåføren av ledebilen oppholdt seg normalt i vaktbua på Bergsøya når han ikke kjørte ledebil. Det ene Securitas-skiftet byttet på å kjøre ledebil i løpet av natta. I det andre skiftet var det samme person som kjørte ledebil hele natta. Prøvetakingen ble utført på skift der det var samme person som kjørte ledebil hele natta.

Elektriker

Denne gruppa omfatter de som arbeidet som elektrikere inne i tunnelen. Antallet elektrikere som arbeidet i tunnelen varierte i løpet av perioden, men det var alltid en formann som oppholdt seg på kontoret og 1-8 elektrikere som gjorde arbeidet. Det var firmaet KB Elektrotech A/S som utførte det elektriske arbeidet.



Figur 17 Montering av belysning

Maskinfører

Det var mye bruk av forskjellige typer anleggsmaskiner og kjøretøy i tunnelen, og det er valgt å gruppere de som for det meste kjørte slike kjøretøy i en egen kategori. Denne inkluderer sjåførere som satt mye av tiden i innelukket kabin, for eksempel hjullaster, traktor, gravemaskin, veival, semitrailer, lastebil og dieseltruck. Kategorien omfatter ikke sjåførere av støpemaskin, asfaltfres og asfaltlegger som ikke hadde kabin.

Betongarbeid

Denne gruppa inkluderer alle arbeidsoppgaver som har med betongarbeid å gjøre. Det vil si betongsprøyting (sikring), glidestøv av bankett og små, manuelle støpejobber. Følgende operatortyper er inkludert: sjåfør for glidestøpmaskinen, rennemann, styremann og pussere, fører av betongsprøyterigg og hjelpemann samt forskalingsnekkere når de utførte betongarbeid, ikke forskalingsnekring. Førere av betongbiler hører ikke til i denne gruppa, de kommer inn under maskinførere.



Figur 18 Betongsprøyting

Boring

Gruppen inkluderer personell som utførte boring for sikringsbolter og festebolter for PVC-duk, boring til fester av skilt og vifter og boring av hull til sprengstoff ved sprengning.

Formann/ingeniør

Denne gruppa inneholder både stikningsingeniører, kontrollingeniør fra Statens vegvesen samt formenn for skiftene. Felles for disse er at de som regel tilbrakte en del tid på kontor eller på annet ueksponert område i løpet av et skift. Formannen var ansvarlig for alle arbeider som ble gjennomført i løpet av natten. Stikningsingeniøren utførte geometrisk kontroll, laget bolteplaner, la inn data og målte opp for boreriggene og laget sluttokumentasjon. Arbeidet innebar stikningsarbeid ute i tunnelen, kontorarbeid og møter.



Figur 19 Oppmåling i tunnelen

Det var som regel en stikningsingeniør pr. skift. Kontrollingeniøren hadde ansvar for å sjekke at arbeidet skjedde i henhold til kontrakt og avtale. Det var mesteparten av tiden to kontrollingeniører som arbeidet en uke hver. Arbeidet innebar en del møtevirksomhet på dagtid, og kontrollrunder om kvelden og natten. Det var sjeldent at de jobbet hele natten.

Montere bolt

Denne gruppa består av personer som både monterte sikringsbolter og bolt til både PVC-duk.

Montere PVC duk

Denne gruppa omfatter all montering av PVC-duk og rammeverk, men ikke montering av boltene. Den inkluderer også montering av stål og duk, sveising av duk, boring og montering av list samt reparasjonsarbeid. Det var Giertsen Tunnel AS som utførte dette arbeidet.

Asfaltfresing

Gruppen inkluderer sjåfør av asfaltfres, sjåfør av vannbil som også hjalp til ved asfaltfresen, samt styremenn. Gruppen inkluderer ikke feiebilsjåfør (innelukket) og sjåfør på semitrailere som fraktet ut asfalten. Disse regnes som maskinførere.

Asfaltering

Gruppen inkluderer sjåfør av limbil, som også tilbrakte en del tid ute i tunnelen, sjåfør på asfaltlegger, styrer asfaltlegger og hjelpemann. Den inkluderer ikke sjåførere i lastebil/semitrailer eller veivals med kabin. Disse regnes som maskinførere.

Annet/diverse

Dette er en oppsamlingsgruppe for alle arbeidsoperasjoner som det er få målinger på, enten fordi de foregikk sjelden, var kortvarige slik at det ble gjort mye forskjellig i løpet av arbeidsskiftet eller fordi det ikke var mulig å fange dem opp ved våre besøk. Eksempler på denne kategorien er vasking med ultrahøytrykk og betongskjæring.

Stasjonær

Som vist i Figur 11 ble det i tillegg til de personbårne prøvene også gjort en del stasjonære målinger, i hovedsak ved PEL 3980 i tunnelen. Resultatene fra disse målingene er presentert til slutt i resultattabellene.

Yrkeshygieniske vurderingskriterier

De yrkeshygieniske resultatene er, der det har vært mulig, vurdert opp mot Arbeidstilsynets administrative normer, grenseverdier og anbefalinger. Det er i denne sammenheng viktig å være klar over at disse normene ikke representerer noe klart skille mellom hva som er og ikke er helseskadelig. De administrative normene er satt ut fra både tekniske, økonomiske og medisinske vurderinger. Overholdelse av normene betyr derfor ikke at en er sikret at helseskader eller ubehag ikke kan oppstå.

For støy er det tatt utgangspunkt i Arbeidstilsynets forskrift nr 398 "Vern mot støy på arbeidsplassen", og i forbindelse med luftforurensninger er Arbeidstilsynets veiledning nr 361 om "Administrative normer for forurensning i arbeidsatmosfære" lagt til grunn for vurderingene. Avvik fra dette er spesielt anmerket.

Noe av det spesielle ved dette rehabiliteringsarbeidet er at normalarbeidstiden på åtte timer i døgnet er fraveket. Dette fordrer spesiell aktsomhet ved vurderingene av eksponeringsmålingene ettersom både grenseverdiene for støy og de administrative normer for forurensning i arbeidsatmosfære baserer seg på en normert arbeidstid på åtte timer og tilnærmet null eksponering resten av døgnet.

Ved eksponering for støy i mer enn de normerte åtte timer pr døgn kan man vurdere de målte verdiene opp mot grenseverdiene ved hjelp av matematiske betraktninger. Dette er behandlet nærmere i kapitlet som omhandler støy.

Når det gjelder eksponering for gasser og støv må de enkelte eksponeringsfaktorer vurderes særskilt. Amerikanske arbeidsmiljømyndigheter (OSHA¹) har for enkelte stoffer vurdert hvilke eksponeringsgrenser som er forsvarlige i den grad den daglige eksponeringstiden avviker fra åtte timer. Tilsvarende er gjort i forbindelse med arbeid på norsk sokkel hvor arbeidsskiftene som regel er lengre enn åtte timer. Norske arbeidsmiljømyndigheter har imidlertid ikke, for landbasert virksomhet, utarbeidet retningslinjer eller føringer som indikerer hvordan normene og grenseverdiene skal forstås når den daglige eksponeringstiden avviker fra åtte timer.

¹ Occupational Safety and Health Administration, USA

I faglitteraturen er det beskrevet ulike modeller for beregning av grenseverdier og normer for forsvarlige eksponeringer ved lange arbeidsskift. Den enkleste og vanligste tilnærmingen (Brief and Scala Model) ble beskrevet så tidlig som i 1975 og tar kun hensyn til antall arbeidstimer og hvileperiode uten eksponering. Ved hjelp av formelen:

$$RF = \frac{8}{T} \times \frac{24 - T}{16}, \text{ hvor } T = \text{timer arbeidet pr. dag}$$

beregnes det en reduksjonsfaktor, RF. Ved en 11,5-timers arbeidsdag settes $t = 11,5$, noe som gir en reduksjonsfaktor på ca. 0,6. Dette betyr eksempelvis at det for sjenerende, respirabelt støv (sjenerende støv uten innhold av α -kvarts eller andre toksiske stoffer) som har en administrativ norm på 5 mg/m^3 , synes rimelig å sette en norm for 11,5-timers skift på:

$$5 \text{ mg/m}^3 \times 0,6 = 3,0 \text{ mg/m}^3$$

Bruken av denne formelen må gjøres med stor grad av forsiktighet idet den ikke er anvendbar i alle situasjoner og for alle forurensninger.

Andre og mer komplekse modeller som bl.a. tar hensyn til biologiske halveringstider for forurensninger er også beskrevet i litteraturen. Vurderinger etter slike modeller er imidlertid ikke gjort i denne rapporten.

Lange arbeidsskift ved dette prosjektet ble helt eller delvis kompensert med lange friperioder slik at total arbeidstid, og dermed total eksponeringsperiode, over flere måneder ikke avvok vesentlig fra det som er normalt ved åtte-timers arbeidstid. Dette forholdet indikerer at bruken av matematiske reduksjonsfaktorer vil kunne innebære en for streng vurdering der helseeffekten av eksponering ikke er akutt.

Når det gjelder eksponering for gasser, både NO_2 , HCl og CO , har disse andre virkningsmekanismer og helseeffekter enn sjenerende støv, kvarts, oljetåke og andre aerosoler. Her kan kortvarige, høye eksponeringsverdier gi umiddelbare effekter, og det er derfor ikke tilrådelig å bare bruke den matematiske tilnæringsmetoden i Brief and Scalas modell.

Eksponeringens lengde og de vurderingene som er gjort i sammenheng med avviket fra åtte-timersnormen, er nærmere omtalt i diskusjonen av de ulike måleresultatene nedenfor.

Resultatpresentasjon

Nedenfor er resultatene fra de ulike målingene av gasser, støv og partikler presentert. For de fleste arbeidsoperasjoner er det angitt antall målinger, aritmetisk middelværdi (AM) med standardavvik (SD), geometrisk middelværdi (GM) med tilhørende geometrisk standardavvik (GSD). Det er også angitt minimums- og maksimumsverdier som ble målt ved de ulike arbeidsoperasjonene. I tabellene er det også angitt en summasjonslinje for alle de personbårne prøvene og en linje med resultater fra stasjonære målinger.



Figur 20 Eksempel på box-plot

Der det er naturlig, er måleresultatene presentert både i tabellform og i grafisk form. De fleste grafiske presentasjonene er "box-plots", som vist i Figur 20, generert ved hjelp av statistikkprogrammet SigmaPlot levert av Systat Software Inc., USA. For disse presentasjonene gjelder følgende:

- Boksens farge gir informasjon om aktuell arbeidsoperasjon
- Boksen selv inneholder de midterste 50 % av dataene; dvs. at nedre og øvre grense for boksen angir 25- og 75-percentilene
- Prikket vannrett linje angir aritmetisk middelværdi
- Heltrukket vannrett linje angir medianverdien (50-percentilen). Hvis denne linja ikke er midt i boksen, er data skjevfordelt
- Heltrukket avgrenset linje angir 10- og 90-percentilene
- Fargede sirkler over eller under boksene viser "Utliggere" (Outliers) som er ekstreme, unormale verdier i serien. Disse vises kun der det er nok data til å beregne 10- og 90-percentilene.

For å kunne beregne 25- og 75-percentilen kreves minimum tre datapunkter. Tilsvarende vil beregning av 10- og 90-percentilen kreve ni datapunkter. Grafisk presentasjon av arbeidsoperasjoner der det er tatt færre enn ni målinger vil derfor inneholde mindre informasjon enn de med flere målinger.

Støy

Støy er et stort arbeidsmiljøproblem i forbindelse med anleggsarbeid, tunnelarbeid, bruk av tunge maskiner, borerigger etc.

Lyd er fysisk sett trykkvariasjoner som brer seg gjennom et medium (vanligvis luft), og støy defineres normalt som uønsket lyd. Lydtrykknivå måles i desibel(dB) som er en logaritmisk skala.

Tabell 1 nedenfor angir en del typiske lydtrykknivå:

Tabell 1 Lydinformasjon for en del kjente lydtkilder

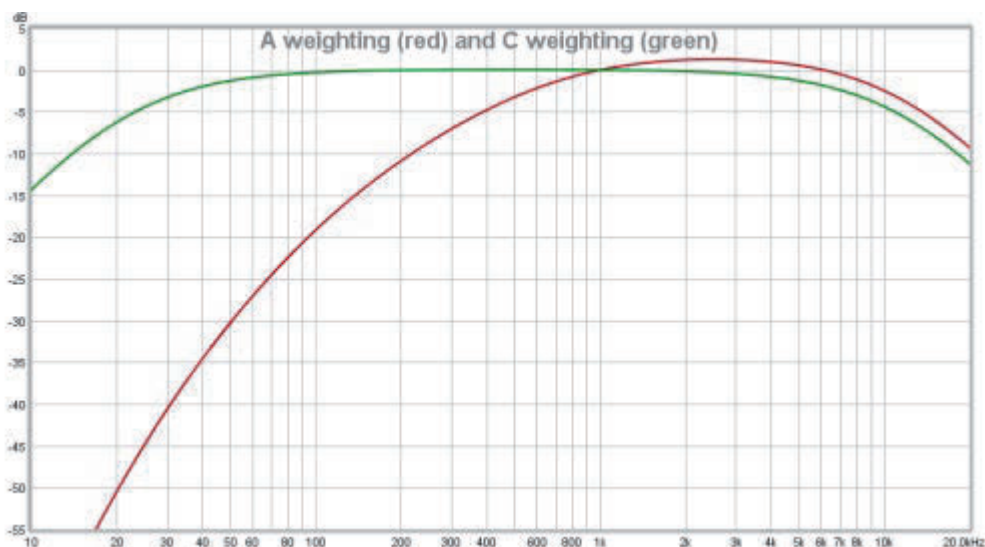
Lydtrykknivå (dB)	Typisk lydtkilde
0	Høreterskelen
20	Tikking av ur
40	Lavmælt samtale
60	Radio i stua
80	Sterkt trafikkert gate
100	Pressluftbor
140	Smertegrensen

Bruk av desibelskalaen medfører en del spesielle regneregler. En fordobling av lyden gjør at lydtrykknivået øker med 3 dB. Sammenstiller man to like lydtkilder som hver for seg har et nivå på 80 dB, vil det samlede lydnivået bli 83 dB.

Veiekurver for lyd

Frekvens benyttes som et mål på lydets tonehøyde. De fleste lyder består både av både høye (diskant) og lave (bass) frekvenser.

Ørets følsomhet for lyd varierer med lydets frekvens. De fleste støydosimetre for arbeidsmiljøkartlegginger har en innebygget demping av de laveste og høyeste frekvensene i samsvar med hørselens følsomhet for disse tonene. Dette kalles frekvensveieing, og det opereres i dette prosjektet med to standardiserte veiekurver, A- og C-veiekurver.



Figur 21 A- og C-veiekurver for lyd

Dempingen som er definert for disse veiekurvane er vist i Figur 21. Måleresultater fremkommet ved bruk av denne type målere uttrykkes som dB(A) eller dB(C), avhengig av hvilket av veiefiltrene som er benyttet.

Impulsstøy

Impulsstøy eller slagstøy angir høyeste observerte lydtryknivå målt med veiefilter C og med målerinnstilling "peak". Dette er en målemetodikk som benyttes ved kartlegging av kortvarige og svært høye støynivåer.

Ekvivalent støynivå

Industriell aktivitet gir alltid varierende støybelastning. Ekvivalent støynivå ($L_{pAeq,T}$) benyttes som et mål på den energiekvivalente verdien (gjennomsnittet) av det varierende A-veide lydtryknivået over et tidsrom T. Den gjennomsnittlige støybelastningen over en normalarbeidsdag på 8 timer uttrykkes ofte som *normert* ekvivalentnivå. Ekvivalent støynivå over en tidsperiode angir altså med ett tall den mottatte støydosen over perioden. De samme spesielle regnereglerne for desibel gjelder også her. Dette medfører bl.a. at for hver gang ekvivalentnivået øker med 3 dB(A), fordobles lydenergimengden, og for hver gang støynivået øker med 3 dB(A), må eksponeringstiden halveres for at ekvivalentnivået skal være det samme.

Helseeffekter av støy

Hvorvidt en støyeksponering er skadelig eller ikke avhenger av mange faktorer:

- Støynivået
- Eksponeringstiden
- Støyens frekvenssammensetning
- Hviletid uten støy
- Individuell følsomhet

Støynivået og eksponeringstiden til sammen gir et mål for hvor mye lydenergi kroppen og øret har mottatt. Når det gjelder frekvenssammensetningen, er det kjent at basslyd er mindre hørselsskadelig enn diskantlyd, og at rene toner er mer skadelig enn bredbåndet støy. Med mindre man utsettes for kraftige smell eller annen impulsstøy, vil en hørselsskade som følge av støy utvikles gradvis. I Norge har vi, som i de fleste europeiske land, et forskriftsverk som tar utgangspunkt i at man ved et normert ekvivalentnivå på over 85 dB(A) har en forhøyet risiko for hørselsskade.

Støy kan også betraktes som en aktiverende stressfaktor ettersom den påvirker hvile, søvn, kommunikasjon og trivsel. Langvarig støyeksponering kan på denne måten gi stress og vedvarende fysiologisk aktivering som over lengre tid kan bidra til å utvikle sykdom.

Metode

Ved måling av arbeidstakernes støybelastning er det benyttet støydosimeter av type Spark 706 som vist i Figur 22 fra leverandøren Larson Davis, Inc., USA. Utstyret var nykalibrert hos leverandøren i forkant av prosjektet og ble før hver måling kalibrert og kontrollert med en kalibrator, modell LDcal 150 fra samme leverandør. Målerne hadde innebygget A og C veiefilter og datalogger som logget hvert minutt. Data ble lastet ned fra instrumentene og bearbeidet ved hjelp av dataprogrammet Blaze, versjon 5.2, også det fra Larson Davis, Inc. Instrumentmikrofonen er oppgitt å kunne måle lydnivåer opp til 146 dB. Ekvivalentnivå og impulsstøy ble målt samtidig og med samme instrument. Alle støymålinger er gjennomført i henhold til Norsk Standard NS 4815-1 og NS 4815-2.

Alle målinger er gjort utenfor hørselvern.



Figur 22 Spark 706 støydosimeter

De personbårne målingene ble foretatt over hele arbeidsskift, i gjennomsnitt ca. 11 timer. De første støymålingene ble gjort i slutten av august 2009, og målingene ble avsluttet i mars 2010, men gjenopptatt igjen ved asfalteringen i november 2010.

Grenseverdier, normer og krav

For arbeidsforhold med støyende maskiner og utstyr (gruppe III) setter Arbeidstilsynet i sin Forskrift om vern mot støy på arbeidsplassen følgende grenseverdier for støyeksponering:

Toppverdi av lydtryknivå:	$L_{pC,peak}$:	130 dB
Daglig støyeksponeringsnivå:	$L_{pAeq,8h}$:	85 dB

Ved fastlegging av den faktiske eksponering skal det tas hensyn til den effektive dempingen av påbudt personlig hørselvern som arbeidstakeren skal bruke. Dersom disse grenseverdiene overskrides, plikter arbeidsgiver i henhold til forskriften å iverksette tiltak for å redusere eksponeringen til under grenseverdiene.

Resultater

Ved rehabiliteringsarbeidet ble det i alt gjennomført 26 målinger av støy. Sortert på arbeidsoperasjon er de vist i Tabell 2. Det ble utført 21 personbårne og en stasjonær måling ved rehabiliteringen, og fire målinger i forbindelse med asfalteringsarbeidet i november/desember 2010. Disse er markert med blå farge i tabellen.

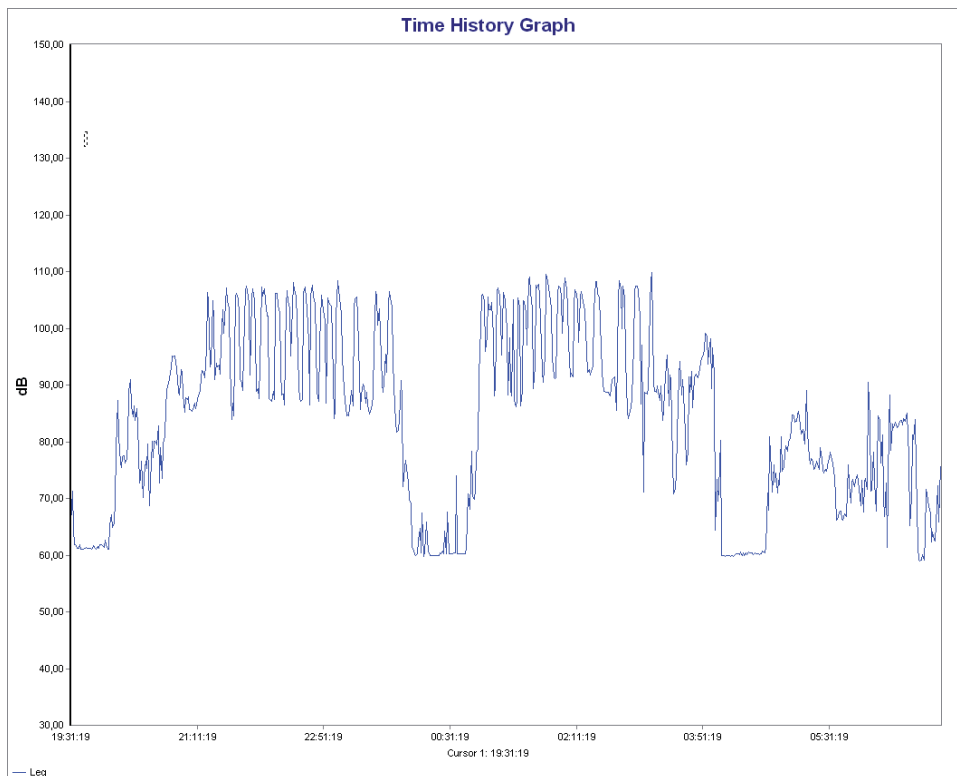
Tabell 2 Støymålinger sortert på arbeidsoperasjon

Måling nr	Arbeidsoperasjon	Målingens Tid	Ekvivalentnivå i måleperioden	Normert ekvivalentnivå $L_{pAeq,8h}$	Toppverdi av lydtryknivå $L_{pC,peak}$
1	Annet	11t, 30 min	89,3	90,9	140,2
2	Betong	11t, 25 min	91,2	92,8	135,5
3	Betong	8t 34 min	87,8	88,1	137,7
4	Betong	11 t, 30min	90,4	92,0	150,8 ^{*)}
5	Montere bolt	11t, 30 min	83,4	84,9	141,2
6	Boring (AMV Gnomen 3)	10 t, 48 min	89,2	90,5	147,5 ^{*)}
7	Boring (Essverk)	11t, 29 min	82,8	84,3	135,9
8	Boring	11 t, 28 min	99,3	100,9	131,9
9	Montere PVC-duk	11t 26 min	93,5	95,1	137,6
10	Montere PVC-duk	11t 27 min	91,2	92,8	136,6
11	Montere PVC-duk	11t, 07 min	91,4	92,8	137,2
12	Formann/ingeniør	11t, 30 min	82,1	83,7	134,4
13	Annet	11t, 24 min	82,8	84,3	139,2
14	Maskinfører	9 t, 51 min	87,7	88,6	132,9
15	Maskinfører	7t, 51 min	90,7	90,6	140,1
16	Betong	11t, 31 min	88,3	89,9	132,5
17	Montere bolt	11 t, 31 min	90,2	91,8	136,4
18	Montere PVC-duk	11t, 29 min	91,9	93,4	139,6
19	Elektriker	10 t, 55 min	82,9	84,2	132,6
20	Maskinfører	11 t, 18 min	91,2	92,7	132,4
21	Maskinfører	11 t, 17 min	92,3	93,8	135,6
22	Maskinfører	11t, 20 min	83,2	84,7	138,0
23	Maskinfører	11t, 7 min	85,0	86,4	137,3
24	Asfaltering	8t, 58 min	90,4	90,9	133,0
25	Annet	7 t, 3 min	85,8	85,3	140,1
	Aritmetisk middelvei			89,8	136,4^{*)}
26	Stasjonær	09 t 16 min	74,1	74,8	132,8

*) Måling 4 og 6 inngår ikke i beregning av middelvei for $L_{pC,peak}$

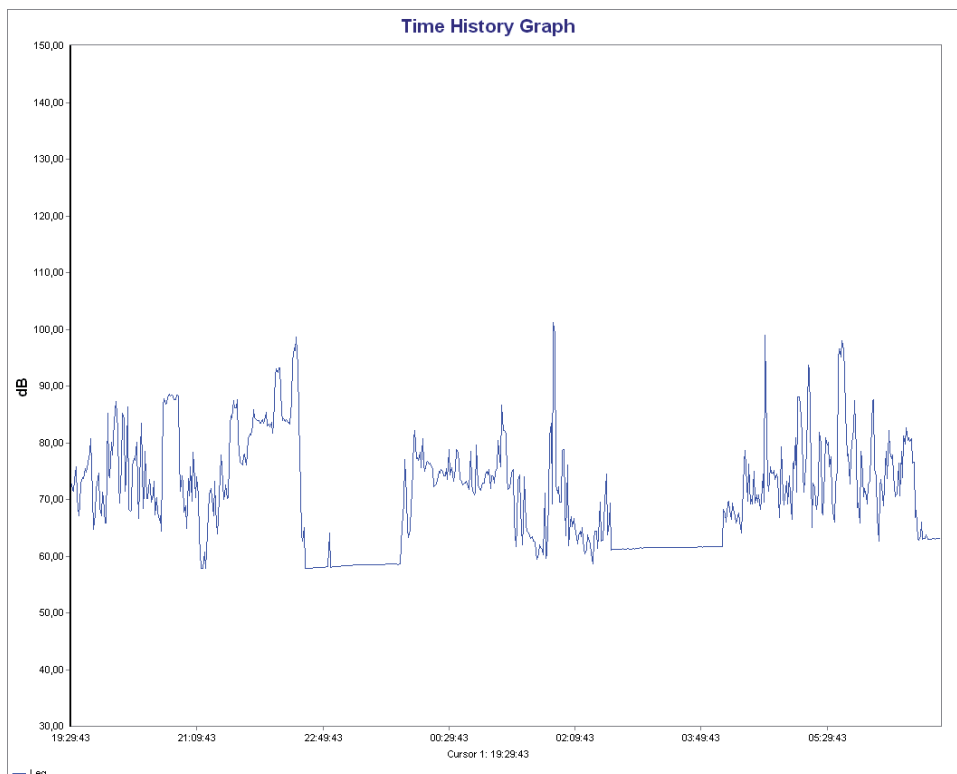
Diskusjoner og vurderinger

For hver enkelt av de målingene som er gjengitt i Tabell 2 kan støynivået over hele arbeidsskiftet presenteres på en måte som viser endringene fra minutt til minutt. Tidsforløpet for støymåling nr 8 (Boring) i Tabell 2 er vist i Figur 23. Her er klokkeslettet angitt langs x-aksen mens antall dB(A) er logget en gang pr minutt og vist langs y-aksen. Periodene med lavt støynivå, ved midnatt og omkring kl 0400 var under matpauser. Måling nr 8 var den eneste av målingene som hadde et normert ekvivalentnivå over 100 dB(A). Dette viser at boring er en svært støyutsatt arbeidsoperasjon.



Figur 23 Tidsforløp, støymåling nr 8, boring

En formann eller kontrollingeniør som ofte vil ha en noe mindre støyende arbeidshverdag enn andre (en del tid inne i kjøretøy eller utenfor tunnelen), kan ha en støyeksposering som typisk kan se ut som måling nr 12. Denne er detaljert vist i Figur 24.



Figur 24 Tidsforløp, støymåling nr 12, formann / ingeniør

Måling nr 26 i Tabell 2 er tatt for å sammenligne de personbårne støymålingene med en "null-verdi" hvor bare trafikkstøyen ble målt. Tidsforløpet for denne målingen er vist i Figur 25.



Figur 25 Tidsforløp, støymåling nr 26, stasjonær PEL 3640

Her representerer den blå kurven punktverdier for ekvivalent støynivå (dB(A)) logget en gang pr minutt, mens den grønne kurven viser målte peak-verdier (dB(C)).

Måling av støy ble i samråd med oppdragsgiver og entreprenør avsluttet før sommeren 2010. Årsaken til dette var at en med de resultatene som til da var oppnådd, med stor grad av sikkerhet kunne fastslå at:

- Alle som arbeidet i tunnelen ble utsatt for hørselsskadelig støy, enten ved impulsstøy eller daglig støyeksponering eller begge deler
- Hele tunnelen skulle defineres som støysone
- Alle som arbeidet i tunnelen måtte benytte tilfredsstillende hørselvern

Disse forholdene ble fastslått høsten 2009, relativt tidlig i anleggsperioden, og bekreftet ved de målinger som ble utført gjennom vinteren 2009/2010. Måleresultatene ble presentert og diskutert ved statusmøtene fram til sommeren 2010. Hovedkonsekvensen av måleresultatene var at tunnelen ble skiltet som støysone og at arbeidstakerne ble oppfordret til å benytte hørselvern i så stor grad som mulig.

Da det ble bestemt at de yrkeshygieniske undersøkelsene også skulle omfatte asfalteringsarbeidene, ble det besluttet at noen ekstra støymålinger skulle tas i denne sammenheng.

Arbeidsskiftenes lengde

En av de spesielle faktorene i dette tunnelarbeidet har bestått i at arbeidsskiftenes lengde har vært på 11,5 timer. Dette er 3,5 timer mer enn det som er den ”normale” åtte-timersdagen, og ved vurderingen av eksponeringsfaktorene er det viktig å ta hensyn til dette. Ettersom myndighetskravene for støy på arbeidsplassen er satt for den ”standardiserte” arbeidstiden med åtte timers daglig arbeidstid og 40 timers uke, vil effekten av støyeksponering i 11,5 timer pr dag bli større, ikke bare fordi eksponeringstiden er lengre, men også fordi restitusjonsperioden mellom skiftene blir kortere. I motsatt retning trekker naturligvis det forhold at en arbeidsperiode ble etterfulgt av en lengre friperiode.

Ses det kun på den daglige støyeksponeringen, kan det relativt enkelt beregnes hvilke grenseverdier som gjelder når arbeidstiden er kortere eller lengre enn åtte timer. Det er allment akseptert at en støydose på mer enn 85 dB(A) over en arbeidsdag på åtte timer på lang sikt medfører fare for hørselsskade, og dette er også Arbeidstilsynets grenseverdi for støyeksponering. Dette normerte ekvivalentnivået uttrykkes på følgende vis:

$$L_{Aeq8h} = 85 \text{ dB(A)}$$

For andre eksponeringstider enn åtte timer vil uttrykket, på grunn av at lydintensitet måles med den logaritmiske desibelskalaen, bli som følger:

$$L_{Aeqxh} = 85 - 10 \log(x/8) \text{ dB(A)}$$

Her betegner x den aktuelle eksponeringstiden angitt i timer. For en eksponeringstid på 12 timer kan man altså beregne at 83 dB(A) vil gi samme støydose som 85 dB(A) i åtte timer, og for en eksponeringstid på 11 timer vil regnestykket gi 83,6 dB(A). Resultatene i Tabell 2 er angitt både som ekvivalentnivå over måleperioden og som normert ekvivalentnivå.

Impulsstøy

Ved måling med personbåret støydosimeter i fysisk krevende arbeidssituasjoner er det ofte en risiko for at mikrofonen kommer i kontakt med gjenstander eller arbeidsutstyr og at instrumentet derfor viser feil verdier for impulsstøy som følge av mekaniske slag og støt på mikrofonen. Dette kan gi falske toppverdier. Ved gjennomgang av resultatene fra Freifjordtunnelen viser to av målingene en toppverdi for lydtryknivå på over 146 dB(C). Disse målingene (nr 4 og nr 6 i Tabell 2, merket med *), er utenfor mikrofonens oppgitte måleområde, noe som kan skyldes mekanisk støt eller slag på mikrofonen. Toppverdi for lydtrykk ved disse målingene er derfor ikke tatt med ved beregning av middelvei. De andre toppverdiene som er målt, anses å være representative for den reelle situasjonen. Betraktes tidsforløpet for støymåling nr 26, er maksimalt lydtryknivå målt til 132,8 dB(C), men som Figur 25 viser, skyldes dette kortvarig og atypisk impulsstøy helt på slutten av måleperioden. Med unntak av denne ene verdien ligger maksimalverdiene for slagstøy omkring 110 dB(C) målt med stasjonært utstyr. Sammenholdt med toppverdiene i Tabell 2 med middelvei på 136 dB(C) må dette betraktes som lave verdier, og konklusjonen er at arbeidstakernes egen bruk av utstyr, hjelpemidler og maskiner er hovedkilden for den impulsstøy de eksponeres for.

Ekvivalent støynivå

Slag og støt på mikrofonen, slik det er diskutert ovenfor, har normalt liten innvirkning på måleresultatet av ekvivalente lydtryknivåer over flere timer. Ved normerte ekvivalentnivåer over 90 dB kan denne feilkilden i de fleste situasjoner neglisjeres.

Ekvivalent støynivå over hele måleperioden for måling nr 27 ble, som vist i Tabell 2, målt til 74,1 dB(A). Ettersom dette er en stasjonær måling, representerer den i hovedsak trafikkstøy og viftestøy, og det målte ekvivalentnivået og støykurven viser at verdiene ligger betraktelig under de verdiene som er målt ved personlig prøvetaking. Denne målingen ble gjennomført den 20.10.2009. Trafikkbelastningen var relativt normal sammenlignet med trafikken på de andre måledatoene, og datoen tatt i betraktning er det grunn til å anta at en del av kjøretøyene benyttet piggdekk. Trafikkmessig synes det altså ikke å være noen vesentlig forskjell på denne målingen og de andre støymålingene. På samme måte som for impulsstøy er det derfor rimelig å konkludere med at egen og andres arbeidsaktivitet og bruk av utstyr, verktøy og maskiner er hovedkilden til arbeidstakernes støyeksponering, selv om også viftestøyen for noen av arbeiderne kan ha bidratt eksponeringen. Dette gjelder særlig for de som arbeidet i lift over veibanen.

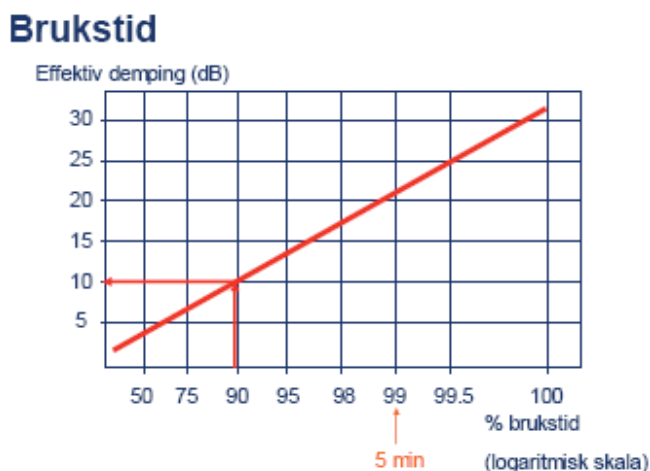
Verneutstyr

Arbeidstilsynets grenseverdi for toppverdi av lydtryknivå er som tidligere nevnt 130 dB(C). Resultatene viser at alle de personbårne støymålingene som ble gjennomført overskrider denne verdien. Arbeidstilsynet har i sin forskrift om "Vern mot støy på arbeidsplassen" anført at det ved fastlegging av den faktiske eksponeringen skal tas hensyn til den effektive dempningsvirkningen av det hørselvern som arbeidstakerne skal bruke. Tas det hensyn til denne dempningsvirkningen med den forutsetning at adekvat hørselvern alltid ble benyttet, ville arbeidstakerne vært godt beskyttet mot hørselsskade på grunn av impulsstøy. Det som imidlertid ble observert, var at flere av tunnelarbeiderne til tider ikke benyttet hørselvern. Dette kan i noen tilfeller ha vært av makelighetshensyn, men det kan også ha vært en nødvendighet i forhold til kommunikasjon.

Siden hørselvern ikke alltid ble benyttet, er det grunn til å anta at Arbeidstilsynets grense for toppverdi av lydtryknivå faktisk ble overskredet for flere av tunnelarbeiderne.

Grenseverdien for normert støynivå er 85 dB(A). Med varierende bruk av hørselvern er det vanskelig å si noe om hvor stor den effektive dempingen var. Alle med arbeid i tunnelen var utstyrt med tradisjonelt verneutstyr som bl.a. omfatter hjelm påmontert øreklokker.

Etter at de innledende støymålingene var gjort kjent for entreprenøren, ble tunnelen merket som støysone, og kravet til bruk av hørselvern ble innskjerpet. Viktigheten av å benytte det utleverte hørselvernet i så stor del av arbeidstiden som mulig ble også presisert på de statusmøtene som ble gjennomført før sommerferien 2010. Figur 26 (fra SINTEF) ble presentert på statusmøtet i mai 2010:



Figur 26 Demping med hørselvern avhengig av brukstid

Her anskueliggjøres det at en person som fjerner hørselvernet i bare fem minutter (99 % brukstid) i løpet av en arbeidsdag taper hele 10 dB i effektiv demping med et hørselvern som i utgangspunktet demper 30 dB. Ved 90 % brukstid tapes hele 20 dB av dempingen. Det bemerkes her at en demping på 30 dB er svært vanskelig å oppnå, selv med de beste øreklokker.

Støy – hovedkonklusjoner

- Måleresultatene viser at alle tunnelarbeiderne var utsatt for det som defineres som hørselskadelig støy, enten som ekvivalentnivå over arbeidsskiftet, som kortvarig impulsstøy eller begge deler.
- Middelerdi for høyeste lydtryknivå (impulsstøy) var 136,4 dB(C). Arbeidstilsynets grenseverdi er 130 dB(C).
- Middelerdi for ekvivalent støynivå omregnet til 8-timers skift for alle arbeidsoperasjoner var 89,8 dB(A). Arbeidstilsynets grenseverdi er 85 dB(A).
- Høyeste ekvivalentnivå over et arbeidsskift ble målt i forbindelse med boring. Omregnet til åtte timers eksponering var den målte verdien 100,9 dB(A), noe som må betraktes som svært høyt.
- Ut fra resultatene fremgår det relativt klart at det var selve rehabiliteringsarbeidet, dvs. bruken av maskiner og arbeidsutstyr, og ikke kolonnetrafikken eller ventilasjonsviftene, som var hovedkilden til tunnelarbeidernes støyeksponering. Ved framtidige arbeider av tilsvarende karakter bør det derfor tilstrebes å bruke så støysvakt arbeidsutstyr som overhodet mulig.
- Den observerte bruken av hørselvern var til tider mangelfull, og det er derfor grunn til å påpeke at bruken bør intensiveres ved tilsvarende arbeider i framtiden.

Gasser

Kolonnetrafikken gjennom tunnelen har bestått av en blanding av bensin- og dieseldrevne kjøretøy, mens anleggsmaskinene i hovedsak har vært dieseldrevne. Den viktigste forurensende gassen fra bensinmotorer er karbonmonoksid (CO). I dieselmotorer er de nitrøse gassene nitrogendioksid (NO₂) og nitrogenmonoksid (NO) de viktigste avgassene. Nitrøse gasser dannes også i betydelig grad ved bruk av sprengstoff. Det dannes også en del CO i dieselmotorer, men mindre enn i bensinmotorer. En rekke andre gasser i mindre mengder dannes også i begge motortypene, og selv om deres helsemessige betydning ikke skal avskrives helt, er det allment akseptert at CO og NO₂ er de to viktigste gassene både ut fra at de dannes i relativt store mengder sammenlignet med andre gasser og ut fra at det er disse gassene som har størst helsemessig betydning. Ut fra dette er det derfor vanlig å betrakte CO og NO₂ som gode markører ved eksponering for avgasser fra henholdsvis bensin- og dieseldrevne kjøretøy.

I forbindelse med sveising av PVC-duken ble det benyttet varmepistol. Ved oppvarming av polyvinylklorid kan det utvikles saltsyregass. Avhengig av oksygentilgang, temperatur etc. kan det også dannes andre giftige gasser som for eksempel klorgass og fosgen. For å vurdere eventuell spalting av PVC er det imidlertid i denne sammenheng kun målt på saltsyregass.

Nitrogendioksid

Nitrogendioksid (NO₂) er i konsentrert form en brunlig gass med stikkende, svært ubehagelig lukt. Blandet med luft vil den være fargeløs og nærmest luktfri. NO₂ har dårlig advarende egenskaper, og en kan utsettes for relativt høye konsentrasjoner uten selv å merke det. NO₂ har relativt lav vannløselighet og mesteparten av gassen vil derfor ved eksponering og innånding trenge ned i de dypere lungeavsnitt og forårsake skade der. Lave konsentrasjoner vil kunne gi lokal irritasjon med hoste, mens høyere konsentrasjoner kan føre til alvorlig vevsskade og pustebesvær. Det antas at gasskonsentrasjoner på 200 ppm² vil være dødelig i løpet av få minutter.

Karbonmonoksid

Karbonmonoksid (CO) er en fargeløs og luktfri gass. Den binder seg sterkt til hemoglobinet i de røde blodlegemene og hindrer derved oksygentransporten og hemmer frigjøring av oksygen til vevene. Ved innånding vil konsentrasjonen av karboksyhemoglobin(COHb) i blodet og eventuelle symptomer være avhengig av gasskonsentrasjonen, eksponeringstiden og det fysiske aktivitetsnivået. Eksponering for en konsentrasjon rundt administrativ norm vil sjelden medføre en COHb-konsentrasjon i blodet på mer enn 5 % over en åttetimers dag. Sigarettøyk inneholder også CO og kan, avhengig av forbruk, i seg selv gi en COHb-konsentrasjon på godt over 5 %. Ved en COHb-konsentrasjon på mer enn 10 % kan symptomer som hodepine, svimmelhet, kvalme og brekninger forekomme. Alvorlige forgiftninger kan være dødelige.

Saltsyregass

Saltsyregass (hydrogenklorid, HCl) er i konsentrert form en gass med en stikkende lukt. Den er svært vannløselig og vil, hvis den pustes inn i høye konsentrasjoner eller over lengre tid, kunne virke irriterende og etsende på slimhinnene, primært i de øvre luftveier. Gassen kan også skade tennene.

² ppm = parts per million, 1 ppm tilsvarer 1 cm³ gass pr m³ luft

Grenseverdier, normer og krav

Gjeldende administrativ norm for NO₂ er 0,6 ppm fordelt som en middelvei over et 8-timers arbeidsskift. Dette tilsvarer 1,1 mg/m³. I forhold til korttidseksponeringer og toppeksponeeringer betyr dette at en ved bruk av ”tommelfingerregelen” (ref. Arbeidstilsynets veiledning om administrative normer for forurensning i arbeidsatmosfære) kan tillate en konsentrasjon opp til 1,8 ppm over en periode på 15 minutter forutsatt at gjennomsnittsverdien på 0,6 ppm over åtte timer overholdes.

Administrativ norm for CO er 25 ppm, tilsvarende 29 mg/m³. Bruk av ”tommelfingerregelen” er ikke egnet ved eksponering for CO, men Arbeidstilsynet har presisert at kortvarige eksponeringer ikke bør overstige 100 ppm. Hvis dette kan forekomme, skal det utarbeides skriftlig instruks for arbeid i CO-atmosfære.

Administrativ norm for saltsyregass er 5 ppm, tilsvarende 7 mg/m³. Dette er angitt som en ”takverdi”, noe som betyr at verdien ikke skal overskrides.

Måleutstyr og målemetoder

Nitrogendioksid og karbonmonoksid

Til måling av CO og NO₂ ble det benyttet bærbare, direktevisende og loggende instrumenter basert på elektrokjemiske celler. Instrumentene var av typen Dräger X-am 5000 og var levert av Drägerwerk AG & Co, Lübeck. Hvert instrument var utstyrt med en elektrokjemisk sensor for måling av CO (DrägerSensor XXS CO – 6810882) og en for måling av NO₂ (DrägerSensor XXS NO₂ – 6810884). Forutsatt at begge sensorene fungerte, betyr dette at det alltid og i like lang tid ble målt CO når det ble målt NO₂. Instrumentene var programmert til å logge gasskonsentrasjonene en gang hvert minutt.



Figur 27 Dräger X-am 5000 gassmåler

Sensorene var fra leverandørene oppgitt å ha følgende egenskaper:

	DrägerSensor XXS CO	DrägerSensor XXS NO₂
Måleområde	0 - 2000 ppm	0 – 50 ppm
Målenøyaktighet	± 2 % av måleverdi	± 2 % av måleverdi
Temperaturområde	-40 - +50 °C	-30 - +50 °C
Fuktighet	10 - 90 % RH	10 - 90 % RH

Instrumentene og sensorene var kalibrert fra leverandør i forkant av prosjektet, og de ble i løpet av prosjektet med jevne mellomrom kontrollert mot en sertifisert kalibreringsgass bestående av 50 ppm CO og 5 ppm NO₂ i nitrogen. Kalibreringsgassen var levert av Scientific & Technical Gases, Ltd., England.

Resultatene for 2,1 % av NO₂-målingene viste verdien 0. For statistisk behandling ble disse erstattet med verdien 0,0018 ppm, som tilsvarer lavest målte verdi, $0,0025 \text{ ppm}/\sqrt{2}$.

Uthenting og bearbeiding av data fra instrumentene ble gjort ved hjelp av dataprogrammene Dräger GasVision versjon 5.8.9 og Dräger CC-Vision versjon 6.2.2.



Figur 28 Gassmåling med fargeindikatorrør

Saltsyregass

For å undersøke om sveising av PVC-duken medførte spalting av PVC og eksponering for saltsyregass, ble det gjort noen øyeblikksmålinger ved hjelp av fargeindikatorrør (Figur 28). Målingene ble gjort ved hjelp av en håndpumpe og fargeindikatorrør No CH29501 (Dräger Safety AG, Tyskland) hvor en fastsatt luftmengde suges med en gitt hastighet gjennom et rør fylt med et kjemisk stoff. Eventuell saltsyregass reagerer med dette stoffet og gir en fargeendring. Lengden på denne fargeendringen gir et anslag på konsentrasjonen HCl i den oppsugde lufta.

Metoden kan måle gasskonsentrasjoner i området 1 – 10 ppm og er oppgitt å ha et standardavvik på $\pm 10\text{-}15\%$.

Til helskiftmåling av saltsyregass ble det benyttet diffusjonsrør No 810-14D (Gastec Co, Japan). Også denne metoden baserer seg på fargeomslag, men istedenfor aktiv pumping er oppsamlingsprinsippet her diffusjon. Rørene bæres i en liten holder festet i pustesonen, og måleområdet for denne metoden er oppgitt er 1 – 10 ppm for en måleperiode på 10 timer. Målenøyaktighet eller standardavvik for metoden er ikke angitt, men forekomst av NO₂ (som også finnes i tunnelen) sammen med høy fuktighet kan gi for høyt utslag. Det samme gjelder forekomst av klorgass som også kan avspaltes ved oppvarming av PVC.

Prøveomfang

Som det fremgår av Tabell 3 er det totalt i hele anleggsperioden gjennomført 518 målinger av NO₂, CO og HCl.

Tabell 3 Prøveantall - gasser

	Antall personbårne prøver	Antall stasjonære prøver
Nitrogendioksid (NO ₂)	181	74
Karbonmonoksid (CO)	185	74
Saltsyregass (HCl)	4	0
Totalt antall prøver	370	148

De stasjonære prøvene av NO₂ og CO er delt inn i prøver tatt på dagtid (22 av hver) og på natta (52 av hver).

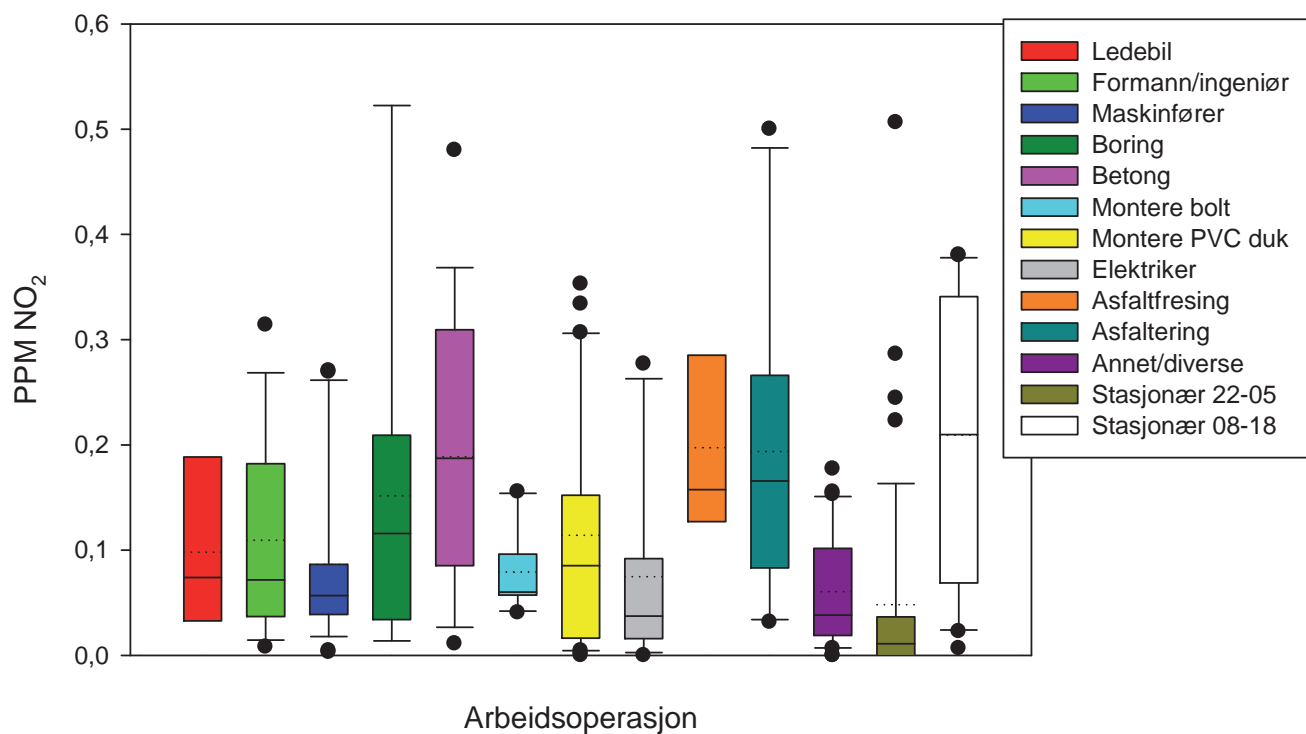
Resultater og diskusjoner

Nitrogendioksid

Resultatene for måling av NO₂ gruppert etter arbeidsoperasjon er vist i Tabell 4 og Figur 29.

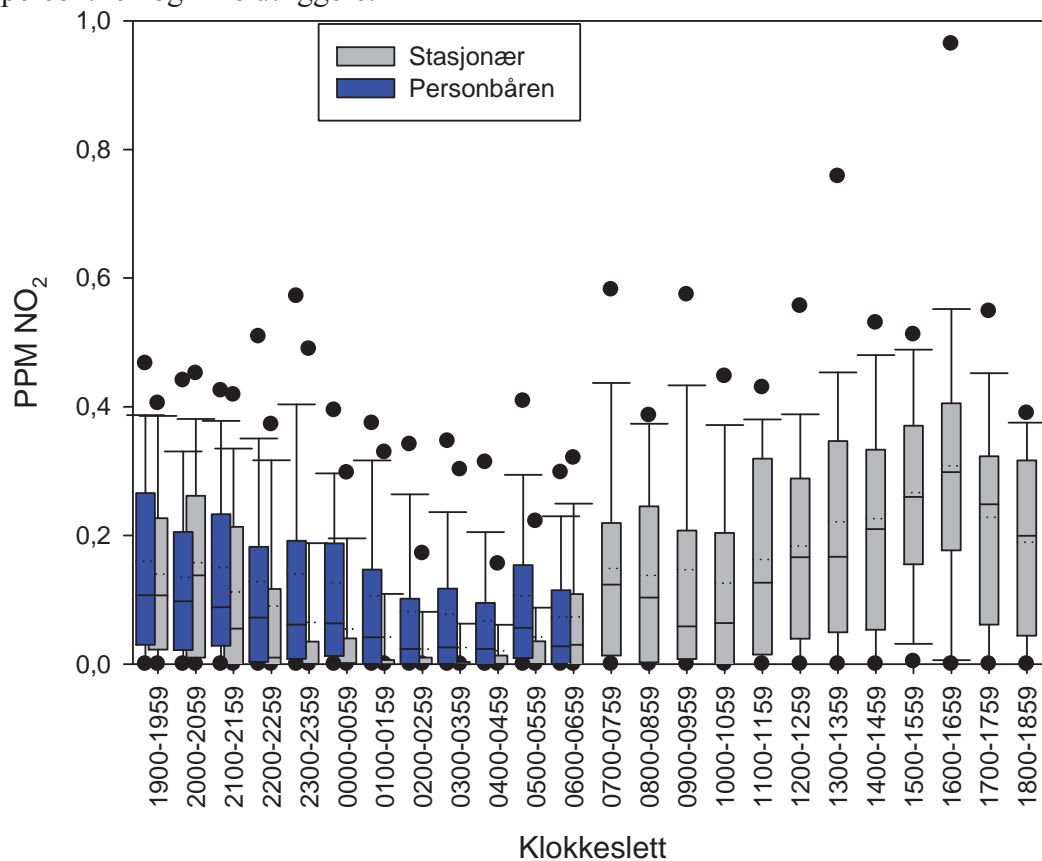
Tabell 4 Måleresultater - nitrogendioksid

Arbeidsoperasjon	Antall målinger	AM (ppm)	SD	GM (ppm)	GSD	Min (ppm)	Maks (ppm)	Høyeste minutt
Ledebil	6	0,10	0,08	0,07	2,93	0,01	0,20	1,3
Formann/ingeniør	13	0,11	0,09	0,07	2,84	0,01	0,31	7,6
Maskinfører	27	0,09	0,08	0,05	2,97	0,00	0,27	4,4
Boring	9	0,15	0,16	0,09	3,38	0,01	0,52	6,8
Betong	19	0,19	0,13	0,14	2,61	0,01	0,48	4,1
Montere bolt	10	0,08	0,04	0,07	1,53	0,04	0,16	8,5
Montere PVC duk	30	0,11	0,11	0,06	4,58	0,00	0,35	7,9
Elektriker	19	0,07	0,09	0,04	4,12	0,00	0,28	9,2
Asfaltfresing	7	0,20	0,08	0,18	1,50	0,11	0,33	1,5
Asfaltering	10	0,19	0,14	0,15	2,31	0,03	0,50	1,7
Annet	31	0,06	0,05	0,04	3,30	0,00	0,18	10,0
Alle personbårne	181	0,11	0,11	0,06	3,46	0,00	0,52	10,0
Stasjonær 2200-0500	52	0,05	0,09	0,011	5,65	0,00	0,51	
Stasjonær 0800-1800	22	0,01	0,38	0,20	0,13	0,13	3,34	



Figur 29 Måleresultater - nitrogendioksid

En grafisk sammenligning av personbårne og stasjonære NO₂-målinger gruppert på klokkeslett er vist i Figur 30. I denne figuren representerer de svarte kulepunktene 5- og 95-percentilen og ikke utliggere.



Figur 30 Personbårne og stasjonære NO₂-målinger fordelt på klokkeslett

Diskusjon

Resultatene fra de 181 personbårne NO₂-målingene viser at boring, betongarbeid, asfaltfresing og asfaltering er de arbeidsoperasjonene som har høyest gjennomsnittseksposering. Dette er naturlig ettersom dieselmaskiner anses som hovedkilden til NO₂, og flesteparten av disse arbeiderne var avhengig av kontinuerlig bruk av dieseldrevet utstyr i sin jobbutførelse.

Sammenlignes resultatene med administrativ norm på 0,6 ppm, ligger alle verdier under denne normen, selv om det både ved boring, betongarbeid og asfaltering er målt omkring 0,5 ppm som et gjennomsnitt over hele skift. Anvendelsen av en reduksjonsfaktor på 0,6 på grunn av skift på 11,5 timer ville gitt en norm under 0,4 ppm.

Forutsatt at administrativ norm overholdes som et gjennomsnitt over hele arbeidsperioden tillater Arbeidstilsynet normalt at denne normen overskrides med inntil 200 % for arbeidsperioder på inntil 15 minutter. Dette medfører altså at eksponeringer på maksimum 1,8 ppm tillates i løpet av 15 minutter. Flere av målingene i flere av arbeidsoperasjonene hadde 15-minutters eksponeringer som overskred 1,8 ppm.

Det som var karakteristisk for de fleste personbårne NO₂-verdiene var at middelverdiene var relativt akseptable, men at det også ble observert svært kortvarige, høye toppverdier. Varigheten på disse var typisk 1-5 minutter. Høyest målte minuttverdi for hver enkelt arbeidsoperasjon er vist i Tabell 4, og det antas at de fleste av disse toppverdiene ble registrert når arbeiderne jobbet eller beveget seg i en ugunstig posisjon i forhold til eksosutslipp fra dieselmotorer. Høye korttidsverdier ble også observert ved sprenging i nisje, trolig som en konsekvens av at det tok lenger tid å lufte ut skyteproppen enn antatt.

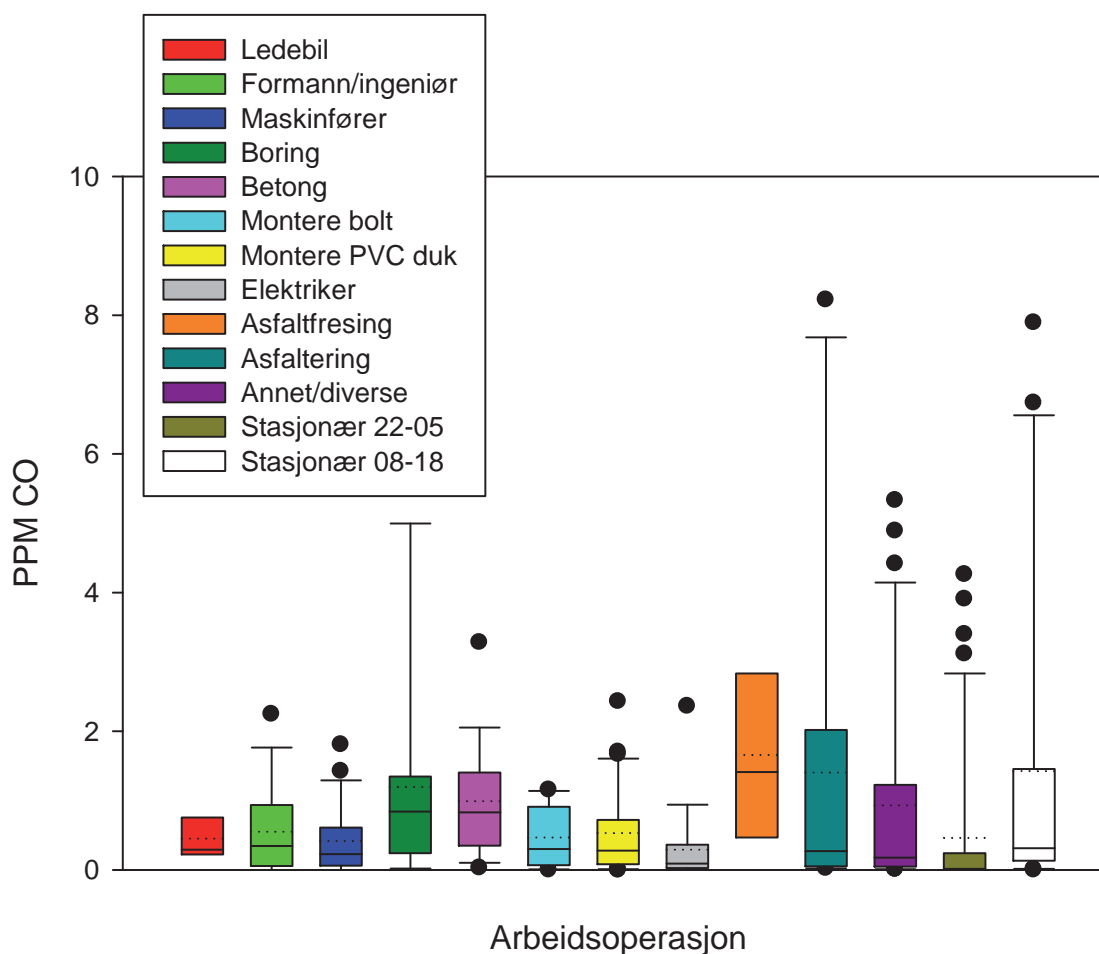
Ved den stasjonære målestasjonen (Figur 11), ble det også målt NO₂. En sammenstilling av disse registreringene sammen med de personbårne målingene time for time er vist i Figur 30. Her fremkommer det at det den personlige eksponeringen i arbeidsperioden stort sett var høyere enn bakgrunnskonsentrasjonene. Spesielt gjaldt dette midt på natten når trafikkmengden var som lavest og det gikk bare en kolonne hver vei pr. time. Det var imidlertid noe overraskende å se at de stasjonære NO₂-verdiene på dagtid til dels var betydelig høyere enn på natta; også gjennomgående høyere enn ved de personbårne målingene. Konsentrasjonene målt med stasjonært utstyr økte om morgenen, når kolonnekjøringen opphørte, og nådde sitt maksimum omkring kl 1600. Mellom kl 1600 og kl 1700 var den målte middelverdien ca. 0,3 ppm med en toppverdi på nesten 1 ppm, noe som må kunne karakteriseres som høye verdier når det ikke var arbeid i tunnelen.

Karbonmonoksid

Resultatene fra måling av karbonmonoksid er vist i Tabell 5 og Figur 31.

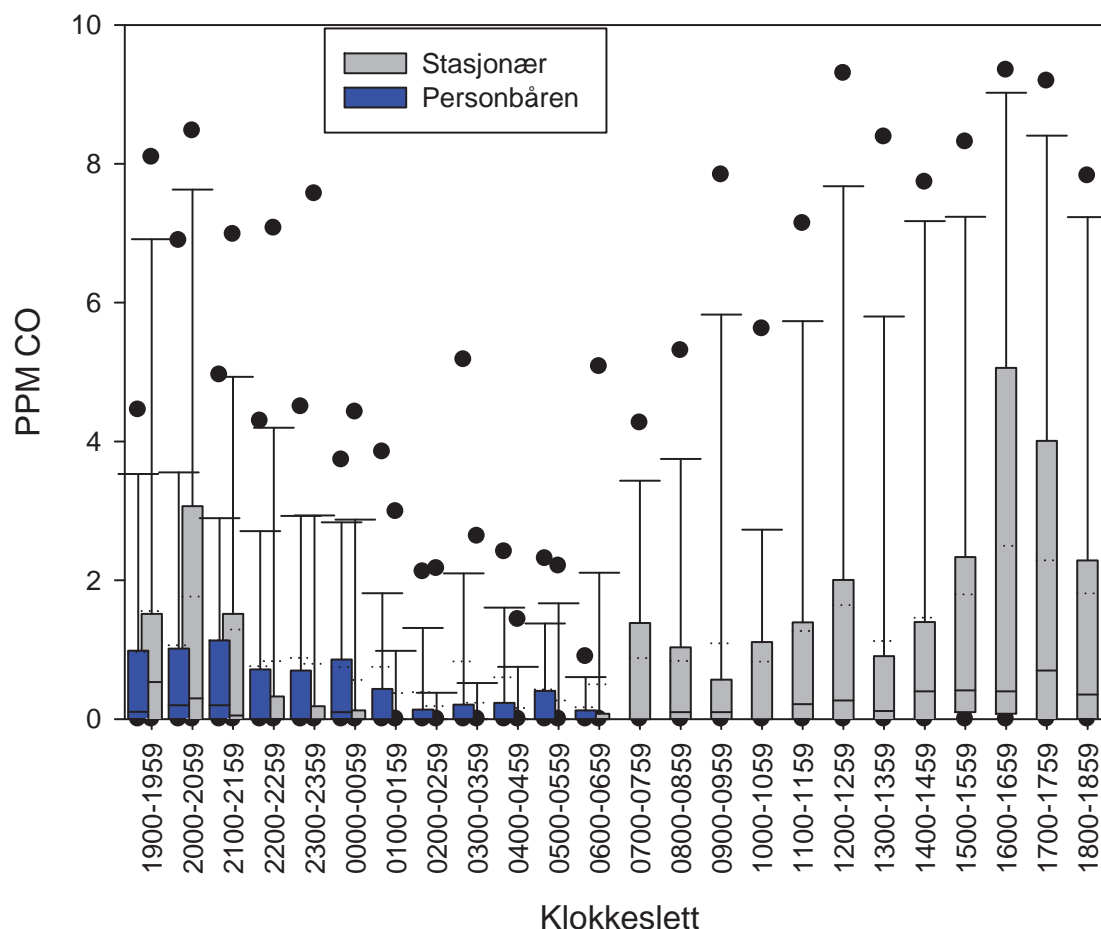
Tabell 5 Måleresultater - karbonmonoksid

Arbeidsoperasjon	Antall målinger	AM (PPM)	SD	GM (PPM)	GSD	Min (PPM)	Maks (PPM)	Høyeste minutt
Ledebil	5	0,45	0,40	0,35	2,04	0,17	1,15	96
Formann/ingeniør	14	0,55	0,64	0,18	7,80	0,01	2,24	575
Maskinfører	27	0,42	0,49	0,15	6,41	0,01	1,80	128
Boring	9	1,19	1,51	0,53	5,42	0,02	5,00	52
Betong	19	0,99	0,80	0,63	3,3	0,03	3,28	294
Montere bolt	10	0,47	0,46	0,19	5,73	0,01	1,15	90
Montere PVC duk	32	0,53	0,61	0,22	5,31	0,01	2,43	428
Elektriker	19	0,29	0,55	0,09	5,57	0,01	2,36	216
Asfaltfresing	7	1,66	1,25	1,21	2,50	0,37	3,46	1200
Asfaltering	10	1,41	2,57	0,28	7,57	0,02	8,22	456
Annet	33	0,93	1,51	0,21	7,27	0,01	5,33	348
Alle personbårne	185	0,73	1,11	0,23	6,09	0,01	8,22	1200
Stasjonær 2200-0459	52	0,44	1,04	0,02	18,44	0,00	4,26	
Stasjonær 0800-1759	22	1,45	2,27	0,39	6,83	0,01	7,89	



Figur 31 Måleresultater - karbonmonoksid

En grafisk sammenligning av gjennomsnittlig eksponering time for time gjennom hele døgnet for personbårne og stasjonære målinger er vist i Figur 32. Også i denne figuren angir kulepunktene 5- og 95-percentilen.



Figur 32 Personbårne og stasjonære CO-målinger fordelt på klokkeslett

Diskusjon

Som Tabell 5 viser, ble det for CO ikke målt gjennomsnittsnivåer over administrativ norm på 25 ppm. Høyest målte gjennomsnittskonsentrasjon for et arbeidsskift var 8,2 ppm, og gjennomsnittlig eksponering for de personbårne prøvene var 0,73 ppm. Dette er godt innenfor det som kan betraktes som akseptabelt selv når man tar i betraktning den forlengede arbeidsperioden. Til tross for de lave gjennomsnittsverdiene var noen av CO-målingene, på samme måte som NO₂-målingene, preget av høye men kortvarige toppverdier. Med unntak av sjåfør ledebil, boring og montere bolt, var det topper over 100 ppm for alle arbeidsoperasjoner. Hovedentreprenøren ble tidlig gjort oppmerksom på disse resultatene og utarbeidet i henhold til Arbeidstilsynets veiledning en skriftlig instruks for arbeid i CO-atmosfære. Det ble målt til dels ekstremt høye CO-topper, spesielt under asfaltfresing der høyeste verdi som ble målt var hele 1200 ppm.

De høyeste verdiene ble målt i forbindelse med bruk av bensindrevet utstyr og i forbindelse med sprengning. Ved asfaltfresing var det en tankbil som leverte vann og drivstoff til asfaltfresen ved behov. Pumpen som ble brukt til å pumpe ut vann og drivstoff var bensindreven og det var i forbindelse med bruk av denne at de høye toppene ble registrert. Ved asfaltering i nisjer ble det brukt en liten bensindrevet hoppetusse for å komprimere asfalten, og dette førte til høye verdier av CO. Det ble også brukt en bensindreven

asfalkskjærer som gav høy eksponering for CO. Siden eksos fra dieslbiler også inneholder en del CO, kunne man i tilfeller hvor arbeideren var uheldig plassert i forhold til eksosutslipp også observere høye toppe av CO i tillegg til NO₂. Det anbefales at man i andre, tilsvarende prosjekter begrenser bruken av bensinmotorer og fokuserer på å unngå uheldig plassering i forhold til eksosutslipp for å begrense slike høye toppeksponeeringer.

De stasjonære målinger time for time i Figur 32 viser at det var lavest eksponering midt på natten når biltrafikken gjennom tunnelen var minst. På samme måte som for NO₂ økte nivåene utover dagen til en topp mellom kl 1500 og kl 1700. Dette korresponderer med økt trafikk pga rushtid. Det er litt overraskende at man ikke finner en tilsvarende topp mellom kl 0600 og 0900, da man også ville forvente rushtidstrafikk. Gjennomsnittsnivåene pr. time for de stasjonære målingene var alle under 10 ppm.

Siden de stasjonære og personbårne prøvene til en viss grad følger hverandre, med høyeste eksponeringer mellom kl 1900 og 2200 og lav eksponering om natten, kan det ikke utelukkes at eksos fra trafikken kan ha en viss påvirkning på eksponeringsnivået for de som arbeider i tunnelen. De høye og kortvarige toppeksponeeringene er imidlertid klart relatert til arbeidsoperasjon.

Saltsyregass

Saltsyre ble målt både ved øyeblikksmålinger og ved helskiftmålinger. Det ble gjennomført 4 målinger av hvert slag, og alle målingene ble gjort i forbindelse med sveising av PVC-duk. Ingen av helskiftmålingene viste noen forekomst av saltsyregass i pustesonen ved PVC-sveising. Øyeblikksmålingene ga utslag på 0 – 4 ppm saltsyregass avhengig av avstand fra kilden. Målingen på 4 ppm ble oppnådd ved prøvetaking direkte i den synlige røyken som ble dannet ved PVC-sveising(“worst-case scenario”).

Diskusjon

Ved sveising og sammenføyning av PVC-duk ble duken oppvarmet ved hjelp av en varmluftspistol før skjøtene ble satt sammen ved hjelp av ruller. Dette var manuelt arbeid med bare armlengdes avstand til operatørens pustesone. Ved øyeblikksmålinger og aggressiv prøvetaking (“worst case”) i røyken 10 – 20 cm fra den oppvarmede PVC-duken ble det målt en konsentrasjon av saltsyregass opp mot 4 ppm. I operatørens pustesone, 20 – 30 cm unna den observerbare røyken, ble det ved samme arbeidsoperasjon og nesten samtidig ikke detektert saltsyre. Dette skyldes hovedsaklig at avspaltet saltsyre tynnes ut svært hurtig etter dannelsen, både på grunn av termisk oppdrift og lufthastigheten i tunnelen. Operatøren vil også kunne se at det i noen tilfeller dannes røyk ved oppvarming av PVC-duken, og kan da stå i en gunstig stilling i forhold til røyken eller vente i noen sekunder til røykutviklingen har avtatt.

Arbeiderne som utførte denne arbeidsoperasjonen opplyste at de ikke var sjenert av gass eller røyk ved PVC-sveising i denne tunnelen. Ettersom det i helskiftprøvene heller ikke ble påvist saltsyregass, må det kunne konkluderes med at eksponering for denne gassen ved sveising av PVC-duken ikke representerte noe arbeidsmiljøproblem.

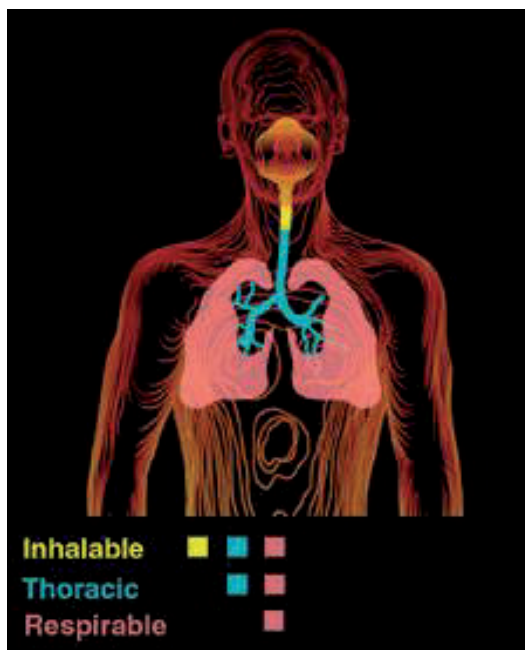
Gasser – hovedkonklusjoner

Basert på de måleresultater, diskusjoner og vurderinger som er presentert ovenfor, trekkes følgende konklusjoner i forhold til eksponering for gasser:

- Alle eksponeringsmålinger av nitrogendioksid viste gjennomsnittsverdier under administrativ norm, selv om det ble observert middelveidier som overskred 80 % av norm. Eksponeringene var preget av kortvarige men høye toppverdier, og for flere arbeidsoperasjoner ble det målt verdier som overskred det nivået som er tillatt for en 15-minutters periode. Arbeid i nærheten eksosutslipp fra dieselmotorer samt eksponering for sprenggasser er trolig årsaken til de høye målingene.
- Eksponering for karbonmonoksid viste lave gjennomsnittsverdier, men svært høye, kortvarige toppverdier ble registrert i forbindelse med eksponering for eksos og sprengningsgasser. Kolonnetrafikken kan ha bidratt til eksponeringen, men eksponeringstoppene var i hovedsak relatert til arbeidsoperasjonene.
- Eksponering for saltsyregass (HCl) ved sveising av PVC-duk var neglisjerbar og representerte ikke noe ubehag eller noen helsefare.
- Asfaltfresing og asfaltering var de arbeidsoperasjonene som ga høyest eksponering for NO₂ og CO.
- Stasjonære målinger viste høyere gassnivåer på dagtid enn om natta når arbeidet pågikk.

Støv og partikler

I arbeidsmedisinsk og yrkeshygienisk sammenheng deler man normalt aerosoler som støv, røyk, partikler, dråper etc. inn i tre ulike størrelsesfraksjoner avhengig av hvor langt ned i åndedrettssystemet de trenger.



Figur 33 Helsebaserte aerosolfraksjoner

Figur 33 (hentet fra www.skcglobal.com) viser hvor i åndedrettsorganene de ulike partikkelfraksjonene kan penetrere. Gjeldende konvensjon, utarbeidet av ACGIH/CEN/ISO³ er fastsatt som norsk standard av NS-EN 481:1993. For helsebaserte størrelsesdefinisjoner av partikler gjelder følgende:

- Inhalerbar fraksjon defineres som alle de partiklene som pustes inn gjennom munn og nese. Disse partiklene har en aerodynamisk⁴ diameter i størrelsesområdet 0 - 100 μm (1 $\mu\text{m} = 10^{-6}$ m).
- Torakal fraksjon er definert som de partiklene som er så små at de kan passere strupehodet. Disse partiklene har en aerodynamisk diameter mindre enn 30 μm og et 50 % avskjæringspunkt (cut-point) på 10 μm .
- Respirabel fraksjon er bare de partiklene som er så små at de ved innånding kan trenge helt ut i lungenes alveoler. Disse partiklene har en aerodynamisk diameter mindre enn 10 μm og et 50 % cut-point på 4 μm .

Arbeidstilsynet angir i sin "Veiledning om administrative normer for forurensning i arbeidsatmosfære" noen av støvnormene som "totalstøv". Tradisjonelt har dette betydde den støvfraksjonen som samles opp ved bruk av en lukket 37 mm prøvetakingskassett utstyrt med et membranfilter med porestørrelse 5,0 μm og med et prøvetakingsvolum på 1,0 - 2,0 l/min.

³ACGIH=American Conference of Governmental Industrial Hygienists, USA. CEN = European Committee for Standardization, Belgia. ISO= International Organization for Standardization, Sveits.

⁴ En partikkels aerodynamiske diameter er diameteren til en sfærisk partikkel med tetthet 1g/cm³ som har den samme fallhastigheten i luft som den aktuelle partikkelen

Denne har en oppsamlingseffektivitet mellom inhalerbar og torakal støvfraksjon. NIOSH⁵ metodedokument nr 0500 definerer hvordan prøvetakingen av ”totalstøv” skal gjøres.

De kassetene som benyttes ved prøvetaking av støv avhenger av hvilken støvfraksjon som skal måles. I Figur 34 vises de typene som er brukt i dette prosjektet.



Figur 34 Prøvetakingskassetter for ulike støvfraksjoner

Ved alle prøvetakingsmetodene ble pumpeflow (antall liter luft pr. minutt) sjekket umiddelbart før og etter prøvetaking. For å redusere feilkildene og operere med så nøyaktige og representative data som mulig, ble alle prøver som hadde et flowtap større enn 10 % ekskludert fra resultatene. Av samme grunn ble prøver med en prøvetakingstid kortere enn fire timer ekskludert (gjelder ikke PAH og oljetåke/oljedamp).

For noen av de personbårne støvprøvene ble prøvetakingstiden redusert på grunn av pumpestopp. For å unngå at oppstartsmøtet skulle få for stor betydning på resultatene for de prøvene der prøvetakingstiden var vesentlig kortere enn 11,5 timer og for å sikre at eksponeringsmålingene var representative for eksponeringen gjennom hele skiftet, ble luftkonsentrasjonen på de personbårne prøvene justert på følgende vis: Alle målinger ble fratrukket 30 minutters prøvetakingstid som samsvarer med tiden oppstartsmøtet varte. Deretter ble konsentrasjonen multiplisert med 0,96 siden oppstartsmøtet var en del av arbeidstiden og representerte ca 4 % av prøvetakingstiden.

Ved analyse viste enkelte av prøvene verdier under deteksjonsgrensene. Før statistisk behandling ble dette løst på følgende måte:

- For komponenter der færre enn 10 % av prøvene var under deteksjonsgrensen ble verdier under deteksjonsgrensen erstattet med deteksjonsgrensen $/\sqrt{2}$. Dette gjaldt for oljetåke, oljedamp og dieselpartikler.
- For komponenter der flere enn 10 % av prøvene var under deteksjonsgrensen ble det brukt en imputasjonsmetode basert på ”maximum likelihood estimering”. Dette ble gjort for respirabelt støv og kvarts.

⁵ NIOSH = National Institute of Safety and Health, USA

Prøveomfang

Som det fremgår av Tabell 6, er det totalt i hele anleggsperioden gjennomført 532 målinger av ulike støvfraksjoner, partikulære forurensninger og oljedamp (som det er naturlig å vurdere sammen med oljetåke).

Tabell 6 Prøveantall - partikler og støv

	Personbårne prøver	Stasjonære prøver
Inhalerbart støv	122	15
Torakalt støv	36	9
Respirabelt støv ⁶	136	17
Totalstøv	9	0
Dieselpartikler	68	7
Oljetåke	52	1
Oljedamp	52	1
PAH	7	0
Totalt antall prøver	482	50

I tillegg kommer de målinger som er gjort av ultrafine partikler og de støvmålinger som er gjort med direktevisende og loggende instrument (pDR-1200).

Resultater og diskusjoner

Inhalerbar støvfraksjon

Metode

Inhalerbart støv ble samlet opp på 25mm PVC filters montert i en IOM inhalerbar prøvetaker med en innerkassett av rustfritt stål og en flow på 2 l/min (Figur 34). Det ble brukt pumper av typen TUFF 4 Plus (Casella CEL, Bedford, UK) og luftstrømmen ble sjekket før og etter hver prøvetaking. Partikkelmassen ble analysert gravimetrisk ved bruk av mikrovekten Sartorius Micro MC 210 P (Sartorius AG, Goettingen, Tyskland), med en deteksjonsgrense på 0,1 mg. Analysene ble utført ved Statens arbeidsmiljøinstitutt (STAMI).

Administrativ norm

Ingen administrativ norm er satt for inhalerbar støvfraksjon, men det finnes en norm for totalstøv på 10 mg/m³ for sjenerende støv. Denne kan med en del begrensninger brukes til sammenligning.

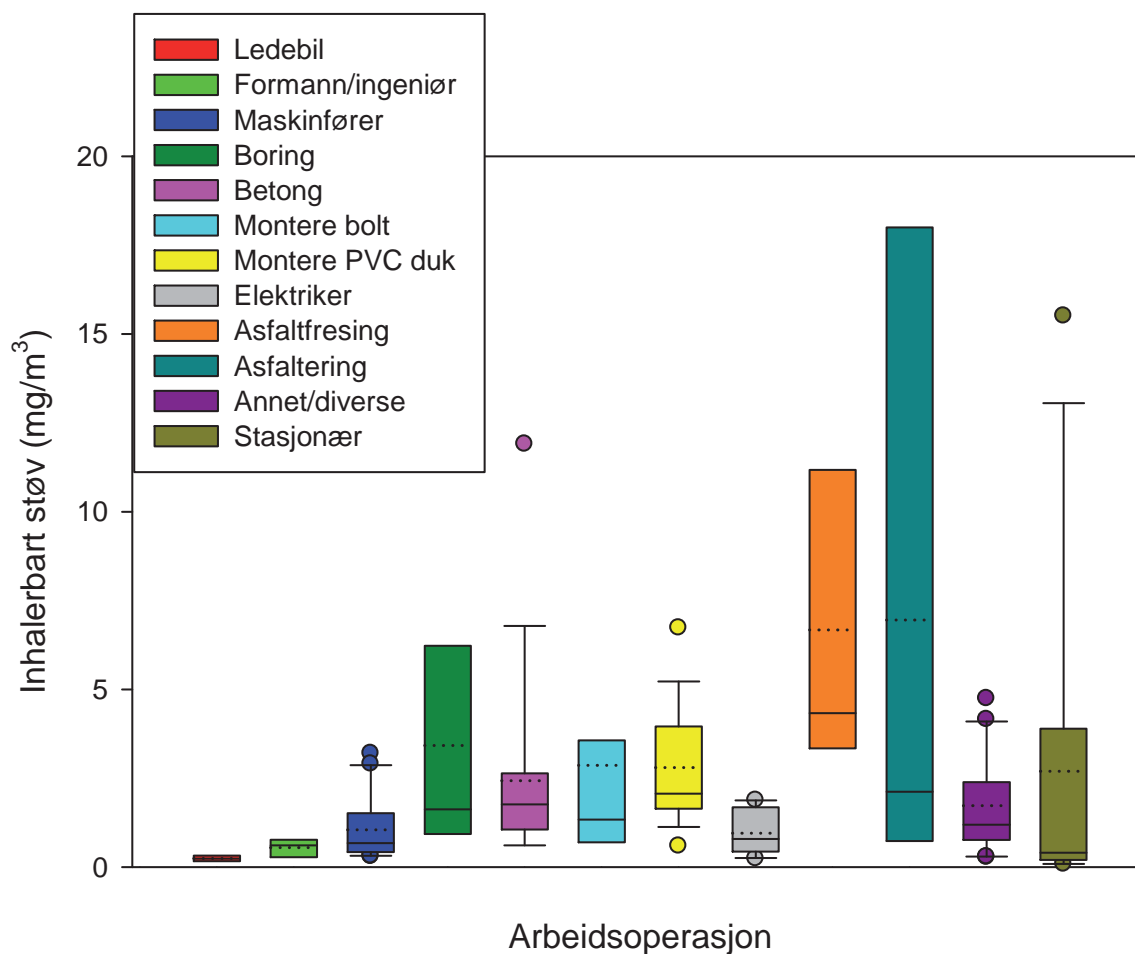
Resultater

Resultatene fra måling av inhalerbar støvfraksjon for de ulike arbeidsoperasjonene er vist i Tabell 7 og Figur 35.

⁶ Disse prøvene ble også analysert for innhold av α -kvarts

Tabell 7 Måleresultater - inhalerbar støvfraksjon

Arbeidsoperasjon	Antall målinger	AM (mg/m ³)	SD	GM (mg/m ³)	GSD	Min (mg/m ³)	Maks (mg/m ³)
Ledebil	5	0,24	0,09	0,23	1,48	0,13	0,37
Formann/ingeniør	7	0,55	0,25	0,47	1,91	0,14	0,78
Maskinfører	20	1,05	0,89	0,79	2,11	0,3	3,20
Boring	8	3,42	4,00	2,07	2,78	0,64	11,65
Betong	16	2,43	2,73	1,73	2,19	0,61	11,90
Montere bolt	8	2,86	3,73	1,67	2,84	0,54	11,63
Montere PVC duk	18	2,80	1,62	2,38	1,83	0,59	6,73
Elektriker	10	0,95	0,62	0,77	2,04	0,24	1,88
Asfaltfresing	5	6,67	4,74	5,56	1,94	2,65	14,38
Asfaltering	4	6,95	10,87	2,48	5,50	0,37	23,20
Annet	21	1,73	1,31	1,25	2,44	0,28	4,74
Alle personbårne	122	2,23	3,10	1,29	2,79	0,13	23,20
Stasjonær	15	2,70	4,68	0,70	5,50	0,08	15,50



Figur 35 Måleresultater - inhalerbar støvfraksjon

Diskusjon

I faglitteraturen finnes flere studier der prøvetaking med utstyr for totalstøv sammenlignes med prøvetaking av de helsebaserte støvfraksjonene (inhalerbar, torakal og respirabel). Disse studiene viser jevnt over at oppsamling av inhalerbart støv gir et noe høyere resultat ved gravimetrisk analyse enn oppsamling av totalstøv, noe som i hovedsak skyldes at totalstøvkassetten har relativt lav oppsamlingseffektivitet for de største partiklene. I de tilfeller hvor resultatene for inhalerbar støvfraksjon ligger under normen for totalstøv er det derfor rimelig å anta at totalstøvnormen er overholdt, selv om det ikke er gjort prøvetaking etter NIOSH metodedokument nr 0500 for totalstøv (se ovenfor).

Arbeidstilsynets administrative norm for sjenerende støv (totalstøv) er 10 mg/m^3 . En gjennomgang av de 122 personbårne målingene av inhalerbar støvfraksjon viser at de aller fleste resultatene for prøver tatt ved rehabiliteringsarbeidet ligger godt under denne normen. Aritmetisk middel for alle de personbårne prøvene ved tunnelarbeidet er $2,23 \text{ mg/m}^3$, noe som ut fra arbeidets karakter må kunne betegnes som svært lavt. Det er riktignok observert verdier på ca. 12 mg/m^3 både ved betongarbeid, ved boring og ved boltmontasje, men disse er unormale verdier i seriene. De arbeidsoppgavene som viste høyest eksponering for inhalerbart støv var boring i nisje, betongsprøyting, gysing av bolter og montering av PVC-duk, men alle disse arbeidsoperasjonene hadde middelverdier på omkring 30 % av normen for totalstøv. Det forhold at målinger av inhalerbart støv gir høyere resultat enn målinger av totalstøv, forsterker inntrykket av at Arbeidstilsynets norm for sjenerende støv (totalstøv) er overholdt med god margin for alle arbeidsoperasjoner ved rehabiliteringsarbeidet i tunnelen.

Resultatene fra asfaltfresing og asfaltering viser at dette er arbeidsoperasjoner som skiller seg fra resten av rehabiliteringsarbeidet ved at de medfører høyere eksponering for inhalerbart støv. Selv om datagrunnlaget her kun består av fem prøver fra asfaltfresing og fire prøver fra asfaltering, og selv om middelverdiene ligger godt under normen for totalstøv, er det grunn til å merke seg at det også ble observert måleresultater som overskred normen med 50-100 %.

I tillegg til de personbårne prøvene ble det også tatt 15 stasjonære prøver av inhalerbar støvfraksjon. Middelverdien for disse resultatene var $2,6 \text{ mg/m}^3$, en verdi som i utgangspunktet uttrykker det generelle forurensningsnivået for inhalerbart støv i tunnelen. Hovedkilden for dette støvet er sannsynligvis veistøv som virvles opp på grunn av trafikken og en del støv fra nærliggende arbeid. De høyeste verdiene ble målt ved asfaltfresing.

De 122 måleresultatene fra personbårne prøver av inhalerbart støv som ble gjennomført ved utbedring av Freifjordtunnelen viste at ingen arbeidsoperasjoner hadde gjennomsnittlige eksponeringsnivåer som overskred Arbeidstilsynets norm for sjenerende støv (totalstøv). Ved sammenligning med arbeidstidsjustert norm på 6 mg/m^3 overskrides denne både i forbindelse med asfaltfresing og asfaltering. Flere av de andre gruppene har også enkeltverdier som overskrider normen.

Totalstøv

Metode

Prøvetaking av totalstøv ble gjort med en 37 mm lukket filterkassett (Millipore Corporation, USA) med et 37 mm polyvinylklorid filter med porestørrelse $5,0 \mu\text{m}$ og flow på $2,0 \text{ l/min}$. Det ble brukt pumper av typen TUFF 4 Plus (Casella CEL, Bedford UK) og lufthastigheten ble sjekket før og etter hver prøvetaking. Partikkelmassen ble analysert gravimetrisk ved bruk av mikrovekten Sartorius Micro MC 210 P (Sartorius AG, Goettingen, Tyskland), med en deteksjonsgrense på $0,1 \text{ mg}$. Analysene ble utført ved STAMI.

Administrativ norm

10 mg/m³ for sjenerende støv

Resultater

Resultatene fra de ni målingene av totalstøv er presentert i Tabell 8 sammen med seks parallelle målinger av inhalerbart støv.

Tabell 8 Måleresultater - totalstøv og parallelle målinger av inhalerbart støv

Arbeidsoperasjon	Totalstøv					Parallell inhalerbart		
	Antall målinger	AM (mg/m ³)	GM (mg/m ³)	Min (mg/m ³)	Maks (mg/m ³)	Antall målinger	AM (mg/m ³)	GM (mg/m ³)
Ledebil	0					0		
Formann/ingeniør	1	0,04	0,04	0,04	0,04	0		
Maskinfører	2	0,15	0,15	0,14	0,16	2	0,39	0,38
Boring	2	0,60	0,45	0,20	0,99	2	1,34	1,23
Betong	1	0,52	0,52	0,52	0,52	1	11,90	11,90
Montere bolt	1	3,02	3,02	3,02	3,02	0		
Montere PVC duk	0					0		
Elektriker	1	0,28	0,28	0,28	0,28	0		
Asfaltfresing	0					0		
Asfaltering	0					0		
Annet	1	0,31	0,31	0,31	0,31	1	0,30	0,30
Alle Personbårne	9	0,63	0,30	0,04	3,02	6		
Stasjonær	0							

Diskusjon

De ni totalstøvp prøvene ble primært tatt fordi de fleste av Arbeidstilsynets administrative normer for støv er satt for "totalstøv", selv om begrepet ikke er entydig definert i forhold til partikkelstørrelse.

Selv om det vil kunne variere med partikkelstørrelsesfordelingen, er det velkjent at prøvetaking av totalstøv normalt vil gi noe lavere resultater enn parallelle prøver tatt med utstyr for inhalerbart støv. For å undersøke om dette også var tilfellet i dette prosjektet, ble prøvene av totalstøv tatt parallelt med noen av de inhalerbare. Resultatene tyder på at også i dette prosjektet vil målinger av inhalerbart støv gi høyere verdier enn målinger av totalstøv. Dersom de målte konsentrasjoner av inhalerbart støvfraksjon ligger under de administrative normer for totalstøv, kan man derfor konkludere med at normene for totalstøv også er overholdt selv om totalstøv ikke er målt. De prøvene som er tatt av både inhalerbart støv og totalstøv bekrefter og forsterker den konklusjon som ble trukket i vurderingene av inhalerbart støvfraksjon ovenfor.

Torakal støvfraksjon

Metode

Torakalt støv ble samlet opp på et 37 mm PVC filter med en porestørrelse på 5,0 µm i en 37 mm filterkassett montert på en BGI GK2.69 sykklon (Figur 34) (BGI inc., Waltham, MA, USA) og en flow på 1,6 l/min. Det ble brukt pumper av typen TUFF 4 Plus (Casella CEL, Bedford UK) og flowen ble sjekket før og etter hver prøvetaking. Partikkelmassen ble analysert gravimetrisk ved bruk av mikrovekten Sartorius Micro MC 210 P (Sartorius AG, Goettingen, Tyskland), med en deteksjonsgrense på 0,1 mg. Analysene ble utført ved STAMI.

Administrativ norm

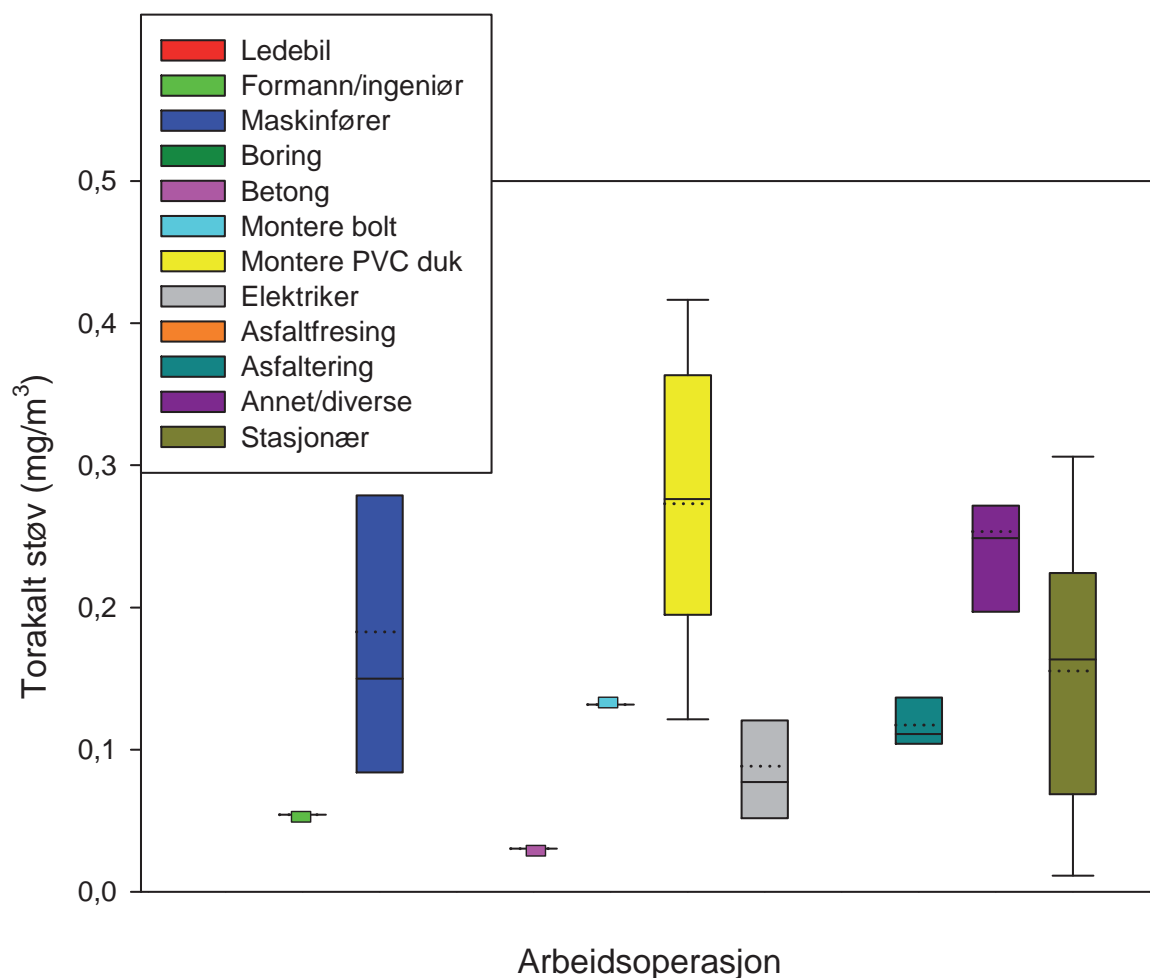
Ingen administrativ norm er satt for torakal støvfraksjon

Resultater

Resultatene fra målinger av torakalt støv er vist i Tabell 9 og Figur 36.

Tabell 9 Måleresultater - torakal støvfraksjon

Arbeidsoperasjon	Antall målinger	AM (mg/m ³)	SD	GM (mg/m ³)	GSD	Min (mg/m ³)	Maks (mg/m ³)
Formann/ingeniør	2	0,05	0,02	0,05	1,43	0,04	0,07
Maskinfører	6	0,18	0,12	0,15	1,96	0,08	0,39
Betong	1	0,03		0,03		0,03	0,03
Montere bolt	2	0,13	0,02	0,13	1,14	0,12	0,14
Montere PVC duk	9	0,27	0,10	0,26	1,48	0,12	0,42
Elektriker	6	0,09	0,05	0,08	1,72	0,04	0,18
Asfaltering	3	0,12	0,02	0,12	1,15	0,10	0,14
Annet	7	0,25	0,09	0,24	1,38	0,16	0,44
Alle personbårne	36	0,18	0,11	0,15	2,03	0,03	0,44
Stasjonær	9	0,16	0,10	0,11	2,86	0,01	0,31



Figur 36 Måleresultater - torakal støvfraksjon

Diskusjon

Det ble tatt 45 prøver av torakalt støv, de fleste ved cross-shift. Hensikten med de personbårne prøvene av var å etablere et eksponeringsgrunnlag i tilfelle det ble avdekket vesentlige endringer i de biologiske prøvene ved cross-shift, ettersom partiklene i denne støvfraksjonen er så små at de kan passere strupehodet og teoretisk medføre biologisk aktivitet som kan fanges opp i blod- eller pustepøver.

Arbeidstilsynet har ingen normer for torakal støvfraksjon, verken for sjenerende støv eller for spesielle støvtyper. En middelverdi under $0,2 \text{ mg/m}^3$ med en maksimal måleverdi på $0,44 \text{ mg/m}^3$ må imidlertid kunne betraktes som svært lavt hvis verdiene sammenlignes med normen for respirabelt støv. I disse målingene utgjør eksponeringen for torakalt støv bare ca. 5 % av normen for respirabelt støv, og dette må karakteriseres som lavt, også hvis man kompenserer for den utvidete arbeidstiden.

Respirabel støvfraksjon

Metode

Respirabelt støv ble samlet opp på et 37 mm PVC filter med porestørrelse $5,0 \mu\text{m}$ i en 37 mm filterkassett (Millipore Corporation, USA) montert på en SKC respirabel sykron (Figur 34) (SKC Inc., USA) og en flow på $2,5 \text{ l/min}$. Det ble brukt pumper av typen TUFF 4 Plus (Casella CEL, Bedford UK) og flowen ble sjekket før og etter hver prøvetaking.

Partikkelmassen ble analysert gravimetrisk ved bruk av mikrovekten Sartorius Micro MC 210 P (Sartorius AG, Goettingen, Tyskland), med en deteksjonsgrense på $0,1 \text{ mg}$. Analysene ble utført ved STAMI.

Ved gravimetrisk analyse hadde 28 % av prøvene verdier under deteksjonsgrensen.

Administrativ norm

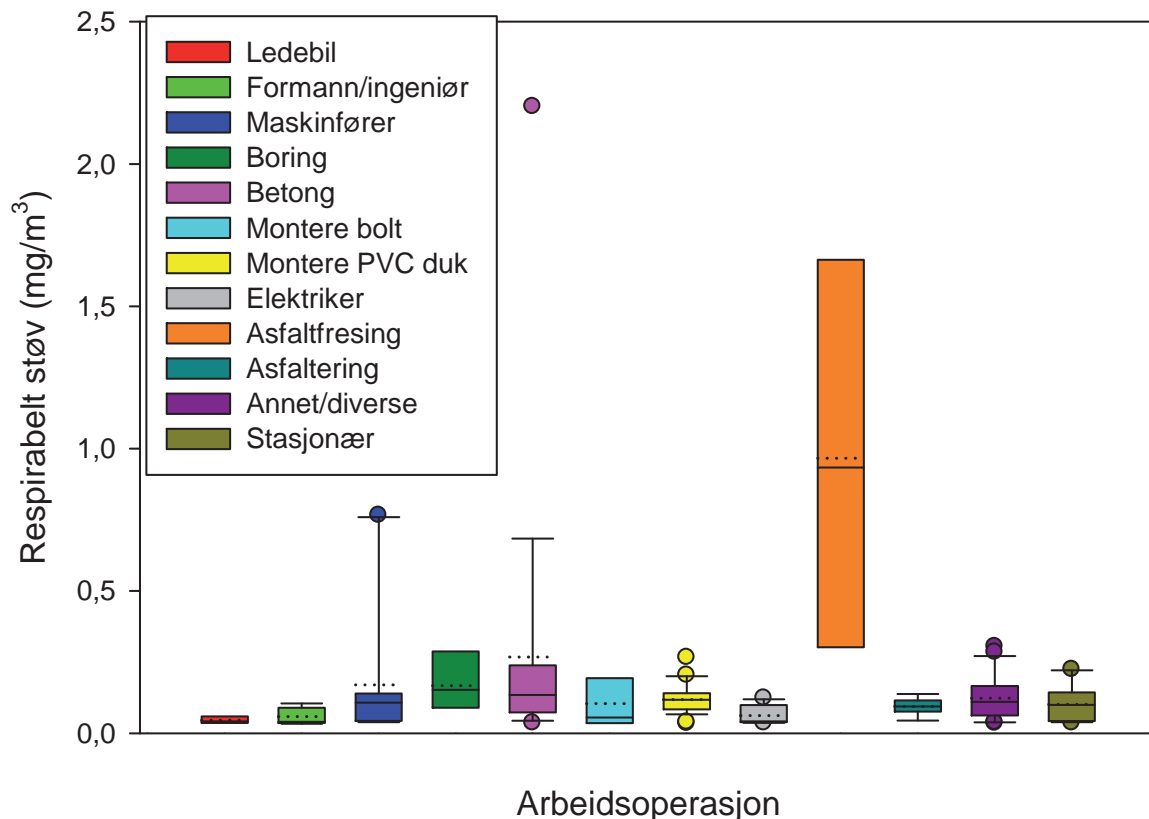
5 mg/m^3 for sjenerende støv

Resultater

Resultatene fra måling av respirabelt støv er vist i Tabell 10 og Figur 37.

Tabell 10 Måleresultater - respirabel støvfraksjon

Arbeidsoperasjon	Antall målinger	AM (mg/m^3)	SD	GM (mg/m^3)	GSD	Min (mg/m^3)	Maks (mg/m^3)
Ledebil	4	0,05	0,01	0,04	1,41	0,02	0,06
Formann/ingeniør	9	0,06	0,03	0,05	1,80	0,01	0,10
Maskinfører	19	0,17	0,21	0,11	2,48	0,02	0,77
Boring	7	0,17	0,11	0,13	2,38	0,00	0,33
Betong	17	0,27	0,46	0,14	2,68	0,20	2,20
Montere bolt	6	0,10	0,10	0,07	2,63	0,01	0,28
Montere PVC duk	27	0,12	0,05	0,11	1,59	0,02	0,27
Elektriker	11	0,06	0,03	0,05	1,95	0,01	0,12
Asfaltfresing	4	0,97	0,73	0,72	2,53	0,26	1,73
Asfaltering	9	0,09	0,03	0,09	1,45	0,02	0,14
Annet	23	0,12	0,08	0,10	2,05	0,01	0,30
Alle personbårne	136	0,16	0,27	0,10	2,37	0,00	2,20
Stasjonær	17	0,10	0,06	0,08	2,06	0,01	0,22



Figur 37 Måleresultater - respirabel støvfraksjon

Diskusjon

I alt ble 136 personbårne og 17 stasjonære prøver analysert med henblikk på respirabel støvfraksjon. Også noen av disse ble tatt i forbindelse med cross-shift. Respirabel støvfraksjon har i Norge en administrativ norm på 5 mg/m^3 (sjenerende støv) forutsatt at partiklene ikke inneholder komponenter som det må tas spesielt hensyn til. I dette prosjektet har det vært fokusert på det respirable støvets innhold av α -kvarts, noe som er diskutert nedenfor.

Normen på 5 mg/m^3 har vært uforandret siden den ble innført i 1988, og er ikke godt helsemessig basert. Eksponeringsverdier godt under denne normen bør derfor tilstrebes. Analysene av de 136 personbårne respirable prøvene viser lav eksponering for denne støvfraksjonen. Aritmetisk middelværdi er $0,16 \text{ mg/m}^3$, og ses det bort fra en utligger ved betongarbeid på $2,20 \text{ mg/m}^3$, er det asfaltfresing som gir de høyeste eksponeringsverdiene med en middelværdi på $0,97 \text{ mg/m}^3$ og en maksimalverdi på $1,73 \text{ mg/m}^3$. For de øvrige arbeidsoperasjonene er eksponeringsnivået på samme nivå som de stasjonære målingene.

Dersom normen justeres med en reduksjonsfaktor i forhold til arbeidstidens lengde, gir dette en norm på $3,0 \text{ mg/m}^3$. Alle de målte verdier for alle arbeidsoperasjoner ligger også godt innenfor denne justerte normen. Isolert sett viser resultatene fra de personbårne målingene av respirabelt støv et eksponeringsbilde som må kunne betraktes som svært lavt forutsatt at støvet er inert. Sammenligning med de stasjonære målingene av respirabelt støv bekrefter dette bildet.

Respirabel α -kvarts

Ved bergarbeid er det viktig å være klar over bergets innhold av krystallinsk silica i form av α -kvarts. Årsaken til dette er at innånding av respirabelt støv som inneholder α -kvarts på lang sikt kan føre til utvikling av silikose. α -kvarts er også klassifisert som kreftfremkallende. Med bakgrunn i dette forholdet ble det i mars 2009, før rehabiliteringsarbeidet startet, analysert kvartsinneholdet i 12 støvprøver som var samlet opp som avsatt svevestøv på ulike steder langs tunnelveggen. Prøvene ble analysert ved hjelp av differensialtermisk metode ved BA-Laboratoriene ved SINTEF i Trondheim. Analysene viste et kvartsinnehold i området < 1 vektprosent til 33 vektprosent med et gjennomsnitt på 17 vektprosent. Ettersom kvartsinneholdet i disse prøvene var såpass varierende, ble alle prøvene av respirabelt støv, i tillegg til at de ble analysert gravimetrisk, også analysert med henblikk på α -kvarts. Kvartsbestemmelsene ble begrenset til denne støvfraksjonen, selv om det fra Arbeidstilsynet også foreligger en administrativ norm for α -kvarts i totalstøv.

Metode

Andel α -kvarts i det respirable støvet ble bestemt ved at de respirable prøvene etter gravimetrisk analyse ble forasket og analysert med røntgendiffraksjon. NIOSH metode nr 7500 med bruk av røntgendiffraktometri (Philips PW1729 røntgen generator, Philips PW 1710 diffraktometerkontroll og Phillips APD software) ble benyttet. Deteksjonsgrensen for α -kvarts var 9.1 μg . Analysene ble utført ved STAMI. 48 % av analysene viste verdier under deteksjonsgrensen.

Administrativ norm

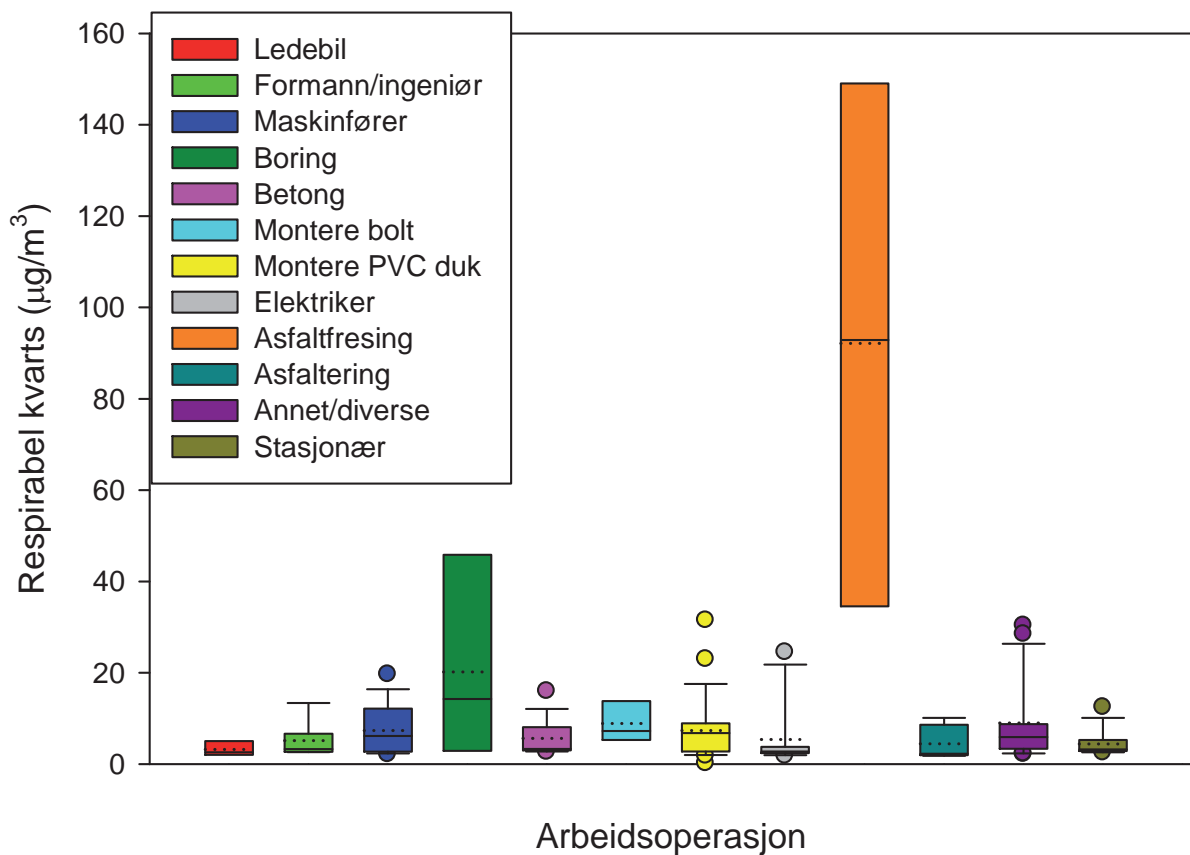
0,1 mg/m^3 (100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) i respirabel støvfraksjon, merket med K for kreftfremkallende

Resultater

Resultatene fra kvartsanalyse av de respirable prøvene er presentert i Tabell 11 og i Figur 38. Verdiene er oppgitt i $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabell 11 Måleresultater - α -kvarts i respirabelt støv

Arbeidsoperasjon	Antall målinger	AM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	SD	GM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	GSD	Min ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Maks ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Ledebil	4	3,24	2,02	2,51	2,30	0,26	5,88
Formann/ingeniør	9	5,14	3,68	3,90	2,40	0,18	13,39
Maskinfører	19	7,35	5,46	5,07	2,76	0,16	19,65
Boring	7	20,21	22,68	9,68	4,30	0,39	58,36
Betong	17	5,65	3,78	4,27	2,26	0,25	15,99
Montere bolt	6	8,91	5,32	7,32	2,16	0,44	17,62
Montere PVC duk	27	7,32	6,97	4,53	3,26	0,14	31,48
Elektriker	11	5,38	6,94	3,09	2,94	0,16	24,49
Asfaltfresing	4	92,15	60,99	74,50	2,22	28,45	154,44
Asfaltering	9	4,44	3,72	2,92	2,89	0,22	10,13
Annet	23	8,98	8,35	6,19	2,53	0,27	30,31
Alle personbårne	136	10,10	18,86	5,09	3,13	0,14	154,44
Stasjonær	13	4,40	3,01	3,49	2,07	0,34	12,46



Figur 38 Måleresultater - α -kvarts i respirabelt støv

Diskusjon

Den arbeidsoperasjon som ga klart høyest eksponering for α -kvarts var fresing av gammelt asfaltdekke. Antall målinger ved denne arbeidsoperasjonen var riktignok bare fire, men aritmetisk middelværdi for disse målingene var $92 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mens maksimumsverdien var $154 \mu\text{g}/\text{m}^3$, noe som representerer en overskridelse av administrativ norm på mer enn 50 %. Den kvartsmengden som frigjøres ved asfaltfresing er avhengig av kvartsinnholdet i det tilsatsmaterialet som i sin tid ble benyttet ved produksjon og legging av asfalten. Sammenholdes resultatene fra de respirable støvprøvene i Tabell 10 med analysene av α -kvarts i Tabell 11, kan det synes som om det gamle asfaltdekket inneholdt tilsatsmaterialer med et kvartsinnhold på ca. 10 %, men antall prøver er for lite til å konkludere sikkert på dette punktet. Uansett vil fresing av gammelt asfaltdekke være en arbeidsoperasjon som potensielt vil kunne medføre høye eksponeringer for α -kvarts. Undersøkelser av det tilsatsmaterialet som er brukt samt anvendelse av åndedrettsvern er derfor sterkt å anbefale.

Nest etter asfaltfresing var boring den arbeidsoperasjon som viste den høyeste kvartseksponeringen. Dette er naturlig ettersom boring uten vanntilførsel potensielt er en svært støvgenererende prosess. I tillegg til asfaltfresing er det også den eneste prosessen i forbindelse med rehabiliteringen som genererer nytt støv med innhold av α -kvarts. Det er verdt å merke seg at selv om både maskinførere og betongarbeidere hadde en eksponering for respirabelt støv på linje med borerne, var eksponeringen for α -kvarts på langt nær så høy for disse to gruppene som for borerne. Aritmetisk middelværdi for de sju prøvene som ble tatt ved denne arbeidsoperasjonen var $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Mye av dette skyldtes en maksimalverdi på mer enn $58 \mu\text{g}/\text{m}^3$, slik at geometrisk middelværdi var $9,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Med unntak av asfaltfresingen er det, ut fra omstendighetene og arbeidets art, grunn til å konkludere med at resultatene ved boring og de andre arbeidsoperasjonene kan betraktes som akseptable, også dersom normen på $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ korrigeres med en faktor 0,6 (til $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$) på grunn av arbeidstidens lengde.

Ved senere arbeider av tilsvarende karakter anbefales det likevel at støvreduserende tiltak iverksettes og at åndedrettsvern benyttes ved de mest utsatte arbeidsoperasjonene. Det er også viktig å ha en oversikt over bergets kvartsinnhold i forkant av alle arbeider der det kan tenkes at α -kvarts kan frigjøres.

Dieselpartikler

Dieseleksos består av gasser og partikler som dannes etter forbrenning av diesel i en stempelmotor. Begrepet dieselpartikler brukes om partikkelfasen av forbindelsene som frigjøres i dieseleksos og utgjør vanligvis en vektprosent eller mindre av dieseleksosen. Komponenter som kan finnes i partikulær fase i dieseleksos er elementært karbon (normalt 50-75 % av massen), organiske forbindelser som polyaromatiske hydrokarboner og små mengder av uorganiske sulfater, nitrater, metaller og andre sporelementer. Andelen av organiske forbindelser varierer betydelig og er generelt høyere når motoren går på lavt turtall og lav belastning. 80-95% av partikkelmassen er partikler med diameter under $2,5 \mu\text{m}$ og 1-20 % av disse er ultrafine partikler. Helseisriko ved eksponering for dieselpartikler anses å være knyttet til den store andelen av små partikler, og til organiske stoffer og metaller bundet til partiklene som kan ha høy biologisk aktivitet, enkelte kan ha mutagene og kreftfremkallende egenskaper. Studier har vist at dieselpartikler kan ha effekter på hjerte/kar og lungesystem og at det kan være fare for kreft ved lang tids eksponering. Dieseleksos kan fremkalle akutt irritasjon i luftveiene, gi astmalignende symptomer og forsterke allergiske reaksjoner for allerede kjente allergener.

Metode

Dieselpartikler ble samlet opp på 37 mm kvartsfilter montert i en 37 mm lukket filterkassett (Millipore Corporation, USA). Ved prøvetaking ble det brukt en flow på 2,0 l/min. Elementært karbon ble analysert i følge NIOSH metode nr 5040, og dette ble angitt som et mål på partikulært materiale i henhold til forslaget til administrativ norm. Siden analysen ikke var tilgjengelig i Norge på prøvetakingstidspunktet, ble prøvene analysert ved ALS Laboratory Group i Salt Lake City, Utah, USA. En prøve var under deteksjonsgrensen som var $1,8 \mu\text{g}$.

Administrativ norm

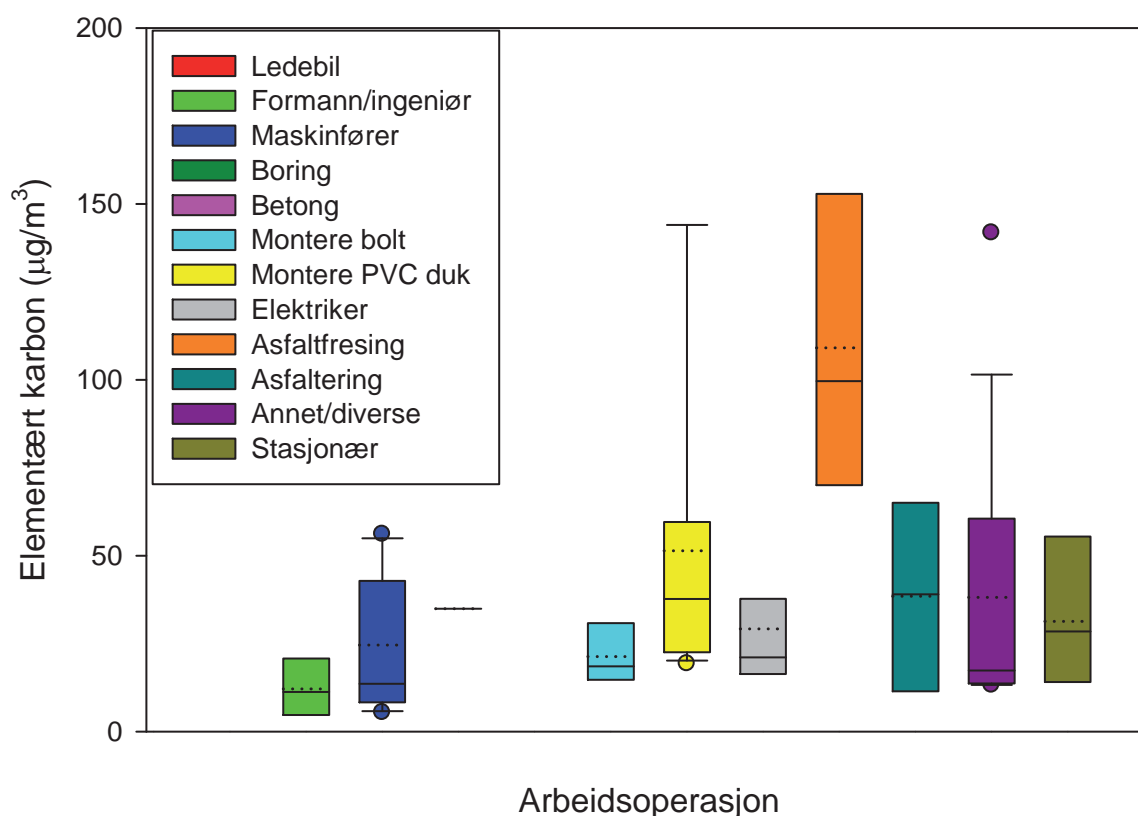
Det er foreløpig ikke fastsatt noen administrativ norm for dieselpartikler, men Arbeidstilsynet har foreslått en norm på $0,5 \text{ mg}/\text{m}^3$ ($500 \mu\text{g}/\text{m}^3$) med en anmerkning K for kreftfremkallende. Det foreslås at mengden elementært karbon i dieseleksosen skal brukes som et mål på eksponering for dieselpartikler og at NIOSH metode 5040 skal benyttes ved analyse.

Resultater

Resultatene fra 75 målinger av dieselpartikler er vist Figur 39 og Tabell 12. Tallene er angitt som μg elementær karbon/ m^3 luft som mål på partikulært materiale fra dieselmotorer.

Tabell 12 Måleresultater - dieselpartikler (elementært karbon)

Arbeidsoperasjon	Antall målinger	AM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	SD	GM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	GSD	Min ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Maks ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Ledebil	0						
Formann/ingeniør	6	12,17	8,25	9,56	2,22	3,61	21,02
Maskinfører	11	24,59	19,32	17,98	2,34	5,40	56,10
Boring	2	34,93	0,57	34,93	1,02	34,53	35,33
Betong	0						
Montere bolt	4	21,37	8,98	20,13	1,47	14,23	34,17
Montere PVC duk	14	51,42	41,91	40,66	1,95	19,28	144,02
Elektriker	7	29,19	20,00	24,16	1,96	8,23	69,08
Asfaltfresing	5	109,07	43,08	101,89	1,53	56,84	160,33
Asfaltering	4	38,49	27,82	26,56	3,29	4,78	71,20
Annet	15	38,13	36,15	27,41	2,23	13,15	141,73
Alle personbårne	68	39,62	37,22	27,16	2,44	3,61	160,33
Stasjonær	7	31,36	21,24	18,38	4,88	0,61	57,45



Figur 39 Måleresultater - dieselpartikler (elementært karbon)

Diskusjon

Hovedkilden til eksponering for dieselpartikler er den nødvendige bruken av dieseldrevet utstyr og maskineri ved rehabiliteringen. I tillegg har sannsynligvis den dieseldrevne delen av kolonnetrafikken, spesielt de tyngre kjøretøyene, tidvis bidratt til eksponeringen.

Alle de 68 personbårne prøvene viser en middeleksponering på ca. $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ med en maksimumsverdi på $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ målt ved asfaltfresing. Alle de målte verdiene ligger godt

innenfor den foreslåtte normen på $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$, også hvis normen reduseres til $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ på grunn av den forlengede arbeidstiden.

Måleresultatene slik de fremkommer i Tabell 12 og Figur 39 viser at asfaltfresing er den arbeidsoperasjon som er mest utsatt for dieselpartikler. Mye av årsaken til dette ligger sannsynligvis i bruken av dieseldrevne lastebiler som gikk på tomgang mens de ventet på å bli lastet med oppfrest asfalt. Også ved legging av ny asfalt ble det brukt lastebiler som kjørte inn i tunnelen og til dels ble gående på tomgang inntil de ble tømt.

I tillegg til asfalteringsjobben ble det ved montering av PVC-duk målt noe høyere nivå av dieselpartikler enn ved de andre arbeidsoperasjonene. De som monterte PVC-duk arbeidet gjerne i lift ved tunneltaket, og eksponeringen her er trolig en konsekvens av at varm dieseleksos stiger og oppkonsentreres langs taket.

For de andre gruppene var eksponeringen på nivå med bakgrunnseksponeringen i tunnelen. Sett i forhold til den foreslåtte administrative normen for dieselpartikler, som hovedsakelig er helsemessig basert, er det ikke grunn til å anta at eksponeringen i Freifjordtunnelen har representert noen helsefare. Siden eksponeringen er så lav, vil vurderingen i forhold til tidsjustert, foreslått norm heller ikke endre denne antakelsen.

Oljetåke og oljedamp

Mineraloljer er en blanding av hydrokarboner som parafiner, aromater og naftener, og forekommer i ulike raffineringegrader. Oljetåke er oljedråper (aerosoler) i luft mens oljedamp er fordampet olje. Oljeaerosoler kan dannes ved mekanisk bearbeiding, forstøvning og ved fordamping med påfølgende kondensering til dråper. Kilder til eksponering for oljetåke og oljedamp under rehabiliteringsarbeid i tunnel vil i hovedsak være hydraulikkolje og eventuelt motorolje fra anleggsmaskiner som brukes, samt bruk av formolje på forskaling og utstyr i forbindelse med støping. I tillegg vil det ved asfaltlegging også være eksponering for oljetåke/damp fra asfaltblandingen. Ved akutt, massiv eksponering vil oljetåke kunne gi utvikling av kjemisk lungebetennelse, mens oljedamp vil kunne påvirke sentralnervesystemet. Allergiske hudreaksjoner er også observert. Disse er ofte knyttet til kjemiske tilsetningsstoffer i oljen. Effekter av langvarig eksponering varierer fra symptomer som hoste og tungpusthet til sykdommer som lungefibrose. Eksponering har også vært assosiert med lungekreft, men verken oljetåke eller oljedamp er kreftfaremerket i Norge. Effekter av langvarig hudeksponering kan være tørr hud, eksem, oljekviser og i spesielle tilfeller hudkreft. I tillegg til eksponeringsnivå kan faktorer som oljens kvalitet (for eksempel raffineringshistorie, viskositet og kokepunkt samt tilsetningsstoffer) og aerosolstørrelse ha betydning for helseeffekter.

Metode

Prøvetaking av oljetåke og oljedamp ble gjort med 37 mm klar polystyren tredelt lukket filterkassett (Millipore, USA) med 37 mm nitrocellulose membran filter (oljetåke), porestørrelse $0,8 \mu\text{m}$, (Millipore) og 37 mm glassfiberfilter (Whatman GF/A) koplet i serie med kullrør (oljedamp) (SKC Anasorb CSC). Ettersom oljedamp og oljetåke har samme kilde, presenteres oljedampresultater vanligvis sammen med oljetåke, til tross for at oljedamp definisjonsmessig er en gassformig og ikke en partikulær forurensning.

Luftmengde var på $1,4 \text{ l}/\text{min}$ og det ble brukt pumper av typen SKC universal. Lufthastighet ble sjekket før og etter prøvetaking. Analysene ble gjort med infrarød spektrofotometri og gaskromatografi og utført av STAMI.

Deteksjonsgrenser: Oljetåke $0,01\text{-}0,02 \text{ mg}/\text{m}^3$, oljedamp $0,03 \text{ mg}/\text{m}^3$

Tre prøver av oljetåke og en prøve av oljedamp var under deteksjonsgrensen.

Administrativ norm

1 mg/m³ for oljetåke

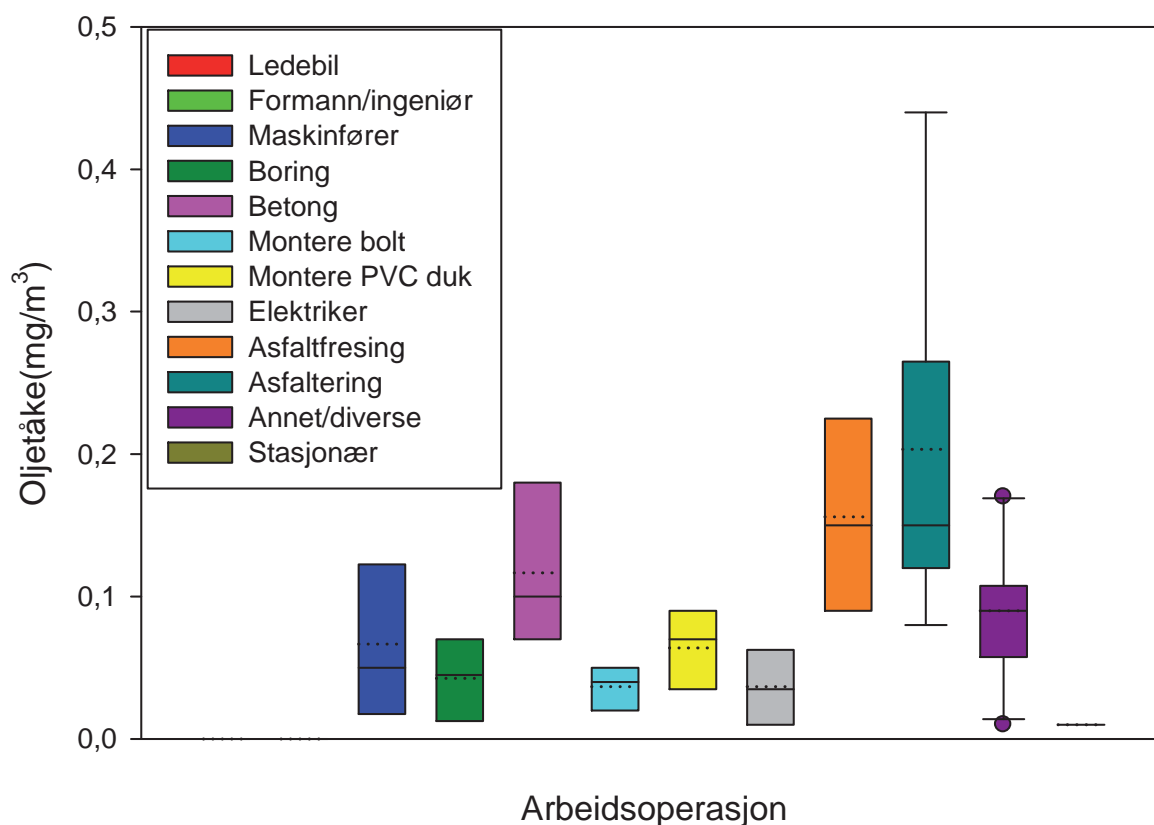
50 mg/m³ for oljedamp.

Resultater

Resultatene for oljetåkemålinger er vist i Tabell 13 og Figur 40.

Tabell 13 Måleresultater - oljetåke

Arbeidsoperasjon	Antall målinger	AM (mg/m ³)	SD	GM (mg/m ³)	GSD	Min (mg/m ³)	Maks (mg/m ³)
Ledebil	0						
Formann/ingeniør	0						
Maskinfører	6	0,07	0,06	0,04	2,83	0,01	0,16
Boring	4	0,04	0,03	0,03	2,63	0,01	0,07
Betong	3	0,12	0,06	0,11	1,61	0,07	0,18
Montere bolt	3	0,04	0,02	0,03	1,61	0,02	0,05
Montere PVC duk	6	0,06	0,04	0,04	2,46	0,01	0,10
Elektriker	6	0,04	0,03	0,03	2,59	0,01	0,07
Asfaltfresing	5	0,16	0,08	0,14	1,86	0,05	0,26
Asfaltering	9	0,20	0,11	0,18	1,70	0,08	0,44
Annet	10	0,09	0,05	0,08	2,02	0,01	0,17
Alle personbårne	52	0,10	0,08	0,07	2,67	0,01	0,44
Stasjonær	1	0,01		0,01		0,01	0,01

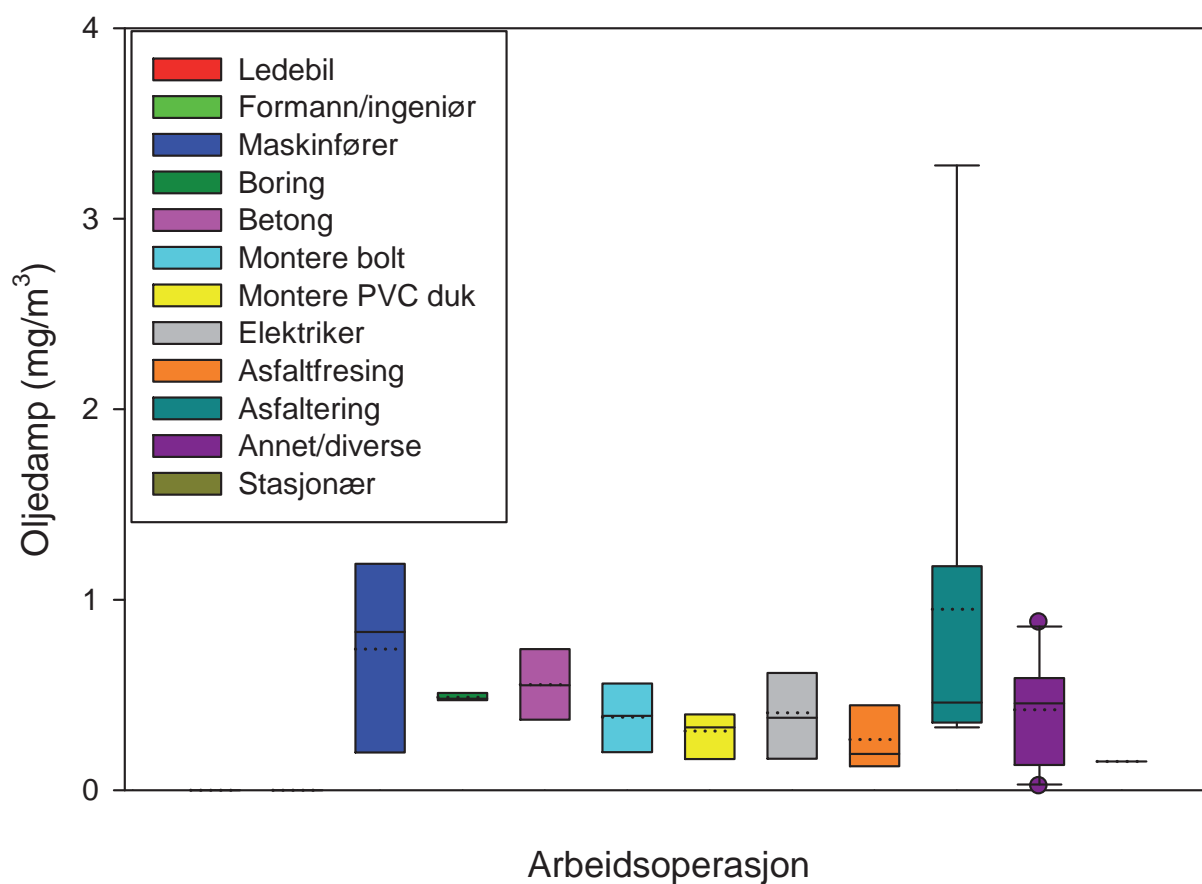


Figur 40 Måleresultater - oljetåke

Resultatene for analyse av oljedamp er vist i Tabell 14 og Figur 41.

Tabell 14 Måleresultater - oljedamp

Arbeidsoperasjon	Antall målinger	AM (mg/m ³)	SD	GM	GSD	Min (mg/m ³)	Maks (mg/m ³)
Ledebil	0						
Formann/ingeniør	0						
Maskinfører	6	0,74	0,46	0,57	2,45	0,16	1,24
Boring	4	0,49	0,02	0,49	1,05	0,47	0,52
Betong	3	0,55	0,19	0,53	1,42	0,37	0,74
Montere bolt	3	0,38	0,18	0,35	1,69	0,20	0,56
Montere PVC duk	6	0,31	0,16	0,27	1,78	0,11	0,57
Elektriker	6	0,41	0,28	0,33	2,13	0,12	0,84
Asfaltfresing	5	0,27	0,20	0,22	1,95	0,11	0,60
Asfaltering	9	0,95	0,95	0,69	2,19	0,33	3,28
Annet	10	0,42	0,27	0,29	3,11	0,02	0,88
Alle personbårne	52	0,53	0,49	0,39	2,30	0,02	3,28
Stasjonær	1	0,15		0,15		0,15	0,15



Figur 41 Måleresultater - oljedamp

Diskusjon

Asfaltering er den arbeidsoperasjon som har størst eksponering for både oljetåke og oljedamp. Ettersom asfaltblandingen kan bidra med både tåke og damp, er dette ikke uventet.

Asfaltering er også en arbeidsoperasjon som viser stor variasjon i resultatene, både for oljetåke og oljedamp, selv om geometrisk standardavvik er større for maskinførere både når det gjelder oljetåke og oljedamp.

De målte verdiene for både oljetåke og oljedamp er lave i forhold til Arbeidstilsynets administrative normer. Aritmetisk middelvei for oljetåke var $0,10 \text{ mg/m}^3$ med en maksimalverdi på $0,44 \text{ mg/m}^3$ målt ved asfaltering.

Gjennomsnittsverdien for oljedamp er $0,53 \text{ mg/m}^3$ med en maksimalverdi på $3,28 \text{ mg/m}^3$; også den ved asfaltering. Dette er svært lave verdier sett i relasjon til administrativ norm.

De målte verdiene av oljetåke og oljedamp må kunne betraktes som tilfredsstillende i forhold til normene på 1 mg/m^3 og 50 mg/m^3 , men det bør bemerkes at disse normene ikke har vært revidert siden 1991.

Hovedkilden til eksponeringen som er påvist, synes å være asfaltblandingen. Ses det bort fra asfaltfresing og legging av ny asfalt, tyder resultatene på at hydraulisk utstyr og motorer som ble brukt ved rehabiliteringsarbeidet var relativt godt vedlikeholdt slik at nivåene av oljetåke og oljedamp holdt seg på et lavt nivå, godt under normene, også hvis det korrigeres for forlenget arbeidstid.

PAH

Polyaromatiske hydrokarboner (PAH) er en fellesbetegnelse på en stor gruppe tjærestoffer med to eller flere aromatiske ringer. PAH dannes primært ved ufullstendig forbrenning av fossilt brensel og annet organisk materiale.

PAH kan tas opp i kroppen både gjennom huden og gjennom innånding. Den kritiske effekt ved eksponering for PAH er kreft. I tillegg kan enkelte av PAH-stoffene i kombinasjon med sollys, gi fototoksiske effekter på hud.

I dette prosjektet ble PAH-eksponering vurdert som mest relevant ved asfalteringsarbeidet.

Metode

Partikulært PAH samles opp på spesialpreparerte teflonfilter ved hjelp av en bærbar pumpe (SKC universal). PAH-forbindelser i gassfase passerer filteret og fanges opp av en adsorbent (XAD) montert i luftstrømmen bak filteret. Etter prøvetaking behandles filter og adsorbent og analyseres ved hjelp av gasskromatografi og/eller høytrykks væskrokromatografi (HPLC) i henhold til NIOSH metode 5506. Flere enn 7 prøver var planlagt og ble initiert, men feil ved prepareringen av oppsamlingsfiltrene medførte at de fleste prøvene måtte forkastes.

Administrativ norm

PAH: $0,04 \text{ mg/m}^3$ (tilsv. $40 \text{ } \mu\text{g/m}^3$), merket med K for kreftfremkallende
Naftalen: 10 ppm , tilsv. 50 mg/m^3 ($50\,000 \text{ } \mu\text{g/m}^3$)

Arbeidstilsynet har nettopp avsluttet en høring som inkluderer et forslag til endring av administrativ norm for PAH. Forslaget innebærer at eksisterende norm beholdes men at de to enkeltstoffene naftalen og bifenyl trekkes ut og vurderes særskilt opp mot egne normer. Dersom denne endringen blir vedtatt, vil normen for PAH gjelde partikkelfasen for 25 navngitte stoffer som er samlet opp på filter.

Resultater

Resultatene fra de sju personbårne målingene av PAH er vist i Tabell 15.

Tabell 15 Måleresultater - polyaromatiske hydrokarboner (PAH)

Arbeidsoperasjon	Beskrivelse	Prøvetakingstid (minutter)	Naftalen ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PAH ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Asfaltfresing	Asfaltfresing, styrer siden	43	0	1,35
Asfaltfresing	Asfaltfresing, maskinfører	101	0,54	2,07
Asfaltfresing	Asfaltfresing, maskinfører	236	0,38	3,75
Asfaltfresing	Asfaltfresing, vannbil	377	1,15	4,35
Maskinfører	Asfaltfresing, feiebil	498	5,24	11,66
Asfaltering	Asfaltering, styrer siden	102	0,25	6,00
Asfaltering	Asfaltering, limbil	289	2,98	14,62

Diskusjon

Alle de sju prøvene av polyaromatiske hydrokarboner (PAH) ble tatt i forbindelse med asfalteringsarbeidet i tunnelen, dvs. siste uke i november 2010. For de prøver som ikke ble forkastet er det i resultattabellen inkludert prøvetakingstid ettersom det i PAH-resultatene også er vurdert prøver med kortere prøvetakingstid enn fire timer.

Resultatvurderingen av PAH er gjort med utgangspunkt i det nye normforslaget fra Arbeidstilsynet. Dette skiller seg imidlertid ikke mye fra gjeldende administrativ norm. Naftalen i gassfase skal, i henhold til det nye normforslaget, vurderes separat, og sett i relasjon til normen på $50\,000\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ kan de eksponeringsnivåene som er vist i Tabell 15, karakteriseres som neglisjerbare.

Den partikulære fasen av alle PAH viser målte verdier i området $1 - 15\ \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dette tilsvarer $2,5 - 37\%$ av administrativ norm. Korrigeres det for arbeidstid, vil normen bli $24\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ for partikkel fase. Resultatene er lave også sammenlignet med dette.

Enkeltstoffene 1-metylnaftalen og 2-metylnaftalen viste seg ved analyse å utgjøre en vesentlig del av den PAH som ble påvist. Til tross for at disse to stoffene også definisjonsmessig er å betrakte som PAH, er de ikke blant de 25 stoffene som inngår i Arbeidstilsynets forslag til nye normer. En streng resultatvurdering opp mot norm og de enkeltkomponentene som normen omfatter, gir derfor et eksponeringsbilde for PAH som også kan betraktes som neglisjerbart.

Med kombinasjonen av relativt store variasjoner i resultatene og få målinger er det vanskelig å si noe om hvor representative de målte verdiene er. Tidligere publiserte undersøkelser av PAH-eksponeringer ved asfaltarbeider, også i tunnel, viser imidlertid verdier som er mange ganger så høye. Dette kan være en indikasjon på at de relativt få målingene som her er gjennomført, ikke er representative for de aktuelle arbeidsoperasjonene, men den mest nærliggende forklaringen er at eksponeringen i Freifjordtunnelen i realiteten har vært lav, bl.a. på grunn av et fullstendig nytt ventilasjonsanlegg som ble kjørt på maksimal kapasitet ved asfalteringsarbeidet. Dette er bl.a. dokumentert gjennom ved de klimaparametrene som er gjengitt i vedlegg 1, og som viser en gjennomsnittlig lufthastighet i tunnelen på $2,9\ \text{m/s}$ (tilsv. $10,3\ \text{km/t}$) i asfalteringsperioden.

Ultrafine partikler

Ultrafine partikler defineres normalt som partikler med en størrelse opp til 100 nanometer (nm, $10^{-9}\ \text{m}$) i minst en dimensjon. Ultrafine partikler og nanopartikler er begreper som ofte brukes om hverandre ettersom den størrelsesmessige definisjonen er den samme.

Det har etter hvert blitt vanlig å betegne naturlig forekommende eller ”menneskeskapte” forurensninger som ultrafine partikler, mens nanopartikler brukes om industrielt produserte

partikler som er laget i den hensikt å skape nye materialer med spesielle, designede egenskaper. Betegnelsen ultrafine partikler brukes derfor her.

For å anskueliggjøre de aktuelle størrelsene på en god måte, henvises det til Figur 42. Her er størrelsesforholdet mellom fotballen og jordkloden det samme som mellom en nanopartikkel (5 nm) og fotballen.



Figur 42 Størrelsesforhold ultrafine partikler

En annen måte å anskueliggjøre størrelsene på er å sammenligne med et hårstrå som har en diameter på ca 80 000 nanometer.

Siden de ultrafine partiklene er så små i utstrekning, har de en ekstremt stor overflate pr. masseenhett sammenlignet med større partikler, noe som øker tilgjengeligheten for kjemiske bindinger. Dette gjør også at slike partikler kan ha helt andre egenskaper, både tekniske, fysiske og toksikologiske, enn større partikler av nøyaktig samme stoff. Nanotoksikologi, som beskriver de helsemessige konsekvensene ved eksponering for ultrafine partikler og nanopartikler, er en svært ung vitenskap som bare har vært studert det seneste tiåret.

Dokumentasjon på yrkesmessig eksponering for ultrafine partikler er svært liten. Dette skyldes i stor grad at partiklene har vært vanskelig å måle og at de måleinstrumentene som i de senere år har kommet på markedet er svært kostbare.

I forbindelse med de yrkeshygieniske undersøkelser i Freifjordtunnelen ble det besluttet å gjøre målinger på mengden ultrafine partikler. Bakgrunnen for dette var bl.a. at ultrafine partikler i diskusjonene med Arbeidstilsynet ble nevnt som et mulig arbeidsmiljøproblem.

Metode

Til måling og analyse av ultrafine partikler ble det brukt en TSI 3091 Fast Mobility Particle Sizer (TSI Inc., USA) med en luftstrøm på 10 l/min, koplet til en fortyner (DIL 550, TOPAS GmbH, Tyskland) som ga en fortykning på 100:1. Mellom fortyneren og måleinstrumentet passerte lufta en sykklon som skilte ut partikler større enn 1 μm .



Figur 43 Måleinstrument for ultrafine partikler

Dette instrumentet produserer partikkelstørrelsesfordelinger med ett sekunds oppløsning, noe som muliggjør en visualisering av endringer i partikkelstørrelsesfordeling i nær sanntid. Instrumentet måler partikler i størrelsesområdet 5,6 til 560 nm.

Instrumentet krever tilkoping til strømmettet og er relativt stort og tungt. Det er også følsomt for fuktighet og støt. Prøvetaking i tunnelen medførte derfor en del praktiske problemer. Til prøvetaking av luft i arbeidstakernes pusteseone ble det derfor benyttet en 9,5 m lang, ledende silikonslange. Dette førte til at det var bare enkelte kortvarige arbeidsoperasjoner av relativt stasjonær karakter som kunne måles. I tillegg ble det gjort noen stasjonære bakgrunnsmålinger i tunnelen.

Administrativ norm

Det finnes ikke noen norsk norm for ultrafine partikler, og Arbeidstilsynet har foreløpig heller ikke foreslått at det etableres noen norm.

Resultater

Målinger av ultrafine partikler ble gjennomført ved følgende arbeidsoperasjoner og situasjoner:

- Maskinfører, glidestøping av rekkverk
- Pusser, betongrekkverk (2 personer)
- Sveising (horisontal) av PVC-duk
- Sveising (vertikal) av PVC-duk
- Bakgrunnsnivå i tunnel
- Bakgrunnsnivå i tunnel ved pause

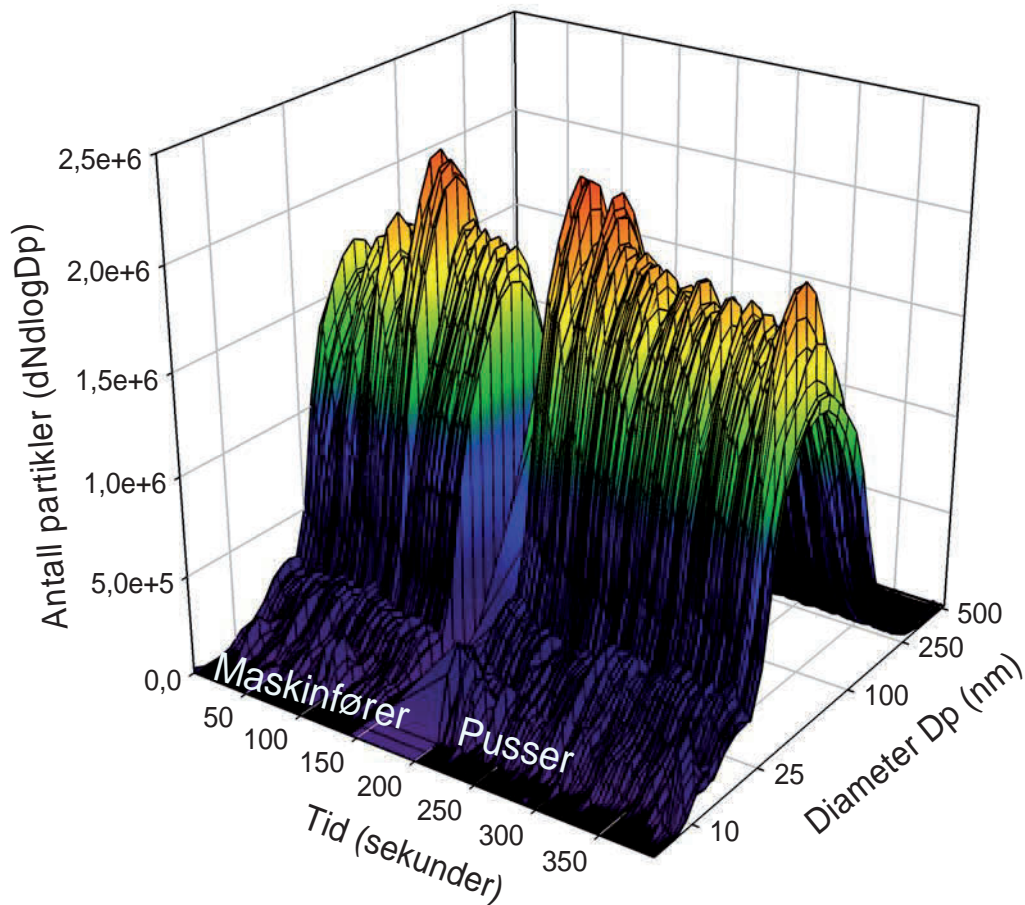
- Bakgrunnsnivå i tunnel ved kolonnepassering

Resultatene er oppsummert i Tabell 16 hvor tallene angir antall partikler pr cm³ luft (#/cm³) i størrelsesområdet 5.6 nm – 100 nm.

Tabell 16 Ultrafine partikler (5.6 nm – 100 nm) ved ulike arbeidsoperasjoner

	AM	Maks	Min	SD	Antall målinger
	#/cm ³	#/cm ³	#/cm ³		
Maskinfører støpebil	1 022 614	1 300 075	856 480	82 538	191
Betongpusser	866 911	1 126 561	663 822	91 461	135
- Person 1	872 206	1 126 561	663 822	111 109	89
- Person 2	856 665	908 254	808 510	24 594	46
Sveising av PVC-duk	1 663 966	8 137 426	16 606	1 694 789	1 458
- Horisontal	626 957	8 137 426	16 606	1 008 056	900
- Vertikal	3 336 561	6 408 931	250 965	1 154 586	558
Bakgrunnskonsentrasjon	312 526	565 061	20 197	136 184	2 234
- Under matpause	40 028	62 340	20 665	8 176	115

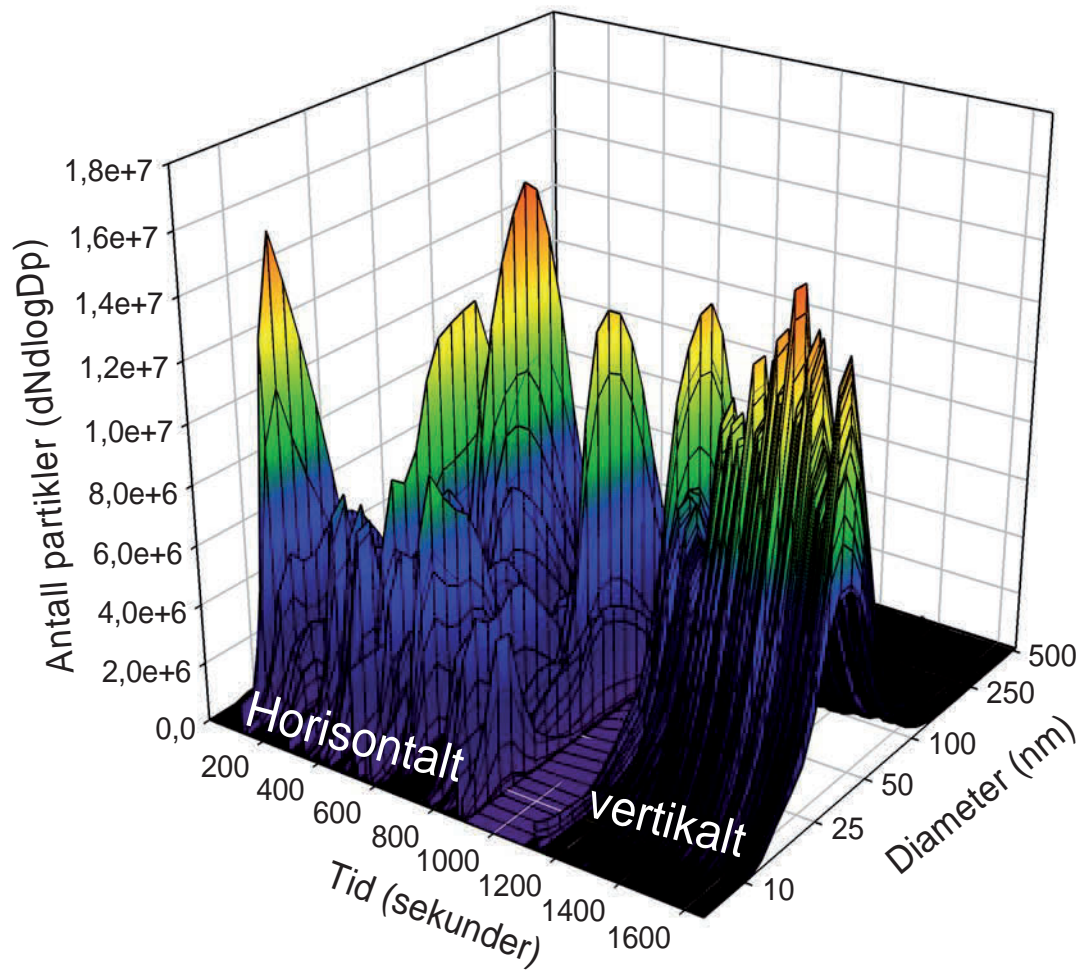
I forbindelse med glidestøp av betongrekkverk ble det tatt prøver ved to betongpusserne og en maskinfører på støpebil. Resultatene for disse er i Figur 44 presentert ved siden av hverandre, betongpusserne kontinuerlig uten skille.



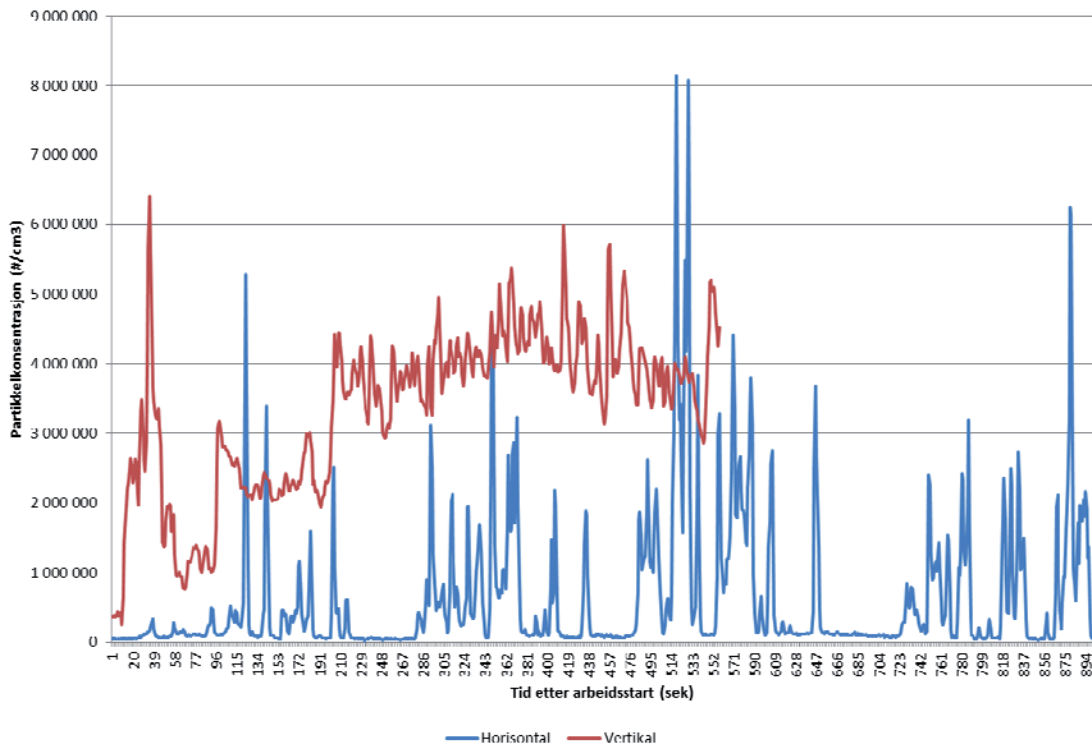
Figur 44 Ultrafine partikler ved glidestøp av betongrekkverk for maskinfører og pusser

For lettere å kunne sammenligne resultatene fra horisontal og vertikal sveising av PVC-duk vises det til den tredimensjonale presentasjonen i Figur 45. De samme resultatene er også presentert som rød og blå kurve i Figur 46.

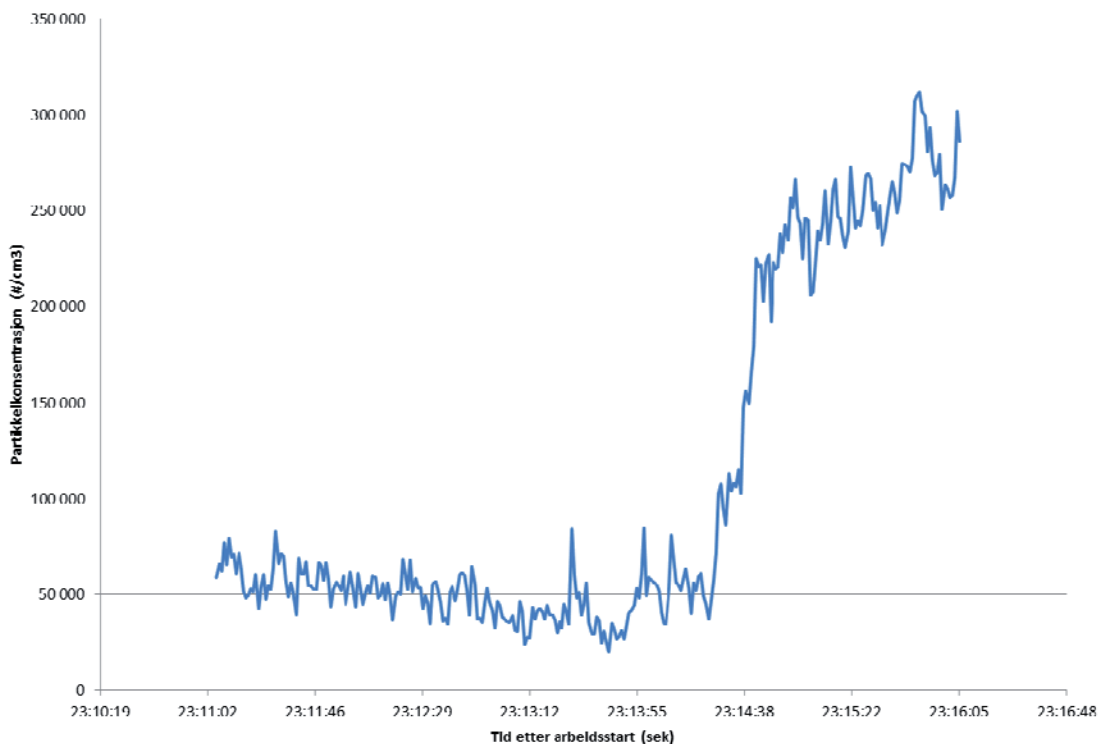
Bakgrunnsnivået av ultrafine partikler ble også målt, både når det ikke var aktivitet i tunnelen (matpause) og ved overgangen fra nullaktivitet til kolonnepassering. Disse resultatene er vist ved en måling som strakk seg over fem minutter i Figur 47.



Figur 45 Størrelsesfordeling ultrafine partikler ved horisontal og vertikal PVC-sveising



Figur 46 Antall ultrafine partikler ved horisontal og vertikal PVC-sveising



Figur 47 Endring i bakgrunnsnivå av ultrafine partikler ved kolonnepassing

Diskusjon

For å støpe betongrekkverket i tunnelen ble det benyttet en glidestøpemaskin. En maskinfører styrte denne maskinen fra en åpen kabin på toppen. I tillegg var det flere arbeidere som arbeidet på bakken rundt maskinen og utførte forskjellige oppgaver. En av disse oppgavene var finpusning av betongrekkverket etter at støpemaskinen hadde støpt rekkverket. Av praktiske hensyn var det bare mulig å ta prøver på maskinføreren og pusserne da de andre arbeiderne beveget seg for mye til å kunne plassere prøvetakingsslangen på dem. Figur 44 viser at partikkelstørrelsesfordelingen var relativ lik og konstant ved de to arbeidsoppgavene, men maskinføreren var eksponert for et noe høyere antall ultrafine partikler enn pusserne (Tabell 16). Grunnen til at maskinføreren på glidestøpemaskinen hadde relativt høy eksponering kan være at han sto nærmere eksosutslippet enn arbeiderne nede på bakken, og at hovedkilden til ultrafine partikler er eksosutslippet.

Figur 46 viser eksponeringen for ultrafine partikler ved sveising av PVC-duk, mens Figur 45 viser partikkelstørrelsesfordelingen for partikler mellom 5,6 og 560 nm. Horisontal sveising hadde klart lavere middeleksponering enn vertikal sveising, men de høyeste verdiene ble likevel funnet ved horisontal sveising. Det fremgår også at partikkelstørrelsesfordelingen varierer mer ved horisontal enn ved vertikal sveising. Dette kan komme av at vertikal sveising var en mer kontinuerlig arbeidsoperasjon, mens horisontal besto av flere oppgaver, først punktveising, påføring av lim og deretter sveising før rammen som holdt alt på plass ble flyttet til neste område.

Som forventet var bakgrunnsnivåene ved inaktivitet i tunnelen generelt langt lavere enn den eksponeringen arbeiderne hadde under arbeid. Nivåene var lavest under arbeidernes matpause (Tabell 16). Ved kolonnepassering steg imidlertid antallet ultrafine partikler (Figur 47) fra ca. 40 000 pr cm^3 til ca. 300 000 pr cm^3 .

Antall målinger var begrenset, men de indikerer at arbeidet som ble utført og de maskiner som ble brukt var de viktigste kilder til eksponering for ultrafine partikler. Trafikken kunne også bidra med temporært høye nivåer, spesielt i tidsområder når trafikkallet var høyt. Isolert sett kan den økningen som ble påvist ved kolonnepassering ses på som stor, men i forhold til de målte verdiene under arbeid, spesielt ved PVC-sveising, var den relativt moderat.

Hvorvidt antallet og størrelsesfordelingen på de ultrafine partiklene som ble påvist ved tunnelarbeidet, har helsemessig betydning er det vanskelig å si noe bestemt om. Dette er partikler som alltid har vært til stede ved denne typen industriell virksomhet, og årsaken til at det er satt fokus på dem det siste tiåret er at designede nanopartikler i samme størrelsesområde har vist seg å kunne ha uønskede helseeffekter kombinert med at utviklingen av avanserte måleinstrumenter for å påvise partiklene har skutt fart. Det er også vanskelig å vurdere de målte eksponeringsnivåene opp mot eksponeringen ved andre industrielle prosesser ettersom eksponeringsnivåer i belastede yrker foreløpig er dårlig dokumentert.

Stasjonære støvmålinger

Prøvetaking av de støvfraksjonene og partikulære forurensningene som er omtalt ovenfor er, med unntak for ultrafine partikler, gjort ved hjelp av bærbart utstyr.

Ulempen med denne typen prøvetaking er at resultatet blir uttrykt som ett tall som angir den gjennomsnittlige eksponeringen over hele prøvetakingsperioden.

For å kunne studere variasjonene i støveksponeringen over kortere tid, er det også gjennomført noen målinger ved hjelp av direktevisende og loggende instrument plassert stasjonært.

Metode

Det ble benyttet et stasjonært måleinstrument av typen pDR-1200 (Thermo Scientific, USA), vist i Figur 48.



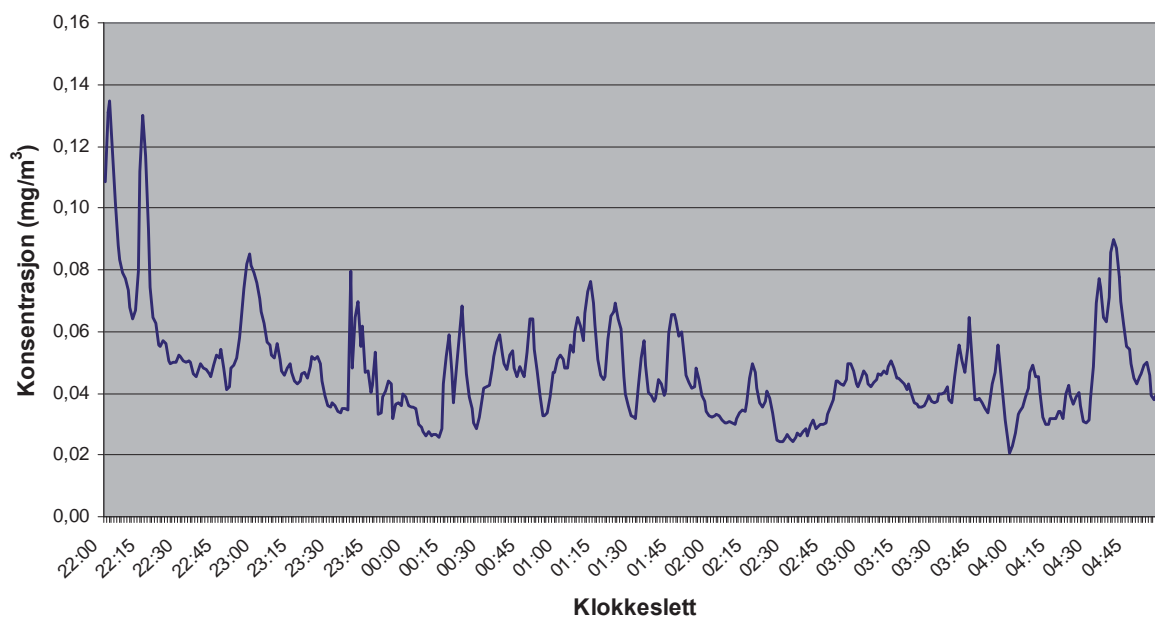
Figur 48 Støvmåler pDR-1200

Dette instrumentet er koplet opp mot en pumpe (TUFF 4 Plus) slik at luft suges gjennom et målekammer. Ved hjelp av lysspredningsteknikk og en kalibreringsfaktor beregnes støvkonsentrasjonen i mg/m^3 . I forkant av målekammeret var det montert en foravskiller (BGI modell GK 2.05) som fjerner de største partikkelene. Ved å variere lufthastigheten gjennom foravskilleren kan målingen avgrenses til en ønsket partikkelfraksjon. Ved de stasjonære målingene som ble gjort med dette utstyret i Freifjordtunnelen ble det benyttet en lufthastighet på 1,2 l/min gjennom foravskilleren. Dette medførte at torakal støvfraksjon ble målt. Instrumentet var satt opp til å måle konsentrasjonen og logge resultatet en gang pr minutt. Resultatene ble lastet ned og behandlet med dataprogrammet pDR-COM versjon 1.61. Instrumentet var kalibrert med ACFTD (Arizona Road Dust) som er en anerkjent kalibreringsmetode for slikt utstyr.

pDR-1200 kan måle støvkonsentrasjoner i området $0,001 - 400 \text{ mg}/\text{m}^3$. Målbare partikkelstørrelser er $0,1 - 10 \mu\text{m}$ (aerodynamisk diameter). Med logging en gang pr minutt oppgis repeterbarheten over 30 dager å være $\pm 0,2 \%$ av avlest verdi. Nøyaktigheten er oppgitt til $\pm 5 \%$ av avlest verdi.

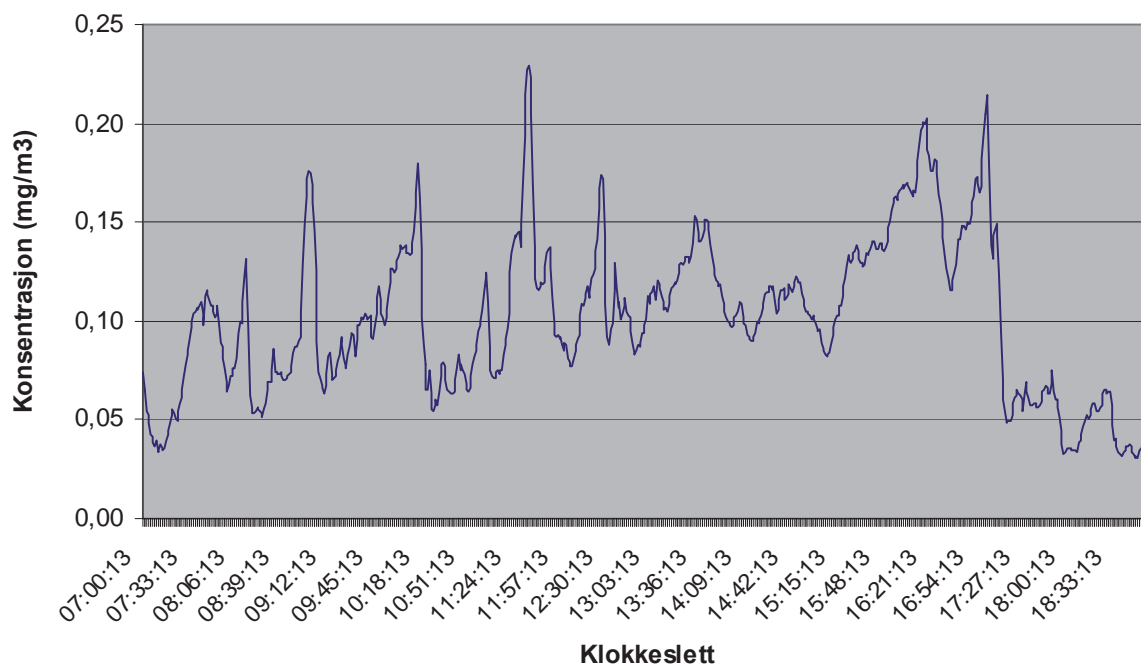
Resultater

I perioden november 2009 – august 2010 ble det gjennomført stasjonære målinger med loggende instrument gjennom 15 arbeidsskift. Et sammendrag av resultatene fra disse 420 enkeltmålingene er vist i Figur 49. Den høyest målte verdien med dette instrumentet var $0,13 \text{ mg}/\text{m}^3$.



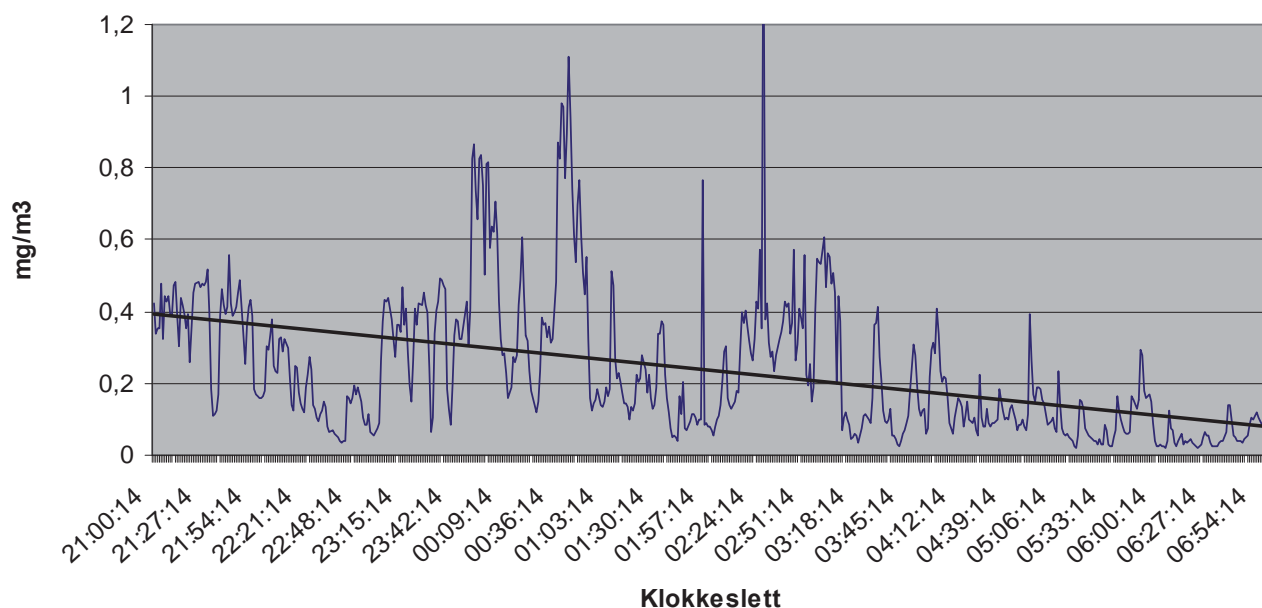
Figur 49 Stasjonære støvmålinger for 15 arbeidsskift

Det ble også gjort stasjonære støvmålinger på dagtid. Middelerverdier for tre målinger som strakk seg over 12 timer, fra kl 0700 til kl 1900 er vist i Figur 50.



Figur 50 Stasjonære støvmålinger - dagtid

Ved fresing av asfalt ble det gjort stasjonære støvmålinger i nøyaktig samme periode (kl 2100 – kl 0700) i 4 påfølgende arbeidsskift (21. – 25. november 2011). Middelerdien av de målte støvkonsentrasjonene som funksjon av klokkeslett er vist i Figur 51. Her er det også lagt inn en lineær trendlinje.



Figur 51 Gjennomsnittlig støvmengde og trendlinje for 4 påfølgende arbeidsøkter

Diskusjon

Ettersom måleinstrumentet pDR-1200 er kalibrert med ACFTD og ikke med de partiklene og det støvet som er i Freifjordtunnelen, er de målte konsentrasjonene beheftet med viss grad av usikkerhet. Til tross for dette kan bruken av slike målinger være et godt supplement til ordinære personrelaterte målinger.

De målte verdiene er lave, og selv om forskjellene ikke er store, synes det som om de høyeste verdiene forekom relativt tidlig i arbeidsskiftene. Dette var også en periode med større trafikkbelastning enn senere på natta, og det er derfor rimelig å anta at kolonnekjøringen gjennom tunnelen har bidratt vesentlig til de målte støvmengdene.

Det forhold at gjennomsnittsverdiene over arbeidsskiftene målt med denne metoden ligger så lavt som $0,05 \text{ mg/m}^3$, kan muligens forklares med at instrumentet ble satt opp til å måle torakal støvfraksjon. Sammenligninger med personbårne målinger av denne fraksjonen (se Tabell 9 og Figur 36) viser tallverdier for stasjonære målinger på ca 1/3 av personbårne målinger, men det må igjen påpekes at tallverdiene målt med pDR-1200 er usikre.

Sammenlignes Figur 49 med Figur 50 synes det som om nivået av torakalt støv i tunnelen er dobbelt så høyt på dagtid som på natta. Dette skyldes ganske sikkert at det var større trafikk på dagtid kombinert med at trafikken passerte kontinuerlig og ikke i kolonner.

En analyse av måledata fra asfaltfresing viser at de data som danner grunnlaget for kurven i Figur 51 er relativt varierende. Den målte støvmengden mellom kl 2100 og kl 2200 den 23. november er eksempelvis tre ganger så høy som de andre dagene og mer enn dobbelt så høy som gjennomsnittet for de fire dagene. Dette kan ikke forklares ut fra trafikkmengden ettersom det passerte samme antall kjøretøyer i kolonnene i det aktuelle tidsrommet den 23. november som både den 22. og 24. november. Heller ikke klimaparametrene gir noen forklaring på dette forholdet eller noen av de andre variasjonene i figuren.

Selv om de målte verdiene totalt sett ikke viser noe entydig og klart bilde, er det gjennomgående at de høyeste verdiene om natta ble målt fram til midnatt, og at gjennomsnittskonsentrasjonen sank mot arbeidsslutt om morgenen.

Biologisk tilgjengelighet av elementer i støvet

I forbindelse med gjennomføring av dette prosjektet ble det etablert kontakt med stipendiat Hanne Weggeberg og professor Trond Peder Flaten ved Kjemisk institutt, NTNU.

Foranledningen til dette var et doktorgradsarbeid stipendiat Weggeberg ønsker å gjennomføre med bakgrunn i de støvprøvene som Arbeidsmedisinsk avdeling tok i tunnelen. Etter at støvprøvene var ferdig analysert ved STAMI, ble de derfor oversendt Kjemisk institutt, NTNU for videre analyse med henblikk på metallinnhold. Prøvene var fullstendig anonymisert, idet ingen persondata ble oppgitt.

En oppsummering av Hanne Weggebergs arbeid og foreløpige resultater er gitt i vedlegg 3. Resultatene er ikke diskutert videre i denne rapporten.

Støv og partikler – hovedkonklusjoner

- En sammenligning av mengden inhalerbare, torakale og respirable partikler synes å indikere at andelen av grovstøv i Freifjordtunnelen var relativt høy. Dette understøttes også av resultatene fra de stasjonære målingene.
- Ingen av de definerte arbeidsoperasjonene viste gjennomsnittseksposeringer for inhalerbar støvfraksjon eller totalstøv over gjeldende norm for totalstøv. Det generelle bildet, unntatt for asfaltfresing og asfaltering, er at eksponeringsnivået var lavt.
- Alle målinger av torakalt støv viste svært lave verdier. Ingen norm fins for torakal fraksjon, men sammenligninger med norm for respirabelt støv viser verdier omkring 5 % av denne normen.
- Alle målinger av respirabelt støv for alle arbeidsoperasjoner viste verdier som var langt under norm. Verken administrativ norm eller norm justert for lang arbeidstid ble overskredet i noen av de personbårne prøvene. Det lave nivået av respirabelt støv i tunnelen ble også dokumentert ved hjelp av de stasjonære prøvene
- Administrativ norm for α -kvarts i respirabelt støv ble overskredet i forbindelse med fresing av gammelt asfaltdekke. Kilden til dette er tilsatsmaterialet i asfalten. Ellers ble det målt en del α -kvarts ved boring, men middelverdien var ikke høyere enn 20 % av norm.
- Alle målinger av dieselpartikler lå godt innenfor det som Arbeidstilsynet har foreslått som administrativ norm, og de er ingen grunn til å anta at eksponering for dieselpartikler har representert noen helsefare.
- Målinger av oljetåke og oljedamp viser nivåer godt innenfor de administrative normene.
- Målinger av PAH, både gassfase og partikulær fase, viste lave verdier.
- Målinger av ultrafine partikler viste at det arbeidet som ble utført og bruken av maskiner og utstyr var hovedkilden til eksponering for ultrafine partikler. Av de målte arbeidsoperasjoner viste vertikal sveising av PVC-duk de høyeste verdiene.

Yrkeshygienisk del – Hovedkonklusjoner

- De gjennomførte støymålingene viser at alle tunnelarbeiderne har vært eksponert for til dels høye støynivåer.
- Eksponeringen for nitrogendioksid og karbonmonoksid har for de aller fleste målingene vist verdier innenfor de administrative normene, men eksponeringene har vært preget av lave gjennomsnittsverdier kombinert med kortvarige, til dels høye toppverdier.
- Med noen få unntak viser støvmålingene og analysene av respirabel α -kvarts verdier godt under de administrative normene, også når det tas hensyn til den forlengede arbeidstiden.
- Målinger av dieselpartikler, oljetåke, oljedamp og PAH viser lave verdier.
- Asfaltfresing og asfaltering i tillegg til boring synes å være de arbeidsoperasjoner som generelt har gitt de høyeste eksponeringene for gass og støv.

Arbeidsmedisinske undersøkelser

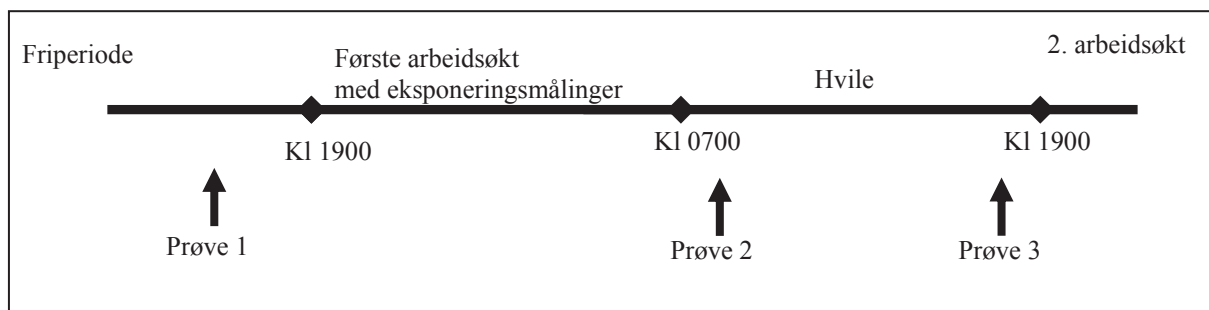
Innledning

Det finnes flere tidligere undersøkelser som har vist at tunnelarbeidere kan ha arbeidsrelaterte effekter på luftveiene. Dette gjelder særlig ved driving av tunnel, mens helseeffekter ved tunnelvedlikehold er mindre undersøkt. For å forsøke å undersøke dette nærmere var det derfor ønskelig å ha et helseovervåkingsprogram for de ansatte i anleggsperioden. Alle de 70 mennene som arbeidet på anlegget ble omfattet av overvåkingsprogrammet. Det ble tidlig bestemt at helseovervåkingen skulle omfatte en startundersøkelse, en "cross-shift" undersøkelse før og etter et arbeidsskift i løpet av anleggsperioden, og en undersøkelse så nær som mulig opp mot det tidspunktet da den enkelte deltakeren skulle slutte på anlegget.

Hensikten med helseovervåkingen var å finne ut om det kan oppstå arbeidsrelaterte reaksjoner eller helseeffekter på kort (skift) eller lengre (anleggsperioden) sikt.

Undersøkelsesgruppe og metoder

Det var til sammen 70 menn som fra starten inngikk i helseovervåkingen. Denne besto av en startundersøkelse snarest mulig etter at vedkommende hadde begynt på anlegget, en undersøkelse av reaksjoner før og etter et skift ("cross-shift"), og en sluttundersøkelse. Startundersøkelsen, sluttundersøkelsen og første cross-shift-undersøkelse ble gjort på samme tid om ettermiddagen i timene før skiftstart. Andre cross-shift-undersøkelsene ble gjort om morgenen umiddelbart etter nattskiftet og tredje cross-shift-undersøkelse igjen om ettermiddagen i timene før neste skift. Tidslinjen ved de tre cross-shift-prøvene er skissert i Figur 52.



Figur 52 Tidslinje ved "cross-shift" prøvetaking

Det var målet at alle som hadde arbeidet mer enn tre måneder ved anlegget skulle ha en sluttundersøkelse.

Undersøkelsene på de ulike tidspunktene besto i besvarelse av et spørreskjema (se vedlegg 6 - 8), lungefunksjonsundersøkelser (spirometri), måling av nitrogenoksid i utåndingsluft (NO), måling av inflammasjonsmarkører i kondensert utåndingsluft (EBC) og blodprøver som ble analysert med henblikk på inflammasjonsmarkører. Tabell 17 viser hvor mange som deltok og fikk tatt de ulike prøvene ved henholdsvis start, cross-shift og slutt.

Tabell 17 Undersøkelser av 70 personer i perioden 2009-2010

	Antall som tok prøver ved de ulike tidspunktene				
	Ved start	Cross-shift			Ved slutt
		Prøve 1	Prøve 2	Prøve 3	
Spørreskjema	70	-	-	-	49
Lungefunksjonsundersøkelse	70	41	40	40	40
Måling av NO i utåndingsluft	69	40	39	35	40
Kondensert utåndingsluft	70	40	40	40	27
Blodprøver	66	37	36	35	36

For 10 personer ble undersøkelsene ved start sammenfallende med de første prøvene som ble tatt i forbindelse med cross-shift-undersøkelsen. Der det var naturlig, ble spørreskjemaet fulgt opp med en ny besvarelse ca. seks måneder etter den første besvarelsen. Det var 33 som besvarte spørreskjemaet ved denne oppfølgingen.

De arbeidsmedisinske undersøkelsene foregikk i perioden fra august 2009 til oktober 2010. Antall som deltok på de forskjellige undersøkelsene på ulike tidspunkt i prosjektperioden er angitt i Tabell 18. I perioden august 2009 til januar 2010 var det til sammen 59 personer som gjennomgikk startundersøkelse, mens det i perioden fra mars til august 2010 ble gjort alle typer undersøkelser av et mindre antall parallelt før sluttundersøkelsene av de siste 13 ble gjort i oktober 2010.

Tabell 18 Antall som deltok på undersøkelsene i løpet av anleggsperioden

Undersøkelse	Undersøkelsestidspunkt angitt som måned/år											Totalt
	8/09	10/09	12/09	1/10	3/10	4/10	5/10	6/10	8/10	9/10	10/10	
Start	22	12	12	13	3		3	1	4			70
Cross-shift					3	8	12	10	7			40
Spørreskjema oppfølging					7	11	5	5	2	3		33
Slutt					1	4	2	6	2		13	28

I Tabell 19 vises noen bakgrunnsdata for de 70 som var med i helseovervåkingen fra starten. Gjennomsnittsalderen var 40 år og det var 59 av de 70 som deltok i nattarbeid. Det var 56 % som var gifte eller samboende og 37 % som fortsatt røkte daglig.

Tabell 19 Bakgrunnsvariabler for de 70 som deltok i startundersøkelsen

Gjennomsnitt alder (standardavvik)		40 (11,8)
Deltagelse i nattarbeid		59
Sivilstatus	Gift/samboende	36
	Separert/skilt	7
	Enslig	26
	Mangler opplysninger	1
Røykevaner	Røyker daglig	26
	Tidligere røyker	17
	Aldri røyker	24
	Mangler opplysninger	3
Eget syn på alkoholbruk	For mye	2
	For lite	3
	Akkurat passe	64
	Mangler opplysninger	1

NCC Construction AS var hovedentreprenør for anlegget, Giertsen Tunnel AS monterte PVC-duk og KB Elektrotech A/S utførte de elektriske arbeidene.

Der det er naturlig, presenteres undersøkelsesresultatene etter arbeidsgiver. I Tabell 20 er fordelingen av deltakerne og noen bakgrunnsvariabler angitt i forhold til hvor de var ansatt. Gruppen "Andre" er fra arbeidsgivere som hver hadde mindre enn 10 ansatte på anlegget. Det framgår at de som arbeidet for NCC og "andre" var noe eldre enn de andre gruppene og at de som arbeidet for Giertsen og "andre" var de som røykte mest. For beskrivelse av de hovedsakelige arbeidsoppgaver som ble gjort av de ansatte i de enkelte firmaene vises det til andre deler av rapporten (side 23). I det følgende vil en del av analyseresultatene bli presentert i forhold til hvilken arbeidsgiver deltakerne hadde. Av dette kan man også i noen grad slutte en del om hvilke hovedarbeidsoppgaver de hadde.

Tabell 20 Bakgrunnsvariabler ved startundersøkelsene fordelt på arbeidsgiver

Firma	Antall ansatte	Prosent av alle	Alder		BMI*		Daglig røykere %
			AM	SD	AM	SD	
NCC	31	44,3	46	12,0	26,0	3,2	25,8
Giertsen Tunnel	17	24,3	33	6,0	27,3	4,0	52,9
KB Elektrotech	11	15,7	33	11,0	25,6	3,8	27,3
Andre	11	15,7	40	9,9	27,9	3,2	54,5
Total	70	100,0	40	11,8	26,6	3,5	37,1

* Kroppsmasseindeks (Body mass index) som er kroppsvekt (i kilo) delt på kvadratet av høyden (i meter) (vekt/høyde²)

Undersøkelser og analyser

For helseovervåkingen av arbeiderne i Freifjordtunnelen var det ønskelig å bruke metoder som kunne gjøres på stedet og som innebar minst mulig ubehag eller risiko for deltakerne. Noen slike metoder er lungefunksjonsundersøkelse (spirometri), måling av nitrogenoksid i utåndingsluft (NO), og måling av inflammasjonsmarkører i blod og kondensert utåndingsluft (EBC). Slike prøver ble tatt av deltakerne ved flere tilfeller som beskrevet for de enkelte undersøkelsene.

I tillegg besvarte alle aktuelle deltakere spørreskjemaer om bakgrunn og helseforhold på ulike tidspunkt (se vedlegg 6 - 8). Spørsmålene om luftveissymptomer som ble gjentatt ved de tre undersøkelsestilfellene var basert på et mye brukt standardisert skjema (British Medical Research Council) for undersøkelse av kronisk bronkitt. Disse skjemaene inkluderte også spørsmål vedrørende nattarbeid.

Spirometri

Det er kjent at eksponering for støv og gass i høye konsentrasjoner eller over lang tid kan medføre endringer i lungefunksjon. Spirometri er en undersøkelse av lungefunksjon og brukes primært til diagnostisering av kronisk, obstruktiv lungesykdom (KOLS) og astma. Et spirometer består i praksis av en målesonde koplet opp til en PC. Den personen som skal testes trekker pusten så mye han klarer og blåser deretter så hardt og så lenge som mulig gjennom målesonden. Undersøkelsen gjøres tre ganger med kort tids mellomrom og beste resultat loggføres. Ved undersøkelsen måles både luftstrøm og volum i lungene og luftveiene. Undersøkelsen ble gjort i sittende stilling med bruk av nesklype etter internasjonalt standardiserte kriterier.

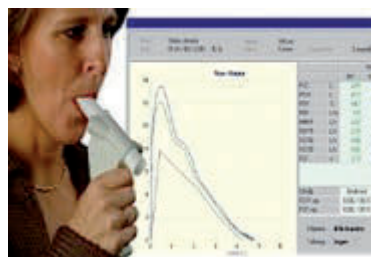
Følgende lungefunksjonsparametere ble undersøkt:

- FVC (forsert vitalkapasitet): Det volumet som deltakeren klarer å puste ut gjennom en utånding etter maksimal innånding (måles i liter).
- FEV1 (forsert ekspiratorisk volum i 1 sekund): Det volumet som deltakeren klarer å puste ut i løpet av det første sekundet av en utånding etter maksimal innånding (måles i liter).
- FEV1%: Hvor stor del FEV1 utgjør av FVC (angis i %).
- PEF: (Topp luftstrømshastighet): Den maksimale luftstrømshastigheten i løpet av en utånding etter maksimal innånding (måles i liter/minutt).
- MMEF: (Midtre luftstrøm ved utånding): Den gjennomsnittlige luftstrømshastigheten i løpet av en utånding etter maksimal innånding (måles i liter/sekund).
- FEF25: Luftstrømshastighet når en fjerdedel av lungevolumet er pustet ut (måles i liter/sekund).
- FEF50: Luftstrømshastighet når halvparten av lungevolumet er pustet ut (måles i liter/sekund).
- FEF75: Luftstrømshastighet når tre fjerdedeler av lungevolumet er pustet ut. (måles i liter/sekund).
- FET: Utåndingstid: Den tiden det tar å tømme lungene helt etter en maksimal innånding (måles i sekunder).

Ventede verdier for FVC og FEV1 ble regnet ut etter høyde og alder sammenlignet med normalverdier for menn fra Oslo-området som var uten luftveissymptomer (Gulsvik).

Metode

Måling av lungefunksjon er gjort ved hjelp av sensoren Spirare SPS310 med tilhørende programvare Spirare 3 (Diagnostics AS, Oslo), og etter standardiserte kriterier (ATS/ERS).



Figur 53 Spirometrisk undersøkelse

Utåndingsluft (NO og EBC)

Det har siden begynnelsen av 1990-tallet vært kjent at nitrogenoksid (NO) i svært små konsentrasjoner kan produseres i bronkiens epitelceller. Denne egenproduksjonen av NO stimuleres av betennelsesprosesser i luftveiene. I løpet av de siste 20 år er det publisert et stort antall artikler som bekrefter den kliniske verdien som måling av NO utåndingsluft har, og dette er nå betraktet som "gullstandard" for å måle graden av betennelse og hvordan astmatikere reagerer på medisinering.

På samme måte som astmapasienter reagerer på spesielle stoffer i lufta, kan man også i yrkesmessig sammenheng reagere på de forurensninger som forekommer i arbeidsatmosfæren, og vi har i dette prosjektet ønsket å undersøke hvorvidt det hos tunnelarbeiderne kan påvises økninger i endogen NO som tegn på betennelsesprosesser både på kort og lang sikt. Slike undersøkelser har også tidligere vært gjort i forbindelse med forurensede arbeidsmiljøer.

Økt forekomst av inflammasjonsmarkører i luftveienes epitelceller kan også måles på direkte vis ved at konsentrasjonen i kondensert utåndingsluft (exhaled breath condensate, EBC) måles. På samme vis som for NO-måling er dette en metode som ikke medfører noe ubehag for de personer som avgir prøve.

Metode, NO

Måling av NO i utåndingsluft ble gjort ved hjelp av en enkel metode hvor deltakerne i løpet av 5-10 sekunder blåste luft gjennom et analyseinstrument som inneholder en sensor for NO.



Figur 54 Måling av NO

Instrumentet, NioxMino (Aerocrine AB, Solna, Sverige) med tilhørende sensor, har en nedre deteksjonsgrense på 5 ppb⁷ NO i utåndingsluft. Ved hver prøve ble det blåst 2 ganger og gjennomsnittsverdien er benyttet i de videre analysene. Deltakerne blåste i apparatet i sittende stilling. Denne metoden for måling av endogen NO er standardisert med basis i internasjonal konsensus.

Metode, EBC

Kondensert utåndingsluft ble produsert ved at arbeidstakerne med bruk av neseklype i ca. 15 minutter pustet normalt gjennom et ventilsystem der utåndingsluften ble nedkjølt slik at det

⁷ ppb = parts pr billion, tilsvarende 0,001 ppm

ble dannet et kondensat. I forkant av oppsamlingsperioden ble det foretatt munnskylling slik at kondensatet inneholdt minst mulig spytt. Kondensatet ble samlet opp i plastkolber og deretter pipettert over i små beholdere som ble nedfrosset til $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ inntil analyse ble gjort ved NTNU. For å hindre utsiving av stoffer fra plasten til kondensatet ble kolbene og beholderne på forhånd preparert med en standard løsning som inneholdt det overflateaktive stoffet Tween 20 i tillegg til serum fra storfe. Dette er en anerkjent metode for å beskytte slike prøver fra forurensning. Til kondensering og oppsamling av pusteluft ble det benyttet kjøleenheten og ventilsystemet "ECoScreen", produsert av Erich Jaeger GmbH, Tyskland.

Konsentrasjonene av inflammasjonsmarkører ble målt ved laboratoriet ved Institutt for kreftforskning og molekylærmedisin, NTNU ved hjelp av Bio-plex 200 system (Multiplex Luminex X-map Technology), (Bio-Rad Laboratories AB, Oslo). For analysene ble det valgt å bruke et 17-plex panel (M50-00031YV). Ved hjelp av dette kan konsentrasjonen av 17 ulike inflammasjonsmarkører bestemmes samtidig. De viktigste av disse er beskrevet kort i Tabell 21. Konsentrasjonene av disse markørene angis vanligvis i picogram⁸/milliliter (pg/ml).



Figur 55 Oppsamling av pusteluftkondensat (EBC)

⁸ Picogram = 10^{-12} gram

Tabell 21 Beskrivelse av relevante inflammasjonsmarkører

Markør	Beskrivelse
IL-1 β	Dette cytokinet produseres av aktiverte makrofager som et proprotein. Det er en viktig mediator i inflammasjonsprosessen, og er involvert i en rekke cellulære aktiviteter.
IL-6	IL-6 er et interleukin som opptrer både som et pro-inflammatorisk og et anti-inflammatorisk cytokin. Det produseres av T-celler og makrofager for å stimulere immunresponsen ved vevsskader. IL-6 produseres også i muskler og øker ved muskelsammentrekninger. Det øker signifikant ved fysisk trening og kan påvises tidligere enn andre cytokiner.
IL-8	Interleukin-8 er ofte assosiert med ulike inflammasjoner. Det har eksempelvis vært nevnt som pro-inflammatorisk mediator ved betennelser. Produksjonen av IL-8 økes ved oksidativt stress. IL-8 har en nøkkelrolle ved <i>lokaliserte</i> inflammasjoner.
IL-10	Dette cytokinet dannes primært av monocytter. Det har effekter ved immunoregulering og ved inflammasjoner.
IL-12	Interleukin 12 er et cytokin som produseres av makrofager. Det er et viktig signalmolekyl i immunforsvaret.
IL-13	IL-13 produseres av mange celletyper, men spesielt av Th2-celler som er en mediator ved allergisk inflammasjon.
IL-17	IL-17 er en gruppe pro-inflammatoriske cytokiner som spiller en spesiell rolle hos astmatikere
MIP-1 β	Makrofag-inflammatorisk protein(MIP)1 β (også kalt CCL4) er viktig for immunresponsen ved infeksjoner og inflammasjoner.
GM-CSF	GM-CSF(Granulocyte-macrophage colony-stimulating factor) er et cytokin som fungerer som vekstfaktor for hvite blodceller.
TNF- α	TNF- α (Tumor nekrose faktor-alpha) er et cytokin involvert i <i>systemisk</i> inflammasjon og tilhører en gruppe cytokiner som stimulerer akutfasereaksjonene.

Blodprøver

Følgende blodprøver ble analysert etter standard metoder ved Avdeling for klinisk biokjemi ved St. Olavs Hospital:

- HCRP: High sensitivity CRP (C-reaktivt protein) som er et uttrykk for generell grad av inflammasjonsreaksjoner i kroppen.
- Fibrinogen: Et akutfaseprotein som bl.a. dannes i økt grad ved inflammasjonsreaksjoner og som er med på å bestemme blodets levringssevne.
- D-dimer: Et proteinforment som er uttrykk for mengde nedbrutt fibrinogen i kroppen og som bl.a. øker hvis inflammasjonsprosesser får stå over noe lengre tid.

Konsentrasjonene av øvrige inflammasjonsmarkører i blod ble analysert ved laboratoriet ved Institutt for kreftforskning og molekylærmedisin, NTNU.

Resultater

Resultatene fra de arbeidsmedisinske undersøkelsene presenteres først som bakgrunnsinformasjon som ble samlet inn ved startundersøkelsene, så resultater målt ved start og slutt av anleggsperioden og til sist resultater målt ved cross-shift-undersøkelsene.

Statistikk

Alle helsedata ble samlet og analysert i statistikkprogrammet IBM SPSS, versjon 15 (SPSS Norway AS). Det ble for denne delen av rapporten kun brukt enkle statistiske analyser som chi-kvadrat statistikk, student-t-test og Wilcoxon signed rank test. Når det er angitt at p-verdi for en målt forskjell er mindre enn 0,05 så betyr det at det er mindre enn 5 % sannsynlighet for at den observerte forskjellen kan ha oppstått ved en tilfeldighet. Det er da man gjerne snakker om statistisk signifikante forskjeller (på 5 % nivå).

Undersøkelser ved start

I spørreskjemaet ved startundersøkelsen ble det spurt om samlet antall år i arbeid og antall år i forurenset arbeid før det aktuelle prosjektet. Tabell 22 viser tall for dette sammen med angivelser av en del spesifikke arbeidsforhold som deltakerne oppga at de tidligere hadde deltatt i. Det var 62 av de 70 som hadde vært i forurenset arbeid tidligere, 55 og 59 med henholdsvis tunneldriving og vedlikehold, og 55 som oppga å ha vært med på tidligere gruvearbeid.

Tabell 22 Oppgitt antall år i arbeid og i forurenset arbeid ved startundersøkelsen

	Antall besvart	Middelerverdi antall år	SD	Maksimalt antall år
Antall år til sammen i arbeid	70	20,9	12,7	45
Antall år i forurenset arbeid	62	12,6	12,0	45
Antall år med tunneldriving	55	8,6	12,7	40
Antall år med tunnelvedlikehold	59	2,1	3,3	12
Antall år med gruvearbeid	55	0,6	3,8	28
Antall år med sveising	29	1,4	2,6	11
Antall år med organisk støv	22	3,2	7,7	40
Antall år med steinstøv	36	5,1	9,5	40
Antall år med metallstøv	14	0,4	1,5	10
Antall år med annet støv	19	2,0	4,9	26
Antall år med irriterende gasser	15	2,7	7,8	40
Antall år med oljetåke	17	2,1	6,9	40
Antall år med annen luftveispåvirkning	6	0,0	0,3	2

Spirometri og lungefunksjon

Som et utgangspunkt sammenlignet vi ved start resultatene av spirometriundersøkelsene med ventede verdier (Gulsvik) for de parametrene der slike finnes.

Tabell 23 viser målte og ventede verdier for FVC, FEV1 og FEV1% ved startundersøkelsen for de 70 som deltok ved denne.

Tabell 23 Målte og forventede spirometriverdier ved startundersøkelsen

Test	Gruppe	n	Målt		Ventet	
			middelerverdi	SD	middelerverdi	SD
FVC	NCC	31	4,95	0,74	5,35	0,57
	Giertsen Tunnel	17	5,15	0,62	5,75	0,82
	KB Elektrotech	11	5,4	0,74	5,79	0,59
	Andre	11	4,55	1,42	5,21	0,70
	Alle	70	5,01	0,91	5,50	0,63

FEV1	NCC	31	3,93	0,67	4,36	0,52
	Giertsen Tunnel	17	4,18	0,68	4,79	0,50
	KB Elektrotech	11	4,39	0,80	4,83	0,52
	Andre	11	3,71	1,10	4,31	0,58
	Alle	70	4,03	0,78	4,53	0,56
FEV%	NCC	31	79,3	6,00	80,70	2,20
	Giertsen Tunnel	17	81,28	6,11	83,11	1,09
	KB Elektrotech	11	81,03	7,66	83,16	2,02
	Andre	11	81,34	5,72	81,85	1,80
	Alle	70	80,37	6,19	81,87	2,15

Alle forskjellene i gjennomsnitt mellom målt og ventet var statistisk signifikante med $p < 0,01$ med student-T one-sample test

For alle de tre parametrene lå de målte verdiene statistisk signifikant lavere enn de forventede verdiene. I denne forbindelsen forsøkte vi også ved hjelp av en statistisk metode kalt lineær regresjon å se om det var sammenheng mellom oppgitt antall år med tunneldriving eller oppgitt antall år med forurenset arbeid og grad av nedsatt FVC eller FEV1 uten at noen slik sammenheng var statistisk signifikant.

Undersøkelser ved start og slutt

I det følgende har vi undersøkt utviklingen i løpet av anleggsperioden ved målte parametere og noen spørreskjemasvar om symptomer ved startundersøkelsen og sluttundersøkelsen. I Tabell 24 viser varigheten av oppfølgingstiden fra startundersøkelsen til sluttundersøkelsen for de 40 som deltok på sluttundersøkelsen i forhold til arbeidsgiver. Den korteste oppfølgingstiden var 19 uker og den lengste 66 uker. Som det framgår var det bare to fra firmaet KB Elektrotech A/S som hadde både start- og sluttundersøkelse. I de videre analysene av utviklingen fra start til slutt er de derfor slått sammen med "Andre".

Tabell 24 Varigheten av oppfølgingstiden fra startundersøkelsen til sluttundersøkelsen

Firma	Antall	Middelerverdi oppfølging (uker)	SD	Min. – maks.
NCC	22	40,7	11,2	19 – 60
Giertsen Tunnel	11	41,9	2,7	36 – 44
KB Elektrotech	2	43,0	32,5	20 – 66
Andre	5	36,2	5,8	32 – 44
Alle	40	40,6	10,2	19 – 66

Spirometri og lungefunksjon

Tabell 25 viser utviklingen i gjennomsnittet for de målte lungefunksjonsparametrene fra start til slutt. Alle de 40 som hadde sluttundersøkelse var blant de 70 som også hadde startundersøkelse. Når vi ser på "alle" var det statistisk signifikant nedgang for FEV1, MMEF og FEF50. Gjennomsnittlig fall i FEV1 i oppfølgingstiden var 82,2 ml fra start til slutt, mens maksimalt fall var 560 ml. Her er det viktig å være klar over at slike målinger hos enkeltpersoner kan variere ganske mye fra gang til gang avhengig av teknikk, dagsform og andre forhold. Således var det også flere av de undersøkte som hadde økning i sine FEV1 verdier fra startundersøkelsen til sluttundersøkelsen, den med mest faktisk på 940 ml.

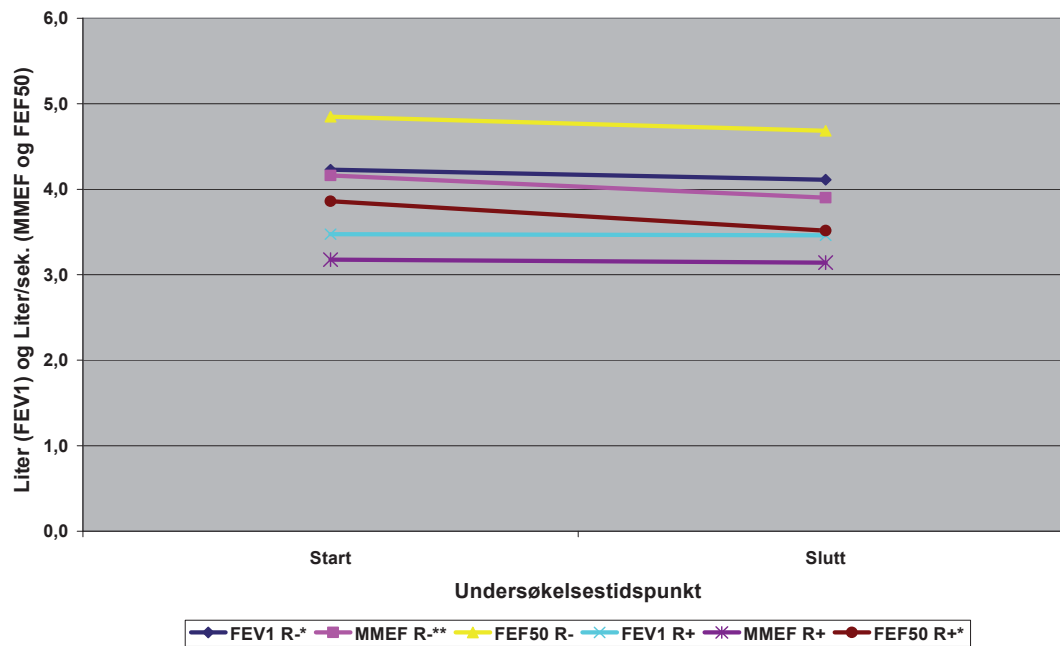
Tabell 25 Spirometriverdier ved start og slutt for deltakerne

Test	Firma	Antall tester	Start		Slutt		SD
			Gjennomsnitt	SD	Antall tester	Gjennomsnitt	
FVC liter	NCC	31	4,9	0,7	23	4,8	0,9
	Giertsen	17	5,1	0,8	11	5,3	0,7
	Andre	22	4,4	1,9	6	4,4	1,5
	Alle	70	5,0	0,9	40	4,9	1,0
FEV1 liter	NCC	31	3,9	0,7	23	3,8*	0,8
	Giertsen	17	4,2	0,7	11	4,3	0,5
	Andre	22	3,6	1,5	6	3,3	1,0
	Alle	70	4,0	0,8	40	3,9*	0,8
FEV%	NCC	31	79,3	6,0	23	78,1	5,2
	Giertsen	17	81,3	6,1	11	82,2	4,8
	Andre	22	80,8	7,8	6	81,8	6,4
	Alle	70	80,4	6,2	40	79,8	5,5
PEF liter/min.	NCC	31	580	87	23	572	95
	Giertsen	17	565	120	11	610	92
	Andre	22	434	211	6	499	146
	Alle	70	564	125	40	572	106
MMEF liter/sek.	NCC	31	3,7	1,2	23	3,5	1,2
	Giertsen	17	4,1	1,0	11	4,2	0,8
	Andre	22	3,7	1,5	6	3,4	0,9
	Alle	70	3,8	1,2	40	3,7**	1,1
FEF25 liter/sek.	NCC	31	7,8	1,7	23	7,5	1,6
	Giertsen	17	7,6	1,6	11	7,6	1,9
	Andre	22	6,0	3,1	6	7,3	2,1
	Alle	70	7,6	1,9	40	7,5	1,7
FEF50 liter/sek.	NCC	31	4,4	1,3	23	4,2	1,4
	Giertsen	17	5,0	1,0	11	4,7*	0,9
	Andre	22	4,5	1,8	6	3,9	1,1
	Alle	70	4,5	1,4	40	4,3**	1,2
FEF75 liter/sek.	NCC	31	1,7	0,8	23	1,5	0,7
	Giertsen	17	2,1	0,8	11	2,3	0,6
	Andre	22	1,8	0,8	6	1,7	1,2
	Alle	70	1,8	0,8	40	1,7	0,8
FET sekunder	NCC	31	5,8	2,3	23	6,1	1,9
	Giertsen	17	5,4	1,8	11	4,8	1,9
	Andre	22	4,6	1,9	6	5,0	2,3
	Alle	70	5,7	2,1	40	5,6	2,0

* p<0,05, ** p<0,01 med Wilcoxon signed rank test.

For de lungefunksjonsparametrene som viste statistisk signifikant nedgang ønsket vi også å se hvordan denne nedgangen var relatert til røykevaner. Figur 56 viser utviklingen av FEV1, MMEF og FEF50 fra start til slutt i forhold til røykevaner. Vi ser at røykerne hadde lavere verdier både ved start og slutt, men at nedgangen var rimelig lik for begge grupper. FEV1 og MMEF hos røykerne er de parametrene som er mest stabile. Ikke-røykerne hadde størst gjennomsnittlig nedgang i FEV1 med 0,12 liter og for MMEF med 0,26 liter/sek. Røykerne hadde størst nedgang i FEF50 med 0,34 liter/sek. For ikke-røykerne er både nedgangen i

FEV1 og MMEF statistisk signifikante, mens det for røykerne bare er FEF50 som har statistisk signifikant nedgang.



Figur 56 Endring i utvalgte lungefunksjonsparametre mellom start- og sluttundersøkelsen

Det var ni personer som besvarte sluttskjemaet, men som ikke deltok på noen sluttundersøkelse. Tabell 26 angir hvor stor andel av deltakerne som ved henholdsvis start og slutt oppga ulike former for luftveissymptomer i spørreskjemaene. Alle som svarte ved slutt hadde også besvart skjemaet ved start. Når deltakeren hadde svart ”ja” eller ”vet ikke” på spørsmål om han hadde symptomet ble det regnet som at han hadde det. Statistisk signifikantesting av eventuelle forskjeller mellom de to tidspunktene ble bare gjort for gruppen ”Alle”. Mens det for symptomet ”plaget med hoste” var en markant, men ikke statistisk signifikant, nedgang mellom de to undersøkelsestidspunktene, var det for symptomene ”plaget med tungpust”, ”tungpust i motbakker” og ”anfall med tung pust” en statistisk signifikant økning i forekomsten når alle ble sett under ett.

Tabell 26 Andel med oppgitte luftveissymptomer ved start og slutt

Symptom	Firma	Ved start		Ved slutt	
		Antall svar	Andel med symptom (%)	Antall svar	Andel med symptom (%)
Plaget med hoste	NCC	31	3,2	26	3,8
	Giertsen Tunnel	17	11,8	14	7,1
	Andre	21	23,8	8	0
	Alle	69	11,6	48	4,2
Plaget med tungpust	NCC	30	13,3	26	15,4
	Giertsen Tunnel	17	11,8	14	28,6
	Andre	21	19,0	8	0
	Alle	68	14,7	48	16,7*
Tungpust i motbakker	NCC	31	25,8	27	37,0
	Giertsen Tunnel	17	29,4	14	42,9
	Andre	22	18,2	8	25,0
	Alle	70	24,3	49	36,7**
Anfall med tung pust	NCC	31	12,9	26	15,4
	Giertsen Tunnel	16	6,3	14	14,3
	Andre	22	13,6	8	0
	Alle	69	11,6	48	12,5**
Andre luftveisplager	NCC	31	9,7	27	0
	Giertsen Tunnel	17	11,8	14	28,6
	Andre	22	9,1	8	0
	Alle	70	10,0	49	8,2

Signifikanstesting med Fishers eksakt test fortatt bare for "Alle": *p<0,05 ** p<0,01

Ut fra svarene på spørreskjemaene ble alle som hadde oppgitt å ha høyt blodtrykk, gjennomgått hjerteinfarkt, hjertesvikt, hjertekrampe og/eller hjerterytmeforstyrrelse ansett å ha hjerte-karsykdom. De som ved lungefunksjonsundersøkelsen hadde FEV% under 70 ble i denne sammenheng ansett å ha KOLS grad 1. For KOLS grad 2 kreves det at man i tillegg har FEV1 under 80 % av ventet. Det var det ingen som hadde.

I Tabell 27 vises andel som ble ansett å ha henholdsvis hjerte-karsykdom og KOLS grad 1 ved start- og sluttundersøkelsene.

Tabell 27 Hjerte-karsykdommer og KOLS ved start og slutt etter arbeidsgiver

		Ved start	Ved slutt
		Antall svar/prøver Andel med sykdom	Antall svar Andel med sykdom
Hjerte-karsykdom	NCC	31 9,7 %	27 7,4 %
	Giertsen Tunnel	17 5,9 %	14 0
	Andre	22 22,7 %	8 12,5 %
	Alle	70 12,9 %	49 6,1 %
KOLS	NCC	31 3,2 %	23 4,3 %
	Giertsen Tunnel	17 5,9 %	11 0
	Andre	22 9,1 %	6 0
	Alle	70 5,7 %	40 2,5 %

OBS at det var svært få i hver kategori.

Inflammasjonsmarkører i blod og utåndingsluft

Tabell 28 viser verdier for inflammasjonsmarkører i blod og utåndingsluft tatt om ettermiddagen før skift ved start- og sluttundersøkelsen. Alle som deltok på sluttundersøkelsen hadde også vært med ved start. Ved startundersøkelsen var det fire personer der NO ikke lot seg detektere ved noen av de to undersøkelsene og ved sluttundersøkelsen var det tre. Deres verdier ble da satt til 2 ppb som er halvparten av oppgitt deteksjonsgrense. For D-dimer i blod var det en statistisk signifikant nedgang mellom start og slutt, mens det for, IL4-7, IL17 og IFN γ var en statistisk signifikant økning. For de andre markørene i blod og NO var det ikke statistisk signifikante forskjeller. For de inflammasjonsmarkørene i kondensert utåndingsluft (EBC) som lot seg analysere, var det også flere verdier som viste seg å være under deteksjonsgrensen for analysemetoden. Der det ikke var for mange, satte vi da inn den lavest målte verdien delt på to. Selv om det var til dels markante økninger i inflammasjonsmarkører, var det ingen av de observerte økningene som var statistisk signifikante.

Tabell 28 Inflammasjonsmarkører før skift ved start- og sluttundersøkelsene

Medium	Prøve	Antall	Ved start		Antall	Ved slutt	
			Gjennomsnitt	SD		Gjennomsnitt	SD
Blod	HCRP (mg/l)	66	1,9	1,9	36	2,8	6,8
	Fibrinogen (mg/ml)	65	3,0	0,6	36	3,1	1,0
	D-dimer (mg/ml)	65	0,4	0,3	36	0,1**	0,2
	IL-4 (§)	56	0,3	0,8	41	0,7**	0,9
	IL-5 (§)	56	0,9	3,3	40	1,2*	3,0
	IL-6 (§)	56	3,2	9,5	39	4,0*	9,5
	IL-7 (§)	56	6,7	3,9	40	9,2*	5,7
	IL-8 (§)	56	6,4	3,5	40	6,9	3,1
	IL-12 (§)	56	6,6	15,8	41	4,5	8,2
	IL-13 (§)	53	1,3	3,0	39	1,4	2,9
	IL-17 (§)	56	7,9	32,9	41	4,5*	7,6
	GCFS (§)	56	3,3	4,4	41	4,4	4,3
	IFN γ (§)	56	27,7	113,8	39	40,6*	115,2
	MCAF (§)	57	34,0	20,5	40	34,0	20,1
MIP1 (§)	56	118,8	47,8	41	116,3	71,4	
Utåndingsluft	NO (ppb)	69	15,2	12,4	40	14,3	11,2
EBC	IL-1 β (§)	70	0,28	0,28	27	1,22	4,01
	IL-8 (§)	70	0,14	0,29	26	5,62	20,70
	IL-10 (§)	70	0,26	0,14	27	2,78	9,15
	MIP-1 β (§)	70	0,36	0,42	27	2,82	8,88
	GM-CSF (§)	69	14,34	2,85	26	25,16	39,92
	TNF- α (§)	70	0,51	0,80	27	17,07	58,26

* p < 0,05 ** p < 0,01 i forhold til startundersøkelsen, Wilcoxon signed rank test
§: verdier i picogram/milliliter

Cross-shift-undersøkelser

Cross-shift-undersøkelsene foregikk ved at det ble tatt prøver før skift etter en friperiode, og om morgenen og igjen før skift på den påfølgende dagen. En tidslinjeillustrasjon av disse undersøkelsene er vist i Figur 52 på side 78. Det ble tatt prøver av 40 personer i forbindelse med disse undersøkelsene.

Spirometri er en undersøkelse av lungefunksjon. Ved de arbeidsmedisinske undersøkelsene fant vi det formålstjenlig å undersøke om det kunne være endringer i lungefunksjonen på kort sikt.

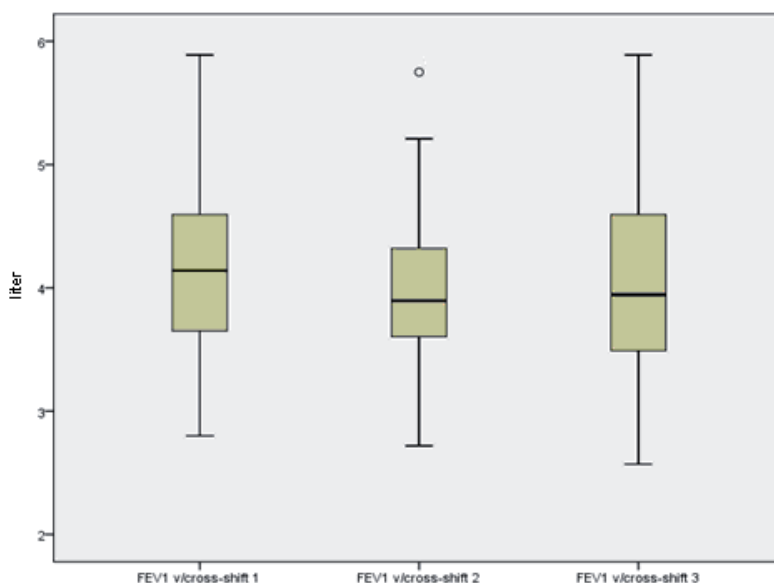
Tabell 29 viser resultater av disse undersøkelsene.

Tabell 29 Lungefunksjonsverdier hos 40 av deltakerne ved cross-shift-undersøkelse

Cross-shift-undersøkelser						
Spirometri	Første undersøkelse		Andre undersøkelse		Tredje undersøkelse	
	Gj.snitt målt	SD	Gj.snitt målt	SD	Gj.snitt målt	SD
FVC (liter)	5,14	0,76	5,04*	0,72	5,09**	0,77
FEV1 (liter)	4,12	0,67	3,95**	0,63	4,02*	0,71
FEV%	80,11	5,48	78,52**	5,82	78,93*	6,12
PEF (l/minutt)	597	108	560**	102	587	96
MMEF (l/sekund)	3,92	1,08	3,63**	1,09	3,72**	1,21
FEF 25 (l/sekund)	8,15	1,56	7,46**	1,68	7,65**	1,71
FEF 50 (l/sekund)	4,67	1,33	4,34*	1,29	4,44	1,35
FEF 75 (l/sekund)	1,82	0,72	1,71§	0,72	1,74§	0,77
FET (sekunder)	5,13	2,04	5,54	2,46	5,37	2,33

*p< 0,05 **p<0,01, § p = 0,055 med Wilcoxon signed rank test

Variasjonen i lungefunksjon før og etter skift kan også illustreres med Figur 57 som viser et box-plot over FEV1-verdier på de tre tidspunktene i cross-shift-undersøkelsene. Forklaring på denne typen dataillustrasjoner er gitt i forbindelse med Figur 20 på side 28.



Figur 57 Box-plot over FEV1-verdier ved cross-shift-undersøkelsene

Ved prøve to er det en verdi (utligger) som ligger så langt over de andre (5,75 liter) at den av programmet ikke ble tatt med i selve box-plotet, men er angitt separat. Endringene er som man ser, ikke dramatiske, men verdiene er altså statistisk signifikant forskjellige både mellom den første og den andre ($p < 0,01$) og mellom den første og den tredje undersøkelsen ($p < 0,05$). Tabell 30 viser inflammasjonsmarkører i blod, utåndingsluft og kondensert utåndingsluft (EBC) ved cross-shift. Siden det for en del av undersøkelsene var litt ulike antall som deltok på både den første prøven og den andre eller tredje prøven, er resultatene for noen av parametrene angitt på to forskjellige linjer.

Tabell 30 Inflammasjonsmarkører i blod og utåndingsluft ved cross-shift-undersøkelsene

Medium	Prøve	Antall par	Første undersøkelse		Andre undersøkelse		Tredje undersøkelse	
			Gj.snitt målt	SD	Gj.snitt målt	SD	Gj.snitt målt	SD
Blod	HCRP (mg/liter)	36	1,80	2,03	1,74	1,73		
		35	1,83	2,05			2,57**	2,77
	IL-6 (pg/ml)							
	Fibrinogen (mg/ml)	36	3,05	0,62	2,85**	0,64		
		35	3,04	0,63			3,03	0,67
	D-dimer (mg/ml)	36	0,05	0,13	0,06	0,14		
		35	0,05	0,14			0,06	0,15
	IL4 (§)	35	4,0	0,7	4,4	0,6		
		34	0,41	0,67			0,54**	0,71
	IL5 (§)	36	4,6	0,6	5,9**	0,6		
		35	0,47	0,57			0,61*	0,66
	IL6 (§)	35	2,3	3,6	4,1**	3,7		
		34	2,3	3,7			2,8**	3,6
	IL7 (§)	35	7,0	4,5	7,1	4,2		
		34	7,2	4,6			8,2	4,8
	IL8 (§)	35	6,0	2,9	6,9**	3,4		
		34	6,0	2,9			7,1**	4,3
	IL12 (§)	35	2,7	3,8	2,8	4,4		
		34	2,4	3,7			2,7	4,3
	IL13 (§)	33	0,9	2,3	0,9	1,8		
		32	0,9	2,3			1,1**	2,5
	IL17 (§)	35	1,8	3,9	1,3	2,3		
		34	1,9	3,9			2,5	3,7
GCFS (§)	35	3,6	5,1	4,2	4,1			
	34	3,7	5,2			4,4*	4,8	
IFN γ (§)	35	42,0	136,0	37,4	129,3			
	34	43,2	148,0			45,7	146,1	
MCAF (§)	35	26,4	14,2	45,5**	24,3			
	34	26,1	14,3			31,4**	17,0	
MIP1 (§)	35	105,0	44,0	106,2	44,2			
	34	106,4	43,9			110,6#	40,6	
Utåndings-	NO (ppb)	39	14,88	10,85	10,87**	8,44		

luft		35	15,56	11,27			13,47**	9,80
EBC (pg/ml)	IL-1 β (§)	40	0,32	0,93	0,31	0,62	1,04	5,51
	IL-8 (§)	40	0,09	0,13	0,42	2,08	0,56	2,07
	IL-10 (§)	40	0,25	0,10	0,42	1,08	0,27	0,10
	MIP-1 β (§)	40	0,32	0,35	0,63	1,79		
		39	0,33	0,35			0,44	0,52
	GM-CSF (§)	39	14,49	2,28	15,61	5,56	14,78	2,60
TNF- α (§)	40	0,34	0,29	1,76*	7,85			
	39	0,34	0,29			0,65**	0,74	

* p<0,05 ** p< 0,01 Wilcoxon signed rank test

p=0,05

§: Verdier i picogram/milliliter

Som det fremgår, var det flere av inflammasjonsmarkørene som viste statistisk signifikante økninger både mellom første og andre og mellom første og tredje prøve. For TNF- α i EBC og NO i utåndingsluft var det statistisk signifikante endringer mellom første og både andre og tredje undersøkelse.

Diskusjon

De arbeidsmedisinske undersøkelsene av de som arbeidet ved Freifjordanlegget fra 2009 til 2010 var først og fremst motivert ut fra ønsket om å finne ut om det kan oppstå arbeidsrelaterte reaksjoner eller helseeffekter på kort (skift) eller lengre (anleggsperioden) sikt. I noen tilfeller kunne det da være ønskelig med mer systematikk i arbeidet med bedre kontroll over når arbeiderne startet og sluttet og sov osv. Det er imidlertid alltid en utfordring med slike undersøkelser at de må tilpasses arbeidets gang. Slike forhold var nok med på å gjøre at oppfølgingstiden varierte og at antall deltakere ble redusert ved cross-shift-undersøkelsen og sluttundersøkelsen. Dette er problematisk i forhold til de statistiske analysene, siden få deltakere gjør at man ikke kan påvise forskjeller som egentlig er der (lav statistisk styrke). Noen av deltakerne hadde nok også ønsket seg en mer tradisjonell helseovervåkning med måling av blodtrykk og lignende, noe som ikke ble betraktet som formålstjenlig i den aktuelle sammenhengen.

Noen av analysene av inflammasjonsmarkører som ble gjort i blod og EBC må sies å være et pionerarbeid bl.a. ved at man har liten erfaring med å gjøre slike målinger i EBC der det er sparsomt med materiale og konsentrasjonene er ventet å være lave. Det viste seg at de fleste av de 17 markørene som inngikk i det valgte analysesettet for EBC hadde så mange verdier under deteksjonsgrensen at de ble umulige å bruke til å se på forskjeller mellom start og slutt eller cross-shift. På den annen side må vi si oss fornøyd med at vi fikk til å bruke flere blodverdier og i hvert fall noen verdier for EBC i våre sammenligninger. På litt sikt antas det at enkle (ikke-invasive) målinger av inflammasjonsmarkører i forbindelse med ulike eksponeringssituasjoner kan bli et viktig verktøy for å forebygge arbeidsrelaterte lungesykdommer.

De opplysningene som ble samlet inn og de undersøkelsene som ble gjort i starten, viste tydelig at de fleste av de som arbeidet på anlegget hadde med seg en lang arbeidshistorie med forskjellige påvirkninger da de startet. Det var 50 % av alle som oppga tidligere arbeid med tunneldriving, 54 % som oppga tunnelvedlikehold og til sammen 70 % som oppga mer enn fem år med forurenset arbeid generelt. Slike faktorer kan nok være med på å forklare bl.a. at det allerede ved startundersøkelsen ble påvist nedsatte verdier for lungefunksjon i forhold til vanlig brukte norske såkalte normalverdier. De normalverdiene som ble brukt har i en del

sammenhenger blitt sett på som noe høye. Ved senere publisering fra materialet det bli brukt andre og nyere normalverdier.

Forekomsten av luftveissymptomer er ikke sammenlignet med referanseverdier, men varierte ved start mellom 10 og 24,3 % og ved slutt mellom 4,2 og 36,7 % (Tabell 26). Her viste plager med tungpust, tungpust i motbakker og anfall med tung pust statistisk signifikante økninger med henholdsvis 2 %, 12,4 % og 0,9 %. Når det gjelder forekomsten av hjertekarsykdommer og KOLS (Tabell 27) så var denne i utgangspunktet lav med henholdsvis 12,9 og 5,7 % for alle sett under ett, mens forekomsten av begge sank ved sluttundersøkelsen. Begge deler er nok uttrykk for seleksjonsmekanismer ved at folk med slike sykdommer ikke begynner på anlegget eller at de, hvis de begynte, sluttet før tida uten å være med på sluttundersøkelsen. Vi har kjennskap til en person som i anleggsperioden fikk hjerneslag og forsvant ut og en person som relativt snart etter at han sluttet fikk hjerteinfarkt.

Det er nokså bemerkelsesverdig at lungefunksjonsverdiene for FEV1, MMEF og FEF50 sank statistisk signifikant fra start til slutt (Tabell 25). Disse prøvene ble tatt på samme tid av døgnet før skift og nedgangen var, som vist for FEV1 (Figur 56), uavhengig av røykevaner. Det gjennomsnittlige fallet i FEV1 fra start til slutt på 82,2 ml er høyere en det som tidligere er vist som årlig fall for norske tunnelarbeidere som ble fulgt over lengre tid. Det er imidlertid viktig å være klar over at utviklingen av FEV1 må ses over tid og at nedgangen i anleggsperioden for Freifjordtunnelen like godt kan skyldes at deltakerne hadde med seg til dels betydelige eksponeringshistorier da de startet. Ved start ble det ikke funnet noen sammenheng mellom nedsatt lungefunksjon og varighet av tidligere eksponeringer. Deltakerne hadde også blitt ca ett år eldre ved sluttundersøkelsen, men dette kan ikke forklare den observerte nedgangen. Forventet gjennomsnittlig årlig tap i FEV1 er ca 25 ml. En kan også spørre om deltakerne hadde lagt på seg i prosjektperioden som følge av god forpleining, men gjennomsnittlig BMI var 26,6 både ved start og slutt.

Når det gjelder målingene av inflammasjonsmarkører i blod og utåndingsluft ved start og slutt (Tabell 28) så var det en del forskjeller å finne bl.a. ved at konsentrasjonen av D-dimer sank og en del andre økte statistisk signifikant. D-dimer er et fragment av proteinet fibrin som igjen dannes av fibrinogen. Nedgang i D-dimer kan tolkes som nedsatt levringsaktivitet i blodet. For forklaring på de andre markørene vises det til Tabell 21.

For cross-shift-undersøkelsene hadde det vært fordelaktig med en ueksponert dag for å se nærmere på hva som kan forklare de påviste endringene, men dette var ikke mulig å få til i en praktisk arbeidssituasjon. En fordel med cross-shift-undersøkelsene er at det er de samme personene som undersøkes ved de tre tidspunktene og at alder, røykevaner etc. da er konstant. For lungefunksjonsverdier er det velkjent at det er en betydelig døgnvariasjon med de laveste verdiene om morgenen da den andre prøven ble tatt. Vi vet imidlertid ikke hvilken innflytelse det kan ha hatt for den tredje lungefunksjonsmålingen at de fleste deltakerne hadde sovet før de gikk på skift den andre dagen. Det bør i denne sammenheng undersøkes nærmere hva nattskift med påfølgende soving om dagen kan ha å si for den naturlige døgnvariasjonen i lungefunksjonen. Det må likevel sies å være påfallende at det var statistisk signifikant nedgang mellom første og tredje prøve i samtlige av de målte lungefunksjonsparametrene bortsett fra PEF, FEF50, FEF75 og FET.

For inflammasjonsmarkørene var det ved cross-shift-undersøkelsen også noe større forskjeller enn mellom start og slutt ved at det ble funnet statistisk signifikante økninger for flere av markørene i blod og TNF- α i EBC. Flere av disse er akutfaseproteiner som dannes i forskjellige celler lokalt i luftveiene, eller for HCRP og fibrinogen i leveren og TNF- α i

lymfatiske celler i forbindelse med immunologiske prosesser. Den påviste nedgangen for NO i utåndingsluft både mellom første og andre prøve og første og tredje prøve kan tenkes å ha ulike forklaringer. For resultatene av cross-shift-undersøkelsene kan døgnvariasjoner tenkes å kunne forklare forskjellen mellom første og andre prøve, men ikke mellom første og tredje.

Et viktig forhold når det gjøres statistiske analyser av resultatene fra fysiologiske eller biologiske prøver er at en statistisk signifikant forskjell ikke nødvendigvis behøver å ha klinisk betydning. Statistisk signifikans på 5 % nivå ($p < 0,05$) betyr bare at det er mindre enn fem prosent sannsynlighet for at en påvist forskjell er tilfeldig. Klinisk betydning har et funn først når endringene er så store at det endrer funksjonen eller sykdomsforekomsten i den gruppa som undersøkes. Det er også viktig å huske på at for en del av inflammasjonsmarkørene kan det godt være at en påvist økning er å betrakte som en fysiologisk forsvarsreaksjon fra immunsystemet og ikke er uttrykk for en sykdomsskapende prosess. For å finne mer ut av det trengs det mer forskning.

I den videre bearbeiding av resultatene fra Freifjordprosjektet for vitenskapelig publisering vil vi ved siden av raffinering av de resultatene som er vist i denne rapporten, også i større grad enn det har vært rom for her, forsøke å koble de målte arbeidsmiljøparametrene mot helsedata.

Arbeidsmedisinske prøver – Hovedkonklusjoner

- På tross av relativt lave eksponeringsnivåer er det påvist en del biologiske reaksjoner i forbindelse med arbeidet både på kort (cross-shift) og lengre (anleggsperioden) sikt.
- I forhold til påvist nedsatt lungefunksjon hos en del av arbeiderne er det grunn til å anta at dette skyldes at mange av dem også tidligere hadde arbeidet i yrker med luftveisskadelig påvirkning.
- I løpet av den korte anleggsperioden ble det ikke påvist at det var spesielt helseskadelig å gjennomføre rehabiliteringsarbeider slik det ble gjort på Freifjordanlegget. Resultatene viser likevel at det ved tilsvarende arbeider vil være nødvendig med overvåking av arbeidernes helse.

Nattarbeid

Innledning

Et av Arbeidstilsynets vilkår for å tillate at tunnelrehabiliteringen ble gjennomført som nattarbeid var at det ble etablert et program som dokumenterte den belastningen dette medførte for arbeidstakerne. For å imøtekomme dette kravet ble tunnelarbeiderne i de tre ulike spørreskjemaene som ble utarbeidet for startundersøkelsene, for cross-shift og for sluttundersøkelsene (se vedlegg 6 - 8) bedt om å besvare spørsmål som var utarbeidet for å avdekke eventuelle helseproblemer knyttet til nattarbeid.

Nattarbeid kan gi en rekke plager; først og fremst søvnproblemer og nedsatt funksjon/yteevne. I tillegg kan nattarbeid gi økt risiko for hjerte-karsykdom og psykiske plager. Det ser også ut til at nattarbeid sannsynligvis kan gi økt risiko for mage-tarmplager og muskel-skjelettplager samt brystkreft og reproduksjonseffekter hos kvinner.

Spørreskjemaene som ble brukt i helseovervåkingen av de ansatte, ble utformet på bakgrunn av disse effektene med unntak av muskel-skjelettplager. I formuleringen av de enkelte spørsmål knyttet til nattarbeid støttet vi oss også til standardiserte spørsmålsformuleringer (The Standard Shiftwork Index, Shiftwork Research Team, Sheffield University, England).

Undersøkellesgruppe og metoder

For å vurdere eventuelle effekter av nattarbeid ble det valgt å inkludere personer som hadde hatt nattarbeid i minst tre måneder i prosjektperioden. Dette fordi vi ønsket at nattarbeidet skulle ha vært av en viss varighet for å vurdere mulige effekter. Nattarbeid ble definert som arbeid fra kl 19.30 til 07.00 (eller kl 18.30 til 06.00 fra 18.4.2010).

Ut fra dette var det 49 personer som hadde nattarbeid i minst 3 måneder av de totalt 70 personene som inngikk i helseovervåkingen. I Tabell 31 vises antall personer som svarte på spørreskjemaene om nattarbeid. Alle besvarte spørreskjema 1 (startskjema). Videre fikk 33 personer spørreskjema 2 (oppfølgingsskjema); av disse svarte 25 (76 %). Ved oppfølging var det 10 personer som fikk spørreskjema 3 (sluttskjema) i stedet for oppfølgingsskjemaet på grunn av kort gjenværende tid på prosjektet. Fire personer som startet sent i prosjektperioden fikk spørreskjema 1. To personer fikk ikke skjema av andre årsaker. Ved slutt var det 45 personer som fikk spørreskjema 3; av disse svarte 39 (87 %). Ved slutt var det to personer som ikke ønsket å delta. Fire personer fikk ikke skjema av andre årsaker.

Median tid fra de startet på prosjektet til de svarte på spørreskjema 1 var en måned (range 0-7), til de svarte på spørreskjema 2 var sju måneder (range 3-10) og til de svarte på spørreskjema 3 var 10 måneder (range 5-15). Median tid fra spørreskjema 1 til spørreskjema 2 var seks måneder (range 3-8) og fra spørreskjema 2 til spørreskjema 3 var fire måneder (range 1-6).

Tabell 31 Antall som besvarte spørreskjema ved hver måned/år i anleggsperioden

Mnd / år	Spørreskjema 1	Spørreskjema 2	Spørreskjema 3
08 / 09	8		
09 / 09	14		
10 / 09			
11 / 09			
12 / 09	9		
01 / 10	10		
02 / 10			
03 / 10		4	2
04 / 10		8	3
05 / 10	3	5	2
06 / 10	1	4	13
07 / 10			1
08 / 10	4	2	2
09 / 10		2	1
10 / 10			12
11 / 10			1
12 / 10			1
01 / 11			1
Totalt	49	25	39

Analysemetode

Data ble samlet og analysert i statistikkprogrammet IBM SPSS versjon 18 (SPSS Norway AS). Deskriptive data er presentert med median og range. For å analysere effekter av nattarbeid ble logistisk regresjon og Fishers eksakte test brukt.

Nattarbeid - resultater

Det var totalt 49 personer som hadde nattarbeid i minst tre måneder i prosjektperioden. Median alder blant disse var 36 år. I gruppen var 22 personer gift/samboende (45 %), sju separert/skilt (14 %) og 19 enslig (39 %). Det var 25 personer (51 %) som karakteriserte seg som overveiende "A-menneske" og 23 personer (47 %) som overveiende "B-menneske". Når det gjaldt tidligere arbeid i tunnel, hadde 24 (49 %) jobbet med tunneldriving tidligere og 27 (55 %) med tunnelvedlikehold tidligere (Tabell 32). I alt hadde 42 personer (86 %) jobbet med enten tunneldriving eller tunnelvedlikehold tidligere.

På spørsmålet "Hvordan trives du alt i alt i din nåværende jobb?" svarte 45 personer (92 %) at de trivdes ganske godt eller svært godt i jobben; kun tre personer (6 %) trivdes ganske dårlig eller svært dårlig.

Når det gjaldt tidligere nattarbeid, hadde 34 personer (69 %) hatt nattarbeid tidligere, mens 15 personer (31 %) ikke hadde hatt det. De som hadde hatt nattarbeid tidligere hadde gjennomsnittlig jobbet natt i 1,7 år, men det var stor spredning i omfanget av tidligere nattarbeid (Tabell 32). I alt hadde 14 personer jobbet natt ≤ 1 år, 10 personer i 1 - 6 år, mens sju personer hadde jobbet natt i 10 år eller mer.

Tabell 32 Status for nattarbeidende gruppert etter tidligere og ikke tidligere nattarbeid

	Alle (n=49)		Tidligere nattarbeid (n=34)		Ikke tidligere nattarbeid (n=15)	
	Antall (%)	Median (Range)	Antall (%)	Median (Range)	Antall (%)	Median (Range)
Alder (år)		36 (21-60)		38 (21-60)		32 (23-56)
Sivil status						
Gift/samboende	22 (45)		15 (44)		7 (47)	
Separert/skilt	7 (14)		6 (18)		1 (7)	
Enslig	19 (39)		13 (38)		6 (40)	
Type menneske						
A-menneske	25 (51)		15 (46)		10 (67)	
B-menneske	23 (47)		18 (55)		5 (33)	
Tunneldriving tidligere	24 (49)		17 (50)		7 (47)	
Tunnelvedlikehold tidligere	27 (55)		21 (62)		6 (40)	
År med tidligere nattarbeid				1,7 (0,2-40)		

På spørsmål om hvordan de hadde likt å jobbe natt tidligere oppga 25 personer (74 %) at de hadde likt det bra eller svært bra mens åtte personer (24 %) hadde likt det dårlig. Blant de som ikke hadde hatt nattarbeid tidligere, mente ni personer (60 %) at de ville like å jobbe natt bra eller svært bra, mens seks personer (40 %) mente at de ville like det dårlig eller svært dårlig.

Trivsel

Ved oppfølgingstidspunktet rapporterte 16 personer i hele gruppen (33 %) at de mistrivdes med nattarbeid. Denne andelen var mindre ved sluttidspunktet, da 13 personer (27 %) rapporterte at de mistrivdes med nattarbeid. Tre personer gikk fra å mistrives til å trives fra oppfølgingstidspunktet til sluttidspunktet; to av disse svarte på oppfølgingsskjema før tidspunktet for endringen av arbeidstiden, mens en svarte på oppfølgingsskjema etter dette tidspunktet. Ved oppfølgingstidspunktet var det var en tendens til at de som ikke hadde hatt nattarbeid tidligere i større grad mistrivdes (89 % versus 50 %), men denne sammenhengen var ikke signifikant. Denne tendensen endret seg fram til ved sluttidspunktet da det var de som hadde hatt nattarbeid tidligere som i større grad mistrivdes (37 % versus 27 %; ikke signifikant).

For å se på eventuell effekter av varighet av nattarbeid ble det utført logistisk regresjonsanalyse (aldersjustert) med søvnproblemer/problemer med familieliv/sosialt liv og problemer med å utføre jobb som utfallsvariabler. Denne viste ingen signifikant effekt av varighet av nattarbeid verken ved oppfølgingstidspunktet eller ved sluttidspunktet. Siden det var for få personer til å se på eventuell effekt av tidligere nattarbeid ved logistisk regresjonsanalyse, ble Fishers eksakte test brukt. Resultatene av denne analysen er vist i Tabell 33 for søvn, sosialt liv og jobbutførelse.

Søvn

Det var 12 personer i gruppen (24 %) som rapporterte om søvnproblemer ved oppfølgingstidspunktet. Dette endret seg lite i løpet av prosjektperioden. Ved sluttidspunktet var det 11 personer (22 %) som oppga at de sov dårlig eller svært dårlig. Ved dette tidspunktet var det en tendens til at søvnproblemer økte med alderen og forekom oftere hos personer som

oppfattet seg som A-mennesker enn blant de som oppfattet seg som B-mennesker, men sammenhengene var ikke signifikante.

Ved oppfølgingstidspunktet var det en tendens til at personer som ikke hadde hatt nattarbeid tidligere i større grad rapporterte om søvnproblemer enn de som hadde hatt nattarbeid tidligere (67 % versus 38 %), men assosiasjonen var ikke signifikant. Ved sluttidspunktet var andelen som rapporterte om søvnproblemer mindre både blant de som ikke tidligere hadde hatt nattarbeid og de som tidligere hadde hatt nattarbeid (36 % og 26 %).

Tabell 33 Effekter av nattarbeid ved oppfølging og slutt

	Ved oppfølgingstidspunkt (n=25)			Ved sluttidspunkt (n=38; mangler opplysninger for 1)		
	Tidligere nattarbeid	Ikke tidligere nattarbeid	Totalt	Tidligere nattarbeid	Ikke tidligere nattarbeid	Totalt
Problemer med søvn						
Nei	10	3	13	20	7	27
Ja	6 (38 %)	6 (67 %)	12 (48 %)	7 (26 %)	4 (36 %)	11 (29 %)
Totalt	16	9	25	27	11	38
Problemer med familieliv/ sosialt liv						
Nei	14	5	19	20	7	27
Ja	2 (13 %)	4 (44 %)	6 (24 %)	7 (26 %)	4 (36 %)	11 (29 %)
Totalt	16	9	25	27	11	38
Problemer med å utføre jobb						
Nei	15	5	20	25	10	35
Ja	1 (6 %)	4 (44 %*)	5 (20 %)	2 (7 %)	1 (9 %)	3 (8 %)
Totalt	16	9	25	27	11	38

* p<0,05 Fishers eksakte test

Familieliv/sosialt liv

Det var seks personer i hele gruppen (12 %) som rapporterte at nattarbeidet førte til problemer med familieliv eller sosialt liv ved oppfølgingstidspunktet, mens ved sluttidspunktet rapporterte 11 personer om dette (22 %). Det var en tendens til at de som ikke hadde hatt nattarbeid tidligere i større grad rapporterte om denne type problemer (44 % versus 13 % ved oppfølgingstidspunkt og 36 % versus 26 % ved sluttidspunkt), men assosiasjonen mellom tidligere nattarbeid eller ikke og problemer med familieliv/sosialt liv var ikke signifikant.

Funksjon

Ved oppfølgingstidspunktet rapporterte fem personer i gruppen (10 %) at nattarbeidet skapte problemer for hvordan de utførte jobben sin. Ved sluttidspunktet var det tre personer (6 %) som rapporterte dette. Ved oppfølgingstidspunktet var andelen som rapporterte om problemer med å utføre jobben større blant de som ikke hadde hatt enn de som hadde hatt nattarbeid

tidligere (44 % versus 6 %); denne forskjellen var statistisk signifikant ($p < 0,05$). Ved sluttidspunktet var denne andelen ikke forskjellig i de to undergruppene (9 % versus 7 %).

Mage-tarmplager

Det var fire personer (8 %) som rapporterte om forverring av mage-tarmplager ved sluttidspunktet.

Hjerte-karsykdom

Det ble ikke rapportert om nye tilfeller av hjertekrampe, hjerteinfarkt, hjerterytmeforstyrrelser eller høyt blodtrykk i spørreskjemaene i løpet av prosjektperioden. Imidlertid var det som nevnt tidligere, to personer som fikk hjerte-karsykdom i anleggsperioden; disse inngikk i gruppen med nattarbeid.

Diabetes

Det ble ikke rapportert om nye tilfeller av diabetes i løpet av prosjektperioden.

Arbeidstidsendringen

I april 2010 (f.o.m. 18.4.2010) ble arbeidstiden forskjøvet med en time, slik at nattarbeidet startet og sluttet en time tidligere. På spørsmålet "Hva synes du om endringen i arbeidstiden" (dvs. forskyvningen av arbeidstiden med 1 time) som ble innført i april mente 51 % at endringen var svært bra eller bra, 23 % mente den verken var bra eller dårlig og en person mente at arbeidstidsendringen var dårlig. Fem personer svarte på sluttskjema før tidspunktet for arbeidstidsendringen og en person sluttet før tidspunktet.

Nattarbeid – diskusjon

Det var en relativt høy andel av de som hadde nattarbeid under rehabiliteringen av Freifjordtunnelen som mistrivdes med nattarbeid; 33 % ved oppfølgingstidspunktet og 27 % ved sluttidspunktet. Fra tidligere er det kjent at nattarbeid kan gi økt risiko for psykiske plager. Innenfor rammen av dette prosjektet fant vi det imidlertid ikke riktig å spørre nærmere om spesifikke psykiske plager. At andelen som mistrivdes med nattarbeid var mindre ved sluttidspunkt enn ved oppfølgingstidspunktet kan til en viss grad forklares ved at to personer som fylte ut oppfølgingsskjema før arbeidstidsendringen gikk fra å mistrives til å trives. Denne arbeidstidsendringen ble innført etter ønske fra de ansatte og det er kjent at negative effekter av nattarbeid kan reduseres dersom arbeidstakerne har mulighet for fleksibilitet/kontroll over arbeidssituasjonen.

I gruppen som hadde nattarbeid, rapporterte ca. en av fire ved oppfølgingstidspunktet og ca. en av fem ved sluttidspunktet om søvnproblemer. Det er kjent at søvnproblemer er den mest vanlige følgen av nattarbeid. I tillegg er det vist at både fysisk anstrengende jobber og krevende jobber mer enn dobler risikoen for søvnproblemer. Det ble ikke funnet noen statistisk signifikant effekt av varigheten av nattarbeid på søvnproblemer; i stedet var det en tendens til at andelen med søvnproblemer ble mindre i løpet av prosjektperioden. En av forklaringene på dette kan være at det skjer en tilvenning over tid. Det var en tendens til at andelen som rapporterte om søvnproblemer var mindre ved oppfølgingstidspunktet enn ved sluttidspunktet både hos de med og uten tidligere nattarbeid, men endringen var størst hos de som ikke hadde hatt nattarbeid tidligere. Det er holdepunkter for at effekten som nattarbeid har på søvn opptrer i løpet av det første året med nattarbeid. En annen forklaring kan være at over tid så vil arbeidstakere som har problemer med å tilpasse seg nattarbeid slutte. Det er ikke kjent om dette gjaldt for noen av arbeidstakerne i Freifjorden. Tendensen til at

søvnproblemer økte med alderen og at andelen med søvnproblemer var større hos A-mennesker enn hos B-mennesker passer med det som er kjent fra før.

Ved oppfølgingstidspunktet var det en av ti som rapporterte om problemer med å utføre jobben. Ved sluttidspunktet var det tre personer som rapporterte om dette. Effekten av søvnproblemer omfatter bl.a. nedsatt årvåkenhet/reaksjonstid. Det er derfor rimelig å anta at problemer med å utføre jobben til dels kan være knyttet til søvnproblemer og nattarbeid.

Mens det var en tendens til at andelen som rapporterte om søvnproblemer og problemer med å utføre jobben ble mindre i løpet av prosjektperioden, var det motsatte tilfellet når det gjaldt problemer med familieliv eller sosialt liv. Ved oppfølgingstidspunktet var det nesten en av fire som rapporterte om problemer med familieliv eller sosialt liv (24 %), mens ved sluttidspunktet var andelen 29 %. Dette hadde til dels sammenheng med en tendens til at andelen med dette problemet blant de som ikke hadde hatt nattarbeid tidligere var mindre og dels en tendens til at andelen med dette problemet blant de som hadde hatt nattarbeid tidligere var større. Denne forskjellen kan ikke forklares av sivil status da denne fordelingen ikke var vesentlig forskjellig i de to gruppene.

Det var 8 % som rapporterte om forverring av mage-tarmplager. Dette funnet passer med at det fra tidligere er holdepunkter for at nattarbeid kan gi økt risiko for mage-tarmplager.

Det var ingen rapporterte nye tilfeller av hjerte-karsykdom i gruppen. Det er vist at nattarbeid kan gi økt risiko for hjerte-karsykdom. At det ikke ble funnet kan bl.a. ha sammenheng med at observasjonstiden var relativt kort.

Det ble også undersøkt om det var nye tilfeller av diabetes i gruppen med nattarbeid siden det er noe dokumentasjon på at nattarbeid kan gi økt risiko for diabetes. Imidlertid var det ingen rapporterte nye tilfeller av diabetes i prosjektperioden.

Våre resultater må tolkes med forsiktighet. Utvalget som svarte på spørreskjemaene ved oppfølging og slutt er relativt små; spesielt ved oppfølging da kun 25 personer svarte. I tillegg var det relativt stor spredning i hvor lenge arbeidstakerne hadde jobbet når de svarte på oppfølgingskjema og sluttskjema.

Nattarbeid – Hovedkonklusjoner

- Nattarbeid i forbindelse med rehabilitering av Freifjordtunnelen medførte først og fremst søvnproblemer. Inntil en fjerdedel av de som hadde nattarbeid rapporterte om dette. Det var en tendens til at søvnproblemene var større blant de eldste og blant de som oppfattet seg som A-mennesker.
- Inntil en av ti opplevde at nattarbeid skapte problemer for hvordan de utførte jobben sin og inntil en av fem rapporterte om at nattarbeid førte til problemer med familieliv eller sosialt liv.
- Det ble ved spørreskjema ikke påvist nyoppstått sykdom hos de som hadde nattarbeid under rehabilitering av Freifjordtunnelen.

Hovedkonklusjoner

Både arbeid med driving og rehabilitering av tunneler medfører eksponering for støv, støy og gasser og medfører også skaderisiko. Vi har i dette prosjektet undersøkt eksponeringsforhold og en del arbeidsmedisinske forhold. Hovedkonklusjonene av dette arbeidet er:

- De yrkeshygieniske undersøkelser viser at alle tunnelarbeiderne har vært eksponert for til dels høye støynivåer.
- Eksponeringsnivåene for nitrogendioksid og karbonmonoksid var for det meste under de administrative normene, men målingene har vært preget av lave middelverdier kombinert med kortvarige, til dels høye toppverdier.
- Med noen få unntak viser støvmålingene og analysene av respirabel α -kvarts verdier godt under de administrative normene, også når det tas hensyn til den forlengede arbeidstiden.
- Målinger av dieselpartikler, oljetåke, oljedamp og PAH viser lave verdier.
- Asfaltfresing, asfaltering og boring synes å være de arbeidsoperasjonene med høyest eksponering for støv og gass.
- De arbeidsmedisinske undersøkelsene har vist at nattarbeid har hatt en negativ effekt i forhold til søvn. Det er ved hjelp av blod- og pustepøver, på tross av enkelte funn, ikke påvist at noen har pådratt seg spesifikk helseskade av det arbeidet som ble utført, verken på kort sikt eller over hele anleggsperioden.
- En fullstendig avstenging av tunnelen og rehabilitering på dagtid ville ha avhjulpet ulempene knyttet til nattarbeid. Eksponeringene i form av støy, gass og støv ville trolig ikke ha vært vesentlig forskjellig.
- For de arbeiderne som har tunnelarbeid som yrke, vil vi påpeke viktigheten av overvåking og dokumentasjon av eksponering og andre risikoforhold og helsemessig oppfølging gjennom bedriftshelsetjeneste med nødvendig kompetanse.

VEDLEGG

Liste over vedlegg

Vedlegg 1 – Loggede klimaparametre	3
Vedlegg 2 – Trafikkdata for relevante arbeidsskift.....	5
Vedlegg 3 – Metallanalyser – Freifjordtunnelprøvene	8
Vedlegg 4 – Informasjonsskriv	12
Vedlegg 5 – Samtykkeerklæring	13
Vedlegg 6 – Spørreskjema 1	14
Vedlegg 7 – Spørreskjema 2	20
Vedlegg 8 – Spørreskjema 3	24

Vedlegg 1 – Loggede klimaparametre

Dato	Tid	Lufthastighet (m/s)	Temperatur (°C)	Relativ luftfuktighet (%)
07.04.2010	Dag	1,40	9,60	65,63
19.05.2010	Dag	0,75	12,54	62,63
13.06.2010	Dag	0,93	11,50	68,60
14.06.2010	Dag	1,85	12,29	70,52
29.06.2010	Dag	1,13	15,40	82,56
12.08.2010	Dag	1,50	16,07	71,27
13.08.2010	Dag	1,55	15,76	84,13
14.08.2010	Dag	0,94	15,74	80,89
31.08.2010	Dag	0,90	14,40	84,05
01.09.2010	Dag	1,23	14,29	78,48
02.09.2010	Dag	1,63	14,10	67,73
20.10.2010	Dag	1,59	9,99	72,78
22.11.2010	Dag	1,76	7,93	46,51
23.11.2010	Dag	2,52	8,09	50,38
24.11.2010	Dag	2,69	6,08	43,39
25.11.2010	Dag	1,78	2,65	46,71
29.11.2010	Dag	2,38	7,37	33,70
30.11.2010	Dag	1,84	5,30	29,36
01.12.2010	Dag	1,31	5,06	33,29
02.12.2010	Dag	1,30	4,84	33,05
09.09.2009	Natt	2,07	13,25	66,46
24.09.2009	Natt	1,83	11,97	82,14
08.10.2009	Natt	1,66	11,02	69,85
19.10.2009	Natt	2,01	9,36	75,40
20.10.2009	Natt	1,82	10,48	66,31
09.11.2009	Natt	2,54	9,45	50,88
16.11.2009	Natt	1,76	8,54	59,54
16.12.2009	Natt	1,05	9,76	66,24
12.01.2010	Natt	1,58	3,64	65,01
13.01.2010	Natt	0,87	4,83	59,00
20.01.2010	Natt	1,32	7,72	82,08
27.01.2010	Natt	1,05	6,83	72,28
07.03.2010	Natt	1,06	6,91	75,80
08.03.2010	Natt	0,75	5,63	63,50
09.03.2010	Natt	1,02	6,88	70,94
06.04.2010	Natt	1,23	8,98	70,00
18.05.2010	Natt	0,42	10,74	61,99
19.05.2010	Natt	0,41	11,47	67,39
25.05.2010	Natt	0,43	10,21	51,25
31.05.2010	Natt	1,50	11,61	68,10
13.06.2010	Natt	1,26	11,48	80,61

14.06.2010	Natt	0,53	11,55	69,15
23.06.2010	Natt	1,60	12,63	75,25
28.06.2010	Natt	0,93	13,63	85,50
29.06.2010	Natt	0,88	13,36	90,32
11.08.2010	Natt	0,85	15,13	69,33
12.08.2010	Natt	0,82	15,12	77,31
13.08.2010	Natt	0,44	15,54	80,73
30.08.2010	Natt	0,98	13,33	76,73
31.08.2010	Natt	0,42	13,25	81,42
01.09.2010	Natt	0,64	12,85	66,59
11.10.2010	Natt	0,68	12,50	72,35
20.10.2010	Natt	1,42	7,68	54,56
21.11.2010	Natt	2,61	8,35	47,14
22.11.2010	Natt	2,87	7,47	45,34
23.11.2010	Natt	2,19	5,41	48,82
24.11.2010	Natt	1,81	2,20	47,71
25.11.2010	Natt	1,59	1,15	45,76
28.11.2010	Natt	3,53	9,38	31,46
29.11.2010	Natt	3,28	4,61	34,06
30.11.2010	Natt	2,51	1,58	31,98
01.12.2010	Natt	2,07	2,49	37,40
Samlet	Dag	1,55	10,45	60,28
Samlet	Natt	1,44	9,28	64,14

Vedlegg 2 – Trafikkdata for relevante arbeidsskift

Dato	Lette kjøretøy	Tunge kjøretøy	SUM
25.08.2009	285	60	345
26.08.2009	395	60	455
02.09.2009	318	62	380
03.09.2009	343	72	415
08.09.2009	281	52	333
09.09.2009	327	64	391
10.09.2009	320	63	383
23.09.2009	340	51	391
24.09.2009	323	52	375
25.09.2009	249	28	277
28.09.2009	289	40	329
29.09.2009	301	51	352
30.09.2009	277	63	340
01.10.2009	339	81	420
07.10.2009	288	61	349
08.10.2009	250	51	301
09.10.2009	243	31	274
18.10.2009	310	69	379
19.10.2009	233	76	309
20.10.2009	261	65	326
21.10.2009	287	71	358
08.11.2009	379	59	438
09.11.2009	244	64	308
10.11.2009	255	68	323
11.11.2009	245	64	309
12.11.2009	219	54	273
15.11.2009	295	48	343
16.11.2009	260	56	316
17.11.2009	262	59	321
14.12.2009	256	54	310
15.12.2009	289	61	350
16.12.2009	308	69	377
17.12.2009	297	58	355
11.01.2010	170	43	213
12.01.2010	226	52	278
13.01.2010	248	64	312
14.01.2010	247	57	304
19.01.2010	196	65	261
20.01.2010	236	70	306
21.01.2010	196	67	263
26.01.2010	150	49	199
27.01.2010	193	56	249
28.01.2010	225	63	288
07.03.2010	279	38	317
08.03.2010	109	58	167
09.03.2010	179	51	230

10.03.2010	214	59	273
17.03.2010	234	59	293
18.03.2010	229	59	288
19.03.2010	168	28	196
22.03.2010	236	46	282
23.03.2010	256	46	302
24.03.2010	313	61	374
06.04.2010	243	50	293
07.04.2010	293	62	355
08.04.2010	326	47	373
18.05.2010	234	49	283
19.05.2010	369	53	422
20.05.2010	428	50	478
25.05.2010	447	54	501
26.05.2010	356	78	434
30.05.2010	540	54	594
31.05.2010	363	57	420
01.06.2010	318	82	400
13.06.2010	617	63	680
14.06.2010	358	76	434
15.06.2010	363	64	427
22.06.2010	477	48	525
23.06.2010	453	50	503
24.06.2010	541	50	591
27.06.2010	668	60	728
28.06.2010	419	69	488
29.06.2010	424	66	490
30.06.2010	413	51	464
01.07.2010	484	55	539
10.08.2010	416	65	481
11.08.2010	491	55	546
12.08.2010	532	57	589
13.08.2010	547	34	581
29.08.2010	735	50	785
30.08.2010	362	63	425
31.08.2010	334	48	382
01.09.2010	332	59	391
02.09.2010	401	77	478
10.10.2010	566	46	612
11.10.2010	308	49	357
12.10.2010	338	56	394
19.10.2010	239	57	296
20.10.2010	334	56	390
21.10.2010	329	48	377
04.11.2010	306	45	351
05.11.2010	335	36	371
19.11.2010	316	40	356
21.11.2010	345	45	390
22.11.2010	209	49	258
23.11.2010	249	50	299
24.11.2010	284	57	341

25.11.2010	279	53	332
26.11.2010	263	29	292
28.11.2010	352	43	395
29.11.2010	223	49	272
30.11.2010	275	68	343
01.12.2010	301	50	351
02.12.2010	253	58	311
03.12.2010	253	43	296
Min	109	28	167
Max	735	82	785
Avg	319	56	375

Vedlegg 3 – Metallanalyser – Freifjordtunnelprøvene

Bakgrunn

Eksposering for svevestøv har blitt assosiert med økt risiko for skadelige helseeffekter, spesielt respiratoriske og hjerte-kar-sykdommer. Flere studier har vist at selv lave til moderate nivåer av luftbårent svevestøv kan forårsake betydelige skadeeffekter (Pope og Dockery, 2006, WHO, 2006). Selv om et stort antall studier har blitt gjennomført for å undersøke sammenhengene mellom konsentrasjoner av svevestøv i luft og helseeffekter, er mye uvisst når det gjelder hvilke karakteristikk og kjemiske komponenter i støvet som forårsaker de toksiske effektene, samt de biologiske mekanismene for toksisiteten til de ulike bestanddelene i svevestøvet. Størrelsesfraksjonene til luftbårne partikler, målt som aerodynamisk diameter, ser ut til å være viktige karakteristikk for potensielle helseeffekter.

Men i tillegg har det blitt økt fokus på betydningen av den kjemiske sammensetningen av svevestøv for toksisiteten, spesielt reaktive forbindelser adsorbent til partikkeloverflaten, som toksiske metaller (Duzgoren-Aydin, 2008, Maier m.fl., 2008, Valavanadis m.fl., 2008). For eksempel kan Cd, Ni, Cr(VI) og As virke kreftfremkallende i mennesker, Pb kan indusere alvorlige nevrologiske og hematologiske effekter, Cu kan virke irriterende på respirasjonssystemet, mens Mn kan medføre nevrotoksiske helseskader. Metaller kan ha stor betydning for toksisiteten til svevestøv på grunn av biotilgjengeligheten når de adsorberes til overflaten på partiklene og deres redoksegenskaper (Costa og Dreher, 1997, Dominici m.fl., 2007, Valavanadis m.fl., 2008).

Metallinnholdet i luftbårent svevestøv i utendørs luft har blitt rapportert i en del studier (Marcazzan m.fl., 2001, Manalis m.fl., 2005, Hays m.fl., 2011). Få studier har imidlertid blitt foretatt som har analysert metallnivået i svevestøv i arbeidsatmosfæren. Grunnstoffnivåer i sveiserøyk har blitt undersøkt (Hurst m.fl., 2011). Metallinnholdet i støv generert ved et kobbersmelteverk ble målt for utvikling av et måleinstrument til bruk i metallsmelteverk (McDonald m.fl., 2011). Ingen studier ble funnet der støv generert ved tunnelarbeid har blitt analysert. Arbeidstilsynet har utgitt en veiledning med administrative normer, angitt i mg/m^3 for støv, for en rekke ulike kjemikalier brukt i yrkessammenheng, inkludert flere potensielt toksiske metaller og semi-metaller som Cd, Hg, Pb, Ni, As, V, Cr, Mn, Co, Cu, Zn, Sb og Sn (Arbeidstilsynet, 2010).

Hensikten med doktorgradsarbeidet er å analysere metallinnholdet i ulike størrelsesfraksjoner av luftbårent svevestøv fra tunnelvedlikeholdsarbeid, og undersøke potensielle assosiasjoner mellom konsentrasjoner av metaller og biomarkører for helseskadelige effekter.

Mål

Målene med studiet er å foreta grunnstoffanalyse av ulike størrelsesfraksjoner av luftbårent svevestøv fra tunnelkonstruksjonsarbeid og motorkjøretøytrafikk, og undersøke metallinnholdet til svevestøvet og potensielle assosierte effekter på inflammasjonsmarkører i blod og utåndingsluft fra tunnelarbeidere.

Fremgangsmåte

De ulike fraksjonene av svevestøvet (total-, inhalerbar, torakal og respirabel fraksjon) fra Freifjordtunnelen ble samlet inn som beskrevet tidligere i rapporten.

Støvprøvene ble lagret i kassetene, tørt, mørkt og i romtemperatur, før oppslutning og analyse. Filtrene ble behandlet i avtrekksskap med teflonbelagte pinsetter overtrukket med plastfolie.

Oppslutningen av støvet ble foretatt med UltraClave fra Milestone. Filtrene med støv ble overført til teflonrør (18 mL) med plastfoliebelagt teflonpinsett, som så ble tilsatt ultrapure salpetersyre (HNO_3 , 50 % v/v). Filtrene med diameter 25 mm ble tilsatt 2 mL syre, mens filtrene med diameter 37 mm ble tilsatt 3 mL. Standard referansemateriale (SRM) som ble benyttet var Urban Particulate Matter 1648a fra NIST, Urban Aerosols No. 28 fra NIES og INCT-PVTL-6 Polish Virginia Tobacco Leaves fra ICHTJ. Ved oppslutning av filtrene på 25 mm ble 15-30 mg SRM veid inn, og for filtrene på 37 mm 20-40 mg. SRM og feltblankprøvene ble behandlet på samme måte som de øvrige prøvene. Oppslutningen av prøvene foregikk etter en temperaturprofil der temperaturen økes gradvis fra romtemperatur til 250 °C innen en time, for så å synke tilbake til romtemperatur. Prøvene ble så fortynnet med destillert vann til 0,6 M HNO_3 , det vil si et totalt volum på 24 mL (25 mm filtere) eller 36 mL (37 mm filtere) ved veiing, og helt over i plastrør. Prøvene ble lagret ved romtemperatur før analyse.

Grunnstoffanalyse av støvprøvene ble utført med inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS), en analysemetode der ionisering av prøven med ICP kobles sammen med massespektrometri for separering og deteksjon av ionene i henhold til masse. ICP-MS muliggjør grunnstoffanalyser med høy sensitivitet, presisjon og hastighet. Prøveintroduksjonssystemet som ble brukt var SC-FAST flow injection system for SC-4 fra ESI, bestående av autosampler, vakuumpumpe, pumpe for transport av prøven gjennom en loop til plasma, nebulizer (PFA-ST) for konvertering av prøven fra væske til aerosol (som siden ioniseres i plasma), og rensesystem for proben. Argon ble brukt som bæregass, med tilsatt metan. Tre ulike oppløsninger ble brukt for å unngå interferenser: lav (400), medium (500) og høy (10 000).

Resultater og diskusjon

Resultatene av grunnstoffanalysene av de ulike størrelsesfraksjonene av svevestøv fra Freifjordtunnelen med ICP-MS viser at metallnivåene varierte mellom de ulike størrelsesfraksjonene som følger, fra gjennomgående høyeste til laveste nivåer: inhalerbar > total > torakal > respirabel fraksjon. En del av svevestøvprøvene analysert i denne studien inneholdt forhøyede nivåer av metallene Pb, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, As, Co og V, særlig i de inhalerbare fraksjonene, men alle de målte metallene forekom i konsentrasjoner som var betydelig lavere enn de administrative normene satt av Arbeidstilsynet (Arbeidstilsynet, 2010).

Metallkonsentrasjonene i støvprøvene varierte for det meste tilfeldig ved prøvetaking under ulike arbeidsoperasjoner, noe som kan tyde på at metallnivåene og støvmengdene generelt i mindre grad var avhengig av hvilke arbeidsoppgaver som ble utført. Mange av prøvene som inneholdt forhøyede konsentrasjoner av ett eller flere metaller var imidlertid oppsamlet under boring, asfaltering eller montering av PVC-duk, noe som kan indikere at disse arbeidsoperasjonene fører til dannelse av større mengder svevestøv med høyere metallinnhold.

I forbindelse med rehabiliteringen av Freifjordtunnelen var det også i perioder trafikk av motorkjøretøy gjennom tunnelen. Metaller som er spesielt forbundet med trafikkutslipp, både

fra eksos og slitasje på dekk og asfalt, inkluderer Ni, Cu, Zn og Cd (Hjortenkrans m.fl., 2006). Noen av prøvene inneholdt forhøyede nivåer spesielt av Zn, men ingen prøver oversteg administrativ norm for noen av disse metallene. Trafikken gjennom tunnelen kan ha bidratt til innholdet av svevestøv og metaller i atmosfæren i tunnelen, men tilleggsmålinger av disse utslippene må foretas for å kunne konkludere med i hvor stor grad dette bidraget var.

Ettersom det ikke ble tatt hensyn til metallanalyse ved valg av materialer, utstyr og metoder brukt til prøvene, kan filtrene ha blitt forurenset med metaller under prøvetaking, behandling eller andre analyser. Feltblankprøvene inneholdt også betydelige konsentrasjoner av noen av metallene. Prøvene har blitt korrigert for feltblankene, men enkelte prøver kan ha blitt forurenset i større grad. Det må også tas i betraktning at en del av målingene er forbundet med stor usikkerhet på grunn av høye RSD-verdier.

De lave metallnivåene funnet i arbeidsatmosfæren under renoveringen av Freifjordtunnelen i denne studien tyder på at det er liten risiko for skadelige helseeffekter på tunnelarbeiderne som ble eksponert for svevestøvet. Helsekader som karsinogenese og skader på respirasjonssystemet kan imidlertid oppstå ved eksponering for svært lave konsentrasjoner av potensielt toksiske metaller. Redusert lungefunksjon har blitt observert blant tunnelarbeidere (Ulvestad m.fl., 2001), Bakke m.fl., 2004), i tillegg til at det har blitt påvist økt mengde av inflammatoriske mediatorer som interleukin-6 og fibrinogen (Hilt m.fl., 2002). Tunnelarbeidere eksponeres for svevestøv, ulike gasser (Hilt m.fl., 2002, Oliver og Miracle-McMahill, 2006), kvarts og oljetåke og –damp (Bakke m.fl., 2004). Det er mulig at metallinnholdet kan bidra til toksisiteten til svevestøvet som er tilgjengelig for innånding. Det ble imidlertid ikke funnet studier som har undersøkt sammenhengen mellom metallinnhold i svevestøvet i tunneler og forekomsten av slike helseeffekter. Potensialet metallene i svevestøv har for å forårsake toksiske effekter avhenger av faktorer som biotilgjengelighet, der de finere fraksjonene av støvet har større overflate og dermed kan ha en større andel reaktive metallioner adsorbent til overflaten (Duzgoren-Aydin, 2008). Fint støv vil i tillegg lettere trenge igjennom verneutstyret til arbeiderne. På grunn av den potensielle toksisiteten burde derfor innholdet av potensielt toksiske metaller i svevestøv i større grad analyseres i yrkeshygienemålinger.

Referanser

Arbeidstilsynet (2010): *Administrative normer for forurensning i arbeidsatmosfære*. Arbeidstilsynet, Veiledning, best. nr. 361

Bakke, B., Ulvestad, B., Stewart, P. og Eduard, W. (2004) Cumulative exposure to dust and gases as determinants of lung function decline in tunnel construction workers. *Journal of Occupational and Environmental Medicine* **61**: 262-269

Costa, D.L. og Dreher, K.L. (1997) Bioavailable transition metals in particulate matter mediate cardiopulmonary injury in healthy and compromised animal models. *Environmental Health Perspectives* **105** (Suppl. 5): 1053-1060

Dominici, F., Peng, R.D., Ebisu, K., Zeger, S.L., Samet, J.M. og Bell, M.L. (2007) Does the effect of PM10 on mortality depend on the PM nickel and vanadium content? A reanalysis of the NMMAPS data. *Environmental Health Perspectives* **115**: 1701-1703

Duzgoren-Aydin, N.S. (2008) Health effects of atmospheric particulates: A medical geology perspective. *Journal of Environmental Science and Health Part C* **26**: 1-39

Hays, M.D., Cho, S.H., Baldauf, R., Schauer, J.J. og Shaferd, M. (2011) Particle size distributions of metal and non-metal elements in an urban near-highway environment. *Atmospheric Environment* **45**: 925-934

- Hilt, B., Qvenild, T., Holme, J., Svendsen, K. og Ulvestad, B. (2002) Increase in interleukin-6 and fibrinogen after exposure to dust in tunnel construction workers. *Occupational and Environmental Medicine* **59** (1): 9-12
- Hjortenkrans, D., Bergbäck, B. og Hæggerud, A. (2006) New metal emission patterns in road traffic environments. *Environmental Monitoring and Assessment* **117**: 85-98
- Hurst, J.A., Volpato, J.A. og O'Donnell, G.E. (2011) The determination of elements in welding fume by X-ray spectrometry and UniQuant. *X-ray Spectrometry* **40**: 61-68
- Maier, K.L., Alessandrini, F., Beck-Speier, I., Hofer, T.P.J., Diabaté, S., Bitterle, E., Stöger, T., Jakob, T., Behrendt, H., Horsch, M., Beckers, J., Ziesenis, A., Hültner, L. og Frankenberger, M. (2008) Health effects of ambient particulate matter – Biological mechanisms and inflammatory responses to in vitro and in vivo particle exposures. *Inhalation Toxicology* **20**: 319-337
- Manalis, N., Grivas, G., Protonotarios, V., Moutsatsou, A., Samara, C. og Chaloulakou, A. (2005) Toxic metal content of particulate matter (PM₁₀), within the Greater Area of Athens. *Chemosphere* **60**: 557-566
- Marcazzan, G.M., Vaccaro, S., Valli, G. og Vecchi, R. (2001) Characterization of PM10 and PM2.5 particulate matter in the ambient air of Milan (Italy). *Atmospheric Environment* **35**: 4639-4650
- McDonald, J.P., Larson, R.R., Pahler, L.F. og Thiese, M.S. (2011) Real-time monitoring of arsenic, cadmium, copper and lead concentrations in workplace smelter particulates using a TSI 8520 Dust Trak. *Minerals & Metallurgical Processing* **28**: 13-20
- Oliver, L.C. og Miracle-McMahill, H. (2006) Airway disease in highway and tunnel construction workers exposed to silica. *American Journal of Industrial Medicine* **49**: 983-996
- Pope, C.A.III. og Dockery, D.W. (2006) Health effects of fine particulate air pollution: Lines that connect. *Journal of the Air and Waste Management Association* **56**: 709-742
- Ulvestad, B., Bakke, B., Eduard, W., Kongerud, J. og Lund, M. (2001) Cumulative exposure to dust causes accelerated decline in lung function in tunnel workers. *Journal of Occupational and Environmental Medicine* **58**: 663-669
- Valavanadis, A., Fiotakis, K. og Vlachogianni, T. (2008) Airborne particulate matter and human health: Toxicological assessment and importance of size and composition of particles for oxidative damage and carcinogenic mechanisms. *Journal of Environmental Science and Health Part C* **26**: 339-362
- World Health Organization (WHO) (2006) *WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulphur dioxide. Global Update 2005, Summary of Risk Assessment*. Report no. WHO/SDE/PHE/OEH/06.02 pp. 1-22 http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf.
Downloaded 2011-08-20

Vedlegg 4 – Informasjonsskriv

FORESPØRSEL OM Å DELTA I PROSJEKTARBEID OM HELSE OG MILJØ I FORBINDELSE MED REHABILITERINGSARBEIDENE PÅ FREIFJORDTUNNELEN.

Under rehabiliteringsarbeidene som Statens vegvesen skal gjøre i Freifjordtunnelen skal det mens arbeidet pågår på nattetid også være trafikk med kolonnekjøring gjennom tunnelen. For å få tillatelse til å organisere arbeidet på denne måten vil Statens vegvesen undersøke yrkeshygiene og arbeidsmedisinske forhold for de som arbeider på anlegget.

Arbeidsmedisinsk avdeling ved St. Olavs Hospital HF i Trondheim har fått i oppdrag fra Statens vegvesen å hjelpe dem med undersøkelsene og den nødvendige dokumentasjonen.

Det vil for alle deltagerne i løpet av de første ukene på anlegget bli gjort en startundersøkelse der de fyller ut et spørreskjema med opplysninger om tidligere arbeid, livsstil, samt aktuelle eller kroniske sykdommer. Det blir da også gjort undersøkelse av lungefunksjon, blodprøve og analyse av stoffer i utåndingsluft.

De samme undersøkelsene som ved starten vil også bli gjort ved to anledninger i løpet av anleggsperioden med målinger før og etter skift og etter 24 timer. Vi vil da ta slike prøver en gang umiddelbart etter en friperiode på 2 uker og en gang etter at du har vært i arbeid i 4-8 skift. Parallelt med de medisinske undersøkelsene vil det også bli gjort personlige yrkeshygiene målinger av påvirkninger i arbeidsmiljøet.

Tilsvarende undersøkelser gjøres også av alle når de slutter på anlegget hvis de da har arbeidet der i mer enn to måneder.

Deltakelse i prosjektet er frivillig og du vil når som helst kunne trekke deg og forlange at all informasjon om deg blir slettet, uten å måtte begrunne dette nærmere.

Informasjon fra prosjektet vil bli oppbevart på et spesielt sikret område i datasystemet ved St. Olavs Hospital. All informasjon fra spørreskjemaer og undersøkelser vil aidentifiseres og analyseres på en slik måte at man aldri kan finne fram til resultater som gjelder de enkelte deltakerne. Informasjonen slettes etter prosjektslutt ved utgangen av 2011.

Dersom du ønsker mer informasjon, eller om du senere ønsker å trekke deg fra prosjektet, kan du ta kontakt med spesialistsykepleier Torgunn Qvenild eller overlege Bjørn Hilt ved Arbeidsmedisinsk avdeling ved St. Olavs Hospital i Trondheim.

Med vennlig hilsen

Bjørn Hilt
Overlege,
Prosjektansvarlig

Vedlegg 5 – Samtykkeerklæring

Arbeidsmedisinsk avdeling
St.Olavs Hospital HF Trondheim

FORESPØRSEL OM Å DELTA I EN UNDERSØKELSE I FORBINDELSE MED ARBEID VED UTBEDRING AV FREIFJORDTUNNELEN

Hensikten med denne undersøkelsen er å kartlegge støv- og gasseksponeringen ved denne type tunnelarbeid og se om det å arbeide med utbedringen av Freifjordtunnelen eventuelt gir helseeffekter. Undersøkelsen er vurdert og tilrådd av Regional komité for medisinsk forskningsetikk og personvernombudet ved NSD (Norsk samfunnsvitenskapelig datatjeneste).

Belastningen på deg vil bli å svare på noen spørreskjema, en del pustepøver og i tillegg avgi blodprøver. Noen av dere blir også bedt om å bære måleutstyr som samler støv samtidig med arbeidet.

Deltagelsen er frivillig. Ditt samtykke til å delta kan trekkes tilbake på et hvilket som helst tidspunkt uten at du oppgir grunn for dette. Hvis du ber om det, vil alle data som måtte være registrert om deg slettes.

Alle data blir lagret og behandlet konfidensielt i dataprogrammet SPSS og vil bli slettet når undersøkelsen avsluttes.

Jeg har lest informasjonsskrivet og har hatt anledning til å stille spørsmål. Jeg samtykker i å delta i prosjektet.

Sted

Dato

Underskrift

Vedlegg 6 – Spørreskjema 1

SPØRRESKJEMA FOR FREIFJORDTUNNELPROSJEKTET 1 - VED START

1. Løpenr. _____

2. Navn: _____ 3. Født: _____

4. Er du Gift/samboende
 Separert/skilt
 Enkemann/enke
 Enslig

ARBEID

5. **Arbeid:** _____ (Skriv hva slags arbeid du er ansatt for å gjøre ved Freifjordanlegget)

6. **Ansatt hos:** _____

7. Vennligst angi i tabellen nedenfor hvor du har arbeidet tidligere, i hvilke tidsrom og hvilket arbeid du har utført. For eksempel, snekker, bygningsarbeid, sveiser, sjømann, bonde, anleggsarbeider o.s.v.

Arbeidsgiver	Tidsrom	Type arbeid

8. I hvor mange år har du til sammen vært i arbeid? Oppgi antall år: _____

9. Hvor mange av disse i "forurenset" arbeid? Oppgi antall år: _____

10. I hvor mange år har du tidligere drevet med tunnelarbeid?

Driving av tunnel? Oppgi antall år: _____

Vedlikehold av tunnel? Oppgi antall år: _____

11. I hvor mange år har du tidligere arbeidet i gruve? Oppgi antall år: _____

12. Har du i ditt tidligere arbeid vært utsatt for noen av de følgende påvirkninger?

Sett et kryss hvis ja og angi i tilfelle ca i hvor mange år (Du kan sette flere kryss)

Sveiserøyk	<input type="checkbox"/>	Antall år: _____
Organisk støv (jordbruk og lignende)	<input type="checkbox"/>	” _____
Steinstøv	<input type="checkbox"/>	” _____
Metallstøv	<input type="checkbox"/>	” _____
Annet støv	<input type="checkbox"/>	” _____
Irriterende gasser	<input type="checkbox"/>	” _____
Oljetåke	<input type="checkbox"/>	” _____
Andre luftveispåvirkninger	<input type="checkbox"/>	” _____

I tilfelle hva: _____

13. Vurderer du selv det arbeidet som du skal i gang med i Freifjordtunnelen som forurenset? arbeid?

Ja Nei Vet ikke

14. Hvordan trives du alt i alt i din nåværende jobb?

Svært godt

Ganske godt

Ganske dårlig

Svært dårlig

HELSE

15. Høyde: _____ cm.

16. Vekt: _____ kg.

17a. Har du noen form kronisk inflammatorisk (betennelsesaktig) lidelse, så som vedvarende plager fra ledd, lunger eller mage?

Ja Nei Vet ikke

b. I tilfelle ja, hvor lenge? _____ (antall år)

18a. Har du sukkersyke? Ja Nei Vet ikke
b. I tilfelle ja, hvor lenge har du hatt sukkersyke? Antall år: _____
c. Behandles sukkersyken i tilfelle med: Diett Tabletter Insulin

19a. Har du høyt blodtrykk? Ja Nei Vet ikke
b. I tilfelle ja, hvor lenge har du hatt høyt blodtrykk? Antall år: _____
c. Hvis ja, tar du medisiner for høyt blodtrykk? Ja Nei Vet ikke

20. Har du eller har du hatt noen av de følgende former for hjertesykdom?
(Sett kryss hvis ja; du kan sette flere kryss.)

Hjerteinfarkt
Hjertesvikt
Hjertekrampe
Hjerterytmeforstyrrelse

21a. Er det noe du er allergisk for? Ja Nei Vet ikke
b. Hvis ja, i tilfelle hva? _____

22. Kjenner du til at noen i din slekt har eller har hatt hjerte-karsykdom før fylte 50 år for menn eller før fylte 60 år for kvinner?
Mor/far søsken onkler/tanter andre slektninger

23. Har du selv noen annen kronisk sykdom? Ja Nei Vet ikke
I tilfelle hvilken eller hvilke? _____

24. Hadde du som barn eller ungdom astma og/eller eksem?
Ja, astma Ja, eksem

25. Har du vært forkjølet de siste 2-3 ukene? Ja Nei Vet ikke

26. Har du i hvert av de to siste år hatt perioder med hoste og oppspytt som har vart i 3 måneder eller mer? Ja Nei Vet ikke

27. Er du plaget med hoste? Ja Nei Vet ikke

28. Er du plaget med tung pust? Ja Nei Vet ikke

29. Blir du mer tungpusten enn jevnaldrende når du går i motbakker i vanlig tempo? Ja Nei Vet ikke

30. Blir du tungpusten når du går opp to etasjer i vanlig fart?
Ja Nei Vet ikke

31. Blir du tungpusten når du går i vanlig fart på flat mark?

Ja Nei Vet ikke

32. Er du tungpusten når du sitter i ro?

Ja Nei Vet ikke

33. Hender det at du har anfall med tung pust og pipende åndedrett?

Ja Nei Vet ikke

34. Har du i tilfelle hatt slike anfall i forbindelse med arbeid?

Ja Nei Vet ikke

35a. Har du andre plager fra luftveiene? Ja Nei Vet ikke

b. Hvis ja, beskriv kort: _____

36. Hvor ofte er du plaget med sure oppstøt eller magesmerter?

Nesten aldri

Ganske sjelden

Ganske ofte

Nesten alltid

37. Hvor ofte er du plaget med forstoppelse eller "løs mage"?

Nesten aldri

Ganske sjelden

Ganske ofte

Nesten alltid

38. Har du magekatarr eller magesår? Nei Ja Vet ikke

39. I hvor mange timer pr. uke driver du utenom arbeid noen form for fysisk trening/mosjon i en slik grad at pulsen stiger og du blir svett?

Oppgi ca antall timer: _____

NATTARBEID

40a. Har du tidligere arbeidet på nattskift? Nei Ja

b. I tilfelle ja; hvor lenge ialt? _____ år _____ måneder

c. I tilfelle ja; hvordan har du likt å arbeide på nattskift?

- Svært bra
Bra
Dårlig
Svært dårlig

d. I tilfelle nei; hvordan tror du at du vil like å arbeide på nattskift?

- Svært bra
Bra
Dårlig
Svært dårlig

41. Hva er dine viktigste grunner for å jobbe nattskift nå?

(Sett ett eller flere kryss)

- Det er en del av jobben
Det var den eneste ledige jobben
Det er lettere å kombinere med familieliv
Lønnen er høyere
Andre grunner: _____

42. Er du et "A-menneske" eller et "B-menneske"?

- A-menneske
Mer A enn B-menneske
Mer B enn A-menneske
B-menneske

TOBAKK

43. Røyker du daglig? Ja Nei

44. Hvis du ikke røyker nå, har du røykt tidligere? Ja Nei

45. Hvis du røyker eller har røkt tidligere, hvor gammel var du da du begynte å røyke daglig? Oppgi alder: _____ år

46. Hvis du har sluttet å røyke daglig, når var det? Oppgi årstall: _____

47. I hvor mange år har du i denne tiden du har røkt daglig hatt pause fra røykinga? Oppgi antall år med røykepause: _____ år

48. Hva og hvor mye røyker eller røykte du? (Oppgi antall

ferdigsigaretter/sigarer pr. dag og/eller hvor mange pakker
rulletobakk/pipetobakk pr. uke)

Antall ferdigsigaretter pr. dag _____

Antall sigar/sigarillos pr. dag _____

Antall pakker rulletobakk pr. uke _____

Antall pakker pipetobakk pr. uke _____

ALKOHOL

49. Hvor mange enheter alkohol drikker du vanligvis pr. uke? (en enhet er en halv flaske øl, et glass vin eller en dram). Hvis du er totalavholdende setter du 0 på begge.

Når du er hjemme mellom arbeidsperioder?

Oppgi antall enheter pr. uke: _____

Under arbeidsperioder?

Oppgi antall enheter pr. uke: _____

50. Hva synes du selv om ditt alkoholforbruk? (*sett kryss ved det som passer best*)

For mye

For lite

Akkurat passe

Vedlegg 7 – Spørreskjema 2

SPØRRESKJEMA FOR FREIFJORDTUNNELPROSJEKTET 2 – VED OPPFØLGING

Dato:

1. Løpernr. _____

2. Navn: _____ 3. Født: _____

ARBEID

4. Arbeid: _____ (Skriv hva du arbeider som ved Freifjordanlegget)

5. Ansatt hos: _____

6. Hvordan vurderer du selv det arbeidet som du de siste månedene har drevet med under rehabilitering av Freifjordtunnelen?

- | | |
|---------------------------------------|--------------------------|
| Som rent arbeid uten luftforurensing | <input type="checkbox"/> |
| Som arbeid med litt luftforurensing | <input type="checkbox"/> |
| Som arbeid med en del luftforurensing | <input type="checkbox"/> |
| Som arbeid med mye forurensing | <input type="checkbox"/> |
| Som arbeid med svært mye forurensing | <input type="checkbox"/> |

7. I hvor stor del av arbeidstiden vil du anslå at du under forurenset arbeid i Freifjordtunnelen har brukt riktig åndedrettsvern? (sett ett kryss)

- | | |
|---|--------------------------|
| Har ikke brukt åndedrettsvern | <input type="checkbox"/> |
| Mindre enn halve tiden med forurenset arbeid | <input type="checkbox"/> |
| Ca halve tiden med forurenset arbeid | <input type="checkbox"/> |
| Ca tre firedeler av tiden med forurenset arbeid | <input type="checkbox"/> |
| Nærmest hele tiden med forurenset arbeid | <input type="checkbox"/> |

8. I arbeidsperiodene bor du

- | | |
|-----------|--------------------------|
| Hjemme | <input type="checkbox"/> |
| På brakke | <input type="checkbox"/> |
| Annet: | _____ |

HELSE

9a. Har du høyt blodtrykk? Ja Nei Vet ikke

- b. Hvis ja, tar du medisiner for høyt blodtrykk? Ja Nei Vet ikke
10. Har du vært forkjølet de siste 2-3 ukene? Ja Nei Vet ikke
11. Er du plaget med hoste? Ja Nei Vet ikke
12. Er du plaget med tung pust? Ja Nei Vet ikke
13. Blir du mer tungpusten en jevnaldrende når du går i motbakker i vanlig tempo? Ja Nei Vet ikke
14. Blir du tungpusten når du går opp to etasjer i vanlig fart? Ja Nei Vet ikke
15. Blir du tungpusten når du går i vanlig fart på flat mark? Ja Nei Vet ikke
16. Er du tungpusten når du sitter i ro? Ja Nei Vet ikke
17. Hender det at du har anfall med tung pust og pipende åndedrett? Ja Nei Vet ikke
18. Har du i tilfelle hatt slike anfall i forbindelse med arbeid? Ja Nei Vet ikke
- 19a. Har du andre plager fra luftveiene? Ja Nei Vet ikke

b. Hvis ja, beskriv kort: _____

20. Hvor ofte er du plaget med sure oppstøt eller magesmerter?

- Nesten aldri
- Ganske sjelden
- Ganske ofte
- Nesten alltid

21. Hvor ofte er du plaget med forstoppelse eller "løs mage"?

- Nesten aldri
- Ganske sjelden

Ganske ofte
Nesten alltid

NATTARBEID

22. Hvordan liker du å arbeide på nattskift?

Svært bra
Bra
Dårlig
Svært dårlig

23. Hvordan sover du mellom nattevaktene?

Svært godt
Bra nok
Dårlig
Svært dårlig

24. I hvilken grad skaper nattarbeid problemer for deg med hensyn til ditt familieliv?

Nesten aldri
Ganske sjelden
Ganske ofte
Nesten alltid

25. I hvilken grad skaper nattarbeid problemer for deg med hensyn til ditt sosiale liv (venner, foreninger og lignende)?

Nesten aldri
Ganske sjelden
Ganske ofte
Nesten alltid

26. I hvilken grad skaper nattarbeid problemer for deg med hensyn til hvordan du utfører jobben din?

Nesten aldri
Ganske sjelden
Ganske ofte
Nesten alltid

TOBAKK

27. Er dine røykevaner som tidligere?

Ja Nei

Hvis ja behøver du ikke å svare på spørsmålene nedenfor

28. Røyker du daglig? Ja Nei

29. Hvis du ikke røyker nå, har du røykt tidligere?
Ja Nei

30. Hvis du røyker eller har røkt tidligere, hvor gammel var du da du begynte å røyke daglig? Oppgi alder: _____ år

31. Hvis du har sluttet å røyke daglig, når var det? Oppgi årstall: _____

32. I hvor mange år har du i denne tiden du har røkt daglig hatt pause fra røykinga? Oppgi antall år med røykepause: _____ år

33. Hva og hvor mye røyker eller røykte du? (Oppgi antall ferdigsigaretter/sigarer pr. dag og/eller hvor mange pakker rulletobakk/pipetobakk pr. uke)

Antall ferdigsigaretter pr. dag _____

Antall sigar/sigarillos pr. dag _____

Antall pakker rulletobakk pr. uke _____

Antall pakker pipetobakk pr. uke _____

ARBEIDSTID

34. Hva synes du om endringen i arbeidstiden (dvs. forskyvningen av arbeidstiden med 1 time) som ble innført i slutten av april?

Svært bra

Bra

Verken bra eller dårlig

Dårlig

Svært dårlig

35. Tror du at denne endringen har hatt noen betydning for din helse og trivsel?

Ikke i det hele tatt

I liten grad

I ganske stor grad

I svært stor grad

Vedlegg 8 – Spørreskjema 3

**SPØRRESKJEMA FOR
FREIFJORDTUNNELPROSJEKTET**

3 – VED SLUTT

Dato:

1. Løpenr. _____

2. Navn: _____ 3. Født: _____

ARBEID

4. Arbeid: _____ (Angi siste jobb ved Freifjordanlegget)

5. Ansatt hos: _____

6. Vennligst angi i tabellen nedenfor hvilke arbeidsoppgaver du har hatt mens du har arbeidet i Freifjordtunnelen.

Arbeidsgiver	Tidsrom	Arbeidsoppgaver

7. Hvordan vurderer du selv det arbeidet som du de siste månedene har drevet med under rehabilitering av Freifjordtunnelen?

- Som rent arbeid uten luftforurensing
- Som arbeid med litt luftforurensing
- Som arbeid med en del luftforurensing
- Som arbeid med mye forurensing
- Som arbeid med svært mye forurensing

8. I hvor stor del av arbeidstiden vil du anslå at du under forurenset arbeid i

Freifjordtunnelen har brukt riktig åndedrettsvern? (sett ett kryss)

- Har ikke brukt åndedrettsvern
- Mindre enn halve tiden med forurenset arbeid
- Ca halve tiden med forurenset arbeid
- Ca tre firedeler av tiden med forurenset arbeid
- Nærmest hele tiden med forurenset arbeid

9. I hvilken grad synes du at trafikkavviklingen under arbeid i Freifjordtunnelen har gjort arbeidssituasjonen din utrygg?

- Ikke i det hele tatt
- I liten grad
- I ganske stor grad
- I svært stor grad

10. I arbeidsperiodene bor du

- Hjemme
- På brakke
- Annet _____

HELSE

11. Høyde: _____ cm.

12. Vekt: _____ kg.

13a. Har du noen form kronisk inflammatorisk (betennelsesaktig) lidelse, så som vedvarende plager fra ledd, lunger eller mage?

Ja Nei Vet ikke

b. I tilfelle ja, hvor lenge? _____ (antall år)

14a. Har du sukkersyke? Ja Nei Vet ikke

b. I tilfelle ja, hvor lenge har du hatt sukkersyke? _____ (antall år)

c. Behandles sukkersyken i tilfelle med:

Diett Tabletter Insulin

15a. Har du høyt blodtrykk? Ja Nei Vet ikke

b. I tilfelle ja, hvor lenge har du hatt høyt blodtrykk? _____ (antall år)

c. Hvis ja, tar du medisiner for høyt blodtrykk?

Ja Nei Vet ikke

16. Har du eller har du hatt noen av de følgende former for hjertesykdom?

(sett kryss hvis ja; du kan sette flere kryss)

- Hjerteinfarkt
- Hjertesvikt
- Hjertekrampe

Hjerterytmeforstyrrelse

17a. Har du noen annen kronisk sykdom?

Ja Nei Vet ikke

b. I tilfelle hvilken eller hvilke? _____

18. Har du vært forkjølet de siste 2-3 ukene?

Ja Nei Vet ikke

19. Har du i hvert av de to siste år hatt perioder med hoste og oppspytt som har vart i 3 måneder eller mer?

Ja Nei Vet ikke

20. Er du plaget med hoste?

Ja Nei Vet ikke

21. Er du plaget med tung pust?

Ja Nei Vet ikke

22. Blir du mer tungpusten en jevnaldrende når du går i motbakker i vanlig tempo?

Ja Nei Vet ikke

23. Blir du tungpusten når du går opp to etasjer i vanlig fart?

Ja Nei Vet ikke

24. Blir du tungpusten når du går i vanlig fart på flat mark?

Ja Nei Vet ikke

25. Er du tungpusten når du sitter i ro?

Ja Nei Vet ikke

26. Hender det at du har anfall med tung pust og pipende åndedrett?

Ja Nei Vet ikke

27. Har du i tilfelle hatt slike anfall i forbindelse med arbeid?

Ja Nei Vet ikke

28a. Har du andre plager fra luftveiene?

Ja Nei Vet ikke

b. Hvis ja, beskriv kort: _____

29. Hvor ofte er du plaget med sure oppstøt eller magesmerter?

Nesten aldri

Ganske sjelden

Ganske ofte

Nesten alltid

30. Hvor ofte er du plaget med forstoppelse eller ”løs mage”?

- Nesten aldri
Ganske sjelden
Ganske ofte
Nesten alltid

NATTARBEID

31. Hvordan liker du å arbeide på nattskift?

- Svært bra
Bra
Dårlig
Svært dårlig

32. Hvordan sover du mellom nattevaktene?

- Svært bra
Bra
Dårlig
Svært dårlig

33. I hvilken grad skaper nattarbeid problemer for deg med hensyn til ditt familieliv?

- Nesten aldri
Ganske sjelden
Ganske ofte
Nesten alltid

34. I hvilken grad skaper nattarbeid problemer for deg med hensyn til ditt sosiale liv (venner, foreninger og lignende) ?

- Nesten aldri
Ganske sjelden
Ganske ofte
Nesten alltid

35. I hvilken grad skaper nattarbeid problemer for deg med hensyn til hvordan du utfører jobben din?

- Nesten aldri
Ganske sjelden
Ganske ofte
Nesten alltid

TOBAKK

36. Er dine røykevaner som tidligere? Ja Nei

Hvis ja behøver du ikke å svare på spørsmålene nedenfor

37. Røyker du daglig? Ja Nei
38. Hvis du ikke røyker nå, har du røykt tidligere? Ja Nei
39. Hvis du røyker eller har røkt tidligere, hvor gammel var du da du begynte å røyke daglig? Oppgi alder: _____ år
40. Hvis du har sluttet å røyke daglig, når var det? Oppgi årstall: _____
41. I hvor mange år har du i denne tiden du har røkt daglig hatt pause fra røykinga?
Oppgi antall år med røykepause: _____ år
42. Hva og hvor mye røyker eller røykte du? (Oppgi antall ferdigsigaretter/sigarer pr. dag og/eller hvor mange pakker rulletobakk/pipetobakk pr. uke)
- Antall ferdigsigaretter pr. dag _____
- Antall sigar/sigarillos pr. dag _____
- Antall pakker rulletobakk pr. uke _____
- Antall pakker pipetobakk pr. uke _____

ARBEIDSTID

43. Hva synes du om endringen i arbeidstiden (dvs. forskyvningen av arbeidstiden med 1 time) som ble innført i slutten av april?
- Svært bra
- Bra
- Verken bra eller dårlig
- Dårlig
- Svært dårlig
44. Tror du at denne endringen har hatt noen betydning for din helse og trivsel?
- Ikke i det hele tatt
- I liten grad
- I ganske stor grad
- I svært stor grad