



Foto: Karina Isaksen, SØRAL

Eksponeringskartlegging ved norske aluminiumverk

Delrapport for Sør-Norge Aluminium

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 Sør-Norge aluminium (SØRAL)	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	17
9.2.1. Vassløyseleg fluorid	17
9.2.2. Lutløyseleg fluorid	17
9.2.3. Partikulært fluorid	17
9.2.4. Fluorid i gassform (HF) og SO ₂	17
9.2.5. Totalfluorid	18

10.	Instrumentering.....	18
11.	Kvalitetssikring.....	18
12.	Resultat og diskusjon	18
12.1.	Aerosol	20
12.1.1.	Direktevisande utstyr for aerosolmålingar	26
12.2.	Resultat vassløseleg fluorid.....	29
12.3.	Resultat partikulært fluorid.....	34
12.4.	Gassar, HF og SO ₂	39
12.4.1.	Tidsoppløyste SO ₂ -målingar	41
12.5.	Totalfluorid.....	47
12.6.	Personvariasjon.....	49
13.	Referansar.....	51
14.	Appendiks.....	53

1. Samandrag

Ved aluminiumsmelteverket på Karmøy er det føretatt arbeidsmiljømålingar som inngår i prosjektet "Hallastma i produksjon av primæraluminium (HAPPA). Målingane vart utført i perioden 10. –15. mars 2003. Eksponeringsnivåa for aerosol og gassar vart undersøkt med forskjellig utstyr og for dei mest aktuelle jobbkategoriene.

I alle Respiconprøvene vart både vassløyeseleg og partikulært fluorid fastsett.

Prosjektet nytta prøvetakingsutstyr som fylgjer dei internasjonalt aksepterte kriteria for helserelaterede aerosolfraksjonar. Totalt ved Sør-Norge Aluminium AS (SØRAL) vart det tatt eksponeringsprøver av 49 personar. I den grad det var praktisk mogeleg vart det tatt fleire eksponeringsprøver av same person. Av dette har ein 90 eksponeringsprøver tatt med IOM kassett, 100 eksponeringsprøver tatt med Respicon, 90 prøver av eksponeringa for HF og SO₂, 10 eksponeringsprøver med torakal sykklon og 7 eksponeringsprøver med respirabel sykklon. I tillegg vart det nytta ekstraksjonsmetodar 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 jobbkategoriene. 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 køyretøy.

Resultata kan ikkje direkte samanliknast med gjeldande administrativ norm då denne baserer 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 køyretøy er den lågast eksponerte kategorien for alle dei målte komponentane utanom svoveldioksid (SO₂). Den høgast eksponerte kategorien var anodeskiftar golv.

Gjennomsnittleg er 37 % av den inhalerbare aerosolen torakal og 16 % respirabel. Av det inhalerbare vassløselege fluoridet er 50 % torakalt og 26 % respirabelt. For partikulært fluorid er 44 % torakalt og 21 % respirabelt.

Prosentdelen vassløseleg fluorid av partikulært fluorid varierar i gjennomsnitt frå 52 % til 63 % avhengig av partikkelstorleik.

Av alle komponentane som ein har føretatt eksponeringsmålingar på er det totalfluorid (summen av HF og partikulært fluorid) og partikulært fluorid som skil deg ut med fleire høge verdiar, spesielt for jobbkategorien omnspassar.

Gjennomsnittleg eksponering for svoveldioksid (SO₂) var 89 µg/m³, men tidsoppløyte målingar viser at nesten all eksponering er kortvarig og i mange tilfeller høg. Spesielt for anode køyretøy verkar gjennomsnittet noko høgt og spreinga stor i forhold til dei andre jobbkategoriane.

Der er relativ stor spreining i eksponeringa innanfor ein jobbkategori, noko som kan tyde på at ein skilde arbeidsoperasjonar gjev høg eksponering. Personvariasjonen viser at det kan vere stor variasjon frå deg til dag for same person, 22 % - 75 %.

Direktevisane måleutstyr har vist at store delar av eksponeringa kan skuldast kortvarige episodar knytt til konkrete arbeidsoperasjonar med høg eksponering. Ein framtidig strategi må vere å redusere talet på episodar og aerosolmengda i episodane.

3. Bakgrunn for prosjektet

Eksponeringsundersøkingane ved SØRAL er deler av et større prosjekt; HAPPA (Hall Astma i Primær Produksjon av Aluminium) som har pågått 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). 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 SO₂ målast (moniterast) parallelt med aerosoleksponering. Intensiteten av SO₂ vert fastsett med berbare gass-sensorar
 - 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 fastsette 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- μm 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".

PM₁₀ - 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 PM₁₀ -målingar er konstruert slik at de utelèt de fleste partiklar over $10\ \mu\text{m}$. Dette gjer at kurvene for PM₁₀ 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 $100 \mu\text{m}$.

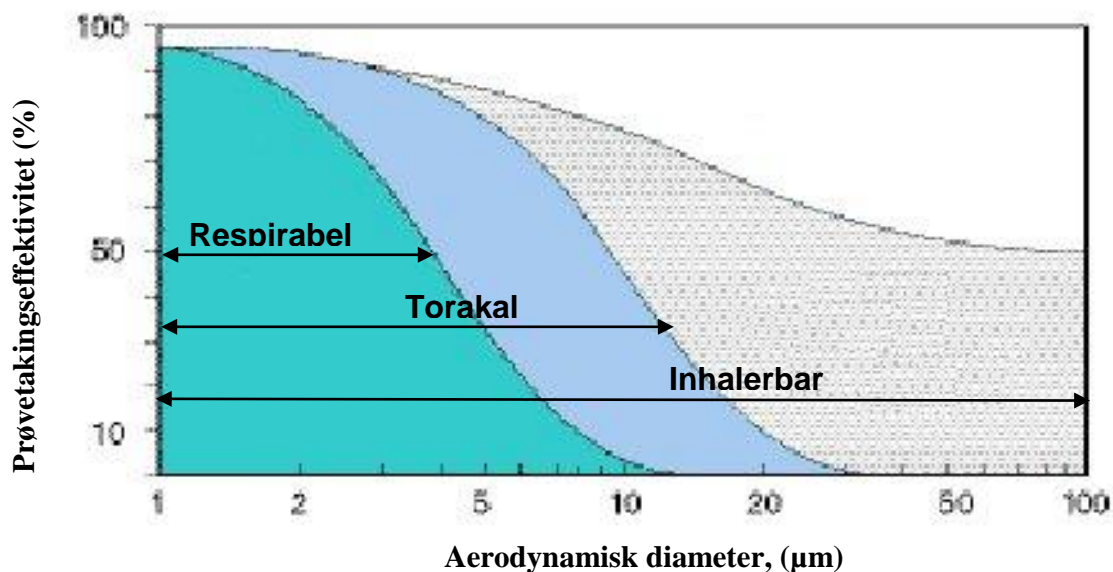
Denne fraksjonen er viktig for helseeffektar i alle stadar av respirasjonssystemet, som t.d. ved rhinitis, kreft i nase og lunge og andre luftvegslidingar.

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.



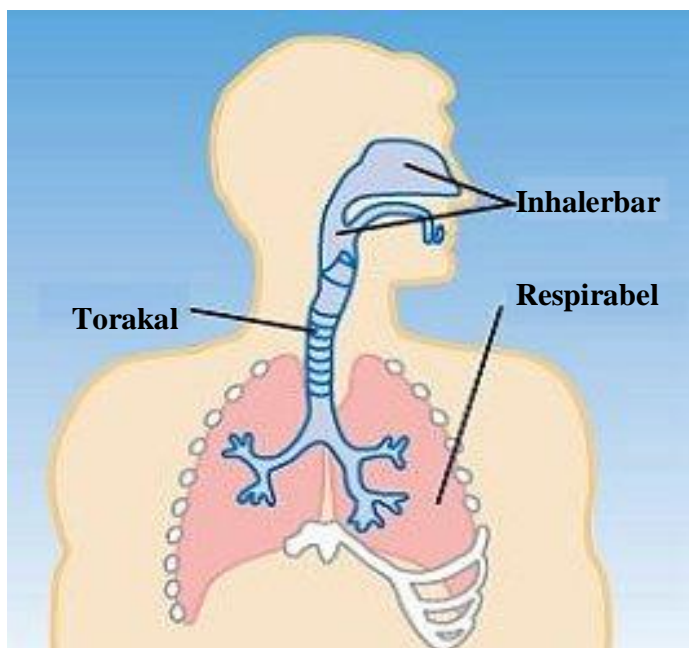
Figur 5.1: Kurver som viser respirabel og torakal aerosolfraksjon som funksjon av aerodynamiske diameter, og som underfraksjon av inhalerbar fraksjon, NS-EN 481.

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 helserelevante regionane av luftvegsystemet.

Med utgangspunkt i desse kriteria tilrår 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 helserelevante 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 kvadratrotta av variansen og fortel noko om kor mykje 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 ein brukar logaritmen til måleresultata. Tar man antilog av den logaritmiserte middelværdien får ein geometrisk middelværdi. Denne verdien er den som best representerar målingane i HAPPA fordi dei ikkje er normalfordelte.

6. Om Sør-Norge aluminium (SØRAL)

Tabell 5.1: Teknologioversikt for (SØRAL)

Emne:		
Teknologi:	Prebake	
Oksid:	Sekundær (Alu-Norte, Surinam)	Primær Har finstoff utskilar Alt oksid går gjennom denne Tek ut ca. 60 % ÷ 45 fraksjon ca. 70 % ÷ 21 fraksjon

Arbeidsoperasjonane som det vart tatt arbeidsmiljømålingar av var: Omnspassar, Tappar, Digel, Anode køyretøy og Anode golv.

Tabell 6.2: Jobbkategoriene som det vart tatt arbeidsmiljømålingar på var:

Jobbkategori	Arbeid utført
Digel	Digelrens, fresing av digler, reingjort på bend, røyrboring, kosting, reingjering
Omnspassar	Målerunde, måling av strømfordeling, prøvetaking av metall og bad, temperaturmåling, måling av badnivå, målt anodar, sjekking av kol, slo opp tappehull, slår matehull, støyomner, klargjøring av baddigel, badtapping, fylgt opp badomnar, passe bluss, bluss manuelt med staur, blusstaking, tilsatt AlF_3 , støy etter anodeveksling, kontroll av oksidstrukle, oppå noen omnar, anodemaskin tatt ut anodar, grabb, kontrollrunde reinseanlegget, kontroll startomn, strømreduksjon over ein omn, slagging av digler, kjøling av omn frå kjellaren, skjering mellom anodar før skift, varmbadknusar, vakt for B-hall, fjernet skjønt i kjeller, helt bad i omn utan bad, oksidlekkasje, tappe laud til startomn, tømme kasse med badklumpar/kaldknusar, soping, vedlikehald av kjøretøy, drivstoffylling, skifte av turbo, reingjøring av elektrobil, reingjort parkeringsplass
Anode køyretøy	Anodeskift køyretøy, merking av anodar, vasking av køyretøy, grabbing, støvsuging frå køyretøy, målerunde, meisling, tanking, lett køyretøy vedlikehald, noko golvarbeid, fjerning av anoderestar, skjering av anoden
Anode golv	Køyrt sett (ope køyretøy), reingjering, servicemann, golvarbeid, anodeskift golv
Tappar	Tapping, observasjon, snuing av digler, skifting av stuss/bend, skifte pakning, inn og ut av kjøretøy, raking, klargjøring av kjøretøy, dieselnylling, forbetring av kjøretøy

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 SO₂ prøver på filter

100 HF prøver på filter

60 SO₂ prøver med tidsoppløyst signal med dataloggar

30 NO₂ 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 inhalerbar aerosol (Mark og Vincent, 1986). Den nyttar 25 mm filter og skal ha ein luftgjennomstrømmingsfart på 2 L/min. Testing i vindtunnel og i felt har vist at den fylgjer kurva for inhalerbar 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 at den måler berre den inhalerbare aerosolfraksjonen.

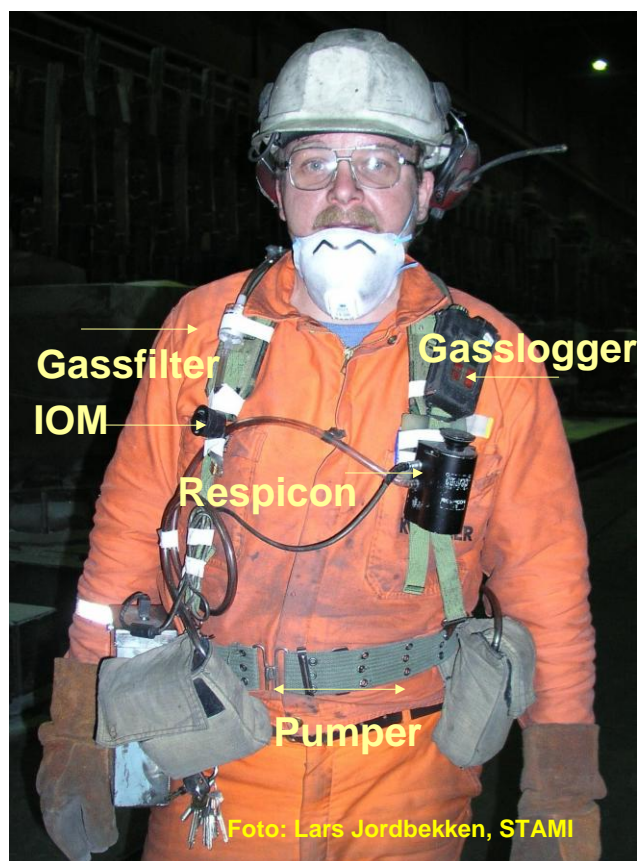


Foto: Lars Jordbekken, STAMI

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 helserelevante 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.

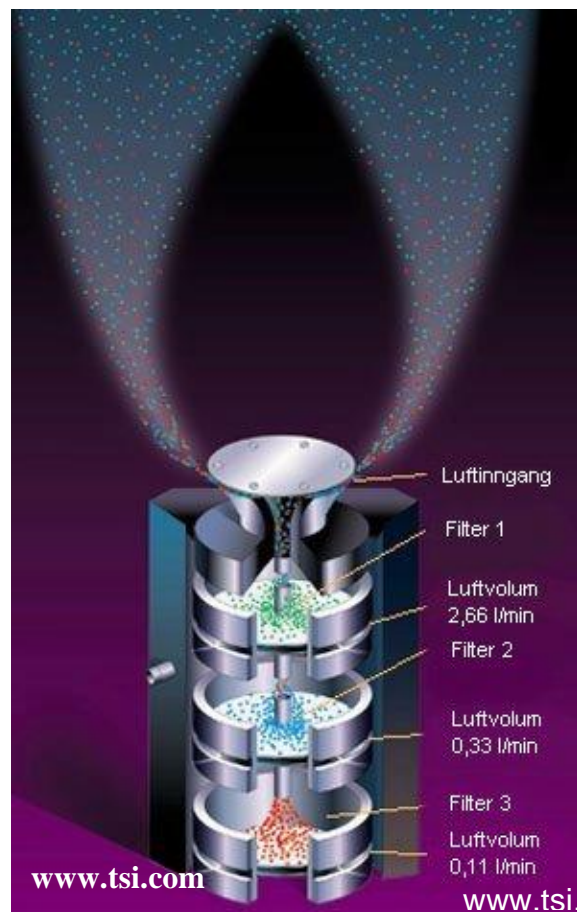


Fig. 7.2: Respiconprøvetakar

7.2.3. Respirabel og torakal sykklon

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 sykklonar vart nytta. Den eine er konstruert for respirabel aerosolfraksjon (SKC, UK) med et filter på 25 mm og ein luftgjennomstrømningsfart på 2,2 L/min. Den andre er konstruert for torakal aerosolfraksjon (BGI, USA) har et filter på 37 mm og luftgjennomstrømningsfart 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 sykklon med eiga pumpe. Resultata frå sykklonane 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/m³ 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 infrarøde strålen treff aerosolen, vil dette føre til lysspreiing. Saman med den gravimetriske analysen får ein aerosolkonsentrasjon i mg/m³. Luftstraumen gjennom prøvetakaren skal vere 2,0 L/min.

I den direktevisende respiconprøvetakaren er det tre fotodetektorar for fastsetjing av aerosol. Saman med gravimetrisk fastsetjing får ein gjort om detektorsignalet til partikulære konsentrasjonar i mg/m^3 . Måleområdet for impaktoren er opp til 200 mg/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.

7.3. Gassprøvetakarar

7.3.1. Gassensorar

Direktevisande gassensorar er nyttige hjelpemiddel til å sjå på toppeksponeering for 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.

NO_2 kunne ein tenkje seg blir danna ved bluss, og det vart derfor teke NO_2 -prøver parallelt med SO_2 .

Direktevisande gassmålingar av SO_2 og 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. 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 prøvetakings-utstyr	Helserelaterte aerosolfraksjonar (jf. Fig. 5.1)/gass					Gassar		
	Respirabel	Trakeo-bronkial	Ekstratorakal	Torakal	Inhalerbar	NO ₂	SO ₂	HF
IOM	-	-	-	-	X	-	-	-
Respicon®	X	X	X	X [#]	X [#]	-	-	-
Syklon	X [*]	-	-	X [*]	-	-	-	-
Millipore kassett med impregnerte støtteplater	-	-	-	-	-	-	X	X
Direktevisande gass sensorar,	-	-	-	-	-	X	X	X
- Dräger	-	-	-	-	-	X	X	-
- Neotox	-	-	-	-	-	-	-	-
- Gasman II	-	-	-	-	-	-	-	X [†]

[#] Vert utrekna frå dei andre fraksjonane

^{*} Anten respirabel eller torakal fraksjon

[†] 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 jobbkategoriene som var blitt utført. Innhaldet i dei ulike jobbkategoriene er definert i tabell 6.2.

Tabell 8.1: Oversikt over prøver tatt ved SØRAL

Jobbkategori	Respicon	IOM	Torakal sykklon	Respirabel sykklon	Gassar (HF/SO ₂)	Sensor (SO ₂)
Omnspassar	37	34	3	2	33	24
Digel	5	5	2	1	4	2
Tappar	19	17	1	3	17	9
Anode	39	36	4	1	36	25
Totalt	100	92	10	7	90	60

9. Analysemetodar

9.1. Gravimetri

Fastsetjing av masser på filter vart gjort med Sartorius MC5 og Sartorius 210P vektorer, ved veging av filter før og etter eksponering. Arbeidet vart utført i STAMI sitt klimatiserte vegeom (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 sykklon og torakal sykklon. For IOM-kassett med CA-filter var nedre fastsetjingsgrense 0,2-2 mg/filter.

Resultat for Respiconprøver vart utrekna etter formlane i brukarrettleiinga (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

9.2.1. Vassløyseleg fluorid

Vassløyseleg fluorid er definert som den delen av fluorid i aerosolen som løyer 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 omdreingar 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 (PO₄³⁻), (Spectrascan®, 1000 mg/L, Teknolab A/S) som intern standard. Etter oppvarming på vassbad i mikrobølgeomn 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 SO₂

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⁻). og ekstrahert med 10 mL 0,5 % (v/v) hydrogenperoksidløysning (H₂O₂). 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⁻) til hydrogenfluorid (HF) og frå sulfat (SO₄²⁻) til svoveldioksid (SO₂). Nedre fastsetjingsgrenser var 1,0 - 16 µg/filter F⁻ og 4,1 - 12 µg/filter SO₄²⁻.

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 HF-filter. Sidan ein måler partikulært fluorid med respiconprøvetakaren, kan ikkje resultata direkte samanliknast med den tradisjonelle metoden for å måle partikulært fluorid ("totalstøvkasset" med gassfilter). Respiconprøvetakaren har eit karakteristikum som gjer at den skal fylgje kurven for inhalerbar aerosol, medan totalstøvkassetten er uspesifikk. Ein forventar derfor noko høgare verdiar for partikulært fluorid målt med respiconprøvetakaren enn dersom ein måler med "totalstøvkassetten".

10. Instrumentering

Analysane vart 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[®] 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[™], versjon 6.40. Eluentløysingane var 8,0 mM Na₂CO₃ / 1,0 mM NaHCO₃ 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[®], 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 mest mogleg 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

Resultata representerer konsentrasjonar av eksponeringsmålingane utført i dei gjevne tidsromma. Det er ikkje gjort nokon korreksjon av eksponeringsdata av prosestetnisk art eller for ulike produksjonsparametrar. Luftkonsentrasjonane baserer seg på faktisk prøvetakingstid, den er ikkje normalisert til 8 timar. For verdiar lågare enn den nedre fastsetjingsgrensa (DL) er det nytta ½ DL.

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. Forå

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 resultatane eller for konklusjonane. 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 den faktiske eksponeringa. Alle prøver er tatt utanfor vernemaskene og nærast mogeleg innandingssona til arbeidstakaren. Resultata må derfor sjåast i samanheng med den generelle vernemaskebruken innan dei målte jobbkategoriene. 29 personar nytta airstreamhjelm, 29 personar nytta 3M 9924/9926, 20 personar nytta ikkje vernemaske i løpet av skiftet, 18 personar nytta 3M 4277, 1 person nytta Dräger, medan for to 2 personar vart det ikkje notert kva type vernemaske som vart nytta.

For verdiar lågare enn den nedre fastsetjingsgrensa (DL) er det nytta ½ DL.

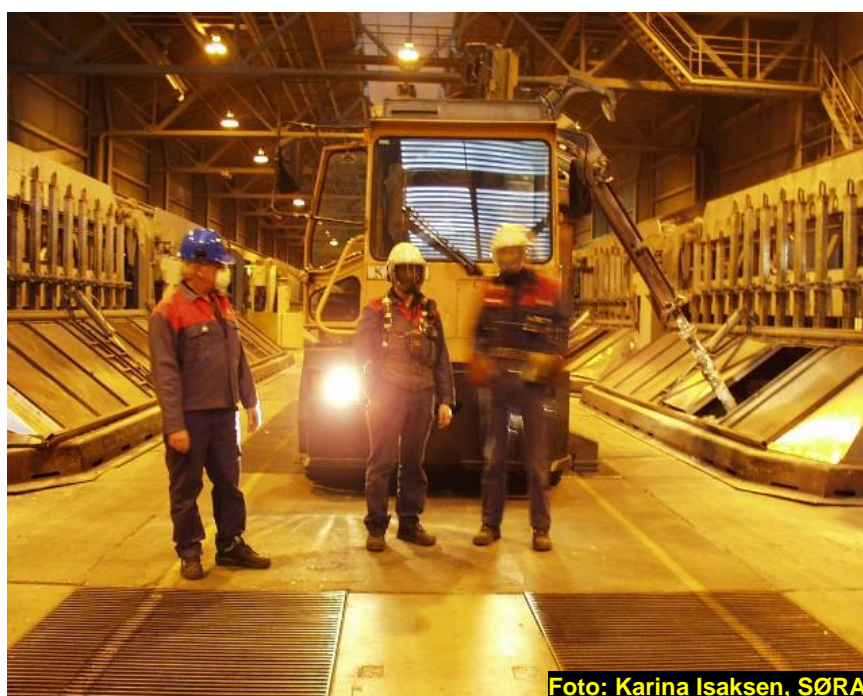
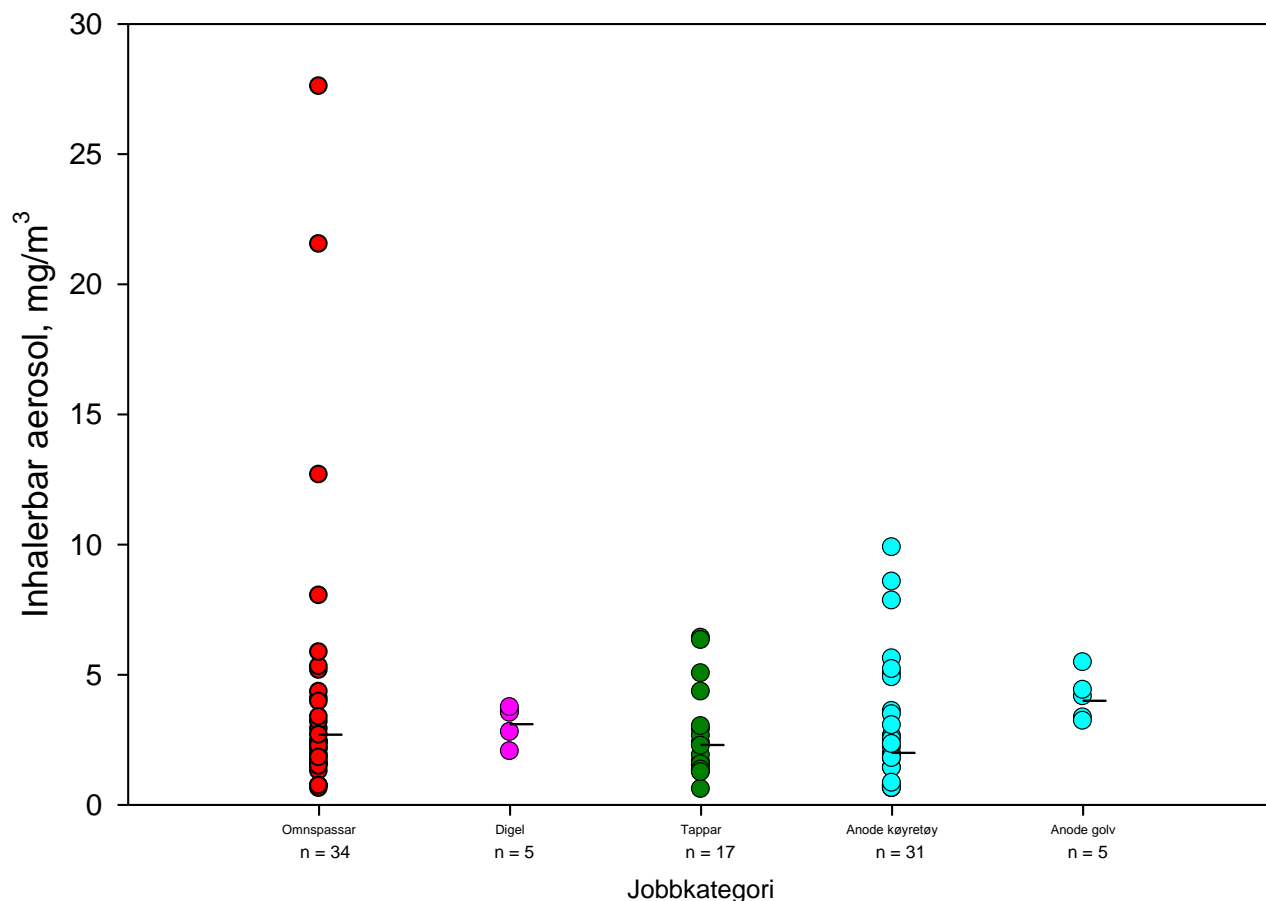


Foto: Karina Isaksen, SØRAL

Bilete 12.1: Tapping

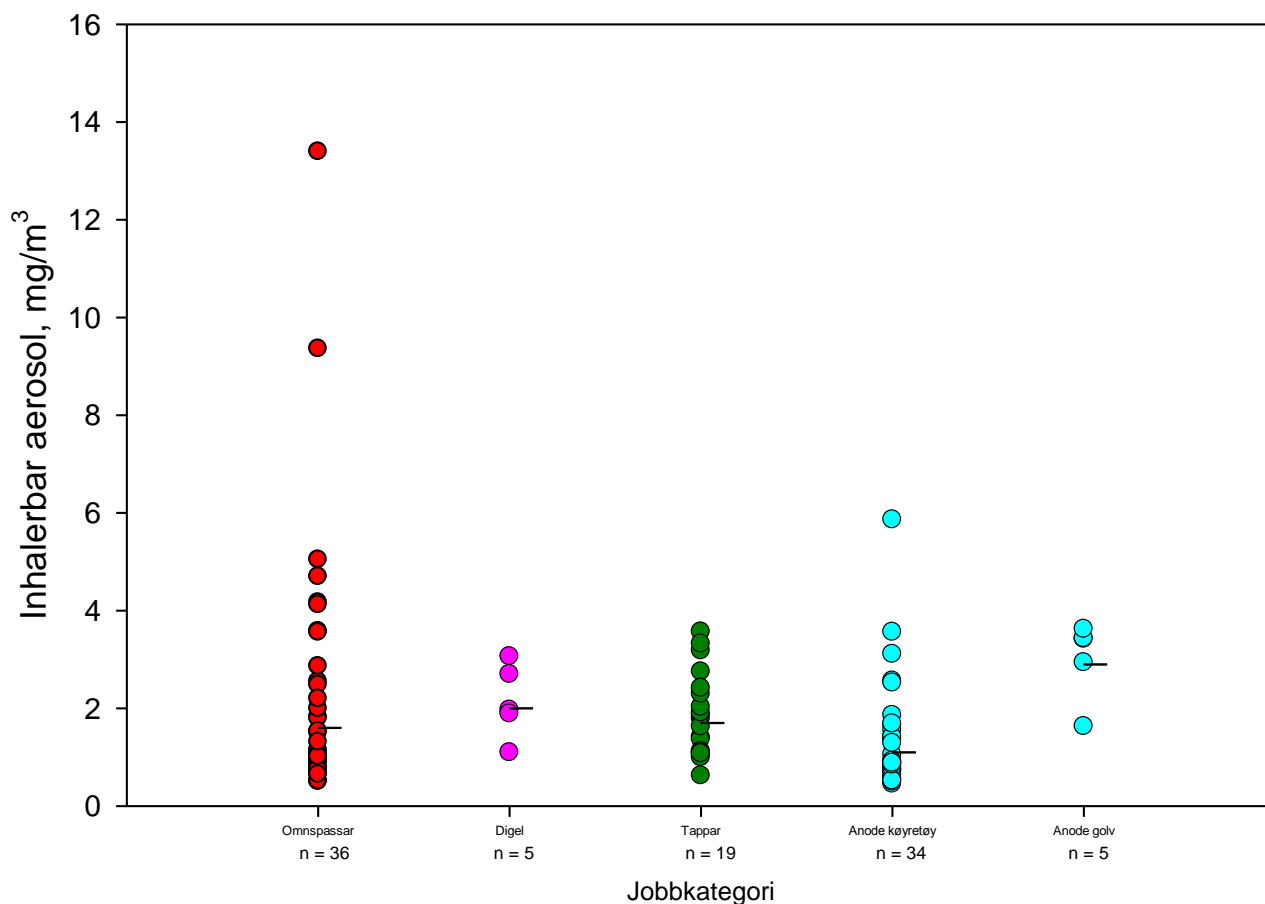
12.1. Aerosol

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 og fig. 12.2 med Respicon. Det er stor spreining på resultata innan ein arbeidsoperasjon og også forskjell mellom ein del av arbeidsoperasjonane. Nokre få målingar er høge som kan tyde på at nokon av operatørane kan være høgt eksponerte på enkelte dagar.



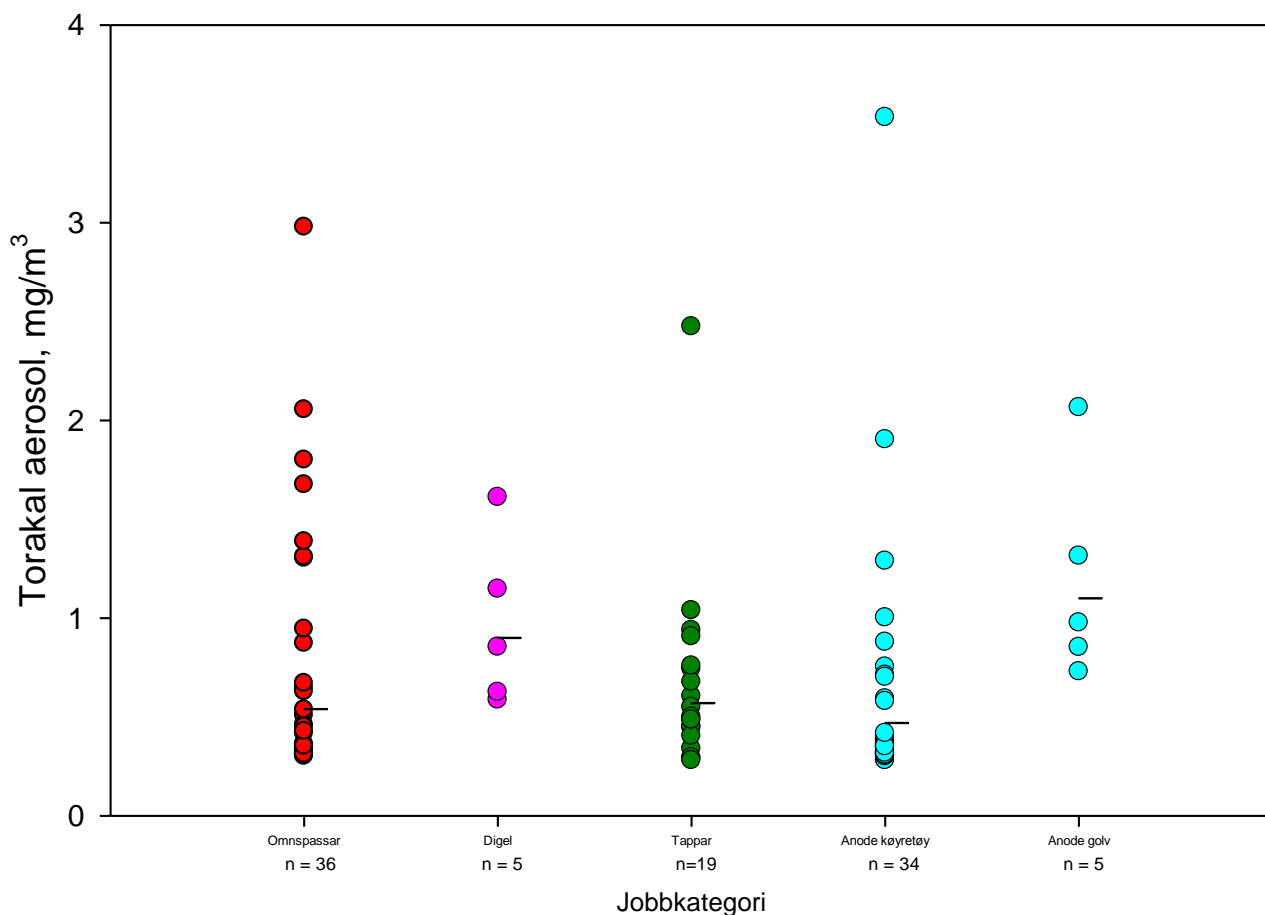
Figur 12.1: Inhalerbar aerosol frå IOM-prøvetakaren fordelt på jobbkategori. Talet på prøver er gjeve med bokstaven n og må ikkje forvekslast med talet på personar.

Av figuren ser ein dei ulike jobbkategoriene har relativt lik geometrisk middelverdi. Spreiinga er fyrst og fremst størst for gruppa omnspassarar medan gruppa digel har relativt lita spreining. Det høgaste gjennomsnittsverdien er det jobbkategoriene anodeskift frå golv med $4,0 \text{ mg/m}^3$ og den lågaste hadde anode køyretøy med $2,0 \text{ mg/m}^3$.



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

Figur 12.2 viser dei inhalerbare aerosolresultata målt med Respiconprøvetakaren. Dei fleste verdiane ligg under $5,5 \text{ mg/m}^3$, men einiske verdiane er høgare enn dette. Det høgste gjennomsnittet har gruppa anode golv med ein gjennomsnittsverdi på $2,9 \text{ mg/m}^3$ og lågast anode køretøy med ein gjennomsnittsverdi på $1,1 \text{ mg/m}^3$.



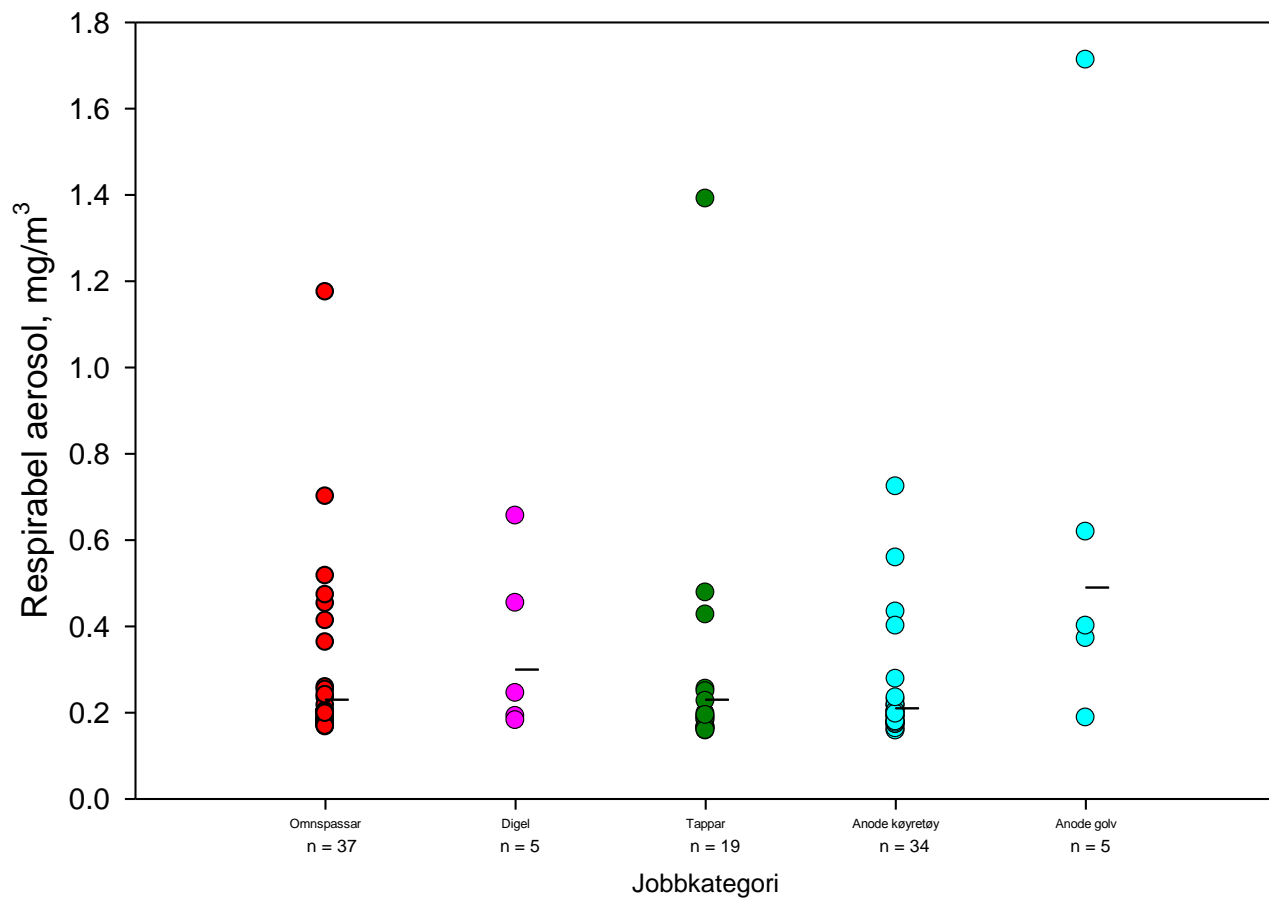
Figur 12.3: Torakal aerosolfraksjon frå Respiconprøvetakaren fordelt på jobbkategori. Talet på prøver er gjeve med bokstaven n og må ikkje forvekslast med talet på personar.

Respiconprøvetakaren og torakale syklonar kan begge nyttast til å fastsetje aerosolmengda som kan avsetjast i luftvegane nedanfor strupehovudet (torakal aerosol). Figur 12.3 viser torakal aerosolmengde bestemt ut frå måling med Respiconprøvetakaren. Den torakale mengda aerosol er lågare enn for inhalerbar fraksjon. Alle utanom eitt resultat ligg lågare enn $3,0 \text{ mg/m}^3$. GM verdiane er høgast for jobbkategorien anode golv, med $1,1 \text{ mg/m}^3$, og lågast for anode køyretøy med $0,48 \text{ mg/m}^3$.

Tabell 12.1: Prosentdel torakal aerosol av inhalerbar aerosol.

Jobbkategori	n	GM	95 % Konfidensintervall		Minimum	Maksimum
			Nedre	Øvre		
Omnspassar	36	34	29	38	13	69
Digel	5	44	33	59	31	57
Tappar	19	34	28	41	17	78
Anode køyretøy	34	43	38	49	22	99
Anode golv	5	38	26	56	25	57
Alle	99	37	35	40	13	99

Den torakale delen utgjør 34 - 44 % av den inhalerbare aerosolen avhengig av jobbkategori (jf. tabell 12.1). Dette gjør at den største delen av aerosolen er ekstratorakal, dvs. at størstedelen av aerosoleksponering blir avsett i dei øvre luftvegane.



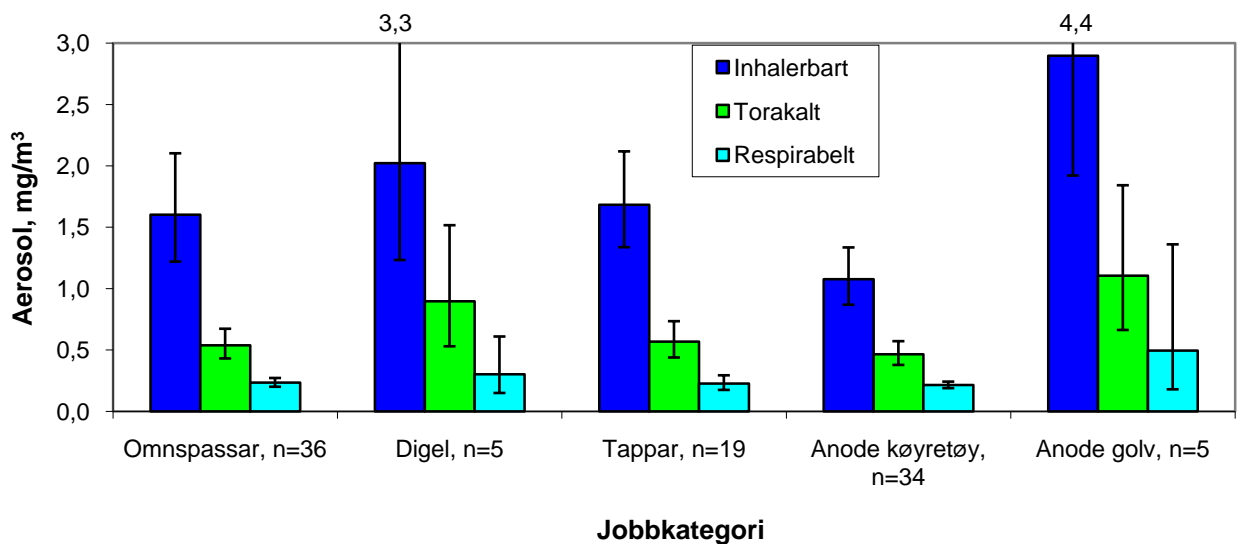
Figur 12.4: Respirabel aerosolfraksjon frå Respiconprøvetakaren fordelt på jobbkategori. Talet på prøver er gjevne med bokstaven n og må ikkje forvekslast med talet på personar.

I fig. 12.4 ser ein at ein har same trend for respirabel aerosolfraksjon som for torakal fraksjon. Anode golv er den høgast eksponerte jobbkategori (0,49 mg/m³), medan anode køyretøy var lågast (0,21 mg/m³).

Tabell 12.2: Prosentdel respirabel aerosol av inhalerbar aerosol.

Jobbkategori	n	GM	95 % Konfidensintervall		Minimum	Maksimum
			Nedre	Øvre		
Omnspassar	36	14	12	18	3,5	39
Digel	5	15	8,6	26	9,1	24
Tappar	19	13	10	18	5,8	39
Anode køyretøy	34	20	17	24	5,4	39
Anode golv	5	17	5,6	52	5,5	47
Alle	99	16	14	18	3,5	47

Den respirable delen av inhalerbar aerosol utgjør 13 - 20 % for dei ulike jobbkategoriene. Jobbkategori anode køyretøy hadde størst prosentdel respirabel aerosol (20 %), medan tappar har lågast (13 %).



Figur 12.5: Geometrisk middelværdi, GM med 95 % konfidensintervall for dei helse-relaterte aerosolfraksjonar prøveteke med Respicon.

I figur 12.5. er dei geometriske middelværdiane og 95 % konfidensintervall for dei helse-relaterte aerosolfraksjonane fordelt på dei prøveteke jobbkategoriene. Ved å regne statistikk på data frå figur 12.5 kan ein sjå om det er nokon forskjell mellom dei ulike jobbkategoriene. Ei oppsummering er gjeve i tabell 12.3.

Tabell 12.3: Oversikt over kva kategori der GM var signifikant* forskjellig frå jobbkategori

Komponent	Kategori	Signifikant* forskjellig frå jobbkategori
IOM aerosol	Omnspassar	-
	Digel	-
	Tappar	-
	Anode køyretøy	-
	Anode golv	-
Respicon Inhalerbar aerosol	Omnspassar	Anode køyretøy
	Digel	Anode køyretøy
	Tappar	Anode køyretøy
	Anode køyretøy	Omnspassar, Digel, Tappar, Anode golv
	Anode golv	Anode køyretøy
Respicon Torakal aerosol	Omnspassar	Anode golv
	Digel	Anode køyretøy
	Tappar	Anode golv
	Anode køyretøy	Digel, Anode køyretøy
	Anode golv	Omnspassar, Tappar, Anode køyretøy
Respicon Respirabel aerosol	Omnspassar	Anode golv
	Digel	-
	Tappar	Anode golv
	Anode køyretøy	Anode golv
	Anode golv	Omnspassar, Tappar, Anode køyretøy

* p<0,05

For prøvene tatt med IOM-prøvetakaren fann ein ingen signifikante ($p < 0,05$) forskjellar mellom jobbkategoriene. For prøvene tatt med Respiconprøvetakaren skil anode køyretøy seg ut som forskjellig frå dei andre jobbkategoriene for fleire aerosolfraksjonar.

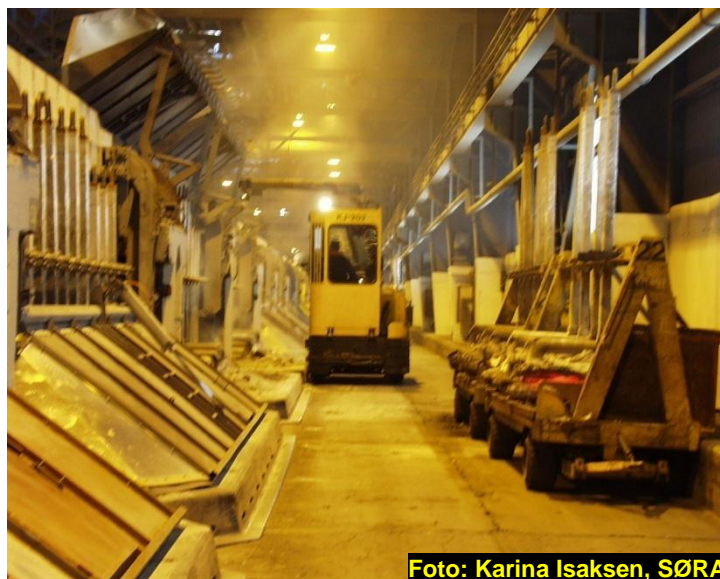


Foto: Karina Isaksen, SØRAL

Bilete 12.2: Anodeskifting

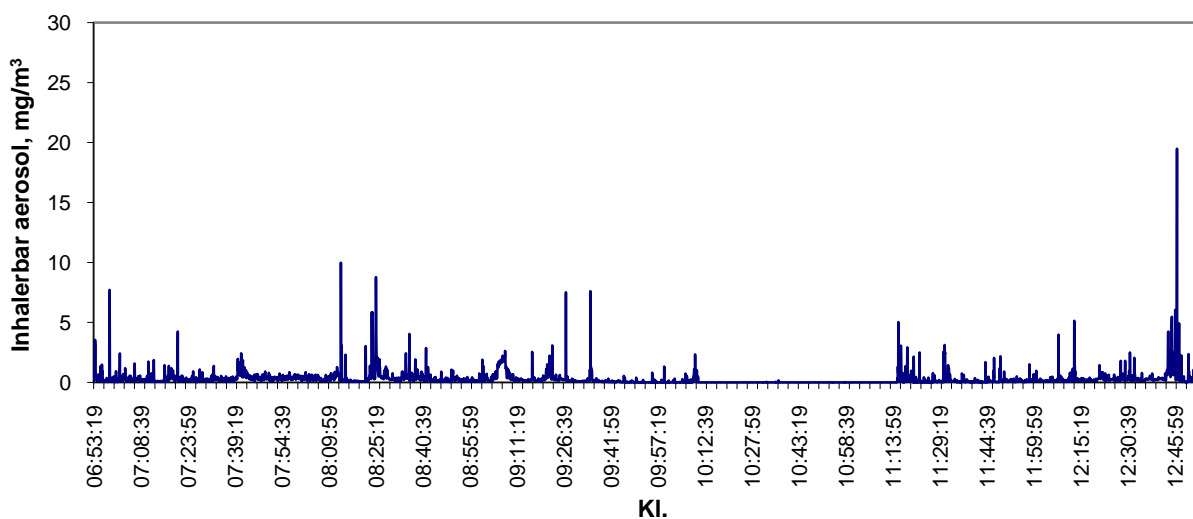
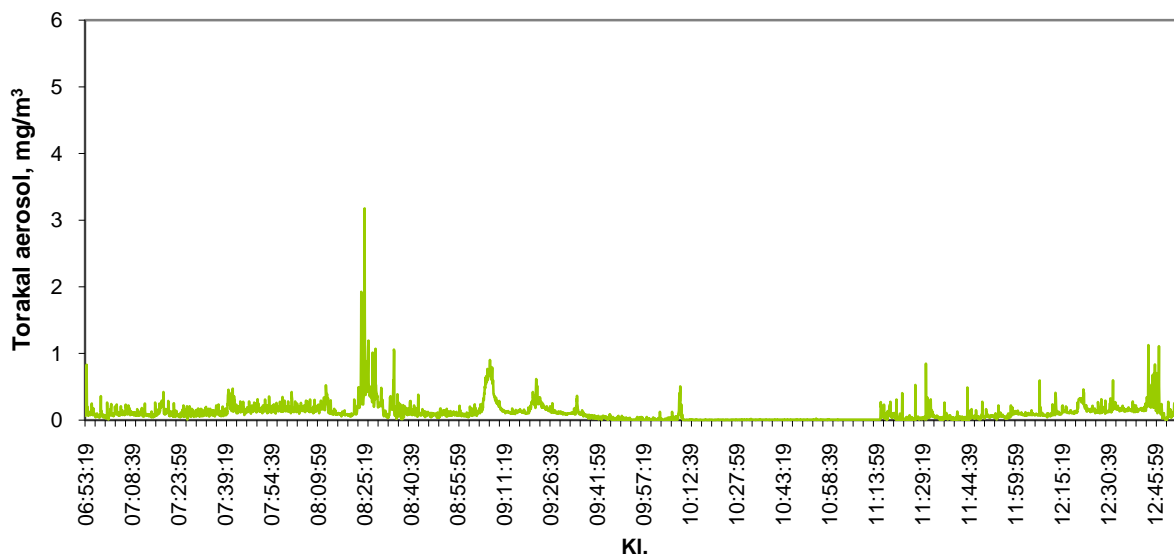
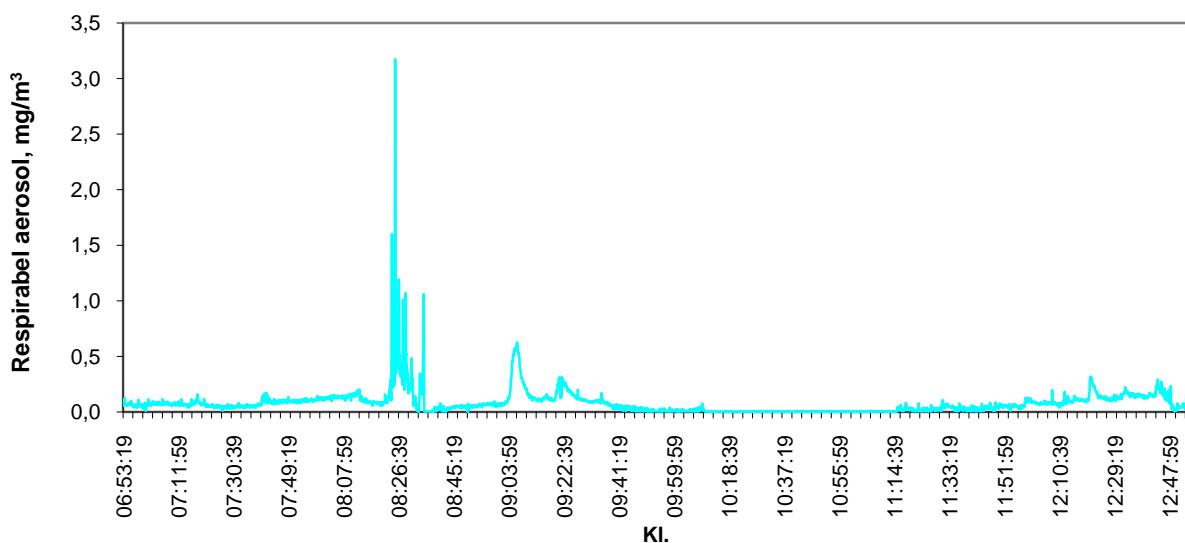


Foto: Karina Isaksen, SØRAL

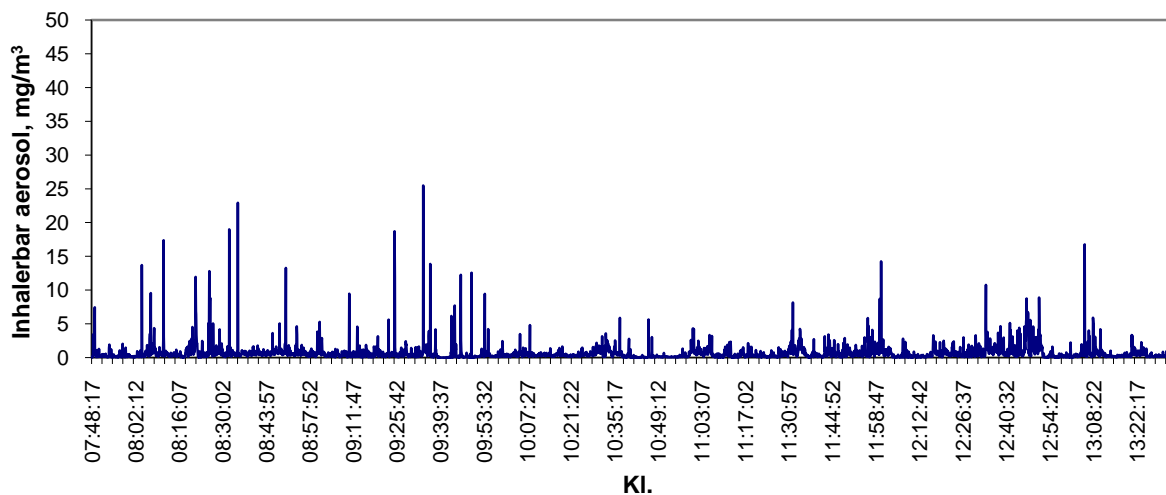
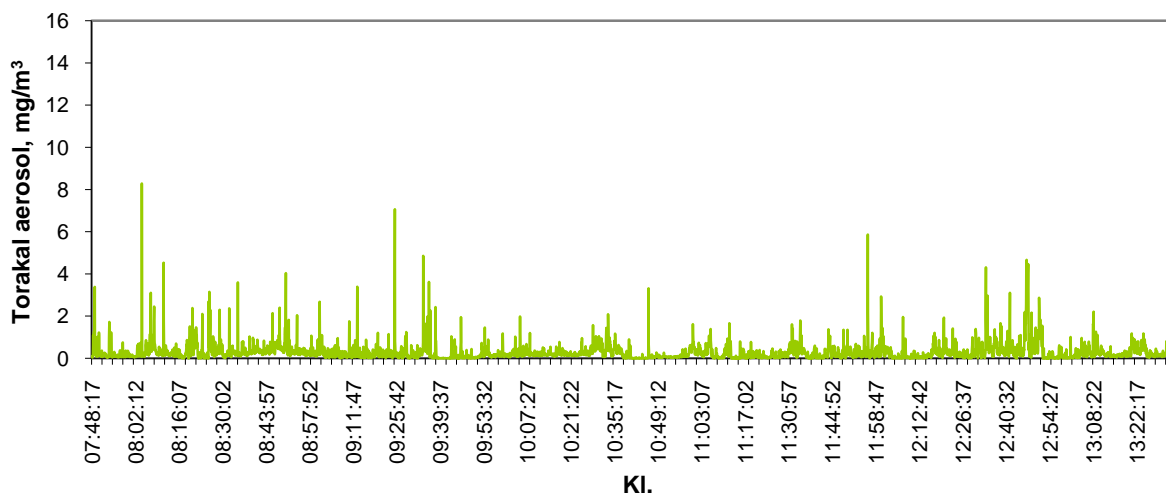
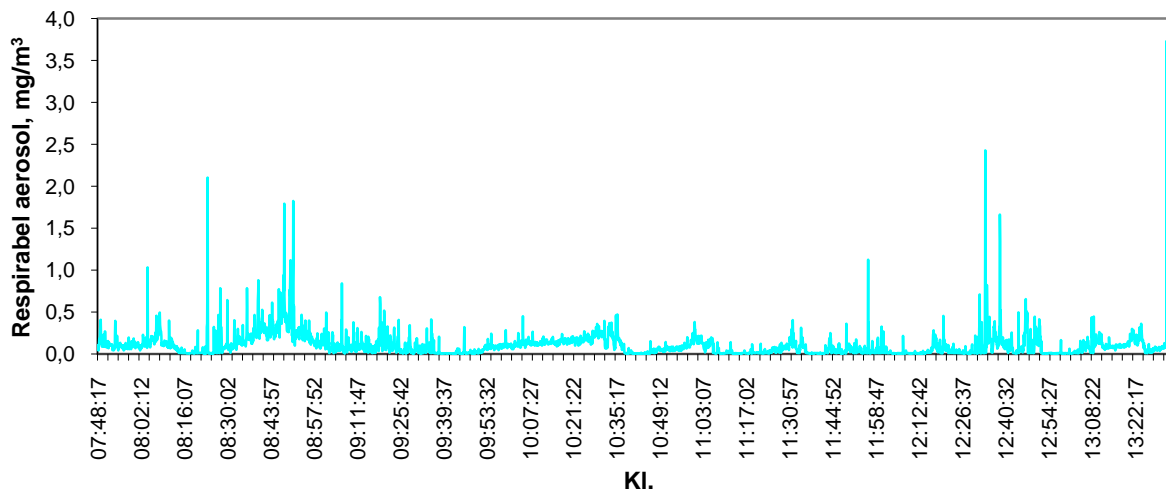
Bilete 12.3: Digel

12.1.1. Direktevisande utstyr for aerosolmålingar

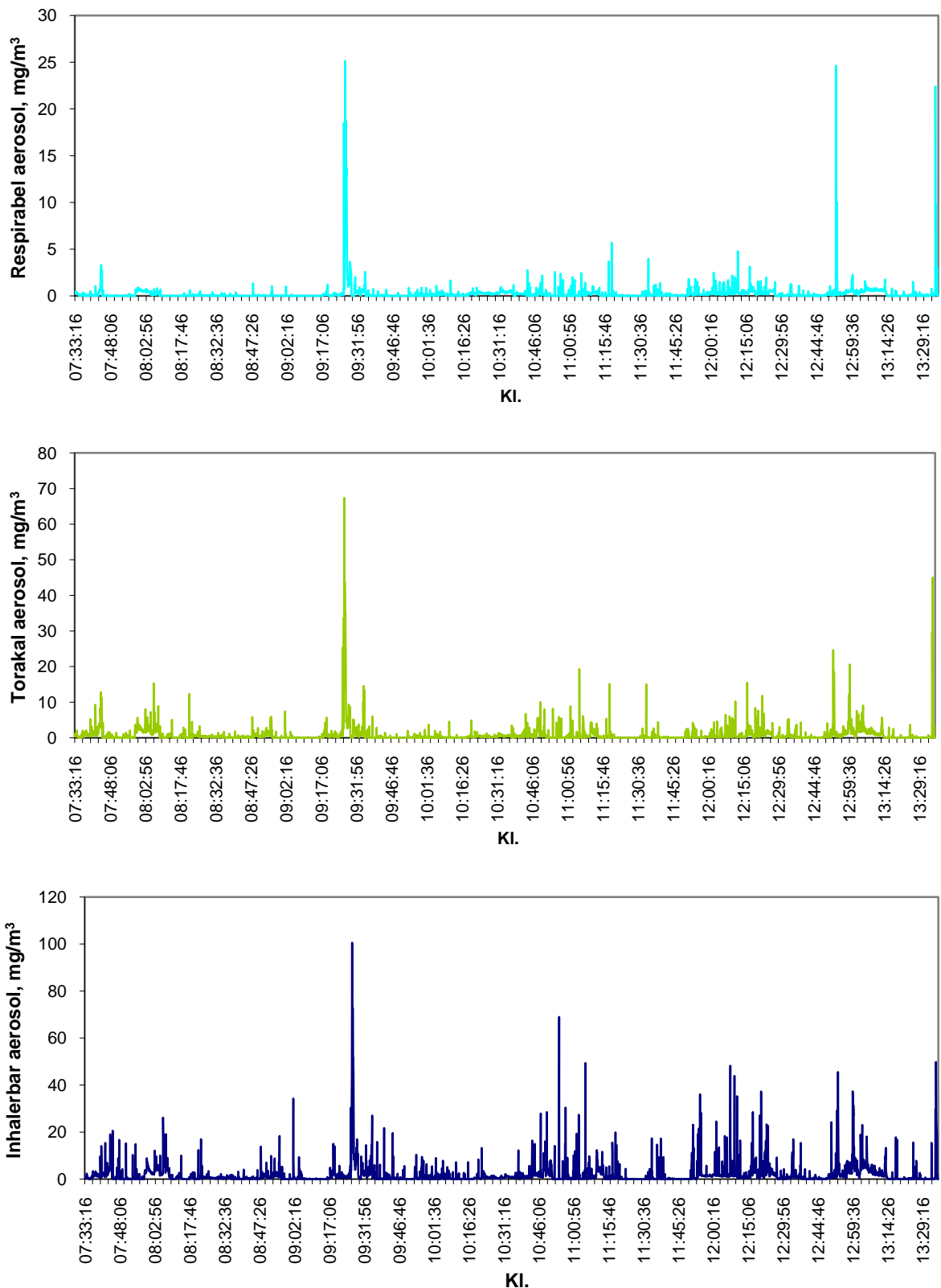
Til dette vart det nytta ein direktevisande Respicon (sjå 7.2.4).



Figur 12.6: Anodeskiftar 12. mars 2003 (Arbeid utført: Anodeskift frå køyretøy).



Figur 12.7: Omnspassar 13. mars 2003 (Arbeid utført: Målerunde, bluss).



Figur 12.8: Digelrens 14. mars 2003 (Arbeid utført: Fresing av digler, reingjøring av bend, truckkøring).

Tidsoppløyste aerosolmålinger blir brukt til å skaffe verdfull informasjon om toppeksposering og identifisering av partikulære forureiningskjelder samt å estimere eksponering ved spesifikke arbeidsoperasjoner. Det var 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

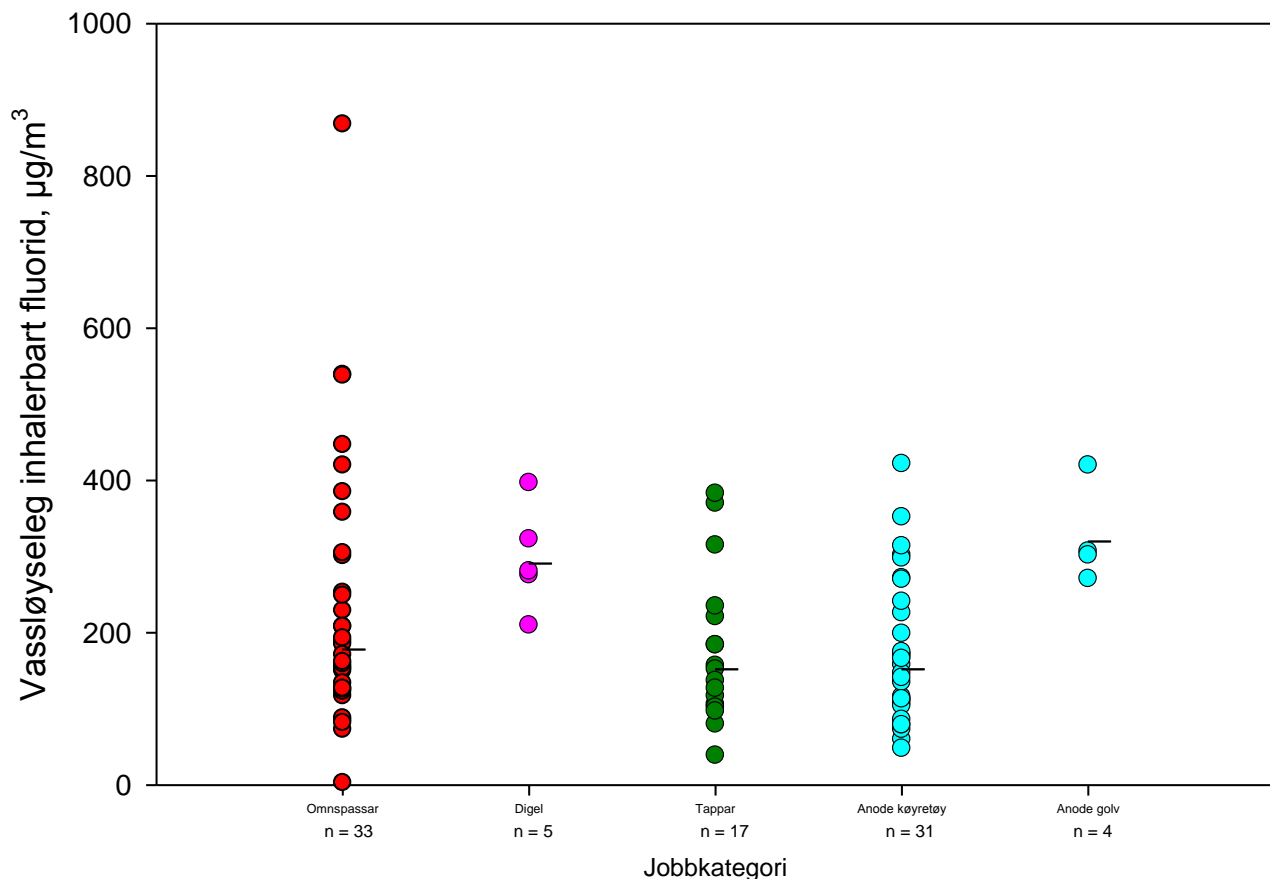
arbeidstakarane å presisere i løpet av intervjuet kva arbeidsoperasjonar som vart utført ved dei ulike tidspunkta. Eit system med tettare oppfølging hadde vore å føretrække, men ei tettare oppfølging vart så ressurskrevande at det ikkje let seg gjennomføre innafør dei økonomiske rammene og det tette prøvetakingsprogrammet i prosjektet.

Av figurane 12.6 – 12.8 ser ein at eksponeringa for både respirabel, torakal og inhalerbar aerosol var knytt til episodar med til tider høg eksponering. Den gjennomsnittlege eksponeringa treng ikkje vere spesielt høg, men eit tidsoppløyst signal viser at neste alle eksponering kjem i løpet av ein liten tidsperiode av skiftet.

12.2. Resultat vassløyseleg fluorid

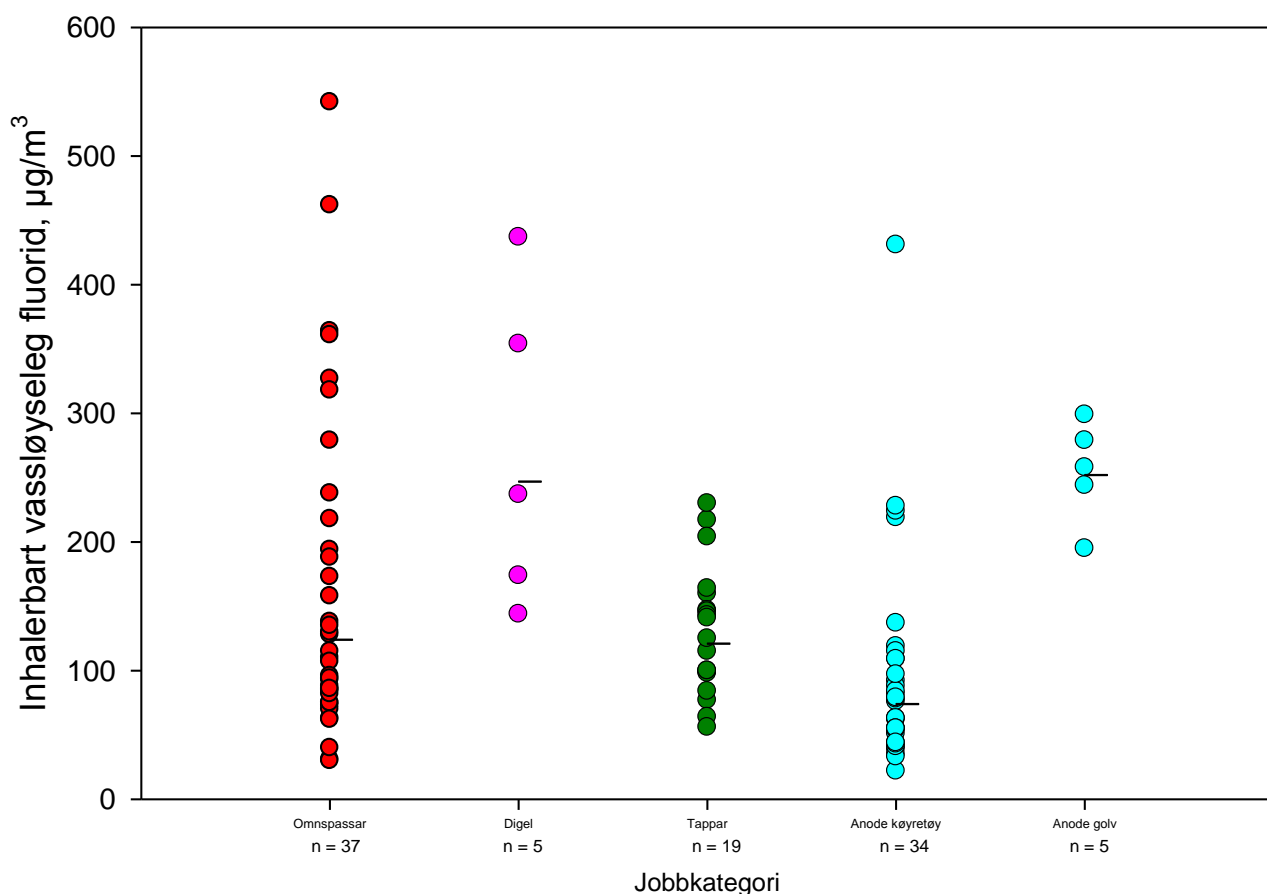
Alle aerosolprøvene vart løyst i vatn og fluoridmengda i dette vassekstraktet vart fastsett; vassløyseleg fluorid.

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



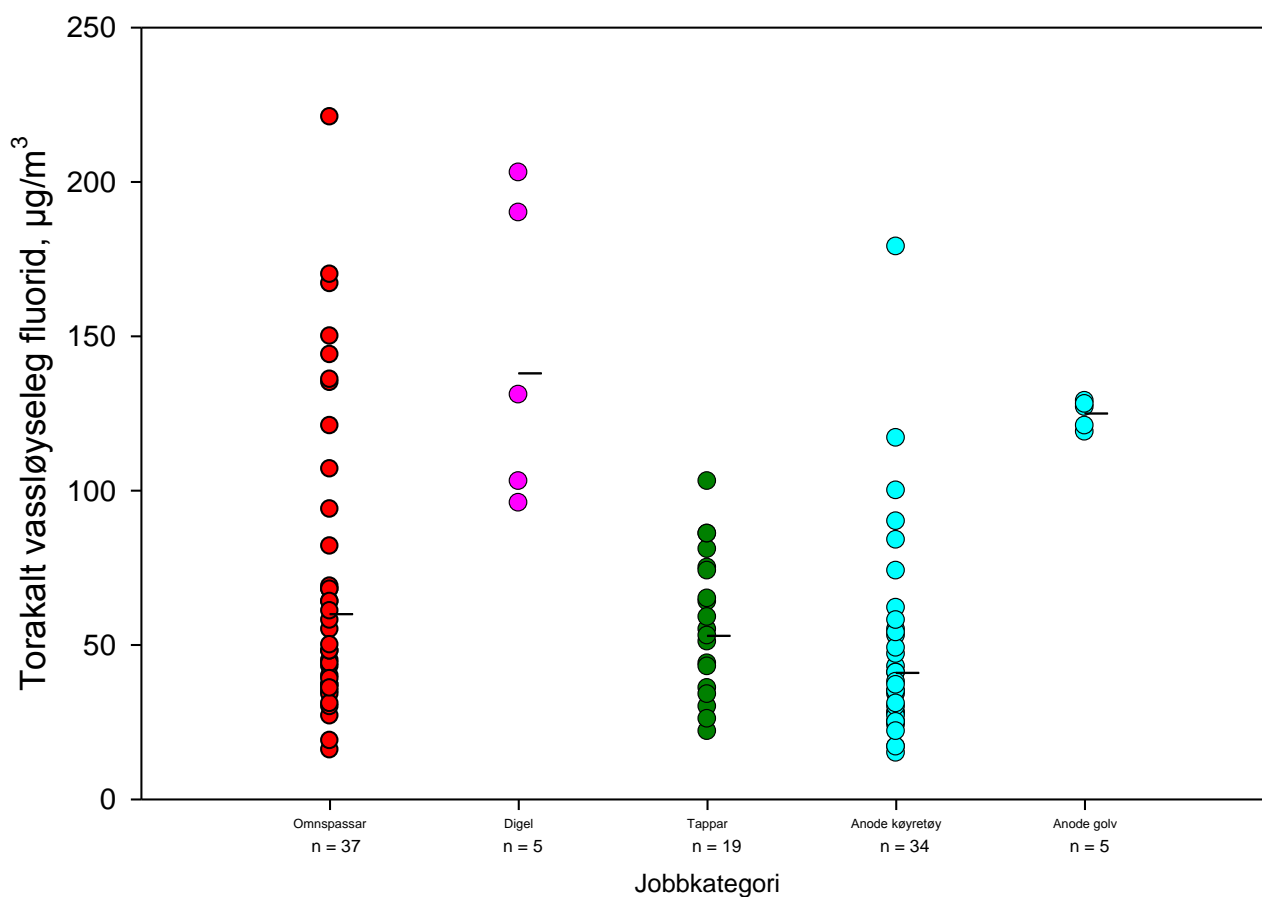
Figur 12.9: Vassløyseleg fluorid bestemt i aerosolen frå IOM-prøvetakaren fordelt på jobbkategori. Talet på prøver er gjevne med bokstaven n og må ikkje forvekslast med talet på personar.

Frå figur 12.9 går det fram at det er jobbkategorien anode golv som gjev den høgaste geometriske gjennomsnitt ($320 \mu\text{g}/\text{m}^3$), medan tappar og anode køyretøy dei lågast eksponerte ($152 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Spreiinga innanfor dei ulike jobbkategoriene er stor, spesielt for omnesspassar.



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

I fig. 12.10 ser ein at det ikkje er så stor forskjell mellom jobbkategoriene; omnspassar, tappar og anode køyretøy for inhalerbart vassløyseleg fluorid. Spreiinga i resultata er stor, spesielt for jobbkategoriene omnspassar, digel og anode køyretøy. Anode golv har det høgste gjennomsnittet med 252 µg/m³. Dette i motsetning til gruppa med anode køyretøy som har den lågaste gjennomsnittlege eksponeringa på 74 µg/m³.

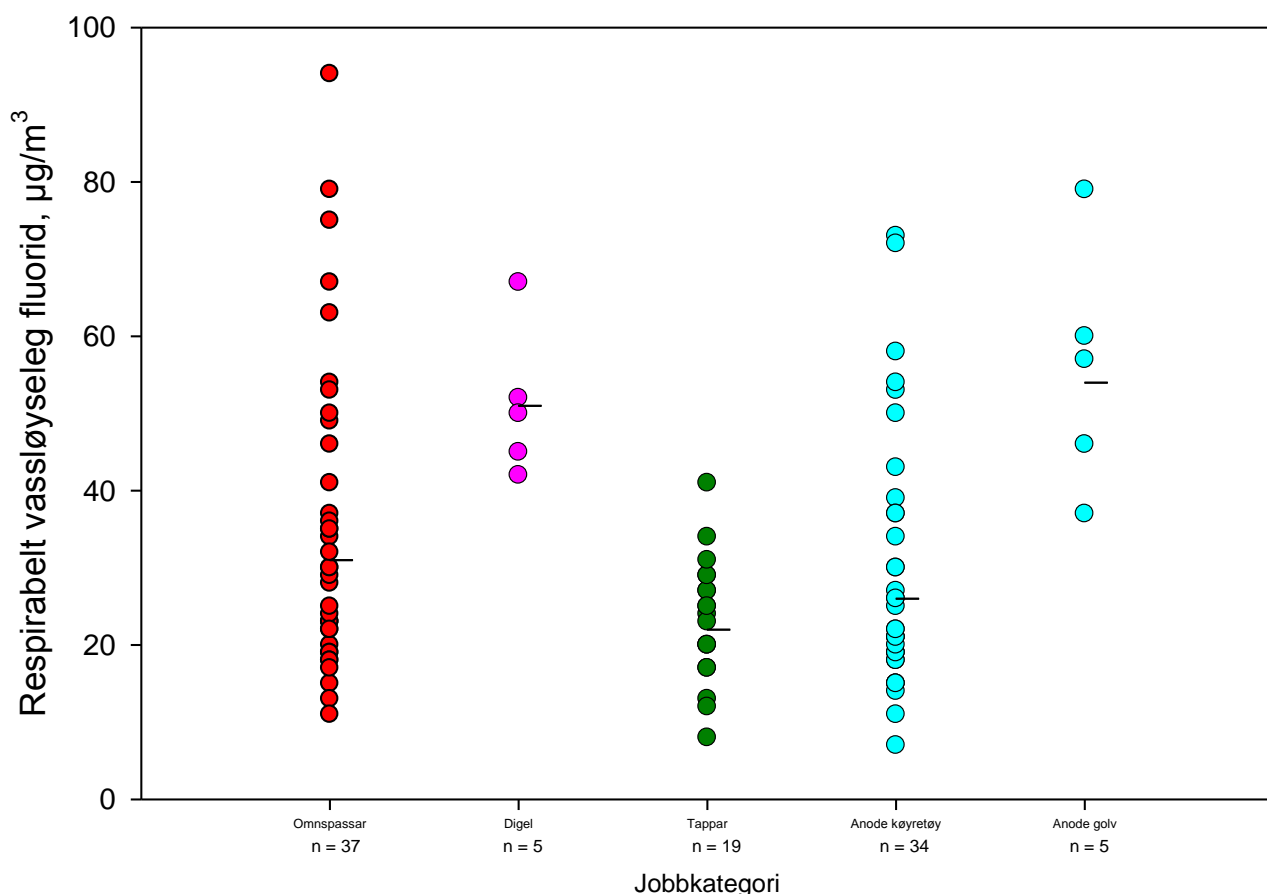


Figur 12.11: Vassløyseleg fluorid fastsett i den torakale aerosolfraksjon frå Respiconprøvetakaren fordelt på jobbkategori. Talet på prøver er gjevne med bokstaven n og må ikkje forvekslast med talet på personar.

Av fig. 12.11 ser ein at eksponeringa for torakalt vassløyseleg fluorid er størst for jobbkategoriene digel ($138 \mu\text{g}/\text{m}^3$) og anode golv ($125 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Den gjennomsnittlege eksponeringa er lågast for anode køyretøy $41 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Spreiinga er størst for gruppa omnspassar og minst for anode golv.

Tabell 12.4: Prosentdel torakalt vassløyseleg fluorid av inhalerbart vassløyseleg fluorid.

Jobbkategori	n	GM	95% Konfidensintervall		Minimum	Maksimum
			Nedre	Øvre		
Omnspassar	37	48	44	52	23	100
Digel	5	56	45	70	44	72
Tappar	19	43	39	48	27	64
Anode køyretøy	34	55	50	59	32	80
Anode golv	5	49	42	58	42	61
Alle	99	50	47	52	23	100



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.

Av fig. 12.12 går det fram at det er jobbkategori anodeskiftar golv som har den høgaste eksponeringa for vassløyseleg respirabelt fluorid ($54 \mu\text{g}/\text{m}^3$), medan tappar har den lågaste ($22 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Kategorien omnspassar har den største spreia, med den er også stor for gruppene anode køyretøy og anode golv.

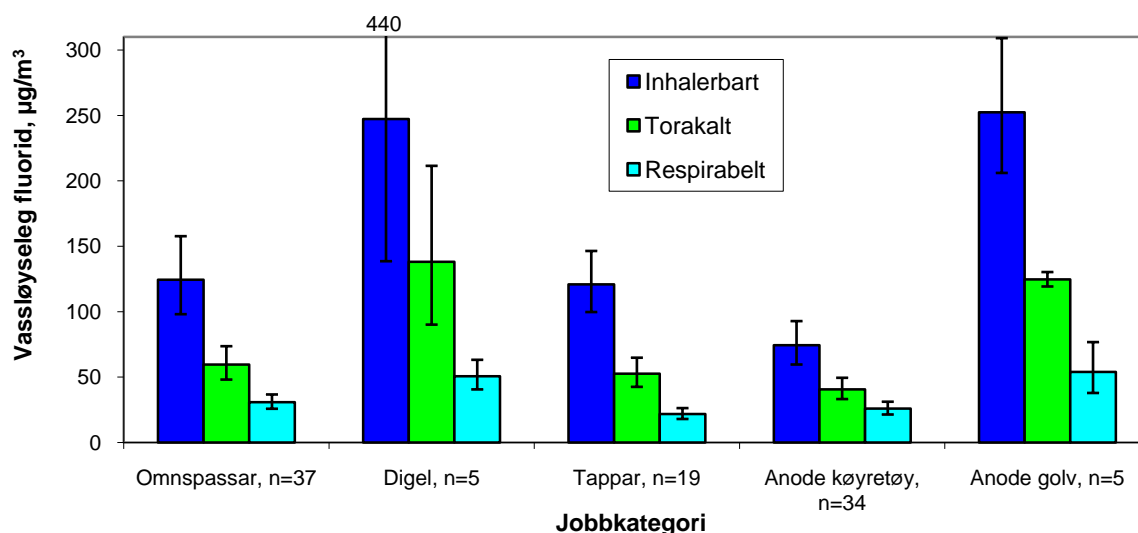
Tabell 12.5: Prosentdel respirabelt vassløyseleg fluorid av inhalerbart vassløyseleg aerosol.

Jobbkategori	n	GM	95% Konfidensintervall		Minimum	Maksimum
			Nedre	Øvre		
Omnspassar	37	25	22	28	11	59
Digel	5	21	12	34	12	35
Tappar	19	18	15	21	9,8	30
Anode køyretøy	34	35	30	40	16	70
Anode golv	5	21	13	34	15	40
Alle	100	26	23	28	10	70

Den respirable delen av det vassløyselege inhalerbare fluoridet utgjer 22 – 38 % for dei ulike jobbkategoriene (jf. tabell 12.5), og den torakale delen (jf. tabell 12.4) utgjer 44 – 57 % av den inhalerbare vassløyselege fluoridet. Høgast prosentdel respirabelt vassløyseleg fluorid har anode køyretøy (35 %), medan tappar har lågast (18 %).

Dette medfører at vi finn ein større del av det vassløyselege fluoridet i dei respirable

og torakale fraksjonane i forhold til fordelinga av aerosol.



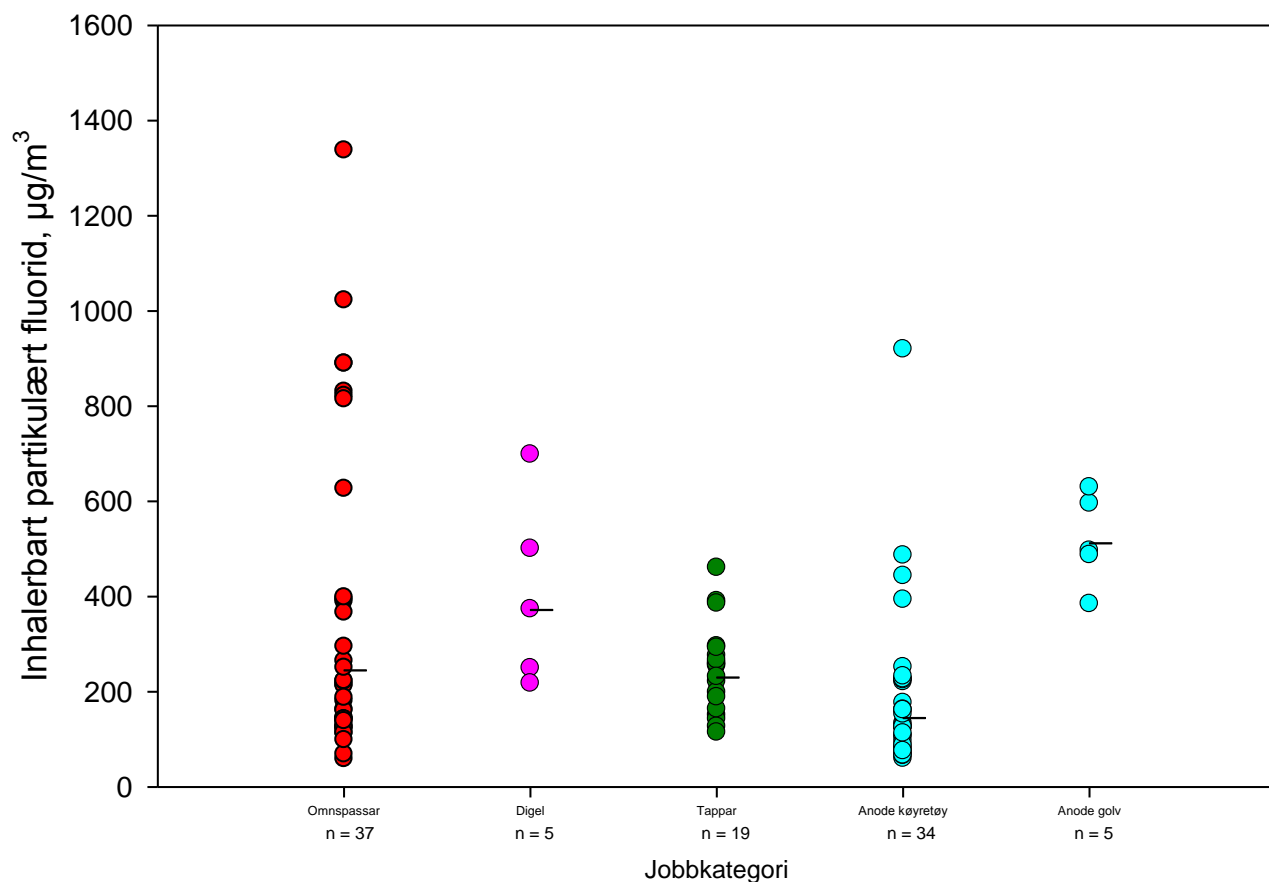
Figur 12.13: Vassløseleg fluorid, GM med 95% konfidensintervall, fastsett i dei ulike aerosolfraksjonane frå Respicon.

Tabell 12.6: Oversikt over kva jobbkategoriar der GM var signifikant* forskjellig for vassløseleg fluorid.

Komponent	Jobbkategori	Signifikant* forskjellig frå jobbkategori
IOM vassløseleg fluorid	Omnspassar	-
	Digel	-
	Tappar	-
	Anodekøyretøy	Anode golv
	Anode golv	Anode køyretøy
Respicon Inhalerbar vassløseleg fluorid	Omnspassar	Digel, Anode køyretøy, Anode golv
	Digel	Omnspassar, Tappar, Anode køyretøy
	Tappar	Digel, Anode køyretøy, Anode golv
	Anodekøyretøy	Omnspassar, Digel, Tappar, Anode golv
	Anode golv	Omnspassar, Tappar, Anode køyretøy
Respicon Torakal vassløseleg fluorid	Omnspassar	Digel, Anode køyretøy, Anode golv
	Digel	Omnspassar, Tappar, Anode køyretøy
	Tappar	Digel, Anode golv
	Anodekøyretøy	Omnspassar, Digel, Anode golv
	Anode golv	Omnspassar, Tappar, Anode køyretøy
Respicon Respirabel vassløseleg fluorid	Omnspassar	Digel, Tappar, Anode golv
	Digel	Omnspassar, Tappar, Anode køyretøy
	Tappar	Omnspassar, Digel, Anode golv
	Anode køyretøy	Digel, Anode golv
	Anode golv	Omnspassar, Tappar, Anode køyretøy

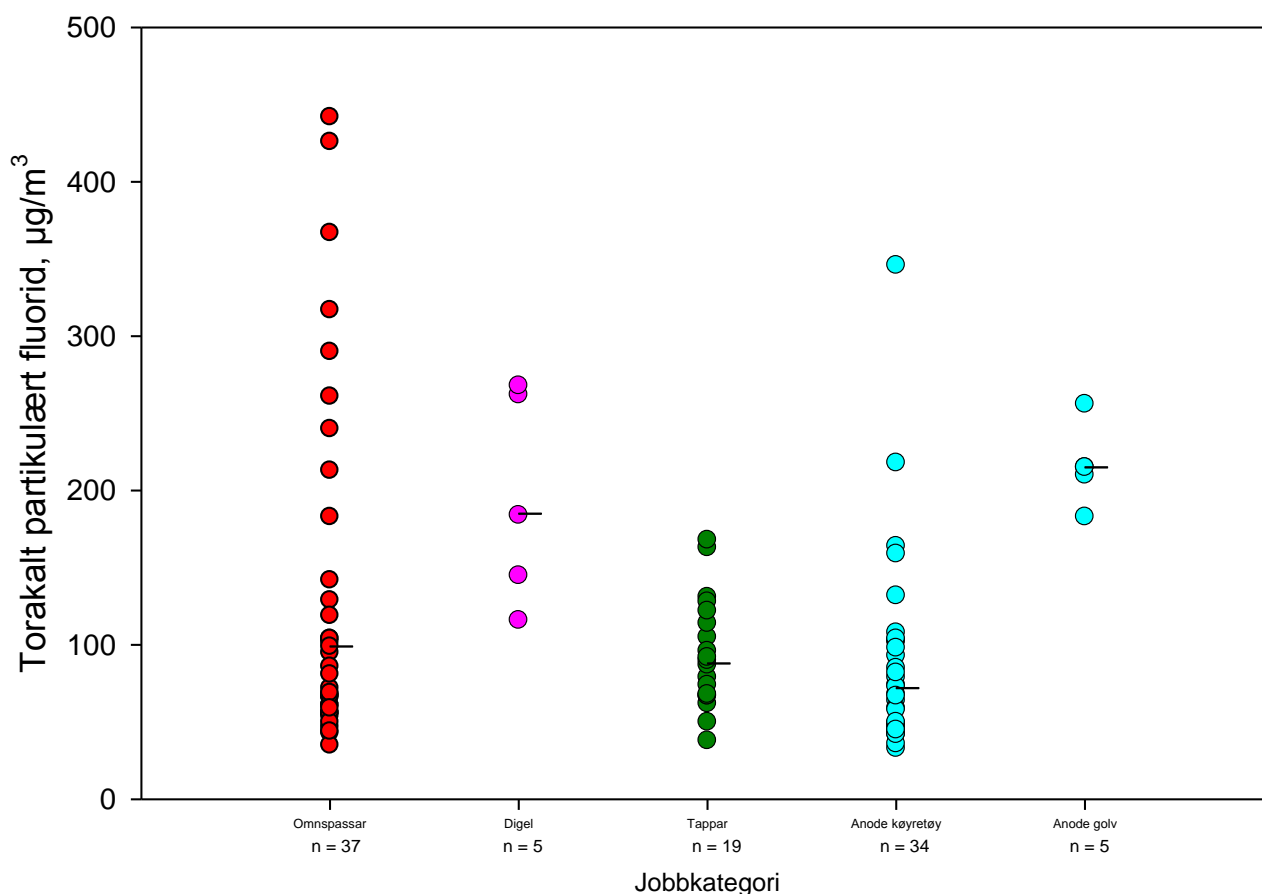
For vassløseleg fluorid er det signifikant forskjellar mellom dei ulike jobbkategoriene. Det betyr at for aerosoleksponeringa er det statistisk skilnadar mellom gruppene.

12.3. Resultat partikulært fluorid



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

I figur 12.14 er det vist det inhalerbare partikulære fluoridet i den oppsamla aerosolen. Dette er summen av vassløseleg og lutløseleg fluorid i den inhalerbare aerosolen målt med respiconprøvetakaren. Figuren viser at ein har størst spreining og høgast geometrisk gjennomsnitt for jobbkategorien anode golv ($512 \mu\text{g}/\text{m}^3$), medan anode køyretøy har lågast gjennomsnitt ($145 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Einskildverdiar for dei ulike jobbkategoriene gjer at spreinga for dei ulike kategoriene blir stor.



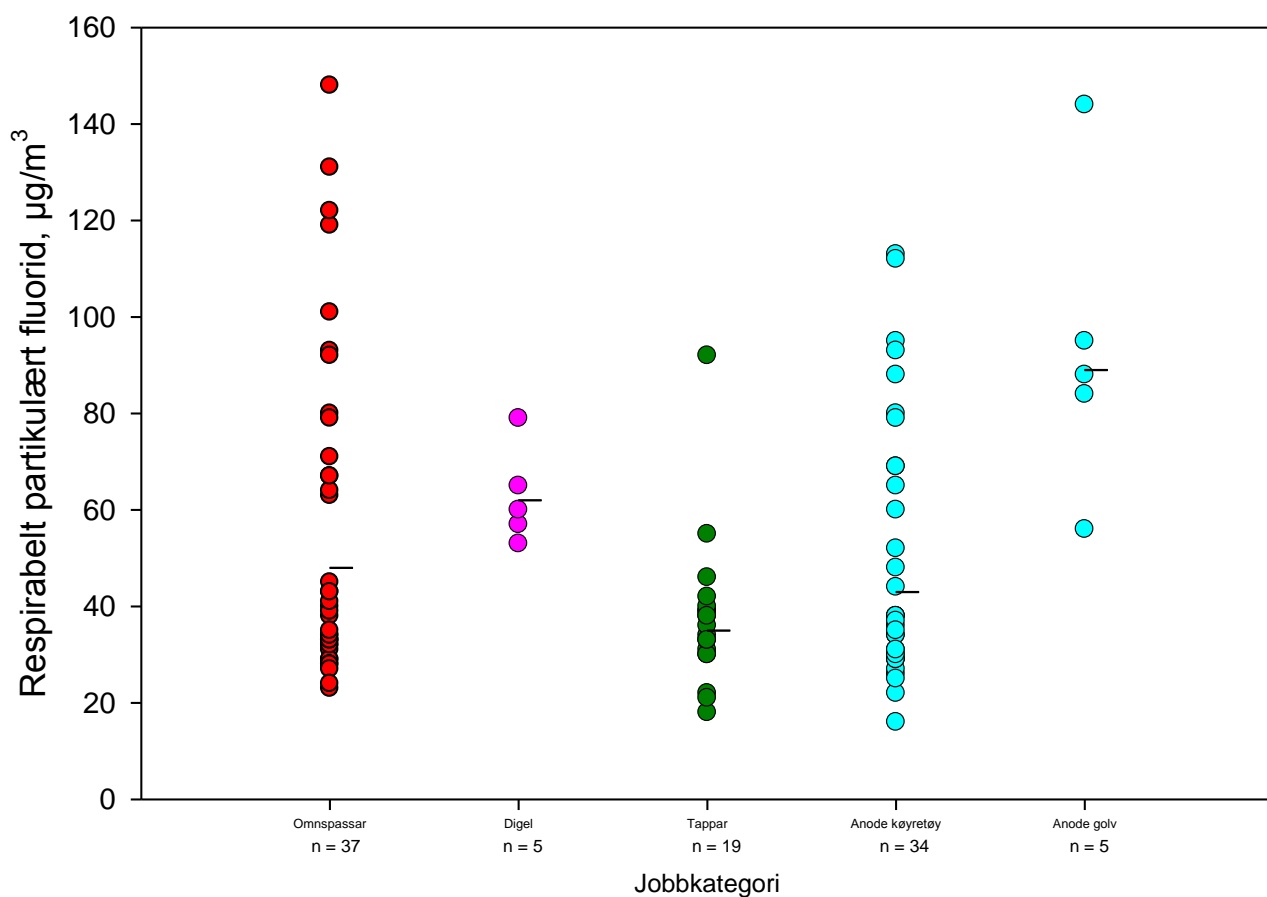
Figur 12.15: Partikulær fluorid fastsett i den torakale aerosolfraksjon frå Respiconprøvetakaren fordelt på jobbkategori. Talet på prøver er gjeve med bokstaven n og må ikkje forvekslast med talet på personar.

I figur 12.15 blir det vist det torakale partikulære fluoridet for dei ulike jobbkategoriene. Figuren viser lågast geometriske gjennomsnittsverdiar for anode køyretøy ($72 \mu\text{g}/\text{m}^3$), medan anode golv har høgst ($215 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Igjen er det spreinga innanfor dei ulike jobbkategoriene som er dominerande. For kategorien omnspassar er det eit relativt lågt geometrisk gjennomsnitt ($99 \mu\text{g}/\text{m}^3$), men stor spreining.

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

Jobbkategori	n	GM	5% Konfidensintervall		Minimum	Maksimum
			Nedre	Øvre		
Omnspassar	37	40	37	45	18	73
Digel	5	50	38	64	37	67
Tappar	19	38	34	44	19	63
Anode køyretøy	34	50	45	55	26	78
Anode golv	5	42	33	53	33	56
Totalt	99	44	41	46	18	78

Gjennomsnittleg er 44 % av det inhalerbare partikulære fluoridet torakalt. Høgast prosentdel vart funne digel og anode køyretøy (50 %), medan prosentdelen var lågast for omnspassar.



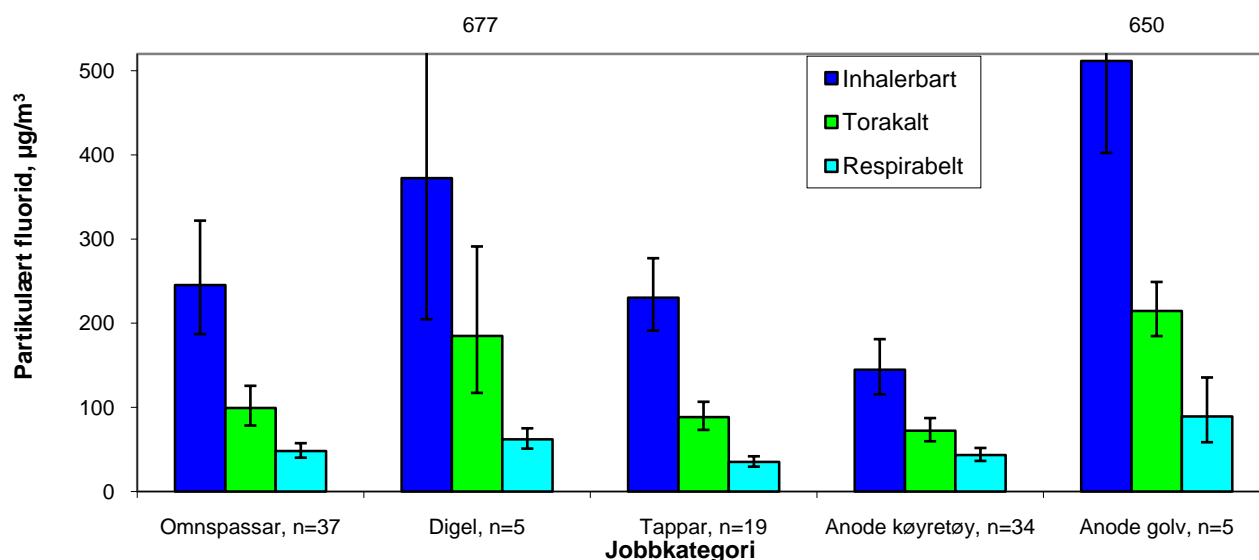
Figur 12.16: Partikulær fluorid fastsett i den respirable aerosolfraksjon frå Respiconprøvetakaren fordelt på jobbkategori. Talet på prøver er gjevne med bokstaven n og må ikkje forvekslast med talet på personar.

Det respirable partikulære fluoridet er vist i figur 12.16. Også for denne komponenten er det anode golv som har det høgste gjennomsnittet ($89 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Det lågaste gjennomsnittet vart målt for tappar ($35 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Spreiinga er stor innan alle gruppene utanom digel.

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

Jobbkategori	n	GM	95% Konfidensintervall		Minimum	Maksimum
			Nedre	Øvre		
Omnspassar	37	20	17	23	7,5	56
Digel	5	17	9,8	28	9,3	28
Tappar	19	15	12	19	7,9	34
Anode køyretøy	34	30	25	36	11	62
Anode golv	5	17	9,7	31	11	37
Alle	99	21	19	24	7,5	62

Frå tabell 12.8 får ein at det er gjennomsnittleg 21 % respirabelt partikulært fluorid av det inhalerbare partikulære fluoridet. Anode køyretøy har den største prosentdelen (30 %), medan digel og anode golv har den minste prosentdelen (17 %).



Figur 12.17: Geometrisk middelværdi, GM med 95 % konfidensintervall for partikulært fluorid frå Respiconprøvetakaren.

I figur 12.17 er det gjeve ei samanlikning av dei geometriske gjennomsnitta (GM) for dei ulike jobbkategoriene for dei ulike helsesrelaterte aerosolfraksjonane.

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

Komponent	Jobbkategori	Signifikant* forskjellig frå jobbkategori
Respicon Inhalerbar partikulær fluorid	Omnspassar	Anode køyretøy, Anodeskifar golv
	Digel	Anode køyretøy
	Tappar	Anode køyretøy, Anode golv
	Anode køyretøy	Omnspassar, Digel, Tappar, Anode golv
	Anode golv	Omnspassar, Tappar, Anode køyretøy
Respicon Torakal partikulær fluorid	Omnspassar	Digel, Anode køyretøy, Anode golv
	Digel	Omnspassar, Tappar, Anode køyretøy
	Tappar	Digel, Anode golv
	Anode køyretøy	Omnspassar, Digel, Anode golv
	Anode golv	Omnspassar, Tappar, Anode golv
Respicon Respirabel partikulær fluorid	Omnspassar	Tappar, Anode golv
	Digel	Tappar
	Tappar	Omnspassar, Digel, Anode golv
	Anode køyretøy	Anode golv
	Anode golv	Omnspassar, Tappar, Anode køyretøy

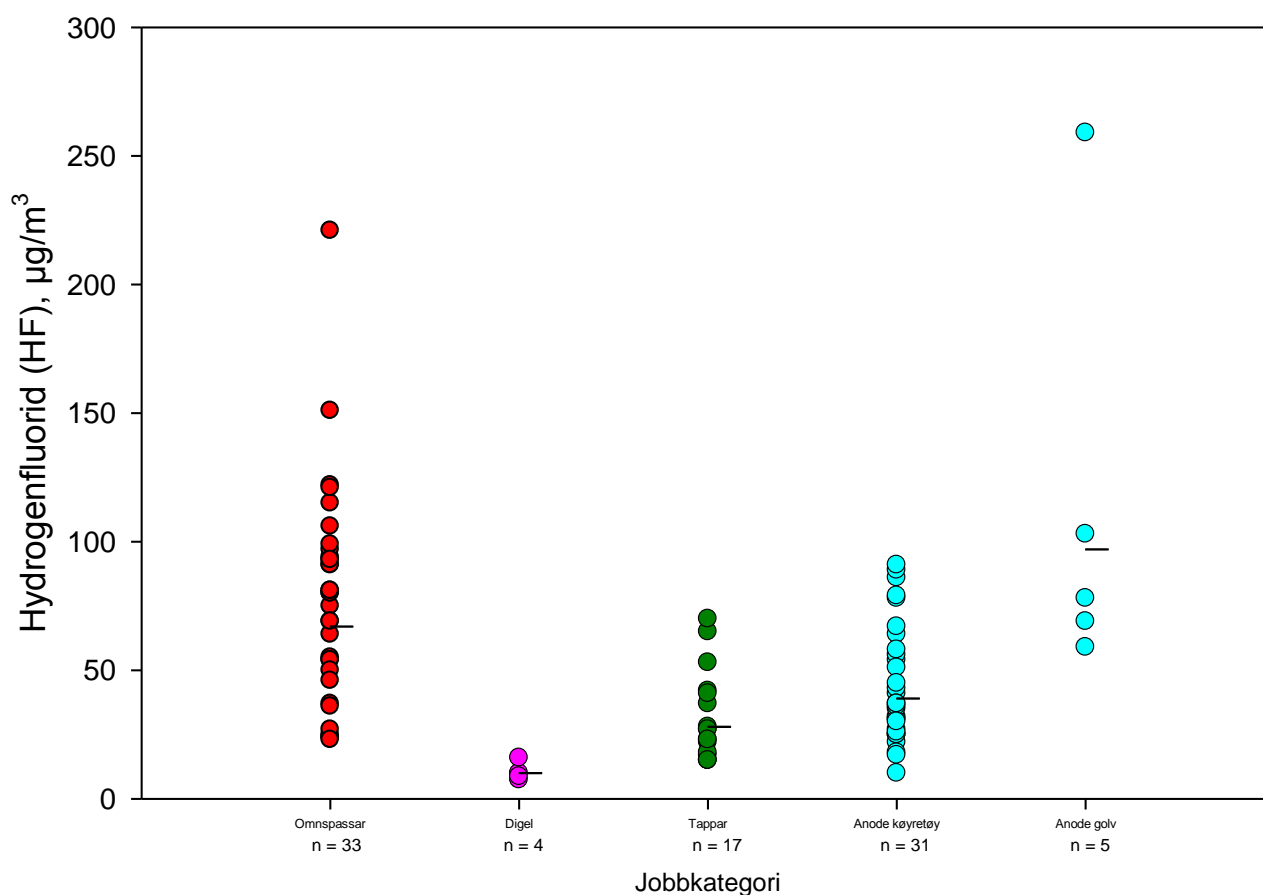
* $p < 0,05$

Tabell 12.10: Prosent vassløyeseleg fluorid av partikulært fluorid.

Parameter	Jobbkategori	n	GM	95% Konfidensintervall		Minimum	Maksimum
				Nedre	Øvre		
Prosent respirabelt vassløyeseleg fluorid av respirabelt partikulært fluorid	Omnspassar	37	64	61	68	40	85
	Digel	5	82	79	85	80	85
	Tappar	19	62	53	73	18	77
	Anode køyretøy	34	60	55	64	37	78
	Anode golv	5	61	45	81	44	83
	Alle	100	63	60	66	18	85
Prosent torakalt vassløyeseleg fluorid av torakalt partikulært fluorid	Omnspassar	37	60	57	64	35	80
	Digel	5	75	69	81	71	83
	Tappar	19	59	51	70	18	78
	Anode køyretøy	34	56	52	60	33	78
	Anode golv	5	58	48	70	47	71
	Alle	100	59	57	62	18	83
Prosent inhalerbart vassløyeseleg fluorid av inhalerbart partikulært fluorid	Omnspassar	37	51	48	54	31	67
	Digel	5	66	62	71	62	71
	Tappar	19	52	48	58	30	70
	Anode køyretøy	34	51	49	54	37	69
	Anode golv	5	49	42	57	41	56
	Alle	100	52	50	54	30	71

Kor stor del av det partikulære fluoridet som er vassløyeseleg er avhengig av kjelda til fluorideksponeringa. Til dømes vil aerosol frå badsmelta innehalde fluorid som ikkje let seg ekstrahere ut i vassfasen, med blir fastsett som lutløyeseleg fluorid. I tabell 12.10 viser det at det er ulik mengde vassløyeseleg fluorid avhengig av fraksjonane, 63 % for respirabel fraksjon, 59 % for torakal fraksjon og 52 % for inhalerbart fraksjon. Dette tyder på at dess finare aerosolen er, dess større del av det partikulære fluoridet er vassløyeseleg.

12.4. Gassar, HF og SO₂



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.

Generelt er eksponeringa for HF mindre enn 120 µg/m³. Jobbkategorien omnspassar har nokre einsskilte verdiar over dette nivået. Kategorien anode golv er den høgast eksponerte gruppa (97 µg/m³) medan digel er den lågast eksponerte gruppa (10 µg/m³).

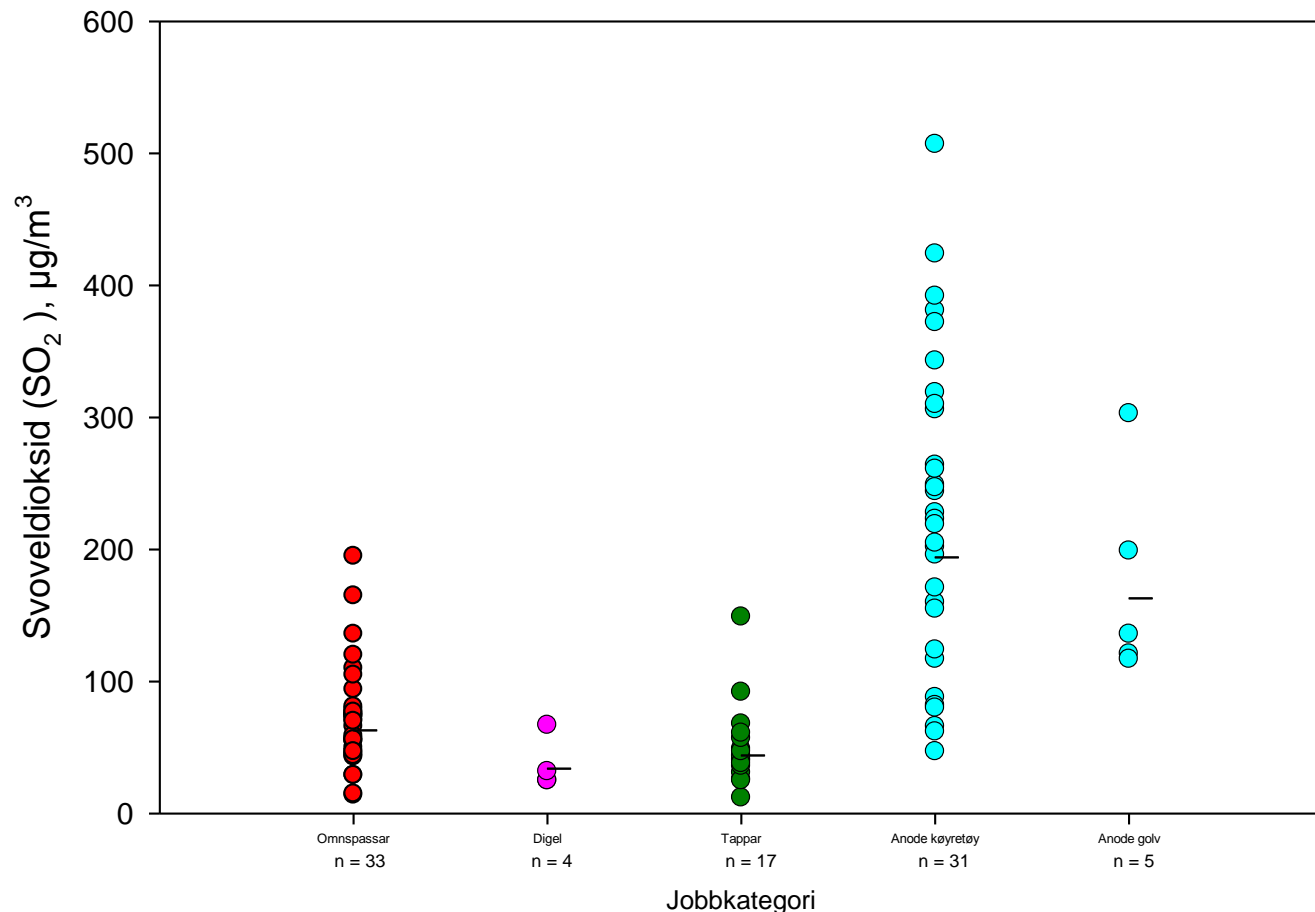
Tabell 12.11: Oversikt over kva jobbkategori der GM var signifikant* forskjellig for gassformig fluorid (HF).

Komponent	Jobbkategori	Signifikant* forskjellig frå jobbkategori
HF _(gass)	Omnspassar	Digel, Tappar, Anode køyretøy
	Digel	Omnspassar, Tappar, Anode køyretøy, Anode golv
	Tappar	Omnspassar, Digel, Anode golv
	Anode køyretøy	Omnspassar, Digel, Anode golv
	Anode golv	Digel, Tappar, Anode køyretøy

HF_(g) blir danna frå prosessen. Ein kan tenkje seg at eksponeringa er avhengig av opphaldstid ved opne bad. HF_(g) vil kunne adsorberast på aerosolen i hallatmosfæren og vil bli rapportert som partikulært fluorid. Som ei mogleg årsak til

* p<0,05
39

at jobbkategoriene anode golv og omnspassar har høgast nivå og størst spreing 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. Spesielt jobbkategorien omnspassar har arbeidsoppgåver som er samansatt av arbeid både i og utanfor ventilerte køyretøy.



Figur 12.19: SO₂ frå filter fordelt på jobbkategori. Talet på prøver er gjeve med bokstaven n og må ikkje forvekslast med talet på personar.

Kjelda til SO₂-gasseksponeringa er svovelet i anoden. Svovelinnhaldet i anoden vil kunne variere med råstoffet til anoden og då truleg variere frå batch til batch. Frå figur 12.19 har ein at lågast SO₂-eksponering var målt for digel (34 µg/m³) medan anode køyretøy har høgast eksponering (194 µg/m³) og størst spreing. Det er viktig å merke seg det relativt høge gjennomsnittsnivået og den store spreinga for jobbkategorien anode køyretøy. Anode køyretøy er den jobbkategorien med lågast bruk av vernemasker, sidan arbeidet blir utført frå ein lukka ventilert kabin.

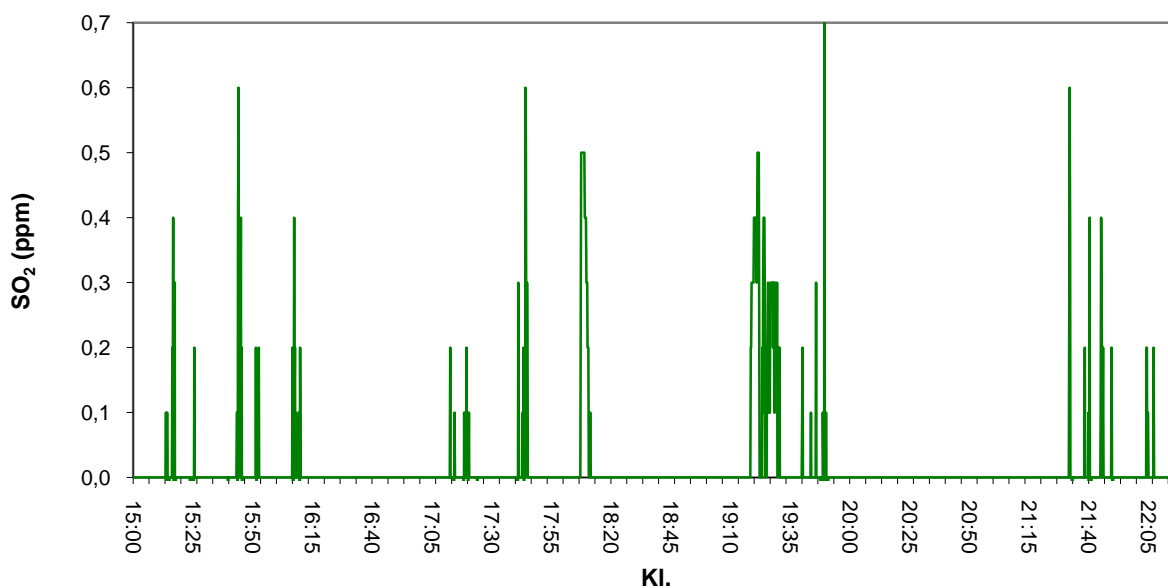
Tabell 12.12: Oversikt over kva jobbkategoriar der GM var signifikant* forskjellige for svoveldioksid (SO₂).

Komponent	Jobbkategori	Signifikant* forskjellig frå jobbkategori
SO ₂	Omnspassar	Digel, Tappar, Anode køyretøy, Anode golv
	Digel	Omnspassar, Anode køyretøy, Anode golv
	Tappar	Omnspassar, Anode køyretøy, Anode golv
	Anode køyretøy	Omnspassar, Digel, Tappar
	Anode golv	Omnspassar, Digel, Tappar

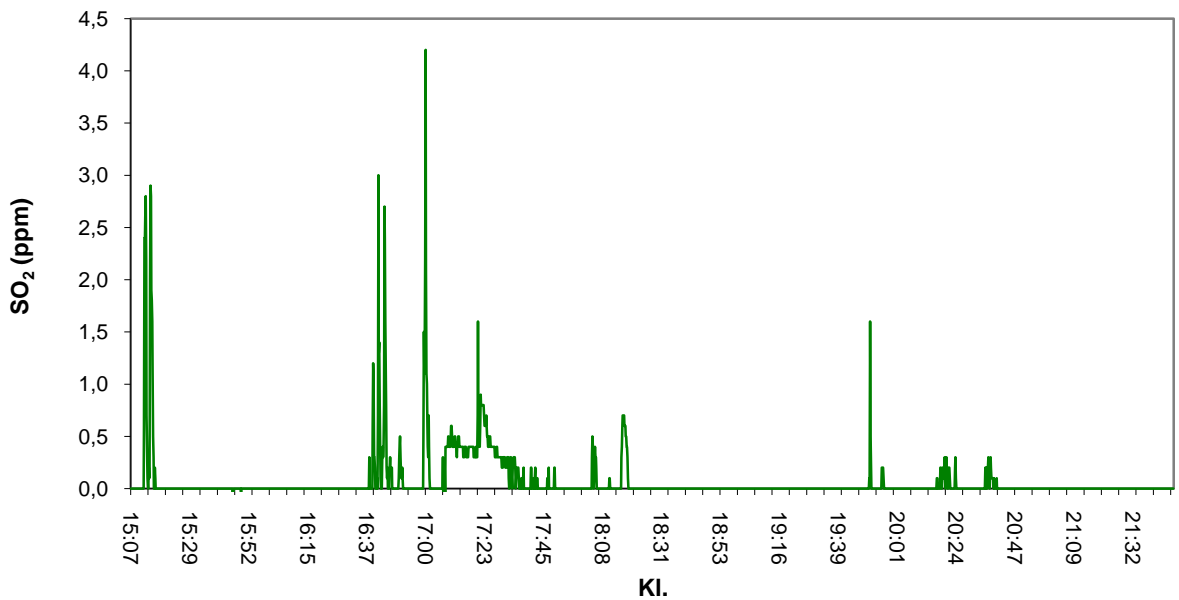
Jobbkategorien anodeskiftarar (både køyretøy og golv) har signifikant høgare eksponering enn alle dei andre kategoriane. Spreiinga er stort innan desse kategoriane.

12.4.1. Tidsoppløyste SO₂-målingar

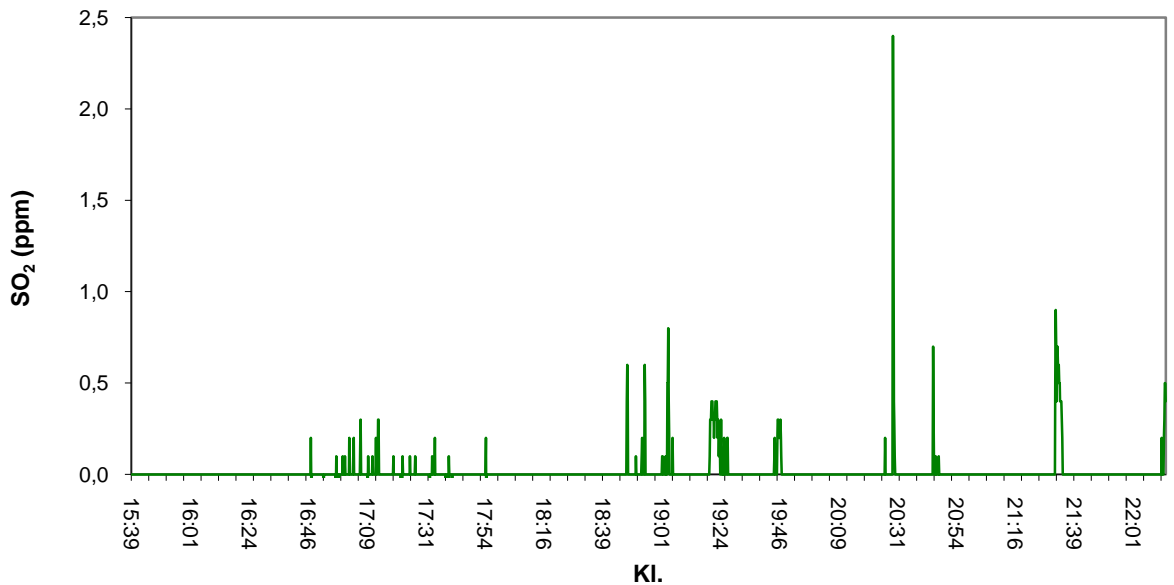
For å betre kunne forstå SO₂ eksponeringa vart det nytta direktevisande gassesensorar til kontinuerleg kunne monitorere konsentrasjonen av SO₂ over arbeidsskifta. Figurane 12.20-12.22 viser typiske variasjonsmålingar for tre ulike arbeidsoperasjonar. Eksponeringsmønstra for dei ulike arbeidsoperasjonar varierar og gassensorar er derfor eit viktig verktøy til å identifisere utsette arbeidsfunksjonar.



Figur 12.20: Tidsoppløyst SO₂ signal for tappar 12. mars 2003.

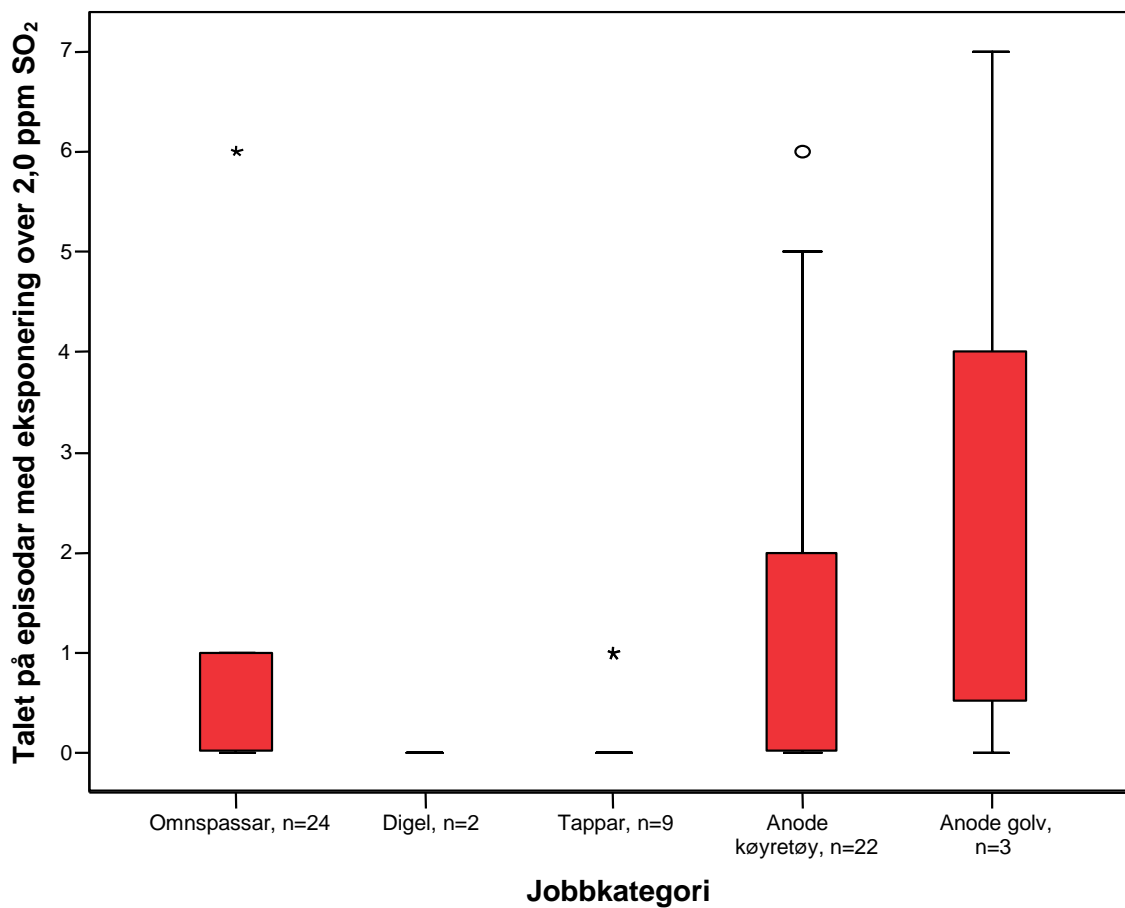


Figur 12.21: Tidsoppløyst SO₂ signal for anodeskiftar 13.mars 2003.



Figur 12.22: Tidsoppløyst SO₂ signal for omnspassar 14.mars 2003.

For å kunne vurdere dei tidsoppløyste SO₂-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 SO₂ i kvar episode. Figur 12.23 viser talet på episodar med verdiar over 2,0 ppm SO₂ fordelt på arbeidsoppasjonane. I figur 12.24 viser talet på sekund kor eksponeringa har vore over 2,0 ppm, fordelt på dei ulike arbeidsoperasjonane. I figur 12.25 er det gjeve dosen av desse episodane over 2,0 ppm fordelt på dei ulike arbeidsoperasjonane.



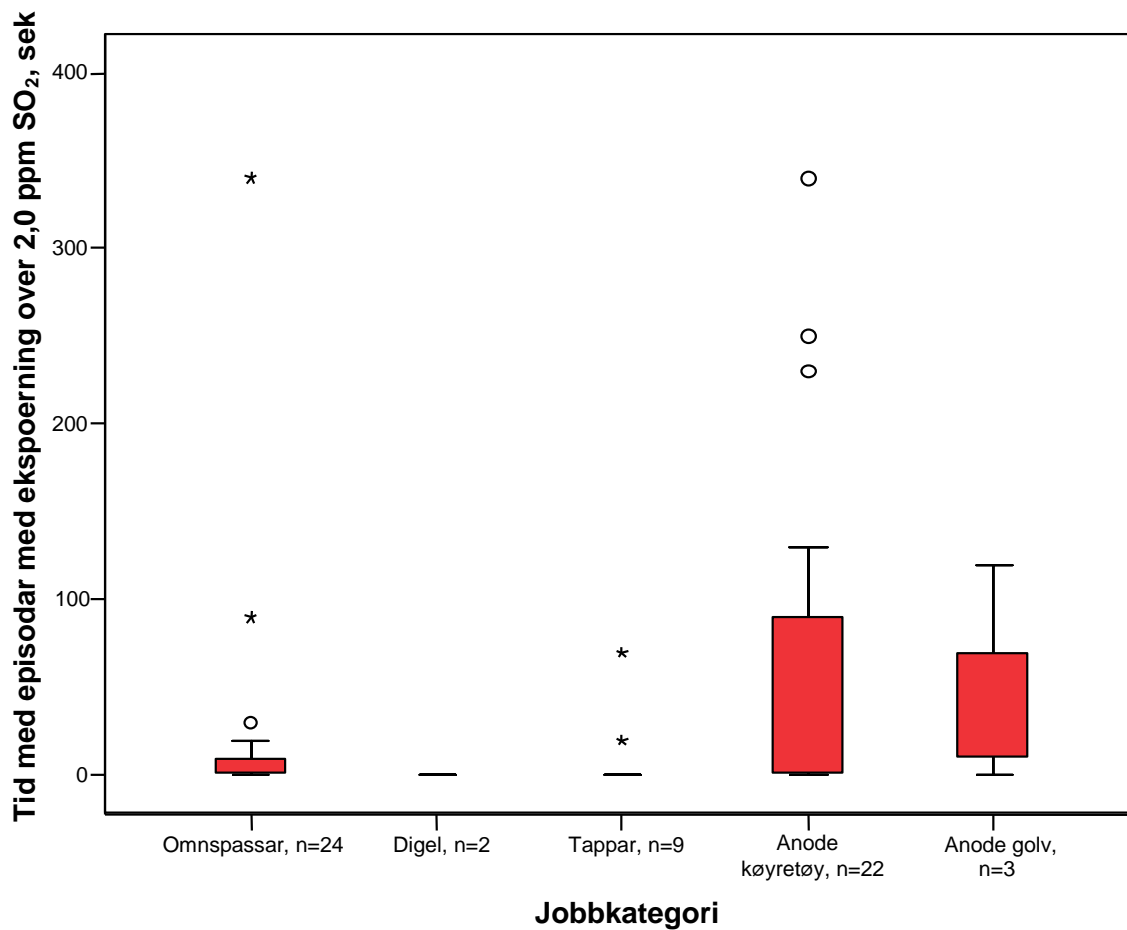
Figur 12.23: Boksplott av talet på eksponeringsepisodar med eksponering over 2,0 ppm SO₂.

Frå figur 12.23 ser ein at det er anodeskifar golv og anodeskiftar køyretøy som har flest episodar med eksponering over 2,0 ppm SO₂.



Foto: Karina Isaksen, SØRAL

Bilete 12.4: Tapping

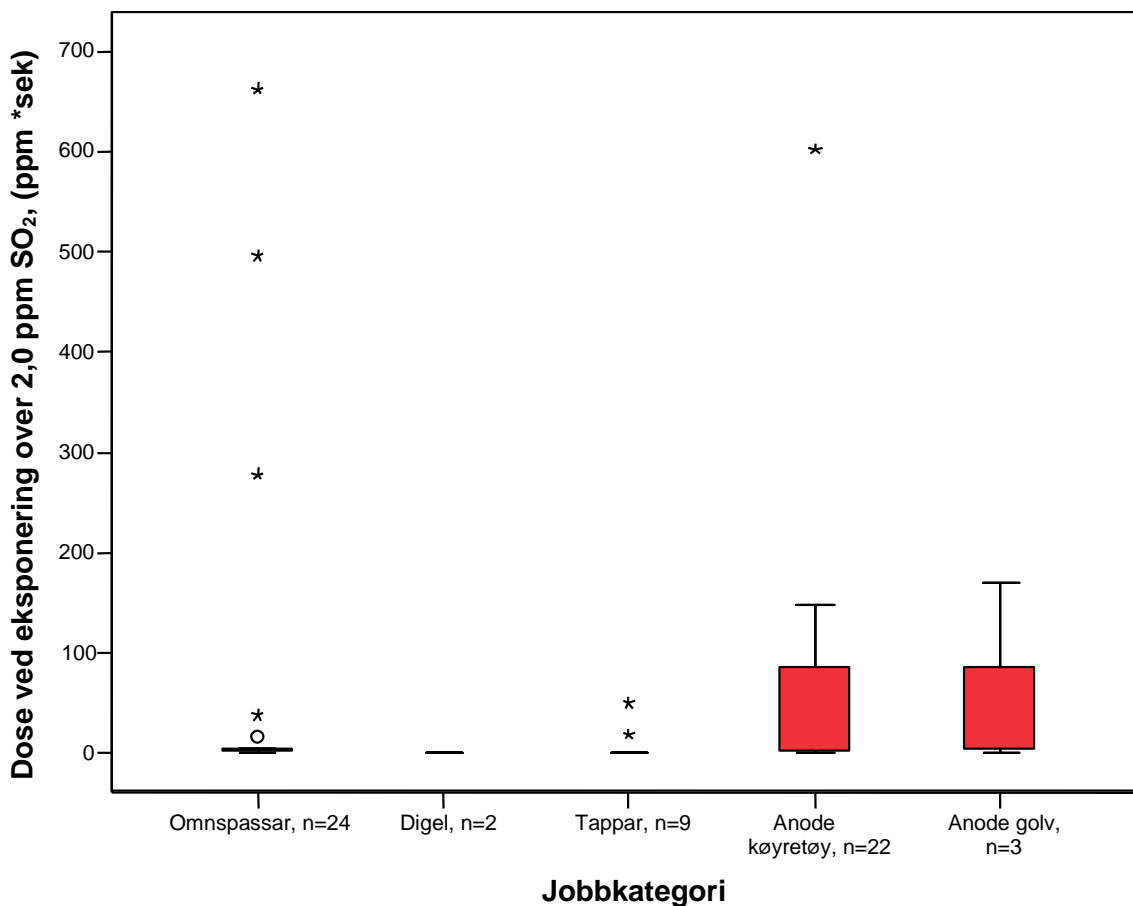


Figur 12.24: Boksplott av talet på sekund med eksponering over 2,0 ppm SO₂.



Foto: Karina Isaksen, SØRAL

Bilete 12.5: Digelverkstad operatør med direktevisande Respicon



Figur 12.25: Boksplott av dose (ppm *sekund) for eksponering over 2,0 ppm SO₂.

Gass-sensarar med logging er nyttige hjelpemiddel for identifisering av toppeksponeering og variasjonen av eksponeringa gjennom eit arbeidsskit. For alle gassloggarane er det rekna tidsoppløyste konsentrasjonsfigurar, gjennomsnittleg konsentrasjon (ppm) og maksimalverdi. I 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 over direktevisande SO₂ eksponeringsmålingar. Eksponeringsverdiar over 0,2 ppm, Aritmetisk middelverdi (AM).

Jobbkategori	Talet på målingar, n	Tal på episodar	Tid over, s	Dose, ppm*s
Omnspassar	24	16	719	306
Digel	2	2,5	50	6,5
Tappar	9	9,6	369	133
Anode kjøretøy	22	22	2800	1139
Anode golv	3	33	1620	739
Totalt	60	18	1452	597

Anode golv har flest episodar med eksponering for SO₂ over 0,2 ppm, medan digel har færrest episodar. Anode kjøretøy har lengst tid med eksponering over 0,2 ppm, og høgast dose.

Tabell 12.14: Oppsummering over direktevisande SO₂ eksponeringsmålinger. Eksponeringsverdier over 0,5 ppm, Aritmetisk middelvei (AM).

Jobbkategori	Talet på målinger, n	Tal på episodar	Tid over, s	Dose, ppm*s
Omnspassar	24	4,0	165	163
Digel	2	0	0	0
Tappar	9	2,6	93	60
Anode køyretøy	22	9,3	964	521
Anode golv	3	20	740	367
Totalt	60	6,4	471	284

Flest episodar med eksponering over 0,5 ppm blir vist for anode golv men anode køyretøy hadde større dose i toppane over 0,5 ppm. For digel vart det ikkje registrert toppar over 0,5 ppm for nokon av dei to målingane.

Tabell 12.15: Oppsummering over direktevisande SO₂ eksponeringsmålinger. Eksponeringsverdier over 1,5 ppm, Aritmetisk middelvei (AM).

Jobbkategori	Talet på målinger, n	Tal på episodar	Tid over, s	Dose, ppm*s
Omnspassar	24	0,8	41	79
Digel	2	0	0	0
Tappar	9	0,3	17	14
Anode køyretøy	22	2,3	126	112
Anode golv	3	3,3	67	88
Totalt	60	1,4	69	79

Anode golv hadde flest episodar (3,3) med eksponering over 1,5 ppm, medan episodane registrert for anode køyretøy varte lengre (126 sek. mot 67 sek.).

Tabell 12.16: Oppsummering over direktevisande SO₂ eksponeringsmålinger. Eksponeringsverdier over 2,0 ppm, Aritmetisk middelvei (AM).

Jobbkategori	Talet på målinger, n	Tal på episodar	Tid over, s	Dose, ppm*s
Omnspassar	24	0,6	22	63
Digel	2	0	0	0
Tappar	9	0,2	10	7,7
Anode køyretøy	22	1,5	64	62
Anode golv	3	2,7	47	58
Totalt	60	1,0	36	52

Anode golv hadde flest episodar med eksponering over 2,0 ppm, medan gjennomsnittelig tid for episodane for jobbkategorien anode køyretøy var større (64 sek mot 47 sek.)

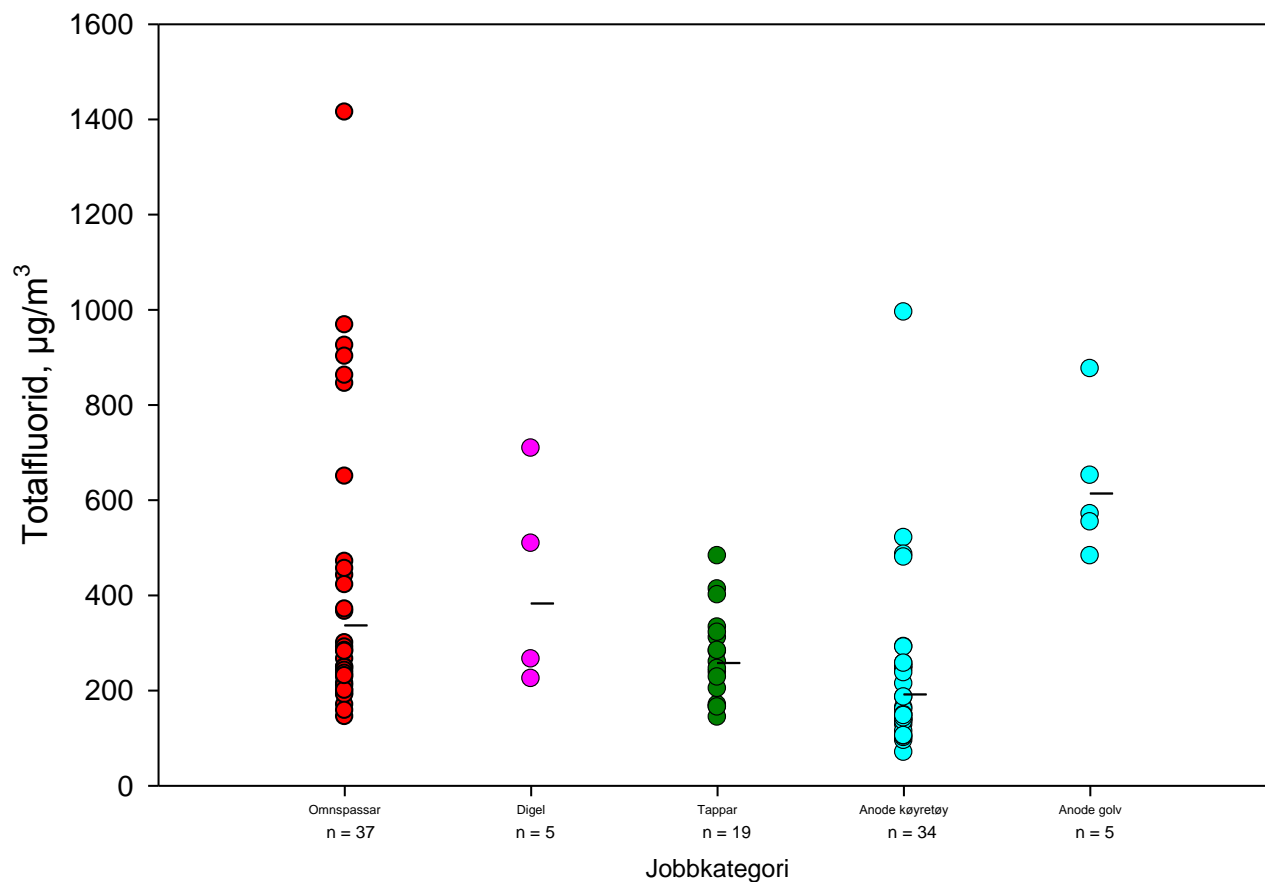
Tabell 12.17: Oppsummering over direktevisande SO₂ eksponeringsmålinger. Eksponeringsverdier over 5,0 ppm, Aritmetisk middelvei (AM).

Jobbkategori	Talet på målinger, n	Tal på episodar	Tid over, s	Dose, ppm*s
Omnspassar	24	0,2	2,9	22
Digel	2	0	0	0
Tappar	9	0	0	0
Anode køyretøy	22	0,2	5,0	12
Anode golv	3	0,3	6,7	20
Totalt	60	0,2	3,3	14

Flest episodar over 5,0 ppm eksponering hadde anode golv (0,3). Same jobbkategori hadde lengst tid i desse episodane (6,7 sek.).

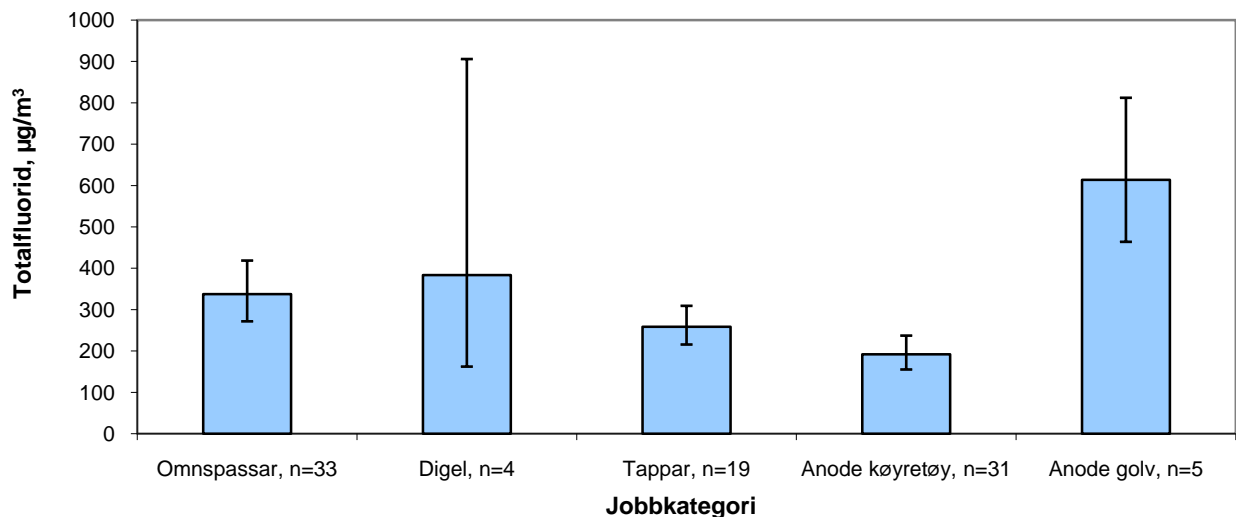
12.5. Totalfluorid

Totalfluorid er summen av gassformig fluorid frå impregnerte gassprøvetakarar og inhalerbart partikulært fluorid målt med Respicon.



Figur 12.26: Totalfluorid, som er summen av inhalerbart 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.

Den høgste gjennomsnittlege eksponeringa er det jobbkategorien anodeskiftar golv som har ($614 \mu\text{g}/\text{m}^3$), medan anode køyretøy har den lågaste eksponeringa med $192 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Spreiinga er stor, spesielt for jobbkategorien omnspassar.



Figur 12.27: Geometrisk middelverdi, GM med 95 % konfidensintervall for totalfluorid (summen av gassformig og partikulært fluorid).

Ved å samanlikne dei geometriske gjennomsnittsverdiene statistisk får ein kva jobbkategoriar som hadde signifikant forskjellig eksponering, oppsummert i tabell 12.18.

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

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

Av tabell 12.18 ser ein at jobbkategorien anode køyretøy skil seg ut som signifikant* forskjellig frå alle dei andre jobbkategoriane enn tappar. I dette tilfellet er anode golv signifikant* lågare eksponert enn alle dei andre gruppene enn tappar. Anode golv skil seg også ut ved å ha signifikant* høgare eksponering enn alle dei andre gruppene utanom digel. Det er derfor klart å sjå at for dei gruppene ein berre har nokre få målingar (digel 4 målingar og anode golv 5 målingar) har kvar einskild verdi stor påverknad på spreingsmålet, jf. figur 12.27 gjeve ved 95 % konfidensintervallet.

Det vart i tillegg utprøvd ein HF sensor. Denne viste seg ikkje å ha god nok oppløysning og respons til at ein kan nytte for dei konsentrasjonsområda som ein har i denne industrien.

* $p < 0,05$

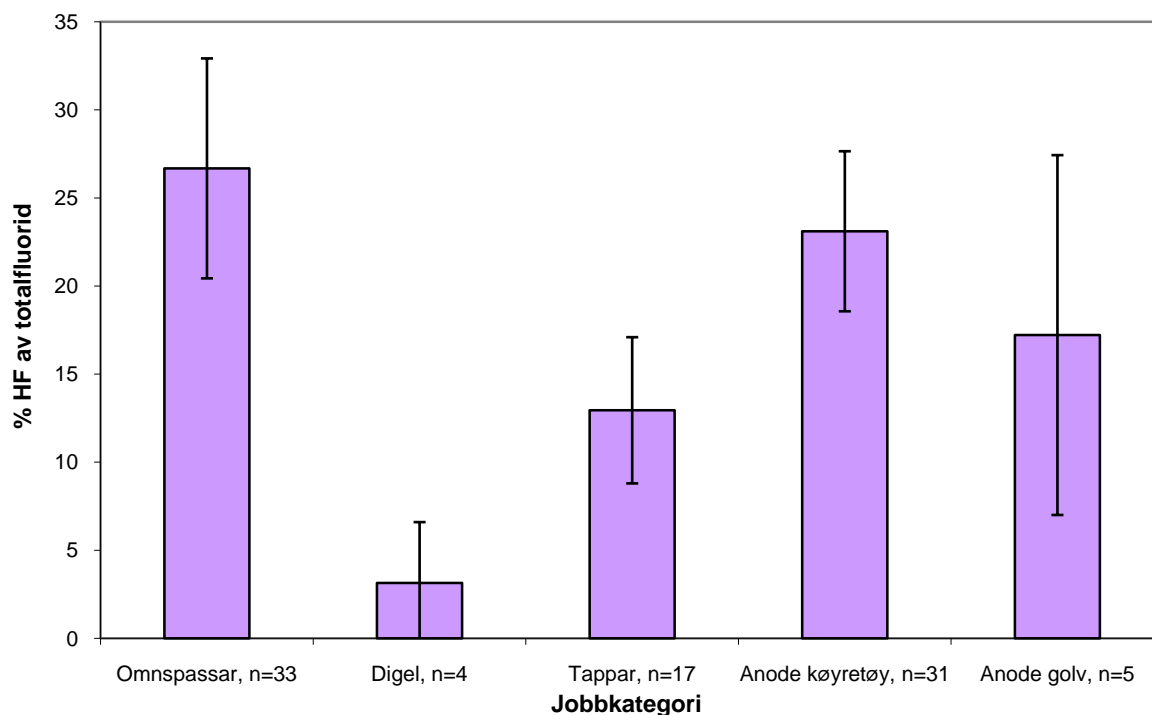


Fig. 12.28: Prosentdel HF av totalfluorid fordelt på jobbkategori med 95 % konfidensintervall.

Figur 12.28 viser den at gassformig fluorid hadde størst bidrag til den totale fluorideksponeringa for gruppa omnspassarar (27 % av totalfluoridet), medan for jobbkategorien digel var det gassformige bidraget lite (3 % av totalfluoridet).

Det var ein teoretisk sjanse for å danne NO_2 i elektrolyseprosessen. Prosjektet nytta derfor direktevisande NO_2 -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_2 eksponering ikkje var mogleg å fastsetje for dei arbeidsoperasjonane som vart undersøkt i dette prosjektet.

12.6. Personvariasjon

Fleire av resultatane kommer frå målingar på same person over fleire dagar. Ein ynskta 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 for. Ved å sjå på det relative standardavviket (Relativt standardavvik [RSD] = $(\text{standardavvik}[s]/\text{gjennomsnittet [AM]} \times 100 \%)$) mellom målingane for same person, kan ein estimere kor stor spreiding i resultat ein kan forvente når ein tek eksponeringsmålingar på ein tilfeldig dag.. Torakal aerosol var valt ut som komponent til å illustrere dette i figur 12.29. Ingen i jobbkategorien anode golv hadde denne jobbfunksjonen i tre skift i løpet av prøvetakingsperioden. Alle personvariasjonsmålingane for kategorien anode køyretøy/golv er samansatt av to målingar med som anode køyretøy og ei måling som anode golv.

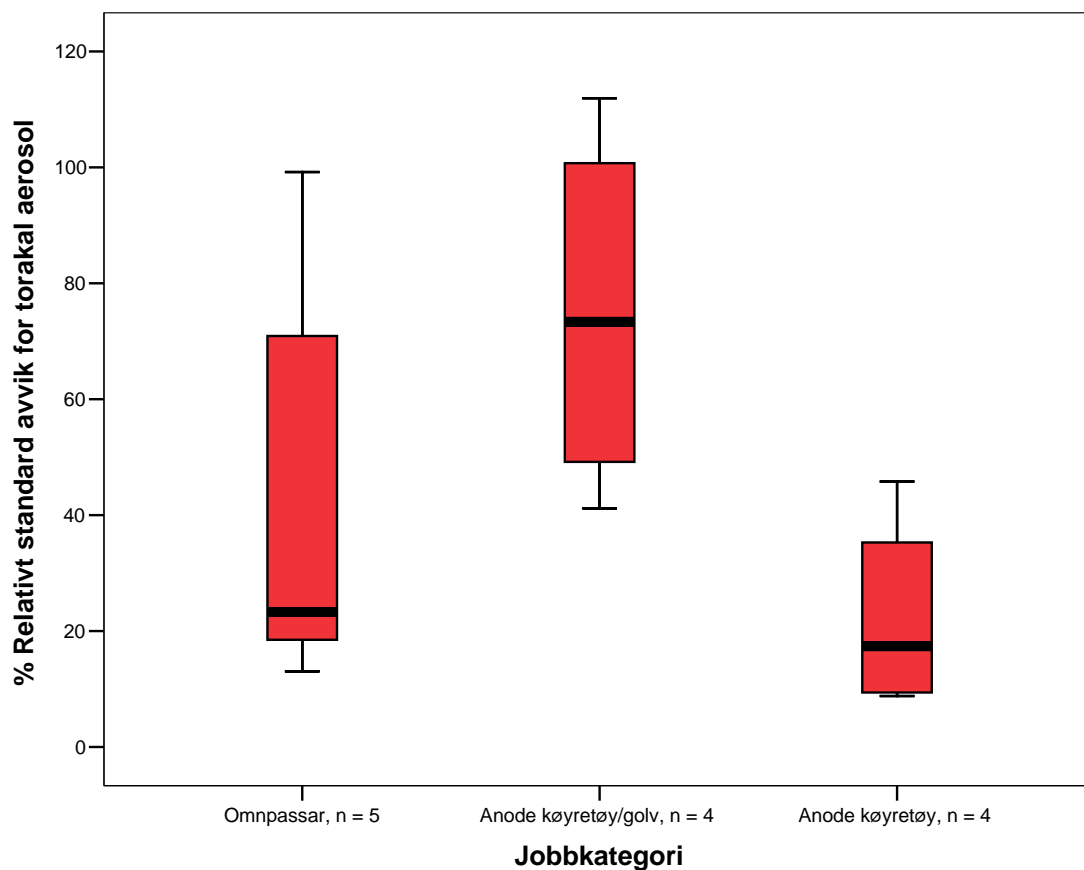


Fig. 12.29: Dag til dag variasjon for same personane.

Av fig. 12.29 ser ein at det er størst dag til dag variasjon for jobbkategorien anode køyretøy/golv, med ein gjennomsnittleg (AM) verdi på om lag 75 %. Medan for anode køyretøy var den tilsvarande verdien 22 %.

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

Komponent	Jobbkategori	n	GM	95 % Konfidensintervall	
				Nedre	Øvre
Inhalerbar aerosol, IOM, mg/m ³	Omnspassar	34	2,7	2,0	3,7
	Digel	5	3,1	2,2	4,2
	Tappar	17	2,3	1,6	3,1
	Anode køyretøy	31	2,0	1,5	2,8
	Anode golv	5	4,0	3,1	5,3
	Total	92	2,4	2,1	2,9
Inhalerbart vassløyseleg fluorid, IOM, µg/m ³	Omnspassar	33	178	128	247
	Digel	5	291	218	389
	Tappar	17	152	113	205
	Anode køyretøy	31	152	125	186
	Anode golv	4	320	237	433
	Total	90	173	149	201
Respirabel aerosol, Respicon, mg/m ³	Omnspassar	37	0,23	0,20	0,27
	Digel	5	0,30	0,15	0,61
	Tappar	19	0,23	0,18	0,29
	Anode køyretøy	34	0,21	0,19	0,24
	Anode golv	5	0,49	0,18	1,4
	Total	100	0,24	0,22	0,26
Torakal aerosol, Respicon, mg/m ³	Omnspassar	36	0,54	0,43	0,67
	Digel	5	0,90	0,53	1,5
	Tappar	19	0,57	0,44	0,74
	Anode køyretøy	34	0,47	0,38	0,57
	Anode golv	5	1,1	0,66	1,8
	Total	99	0,55	0,49	0,62
Inhalerbar aerosol, Respicon, mg/m ³	Omnspassar	36	1,6	1,2	2,1
	Digel	5	2,0	1,2	3,3
	Tappar	19	1,7	1,3	2,1
	Anode køyretøy	34	1,1	0,87	1,3
	Anode golv	5	2,9	1,9	4,4
	Total	99	1,5	1,3	1,7
Vassløyseleg respirabelt fluorid, Respicon, µg/m ³	Omnspassar	37	31	26	37
	Digel	5	51	41	63
	Tappar	19	22	18	26
	Anode køyretøy	34	26	21	31
	Anode golv	5	54	38	77
	Total	100	29	26	32
Vassløyseleg torakalt fluorid, Respicon, µg/m ³	Omnspassar	37	60	48	74
	Digel	5	138	90	211
	Tappar	19	53	43	65
	Anode køyretøy	34	41	33	50
	Anode golv	5	125	119	130
	Total	100	55	49	63
Vassløyseleg inhalerbart fluorid, Respicon, µg/m ³	Omnspassar	37	124	98	158
	Digel	5	247	139	441
	Tappar	19	121	100	146
	Anode køyretøy	34	74	60	93
	Anode golv	5	252	206	309
	Total	100	111	97	128

Komponent	Jobbkategori	n	95 % Konfidensintervall		
			GM	Nedre	Øvre
Partikulært respirabelt fluorid, Respicon, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Omnbspassar	37	48	40	58
	Digel	5	62	51	75
	Tappar	19	35	30	42
	Anode køyretøy	34	43	36	52
	Anode golv	5	89	59	136
	Total	100	46	41	51
Partikulært torakalt fluorid, Respicon, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Omnbspassar	37	99	78	126
	Digel	5	185	117	291
	Tappar	19	88	73	107
	Anode køyretøy	34	72	60	87
	Anode golv	5	215	185	249
	Total	100	93	83	106
Partikulært inhalerbart fluorid, Respicon, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Omnbspassar	37	245	187	322
	Digel	5	372	205	677
	Tappar	19	230	191	277
	Anode køyretøy	34	145	116	181
	Anode golv	5	512	402	651
	Total	100	215	186	248
Gassformig fluorid, HF, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Omnbspassar	33	67	55	82
	Digel	4	10	6	17
	Tappar	17	28	22	36
	Anode køyretøy	31	39	32	47
	Anode golv	5	97	47	200
	Total	90	44	38	51
Svoveldioksid, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Omnbspassar	33	63	51	77
	Digel	4	34	16	71
	Tappar	17	44	33	58
	Anode køyretøy	31	194	154	243
	Anode golv	5	163	99	270
	Total	90	89	74	106
Totalfluorid, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Omnbspassar	33	337	272	419
	Digel	4	383	162	906
	Tappar	17	258	216	309
	Anode køyretøy	31	192	155	237
	Anode golv	5	614	464	812
	Total	90	275	241	313