



# STØVEKSPONERING VED BERGBORING I DAGEN

**Forfattere:** Berit Bakke, Nils Petter Skaugset, Kari Dahl, Raymond Olsen, Kristin Halgard, Steinar Messel, Bente Ulvestad

**Prosjektansvarlig:** Berit Bakke

**Dato:** 17. november 2014

**Stami nr.:** 3, Årgang 15

**ISSN nr.:** 1502-0932



Foto: STAMI



# Innholdsfortegnelse

Forkortelser .....	IV
Sammendrag.....	V
Forord .....	VI
1. Introduksjon .....	1
2. Beskrivelse av borerigger og arbeidsoperasjoner .....	2
3. Mål.....	4
4. Materiale og metoder .....	5
4.1. Utvalg.....	5
4.2. Prøvetakingsstrategi.....	5
4.3. Værstasjon.....	9
4.4. Prøvetakingsmetoder .....	10
4.4.1. Direktevisende instrumenter.....	10
4.4.2. Stasjonær prøvetaking av helserelevante aerosolfraksjoner .....	11
4.4.3. Prøvetakingsmetoder – personlige prøver.....	11
4.5. Analysemetoder .....	12
4.5.1. Gravimetri.....	12
4.5.2. Bestemmelse av oljetåke og oljedamp.....	12
4.5.3. Bestemmelse av $\alpha$ -kvarts .....	12
4.6. Dataanalyse .....	13
5. Resultater og diskusjon .....	14
5.1. Oversikt over luftkonsentrasjoner av støv og gasser .....	14
5.1.1. Personlige prøver.....	14
5.1.2. PIMEX.....	17
5.1.3. Stasjonære prøver .....	17
6. Konklusjon .....	19
7. Referanser .....	200
Appendiks .....	211

## Forkortelser

<b>AM</b>	Aritmetisk gjennomsnitt
<b>CO</b>	Karbonmonoksid
<b>EC</b>	<i>Elemental carbon</i> (elementært karbon)
<b>FID</b>	<i>Flame Ionisation Detector</i> (flammeionisasjonsdetektor)
<b>FTIR</b>	Fourier Transform Infrarød Spektroskopi
<b>GC</b>	<i>Gas Chromatography</i> (gasskromatografi)
<b>GM</b>	Geometrisk gjennomsnitt
<b>GSD</b>	Geometrisk standardavvik
<b>kols</b>	Kronisk obstruktive lungesykdommer
<b>LOD</b>	<i>Limit of detection</i> (deteksjonsgrense)
<b>MEF</b>	Maskinentreprenørenes Forbund
<b>NO<sub>2</sub></b>	Nitrogendioksid
<b>PAH</b>	Polysykliske aromatiske hydrokarboner
<b>PIMEX</b>	<i>Picture Mix Exposure</i> (videofilming av operatør i kombinasjon med måling av eksponering)
<b>PM</b>	<i>Particulate matter</i> (partikulær masse)
<b>STAMI</b>	Statens arbeidsmiljøinstitutt
<b>XRD</b>	<i>X-ray diffraction</i> (røntgendiffraksjon)

# 1. Sammendrag

Denne rapporten oppsummerer resultatene fra en kartlegging av kjemisk arbeidsmiljø ved bergboring utendørs. Målet med denne undersøkelsen var å kartlegge personlig eksponering for aerosoler og gasser ved bergboring ved bruk av tre ulike borerigger i vinter- og sommer sesong, samt å studere fordelingen av inhalerbar-, torakal- og respirabel aerosolfraksjon i luften rundt boreriggen.

Prøvetakingsstrategien fokuserte på personlige målinger av aerosoler og gasser for å kunne vurdere om eksponeringen medfører helserisiko for de som utfører denne jobben. I tillegg ble det utført stasjonære målinger av støv i og rundt borerigg for å kunne teste ut et oppsett som senere kan brukes i en intervensjonsstudie for å vurdere effekter av støvreduserende tiltak.

Det ble i alt gjennomført 53 prøvetakinger fordelt over 20 arbeidsdager i 2014. Det deltok 14 operatører. Det ble utført noen stasjonære målinger i lukket operatørhytte, samt utført direktevisende støvmåling i kombinasjon med videofilming (PIMEX) av boreoperatør og operatør som skiftet støvsekk. Det ble også utført 8 prøvetakinger med stasjonære prøvetakere plassert i fire punkter rundt borerigg med lukket operatørhytte.

Resultatene fra prosjektet viser at ved bruk av borerigg med fastmontert panel i umiddelbar nærhet til borestrengen vil operatøren kunne eksponeres for betydelige konsentrasjoner av både torakalt støv (geometrisk middelvei (GM)= 2,36 mg/m<sup>3</sup>) og respirabelt støv (GM=1,0 mg/m<sup>3</sup>). Det var ingen statistisk forskjell i luftkonsentrasjoner mellom boreoperatør som satt i lukket hytte (GM<sub>respirabelt</sub>= 0,05 mg/m<sup>3</sup> og GM<sub>torakalt</sub>= 0,05 mg/m<sup>3</sup>) og boreoperatør som benyttet en rigg uten lukket hytte og med radiopanel ( $p > 0,05$ ) (GM<sub>respirabelt</sub>= 0,14 mg/m<sup>3</sup> og GM<sub>torakalt</sub>= 0,33 mg/m<sup>3</sup>).

Det var ingen forskjell i luftkonsentrasjoner av  $\alpha$ -kvarts mellom jobbgruppene fordelt på type borerigg ( $p=0,1$ ), men åtte av de 11 prøvene hvor det ble utført kvartsbestemmelse overskred gjeldende tiltaksverdi for respirabelt  $\alpha$ -kvarts (0,1 mg/m<sup>3</sup>). Prosentvis kvarts i prøvene varierte mellom 9 og 22%.

Bruk av lukket operatørhytte på borerigg vil redusere eksponering for støv betydelig sammenliknet med borerigger med fastmontert panel. Operatøren må allikevel være oppmerksom på at når man går ut av hytta f eks i forbindelse med sjekk av borekrone så bør bruk av personlig åndedrettsvern vurderes.

Operatørene kan også bli eksponert for dieseleksos og oljetåke, men målingene i denne undersøkelsen viser at luftkonsentrasjonene er lave.

PIMEX målingene avdekket at skifting av støvsekk og ladning av sprengstoff er arbeidsoperasjoner som kan medføre betydelig støveksponering. Operatørene som utfører denne type oppgaver bør derfor vurdere å bruke åndedrettsvern som beskytter mot støveksponering.

## Forord

STAMI ble i september 2013 kontaktet av TT-anlegg AS i forbindelse med at bedriften ønsket å initiere et prosjekt for å utvikle en ny metode for å redusere mengden støv som spres til omgivelsene ved bergboring. Arbeidstilsynet arrangerte deretter et dialogmøte med bransjen i november 2013. Hensikten med møtet var å komme i dialog med bransjen for å få iverksatt egnede tiltak i virksomhetene for å redusere arbeidstakeres eksponering for helseskadelig støv. Partene skulle også diskutere løsninger på utfordringen knyttet til å fjerne steinstøv ved bergboring for å hindre støvspredning og eksponering. STAMI gjorde så en undersøkelse i litteraturen for å se om det var publisert yrkeshygieneundersøkelser fra denne typen arbeid tidligere. Denne gjennomgangen avdekket at det fantes lite dokumentasjon av eksponeringsnivå. På bakgrunn av dette ble et forslag til pilotprosjekt "Støveksponering ved bergboring i dagen" utarbeidet.

Prosjektet ble gjennomført i perioden januar – oktober 2014.

STAMI er ansvarlig for innholdet i rapporten og for eventuelle feil og mangler knyttet til denne. Alle bilder som er brukt er gjengitt med tillatelse fra aktuelle personer og bedrifter.

Vi takker for samarbeidet med entreprenørene TT-Anlegg AS og Kjell Foss AS og alle operatørene for velvillig deltakelse i gjennomføringen av målingene. Takk til Erland Lavoll (TT-anlegg AS) for hjelp med innsamling av prøvene i prosjektet.

Vi takker også for finansielt bidrag fra Norges Forskningsråd, Arbeidstilsynet og Maskinentrepenørernes Forbund.

Oslo, 17.11.2014

# 1. Introduksjon

Anleggsarbeidere i Norge utfører mange ulike jobber.<sup>(1)</sup> De borer i fjell, lader sprengstoff og sprenger. De er operatører av borerigger, utfører manuell boring og rensking av fjell og forskjellige former for etterarbeid og reparasjonsarbeid. Arbeidet følger normalt en rutine som innebærer at boreriggene borer hull i fjellet hvor sprengstoffet plasseres, fjellet sprenges og steinmassene fjernes.

Ved sprengingsarbeid frigjøres store mengder støv og gasser. Type og sammensetning av sprengstoffet vil påvirke både sammensetning og mengde støv og gass som frigjøres etter sprengning.<sup>(2)</sup> Støv genereres også fra boring i fjell og transport av sprengningsmasse.<sup>(3)</sup> Konsentrasjonen av kvarts i lufta avhenger av lokale geologiske forhold og varierer mellom ulike steder. De fleste anleggsmaskinene er dieseldrevne maskiner. Ved bruk av dieseldrevne maskiner dannes partikler (f eks elementært karbon (EC), gasser (f eks karbonmonoksid (CO) og nitrogendioksid (NO<sub>2</sub>)) og ulike hydrokarboner (f eks polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH)).<sup>(4)</sup> Oljetåke kan dannes fra smøremiddel i borekroner og i hydraulikk.

I tidligere studier fra Statens arbeidsmiljøinstitutt (STAMI) er det kartlagt eksponering for støv og gasser blant ulike grupper tunnelarbeidere: stoffarbeidere, fullprofilborere, sjaktborere, betongsprøytere, bakstofferarbeidere, forskalingssekkere, jernbindere og elektromontører, samt en gruppe av forskalingssekkere og jernbindere som jobbet utendørs. Studier av tunnelarbeidere generelt har vist at eksponering for støv og gasser gir økt risiko for nedsatt lungefunksjon og kronisk obstruktiv lungesykdom (kols).<sup>(5-9)</sup>

Støveksponering ved bergboring i dagen er ikke tidligere kartlagt på en systematisk måte til tross for at dette er en arbeidsoperasjon som er mye benyttet i dag. Eksponering ved bergboring i dagen forventes å ha samme kvalitative sammensetning som ved bergboring i tunneler. Kunnskap om kjemisk eksponering vil være viktig for å kunne vurdere om eksponeringen medfører helserisiko for de som utfører denne jobben. Å undersøke hvilke arbeidsoppgaver, produksjonsteknikker og tekniske betingelser/utstyr som har størst betydning for eksponering er også viktig i et forebyggende perspektiv.

## 2. Beskrivelse av borerigger og arbeidsoperasjoner

Det er i dag omtrent 1000 små anleggsbedrifter som driver bergboring i Norge (Maskinentreprenørenes Forbund (MEF), 2014). Ved boring gjør riggen korte forflytninger etter hvert som hull bores ferdig. I løpet av en uke kan riggen bevege seg omtrent tilsvarende et areal på 1000 m<sup>2</sup>. Støvpartikler som dannes ved boring suges opp fra borekrona og slippes ut bak riggen (Bilde D). Støvmengden som genereres ved boring avhenger bl.a. av størrelsen på borekrona. En vanlig borekrona har størrelse 51 – 89 mm. Støvet kan samles opp i sekker. Dette krever at sekken lukkes og byttes når den er passe full slik at tyngden ikke blir for stor (<25 kg). I motsetning til boreoperasjoner i tunnel, tilføres det sjelden vann under boring for å minimere støvutvikling. Dette har sammenheng med at arbeidet ofte utføres på steder hvor det er begrenset tilgang på vann.

Det benyttes i prinsippet tre typer borerigger i det norske bygg- og anleggsmarkedet:

- 1) Borerigger med lukket operatørkabin og med radiopanel som kan tas med ut av kabinen ved behov. (Bilde A)
- 2) Borerigger uten lukket operatørkabin, men med radiopanel som kan fjernstyre riggen. Operatøren har da mulighet til å bevege seg bort fra riggen når boringen foregår. (Bilde B)
- 3) Borerigger med radiopanel festet fast ved boretårn. Dette betyr at boreoperatøren må stå helt inntil borestrengen når det bores. (Bilde C)

Det er vanligvis to personer som jobber når det bores:

- 1) én boreoperatør som styrer boreriggen
- 2) én sprengningsleder som har ansvar for ladning av sprengstoff og sprengning.

Et typisk arbeidsskift varer 8-10 timer og inkluderer to matpauser på 30 minutter hver. På typiske reiseoppdrag, hvor arbeiderne ikke bor hjemme, jobbes det etter ulike skiftplaner. Noen av disse skiftplanene kan medføre arbeidsskift på 10 – 12 timer.





A



B



C



D

Bilde A-D: Oversikt over ulike borerigger. Borerigg med lukket hytte (A), borerigg med radiopanel uten hytte (B), borerigg med fast panel uten hytte (C), utslipp av støv bak borerigg (D).

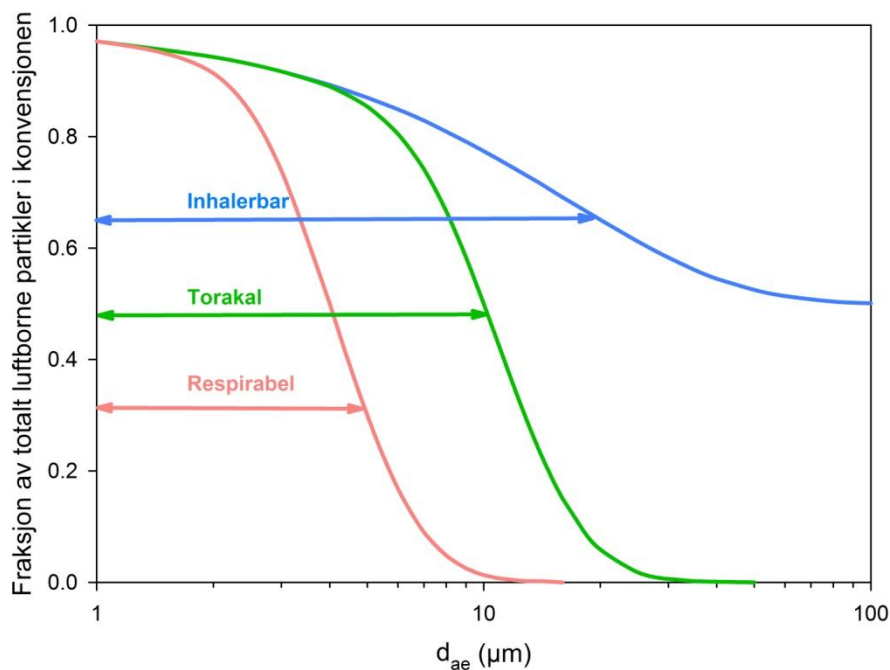
Foto: STAMI

### 3. Mål

Målet med denne undersøkelsen var å kartlegge personlig eksponering for aerosoler og gasser ved bergboring utendørs med tre ulike borerigger i vinter- og sommer sesong, samt å studere fordelingen av inhalerbar-, torakal- og respirabel aerosolfraksjon<sup>1</sup> (Figur 1) i luften rundt boreriggen.

For å nå dette målet har vi:

- Kartlagt nivåer av respirabel- og torakal aerosolfraksjon og oljetåke og oljedamp hos boreoperatør og sprengningsleder.
- Bestemt innholdet av  $\alpha$ -kvarts i utvalgte prøver av respirabel aerosol.
- Utført stikkprøver av  $\text{NO}_2$  og  $\text{CO}$  hos boreoperatør for å skaffe informasjon om eksponeringsnivå.
- Kartlagt luftkonsentrasjonen av respirabel- og torakal aerosolfraksjon inne i lukket operatørhytte. Stasjonær prøvetaking inne i hytta.
- Bestemt inhalerbar-, torakal- og respirabel aerosolfraksjon i luften i fire målepunkter rundt borerigg.
- Kartlagt variasjon i eksponering ved bruk av videofilming av operatør og direktevisende aerosolmåler (Picture Mix Exposure (PIMEX)).



Figur 1. Beskrivelse av helse-relaterte aerosol sub-fraksjoner i henhold til EN 481.

<sup>1</sup> *Inhalerbar aerosol*: partikler som blir inhalert gjennom nese/munn. *Torakal aerosol*: partikler som kan passere forbi strupehodet. *Respirabel aerosol*: partikler som kan nå helt ut i alveolene.<sup>(10)</sup>

## 4. Materiale og metoder

### 4.1. Utvalg

To bedrifter, Kjell Foss A/S og TT-Anlegg AS, deltok i denne undersøkelsen. Begge bedriftene stilte med egne borerigger og operatører.

### 4.2. Prøvetakingsstrategi

#### *Personlige prøver*

Vi vet fra tidligere undersøkelser at eksponeringsnivået kan variere mellom ulike jobber (f eks boreoperatør vs. sprengningsleder), det kan være forskjeller mellom arbeidsskift, dager og hvordan jobben utføres, arbeidsoppgaver, geologiske forhold, årstider og type maskiner som brukes. Arbeidere som utfører samme jobb kan derfor være eksponert for svært ulike nivåer. Dette kan føre til at helserisiko feilvurderes fordi variasjonen i eksponeringsgrad ikke er kjent. Kunnskap om faktorer som påvirker eksponeringsnivået er viktig fordi dette vil gi informasjon om innsatsområder og behov forebyggende tiltak for å redusere eksponering.

For å få et mål på personlig eksponering inkluderte denne kartleggingen personlige luftmålinger på operatøren som styrer boreriggen og sprengningsleder. Deltakerne bar en ryggsekk med 2- 3 prøvetakingspumper, og innsuget på prøvetakingsenhetene ble plassert framme på brystet, så nær pustesonen som mulig (se Bilde E). Etter endt prøvetaking ble det fylt ut et prøvetakings skjema hvor det ble beskrevet hva operatøren hadde utført av arbeidsoppgaver i løpet av prøvetakingsperioden. Eventuell bruk av åndedrettsvern ble også registrert. Prøvetakingstiden varierte fra 250 til 500 minutter (aritmetisk middelværdi (AM) =380 minutter) bortsett fra oljetåke/oljedamp prøvene hvor prøvetakingstiden var 120 minutter.

Prøver ble samlet inn i både vinter- (januar) og sommerhalvåret (juni-august) for å kunne beskrive forskjeller i luftkonsentrasjoner mellom ulike årstider.

Vintermålingene ble gjennomført over to uker med boring på tre ulike industriområder utenfor Mandal. Det ble ikke utført ladning og sprengning mens målingene ble utført og det ble kun utført målinger på boreoperatører.

Sommermålingene ble utført over seks uker på tre ulike industriområder utenfor Mandal. Det ble utført målinger på både boreoperatører og sprengningsledere.

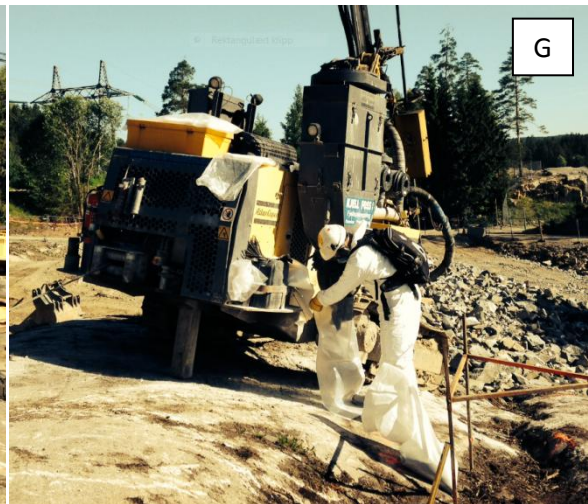


Bilde E. Plassering av personlige prøvetakere. Foto: STAMI



## PIMEX

Det ble utført tre PIMEX målinger for å studere eksponering ved 1) skifting av sekk for oppsamling av støv, 2) boreoperatørs eksponering ved bruk av rigg med fast panel og 3) lading av spregstoff. Direktevisende aerosolmåler ble plassert på personen som byttet sekk (Bilde G), boreoperatør (Bilde H) og operatør som ladet (ikke vist).

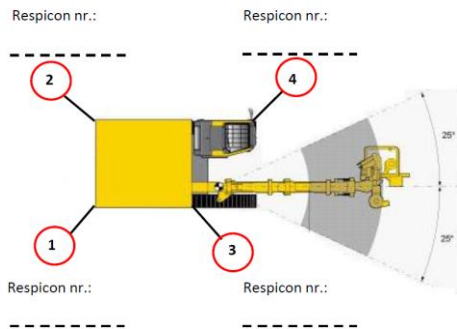


Bilde F-H. PIMEX målinger. Videofilming (F) av operatør som skifter støvsugerpose (G) og operatør som borer med en rigg med fast panel (H). Foto: STAMI

### Stasjonære målinger

Hensikten med å konstruere et oppsett for stasjonær prøvetaking var at dette kan senere brukes for å dokumentere effekt av støvreduserende tiltak på konsentrasjonen av støv rundt borerigg.

For å beskrive hvordan aerosolen som dannes ved boring fordeler seg rundt boreriggen ble det montert 4 staver (to foran og to bak) på en av boreriggene (Fig. 1). Det ble deretter montert stasjonære prøvetakere for inhalerbar-, torakal og respirabel aerosolfraksjon på stengene (se Bilde I).



Figur 2. Beskrivelse av målepunkter (1-4) rundt borerigg.



Bilde I. Plassering av stasjonære prøvetakere. Foto: STAMI

### 4.3. Værstasjon

Værforholdene under prøvetaking vil kunne ha betydning for resultatet av luftmålinger. Ved personlig prøvetaking er det ikke vanlig å registrere værforhold ved bruk av en værstasjon, men fordi oppsettet med stasjonære prøvetakere kan brukes i en intervensjonsstudie hvor luftkonsentrasjoner av støv skal måles før og etter et tiltak, ønsket vi å inkludere målinger av vindhastighet, vindretning og temperatur.

Vindhastighet, vindretning og temperatur ble derfor kontinuerlig registrert og lagret med en værstasjon (MetPak II, Gill Instruments (Bilde J)) i de to første prøvetakingsukene i januar. Værstasjonen ble plassert på et representativt sted i nærheten av borerigg med hytte hvor de stasjonære prøvetakerne var montert (Bilde J). Det ble bestemt at målingene ikke skulle utføres ved vindhastigheter over 5 m/s.



Bilde J. Plassering av værstasjon. Foto: STAMI

## 4.4. Prøvetakingsmetoder

### 4.4.1. Direktevisende instrumenter

Direktevisende instrumenter er et supplement til tradisjonelle prøvetakingsmetoder som samler opp den aktuelle kjemiske forbindelsen på et filter eller en adsorbent, og hvor prøven analyseres i et laboratorium. Ved hjelp av direktevisende instrumenter kan man kartlegge variasjon i eksponeringsnivået over tid og identifisere forurensningskilder og lekkasjer.

#### *Dräger PAC7000 elektrokjemiske gass sensorer for bestemmelse av nitrogendioksid og karbonmonoksid.*

Det mest utbredte prinsippet for måling av uorganiske gasser i arbeidsatmosfæren er basert på elektrokjemi (interaksjon mellom kjemi og elektrisitet). Prinsippet er basert på diffusjon av gassmolekyler over en membran og inn i et kjemisk system hvor det skjer en kjemisk reaksjon.

Sensorene ble kalibrert før første prøvetaking mot en kalibreringsgass med kjent konsentrasjon.

Lagringsintervall: 10 sekunder

Kalibreringsgass: Yara Praxair

*Karbonmonoksid:*

Konsentrasjon: 300 ppm. Holdbar til 26.03.2015.

*Nitrogendioksid:*

Konsentrasjon: 20,6 ppm. Holdbar til 24.04.2014.

Kalibreringsdato: 06.12.2013

#### *DustTrack DRX aerosolspektrometer*

DustTrak DRX aerosolprøvetakeren er et direktevisende aerosolfotometer som måler partikkelkonsentrasjonen og størrelsene på partiklene i aerosolen (PM1<sup>2</sup>, respirabel fraksjon, PM10<sup>3</sup>, totalstøv<sup>4</sup>) ved hjelp av laser-lysspredningsdeteksjon. Ved bruk av dette instrumentet får vi informasjon om variasjon i aerosol eksponeringen som funksjon av tid.

Instrumentet ble benyttet samtidig med at operatøren ble videofilmet mens arbeidet pågikk. Dette gir informasjon om observerbare faktorer som påvirker eksponeringsnivået.

---

<sup>2</sup> PM1: støvpartikler med en diameter  $\leq 1 \mu\text{m}$ .

<sup>3</sup> PM10: støvpartikler med en diameter  $\leq 10 \mu\text{m}$ .

<sup>4</sup> Totalstøv er et uttrykk som er innarbeidet i forbindelse med arbeidsmiljømålinger, og for mange er det noe som kan måles med en "totalstøvkassett" (3-delt plast kassett). I mange land, også i Norge, anbefaler man fremdeles at "totalstøv" skal kartlegges som et mål for eksponering fordi det er mange tiltaks- og grenseverdier som er basert på bruk av "totalstøvkassetten".



#### 4.4.2. Stasjonær prøvetaking av helse relaterte aerosolfraksjoner

Respicon<sup>®</sup> er en to-trinns aerosolimpaktor som samler opp aerosolen på tre filtre med diameter på 37 mm (Bilde K). Dette gjør det mulig å bestemme de helse relaterte respirable-, torakale- og inhalerbare aerosolfraksjonene. Den totale luftstrømmen gjennom prøvetakeren skal være 3,11 L/min, og ulik luftstrøm gjennom hvert filtersteg og utformingen av impaktoren gjør at en aerosol med kjent aerodynamisk diameter<sup>5</sup> blir samlet opp på de ulike trinnene. Respirabel aerosol blir samlet opp på trinn 1, trakeobronkial på trinn 2, ekstratorakal fraksjon på trinn 3, og disse fraksjonene brukes til å beregne torakal- og inhalerbar aerosolfraksjon.

Respicon<sup>®</sup> er testet ut som en stasjonær prøvetaker og følger kriterier for inhalerbar aerosol.



Bilde K. Respicon prøvetaker montert på rigg. Foto: STAMI

#### 4.4.3. Prøvetakingsmetoder – personlige prøver

Til prøvetaking av respirabel aerosolfraksjon ble det benyttet forhåndsveide 37 mm PVC filtre med porestørrelse 5  $\mu\text{m}$  i Higgins-Dewell sykklon (JS Holding, UK). Luftgjennomstrømningshastigheten gjennom sykklonen var 2,2 L/min.

Til prøvetaking av torakal aerosolfraksjon ble det benyttet forhåndsveide PVC filtre (37 mm) med porestørrelse 5  $\mu\text{m}$  i BGI GK 2.69 sykklon (BGI Inc., MA, US). Luftgjennomstrømningshastigheten gjennom sykklonen var 1,6 L/min.

Til oppsamling av oljetåke ble det benyttet en 37 mm 3-delt plastkassett (Millipore, MA, USA) ("totalstøvkassett") pakket med et glassfiberfilter og et celluloseacetat-filter. Et kullrør ble koplet i serie bak filterkassetten for å samle opp oljedamp. Luftgjennomstrømningshastigheten gjennom filter og kullrør var ca. 1,4 L/min og prøvetakingstid ca. 2 timer.

<sup>5</sup> Aerodynamisk diameter ( $d_{ae}$ ) er diameteren til en tenkt partikkel som har lik fallhastighet som den aktuelle partikkelen, men som har kuleform og tetthet lik 1 g/cm<sup>3</sup>.  $d_{ae}$  er avhengig av: tetthet, form og størrelse. <sup>(11)</sup>

## 4.5. Analysemetoder

### 4.5.1. Gravimetri

Massene av respirabel- og torakal aerosol i personbårede prøver, samt respirabel, torakal og inhalerbar aerosol i stasjonære prøver ble bestemt gravimetrisk (veiing).

Bestemmelse av masse på filter gjøres med en mikroanalysevekt ved å veie filtret før og etter prøvetaking. Vekten er plassert i et klimatisert veierom (temperatur  $20 \pm 1$  °C og relativ luftfuktighet  $40 \pm 2$  %). Filtrene ble akklimatisert på veierom ett døgn før veiing. Gjennomsnittlig aerosolkonsentrasjon i arbeidslufta over måleperioden kan så beregnes ved at man kjenner luftvolumet som har gått igjennom filtret. En veieprosedyre inkluderer også veiing av blindfiltre (ueksponerte filtre) for blindverdikorreksjon, fjerning av statisk elektrisitet med en radioaktiv kilde og kvalitetskontroll med veiing av referanselodd og referansefiltre.

Ved en gravimetrisk bestemmelse får man ingen informasjon om aerosolens kjemiske sammensetning. For å karakterisere aerosolen må det gjøres kjemiske analyser.

### 4.5.2. Bestemmelse av oljetåke og oljedamp

Filtrene som samlet opp oljetåke ble ekstrahert med 1,1,2-triklor-1,2,2-trifluoretan (Freon 113) og analysert ved hjelp av Fourier Transform Infrarød Spektroskopi (FTIR). Oljen, Mobil Almo 525, ble benyttet som kalibreringsstandard.

Kullrørene som samlet opp oljedamp ble desorbent med karbondisulfid og ekstraktet ble analysert ved bruk av gasskromatografi med flammeionisasjonsdetektor (GC-FID).

Oljedampprøvene ble sammenliknet med prøver fra de innsendte oljene: Mobil Almo 525, Mobil Almo 527, Mobil DET Excel 46 og Mobil Delvac MX ESP 15W-40, AC Fluid Hydraulic 120 og AC Fluid Rockdrill 100.

### 4.5.3. Bestemmelse av $\alpha$ -kvarts

Et utvalg av aerosolfiltrene ble analysert for å bestemme innholdet av  $\alpha$ -kvarts i den respirable aerosol fraksjonen. Utgangspunktet for utvelgelsen var at prøvene skulle dekke alle typer borerigger og arbeidsoperasjoner, og skulle selekteres fra ulike steder hvor prøvene var samlet inn. På dette grunnlag ble prøvene med de høyeste støvmengdene valgt ut.

Aerosolfiltret ble forasket for å fjerne filtret og organiske forbindelser fra prøven. De gjenværende partiklene etter foraskning ble så filtrert kvantitativt til et filter hvor mengden  $\alpha$ -kvarts ble bestemt ved røntgen diffraksjonsspektrometri (XRD).

## 4.6. Dataanalyse

Måledataene var log-normalfordelte og ble derfor ln-transformert før de statistiske analysene.<sup>(12)</sup> Luftkonsentrasjonene er beregnet ut fra faktisk prøvetakingstid; de er ikke normalisert til standard 8 timers arbeidsdag.

Dataene er i denne rapporten presentert ved sentralmål (AM og geometrisk middelværdi (GM)) og spredning (geometrisk standardavvik (GSD) og persentiler (10/90)).

Boksplott (grafisk metode for sammenstilling av data i ulike undergrupper) er benyttet for å sammenlikne stasjonære målinger av luftkonsentrasjoner i ulike posisjoner rundt borerigg. Boksen i sentrum inneholder de 50% midterste observasjonene (nedre grense er 25%-persentil og øvre grense er 75% persentil). Streken på tvers i boksen er medianen. Utstikkere oppover og nedover angir minimums- og maksimumsverdier i datamaterialet.

SAS prosedyren PROC MIXED ble brukt for å studere forskjeller i luftkonsentrasjoner mellom boreriggene, jobber og årstider.

IBM SPSS for Windows, versjon 22.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA) og SAS versjon 8.2 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) ble benyttet i alle statistiske analyser.

## 5. Resultater og diskusjon

I denne undersøkelsen ble det gjennomført 53 prøvetakinger fordelt over 20 arbeidsdager i 2014. Det deltok totalt 14 personer. Det ble utført 33 og 10 prøvetakinger på henholdsvis boreoperatør og sprengningsleder. Det ble tatt noen stasjonære prøver i lukket operatørhytte, samt utført PIMEX målinger (direktevisende støvmåling i kombinasjon med videofilming) av boreoperatør og operatør som skiftet støvsekk.

Det ble utført 8 prøvetakinger med stasjonære prøvetakere plassert i fire punkter rundt borerigg med lukket operatørhytte.

### 5.1. Oversikt over luftkonsentrasjoner av støv og gasser

#### 5.1.1. Personlige prøver

Tabell 1 gir en oversikt over alle målingene som er utført og Tabell 2 gir en oversikt over luftkonsentrasjoner av torakal aerosolfraksjon, respirabel aerosolfraksjon og  $\alpha$ -kvarts fordelt på type borerigg og jobbgruppe. Det var statistisk signifikante forskjeller mellom jobbgrupper i luftkonsentrasjoner av torakal- og respirabel aerosolfraksjon ( $p < 0,01$ ). Operatører av borerigger med fastmontert styringspanel var høyest eksponert for torakal aerosolfraksjon ( $GM = 2,36 \text{ mg/m}^3$ ) og respirabel aerosolfraksjon ( $GM = 1,0 \text{ mg/m}^3$ ). Det var ingen statistisk forskjell i luftkonsentrasjoner mellom boreoperatør som satt i lukket hytte ( $GM_{\text{respirabel}} = 0,05 \text{ mg/m}^3$  og  $GM_{\text{torakalt}} = 0,05 \text{ mg/m}^3$ ) og boreoperatør som benyttet en rigg uten lukket hytte og med radiopanel ( $p > 0,05$ ) ( $GM_{\text{respirabel}} = 0,14 \text{ mg/m}^3$  og  $GM_{\text{torakalt}} = 0,33 \text{ mg/m}^3$ ).

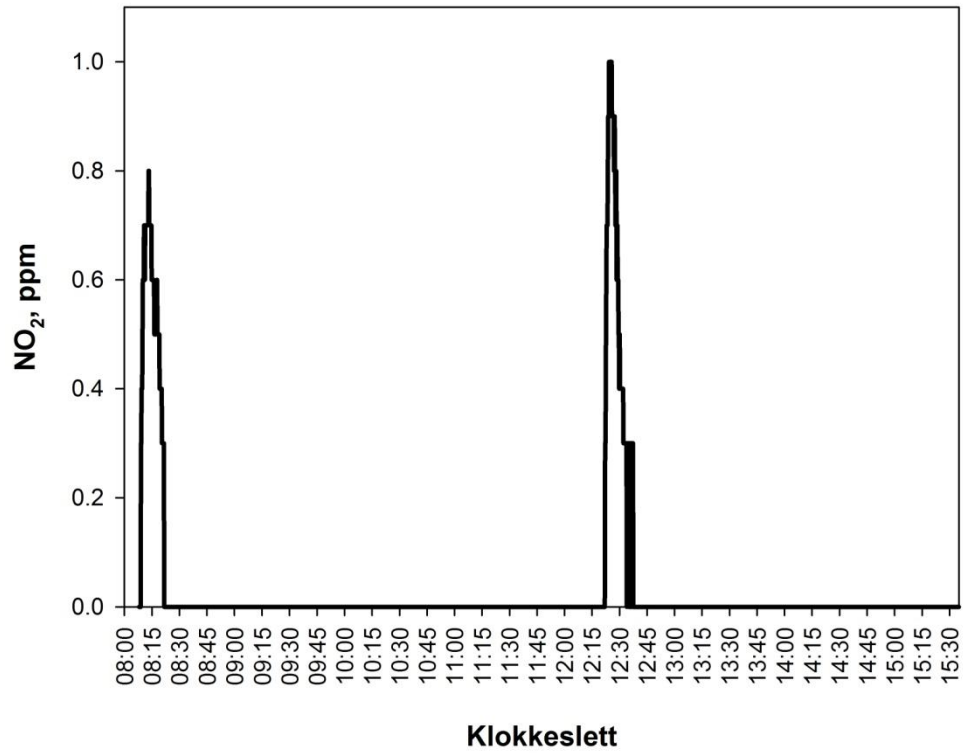
Det var ingen forskjell i luftkonsentrasjoner av  $\alpha$ -kvarts mellom jobbgruppene fordelt på type borerigg ( $p = 0,1$ ), men åtte av de 11 prøvene hvor det ble utført kvartsbestemmelse overskred tiltaksverdien for respirabelt  $\alpha$ -kvarts ( $0,1 \text{ mg/m}^3$ ). I appendiks er individuelle støvkonsentrasjoner med tilhørende kvartskonsentrasjon, samt prosent kvarts i prøvene vist. Prosentvis kvarts i prøvene varierte mellom 9 og 22%. Resultatene viser at alle som utfører arbeid i nærheten av boreriggen bør bruke åndedrettsvern for å beskytte seg mot kvartseksposering.

Det ble ikke påvist oljedamp i kullrørene, men små mengder flyktige organiske komponenter ( $\leq 5 \text{ mg/m}^3$ ) som ikke stammer fra de oljene som ble innsendt: Mobil Almo 525, Mobil Almo 527, Mobil DET Excel 46 og Mobil Delvac MX ESP 15W-40, AC Fluid Hydraulic 120 og AC Fluid Rockdrill 100. Kilden til flyktige organiske komponenter kan være dieseleksos.

Resultatene viser også at de målte luftkonsentrasjonene av oljetåke er lave sammenliknet med gjeldende tiltaksverdi ( $1 \text{ mg/m}^3$ ). Alle prøvene, bortsett fra to, var  $\leq 0,08 \text{ mg/m}^3$ . Én personlig prøve fra operatør som boret med en rigg med fast panel var på  $0,22 \text{ mg/m}^3$  og én personlig prøve fra operatør som satt i lukket hytte og boret var på  $0,11 \text{ mg/m}^3$ .

Det ble kun utført én prøvetaking av uorganiske gasser (én måling av CO og én måling av  $\text{NO}_2$ ) på operatør med radiopanel og uten hytte. Dette fordi gasseksponering ikke var fokus i kartleggingen. Kilden til uorganiske gasser er dieseleksos. Disse stikkprøvene viste at ved oppstart av boreriggen ble operatøren i et kort tidsrom eksponert for eksos fra riggen (se Figur 3).

Gjennomsnittskonsentrasjonen (AM=1,8 og 0,03 ppm for henholdsvis CO og NO<sub>2</sub>) over arbeidsdagen var imidlertid lav sammenliknet med gjeldende tiltaksverdier (CO; 25 ppm og NO<sub>2</sub>; 0,6 ppm).



Figur 3. Konsentrasjon av nitrogendioksid (y-akse) som funksjon av tid (x-akse).

Tabell 1. Oversikt over personlige luftmålinger (mg/m<sup>3</sup>) ved bergboring

Agens	Antall målinger	Aritmetisk gjennomsnitt	Geometrisk gjennomsnitt	Geometrisk standardavvik	Persentiler		Tiltaksverdi <sup>A</sup>
					10	90	
Torakal aerosol	41	1,20	0,37	5,5	0,04	2,68	Ingen
Respirabel aerosol	40	0,47	0,19	4,2	0,03	1,35	5
α-Kvarts <sup>B</sup>	11	0,17	0,13	2,0	0,06	0,25	0,1
-Respirabel aerosol <sup>C</sup>	11	1,16	0,91	2,2	0,39	1,90	5

Note: 41 oljetåke- og oljedamprøver ble analysert. Den høyeste målte konsentrasjonen av oljetåke var 0,22 mg/m<sup>3</sup>. Det ble ikke påvist oljedamp i prøvene, kun små mengder flyktige organiske forbindelser (alle prøvene var ≤5,0 mg/m<sup>3</sup>).

<sup>A</sup> Fra forskrift om tiltaksverdier og grenseverdier for fysiske og kjemiske faktorer i arbeidsmiljøet samt smitterisikogrupper for biologiske faktorer.<sup>(13)</sup>

<sup>B</sup> α-Kvarts ble bestemt i respirabel aerosolfraksjon i et utvalg av prøvene, se avsnitt 4.5.3.

<sup>C</sup> Oppsummering av de 11 utvalgte prøvene hvor α-kvarts ble bestemt.

Tabell 2. Oversikt over personlige luftmålinger på boreoperatør fordelt på type borerigg.

Jobb	Type borerigg	Hytte (Ja/Nei)	Torakal aerosol (mg/m <sup>3</sup> )			Respirabel aerosol (mg/m <sup>3</sup> )			α – Kvarts (mg/m <sup>3</sup> )		
			N <sup>A</sup>	GM <sup>B</sup>	GSD <sup>C</sup>	N	GM	GSD	N	GM	GSD
Boreoperatør	Radiopanel	Ja	9	0,05	2,6	9	0,05	1,8	1	0,04	--
Boreoperatør	Radiopanel	Nei	13	0,33	5,1	13	0,14	3,3	3	0,08	1,5
Boreoperatør	Fast panel	Nei	9	2,36	1,8	9	1,00	2,5	5	0,22	1,6
Sprengningsleder	Radiopanel	Nei	10	0,49	2,8	9	0,24	3,0	2	0,16	1,2

<sup>A</sup> Antall målinger

<sup>B</sup> Geometrisk gjennomsnitt

<sup>C</sup> Geometrisk standardavvik

### 5.1.2. PIMEX

PIMEX målingene avdekket at skifting av støvsekk er en arbeidsoperasjon som kan medføre betydelig støveksponering (resultater ikke vist). Det ble også vist at operatøren av borerigg med fast panel har begrenset mulighet til å plassere seg i gunstig posisjon i forhold til støvet som genereres ved borekrona. PIMEX målingen av sprengningslederen som ladet sprengstoff viste at også denne arbeidsoperasjonen kan medføre at sprengningslederen utsettes for kortvarige, høye støvkonsentrasjoner dersom det pågår boring i umiddelbar nærhet.

PIMEX er et nyttig verktøy som kan brukes for å visualisere eventuelle effekter av støvreduserende tiltak og identifisere arbeidsoppgaver som medfører kortvarige høy støveksponering.

### 5.1.3. Stasjonære prøver

#### Prøver plassert inne i hytte

Det ble i alt tatt 9 stasjonære prøver inne i operatørhytta. Tabell 3 gir en oversikt over nivåene av torakal- og respirabel aerosolfraksjon inne i hytta. Prøvene ble tatt under testboringen i januar. Boringen forløp uten mange avbrudd og viser at gjennomsnittskonsentrasjonen av torakal- og respirabel aerosolfraksjon er lave inne i operatørhytta når operatøren ikke må ofte ut av hytta.

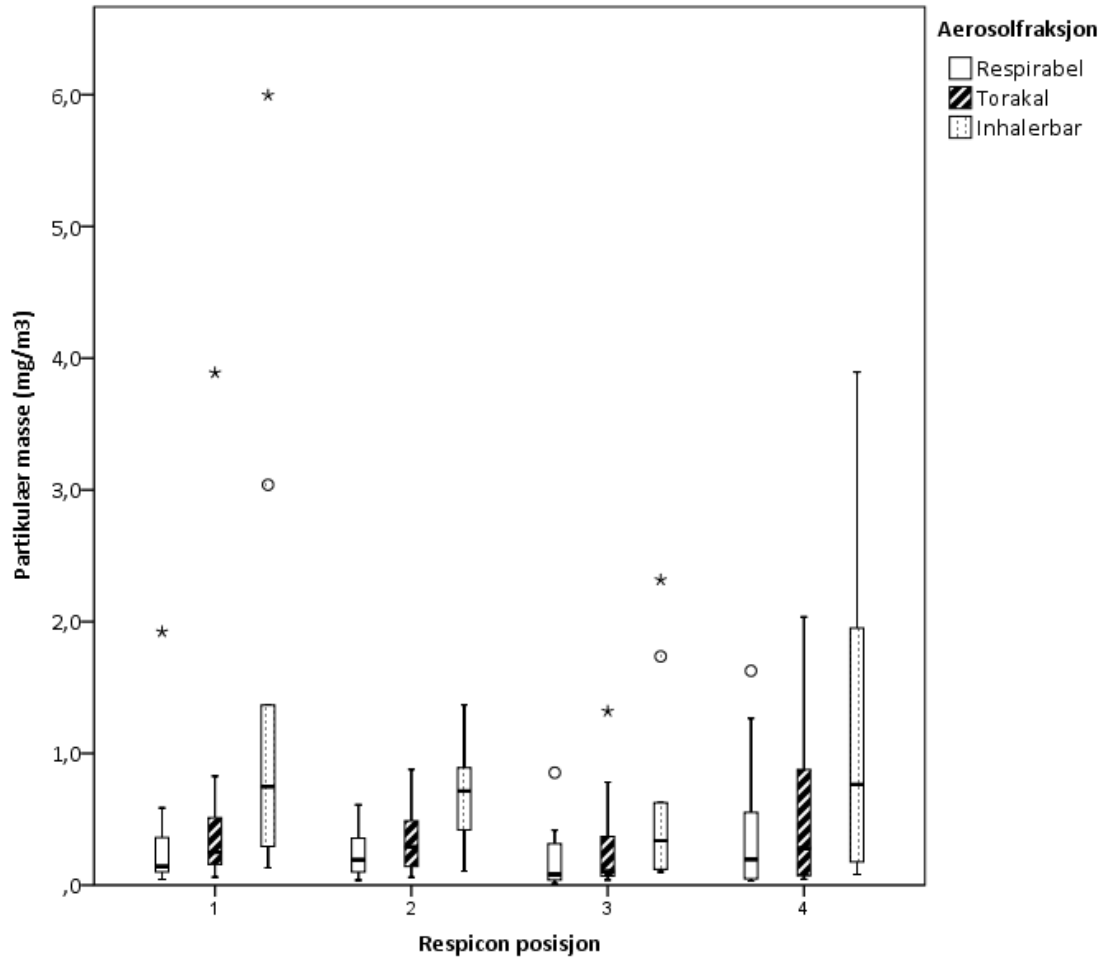
Føreren av boreriggen må fra tid til annen ut av operatørkabinen for å reparere/justere borestrengen eller f eks fordi støvsugerslangen går tett eller at boret setter seg fast i berggrunnen. Noen har argumentert for at siden boreoperatøren av og til må ut av hytta mens boringen pågår, vil effekten av å sitte inne i kabinen bli redusert. I tillegg er det trukket fram at dette tiltaket ikke reduserer eksponeringen hos andre som jobber på anleggsområdet, f eks sprengningslederen. I en slik sammenheng så er det viktig å huske på at boreoperatøren vil være den som oppholder seg lengst og nærmest boreriggen gjennom arbeidsskiftet. Det er derfor viktig med tiltak som ikke bare beskytter mot støveksponering, men også beskytter mot støy og ugunstige værforhold, f eks trekk, nedbør, kulde og varme.

Tabell 3. Oversikt over stasjonære støvmålinger ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) i operatørhytte

Agens	Antall målinger	Aritmetisk gjennomsnitt	Geometrisk gjennomsnitt	Geometrisk standardavvik	Persentiler	
					10	90
Torakalt aerosol	9	0,09	0,04	3,1	0,01	0,49
Respirabel aerosol	9	0,07	0,04	2,6	0,02	0,40

### Fordeling av inhalerbar-, torakal- og respirabel aerosolfraksjon i luften rundt borerigg

Hensikten med disse målingene var å studere hvordan aerosolen fra boringen fordeler seg i luften rundt boreriggen og hvordan partikkelstørrelsesfordelingen i aerosolen er. Det ble utført målinger over 8 dager.



Figur 4. Oversikt over inhalerbar-, torakal- og respirabel aerosolfraksjon i fire posisjoner rundt borerigg.

Resultatene viser at gjennomsnittsnivåene av de ulike aerosolfraksjonene er nokså like mellom de ulike posisjonene, men at det kan være store forskjeller i støvkonsentrasjoner mellom ulike dager (Figur 4).

Dette oppsettet hvor stasjonære Respicon prøvetakere ble plassert rundt boreriggen egner seg for å studere effekter av støvreduserende tiltak.



## 6. Konklusjon

Resultatene viser at alle som jobber i umiddelbar nærhet til boreriggen vil potensielt kunne bli eksponert for høye luftkonsentrasjoner av  $\alpha$ -kvarts. Dette betyr at dersom man ikke kan tilsette vann for å dempe støvet under boring eller iverksette andre støvdempende tiltak, bør operatør og sprengningsleder benytte personlig åndedrettsvern.

Resultatene viser videre at ved bruk av borerigg med fastmontert panel i umiddelbar nærhet til borestrengen vil operatøren kunne eksponeres for betydelige konsentrasjoner av både torakalt- og respirabelt støv.

Bruk av lukket operatørhytte på borerigg vil redusere eksponering for støv betydelig, sammenliknet med borerigger med fastmontert panel. Operatøren må allikevel være oppmerksom på at når man går ut av hytta f eks i forbindelse med sjekk av borekrone så bør operatøren vurdere å bruke personlig åndedrettsvern.

PIMEX målingene avdekket at skifting av støvsekk og ladning av sprengstoff er arbeidsoperasjoner som kan medføre betydelig støveksponeering. Operatørene som utfører denne type oppgaver bør derfor vurdere å bruke åndedrettsvern som beskytter mot støveksponeering.

Operatørene kan også bli eksponert for dieseleksos og oljetåke, men målingene i denne undersøkelsen viser at luftkonsentrasjonen av disse stoffene var lave.

Værforholdene har stor betydning for eksponeringsforholdene. Nedbør og vind vil redusere støvdannelse og motsatt, sol og tørt vær vil potensielt kunne bidra til at støv som ikke blir fanget opp i støvsugerposen eller blir spredt rundt på bakken virvles opp når riggen flyttes.

## 7. Referanser

1. Bakke B, Stewart P, Ulvestad B, Eduard W. Dust and gas exposure in tunnel construction work. *Am Ind Hyg Assoc J*. 2001;62(4):457-65.
2. Bakke B, Ulvestad B, Stewart P, Lund MB, Eduard W. Effects of blasting fumes on exposure and short-term lung function changes in tunnel construction workers. *Scand J Work Environ Health*. 2001;27(4):250-7.
3. Bakke B, Stewart P, Eduard W. Determinants of dust exposure in tunnel construction work. *Appl Occup Environ Hyg*. 2002;17(11):783-96.
4. Monographs I. Diesel and gasoline engine exhausts and some nitroarenes. World Health Organization (WHO), International Agency for Cancer Research (IARC); 2012.
5. Ulvestad B, Melbostad E, Fuglerud P. Asthma in tunnel workers exposed to synthetic resins. *Scand J Work Environ Health*. 1999;25(4):335-41.
6. Ulvestad B, Lund MB, Bakke B, Djupesland PG, Kongerud J, Boe J. Gas and dust exposure in underground construction is associated with signs of airway inflammation. *Eur Respir J*. 2001;17(3):416-21.
7. Ulvestad B, Bakke B, Melbostad E, Fuglerud P, Kongerud J, Lund MB. Increased risk of obstructive pulmonary disease in tunnel workers. *Thorax*. 2000;55(4):277-82.
8. Ulvestad B, Bakke B, Eduard W, Kongerud J, Lund MB. Cumulative exposure to dust causes accelerated decline in lung function in tunnel workers. *Occup Environ Med*. 2001;58(10):663-9.
9. Bakke B, Ulvestad B, Thomassen Y, Woldbaek T, Ellingsen DG. Characterization of occupational exposure to air contaminants in modern tunnelling operations. *Ann Occup Hyg*. 2014;58(7):818-29.
10. Workplace Atmospheres-Size Fraction Definitions for Measurement of Airborne Particles, E.C.F. Standardization. Brüssel, Belgium: Comité Européen de Normalisation (CEN), 1993.
11. Vincent JH. Aerosol sampling : science, standards, instrumentation and applications. Chicester: John Wiley & Sons; 2007. XIX, 615 s. p.
12. Kleinbaum DG, Kupper LL, Muller KE, Nizam A. Applied regression analysis and multivariable methods. Boston, USA: PWS-KENT Publishing Company; 1998.
13. Forskrift om Tiltaks- og grenseverdier for fysiske og kjemiske faktorer i arbeidsmiljøet samt smitterisikogrupper for biologiske faktorer. Fastsatt av Arbeidsdepartementet 6. desember 2011 nr. 1358. Best. nr. 704. Arbeidstilsynet. 2013.

## Appendiks

Oversikt over analyser av individuelle støvprøver hvor det ble bestemt  $\alpha$ -kvarts ved røntgen diffraksjonsspektrometri (XRD).

ID	Person	Jobb	Type rigg	Respirabelt støv (mg/m <sup>3</sup> )	$\alpha$ -kvarts (mg)	$\alpha$ -kvarts (mg/m <sup>3</sup> )	Kvarts (%)
8	1	Boreoperatør	Fast panel	1.47	0.13	0.14	9
33	6	Boreoperatør	Fast panel	1.10	0.11	0.16	15
16	1	Boreoperatør	Fast panel	1.90	0.18	0.21	11
41	7	Boreoperatør	Fast panel	1.56	0.21	0.25	16
46	10	Boreoperatør	Fast panel	2.91	0.27	0.45	15
6	2	Boreoperatør	Hytte	0.16	0.036	0.04	22
48	12	Boreoperatør	Radiopanel	0.39	0.047	0.06	14
52	12	Boreoperatør	Radiopanel	0.52	0.06	0.08	15
43	4	Boreoperatør	Radiopanel	0.79	0.11	0.12	15
31	4	Sprengningsleder	Radiopanel	0.95	0.12	0.14	15
34	4	Sprengningsleder	Radiopanel	1.03	0.15	0.18	17