



# Eksponeringskartlegging ved norske aluminiumverk

## Delrapport for Elkem Aluminium Mosjøen

Nils Petter Skaugset  
Hilde Notø  
Lars Jordbekken  
Elianne J. Seberg  
Dag Ellingsen  
Yngvar Thomassen



## Innholdsliste:

1.	Samandrag	3
2.	Konklusjon	4
3.	Bakgrunn for prosjektet	5
4.	Mål for prosjektet	5
5.	Definisjonar og forklaringar	6
5.1.	Støv og aerosolfraksjonar	6
5.2.	Helserelaterte aerosolfraksjonar	7
5.2.1.	Inhalerbar aerosol fraksjon ( $f_{inh}$ )	8
5.2.2.	Torakal aerosol fraksjon ( $f_{tor}$ )	8
5.2.3.	Respirabel aerosol fraksjon ( $f_{res}$ )	8
5.2.4.	Trakeobronkial aerosolfraksjon	8
5.2.5.	Ekstratorakal aerosolfraksjon	9
5.3.	Definisjonar av statistiske uttrykk:	10
5.3.1.	Normalfordeling	10
5.3.2.	Standard avvik	10
5.3.3.	Konfidensintervall	10
5.3.4.	Log-normal fordeling	10
5.3.5.	Geometrisk middelvei, GM	10
6.	Om Elkem Aluminium Mosjøen (EAM)	11
7.	Prøvetaking	12
7.1.	Prøvetakingsstrategi	12
7.2.	Aerosolprøvetakarar	12
7.2.1.	IOM	12
7.2.2.	Respicon™ virtuell impaktor	13
7.2.3.	Respirabel og torakal syklon	13
7.2.4.	Direktevisande Respicon og Split 2	13
7.3.	Gassprøvetakarar	14
7.3.1.	Gassensorar	14
7.3.2.	Gassfilter	14
8.	Prøver samla med dei ulike prøvetakarane	16
9.	Analysemetodar	16
9.1.	Gravimetri	16
9.2.	Fastsetjing av fluorid og SO <sub>2</sub>	17
9.2.1.	Vassløseleg fluorid	17
9.2.2.	Lutløseleg fluorid	17
9.2.3.	Partikulært fluorid	17
9.2.4.	Fluorid i gassform (HF) og SO <sub>2</sub>	17

9.2.5.	Totalfluorid.....	18
10.	Instrumentering.....	18
11.	Kvalitetssikring.....	18
12.	Resultat og diskusjon .....	18
12.1.	Aerosol .....	19
12.1.1.	Direktevisande utstyr for aerosolmålingar .....	25
12.2.	Resultat vassløyseleg fluorid.....	28
12.3.	Resultat partikulært fluorid.....	33
12.4.	Gassar; HF og SO <sub>2</sub> .....	38
12.4.1.	Tidsoppløyste SO <sub>2</sub> -målingar .....	40
12.5.	Totalfluorid.....	45
12.6.	Personvariasjon .....	46
13.	Referansar .....	48
14.	Appendiks.....	50
14.1.	Resultat frå EAM februar 2003 .....	50

## 1. Samandrag

Ved aluminiumsmelteverket på Mosjøen er det føretatt arbeidsmiljømålingar som inngår i prosjektet "Hallastma i produksjon av primæraluminium (HAPPA). Prøvetakinga vart utført i perioden 17. - 22. februar 2003. Eksponeringsnivåa for aerosol og gassar vart undersøkt med forskjellig utstyr og for dei mest aktuelle arbeidsoperasjonane. I alle aerosolprøvene vart både partikulær og gassformig fluorid bestemt.

Prosjektet nytta prøvetakingsutstyr som fylgjer dei internasjonalt aksepterte kriteria for helserelaterte aerosolfraksjonar. Totalt har ved EA Mosjøen vart det tatt eksponeringsprøver av 55 person. I den grad det var praktisk mogeleg vart det tatt fleire eksponeringsprøver av same person. Av dette har ein 87 eksponeringsprøver tatt med IOM kassett, 100 eksponeringsprøver tatt med Respicon, 87 prøver av eksponeringa for HF og SO<sub>2</sub>, 10 eksponeringsprøver med torakal syklon og 9 eksponeringsprøver med respirabel syklon. I tillegg vart det nytta ekstasjonsmetodar for å kunne fastsetje fluorid med ulike kjemisk sambinding i aerosolen.

Resultata viser at der var stor spreining i luftkonsentrasjonar over heile arbeidsskiftet for dei einskilde jobbkategoriane. Kortvarig høg eksponering er den største utfordringa for industrien. Den høgaste eksponeringa er målt for jobbkategorien anode golv, medan lågast vart målt lågast for anode kran.

Resultata kan ikkje direkte samanliknast med gjeldande administrativ norm fordi denne baserar seg på bruk av "Totalstøv"-kassetten som aerosolprøvetakar. For gassformig fluorid (HF) kan ein samanlikne med administrativ norm då prøvetakingsmetoden er den same.

Direktevisane måleutstyr for gassar- og aerosolar har vist seg å være viktige hjelpemiddel for objektivt kunne identifisere eksponeringskjelder og forureiningsutsette arbeidsfunksjonar. Det er også eit viktig hjelpemiddel til betre å forstå eksponeringskjelder og til hjelp i å minimere framtidig personeksponering.

## 2. Konklusjon

Anodeskiftar kran er den jobbkategori som har lågast eksponering for alle komponentane bortsett frå svoveldioksid. Den høgaste eksponerte kategoriane var anodeskiftar golv.

Gjennomsnittleg er 26 % av den inhalerbare aerosolen torakal og 11 % respirabel. Av det inhalerbare vassløselege fluoridet er omlag 41 % torakalt og omlag 19 % respirabelt. For partikulært inhalerbart fluorid er 29 % torakalt og 12 % respirabelt.

Prosent vassløseleg fluorid av partikulært fluorid varierar i gjennomsnitt frå 36 % til 56 % avhengig av partikkelstorleik.

Gjennomsnittleg eksponering for HF er låg og avhengig av jobbkategori. Den utgjer mellom 7 % og 21 % av den totale fluorideksponeringa.

Av alle komponentane som ein har føretatt eksponeringsmålingar på er det totalfluorid (summen av HF og partikulært fluorid) som skil seg ut med fleire høge eksponeringsverdiar.

Der er svært store spreininga i eksponeringa innanfor ein jobbkategori, noko som kan tyde på at einskildoperasjonar gjev svært høg eksponering. Personvariasjonen viser at det er stor variasjon mellom dagar for same person, 30 – 60 %.

Direktevisande måleutstyr har vist at store delar av eksponeringa kan skuldast For å kunne redusere den totale eksponeringa må episodeeksponeringa reduserast. Sidan eksponeringa for det meste er knytt til korttidseksponering er det viktig å redusere både talet på episodar og aerosolmengda i desse korttidseksponeringane.

Framtidige eksponeringsmålingar bør gjerast i samarbeid med operatørar for dei ulike jobbkategoriene for å redusere episodane med høg eksponering.

### 3. Bakgrunn for prosjektet

Eksponeringsundersøkingane på Mosjøen er deler av et større prosjekt, HAPPA (Hall Astma i Primær Produksjon av Aluminium) som pågår i regi av Aluminiumsindustriens Miljøsekretariat, AMS og Statens arbeidsmiljøinstitutt, STAMI.

Frå norsk aluminiumindustri blir det stadig rapportert inn til Arbeidstilsynet om tilfeller av hallastma og andre luftvegslidingar (ref: [www.ams-aluminium.no/html/yrkessykdommer.html](http://www.ams-aluminium.no/html/yrkessykdommer.html)). Noko eksakt årsak til utviklinga av hallastma er til no ikkje kjent, men mange forureiningar er identifisert i arbeidsatmosfæren. I aerosolen (støvet) er det funnet m.a. flyktige polysykliske aromatiske hydrokarbonar (PAH), aluminium, aluminiumoksid, fluorid- og berylliumsambindingar, medan hydrogenfluorid og svoveldioksid er kjente gassar.

Direktoratet for arbeidstilsynet foreslo i 2003 at normlista skulle innehalde ei ny normvurdering for hydrogenfluorid og for partikulært fluorid i arbeidsatmosfære.

Aluminiumindustrien i Noreg ved Aluminiumindustriens Miljøsekretariat (AMS) og Statens arbeidsmiljøinstitutt (STAMI) viste til manglande eksponeringsdata, og foreslo ei utsetjing av revisjonen for desse stoffa i 3 - 5 år. Dette forslaget vart vedteke av styret for Direktoratet for arbeidstilsynet.

Den føreslåtte revisjonen av administrative normene for HF og fluorid, den moglege samanhengen mellom fluorideksponering og hallastma samt at industrien mangla informasjon om fluorideksponeringa målt med prøvetakingsutstyr som fylgjer dei helserelaterte aerosolfraksjonane, gjorde at dette prosjektet, kalla HAPPA-prosjektet vart starta i 2002.

### 4. Mål for prosjektet

Dette er målsetjingane for prosjektet tatt frå protokollen.

- Bruke nytt monitoreringsprogram på verka ved Lista, Husnes, Karmøy, Årdal, Høyanger og Mosjøen:
  - Val av prøvetakingsstrategi
  - Utarbeide monitoreringsprogram for norsk aluminiumindustri
  - Bruke moderne utstyr for å kartlegge kva for eksponeringsfaktorar som kan ha noko å seie for førekomst og utvikling av luftvegslidingar
  - Variabiliteten av aerosoleksponeringa skal undersøkast ved bruk av berbart direktevisande utstyr (Split 2 og Respicon)
  - Eksponering for støv skal undersøkjast ved bruk av utstyr for fastsetjing av respirabel, torakal og inhalerbar fraksjon
  - Eksponering for HF og SO<sub>2</sub> målast (monitorerast) parallelt med aerosoleksponering. Intensiteten av SO<sub>2</sub> vert fastsett med berbare gass-sensarar
  - Undersøkje innverknad av teknologi og driftsparametrar for yrkeseksponering i elektrolysehallane
  - Fastsetjing av totalmasse, vassløselige fluorid, partikulært fluorid og totalfluorid (gassformig og partikulært fluorid) i de ulike aerosolfraksjonane (respirabel, torakal og inhalerbar)
  - Tilbakemelding til styret i AMS og til dei deltakande verka, med utarbeiding av verksspesifikke delrapportar
- Avklare om fritt eksisterande nanopartiklar er ei aktuell problemstilling nær badsmelta i hallene
  - Eventuelt fastsetje eksponeringa for desse nanopartiklane

- Undersøkje effektiviteten av personleg verneutstyr ved bruk, med spesielt fokus på effektivitet i bruk og filtreringseffektiviteten av nanopartiklar
- Sluttrapportering og vitenskapleg publisering

## 5. Definisjonar og forklaringar

### 5.1. Støv og aerosolfraksjonar

Ein **aerosol** er definert som eit kva som helst disperst system av væske- eller fast fase partiklar løyst i ein gass (J.H.Vincent, 1995). Med andre ord alle partiklar, i væske eller fast form som eksisterer i lufta (eller i ei anna gassblanding). Eksemplar på naturleg danna aerosolar er t.d. snøstorm, skya etter eit vulkansk utbrot, tåke, og vanlige skyer. Sopp, virus og bakteriar i luft blir også rekna som naturleg førekomande aerosolar, medan lufta i ein fabrikkhall vil være ein menneskeskapt aerosol.

Det som vert kalla **støv** er egentlig definert som ein aerosol av berre faste partiklar som ved mekanisk nedbrytning har fått ein partikkelstorleik frå sub- $\mu\text{m}$  til  $100\mu\text{m}$  (JEM, 2005,7,411-415). Partiklar i væskefase inngår ikkje i det vi vanlegvis kallar støv til forskjell frå ein aerosol som kan innehalde både faste partiklar og partiklar i væskeform.

**Totalstøv** er eit omgrep som er innarbeida i sambande med arbeidsmiljømålingar. For mange er det noko som man måler med ein såkalla totalstøvkasset. Dette er kassetten som tradisjonelt blir brukt i dei fleste eksponeringsmålingane, også i aluminiumindustrien. Denne kassetten har vore mye brukt og er framleis i bruk når ein skal gjere arbeidsmiljømålingar. Med totalstøv meiner ein ofte alt partikulært materiale som kan tenkast å haldast svevande i luft (luftborne partiklar). Mange typar prøvetakarar har vært konstruert for å samle opp totalstøv og nokre av dei er framleis i utstrakt bruk. Det har i ettertid vist seg at oppsamlingskarakteristikken til dei forskjellige prøvetakarane varierar mykje, noe som førte til ulike resultat av målingar utført i same atmosfære. I mange land tilrår ein framleis at "totalstøv" skal fastsetjast som ein mål for eksponering. I dag er mange norske administrative normene basert på bruk av "totalstøvkassetten".

**PM<sub>10</sub>** - nyttast ofte i aerosolmålingar i det ytre miljøet og er definert som ein underfraksjon av totalaerosol. Den har ein 50 % "cut-off" ved  $d_{ae}=10\ \mu\text{m}$ . Prøvetakarane nytta til PM<sub>10</sub> - målingar er konstruert slik at de utelèt de fleste partiklar over  $10\ \mu\text{m}$ . Dette gjer at kurvene for PM<sub>10</sub> og torakal fraksjon er nesten identiske opp til  $10\ \mu\text{m}$ , men deretter marginalt forskjellige (JEM), 2005,7,411-415.



**Tabell 5.1: Oversikt over aerosol og helserelevante aerosolfraksjonar**

		0,01	0,1	1,0	10	100	1000µm	
Fysiske definisjonar	Væske	Tåke			Spray			
	Fast fase	Røyk	Støv					
Typisk aerosol og aerosol partiklar		Oljetåke			Flygeoske			
		Tobakksrøyk			Sementstøv			
					Kolstøv			
		Atmosfærisk støv						
		Virus		Bakteriar				
		Helserelevante aerosolfraksjonar		Respirable partiklar				
				Trakeobronikale partiklar				
Torakale partiklar								
Inhalerbare partiklar								

## 5.2. Helserelevante aerosolfraksjonar

I starten av 1970 åra byrja ein å sjå på menneskehovudet som ein prøvetakar. Dette medførte endra fokus frå å sjå på alle partiklar som er i lufta til å sjå på dei partiklane som det er mogleg å puste inn (inhalere) gjennom nase og munn. Ut frå eksperimentelle forsøk vart det funne at inhalasjonseffektiviteten til ein partikkel kunne forklarast ut frå den aerodynamiske diameteren ( $d_{ae}$ ) til den enskilde partiklen. Desse arbeida kuliminerte i midten av 1990 talet med ei internasjonal eining om eit sett harmoniserte tilrådingar som involverte International Standards Organisation (ISO), Comité Européen de Normalisation (CEN) og American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). Desse organisasjonane identifiserte tre kurvar som representerer helserelevante aerosolfraksjonar; kvar av kurvene definerer kva krav som skal stillast til oppsamlingseffektiviteten til ein luftprøvetakar som funksjon av aerodynamisk diameter for ein representativ arbeider. Desse tre fraksjonane er alle identifiserte med bakgrunn i aerosolfysikk og lungefysiologi. Fig. 5.1 viser oppsamlingseffektiviteten i prosent for dei ulike helserelevante aerosolfraksjonane. I fig. 5.2 er det gjeve ei skisse over kvar i luftvegane ein får avsett dei ulike aerosolfraksjonane.

### 5.2.1. Inhalerbar aerosol fraksjon ( $f_{inh}$ )

Den fraksjonen/delen av den totale mengda partiklar i lufta (både faste og væske partiklar) som kjem inn i kroppen gjennom nase og/eller munn ved pusting. Den aerodynamiske diameteren er mindre eller lik  $100 \mu\text{m}$ .

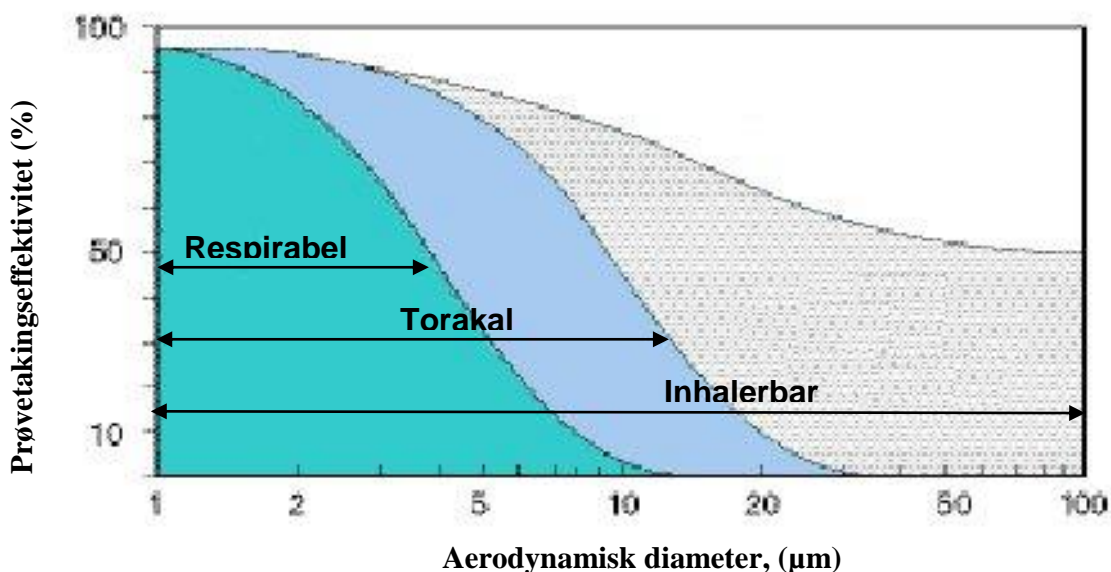
Denne fraksjonen er viktig for helseeffektar i alle stadar av respirasjonssystemet, som t.d. ved rhinitis, kreft i nase og lunge og andre luftvegslidingar.

### 5.2.2. Torakal aerosol fraksjon ( $f_{tor}$ )

Denne fraksjonen inneheld partiklar som kan avsetjast nedanfor strupehovudet (larynx) dvs. at dei trenger inn i den trakeobronkiale delen av lungene. Denne fraksjonen er viktig når det gjelde helseeffektar som astma, bronkitt og lungekreft. Partikkelstorleiken tilsvarer fraksjonen av den totale aerosolen som har eit 50 % "cut-off" ved ein aerodynamisk diameter på  $10 \mu\text{m}$  og 1 % "cut-off" ved  $d_{ae}=28 \mu\text{m}$ .

### 5.2.3. Respirabel aerosol fraksjon ( $f_{res}$ )

Denne fraksjonen inneheld dei partiklane som kjem inn i den alveolære delen av lungene, dvs. til bronkioler og alveolære blærer og kanalar. Fraksjonen er viktig ved t.d. utvikling av kroniske sjukdommar som emfysem og støvlungesjukdommar. Partikkelstorleiken svarer til 50 % "cut-off" ved ein  $d_{ae}=4 \mu\text{m}$  og 1 % "cut-off" ved  $d_{ae}=10 \mu\text{m}$  for den totale aerosolen. Torakal og respirabel aerosolfraksjon er begge underfraksjoner av den inhalerbare fraksjonen.



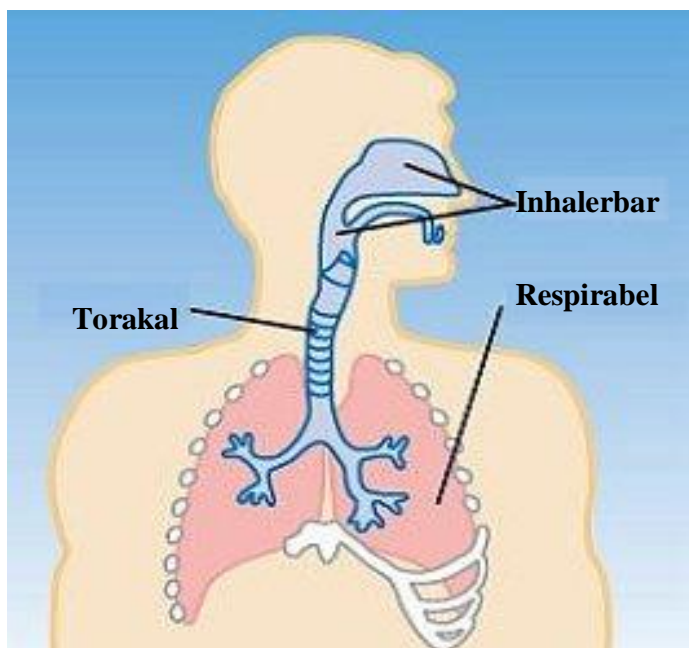
Figur 5.1: Kurver som viser respirabel og torakal aerosolfraksjon som funksjon av aerodynamiske diameter, og som underfraksjon av inhalerbar fraksjon, NS-EN 481.

### 5.2.4. Trakeobronkial aerosolfraksjon

Differansen mellom torakal og respirabel aerosolfraksjon blir kalla trakeobronkial aerosolfraksjon. Filter nr. 2 i Respiconprøvetakaren samlar opp denne fraksjonen. Den består av partiklar som blir avsett nedanfor strupehovudet, men ikkje så langt ned som til den alveolære delen av lungene.

### 5.2.5. Ekstratorakal aerosolfraksjon

Differansen mellom inhalerbar og torakal aerosolfraksjon kallast ekstratorakal aerosol og blir samla opp av filter nr. 3 i Respiconprøvetakaren. Denne fraksjonen har den største partikkelstorleiken av den inhalerbare aerosolen og den avsettes derfor i dei øvre luftvegane (nase/munn).



**Figur 5.2: Skisse over luftvegane med plassering av dei ulike helse-relaterte regionane av luftvegsystemet.**

Med utgangspunkt i desse kriteria tilrår mellom andre Direktoratet for Arbeidstilsynet (2002) i si orientering; 450 "Kartlegging og vurdering av eksponering for kjemiske stoff og biologiske forureiningar i arbeidsatmosfære" at ein må ta omsyn til desse fraksjonane med tanke på vurdering av helsefare, og velje prøvetakingsutstyr som oppfyller krava til oppsamlingseffektivitet for dei ulike fraksjonane. I HAPPA var det difor naturleg og føremålstenleg at ei grunnleggjande kartlegging av eksponeringshøva i elektrolysehallane i aluminiumindustrien fokuserte på alle desse tre helse-relaterte aerosolfraksjonane.

### 5.3. Definisjonar av statistiske uttrykk:

Forklaringane er tatt frå Miller and Miller, 1993.

**n** = talet av prøver

**AM** = Aritmetisk middelværdi

som er summen av alle måleresultata delt på talet på prøver.

#### 5.3.1. Normalfordeling

Ved å plote alle måleresultata i stigande rekkefølge langs x-aksen og talet på analyser med ein bestemt måleverdien langs y-aksen får man ei kurve. Når denne kurven er lik på begge sider av middelværdien og har ei bestemt form er den normalfordelt. Gauss-kurve er et anna namn for normalfordelingskurven. Resultata i Happa-prosjektet fylgjer ikkje ei normalfordelingskurve.

#### 5.3.2. Standard avvik

Standardavviket reknast som kvadratrotten av variansen og fortel noe om kor mye resultata spreiar seg frå middelværdien.

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N-1}}, \text{ der } \bar{x} \text{ er AM}$$

Eit lågt standardavvik betyr at måleresultata fordeler seg etter ein høg og bratt fordelingskurve. Dersom måleresultata er normalfordelte vil 68 % av resultata ligge i intervallet  $AM \pm 1s$  og 99,7 % ligge innanfor  $\pm 3s$  frå middelværdien.

#### 5.3.3. Konfidensintervall

Konfidensintervallet nytta i denne rapporten er på 95 %. Dette betyr at det er 95 % sannsynlighet for at middelværdien vil ligge innanfor dette intervallet..

#### 5.3.4. Log-normal fordeling

Ved å ta logaritmen til måleresultata og så vil dei logaritmiserte verdiane være normalfordelte.

Dette må som regel gjerast i arbeidsmiljøundersøkingar. Resultata i denne undersøkinga er ikkje normalfordelte og statistiske berekningar er derfor gjort på log-verdiar.

#### 5.3.5. Geometrisk middelværdi, GM

GM er middelværdien i et datasett der man bruker logaritmen til måleresultata. Tar man antilog av den logaritmiserte middelværdien får man geometrisk middelværdi. Denne verdien er den som best representerar målingane i prosjektet fordi dei ikkje er normalfordelte.

## 6. Om Elkem Aluminium Mosjøen (EAM)

Elkem Aluminium Mosjøen er eit verk med Prebakehallar.

**Tabell 6.1: Teknologioversikt**

Emne	Hall 3 – 4 – 5 – 6
Teknologi	Prebake
	Avsug
Blussfrekvens	Serie 1 – 0,41 pr. døgn pr. omn Serie 2 – under oppstart (ca. 1,0 pr. døgn pr. omn)
Straumstyrke	Serie 1: 161 kA Serie 2: 165,5 kA
Ventilasjonssystem	Hallgass: Naturleg avtrekk Reinseanlegg – heile anlegget Tørrens – våtvask (sjøvatn) Serie 1: 600 000 Nm <sup>3</sup> /h Serie 2: 1,044 mill. Nm <sup>3</sup> /h
Oksid	Sekundær

Arbeidsoperasjonane som det vart tatt arbeidsmiljømålingar av var: Omnspassar, Tappar, Digelrens og Anodeskiftar.

**Tabell 6.2: Oversikt over jobbkategoriar som det vart tatt arbeidsmiljømålingar på.**

Jobbkategori:	Arbeid utført:
Omnspassar	Temperaturmåling, Sjekking av kol, Slå opp matarar, Justering av kol, Kryssløfting, Bluss, Fresing, Etterdekking, Badtapping, Blussvakt, Tatt av deksel, Sekkekøyering, Avviksomnar, Bytte av hengkol, Måling av bad-nivå, Raking, Materunde, Retting av kullsetting, Overfylling av omn, Badflytting, Diverse arbeid på omn, Kontroll av omnar, Kolslepp, Fluoridfylling
Digel	Reingjering av bad-digle, Testing av vakuum, Boring av røyr, Reinsing av røyr, laging av tømmerøyr, Skruing av røyr, Fresing av digler, Demontering av røyr,
Tappar	Tapping, Meisling av kantar, Skifting av tømmerøyr, Skifting av tapperøyr, Skifting av digel,
Anode kran	Kolskift frå kran, Køyrt kassetar (truckkøyering), Matehulldekking, Kolskift ved nystart, Kolkøyering, Eterraking . sleiking, Grabbevogn,
Anode golv	Kolskift frå golv, Feiemaskin, Køyrt feiemaskin, Dekking,
Anode kran/golv	Kolskift kran og kolskift golv, Eterraking, Fylling av tobb med dekkemasse, Henting av dekkemasse, Køyring av dekkebil,

## 7. Prøvetaking

### 7.1. Prøvetakingsstrategi

Etter protokollen skulle ein ta prøver på 10 personar på kvart skift. Det skulle gjerast målingar ved formiddags- og ettermiddagsskifta i 5 påfølgjande dagar for kvar type teknologi/hall. Dette gjer at ein teoretisk skulle kunne måle:

- 100 aerosolprøver med Respicon, der 10 er tidsoppløyste Respiconmålingar
- 100 inhalerbare aerosolprøver med IOM
- 10 respirable aerosolprøver med respirabel sykklon
- 10 torakale aerosolprøver med torakal Syklon
- 100 SO<sub>2</sub> prøver på filter
- 100 HF prøver på filter
- 60 SO<sub>2</sub> prøver med tidsoppløyst signal med dataloggar
- 30 NO<sub>2</sub> prøver med tidsoppløyst signal med dataloggar

### 7.2. Aerosolprøvetakarar

#### 7.2.1. IOM

IOM-prøvetakeren er utvikla ved Institute of Occupational Medicine i Edinburg og er konstruert som ein personlig prøvetakar for inhalerbare aerosol (Mark og Vincent, 1986). Den nyttar 25 mm filter og skal ha ein luftgjennomstrømningsfart på 2 L/min. Testing i vindtunnel og i felt har vist at den fylgjer kurva for inhalerbare aerosol vist i figur 5.1. Ulempa med denne prøvetakaren er at den er noko utsett for sprut/punktstøving, kjensleg for vindretning og vindhastighet over et visst nivå, og den måler berre den inhalerbare aerosolfraksjonen.

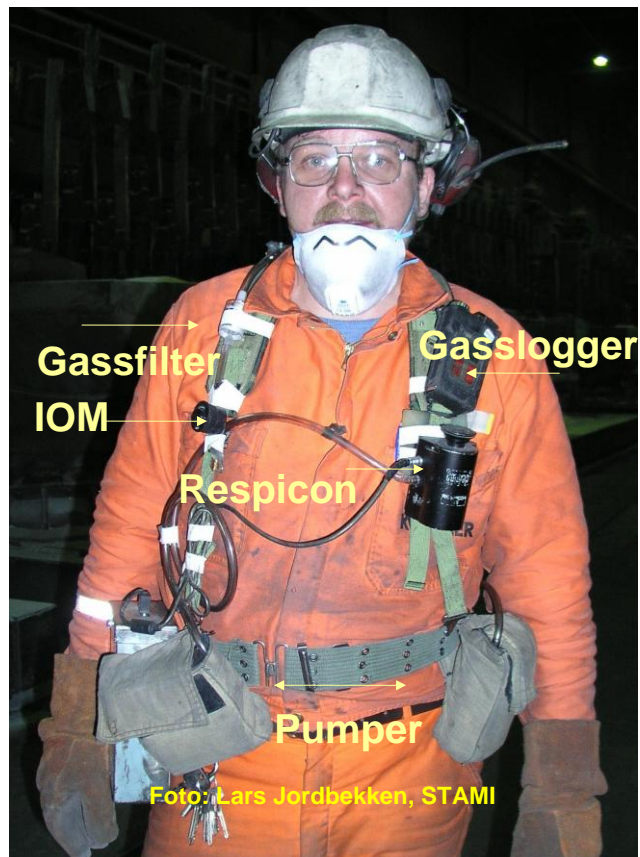


Fig. 7.1: Ein arbeidstakar med prøvetakingsutstyr



### 7.2.2. Respicon™ virtuell impaktor

Prøvetakaren samplar opp aerosol på tre filter med diameter på 37 mm, som gjer det mogeleg å fastsetje dei helsesrelaterte respirabel, torakal og inhalerbar aerosolfraksjonane. Produsent er Hund, Helmut Hund GmbH, Wilhelm-Will-Str. 7, D-35580 Wetzlar, Tyskland. Total luftstraum gjennom prøvetakaren skal vere 3,11 L/min. Ulik luftstraum gjennom kvart filtersteg og utforminga av impaktoren gjer at aerosol med kjent aerodynamisk diameter blir samla opp på dei ulike filtra. Respirabel aerosol blir samla opp på filter 1, trakeobronkial på filter 2 og ekstratorakal fraksjon på filter 3. Respicon er testa ut som ein stasjonær prøvetakar til å fylgje kriteria for inhalerbar aerosol (Li et al., 2000). Det er vist i t.d. nikkelindustrien på Kola (Russland) at Respicon kan nyttast som ein personleg prøvetakar dersom ein brukar ein korreksjonsfaktor for den ekstratorakale fraksjonen (Koch, et al., 2002). Ein slik korreksjonsfaktor må etablerast for kvar type industri, fordi fordelinga mellom dei ulike partikkelstorleikane kan vere forskjellig. Prosjektet må derfor ta parallelle prøver med Respicon og IOM for å finne ein korreksjonsfaktor som kan nyttast for aluminiumindustrien.

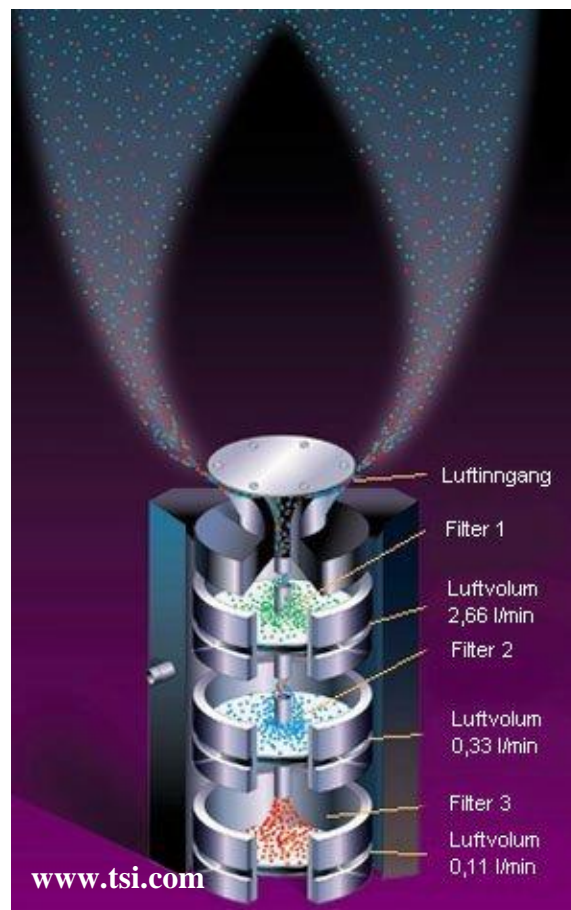


Fig. 7.2 Respiconprøvetakaren

### 7.2.3. Respirabel og torakal syklon

Syklonar er ein annen type prøvetakingsutstyr som baserer seg på å dele aerosolen i forskjellige partikkelstorleikar ved hjelp av sentrifugalkrefter. Dei fleste andre prøvetakarane nyttar gravitasjonskrafta. To typar syklonar vart nytta. Den eine er konstruert for respirabel aerosolfraksjon (SKC, UK) med et filter på 25 mm og ein luftgjennomstrømmingsfart på 2,2 L/min. Den andre er konstruert for torakal aerosolfraksjon (BGI, USA) har et filter på 37 mm og luftgjennomstrømmingsfart på 1,6 L/min.

Syklonar har vore mykje brukt og er vel dokumentert men ulempa er at for kvar fraksjon ein ynskjer å undersøke trengs ein syklon med eiga pumpe. Resultata frå syklonane skal samanliknast med tilsvarande fraksjon frå Respicon for å sjå om det er samanheng mellom prøvetakarane i denne type industri. Dette er ein type arbeid som krev mange parallelle målingar. Det vil derfor ikkje bli gjort verksvis, men som ein del av totalbiletet for industrien.

### 7.2.4. Direktevisande Respicon og Split 2

Split 2 er ein direktevisande dataloggar for aerosolar med måleområde 0,01 til 200 mg/m<sup>3</sup> for aerosol med diameter mellom 0,1 og 100 µm basert på IOM-prøvetakaren. Med dataloggaren er det mogeleg å logge opp til 21500 datapunkt før data må lastast ned på ein PC. Fastsetjingsprinsippet for aerosol er måling av lysspreiing av

infraraud stråling. Strålingskjelda er retta 90 grader på ein fotodetektor, og når den infraraude strålen treff aerosolen, vil dette føre til lysspreiing. Saman med den gravimetrisk analysen får ein aerosolkonsentrasjon i  $\text{mg}/\text{m}^3$ . Luftstraumen gjennom prøvetakaren skal vere 2,0 L/min.

I den direktevisende respiconprøvetakaren er det tre fotodetektorar for fastsetjing av aerosol. Saman med gravimetrisk fastsetjingar får ein gjort om detektorsignalet til partikulære konsentrasjonar i  $\text{mg}/\text{m}^3$ . Måleområdet for impaktoren er opp til 200  $\text{mg}/\text{m}^3$  for kvar fotodetektor. Saman med prøvetakaren er det ein dataloggar for lagring av data. Dataloggaren må skjermast for elektromagnetisk stråling med ein jernboks.

Tidoppløyte målingar ble brukt til å skaffe informasjon om toppeksponeering og identifisering av partikulære forureiningskjelder samt å estimere eksponering ved spesifikke arbeidsoperasjonar. Det var derfor viktig å fylgje opp arbeidstakarane med skjema med tidspunkt og arbeidsoppgåve.

## **7.3. Gassprøvetakarar**

### **7.3.1. Gassensorar**

Direktevisande gassensorar er nyttige hjelpemiddel til å sjå på toppeksponeering for  $\text{SO}_2$ . Så lenge ein brukbar direktevisande HF-sensor ikkje er utvikla, er den informasjonen ein får om fluorid i gassform basert på kumulativ eksponering, midla over prøvetakingstida.

$\text{NO}_2$  kunne ein tenkje seg blir danna ved bluss, og det vart derfor teke  $\text{NO}_2$ -prøver parallelt med  $\text{SO}_2$ .

Direktevisande gassmålingar av  $\text{SO}_2$  og  $\text{NO}_2$  vart utført med Dräger Pac III (Dräger Aktiengesellschaft, Lübeck, Tyskland) og Neotox-XL (Neotronics Limited, Takeley, UK) gassensorar. HF-sensoren som vart prøvd ut var ein Gasman II (Crowcon Ltd, UK). Gassdeteksjonen er basert på diffusjon av gass gjennom ein membran inn til ein elektrokjemisk sensor. Gasskonsentrasjonen vart registrert kontinuerleg som funksjon av tid og lagra ved hjelp av ein innebygd dataloggar. Lagringsintervalla var kvart 10 sekund. Oppløysinga var på 0,1 ppm og ei deteksjonsgrenser på 0,2 ppm. Sensorane vart kalibrert mellom prøvetakingane på kvart verk med kjent gasskonsentrasjon.

### **7.3.2. Gassfilter**

HF og andre sure fluoridgassar (t.d.  $\text{SiF}_4$ ) vart samla opp på impregnerte gassfilter (10 % (w/v) KOH impregnerte 25 mm støtteplater (Millipore, AP1002500)) fordi det til no ikkje har eksistert nokon god direktevisande berbar sensor for HF.



**Tabell 7.1: Oversikt over prøvetakingsutstyr som vart nytta for dei ulike aerosolfraksjonane**

Tilgjengeleg prøvetakingsutstyr	Helserelaterte aerosolfraksjonar (jf. Fig 5.1)/gass					Gassar		
	Respirabel	Trakeo-bronkial	Ekstratorakal	Torakal	Inhalerbar	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	HF
IOM	-	-	-	-	X	-	-	-
Respicon®	X	X	X	X <sup>#</sup>	X <sup>#</sup>	-	-	-
Syklon	X <sup>*</sup>	-	-	X <sup>*</sup>	-	-	-	-
Millipore kassett med impregnerte støtteplater	-	-	-	-	-	-	X	X
Direktevisande gass sensorar,	-	-	-	-	-	X	X	X
- Dräger	-	-	-	-	-	X	X	-
- Neotox	-	-	-	-	-	X	X	-
- Gasman II	-	-	-	-	-	-	-	X <sup>†</sup>

<sup>#</sup> Vert utrekna frå dei andre fraksjonane

<sup>\*</sup> Anten respirabel eller torakal fraksjon

<sup>†</sup> Ny HF sensor vart prøvd ut

I tabell 7.1 er det gjeve ein oversikt over det utstyret som skulle nyttast, og kva komponent som skulle fastsetjast med det ulike utstyret.

## 8. Prøver samla med dei ulike prøvetakarane

I tabellen 8.1 er det gjeve ein oversikt over talet på prøver fordelt på dei to prøvetakingsperiodane og arbeidsfunksjonane som var blitt utført. Innhaldet i dei ulike arbeidsoperasjonane er definert i tabell 6.2.

**Tabell 8.1: Oversikt over prøver tatt ved Elkem Aluminium Mosjøen (EAM) i februar 2003.**

	Respicon	IOM	Torakal syklon	Respirabel syklon	Gassar (HF/SO <sub>2</sub> )	Sensor (SO <sub>2</sub> )
Omnspassar	37	33	2	3	33	21
Digel	10	9	1	1	9	5
Tappar	16	14	1	2	14	12
Anode kran	13	13	2	-	13	7
Anode golv	16	12	4	2	12	9
Anode kran/golv	8	6	-	1	6	6
Total	100	87	10	9	87	60

## 9. Analysemetodar

### 9.1. Gravimetri

Fastsetjing av masser på filter vart gjort med Sartorius MC5 og Sartorius 210P vektor, ved veging av filter før og etter eksponering. Arbeidet vart utført i STAMI sitt klimatiserte vegerom (20±1 °C, 40±2 % RH). Nedre fastsetjingsgrense var 0,08-0,4 mg/filter for Respicon(PVC-filter) og 0,01-0,08 og 0,04-0,09 mg/filter for høvesvis respirabel syklon og torakal syklon. For IOM-kassett med CA-filter var nedre fastsetjingsgrense 0,2-2 mg/filter.

Resultat for Respiconprøver vart utrekna etter formlane i brukarretteleiinga (Hund, 2000) og kan sjåast i saman med Respiconprøvetakaren vist i figur 7.2:

$$C_{RESPIRABEL} = \frac{m_1 \cdot 1000}{Q_1 \cdot t_s}$$
$$C_{TORAKAL} = \frac{(m_1 + m_2) \cdot 1000}{((Q_1 + Q_2) \cdot t_s)}$$
$$C_{INHALERBAR} = \frac{(m_1 + m_2 + m_3) \cdot 1000}{((Q_1 + Q_2 + Q_3) \cdot t_s)}$$

$m_1$  = masse på filter 1 (respirabel aerosol),  $m_2$  = masse på filter 2 (trakeobronkial aerosol),  $m_3$  = masse på filter 3 (ekstratorakal aerosol)

$Q_1$  = 2,66 L/min (flow gjennom filter 1),  $Q_2$  = 0,33 L/min (flow gjennom filter 2),  $Q_3$  = 0,11 L/min (flow gjennom filter 3),

$t_s$  = prøvetakingstid i min

$$C_{INHALERBAR} = C_{TORAKAL} - C_{RESPIRABEL}$$

$$C_{EKSTRATORAKAL} = C_{INHALERBAR} - C_{TORAKAL}$$

## 9.2. Fastsetjing av fluorid og SO<sub>2</sub>

### 9.2.1. Vassløyseleg fluorid

Vassløyseleg fluorid er definert som den delen av fluorid i aerosolen som løyser seg i ionebytta vatn ved henstand i 90 min. ved romtemperatur. Fluorid ekstraherast frå eksponerte aerosolfilter ved bruk av sentrifugerøyr med volum på 50 mL (Alltech Maxi-Spin™ Filter Tube, art. nr. 100506, Deerfield, USA). Røra var av polypropylen og hadde ein filterinnsats med nylon membran (porestorleik 0,2 µm). Aerosolfiltra vart overført til filterinnsatsen, tilsett 150 µL bromid (Spectrascan®, 1000 mg/L, Teknolab A/S) som intern standard og 9,85 ml ionebytta vann. Alt ble godt ristet og satt til henstand i 90 minutt ved 20 °C før sentrifugering i 10 minutt ved 3000 omdreiningar pr. minutt (RPM). Fluorid i eluatet vart fastsett ved ionekromatografi.

Nedre fastsetjingsgrense var 5 µg/filter for Respicon og IOM, 4 µg/filter for torakal sykklon og 7 µg/filter for respirabel sykklon.

Utrekning av vassløyseleg fluorid i dei helserealterte aerosolfraksjonane vart utført på same måte som for massane på filtra

### 9.2.2. Lutløyseleg fluorid

Etter eluering med vatn vart aerosolfilter og filterinnsats overført til eit nytt sentrifugerøyr, tilsatt 5 mL 0,5 M KOH-løysning og 225 µL fosfat (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>), (Spectrascan®, 1000 mg/L, Teknolab A/S) som intern standard. Etter oppvarming på vassbad i mikrobølgeovn på 75 °C i 90 min, vart røyra sentrifugert og eluatet fortynna til 15 mL med ionebytta vatn (>17,8 MΩ). Fastsetjing av fluoridnivå vart gjort med ionekromatografi. Nedre fastsetjingsgrense for lutløyseleg fluorid var 20 µg/filter.

Forsøk utført ved STAMI ved hjelp av scanningelektronmikroskop utstyrt med ein energidispersibel røntgen fluorescensdetektor har vist at etter behandlinga med 0,5 M KOH inneheldt ikkje filteret detekterbare mengder fluorid. Av dette har ein grunn til å hevde at summen av vassløyseleg fluorid og fluorid ekstrahert med 0,5 M KOH utgjør total mengde partikulært fluorid i prøvene.

### 9.2.3. Partikulært fluorid

Partikulært fluorid er definert som summen av vassløyseleg og lutløyseleg fluorid.

### 9.2.4. Fluorid i gassform (HF) og SO<sub>2</sub>

Impregnerte gassfilter (10 % (w/v) KOH-løysning på Millipore AP1002500 støtteplater) vart overført til 15 mL polypropylen reagensrør (Sarstedt, art. nr. 62.554.001, Nümbrecht, Tyskland), tilsatt intern standard (bromid, Br<sup>-</sup>) og ekstrahert med 10 mL 0,5 % (v/v) H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-løysning. Ved prøvetaking på denne typen gassfilter vil svoveldioksid kunne reagere til sulfat eller til sulfitt. Den svake hydrogenperoksid-løysninga vart brukt for å omdanne eventuell sulfitt til sulfat. Etter henstand i 2 timar vart fastsetjinga utført ved bruk av ionekromatografi. Prøveresultata frå ionekromatografen vart så omrekna frå fluorid (F<sup>-</sup>) til hydrogenfluorid (HF) og frå sulfat (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) til svoveldioksid (SO<sub>2</sub>). Nedre fastsetjingsgrenser var 1,0-16 µg/filter F<sup>-</sup> og 4,1-12 µg/filter SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>.

### 9.2.5. Totalfluorid

Totalfluorid i denne rapporten er ikkje det same som og kan ikkje samanliknast med totalfluorid nytta tidlegare i aluminiumindustrien.

I denne rapporten definerast totalfluorid som summen av partikulær inhalerbar fluorid målt med Respicon og fluorid i gassfase frå KOH-impregnerte filter.

## 10. Instrumentering

Analysane ble utført ved ionekromatografi med utstyr samansatt av ein Dionex DX-500 ionekromatograf (Dionex, Sunnyvale, CA, USA) utstyrt med ei gradientpumpe (GP40) og ein elektrokjemisk detektor (ED 40) med konduktivitetsselle. Til instrumentet er det kopla ein prøveinjektor (Gilson<sup>®</sup> 231 XL, Villiers-le-Bel, Frankrike) med ein prøvekapasitet på 80 prøver og eit prøveinnføringsvolum på 25 µL eller 10 µL. IonPac AS14A analytisk kolonne (250 X 4 mm) med IonPac AG14A førkolonne (50 X 4 mm) ble nytta. Instrumentet er også utstyrt med ein sjølvregenererande suppressor (Dionex ASRS-II, 4 mm). Styring av instrumentet, dataregistrering og omarbeiding av rådata vart utført med dataprogrammet Chromeleon<sup>™</sup>, versjon 6.40. Eluentløysingane var 8,0 mM Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> / 1,0 mM NaHCO<sub>3</sub> med ein eluenthastighet på 1,0 mL/min. Ved tillaging vart eluentløysinga plassert på ultralydbad i 10 minutt for å fjerne oppløyst oksygen.

Kalibreringsløysingar vart laga ved å fortynne sertifiserte standardar levert av Teknolab A/S (Spectrascan<sup>®</sup>, 1000 mg/L) med ionebytta vatn.

## 11. Kvalitetssikring

For å kvalitetssikre analyseresultata vart eigne referanseløysingar med kjent analyttverdi av fluorid og sulfat tillaga. Desse prøvene inngjekk som ukjente og analysert på tilsvarende måte som de reelle prøvene, og på den måten sikra korrekte analyseresultat. For blindkorrigering av resultata var kvar ellefte prøve eit ueksponerte filter. Desse vart analysert for alle komponentane på tilsvarende måte som dei eksponerte filtra.

## 12. Resultat og diskusjon

Prosjektet har no samla inn ei stor mengde resultat som kan presenterast på mange ulike måtar. Talet på variablar er mange og det kan være lett å miste oversikta. I figurane og tabellane nedanfor vil aerosolresultata bli presentert i underkapittel etter type analysert komponent.

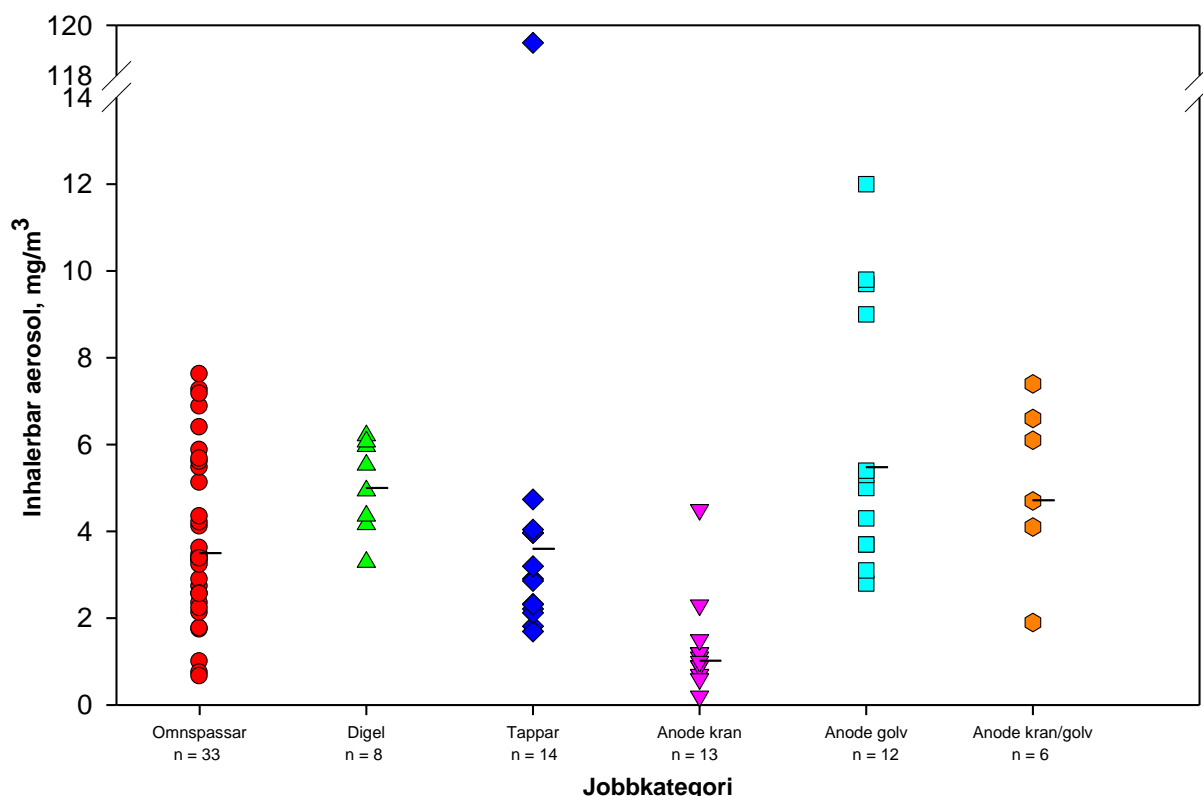
I denne rapporten er det lagt vekt på verdiane frå Respiconprøvetakaren og IOM. Syklonane var fyrst og fremst med for å kunne gjere ei samanlikning av prøvetakarar. For å få gode og sikre data til eit slikt arbeid treng ein fleire målingar enn det ein har tatt ved eit verk. Dette vil ikkje ha konsekvensar for resultata eller for konklusjonane.

Resultata representerer konsentrasjonar av eksponeringsmålingane utført i dei gjevne tidsromma. Det er ikkje gjort nokon korreksjon av eksponeringsdata av prosessteknisk art eller for ulike produksjonsparametrar. Luftkonsentrasjonane i rapporten baserer seg på faktisk prøvetakingstid, og er ikkje normalisert til 8 timar.

Generelt er det viktig å kommentere at nokre av jobbkategoriene har arbeidsoperasjonar som medfører større eller mindre del av arbeidstida nær opne celler, eller i lukka ventilert kabin. I dei ulike situasjonane er bruk av vernemasker avgjerande for inhalert mengde forureining. Alle prøver er tatt utanfor vernemaskene og i innandingssona til arbeidstakaren. Resultata må derfor sjåast i samanheng med den generelle vernemaskebruken innan dei målte jobbkategoriene. 52 personar nytta airstreamhjelm, 30 personar nytta 3M 9926, 7 personar nytta ein kombinasjon av airstreamhjelm og 3M 9926, 3 personar nytta 3M 4277, medan 7 personar med kranarbeid ikkje nytta vernemasker i løpet av skiftet. For verdiar lågare enn den nedre fastsetjingsgrensa (DL) er det nytta  $\frac{1}{2}$  DL. Bileta 11.1 – 11.4 viser arbeid ved tre av arbeidsoperasjonane.

## 12.1. Aerosol

Aerosol/støv vart samla på filter ved hjelp av forskjellige prøvetakarar og deretter veid for å finne mengda. Figur 12.1 viser alle aerosolresultata målt med IOM prøvetakaren sortert etter arbeidsoperasjon. Det er stor spreieing på resultata innan ein arbeidsoperasjon og også forskjell mellom ein del av arbeidsoperasjonane. Nokre få målingar er høge som kan tyde på at noen operatørar kan være høgt eksponert på enkeltdagar.



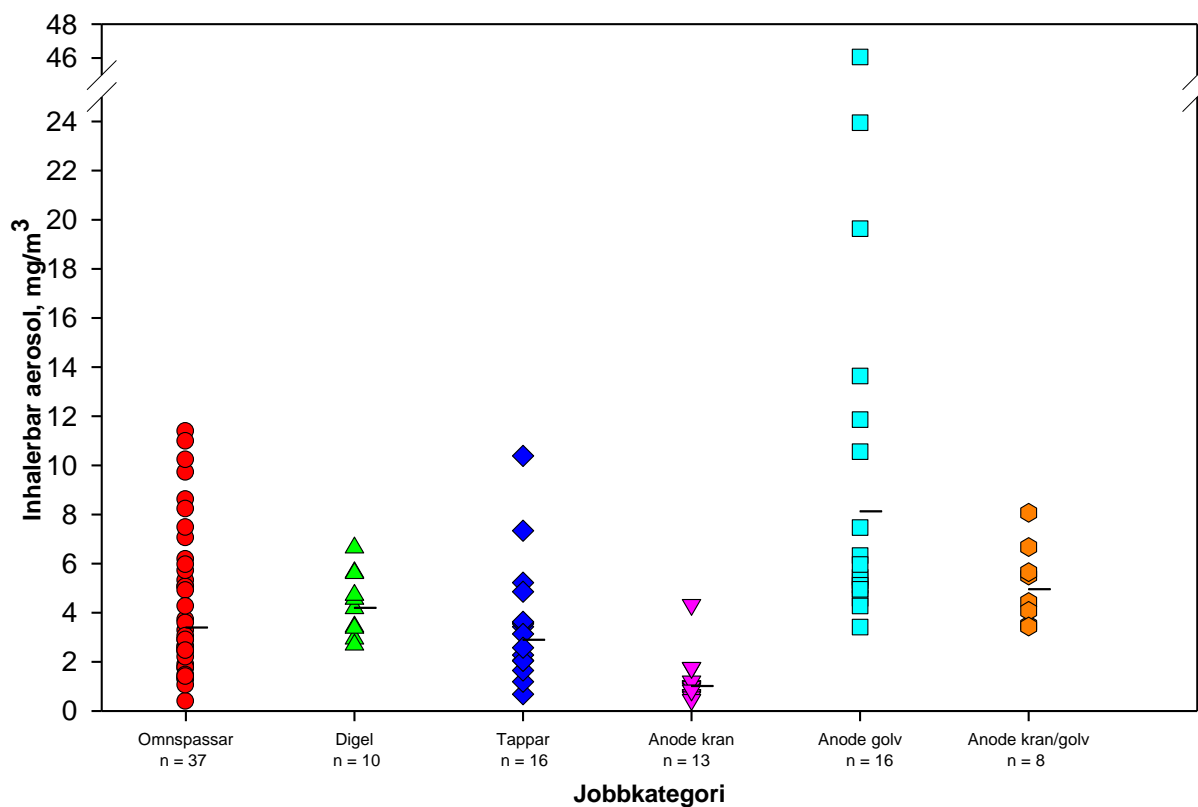
**Figur 12.1: Inhalerbar aerosol frå IOM-prøvetakaren fordelt på jobbkategori. Talet på prøver er gjeve med bokstaven n og må ikkje forvekslast med talet på personar.**

Figurane viser dei inhalerbare aerosolresultat målt med IOM-prøvetakaren (fig. 12.1) og målt med Respiconprøvetakaren (fig. 12.2). Dei aller fleste målingane ligg under  $12 \text{ mg/m}^3$ , men med einiske høge verdiar. Høgast GM har ein for Anode golv ( $8,3 \text{ mg/m}^3$ ), medan lågast for Anode kran ( $1,0 \text{ mg/m}^3$ ). Det er ikkje uventa at anode kran som arbeider store delar av arbeidstida i ein lukka ventilert kabin er lågast eksponert.

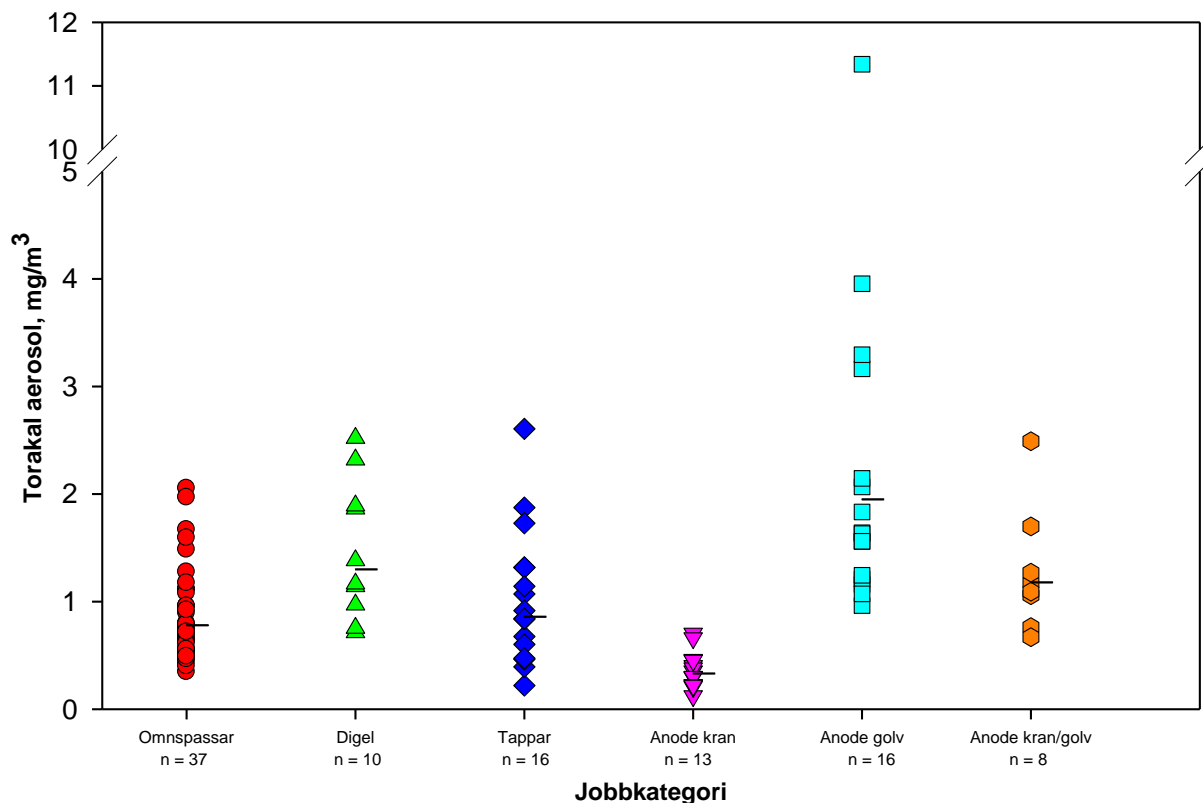


Foto: Helge Nes, EA Mosjøen.

Bilete 12.1: Digelrens



Figur 12.2: Inhalerbar aerosol fra Respiconprøvetakeren fordelt på jobbkategori. Talet på prøver er gjeve med bokstaven n og må ikkje forvekslast med talet på personar.



**Figur 12.3: Torakal aerosolfraksjon** frå **Respiconprøvetakaren** fordelt på jobbkategori. Talet på prøver er gjevne med bokstaven n og må ikkje forvekslast med talet på personar.

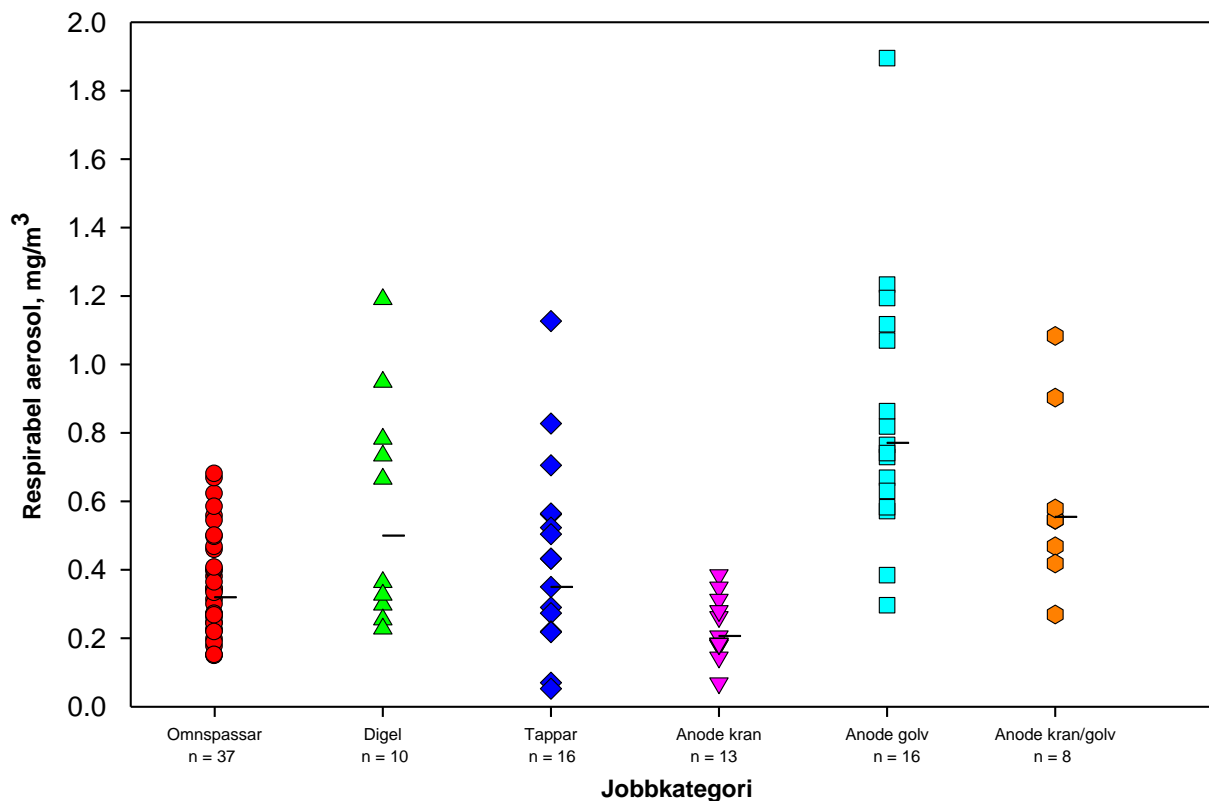
Respiconprøvetakaren og torakale syklonar kan begge nyttast til å fastsetje aerosolmengda som kan avsetjast i luftvegane nedanfor strupehovudet (torakal aerosol). Figur 12.3 viser aerosolmengda fastsett med Respiconprøvetakaren. Den totale mengda aerosol er lågare enn for inhalerbar og variasjonane mellom jobbkategoriene er ikkje like stor som for inhalerbar aerosol. Bortsett frå nokre få einssilde målingar er spreinga mindre innan same arbeidsoperasjon. Dei fleste resultat ligg under 3 mg/m<sup>3</sup> og med GM lågare enn 2 mg/m<sup>3</sup>.

**Tabell: 12.1: Prosentdel torakal aerosol av inhalerbar aerosol.**

Jobbkategori	n	GM	95 % Konfidensintervall		Minimum	Maksimum
			Nedre	Øvre		
Omnspassar	37	23	20	27	7,9	91
Digel	10	32	25	41	18	51
Tappar	16	29	26	33	18	41
Anode kran	13	33	26	40	16	61
Anode golv	16	24	20	28	9,3	38
Anode kran/golv	8	24	18	31	17	45
Alle	100	26	24	28	7,9	91

I tabell 12.1 ser ein at gjennomsnittleg GM for alle jobbkategoriene er 26 % torakal aerosol av den inhalerbare aerosolen. Anode kran er den jobbkategorien med gjennomsnittleg høgast prosentdel torakal aerosol (33 %), medan omnspassar har 23 % og størst spreing (7,9 % - 91%).

Av tabellen ser ein at størstedelen av aerosolen er ekstratorakal (omlag 70 %) og blir fylgjeleg avsett i dei øvre luftvegane.



**Figur 12.4: Respirabel aerosolfraksjon** frå **Respiconprøvetakaren** fordelt på jobbkategori. Talet på prøver er gjevne med bokstaven n og må ikkje forvekslast med talet på personar.

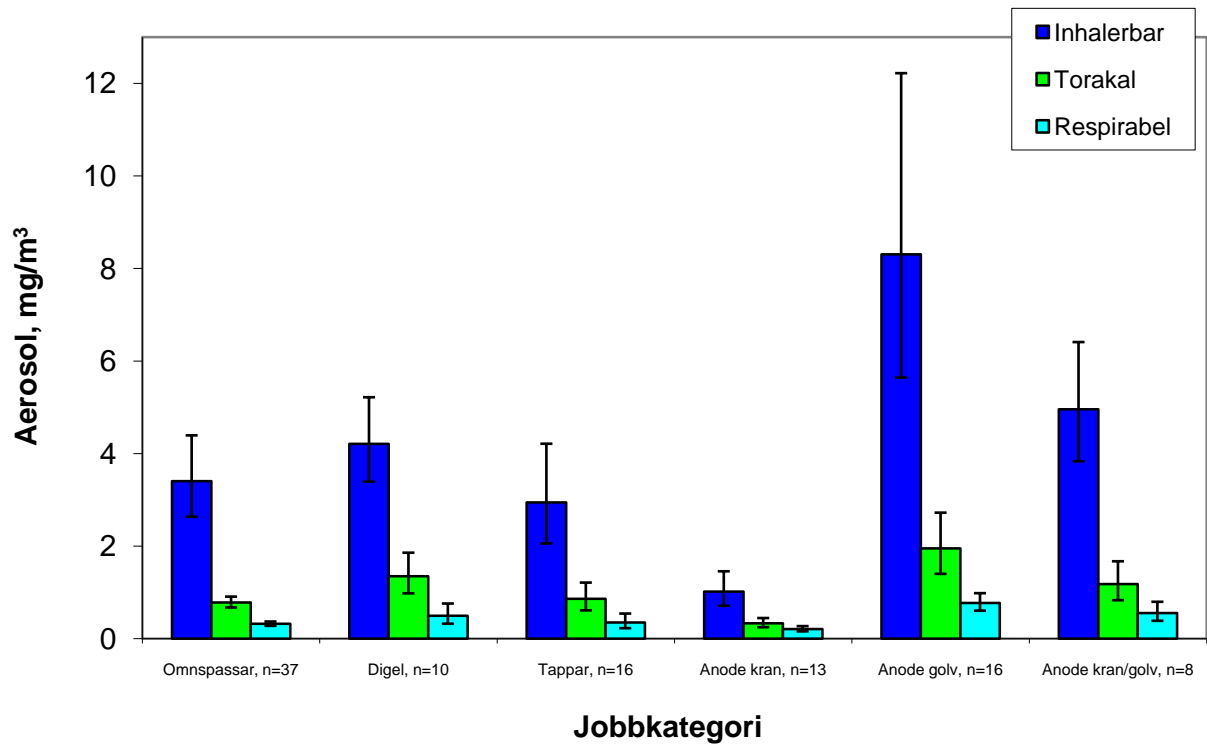
I figur 12.4 ser ein at ein har same trend for respirabel aerosolfraksjon som for torakal fraksjon. Nokre av verdiane var høge, men dei fleste målingane var under  $1 \text{ mg/m}^3$ . Denne aerosolen er ein underfraksjon av den torakale fraksjonen.

**Tabell: 12.2: Prosentdel respirabel aerosol av inhalerbar aerosol.**

Jobbkategori	n	GM	95 % Konfidensintervall		Minimum	Maksimum
			Nedre	Øvre		
Omnspassar	37	9,4	7,6	12	2,8	39
Digel	10	12	7,4	19	5,5	29
Tappar	16	12	8,8	16	2,0	27
Anode kran	13	20	16	26	8,9	40
Anode golv	16	9,3	7,0	12	3,7	20
Anode kran/golv	8	11	8,3	15	6,3	20
Alle	100	11	9,9	13	2,0	40

Tabell 12.2 viser prosentdel respirabel aerosol av inhalerbar aerosol. Gjennomsnittleg var 11 % av den inhalerbare aerosolen respirabel. Spreiinga er stor (2,8 % – 40 %). Jobbkategorien anode kran har høgast prosentdel respirabel aerosol (20 %), medan anode golv og omnspassar har lågast ( 9,3 % og 9,4 %).





**Figur 12.5: Geometrisk middelværdi, GM med 95% konfidensintervall for dei helserelaterte aerosolfraksjonar prøveteke med Respicon.**

I figur 12.5. er det gjeve dei geometriske middelværdiane og 95% konfidensintervall for dei helserelaterte aerosolfraksjonane fordelt på dei prøveteke jobbkategoriene. Anode golv hadde den høgaste eksponeringa for alle dei tre målte aerosolfraksjonane. Anode kran er den lågast eksponerte kategorien. Ved å regne statistikk på data frå figur 12.5 kan ein sjå om det er noen forskjell mellom dei ulike arbeidsoperasjonane. Ei oppsummering er gjeve i tabell 12.3 for alle eksponeringsmålingane.

**Tabell 12.3: Oversikt over kva jobbkategori der GM var signifikant\* forskjellig for dei ulike komponentane.**

<b>Komponent</b>	<b>Jobbkategori</b>	<b>Signifikant* forskjellig frå jobbkategori</b>
IOM aerosol	Omnspassar	Anode kran
	Digel	Anode kran
	Tappar	Anode kran
	Anode kran	Omnspassar, Digel, Tappar, Anode golv, Anode kran/golv
	Anode golv	Anode kran
	Anode kran/golv	Anode kran
Respicon Inhalerbar aerosol	Omnspassar	Anode kran, Anode golv
	Digel	Anode kran, Anode golv
	Tappar	Anode kran, Anode golv
	Anode kran	Omnspassar, Digel, Tappar, Anode golv, Anode kran/golv
	Anode golv	Omnspassar, Digel, Tappar, Anode kran
	Anode kran/golv	Anode kran
Respicon Torakal aerosol	Omnspassar	Digel, Anode kran, Anode golv, Anode kran/golv
	Digel	Omnspassar, Tappar, Anode kran
	Tappar	Digel, Anode kran, Anode golv
	Anode kran	Omnspassar, Digel, Tappar, Anode golv, Anode kran/golv
	Anode golv	Omnspassar, Tappar, Anode kran/golv
	Anode kran/golv	Omnspassar, Anode kran, Anode golv
Respicon Respirabel aerosol	Omnspassar	Digel, Anode kran, Anode golv, Anode kran/golv
	Digel	Omnspassar, Anode kran, Anode golv
	Tappar	Anode kran, Anode golv, Anode kran/golv
	Anode kran	Omnspassar, Digel, Tappar, Anode golv, Anode kran/golv
	Anode golv	Omnspassar, Digel, Tappar, Anode kran
	Anode kran/golv	Omnspassar, Tappar, Anode kran

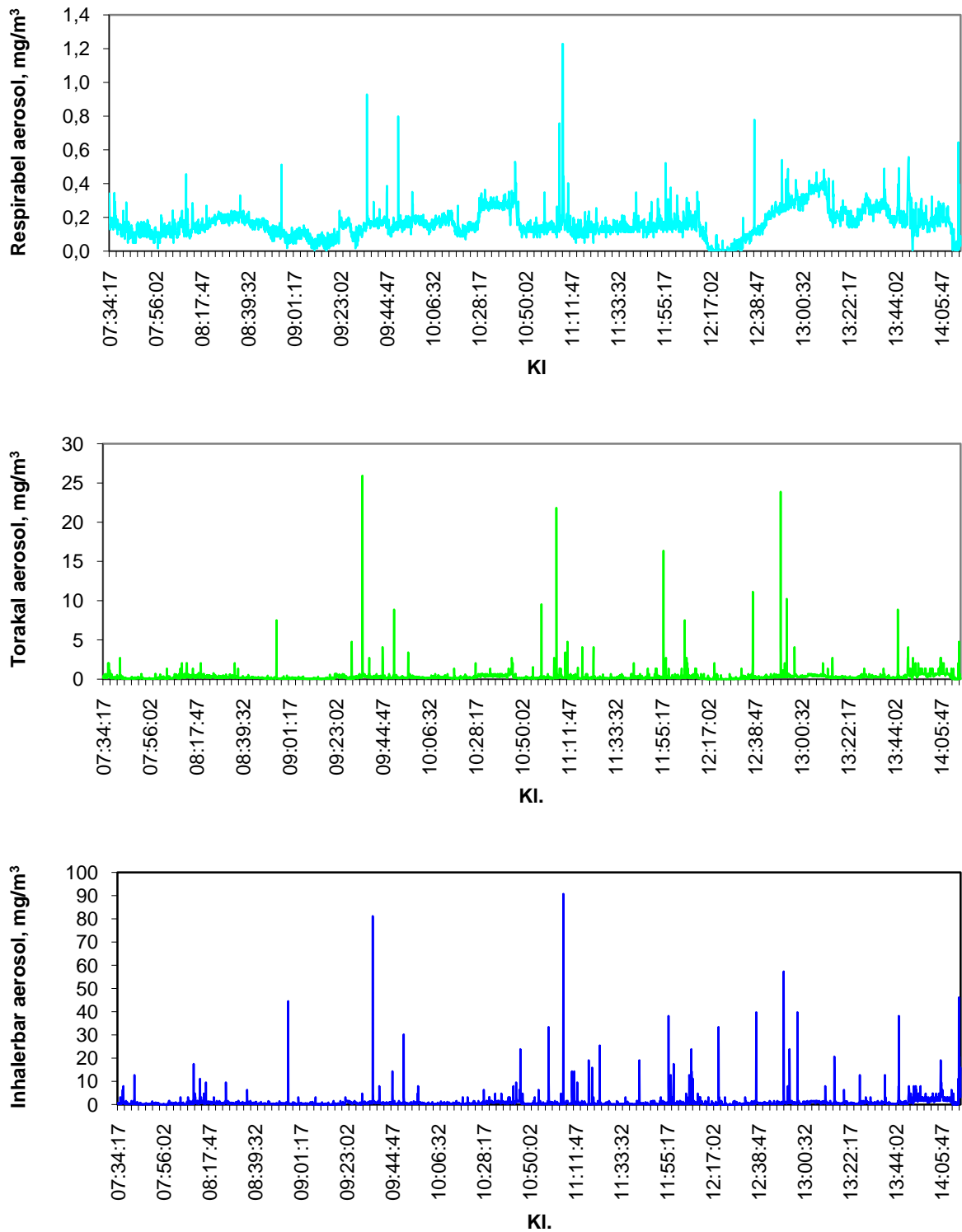
Anode kran er den jobbkategori som skil seg mest ut, ved å vere signifikant forskjellig frå dei andre jobbkategori. Omnspassar og tappar er ikkje signifikant forskjellig for nokon av dei målte komponentane.

---

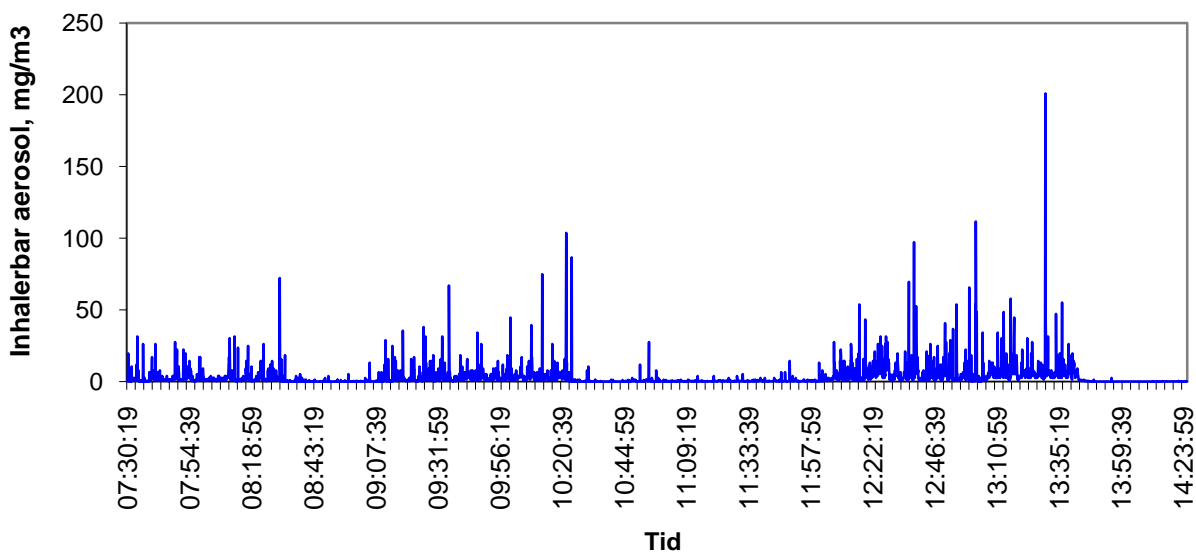
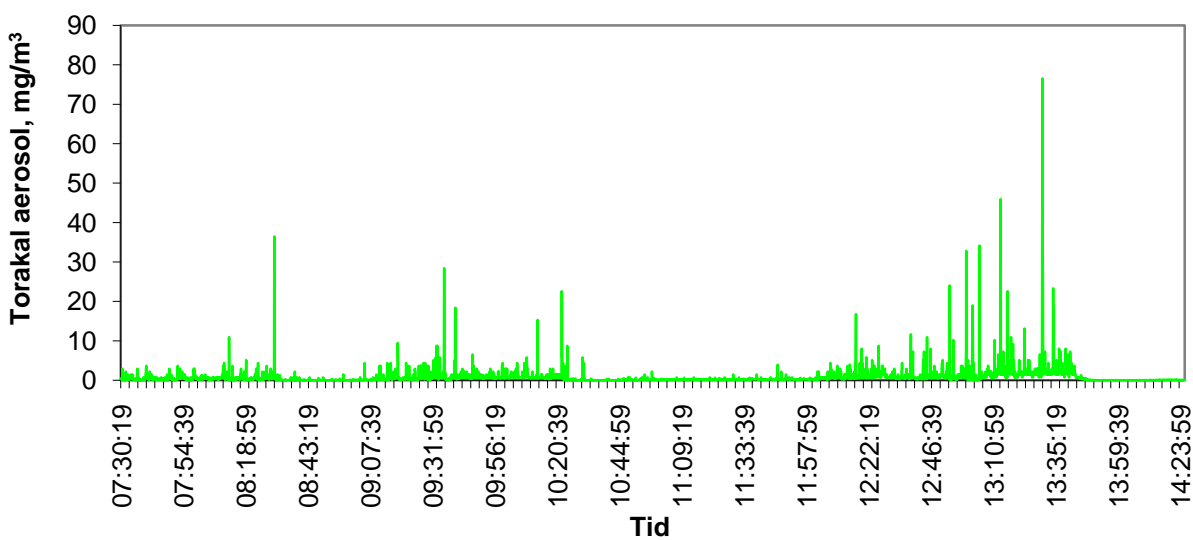
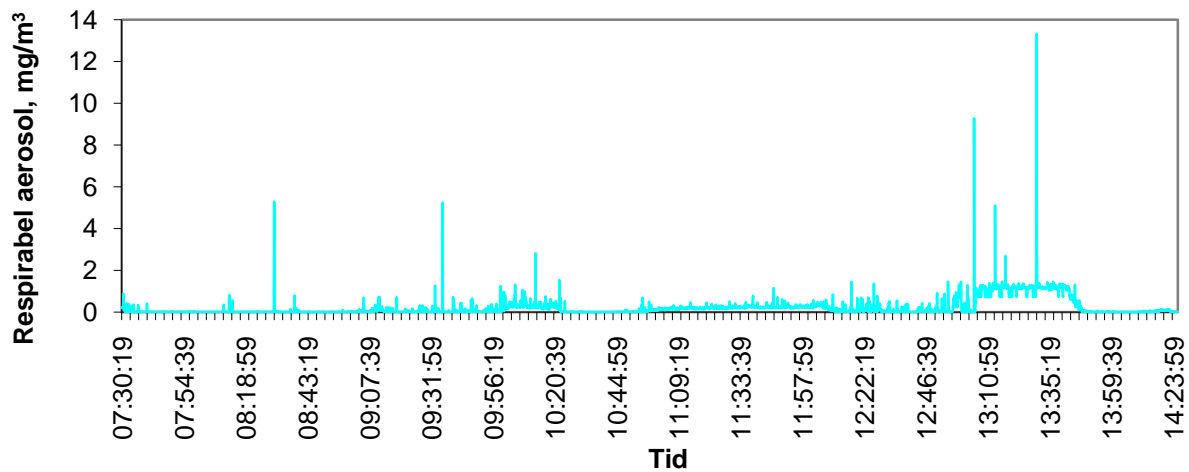
\*  $p < 0,05$

### 12.1.1. Direktevisande utstyr for aerosolmålingar

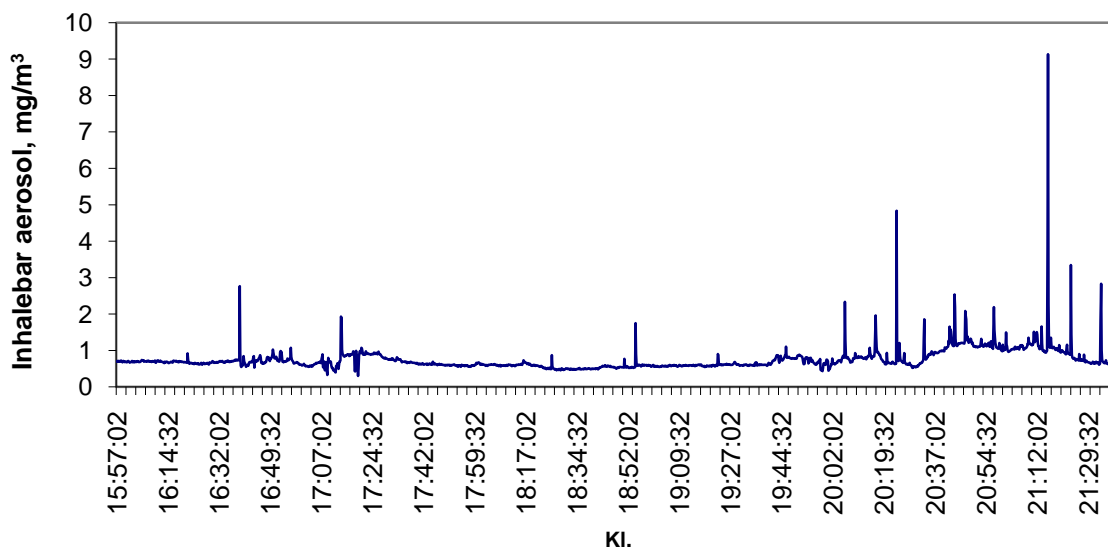
Til dette vart det nytta ein direktevisande Respicon og Split 2 (sjå 7.2.4).



Figur 12.6: Anodeskiftar 18.februar 2003 (Utført arbeid: Anodeskift kran heile dagen).



Figur 12.7: Digelrens 19.februar 2003 (Utført arbeid: Skruing av røyr).



**Fig.12.8: Split 2 tidsoppløyst signal for Anodeskiftar 19. februar 2003 (Utført arbeid: Anodeskift fra kran, dekking etter mat).**

Tidsoppløyste aerosolmålingar vart brukt til å skaffe verdfull informasjon om toppeksposering og identifisering av partikulære forureiningskjelder samt å estimere eksponering ved spesifikke arbeidsoperasjonar. Det er derfor svært viktig å fylgje opp arbeidstakarane med skjema med tidspunkt og arbeidsoppgåve. Dette var noko som viste seg å være svært vanskeleg i praksis. Det vart derfor i stor grad opp til dei ulike arbeidstakarane å presisere i løpet av intervjuet kva arbeidsoperasjonar som vart utført ved dei ulike tidspunkta. Eit system med tettare oppfylgning hadde vore å føretrekke, men ei tettare oppfylgning vart så ressurskrevande at det ikkje let seg gjennomføre innanfor dei økonomiske rammene og det tette prøvetakingsprogrammet i prosjektet.

Av figurane 12.6 og 12.7 ser ein at eksponeringa for både respirabel, torakal og inhalerbar aerosol er knytt til episodar med til tider svært høg eksponering. Sjølv om det ikkje går like klart fram av figuren 12.6 som av fig. 12.7. Av fig. 12.6 ser ein at ein har ein relativt konstant bakgrunn med respirabel aerosol. Fig. 12.8 viser den inhalerbare aerosolen målt med Spilt 2 (direktevisande IOM-kassett). Desse tidsoppløyste målingane viser at det er stor forskjell mellom personar og skift, både i eksponeringsmønster og mengde aerosol. Felles er at eksponeringa er knytt til kortvarige høge episodar.



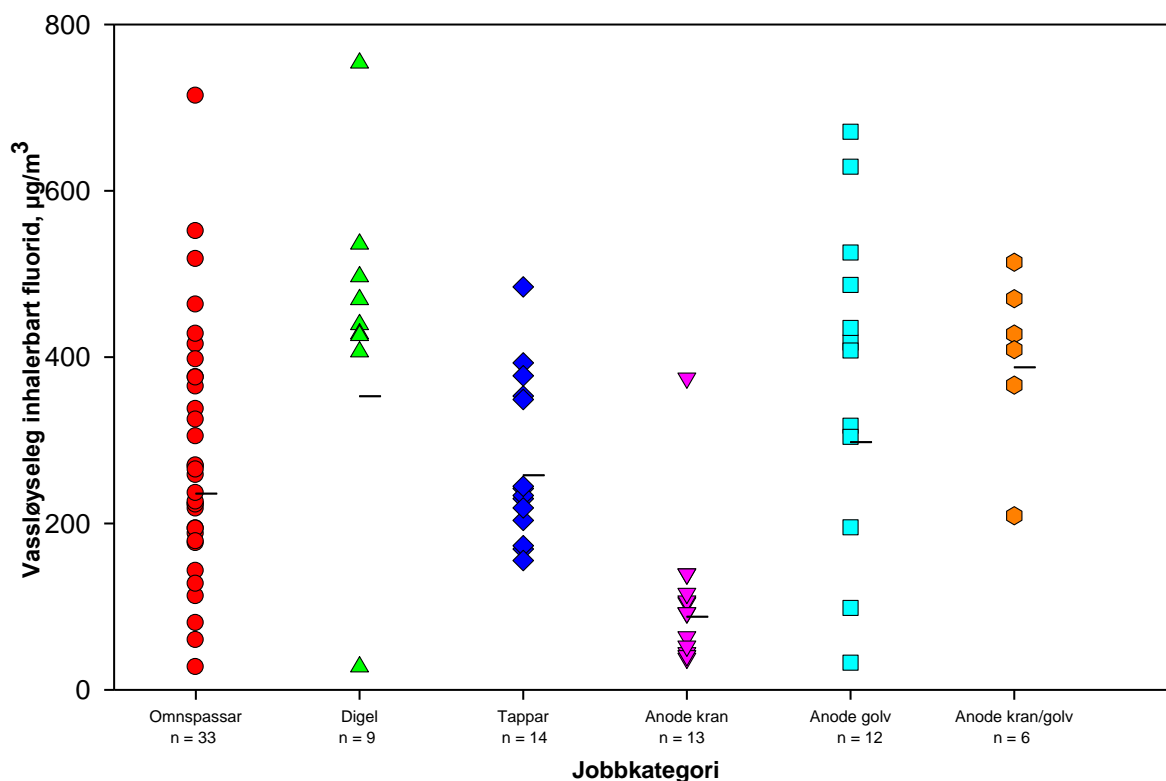
Foto: Helge Nes, EA Mosjøen

**Bilete 12.2: Temperaturmåling**

## 12.2. Resultat vassløyseleg fluorid

Alle aerosolprøvene vart løyst i vatn og fluoridmengda i dette vassekstraktet vart fastsett; vassløyseleg fluorid.

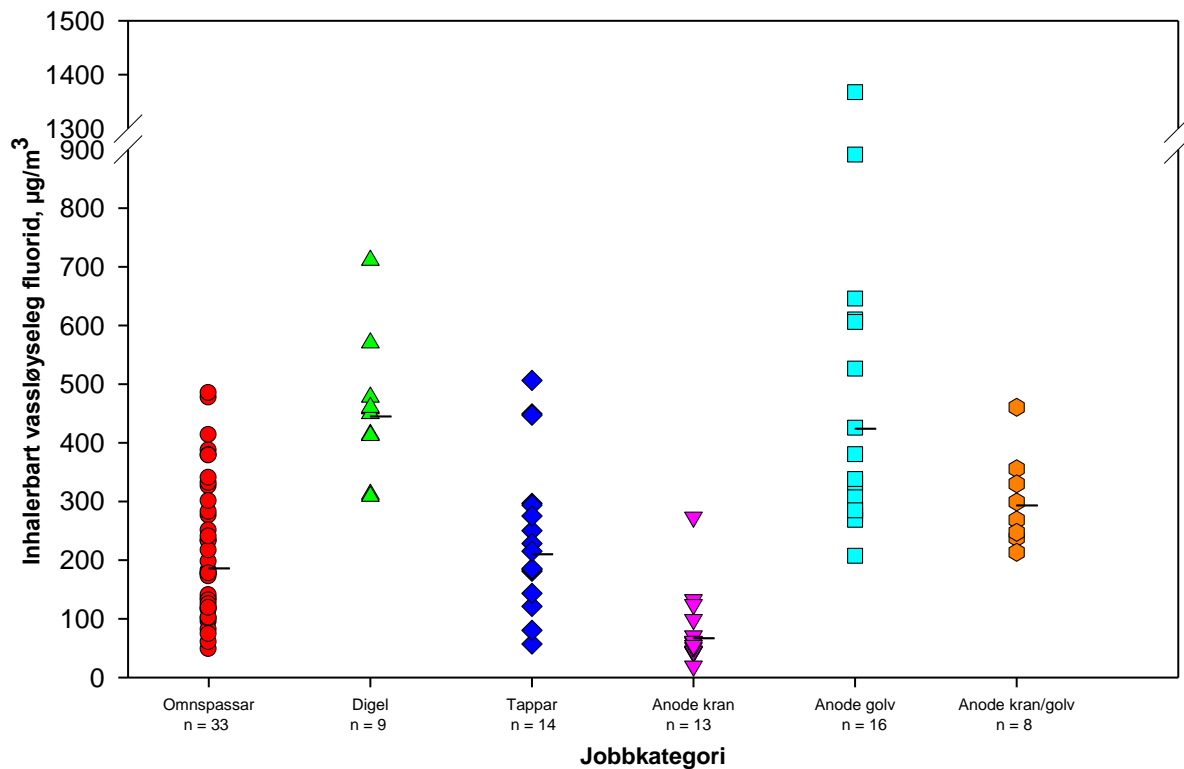
Ein oversikt over alle enkeltresultat for IOM-prøvetakaren er vist i figur 12.9.



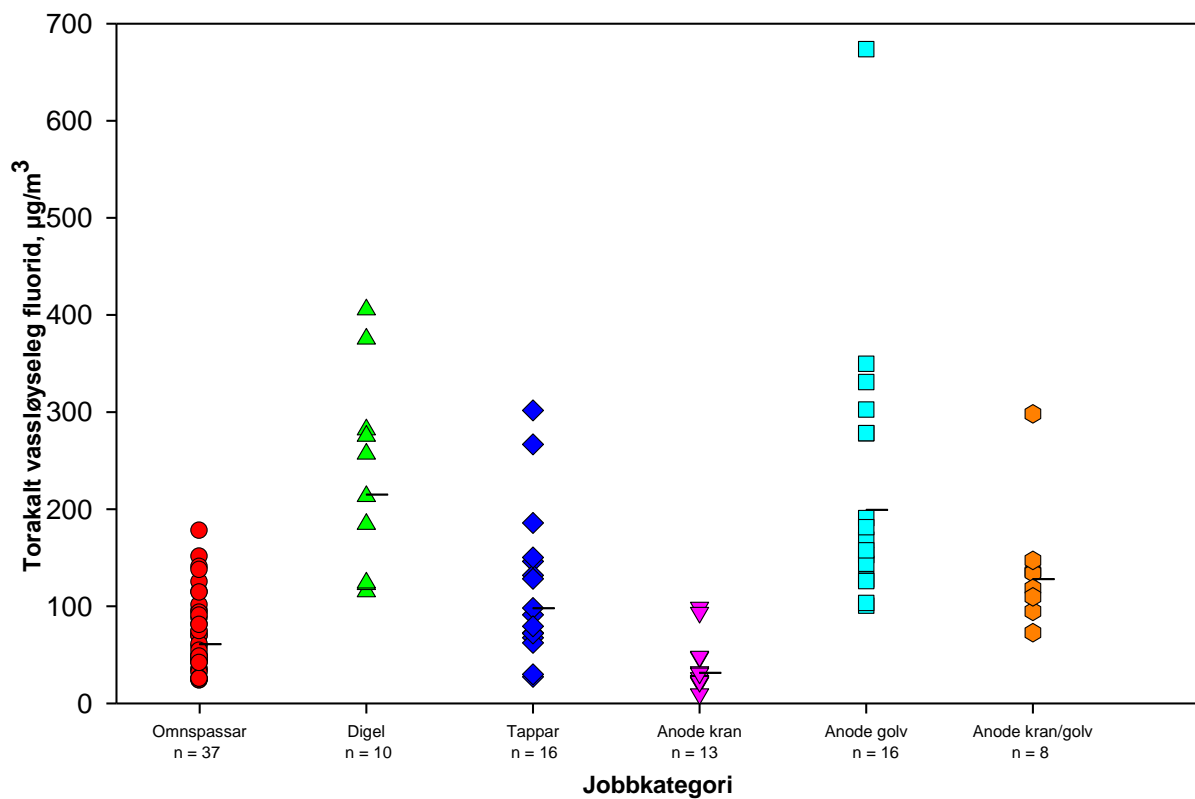
**Figur 12.9: Vassløyseleg fluorid bestemt i aerosolen frå IOM-prøvetakaren fordelt på jobbkategori. Talet på prøver er gjeve med bokstaven n og må ikkje forvekslast med talet på personar.**

For inhalerbart vassløyseleg fluorid skil anode kran seg ut som den kategorien med lågast eksponering ( $88 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), medan digel og anode kran/golv har høgast eksponering ( $353 \mu\text{g}/\text{m}^3$  og  $385 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Frå målingane med IOM-prøvetakar er det relativt stor spreiring for både omnspassar, digel og anode golv (jamfør fig. 11.9).

I figur 12.10 er det gjeve det inhalerbare vassløyseleg fluoridet målt med respiconprøvetakaren. Resultat viser at anode kran har lågast eksponering ( $67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) og at digel og anode golv er dei høgast eksponerte ( $445 \mu\text{g}/\text{m}^3$  og  $424 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). For respiconmålingane er spreinga størst for anode golv.



Figur 12.10: Vassløyseleg fluorid fastsett i den inhalerbare aerosolfraksjon frå Respiconprøvetakaren fordelt på jobbkategori. Talet på prøver er gjevne med bokstaven n og må ikkje forvekslast med talet på personar.



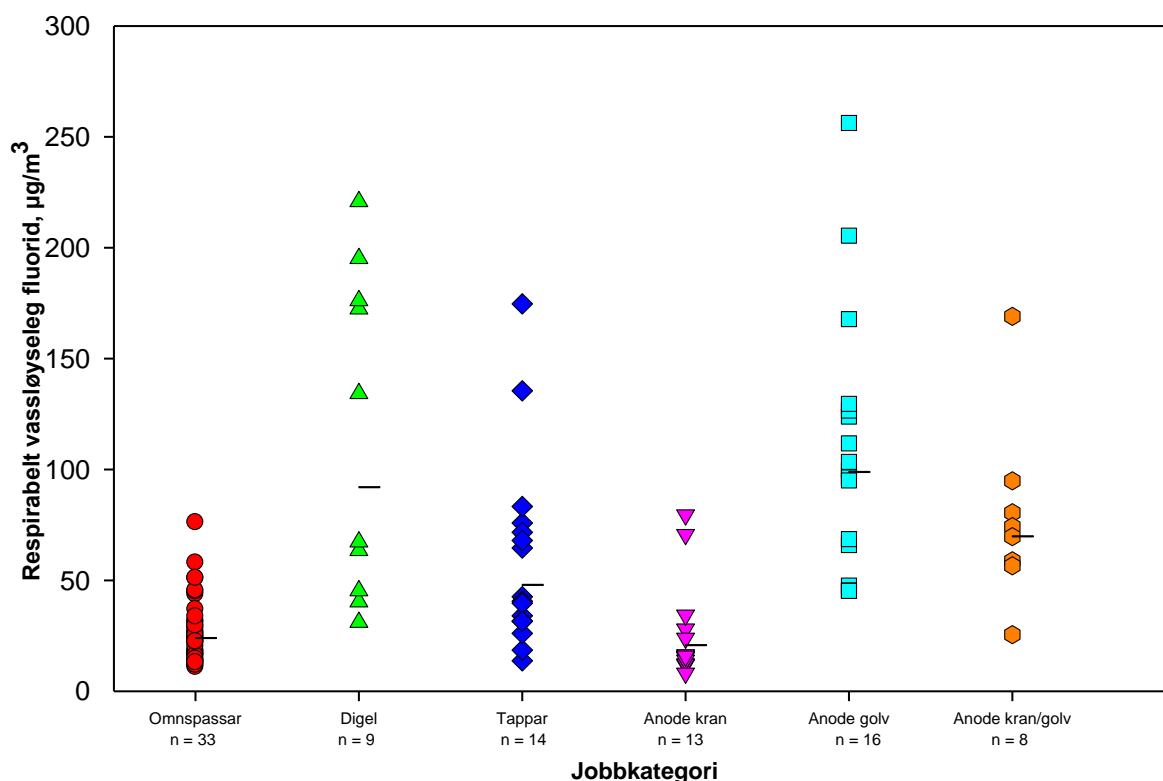
Figur 12.11: Vassløyseleg fluorid fastsett i den torakale aerosolfraksjon frå Respiconprøvetakaren fordelt på jobbkategori. Talet på prøver er gjevne med bokstaven n og må ikkje forvekslast med talet på personar.

Som det kjem fram i figur 12.11 et det igjen anode kran som har det lågaste eksponeringa ( $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Generelt er dei fleste målingane lågare enn  $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Spreinga er størst for dei same gruppene som inhalerbart vassløyseleg fluorid.

**Tabell: 11.4: Prosentdel vassløyseleg torakalt fluorid av vassløyseleg inhalerbart fluorid.**

Jobbkategori	n	GM	95 % Konfidensintervall		Minimum	Maksimum
			Nedre	Øvre		
Omnspassar	37	33	30	36	11	53
Digel	10	48	39	60	26	67
Tappar	16	47	42	52	34	60
Anode kran	13	47	40	55	25	71
Anode golv	16	47	42	53	34	74
Anode kran/golv	8	44	36	53	34	65
Alle	100	41	39	44	11	74

Frå målingane viser tabell 12.4 prosentdelen torakalt vassløyseleg fluorid av det inhalerbare vassløyselege fluoridet. Gjennomsnittleg prosentdel vassløyseleg fluorid varierer frå 33 % til 48 % avhengig av jobbkategori. Samla er 41 % av det inhalerbare vassløyselege fluoridet torakalt. Variasjonane innan kvar jobbkategori er stor, med eit spenn frå 11 % til 74 %. Jobbkategorien digel har den høgste gjennomsnittlege prosenten (48 %) medan omnspassar har den lågaste (33%).



**Figur 12.12: Vassløyseleg fluorid fastsett i den respirable aerosolfraksjon frå Respiconprøvetakaren fordelt på jobbkategori. Talet på prøver er gjeve med bokstaven n og må ikkje forvekslast med talet på personar.**

I figur 12.12 viser at omnspassar og anode kran har lågast eksponering ( $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$  og  $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) med minst spreining, medan digel og anode golv har høgst eksponering ( $92 \mu\text{g}/\text{m}^3$  og  $99 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) og størst spreining.

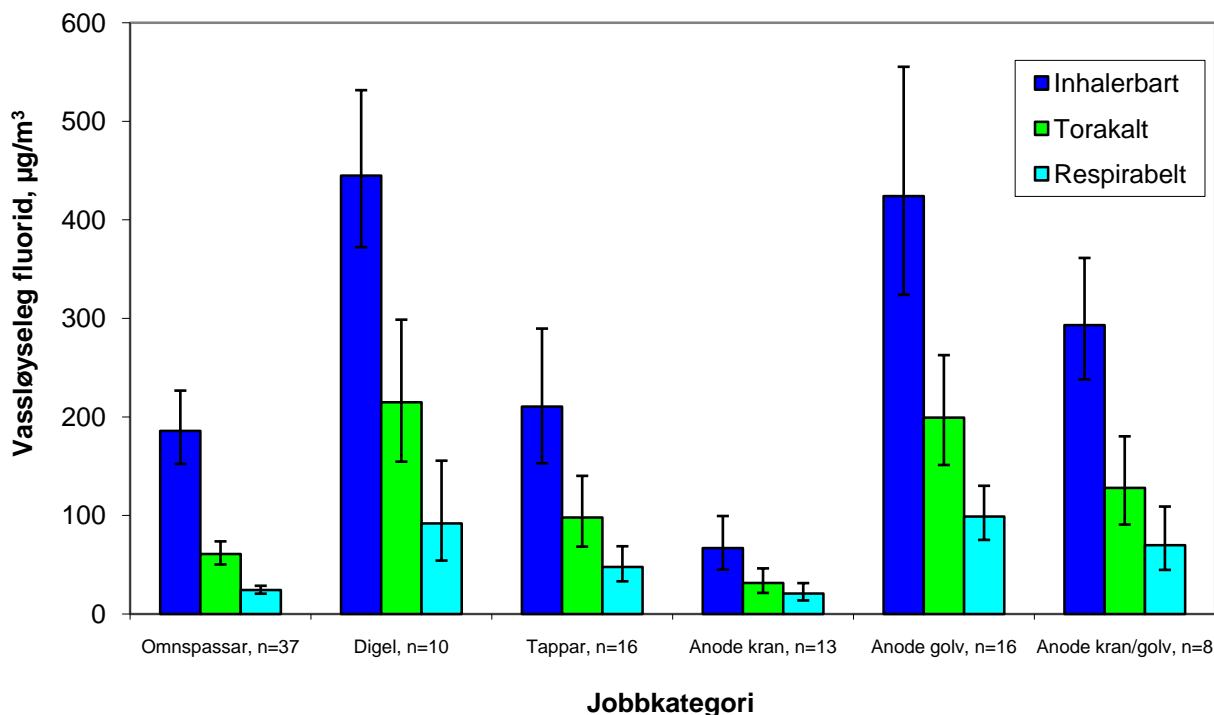


**Tabell: 12.5: Prosentdel vassløyseleg respirabelt fluorid av vassløyseleg inhalerbart fluorid.**

Jobbkategori	n	GM	95 % Konfidensintervall		Minimum	Maksimum
			Nedre	Øvre		
Omnspassar	37	13	12	15	5,2	29
Digel	10	21	13	32	9,5	48
Tappar	16	23	19	27	14	39
Anode kran	13	31	25	38	19	60
Anode golv	16	23	18	30	12	46
Anode kran/golv	8	24	17	33	12	37
Alle	100	19	17	21	5,2	60

Som vist i tabell 12.5 er den gjennomsnittlege delen respirabelt vassløyseleg fluorid 19 % av det inhalerbare vassløyselege fluoridet. Lågast prosentdel har omnspassar med 13 %, medan anode har høgast (31 %).

Samanlikna med prosentdelane for aerosol er det prosentvis meir vassløyseleg respirabelt fluorid (19 %) enn den respirabel aerosoldelen (11 %). Dette tyder at ein har ei anna storleiksfordeling av fluoridet i aerosolen enn storleiksfordelinga for aerosolen.



**Figur 12.13: Vassløyseleg fluorid, GM med 95% konfidensintervall for vassløyseleg fluorid bestemt i aerosolfraksjonane frå Respicon.**

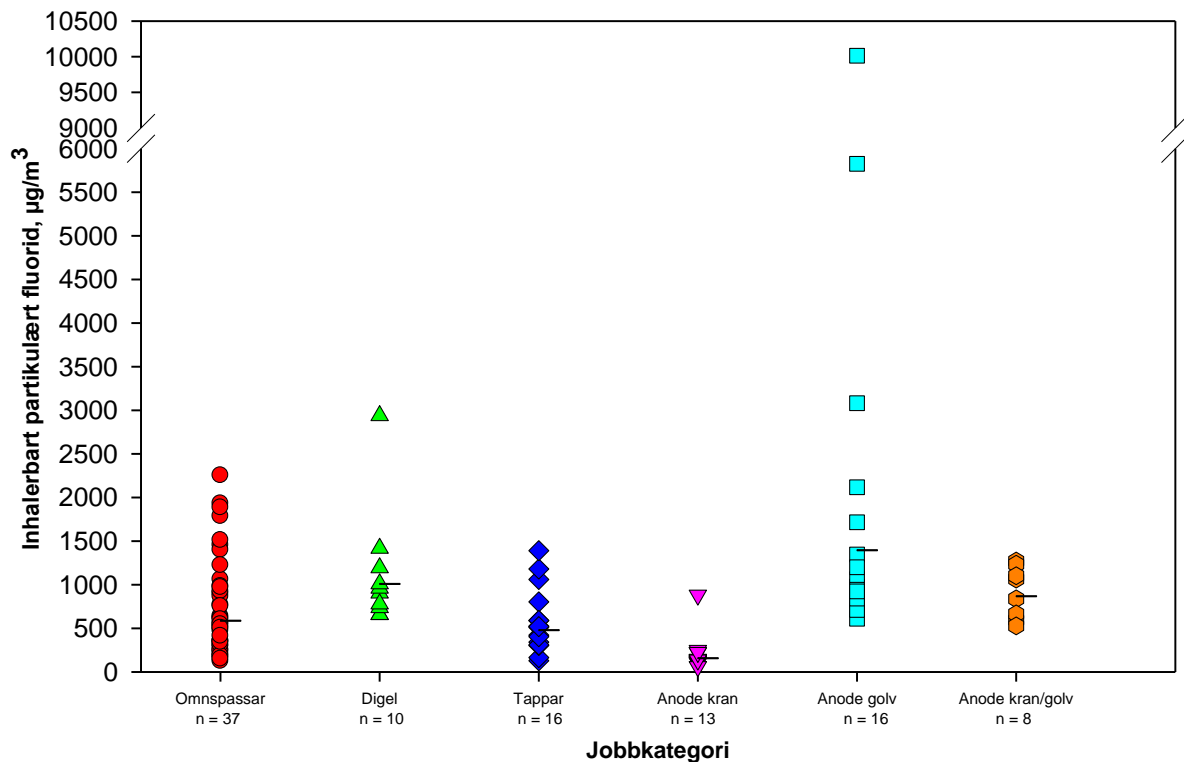
Jobbkategoriene digel og anode golv viser dei høgaste gjennomsnitta (GM) for inhalerbart, torakal og respirabel vassløyseleg fluorid.

**Tabell 12.6: Oversikt over kva arbeidsoperasjonar der GM var signifikant\* forskjellige for vassløyseleg fluorid.**

<b>Komponent</b>	<b>Arbeidsoperasjon</b>	<b>Signifikant* forskjellig frå arbeidsoperasjon</b>
IOM vassløyseleg fluorid	Omnspassar	Anode kran
	Digel	Anode kran
	Tappar	Anode kran
	Anode kran	Omnspassar, Digel, Tappar, Anode golv, Anode kran/golv
	Anode golv	Anode kran
	Anode kran/golv	Anode kran
Respicon Inhalerbar vassløyseleg fluorid	Omnspassar	Digel, Anode kran, Anode golv, Anode kran/golv
	Digel	Omnspassar, Tappar, Anode kran
	Tappar	Digel, Anode kran, Anode golv
	Anode kran	Omnspassar, Digel, Tappar, Anode golv, Anode kran/golv
	Anode golv	Omnspassar, Tappar, Anode kran
	Anode kran/golv	Omnspassar, Anode kran
Respicon Torakal vassløyseleg fluorid	Omnspassar	Digel, Anode kran, Anode golv, Anode kran/golv
	Digel	Omnspassar, Tappar, Anode kran
	Tappar	Digel, Anode kran, Anode golv, Anode kran/golv
	Anode kran	Omnspassar, Digel, Tappar, Anode golv, Anode kran/golv
	Anode golv	Omnspassar, Tappar, Anode kran
	Anode kran/golv	Omnspassar, Tappar, Anode kran
Respicon Respirabel vassløyseleg fluorid	Omnspassar	Digel, Anode golv, Anode kran/golv
	Digel	Omnspassar, Tappar, Anode kran
	Tappar	Omnspassar, Digel, Anode kran, Anode golv
	Anode kran	Digel, Tappar, Anode golv, Anode kran/golv
	Anode golv	Omnspassar, Tappar, Anode kran
	Anode kran/golv	Omnspassar, Anode kran

\* p<0,05

## 12.3. Resultat partikulært fluorid



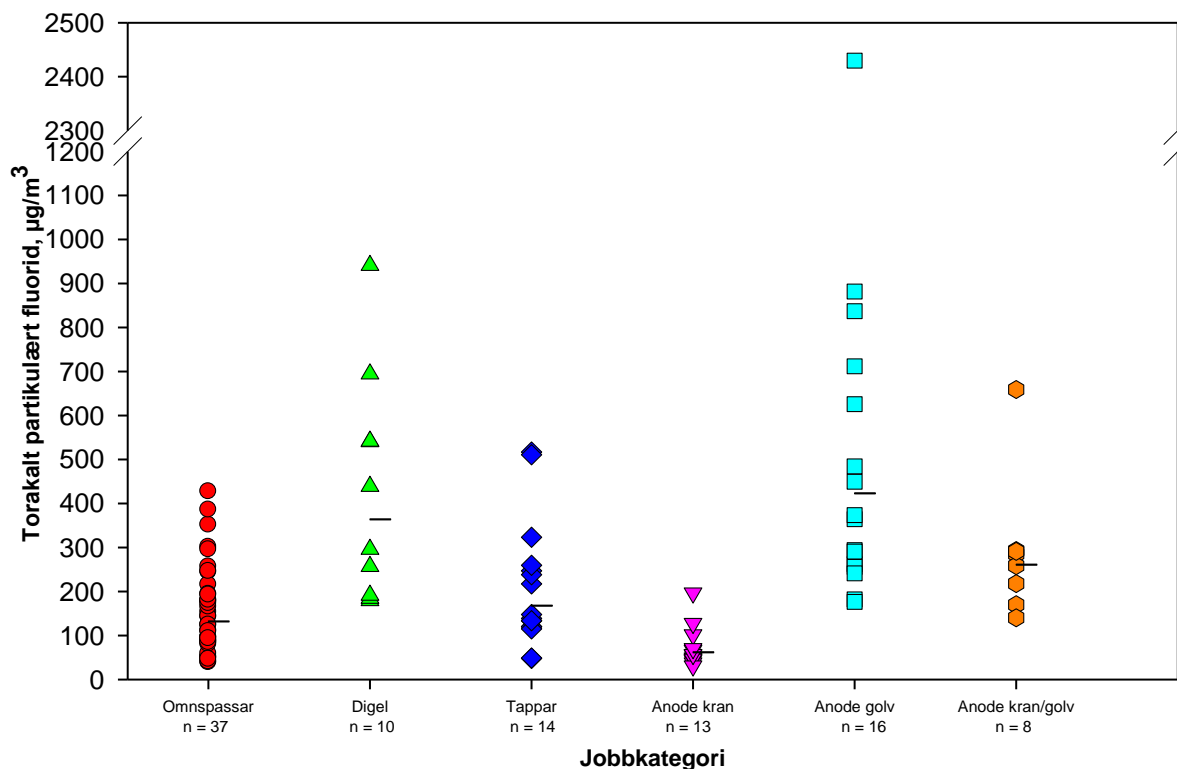
Figur 12.14: Partikulær fluorid fastsett i den inhalerbare aerosolfraksjon frå Respiconprøvetakaren fordelt på jobbkategori. Talet på prøver er gjevne med bokstaven n og må ikkje forvekslast med talet på personar.



Foto: Helge Nes, EA Mosjøen

Bilete 12.3: Kranfører

For inhalerbart partikulært fluorid finn ein lågast eksponering jobbkategorien anode kran ( $157 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), medan høgast eksponering finn ein for anode golv ( $1395 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Størst spreing i resultata finn ein også i kategorien anode golv.



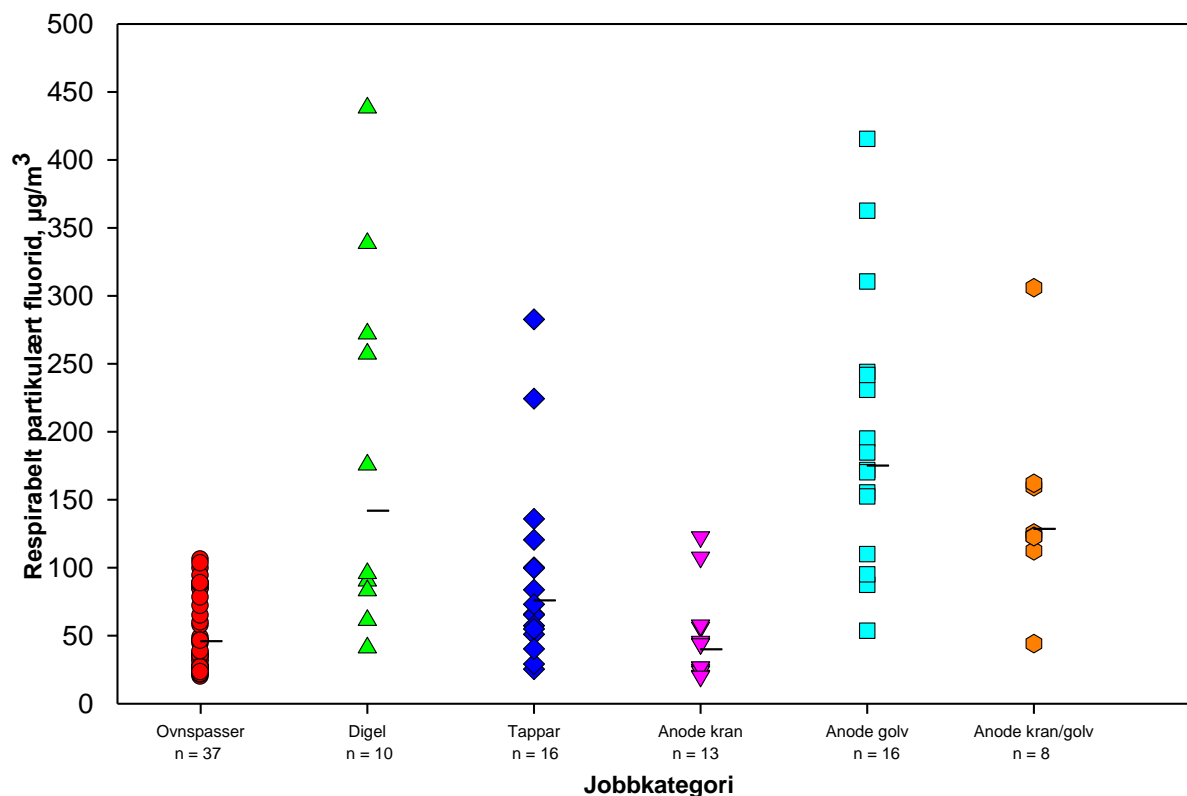
**Figur 12.15: Partikulær fluorid fastsett i den torakale aerosolfraksjon frå Respiconprøvetakaren fordelt på jobbkategori. Talet på prøver er gjeve med bokstaven n og må ikkje forvekslast med talet på personar.**

For torakalt partikulært fluorid er det høgast eksponering for jobbkategorien anode golv ( $423 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), medan ein finn lågast eksponering for anode kran ( $62 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Spreiinga er størst for anode golv, men også stor for digel.

**Tabell: 12.7: Prosentdel partikulært torakalt fluorid av partikulært inhalerbart fluorid.**

Jobbkategori	n	GM	95 % Konfidensintervall		Minimum	Maksimum
			Nedre	Øvre		
Omnspassar	37	22	19	26	4,5	64
Digel	10	36	28	47	20	58
Tappar	16	35	31	39	25	49
Anode kran	13	39	33	47	22	60
Anode golv	16	30	25	37	15	74
Anode kran/golv	8	30	23	40	20	52
Alle	100	29	27	32	4,5	74

Av tabell 12.7 har ein at gjennomsnittleg 29 % av det partikulære inhalerbare fluorid er torakalt. Anode kran er jobbkategorien med størst del torakalt partikulært fluorid med 39 %, medan omnspassar har minst del med 22 %.



**Figur 12.16: Partikulær fluorid fastsett i den respirable aerosolfraksjon frå Respiconprøvetakaren fordelt på jobbkategori. Talet på prøver er gjevne med bokstaven n og må ikkje forvekslast med talet på personar.**

For respirabelt partikulært fluorid har omnspassar ( $46 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) og anode kran ( $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) lågast eksponering, medan digel ( $142 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) og anode golv ( $175 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) har høgast. Spreiinga er størst for digel og anode golv.

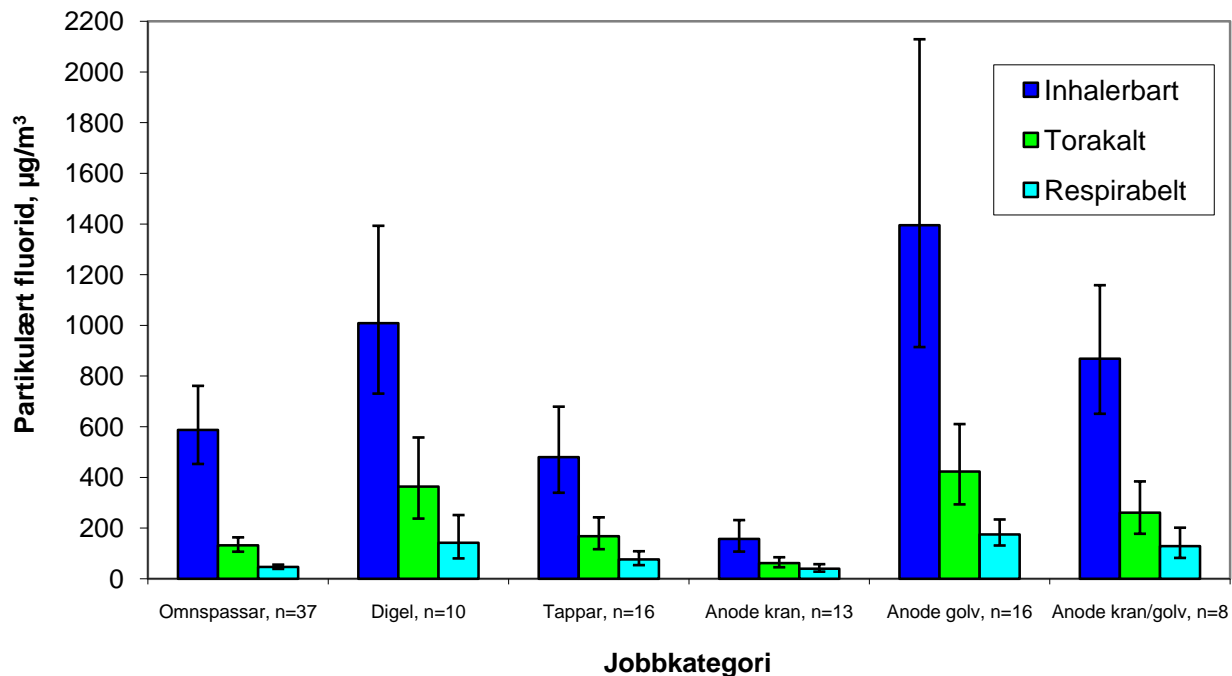
**Tabell: 12.8: Prosentdel partikulært respirabelt fluorid av partikulært inhalerbart fluorid.**

Jobbkategori	n	GM	95 % Konfidensintervall		Minimum	Maksimum
			Nedre	Øvre		
Omnspassar	37	7,9	6,5	9,6	2,3	28
Digel	10	14	8,3	24	6,2	43
Tappar	16	16	13	20	7,8	27
Anode kran	13	25	20	32	14	48
Anode golv	16	13	8,5	18	3,6	35
Anode kran/golv	8	15	10	21	8,4	27
Alle	100	12	11	14	2,3	48

Av tabell 12.8 får ein at i gjennomsnitt er 12 % av det partikulære inhalerbare fluoridet respirabelt. Størst del har anode kran med 25 %, medan omnspassar er lågast med 7,9 %.

**Tabell 12.9: Oversikt over kva jobbkategori der GM var signifikant\* forskjellig for partikulært fluorid.**

Komponent	Jobbkategori	Signifikant* forskjellig frå jobbkategori
Respicon Inhalerbar partikulær fluorid	Omnspassar	Digel, Anode kran, Anode golv
	Digel	Omnspassar, Tappar, Anode kran
	Tappar	Digel, Anode kran, Anode golv
	Anode kran	Omnspassar, Digel, Tappar, Anode golv, Anode kran/golv
	Anode golv	Omnspassar, Tappar, Anode kran
	Anode kran/golv	Anode kran
Respicon Torakal partikulær fluorid	Omnspassar	Digel, Anode kran, Anode golv, Anode kran/golv
	Digel	Omnspassar, Digel, Anode kran
	Tappar	Digel, Anode kran, Anode golv
	Anode kran	Omnspassar, Digel, Tappar, Anode golv, Anode kran/golv
	Anode golv	Omnspassar, Tappar, Anode kran
	Anode kran/golv	Omnspassar, Anode kran
Respicon Respirabel partikulær fluorid	Omnspassar	Digel, Tappar, Anode golv, Anode kran/golv
	Digel	Omnspassar, tappar, Anode kran
	Tappar	Omnspassar, Digel, Anode kran, Anode golv, Anode kran/golv
	Anode kran	Digel, Anode golv, Anode kran/golv
	Anode golv	Omnspassar, Tappar, Anode kran
	Anode kran/golv	Omnspassar, Tappar, Anode kran



**Figur 12.17: Geometrisk middelværdi (GM) for partikulært fluorid frå Respiconprøvetakaren.**

\* p<0,05

**Tabell: 12.10: Prosent vassløyseleg fluorid av partikulært fluorid.**

Parameter	Jobbkategori	n	GM	95 % Konfidensintervall		Minimum	Maksimum
				Nedre	Øvre		
Prosent respirabelt vassløyseleg fluorid av respirabelt partikulært fluorid	Omnspassar	37	52	48	57	27	77
	Digel	10	65	59	71	50	76
	Tappar	16	63	56	70	48	86
	Anode kran	13	52	45	60	36	77
	Anode golv	16	56	51	63	38	84
	Anode kran/golv	8	54	50	58	46	59
	Alle	100	56	53	58	27	86
Prosent torakalt vassløyseleg fluorid av torakalt partikulært fluorid	Omnspassar	37	46	43	49	26	68
	Digel	10	59	52	67	43	72
	Tappar	16	58	54	63	49	82
	Anode kran	13	51	44	59	31	73
	Anode golv	16	47	42	53	28	60
	Anode kran/golv	8	49	45	53	40	56
	Alle	100	50	48	52	26	82
Prosent inhalerbart vassløyseleg fluorid av inhalerbart partikulært fluorid	Omnspassar	37	32	29	35	17	54
	Digel	10	44	37	53	24	56
	Tappar	16	44	41	47	35	59
	Anode kran	13	43	37	49	31	64
	Anode golv	16	30	25	36	14	44
	Anode kran/golv	8	34	29	39	24	40
	Alle	100	36	34	38	14	64

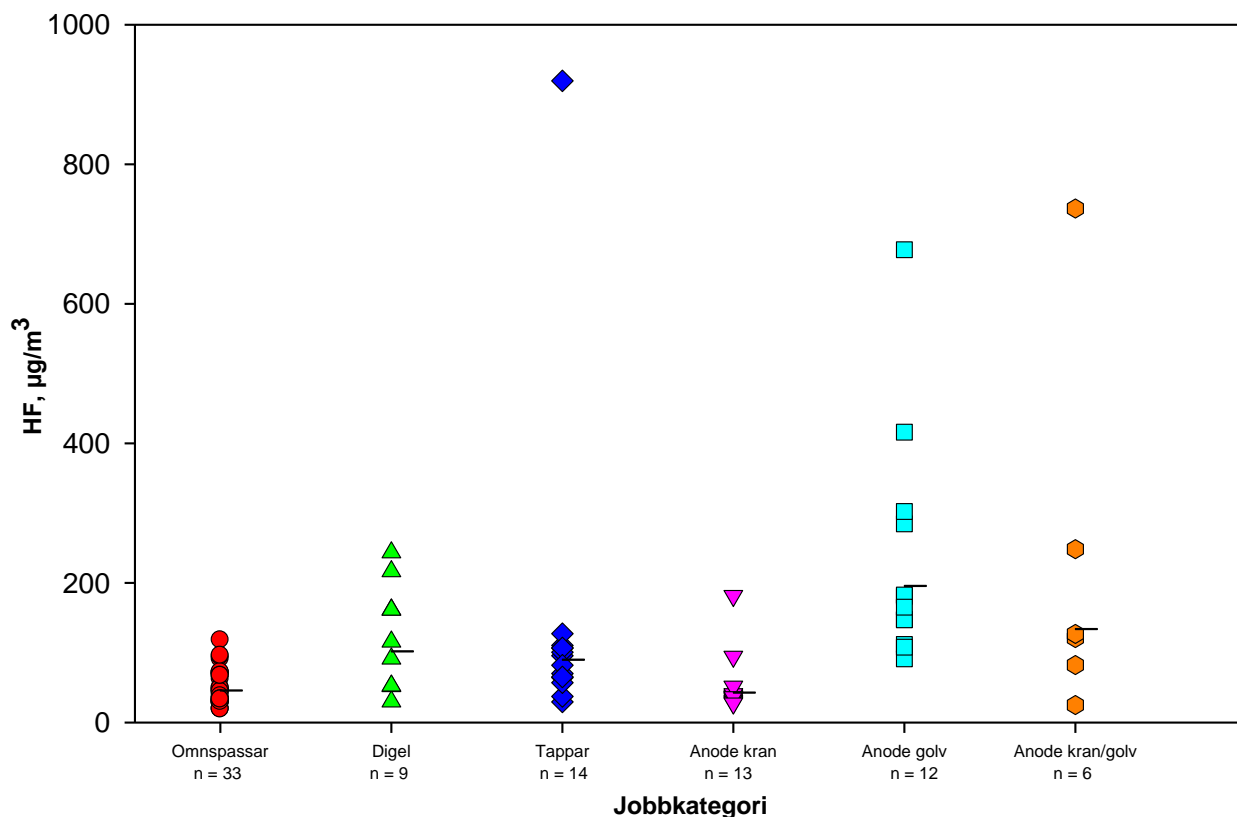
Kor stor del av det partikulære fluoridet som er vassløyseleg er avhengig av kjelda til fluorideksponeringa. Aerosol frå badsmelta inneheld fluorid som ikkje let seg ekstrahere ut i vassfasen, med blir fastsett som lutløyseleg fluorid. I tabell 12.10 viser det at det er ulik mengde vassløyseleg fluorid avhengig av fraksjonane, 56 % for respirabel fraksjon, 50 % for torakal fraksjon og 36 % for inhalerbart fraksjon. Dette tyder på at dess finare aerosolen er, dess større del av det partikulære fluoridet er vassløyseleg.



**Bilete 12.4: Digelrens**

Foto: Helge Nes, EA Mosjøen

## 12.4. Gassar; HF og SO<sub>2</sub>



Figur 12.18: Gassformig fluorid frå HF fordelt på jobbkategori. Talet på prøver er gjeve med bokstaven n og må ikkje forvekslast med talet på personar.

Frå figur 12.18 finn ein at anode golv ( $196 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) er kategorien med høgast gjennomsnittleg eksponering for gassformig fluorid, medan omnspassar ( $46 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) og anode kran ( $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) er lågast. Tappar, anode golv og anode kran/golv har einskilde høge verdiar.

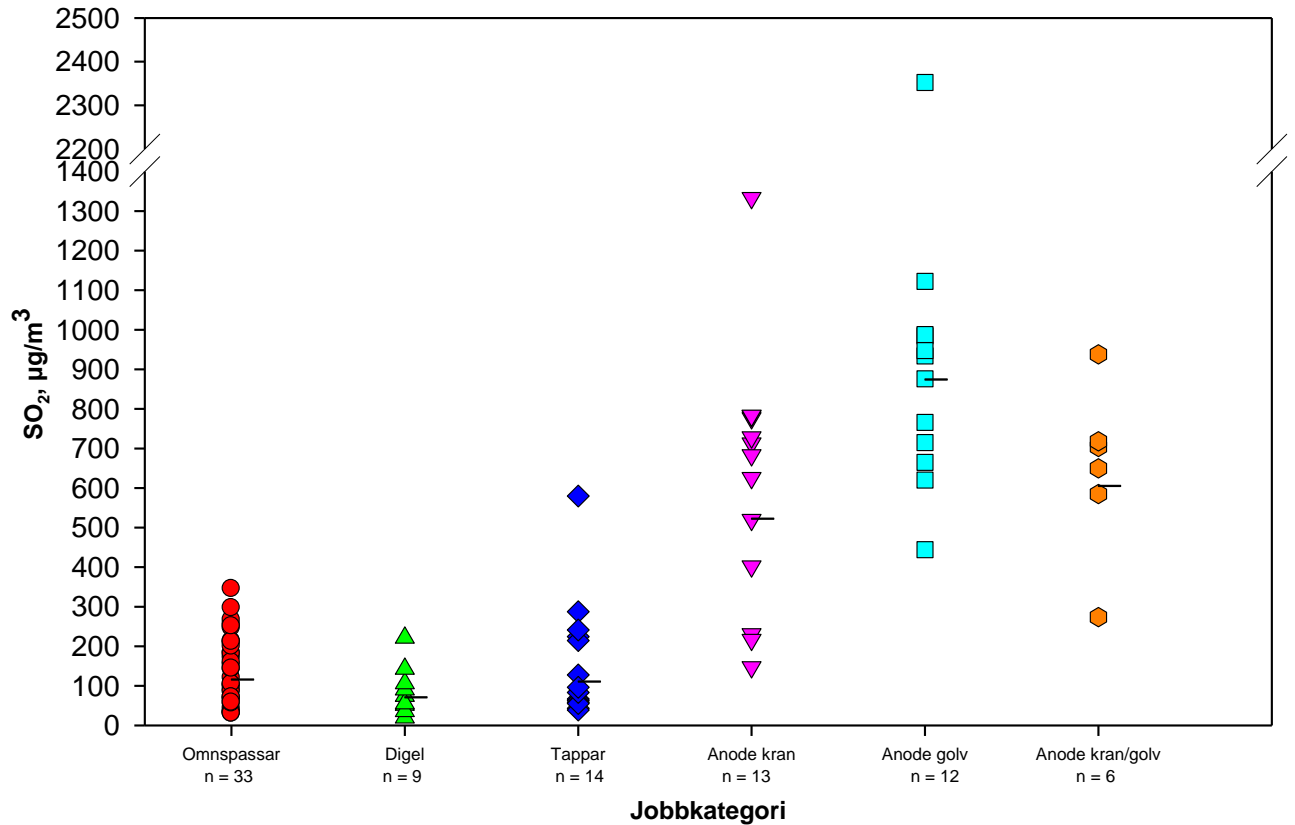
Tabell 12.11: Oversikt over kva jobbkategori der GM var signifikant\* forskjellig for gassformig fluorid (HF).

Komponent	Jobbkategori	Signifikant* forskjellig frå jobbkategori
HF <sub>(gass)</sub>	Omnspassar	Digel, Tappar, Anode golv, Anode kran/golv
	Digel	Omnspassar, Anode kran, Anode golv
	Tappar	Omnspassar, Anode kran, Anode golv
	Anode kran	Digel, Tappar, Anode golv, Anode kran/golv
	Anode golv	Omnspassar, Digel, Tappar, Anode kran
	Anode kran/golv	Omnspassar, Anode kran

HF<sub>(g)</sub> blir danna frå prosessen. Ein kan tenkje seg at eksponeringa er avhengig av opphaldstid ved opne bad. HF<sub>(g)</sub> vil kunne adsorberast på aerosolen i hallatmosfæren og vil bli rapportert som partikulært fluorid. Som ei mogleg årsak til at jobbkategoriene anode golv og anode kran/golv har høgast nivå og størst spreining er opphaldstida nær opne celler. Avhengig av utført arbeid er det svært ulik opphaldstid nær cellene, både mellom ulike personar og mellom dagar for same person.

\*  $p < 0,05$





**Figur 12.19: SO<sub>2</sub> fra filter fordelt på jobbkategori. Talet på prøver er gjeve med bokstaven n og må ikkje forvekslast med talet på personar.**

Kjelda til SO<sub>2</sub>-gasseksponeringa er svovelet i anoden. Svovelinnhaldet i anoden vil kunne variere med råstoffet til anoden og då truleg variere frå batch til batch. Lågast SO<sub>2</sub>-eksponering var målt for omnspassar (116 µg/m<sup>3</sup>), digel (71 µg/m<sup>3</sup>) og tappar (111 µg/m<sup>3</sup>). Høgast eksponering var målt for anode kran (522 µg/m<sup>3</sup>), anode golv (874 µg/m<sup>3</sup>) og anode kran/golv (605 µg/m<sup>3</sup>). Verd å merke seg er at anode kran er av dei høgste kategoriane, dette er arbeid som blir utført frå ventilerte køyretøy med filtrering av luft. Ved arbeid i ventilerte kabinar vart det ikkje nytta vernemasker.

**Tabell 12.12: Oversikt over kva jobbkategori der GM var signifikant\* forskjellige for svoveldioksid (SO<sub>2</sub>).**

Komponent	Jobbkategori	Signifikant* forskjellig frå jobbkategori
SO <sub>2</sub>	Omnspassar	Anode kran, Anode golv, Anode kran/golv
	Digel	Anode kran, Anode golv, Anode kran/golv
	Tappar	Anode kran, Anode golv, Anode kran/golv
	Anode kran	Omnspassar, Digel Tappar
	Anode golv	Omnspassar, Digel Tappar
	Anode kran/golv	Omnspassar, Digel Tappar

SO<sub>2</sub>-nivå er gjennomsnittleg låge i forhold til dagens administrative norm (5 mg/m<sup>3</sup>), men også her er det ei viss spreining innan dei ulike arbeidsoperasjonane. Ingen av målingane er

\*p < 0,05

høgare enn dagens administrative norm. For digel, tappar og omnspassar er ikkje spreinga stor, medan for anodeskiftarkategoriane er spreinga stor og nivået signifikant\* høgare enn dei andre arbeidsoperasjonane.

### 12.4.1. Tidsoppløyste SO<sub>2</sub>-målingar

For å betre kunne forstå SO<sub>2</sub> eksponeringa vart det nytta direktevisande gassensorar for kontinuerleg monitoring av SO<sub>2</sub> konsentrasjonen over arbeidsskifta. Fig. 12.20 og 12.21 viser to typiske variasjonsmålingar for to ulike arbeidsoperasjonar. SO<sub>2</sub> kjem frå sbovelet i kolet som blir nytta. Eksponeringsmønstra for dei ulike arbeidsoperasjonar varierar og er derfor eit viktig verktøy til å identifisere utsette arbeidsfunksjonar.

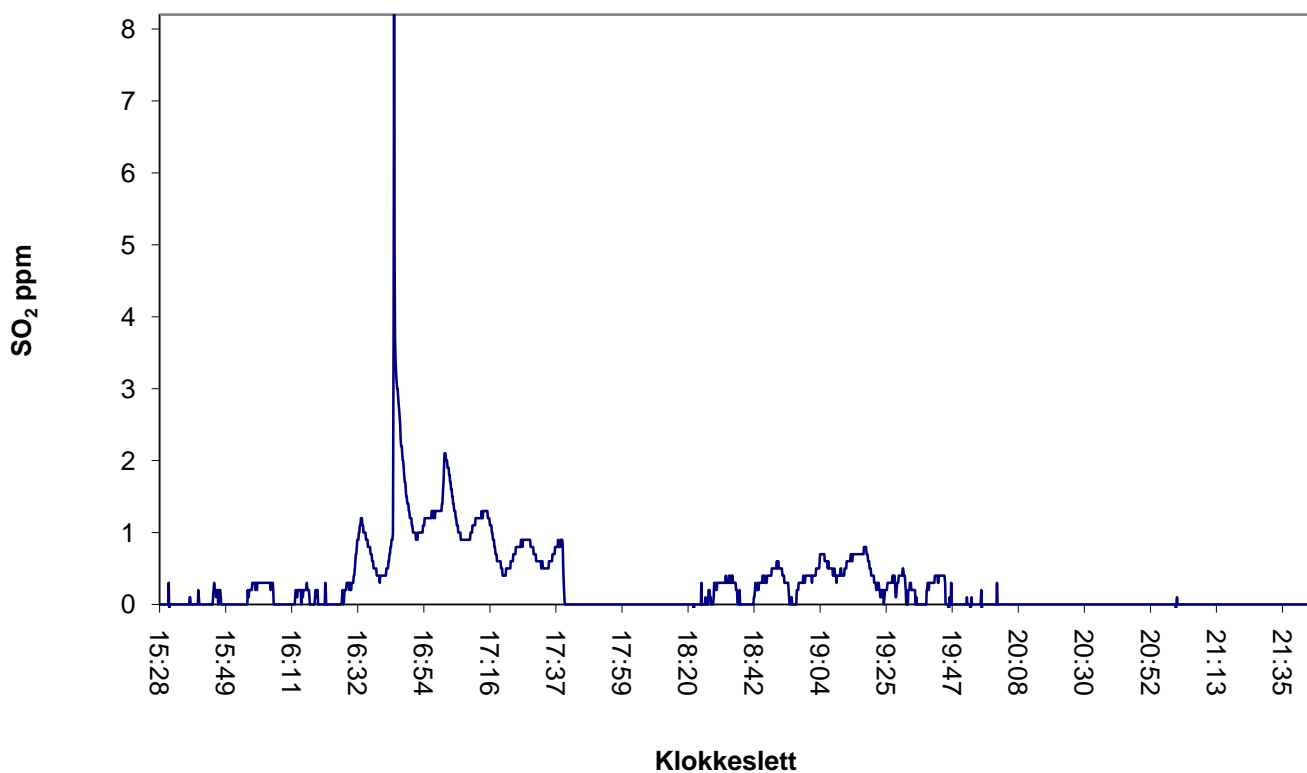
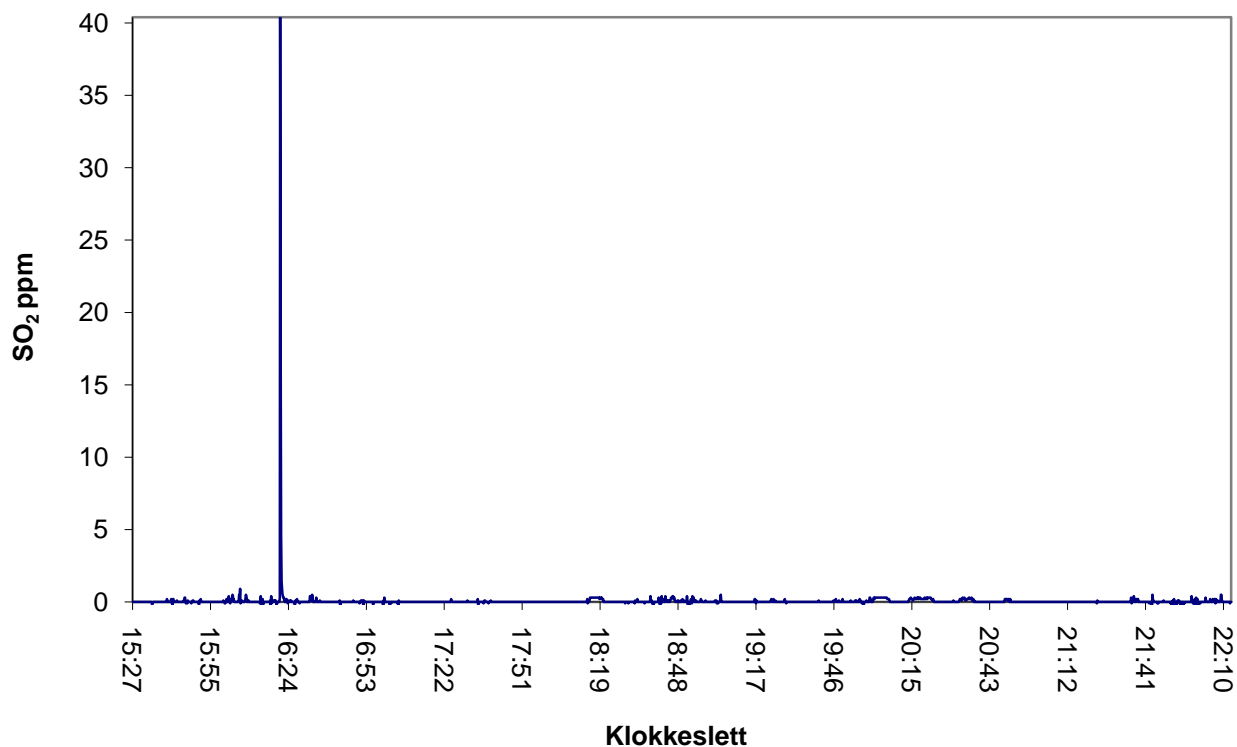
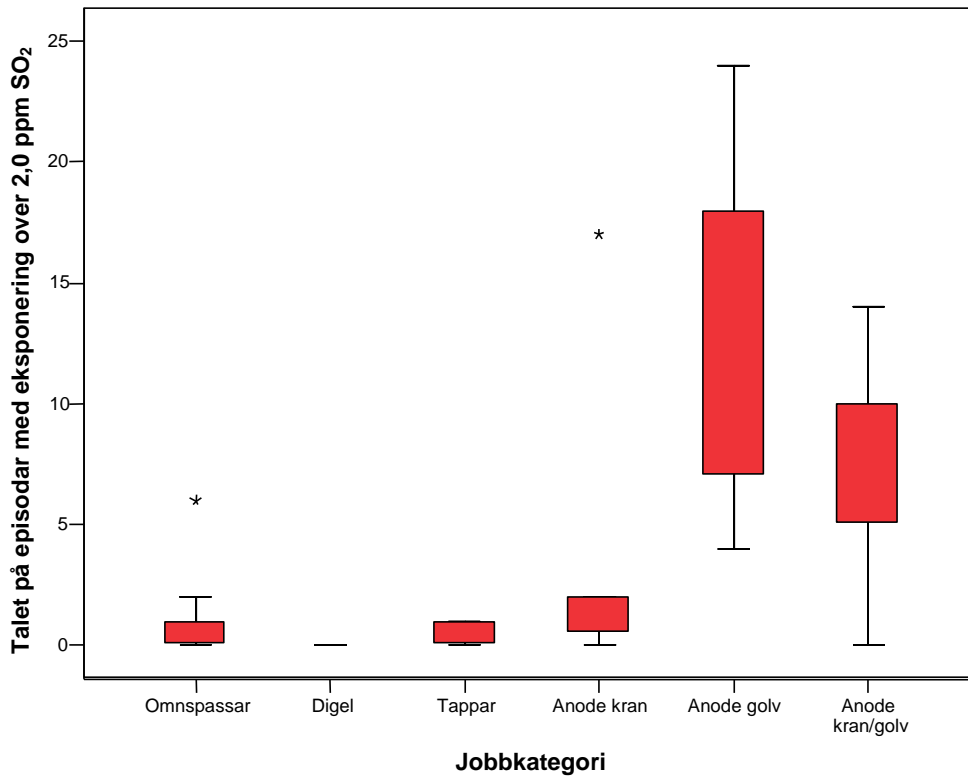


Fig. 12.20: Tidsoppløyst SO<sub>2</sub> signal for anodeskiftar 17.februar 2003.

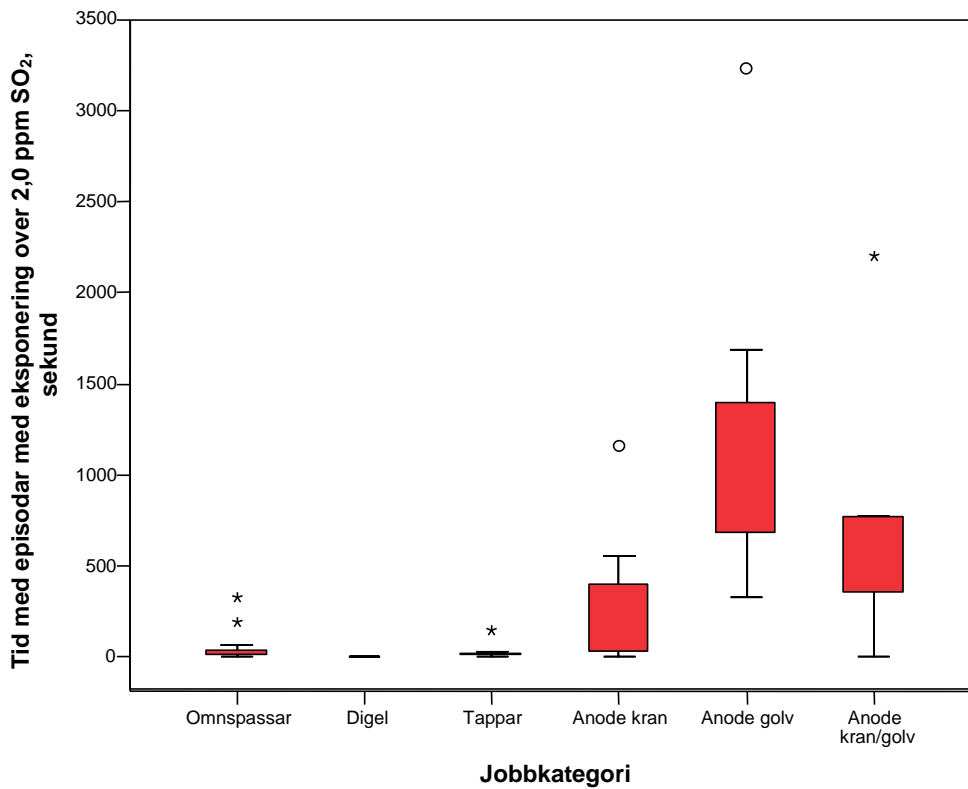


**Fig. 12.21: Tidsoppløyst SO<sub>2</sub> signal for omnspassar 17.februar 2003**

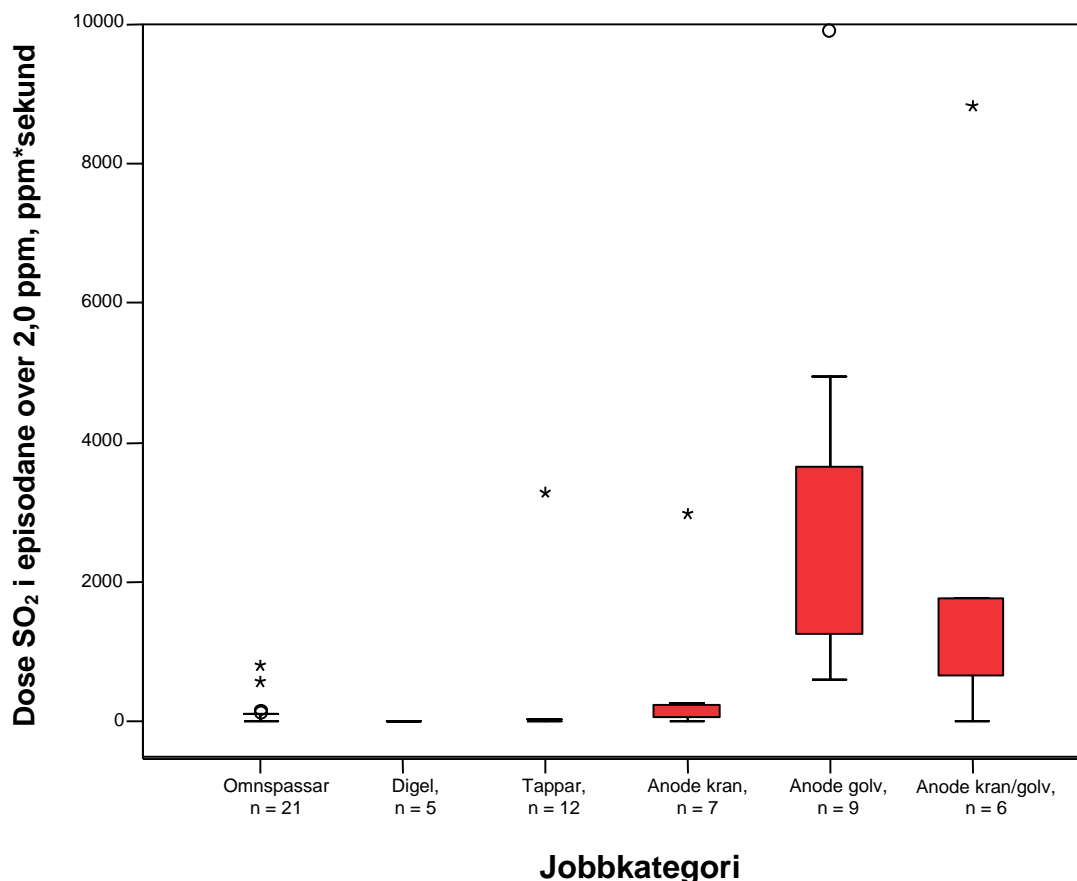
For å kunne vurdere dei tidsoppløyste SO<sub>2</sub> –verdiane vart det nytta ein strategi ved å telje talet på episodar over ein gjeven verdi, kor lenge ein slik episode varer og dosen av SO<sub>2</sub> i kvar episode. Figur 12.22 viser talet på episodar med verdiar over 2,0 ppm SO<sub>2</sub> fordelt på arbeidsoppasjonane. I figur 12.23 viser talet på sekund kor eksponeringa har vore over 2,0 ppm, fordelt på dei ulike arbeidsoperasjonane. I figur 12.24 er det gjeve dosen av desse episodane over 2,0 ppm fordelt på dei ulike arbeidsoperasjonane.



Figur 12.22: Boksplott av talet av eksponeringsepisodar med eksponering over 2,0 ppm SO<sub>2</sub>.



Figur 12.23: Boksplott av talet på sekund med eksponering over 2,0 ppm SO<sub>2</sub>.



**Figur 12.24: Bokplott av dose (ppm \*sekund) for eksponering over 2,0 ppm SO<sub>2</sub>.**

Gass-sensarar med logging er nyttige hjelpemiddel for identifisering av toppeksponering og variasjonen av eksponeringa gjennom eit arbeidsskift. For alle gassloggerane er det rekna tidsoppløyste konsentrasjonsfigurar, gjennomsnittleg konsentrasjon (ppm) og maksimalverdi: tillegg vart toppane over ein gjeven verdi identifisert ved å rekne talet på toppar, kor lenge dei varer (sek) og integrert dose (ppm\*s) som toppane representerer.

**Tabell 12.13: Oppsummering av direktevisande SO<sub>2</sub> eksponeringsmålingar. Eksponeringsverdiar over 0,2 ppm, Aritmetisk middelvei (AM)**

Jobbkategori	Talet på målingar, n	Tal på episodar	Tid over, s	Dose, ppm*s
Omnspassar	21	23	820	434
Digel	5	1,6	24	6,6
Tappar	12	15	486	433
Anode kran	7	25	6086	3409
Anode golv	9	53	5079	7063
Anode kran/golv	6	31	3092	4896
Alle	60	25	2167	2186

**Tabell 12.14: Oppsummering av direktevisande SO<sub>2</sub> eksponeringsmålinger. Eksponeringsverdier over 0,5 ppm, Aritmetisk middelvei (AM)**

Jobbkategori	Talet på målinger, n	Tal på episodar	Tid over, s	Dose, ppm*s
Omnspassar	21	6,6	270	263
Digel	5	0,2	6,0	2,4
Tappar	12	2,9	109	347
Anode kran	7	11	2517	2013
Anode golv	9	32	3176	5768
Anode kran/golv	6	18	1880	4109
Alle	60	11	1075	1673

**Tabell 12.15: Oppsummering av direktevisande SO<sub>2</sub> eksponeringsmålinger. Eksponeringsverdier over 1,5 ppm, Aritmetisk middelvei (AM)**

Jobbkategori	Talet på målinger, n	Tal på episodar	Tid over, s	Dose, ppm*s
Omnspassar	21	1,9	68	118
Digel	5	0	0	0
Tappar	12	0,6	25	293
Anode kran	7	3,4	496	736
Anode golv	9	16	1472	3548
Anode kran/golv	6	8,2	882	2823
Alle	60	4,5	396	1000

**Tabell 12.16: Oppsummering av direktevisande SO<sub>2</sub> eksponeringsmålinger. Eksponeringsverdier over 2,0 ppm, Aritmetisk middelvei (AM)**

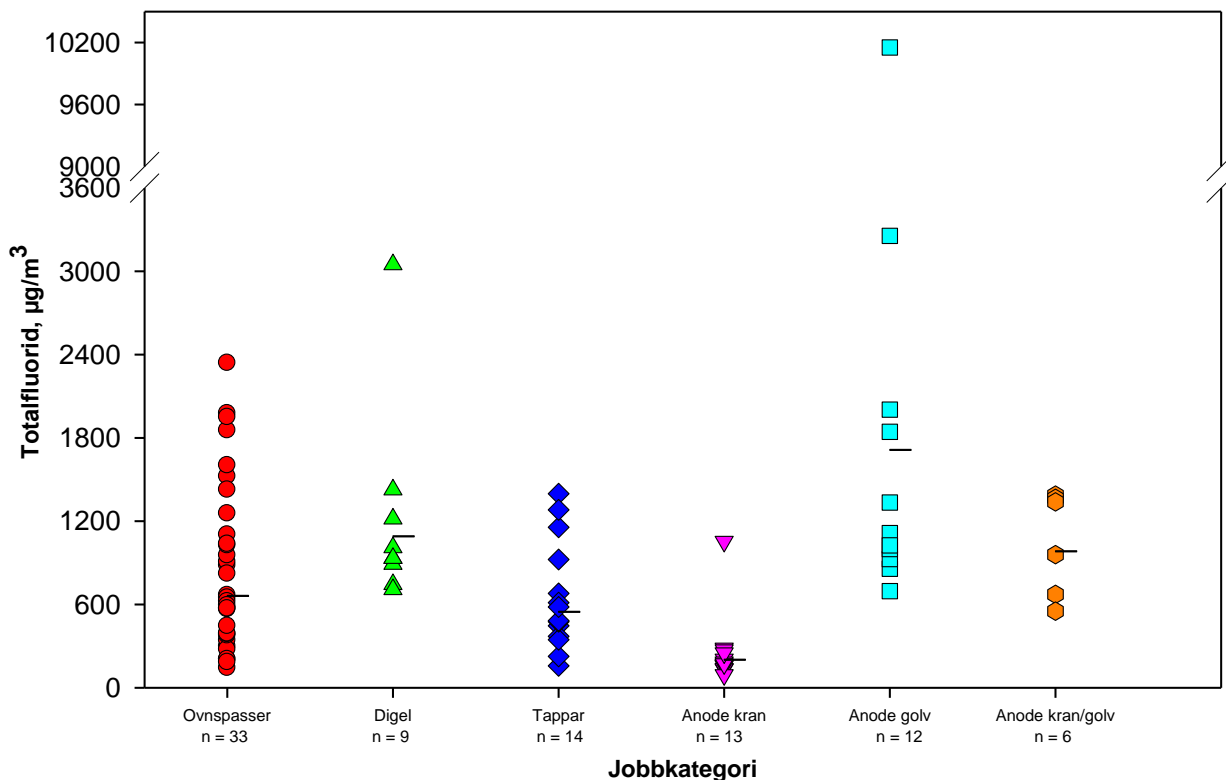
Jobbkategori	Talet på målinger, n	Tal på episodar	Tid over, s	Dose, ppm*s
Omnspassar	21	1,0	39	91
Digel	5	0	0	0
Tappar	12	0,4	19	282
Anode kran	7	3,3	316	522
Anode golv	9	14	1152	2881
Anode kran/golv	6	7,5	770	2404
Alle	60	3,7	304	822

**Tabell 12.17: Oppsummering av direktevisande SO<sub>2</sub> eksponeringsmålinger. Eksponeringsverdier over 5,0 ppm, Aritmetisk middelvei (AM)**

Jobbkategori	Talet på målinger, n	Tal på episodar	Tid over, s	Dose, ppm*s
Omnspassar	21	0,2	5,7	45
Digel	5	0	0	0
Tappar	12	0,2	8,3	246
Anode kran	7	1,1	54	165
Anode golv	9	5,7	318	971
Anode kran/golv	6	3,8	278	929
Alle	60	1,5	86	323

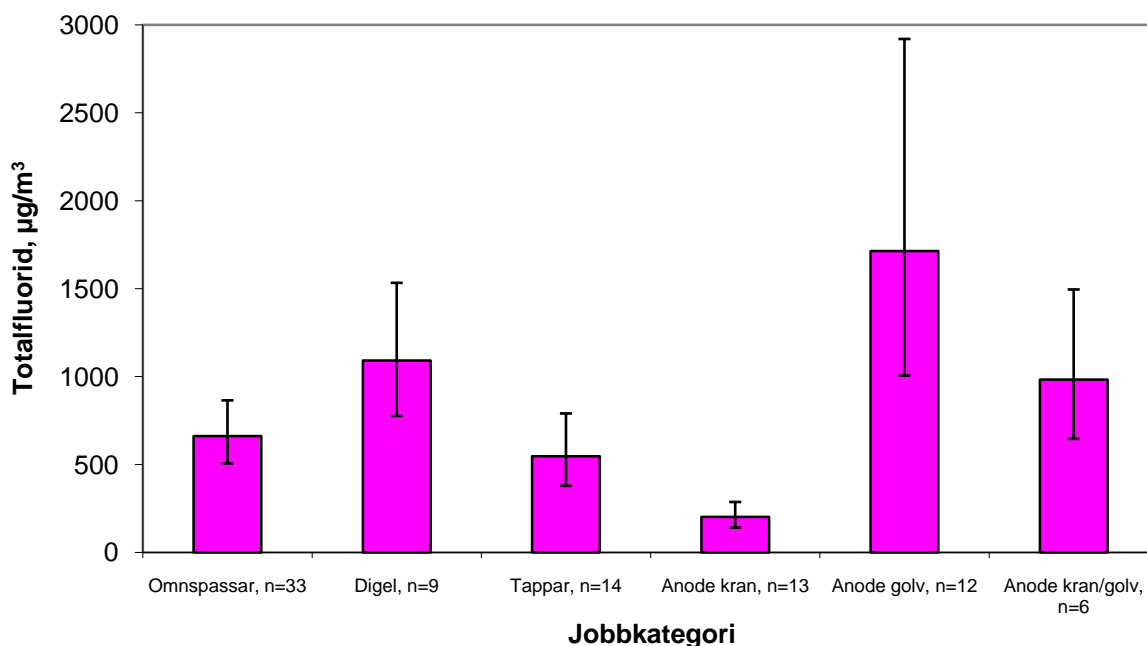
Anode golv har flest tal på episodar med eksponering over 0,2 ppm SO<sub>2</sub>. Det er også den jobbkategorien som har størst dose i toppane. Digel er kategorien med færrest episodar og med lågast dose.

## 12.5. Totalfluorid



**Figur 12.25: Totalfluorid**, som er summen av inhalerbar partikulær aerosolfraksjon frå Respiconprøvetakaren og gassformig fluorid frå HF, fordelt på jobbkategori. Talet på prøver er gjeve med bokstaven n og må ikkje forvekslast med talet på personar.

Av figur 12.25 ser ein at det er store variasjonar i eksponeringa for totalfluorid. Anode golv er den høgast eksponerte kategorien med ein gjennomsnittsverdi (GM) på 1714  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Kategorien med lågast eksponering er anode kran, med eksponering på 202  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Spreiinga er størst for anode golv, med ein skilde svært høge verdiar.



**Figur 12.26: Geometrisk middelverdi, GM med 95 % konfidensintervall for totalfluorid (gassformig og partikulært fluorid)**

**Tabell 12.18: Oversikt over kva jobbkategori der GM var signifikant\* forskjellige for totalfluorid.**

Komponent	Jobbkategori	Signifikant* forskjellig frå jobbkategori
Totalfluorid	Omnspassar	Anode kran, Anode golv
	Digel	Tappar, Anode kran
	Tappar	Digel, Anode kran, Anode golv
	Anode kran	Omnspassar, Digel, Tappar, Anode golv, Anode kran/golv
	Anode golv	Omnspassar, Tappar, Anode kran
	Anode kran/golv	Anode kran

Anode kran er signifikant lågare enn dei andre jobbkategoriene.

**Tabell: 12.19: Prosentdel HF av totalfluorid.**

Jobbkategori	n	GM	95 % Konfidensintervall		Minimum	Maksimum
			Nedre	Øvre		
Omnspassar	33	6,9	5,5	8,7	2,1	19
Digel	9	9,4	5,4	16	3,2	18
Tappar	14	16	12	22	8,3	66
Anode kran	13	21	17	27	11	46
Anode golv	12	11	6,8	19	1,4	37
Anode kran/golv	6	14	5,7	32	4,5	54
Alle	87	11	9,2	13	1,4	66

Gjennomsnittleg er 11 % av totalfluoridet HF. Prosentdelen varierer mellom dei ulike jobbkategoriene. Størst del HF vart funne hos jobbkategorien anode kran (21 %) og lågast for omnspassarar (6,9 %). Dette medfører at mellom 79 % og 93 % av den totale fluorideksponeringa er partikulær.

Ein direktevisande HF-sensor vart testa i 2003. Denne viste seg ikkje å ha god nok oppløysning og respons til at ein kan nytte den for dei konsentrasjonsområda som ein har i denne industrien.

Det var ein teoretisk sjanse for å danne NO<sub>2</sub> i elektrolyseprosessen. Prosjektet nytta derfor direktevisande NO<sub>2</sub>-sensorar for eventuelt å kunne måle denne eksponeringa. Vi fann ikkje verdiar over den nedste fastsetjingsgrensa for utstyret. Der er såleis ingen verdiar å rapportere eller diskutere. Ein kan slå fast at NO<sub>2</sub> eksponering ikkje var mogeleg å fastsetje for dei arbeidsoperasjonane som vart undersøkt i dette prosjektet.

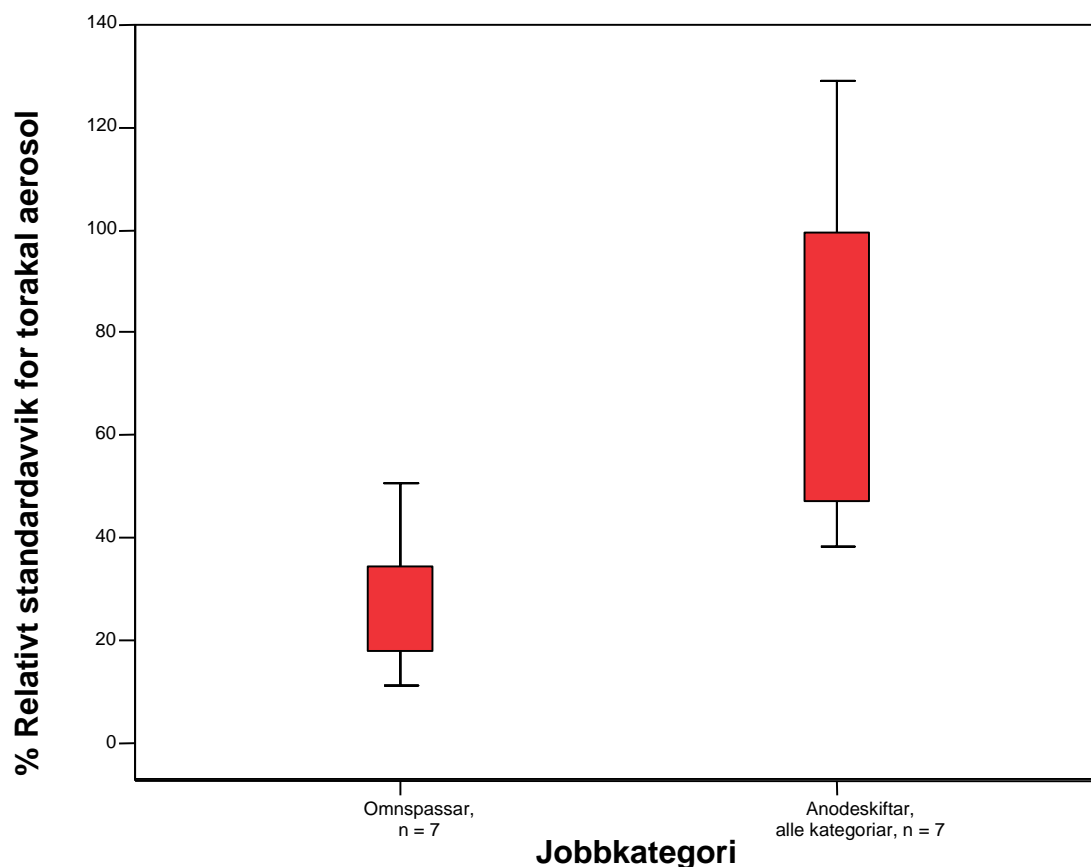
## 12.6. Personvariasjon

Fleire av resultatata kommer frå målingar på same person over fleire dagar. Ein ynskte å sjå på dag til dag variasjonen for kvar person som funksjon av arbeidsoppgåver. Det vart valt ut dei personane som ein hadde 3 eller fleire målingar på. Ved å sjå på det relative standardavviket mellom målingane for same person, kan ein estimere kor stor speiing i resultat ein kan forvente når ein tek eksponeringsmålingar på ein tilfeldig dag. For omnspassarar hadde ein 7 personar med 3 eller fleire målingar på og for anodeskiftarar 7 personar. For digel og tappar var der for få personar med målingar på i 3 dagar, og det er

\* p<0,05



difor ikkje tatt med personvariasjonen for desse. I fig. 12.27 er det gjeve dag til dag variasjonen for dei tre ulike arbeidsoperasjonane.



Figur 12.27: Dag til dag variasjon for dei same personane.

### 13. Referansar

Helmut Hund GmbH, Dust Sampling Instrument – Respicon – *Technical Description and Instruction Manual*, Version: 3.0, December 2000, <http://hund.de>.

Hurlbut CS and Klein C, *Manual of Mineralogy 19th edition*: John Wiley & Sons. NY, USA, 1971.

Nieboer E, Thomassen Y, Chashchin V, and Odland JO, Occupational exposure assessment of metals, *J of Environ Monit.* 2005; 7: 412-415.

Koch W, Dunkhorst W, Lödding H, Thomassen Y, Skaugset NP, Nikanov A, Vincent J, Evaluation of the Respicon® as a personal sampler in industrial environments, *J of Environ Monit.*, 2002; 4: 657-662.

Koch W, Dunkhorst W, Thomassen Y, Skaugset NP, Ellingsen DG, Jordbekken L og Drabløs PA, HAPPA — Delrapport nr 1: Karakterisering av eksponering for ultrafine partikler i elektrolysehaller ved produksjon av primæraluminium, *STAMI-rapport 2003/6*.

Li S-N, Lundgren DA, Rovell-Rixx, D, Evaluation of six inhalable aerosol samplers, *Am Ind Hyg Assoc J.* 2000; 61: 506-516.

Mark D and Vincent JH, A new personal sampler for airborne total dust in workplaces. *Ann of Occup Hyg.* 1986; 30: 89-102.

Miller JC and Miller JN, *Statistics for Analytical Chemistry*. British Library Cataloguing in Publishing Data. 1993.

Morris JB, Smith FA, Regional deposition and absorption of inhaled hydrogen fluoride in the rat. *Toxicol Appl Pharmacol.* 1982; 62: 81-89.

Norseth, T., *STAMI, Kriteriedokument for svoveldioksid*, 2002.

NS-EN 481 Arbeidsplassluft – Definisjoner av partikkelstørrelse for måling av luftbårne partikler.

Skaugset NP, Thomassen Y, Ellingsen DG, Jordbekken L og Notø H, HAPPA – Delrapport nr. 2: Effektivitet av vernemasker ved bruk, *STAMI-rapport 2004/3*.

Tsai PJ Vincent J, Wahl G, Maldonado G, Occupational exposure to inhalable and total aerosol in the primary nickel production industry. *Occu Environ Med.* 1995; 52: 793-799.

Vincent JH, *Aerosol Science for Industrial Hygienists*, 1995, Pergamon, Oxford, UK.

Vincent JH Progress towards implementation of new aerosol industrial hygiene standards, with special reference to the aluminium industry. *Sci Tot Environ.* 1995; 163: 3-9.

Vincent, J.H, *Aerosol Sampling, Science, Standards, Instrumentation and Applications*, 2007, Wiley & Sons, West Sussex, UK.

Werner MA, Spear TM and Vincent JH, Investigation into the impact of introducing workplace aerosol standards based on the inhalable fraction, *Analyst*, 1996; 121: 1207-1214.

Whitford GM, The physiological and toxicological characteristics of fluoride. *J Dent Res.* 1990; 69: 539-549.

World Health Organization (WHO). *Environmental Health Criteria 188*. Nitrogen oxides (second edition), WHO, Geneva, Switzerland, 1997.

World Health Organization (WHO). *Environmental Health Criteria 227*. Fluorides. WHO, Geneva, Switzerland, 2002.

## 14. Appendiks

### 14.1. Resultat frå EAM februar 2003

Komponent	Jobbkategori	n	AM	GM	95 % Konfidensintervall	
					Nedre	Øvre
Inhalerbar aerosol, IOM, mg/m <sup>3</sup>	Omnspassar	33	4,4	3,5	2,7	4,5
	Digel	8	5,1	5,0	4,1	6,0
	Tappar	14	11	3,6	2,0	6,7
	Anode kran	13	1,3	1,0	0,66	1,6
	Anode golv	12	6,1	5,5	4,0	7,5
	Anode kran/golv	6	5,1	4,7	2,8	7,9
	Total	86	5,4	3,3	2,7	3,9
Vassløyseleg inhalerbart fluorid, IOM, µg/m <sup>3</sup>	Omnspassar	33	280	236	186	298
	Digel	9	443	353	167	745
	Tappar	14	273	258	210	316
	Anode kran	13	108	88	60	129
	Anode golv	12	377	298	171	519
	Anode kran/golv	6	399	385	275	538
	Total	87	292	230	194	272
Respirabel aerosol, Respicon, mg/m <sup>3</sup>	Omnspassar	37	0,35	0,32	0,28	0,37
	Digel	10	0,58	0,50	0,32	0,76
	Tappar	16	0,45	0,35	0,23	0,54
	Anode kran	13	0,22	0,21	0,16	0,27
	Anode golv	16	0,85	0,77	0,60	0,98
	Anode kran/golv	8	0,60	0,55	0,39	0,80
	Total	100	0,47	0,39	0,34	0,44
Torakal aerosol, Respicon, mg/m <sup>3</sup>	Omnspassar	37	0,87	0,78	0,67	0,91
	Digel	10	1,5	1,3	0,98	1,9
	Tappar	16	1,0	0,86	0,61	1,2
	Anode kran	13	0,37	0,33	0,25	0,45
	Anode golv	16	2,5	2,0	1,4	2,7
	Anode kran/golv	8	1,3	1,2	0,83	1,7
	Total	100	1,2	0,90	0,78	1,0
Inhalerbar aerosol, Respicon, mg/m <sup>3</sup>	Omnspassar	37	4,4	3,4	2,6	4,4
	Digel	10	4,4	4,2	3,4	5,2
	Tappar	16	3,6	2,9	2,1	4,2
	Anode kran	13	1,2	1,0	0,71	1,5
	Anode golv	16	11	8,3	5,6	12
	Anode kran/golv	8	5,2	5,0	3,8	6,4
	Total	100	5,0	3,5	2,9	4,1
Respirabelt vassløyseleg fluorid, µg/m <sup>3</sup>	Omnspassar	37	27	24	21	29
	Digel	10	115	92	54	156
	Tappar	16	60	48	33	69
	Anode kran	13	27	21	14	31
	Anode golv	16	112	99	75	130
	Anode kran/golv	8	79	70	45	109
	Total	100	59	41	35	49
Torakalt vassløyseleg fluorid, µg/m <sup>3</sup>	Omnspassar	37	71	69	54	88
	Digel	10	235	142	79	253
	Tappar	16	120	67	45	102
	Anode kran	13	38	28	21	39
	Anode golv	16	229	215	138	337
	Anode kran/golv	8	139	132	85	205
	Total	100	122	83	69	100

Komponent	Jobbkategori	n	AM	GM	95 % Konfidensintervall	
					Nedre	Øvre
Inhalerbart vassløseleg fluorid, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Omnspassar	37	218	186	152	227
	Digel	10	458	445	372	532
	Tappar	16	245	210	153	290
	Anode kran	13	83	67	45	99
	Anode golv	16	485	424	324	555
	Anode kran/golv	8	302	293	238	361
	Total	100	278	214	184	250
Respirabelt partikulært fluorid, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Omnspassar	37	53	46	39	56
	Digel	10	185	142	80	251
	Tappar	16	94	76	54	108
	Anode kran	13	48	40	28	57
	Anode golv	16	199	175	131	234
	Anode kran/golv	8	144	129	82	201
	Total	100	103	74	63	87
Torakalt partikulært fluorid, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Omnspassar	37	159	132	107	163
	Digel	10	426	364	237	557
	Tappar	16	207	168	117	242
	Anode kran	13	71	62	45	85
	Anode golv	16	554	423	293	610
	Anode kran/golv	8	289	261	177	384
	Total	100	256	175	148	208
Inhalerbart partikulært fluorid, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Omnspassar	37	772	587	453	761
	Digel	10	1126	1009	731	1393
	Tappar	16	578	480	339	679
	Anode kran	13	202	157	107	231
	Anode golv	16	2057	1395	914	2129
	Anode kran/golv	8	913	868	651	1158
	Total	100	919	599	499	720
HF, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Omnspassar	33	51	46	38	54
	Digel	9	125	102	59	178
	Tappar	14	141	90	57	142
	Anode kran	13	51	43	31	59
	Anode golv	12	235	196	134	286
	Anode kran/golv	6	223	134	41	437
	Total	87	110	72	60	86
Totalfluorid, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Omnspassar	33	853	662	506	865
	Digel	9	1213	1091	776	1533
	Tappar	14	653	547	379	791
	Anode kran	13	251	202	142	287
	Anode golv	12	2536	1714	1006	2920
	Anode kran/golv	6	1046	983	646	1496
	Total	87	1013	663	547	805
SO <sub>2</sub> , $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Omnspassar	33	143	116	90	149
	Digel	9	89	71	41	125
	Tappar	14	156	111	69	179
	Anode kran	13	611	522	357	765
	Anode golv	12	951	874	677	1130
	Anode kran/golv	6	645	605	390	941
	Total	87	356	203	160	257