



Eksponeringskartlegging ved norske aluminiumverk

Delrapport for Hydro Aluminium Karmøy

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

Innhaldsliste:

1.	Samandrag	3
2.	Konklusjon	4
3.	Bakgrunn for prosjektet	5
4.	Mål for prosjektet	6
5.	Definisjonar og forklaringar.....	7
5.1.	Støv og aerosolfraksjonar.....	7
5.2.	Helserelaterte aerosolfraksjonar.....	8
5.2.1.	Inhalerbar aerosol fraksjon (f_{inh}).....	9
5.2.2.	Torakal aerosol fraksjon (f_{tor})	9
5.2.3.	Respirabel aerosol fraksjon (f_{res})	9
5.2.4.	Trakeobronkial aerosolfraksjon	9
5.2.5.	Ekstratorakal aerosolfraksjon	10
5.3.	Definisjonar av statistiske uttrykk:	11
5.3.1.	Normalfordeling	11
5.3.2.	Standard avvik.....	11
5.3.3.	Konfidensintervall	11
5.3.4.	Log-normal fordeling.....	11
5.3.5.	Geometrisk middelverdi, GM	11
6.	Om Hydro Aluminium Karmøy (HAK)	12
7.	Prøvetaking	14
7.1.	Prøvetakingsstrategi.....	14
7.2.	Aerosolprøvetakarar	14
7.2.1.	IOM.....	14
7.2.2.	Respicon™ virtuell impaktor	15
7.2.3.	Respirabel og torakal syklon	15
7.2.4.	Direktevisande Respicon og Split 2	15
7.2.5.	Gassfilter	16
8.	Prøver samla med dei ulike prøvetakarane	17
9.	Analysemetodar.....	17

9.1. Gravimetri	17
9.2. Fastsettjing av fluorid.....	18
9.2.1. Vassløyseleg fluorid.....	18
9.2.2. Lutløyseleg fluorid.....	18
9.2.3. Partikulært fluorid.....	18
9.2.4. Gassar, HF og SO ₂	18
9.2.5. Totalfluorid	19
10. Instrumentering.....	19
11. Kvalitetssikring.....	19
12. Resultat og diskusjon.....	19
12.1. Aerosol.....	20
12.1.1. Aerosoleksponering	20
12.1.2. Direktevisande utstyr for aerosolmålingar	28
12.2. Resultat vassløyseleg fluorid	33
12.3. Resultat partikulært fluorid.....	39
12.4. Gassar, HF og SO ₂	44
12.4.1. Hydrogenfluorid (HF)	44
12.4.2. Sroveldioksid (SO ₂)	45
12.4.3. Tidsoppløyste SO ₂ -målingar.....	46
12.5. Totalfluorid	50
12.6. Personvariasjon	53
12.7. Eksponering ved ulike arbeidsstadar.....	54
13. Referansar	57
14. Appendiks	59

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 24.mars – 3.april 2003. Eksponeringsnivåa for aerosol og gassar vart undersøkt med forskjellig utstyr og for dei mest aktuelle jobbkategoriene.

I alle Respiconprøvene vart både vassløyseleg og partikulært og fluorid fastsett.

Prosjektet nytta prøvetakingsutstyr som fylgjer dei internasjonalt aksepterte kriteria for helserelaterte aerosolfraksjonar. Totalt ved Hydro Aluminium Karmøy vart det tatt eksponeringsprøver av 109 person. I den grad det var praktisk mogeleg vart det tatt fleire eksponeringsprøver av same person. Av dette har ein 167 eksponeringsprøver tatt med IOM kassett, 200 eksponeringsprøver tatt med Respicon, 166 prøver av eksponeringa for HF og SO₂ og 18 eksponeringsprøver med respirabel syklon. I tillegg vart det nytta ekstraksjonsmetodar for å kunne fastsetje fluorid med ulike kjemisk sambinding i aerosolen.

Resultata viser at der er stor spreininga i luftkonsentrasjonar over heile arbeidsskiftet og at toppeksponering over kortare tid er den største utfordringa for industrien. Jobbkategorien anodeskiftar er den høgste eksponerte jobbkategorien.

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

Direktevisane gass- og aerosolutstyr 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 minimalisere personeksponering.

2. Konklusjon

Av alle komponentane som ein har føretatt eksponeringsmålingar på er det den total fluorid som skil seg ut som ei utfordring. Størsteparten av aerosoleksponeringa er ekstratorakal (totalt 67 %) for dei høgast eksponerte jobbkategoriane. For vassløyseleg fluorid er det relativt sett meir torakalt vassløyseleg fluorid (totalt 52 %). For partikulært fluorid er mest ekstratorakalt partikulært fluorid (totalt 62 %). Felles for aerosolar og fluoridkomponentane er at der er stor individuell spreiing mellom målingane. Resultata for HF viser at mengdene er små samanlikna med mengda partikulært fluorid. Største bidraget til fluorideksponering kjem derfor frå dei partikulære fluoridfraksjonane og ikkje frå gass.

Der er svært store spreiinga i eksponeringa innanfor ein arbeidsoperasjon, noko som kan tyde på at einskilde operasjonar gjev svært høg eksponering. Personvariasjonen viser at det er stor variasjon (35 - 60 %) mellom dagar for same person.

For å kunne redusere den totale eksponeringa må episodeeksponeringa reduserast. Sidan eksponeringa for det meste er knytt til korttidsekspesponering er det viktig å redusere både talet på episodar og aerosolmengda i desse korttidsekspesponeringane.

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

3. Bakgrunn for prosjektet

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 manglende 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 føreslattre revisjonen av administrative normene for HF og fluorid, den mogeleg 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 (monitorerast) parallelt med aerosoleksponering. Intensiteten av SO₂ vert fastsett med berbare gass-sensorar
 - Undersøkje innverknad av teknologi og driftsparametrar for yrkeseksposering i elektrolysehallane
 - Fastsetjing av totalmasse, vassløyselige 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 utarbeidning 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 vitskapleg 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 naturlig danna aerosolar er t.d. snøstorm, skyer etter eit vulkansk utbrot, tåke, og vanlige skyer. Sopp, virus og bakteriar i luft blir også rekna som naturleg førekommende aerosolar, medan lufta i ein fabrikkhall vil være ein menneskeskapt aerosol.

Det som vert kalla **støv** er eigentlig definert som ein aerosol av berre faste partiklar som ved mekanisk nedbrytning har fått ein partikelstorleik frå sub- μm til $100\mu\text{m}$ (JEM, 2005,7,411-415). Partiklar i væskefasen 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 totalstøvkassett. 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 tilrar 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 nyttar til PM₁₀-målingar er konstruert slik at de utelett 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 helserelaterte aerosolfraksjonar

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

5.2. Helserseterte 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 forklaraast ut frå den aerodynamiske diameteren (d_{ae}) til den einskilde partiklen. Desse arbeida kulminerte 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 helserseterte 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 lungefisiologi. Fig. 5.1 viser oppsamlingseffektiviteten i prosent for dei ulike helserseterte 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})

Denne 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})

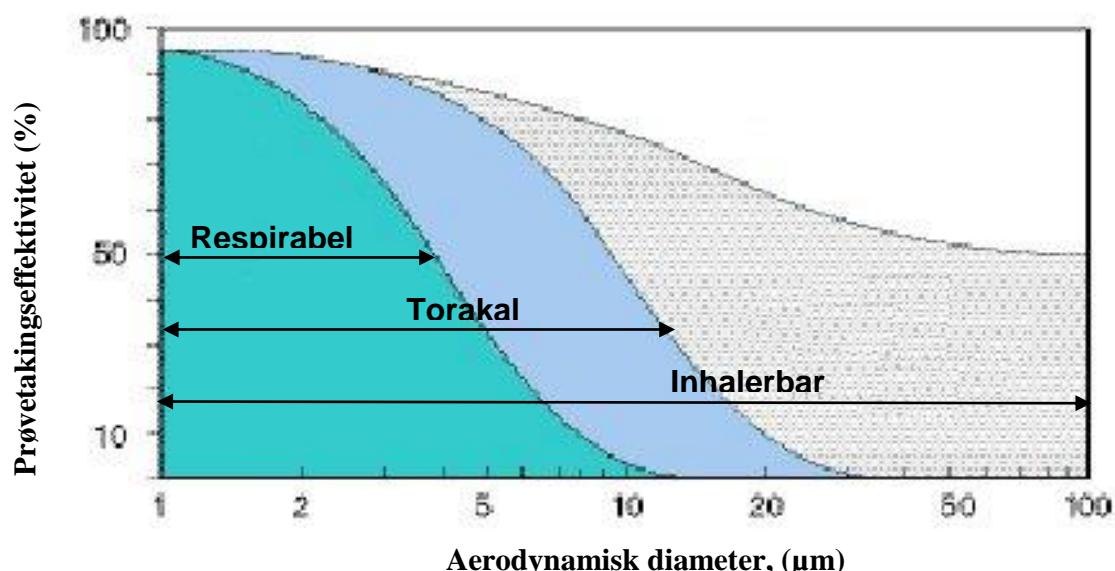
Denne fraksjonen inneheld partiklar som kan avsetjast nedanfor strupehovudet (larynx) dvs. at dei trenger inn i den trakeobronkiale delen av lungene. Denne fraksjonen er viktig når det gjelde helseeffektar som astma, bronkitt og lungekreft. Partikelstorleiken tilsvarer fraksjonen av den totale aerosolen 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.

Partikelstorleiken 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.



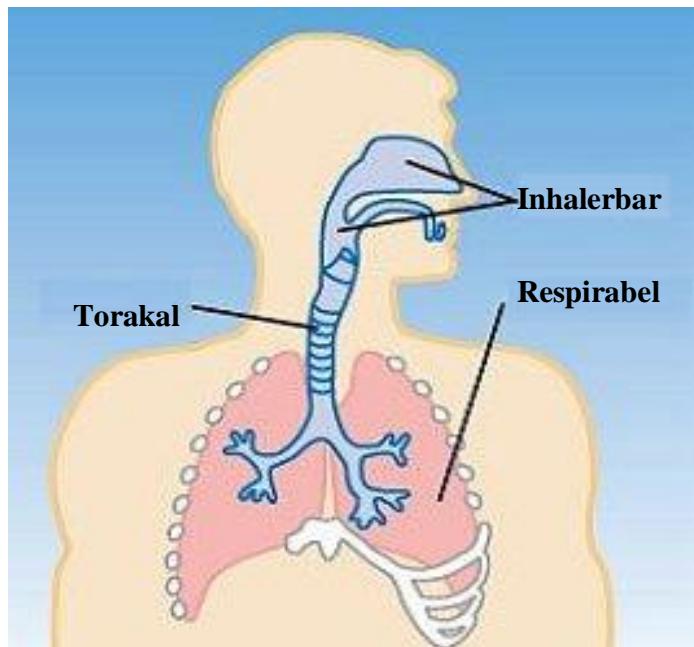
Figur 5.1: Kurver som viser respirabel og torakal aerosolfraksjon som funksjon av aerodynamiske diameter, og som underfraksjon av inhalerbar fraksjon, NS-EN 481.

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 partikelstorleiken 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 helserelaterte 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 forureininger 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 helserelaterte aerosolfraksjonane.

5.3. Definisjonar av statistiske uttrykk:

Forklaringane er tatt frå Miller and Miller, 1993.

n = talet av prøver

AM = Aritmetisk middelverdi
som er summen av alle måleresultata delt på talet på prøver.

5.3.1. Normalfordeling

Ved å plotte alle måleresultata i stigande rekkefølgje 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 middelverdien 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 kvadratrota av variansen og fortel noko om kor mykje resultata spreiar seg frå middelverdien.

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

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 middelverdien.

5.3.3. Konfidensintervall

Konfidensintervallet nytta i denne rapporten er på 95 %. Dette betyr at det er 95 % sannsynlighet for at middelverdien 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 middelverdi, GM

GM er middelverdien i et datasett der ein brukar logaritmen til måleresultata. Tar ein antilog av den logaritmiserte middelverdien får ein geometrisk middelverdi. Denne verdien er den som best representerar målingane i HAPPA fordi dei ikkje er normalfordelte.

6. Om Hydro Aluminium Karmøy (HAK)

Tabell 6.1: Teknologioversikt

Emne	Hall A/B	Hall C-D-E-F
Teknologi	Punktmeta Søderberg (340 celler)	Prebake
	Brennarar 2	Avsug på omn
Blussfrekvens	$1,0 \pm 0,1$ pr. døgn pr. omn	0,03 – 0,04 pr. døgn pr omn
Straumstyrke	133 kA	194,5 kA
Ventilasjonssystem	<p>Hallgassvask i tunnel 4 av 5 seksjonar pr. hall 1 seksjon med hallgassvask i tårn utanfor (sjøvatn) Tvungen ventilasjon – 56 ventilatorar</p> <p>Reinseanlegg (primærgass): 3 stk reinseanlegg: 2 stk 20 % 1 stk 60 % Tørreins med påfylgjande våtvask (sjøvatn) Lufta hallgass 17 mill Nm³/h Primærgass 270 000 Nm³/h alle anlegg</p>	<p>Hallgass: Naturleg oppdrift –spalte i tak</p> <p>Reinseanlegg: 3 stk reinseanlegg med tørreins, våtvask (sjøvatn)</p> <p>Luftmengde: K3 (C1-2 og D1-2): 650 000 Nm³/h K4 (C3-4 og D3-4): 650 000 Nm³/h K5 (E og F): 403 000 Nm³/h</p>
Oksid	Sekundær	Sekundær

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

Jobbkategori:	Arbeid utført:
Omnspassar	Bluss, raking av celle, kosting, kostemaskin, dekking frå golv, slått endar, stukke brennarar, soping av oksid, dekking av celler, opna rakt ei celle m/mye sot, køyrt endebrekker, køyrt oksid, målt temperaturar, skifta ventil på spett på cella, reingjering, endesjekk- slå ned endar, raking av endar, endebrekking, slått raudbrekk, slått ned celler med soda, sjekking av pumpematingsutstyr, knust badkøyring, kjeller ved oppstart, stukke celle, køyrt knust bad

Tab. 6.2 fots.

Jobbkategori:	Arbeid utført:
Gasskappeskiftar	Skifta gasskappe frå golv, køyrt BOBCAT, tetting, litt i køyretøy, meisling
Tappar	Tapping, oppstart, klargjering, meisling av tappehol/tappebas, kryssing, skifta digle, legg (tapperøyr), skifte krus, skifta utblåsingrsøyr, skiftet innerrøyr, demontering av krus, meisla krus, oppe y-bend, kontroll CO king filter, bytta filter i aircondition, gjort reint knust bad ved tobber, skifta vakuumslange, truckkøyring, køyring av soda, støvsuging, vasking av tappevogn, klargjort ei vogn, drivstoff, digelrom: skiftet legg, meisla opp bendet
Anodeskiftar	Anodeskift, anodeskift frå gesims, kran og golv, anode fresing, kryssing på golv, dekking frå golv, dekking tappehol, heildekking, kontroll, raking av anodar, raking i holet, støvsuging, stativrydding, staura, målt metall, fresing i holet, fresing av holl/meisling, skimming/soting, stauring av tappehol (for å få bort soten før metall), deformasjonsmåling, truckkøyring, bortkøyring av kol, dekkceller, slått tappehol, kosting, kosting bak dekkceller, oppstart bluss, bluss, deksel på oppstartsomn, sopning, vask av støvsuger, kvadrantar, skifte av silo, kjent på kol
Oksidkøyrar	Oksidkøyring, køyring av kombivogn, dosemåling, reingjering under silo
Digelrens	Digelrens, fresing, boring, fresing av krus og røyr, fresing av digler, fresing av tapperøyr, montering/demontering av tappedigler og baddigler

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 påfylgjande 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 syklon
- 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 noe utsett for sprut/punktstøving, kjensleg for vindretning og vindhastighet over et visst nivå, og den måler berre den inhalerbare aerosolfraksjonen.

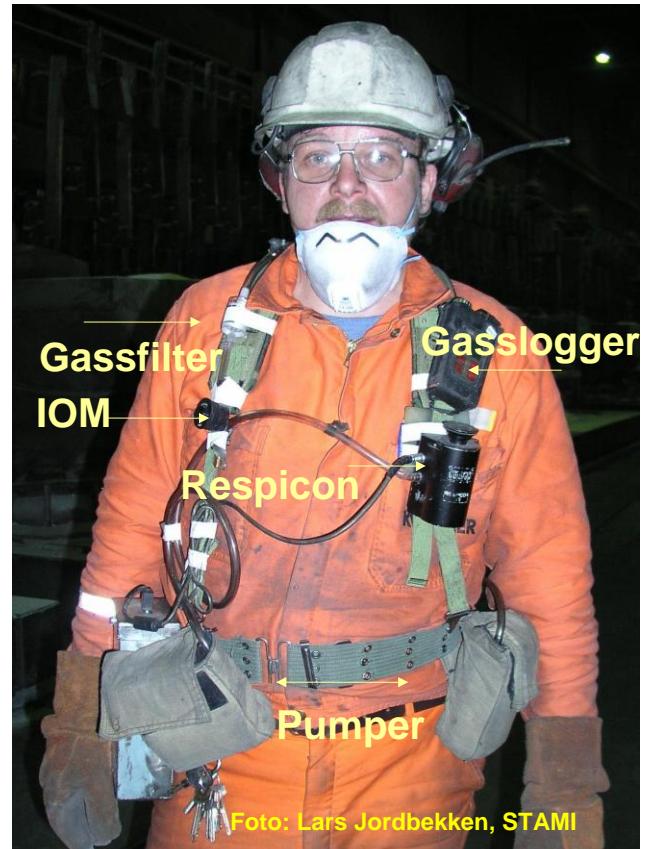
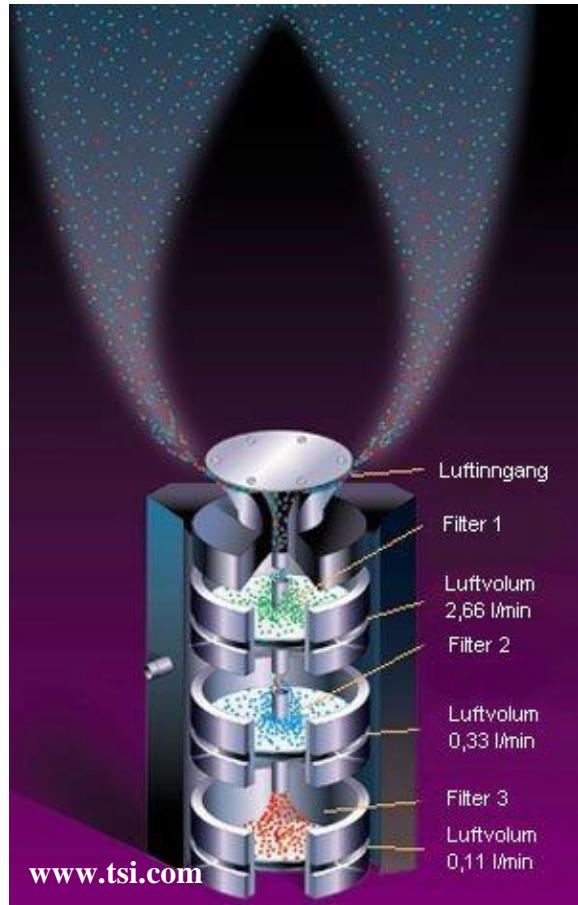


Fig. 7.1: Ein arbeidstakar med prøvetakingsutstyr

7.2.2. Respicon™ virtuell impaktor

Prøvetakaren samlar opp aerosol på tre filter med diameter på 37 mm, som gjer det mogeleg å fastsetje dei helserelaterte (respirable, torakale og inhalerbare) aerosolfraksjonane. Total luftstraum gjennom prøvetakaren skal vere 3,11 L/min, og ulik luftstraum gjennom kvart filtersteg og utforming 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 (fig. 7.2) er testa ut som ein stasjonær prøvetakar til å fylge kriteria for inhalerbar aerosol (Li et al., 2000). Det er vist i t.d. nikkelindustrien på Kola (Russland) at Respicon kan nyttast som n personleg prøvetakar dersom ein brukar ein korreksjonsfaktor for den ekstratorakale fraksjonen (Koch, et al., 2002). Ein slik korreksjonsfaktor må etablerast for den spesifikke industrien, fordi fordelinga mellom dei ulike partikkelsektorleikane kan vere forskjellig mellom ulike industriar. Prosjektet må derfor ta parallelle prøver med Respicon og IOM for å finne ein riktig korreksjonsfaktor for aluminiumindustrien.



Figur 7.2. Respiconprøvetakar

7.2.3. Respirabel og torakal syklon

Syklonar er ein annen type prøvetakingsutstyr som baserer seg på å dele aerosolen i forskjellige partikkelsektorleikar 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 tilsvarende 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. Fastsettjingsprinsippet 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 gravimetriske analysen får ein aerosolkonsentrasiøn 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 gravimetriske fastsetjingar får ein gjort om detektorsignalet til partikulære konsentrasjonar i mg/m³. Måleområdet for impaktoren er opp til 200 mg/m³ for kvar fotodetektor. Saman med prøvetakaren er det ein dataloggar for lagring av data. Dataloggaren må skjermast for elektromagnetisk stråling med ein jernboks.

Tidoppløyste målingar ble brukt til å skaffe informasjon om toppeksponering og identifisering av partikulære forureiningskjelder samt å estimere eksponering ved spesifikke arbeidsoperasjoner. Det var derfor viktig å fylge opp arbeidstakarane med skjema med tidspunkt og arbeidsoppgåve.

7.2.5. Gassfilter

HF og andre sure fluoridgassar (t.d. SiF₄) 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. 4.1)/gass					Gassar		
	Respirabel	Trakeo-bronkial	Ekstratorakal	Toraka	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, - Dräger - Neotox - Gasman II	-	-	-	-	-	X	X	X
-	-	-	-	-	-	X	X	-
-	-	-	-	-	-	X	X	-
-	-	-	-	-	-	X	X	-
-	-	-	-	-	-	-	-	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 viser ein oversikt over talet på prøver fordelt på dei jobbkategoriene som vart utført. Innhaldet i dei ulike jobbkategoriene er definert i kapittel 6.

Tabell 8.1: Oversikt over prøver tatt ved Hydro Aluminium Karmøy i mars 2003.

Jobbkategori	Respicon	IOM	Respirabel syklon	Gassar, (HF/SO ₂)	Sensor, (SO ₂)
Omnspassar	46	44	6	43	36
Gasskappeskiftar	9	6	2	6	6
Digel	10	9	1	9	3
Oksidkøyrar	20	20	1	20	5
Tappar	28	26	2	21	9
Anodeskiftar	77	53	5	53	52
Badtappar	10	9	1	9	6
Totalt	200	167	18	166	117

9. Analysemetodar

9.1. Gravimetri

Fastsetjing av masser på filter vart gjort med Sartorius MC5 og Sartorius 210P vekter, 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 brukarrettleiinga (Hund, 2000) og kan sjåast i saman med Respiconprøvetakaren vist i figur 7.2:

$$C_{RESPIRABEL} = \frac{m_1 \cdot 1000}{Q_1 \cdot t_s}$$

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

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

m₁ = masse på filter 1 (respirabel aerosol), m₂ = masse på filter 2 (trakeobronkial aerosol), m₃ = masse på filter 3 (ekstratorakal aerosol)

Q₁ = 2,66 L/min (flow gjennom filter 1), Q₂ = 0,33 L/min (flow gjennom filter 2), Q₃ = 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 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 omdreiingar 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 syklon og 7 µg/filter for respirabel syklon.

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_4^{3-}), (Spectrascan®, 1000 mg/L, Teknolab A/S) som intern standard. Etter oppvarming på vassbad i mikrobølgjeomn 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 inneholdt 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 utgjer 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. Gassar, HF og SO_2

Impregnerte gassfilter (10 % (w/v) KOH-løsning) ble overført til 15 mL polypropylen reagensrøyr (Sarstedt, art. nr. 62.554.001, Nümbrecht, Tyskland), tilsatt intern standard (bromid, Br^-) og ekstrahert med 10 mL 0,5 % (v/v) H_2O_2 -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 timer vart fastsetjinga utført ved bruk av ionekromatografi. Prøveresultata frå ionekromatografen vart så omrekna frå fluorid (F^-) til hydrogenfluorid (HF) og frå sulfat (SO_4^{2-}) til svoveldioksid (SO_2). Nedre fastsetjingsgrenser var 1,0-16 µg/filter F^- og 4,1-12 µg/filter SO_4^{2-} .

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 ("totalstøvkassett" 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 "totalstøvkassett".

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 konduktivitetscelle. 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 eluent hastighet 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 ellevte 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 prosessteknisk art eller for ulike produksjonsparametrar. Luftkonsentrasjonane baserer seg på faktisk prøvetakingstid, den er ikkje normalisert til 8 timer.

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. For

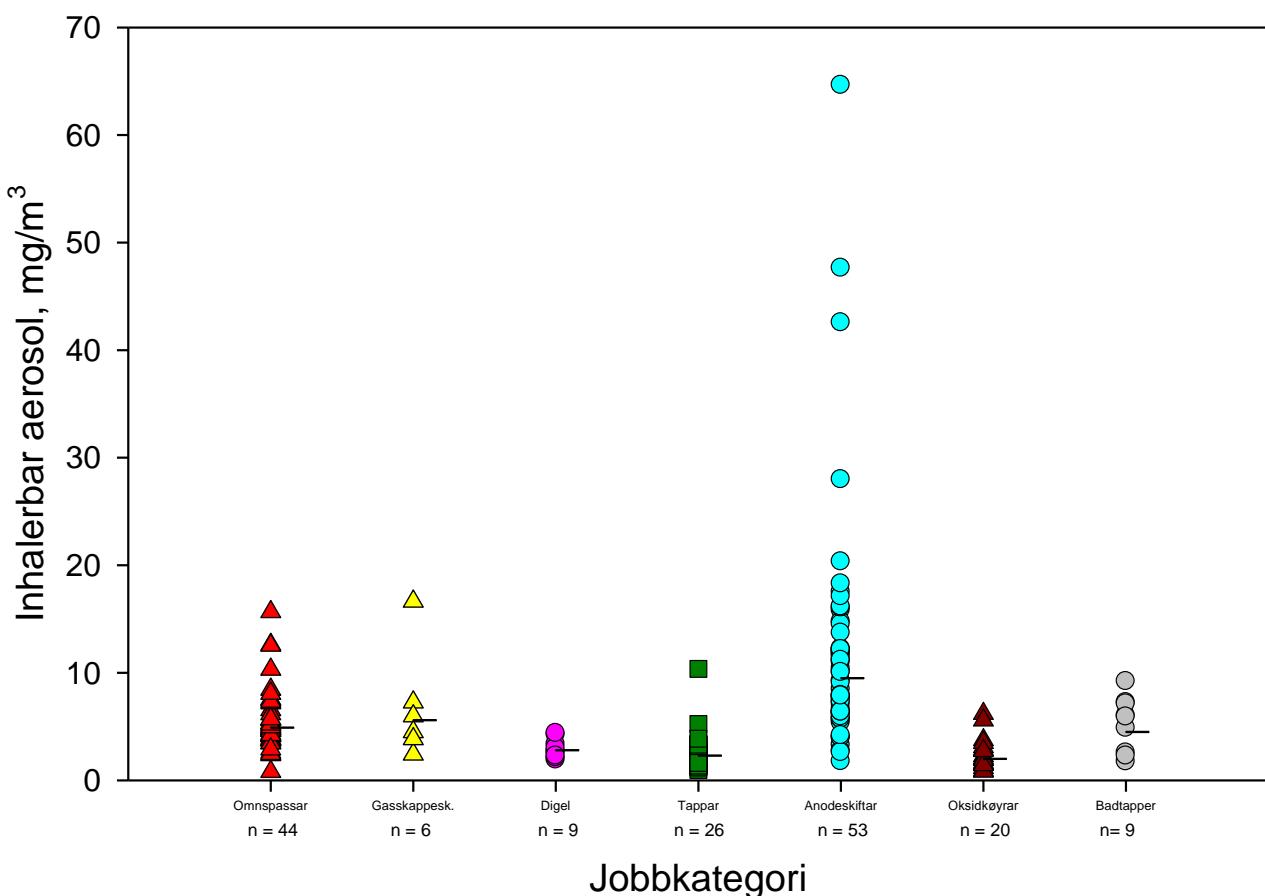
å få gode og sikre data til eit slikt arbeid treng ein fleire målingar enn det ein har tatt ved eit verk. Dette vil ikkje ha konsekvensar for resultata eller for konklusjonane.

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 nærmast mogleg innandingssona til arbeidstakaren. Resultata må derfor sjåast i samanheng med den generelle vernemaskebruken innan dei målte jobbkategoriene. 108 personprøver var ved bruk av 3M 4277, 43 med Sundström SR100, 17 med airstream, 13 utan vernemasker, 12 med 3M 7500-serien, 3 med 3M 9924 og 4 personar vart det ikkje notert kva type vernemaske som vart nytta.

12.1. Aerosol

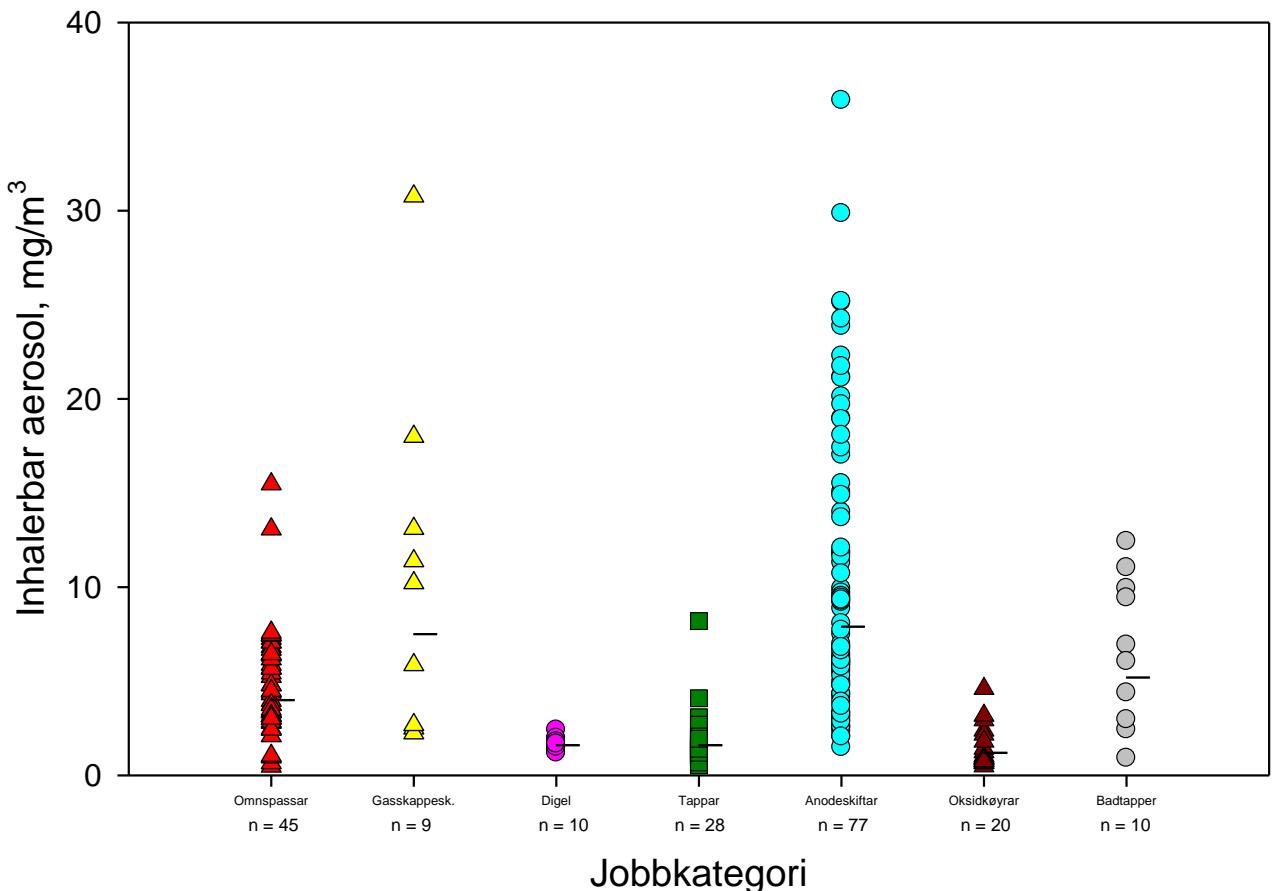
12.1.1. Aerosoleksponering

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 spreiing på resultata innan ein arbeidsoperasjon og også forskjell mellom ein del av arbeidsoperasjonane. Nokre få målingar er høge som kan tyde på at nokre 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.

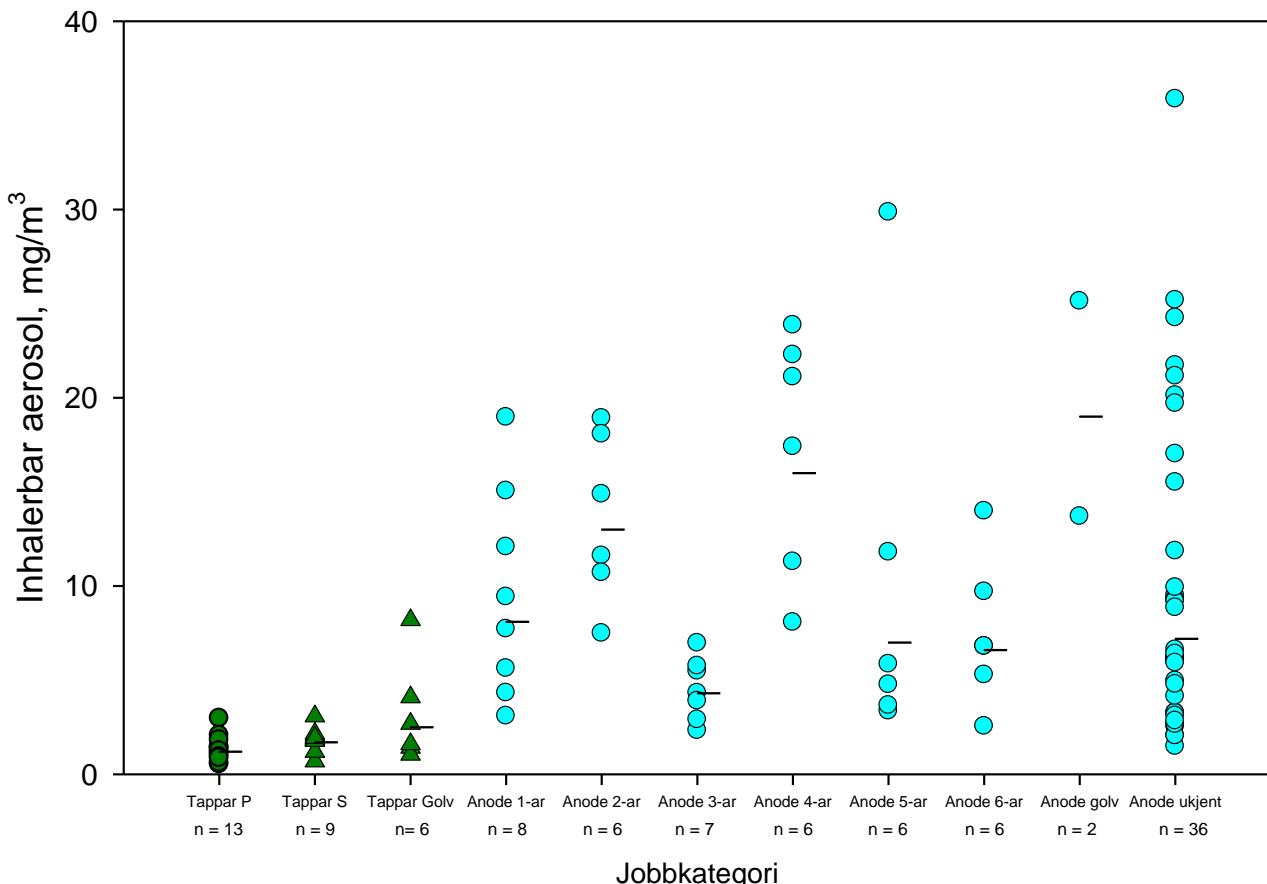
Figur 12.1 viser dei inhalerbare aerosolresultata målt med IOM-prøvetakaren. Jobbkategorien anodeskiftarar hadde den høgaste gjennomsnittlege eksponeringa ($9,5 \text{ mg/m}^3$), medan kategorien oksidkøyrar hadde den lågaste ($2,0 \text{ mg/m}^3$).



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.

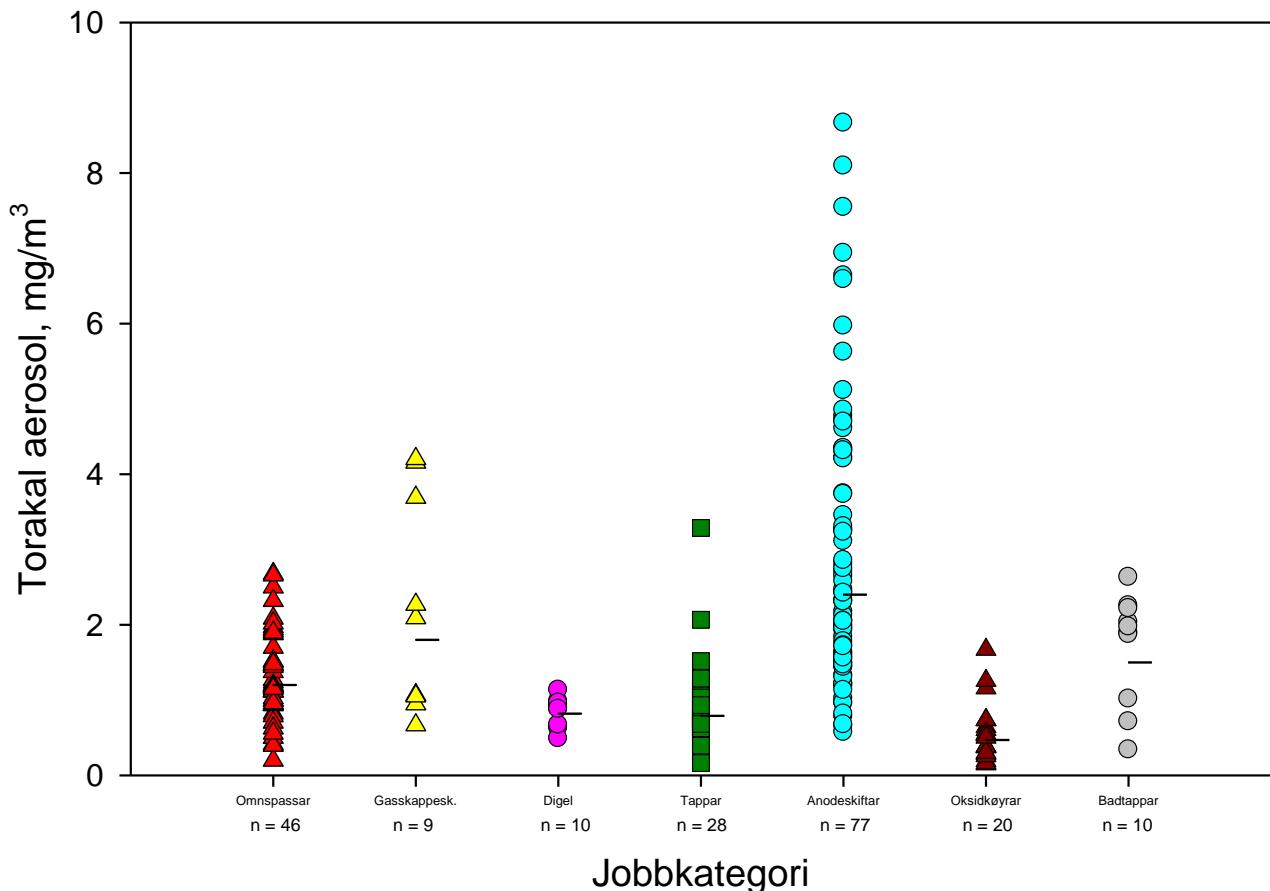
Frå fig. 12.2 ser ein at også med Respiconprøvetakaren var det kategorien med anodeskiftarar som hadde den høgaste eksponeringa ($7,9 \text{ mg/m}^3$) og største spreininga mellom målingane, medan oksidkøyrarane hadde den lågaste eksponeringa ($1,2 \text{ mg/m}^3$).

Alle jobbkategoriene inneholder ulike arbeidsoppgåver. Jobbkategorien tappar kan igjen delast i 3 grupper; tappar prebake, tappar søderberg og tappar golv søderberg. Jobbkategorien anodeskiftar kan igjen delast i 8 ulike grupper; 1-ar, 2-ar, 3-ar, 4-ar, 5-ar, 6-ar, golv og ukjent. Arbeidarane roterer, slik at kva gruppe ein tilhøyrer varierar frå skift til skift (evt. dag til dag). Ei grafisk framstilling av inhalerbar aerosol for desse vidare oppdelte jobbkategoriene er gjeve i fig. 12.3.



Figur 12.3: Inhalerbar aerosol frå **Respiconprøvetakaren**, visare oppdeling av jobbkategoriane tappar og anodeskiftar. Talet på prøver er gjeve med bokstaven n og må ikkje forvekslast med talet på personar.

Der var ingen signifikant forskjell i eksponering for inhalerbar aerosol mellom tappar i prebake og tappar i Söderberg ($p = 0,22$), men der var forskjell mellom å være tappar på golv i Söderberg og tappar i prebake ($p = 0,03$). Det vart likevel valt å slå tapparane saman til ein jobbkategori, utan vidare oppdeling. Anode ukjent er den største jobbgruppa innan jobbkategorien anodeskiftar. Her er alle anodeskiftarane som ein ikkje er sikker på høyrer til under dei andre gruppene. Mellom dei ulike jobbgruppene anodeskiftarar er der signifikante forskjellar mellom nokre av gruppene. Gruppa Anode 3-ar var den mest homogene gruppa med lågast gjennomsnitt (GM). Vidare i rapporten er det valt å slå saman alle jobbgruppene i ein jobbkategori for å lette samanlikningane.



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

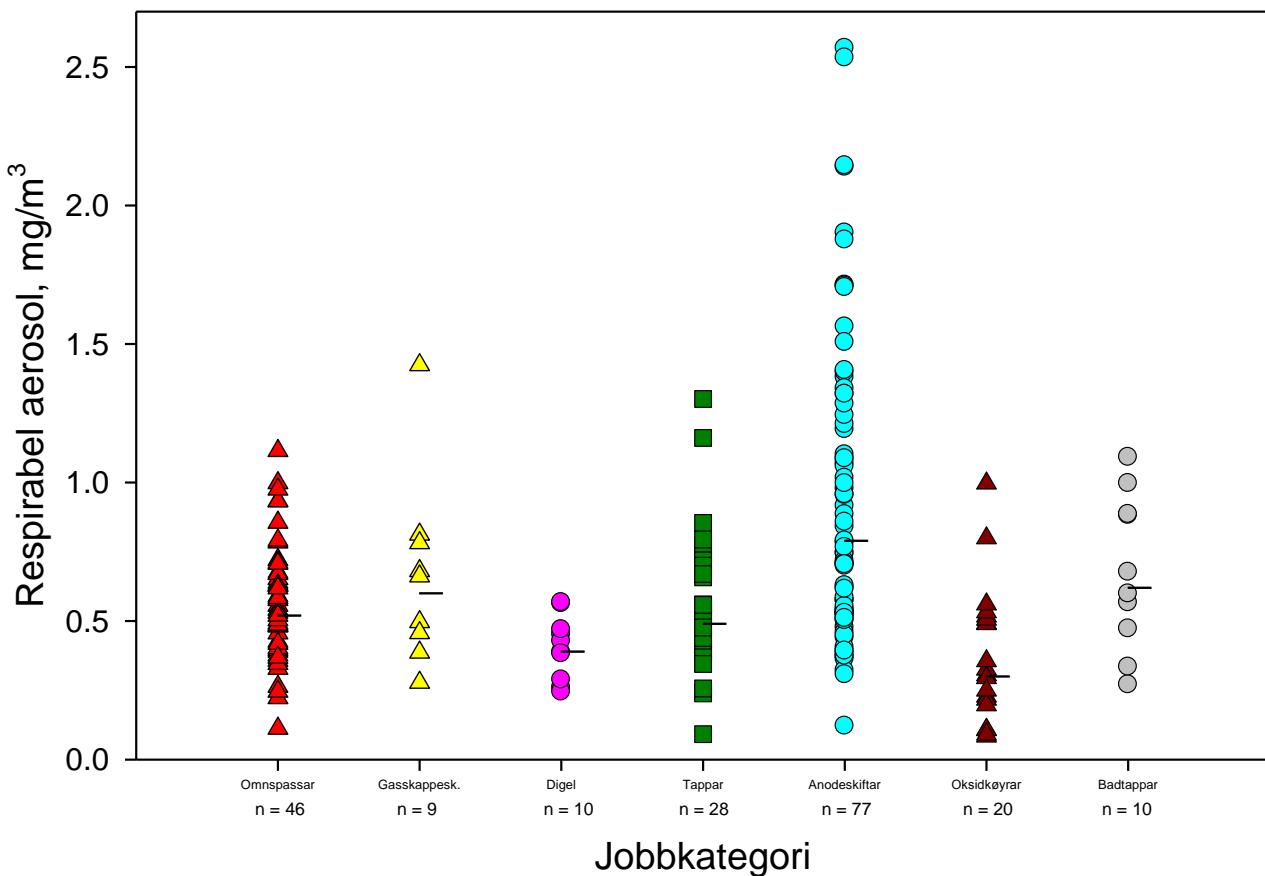
Aerosol som passerar forbi strupehovudet kan fastsetjast ved bruk av prøvetakingsutstyr som torakale syklonar og Respicon. I figur 12.4 viser torakal aerosolmengde bestemt med Respiconprøvetakaren. Kategorien anodeskiftarar hadde den høgaste eksponeringa for torakal aerosol ($2,4 \text{ mg/m}^3$) medan oksidkøyrarane hadde den lågaste ($0,47 \text{ mg/m}^3$). Spreiinga i resultata var størst for anodeskiftarar og gasskappeskiftarar.

Tabell: 12.1: Prosentdel torakal aerosol av inhalerbar aerosol.

Jobbkategori	n	GM	95 % Konfidensintervall		Minimum	Maksimum
			Nedre	Øvre		
Omnspassar	45	29	26	32	16	87
Gasskappeskiftar	9	24	18	32	14	43
Digel	10	51	44	59	37	69
Tappar	28	50	46	52	31	72
Anodeskiftar	77	30	28	47	15	52
Oksidkøyrar	20	38	31	45	16	62
Badtappar	10	28	22	35	19	46
Totalt	199	33	32	45	14	87

Frå tabell 12.1 ser ein at for jobbkategoriene digel og tappar var om lag 50 % av den inhalerbare aerosolen torakal. Dette indikerer at desse to jobbkategoriene hadde mindre

del grov aerosol (ekstratorakal) enn dei andre målte jobbkategoriene. Gjennomsnittleg var 33 % av den inhalerbare aerosolen torakal. Spreiinga innan alle kategoriene var stor, og totalt varierte delen torakal aerosol frå 14 til 87 % av den inhalerbare aerosolen.



Figur 12.5: Respirable aerosolfraksjon fra **Respiconprøvetakaren** fordelt på jobbkategoriær. Talet på prøver er gjeve med bokstaven n og må ikkje forvekslast med talet på personar.

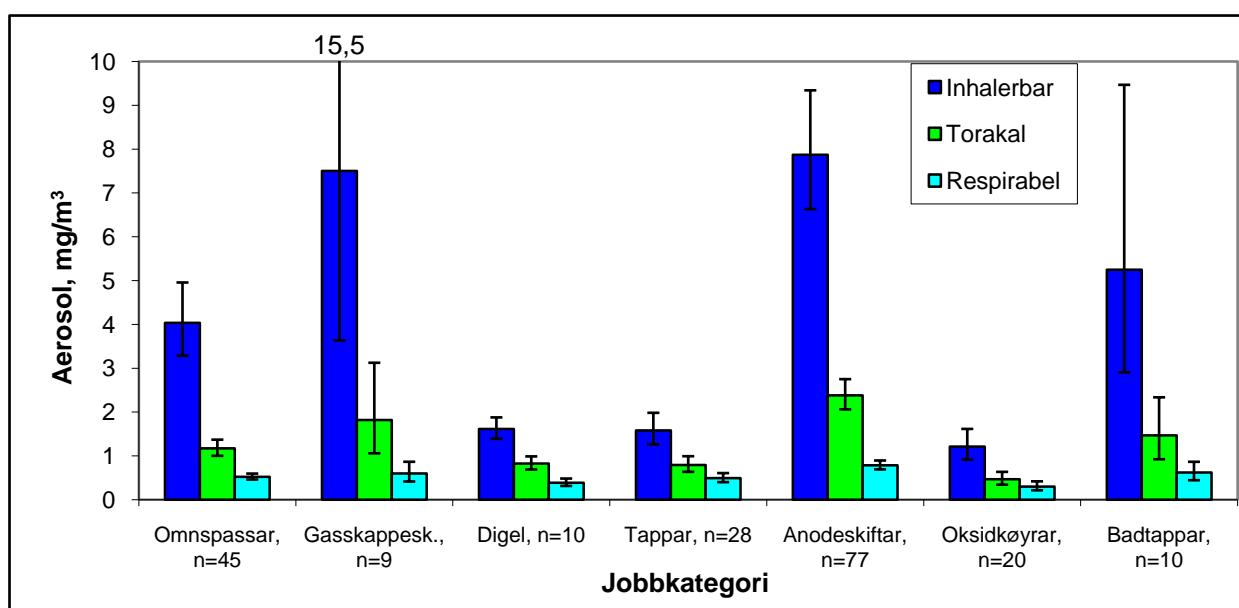
I fig. 12.5 ser ein at ein hadde same trend for respirabel aerosolfraksjon som for torakal fraksjon. Det var anodeskiftarane som hadde den høgaste eksponeringa ($0,79 \text{ mg/m}^3$), medan det var oksidkøyrarane som hadde den lågaste ($0,30 \text{ mg/m}^3$). Spreiinga var størst for anodeskiftarane.

Tabell 12.2: Prosentdel respirabel aerosol av inhalerbar aerosol.

Jobbkategori	n	GM	95 %Konfidensintervall		Minimum	Maksimum
			Nedre	Øvre		
Omnspassar	45	13	11	15	4,0	79
Gasskappeskiftar	9	8,0	5,3	12	4,3	20
Digel	10	24	21	28	18	34
Tappar	28	31	27	36	16	65
Anodeskiftar	77	10	9,0	11	3,1	26
Oksidkøyrar	20	25	18	38	6,4	59
Badtappar	10	12	7,8	18	4,8	29
Totalt	199	14	13	16	3,1	79

Frå tabell 12.2 ser ein at det var jobbkategoriene tappar (31 %), oksidkøyrar (25 %) og digel (24 %) som hadde dei største prosentdelane respirabel aerosol. Gjennomsnittleg var

14 % av den inhalerbare aerosolen respirabel. Spreiinga var stor frå 3,1 % (minimumsverdi anodeskiftar) til 79 % (maksimumsverdi omnspassar) respirabel aerosol av den inhalerbare aerosolen.



Figur 12.6: Geometrisk middelverdi, GM med 95 % konfidensintervall for dei helserelaterte aerosolfraksjonane prøveteke med Respicon.

I figur 12.6 viser dei geometriske middelverdiane og 95 % konfidensintervall for dei helserelaterte aerosolfraksjonane fordelt på dei prøveteke jobbkategoriene. Ved å regne statistikk på data frå figur 11.6 kan ein sjå om det er nokon forskjell mellom dei ulike arbeidsoperasjonane.

Tabell 12.3: Oversikt over kva kategori der GM var signifikant* forskjellige for dei ulike komponentane.

Komponent	Kategori	Signifikant* forskjellig fra jobbkategori
Inhalerbar aerosol IOM	Omnspassar	Digel, Tappar, Anodeskiftar, Oksidkøyrar
	Gasskappeskiftar	Digel, Tappar, Anodeskiftar, Oksidkøyrar
	Digel	Omnspassar, Gasskappeskiftar, Anodeskiftar
	Tappar	Omnspassar, Gasskappeskiftar, Anodeskiftar, Badtappar
	Anodeskiftar	Omnspassar, Gasskappeskiftar, Digel, Tappar, Oksidkøyrar, Badtappar
	Oksidkøyrar	Omnspassar, Gasskappeskiftar, Anodeskiftar, Badtappar
	Badtappar	Tappar, Anodeskiftar, Oksidkøyrar

* p<0,05

Tab. 12.3 forts.

Komponent	Kategori	Signifikant* forskjellig frå jobbkategori
Inhalerbar aerosol Respicon	Omnspassar	Gasskappeskiftar, Digel, Tappar, Anodeskiftar, Oksidkøyrar
	Gasskappeskiftar	Omnspassar, Digel, Tappar, Oksidkøyrar
	Digel	Omnspassar, Gasskappeskiftar, Anodeskiftar, Badtappar
	Tappar	Omnspassar, Gasskappeskiftar, Anodeskiftar, Badtappar
	Anodeskiftar	Omnspassar, Digel, Tappar, Oksidkøyrar
	Oksidkøyrar	Omnspassar, Gasskappeskiftar, Anodeskiftar, Badtappar
	Badtappar	Digel, Tappar, Oksidkøyrar
Torakal aerosol Respicon	Omnspassar	Omnspassar, Tappar, Anodeskiftar, Oksidkøyrar
	Gasskappeskiftar	Omnspassar, Digel, Tappar, Oksidkøyrar
	Digel	Gasskappeskiftar, Anodeskiftar, Oksidkøyrar, Badtappar
	Tappar	Omnspassar, Gasskappeskiftar, Anodeskiftar, Oksidkøyrar, Badtappar
	Anodeskiftar	Omnspassar, Digel, Tappar, Oksidkøyrar, Badtappar
	Oksidkøyrar	Omnspassar, Gasskappeskiftar, Digel, Tappar, Anodeskiftar, Badtappar
	Badtappar	Digel, Tappar, Anodeskiftar, Oksidkøyrar
Respirabel aerosol Respicon	Omnspassar	Anodeskiftar, Oksidkøyrar
	Gasskappeskiftar	Oksidkøyrar
	Digel	Anodeskiftar
	Tappar	Anodeskiftar, Oksidkøyrar
	Anodeskiftar	Omnspassar, Digel, Tappar, Oksidkøyrar
	Oksidkøyrar	Omnspassar, Gasskappeskiftar, Tappar, Anodeskiftar, Badtappar
	Badtappar	Oksidkøyrar

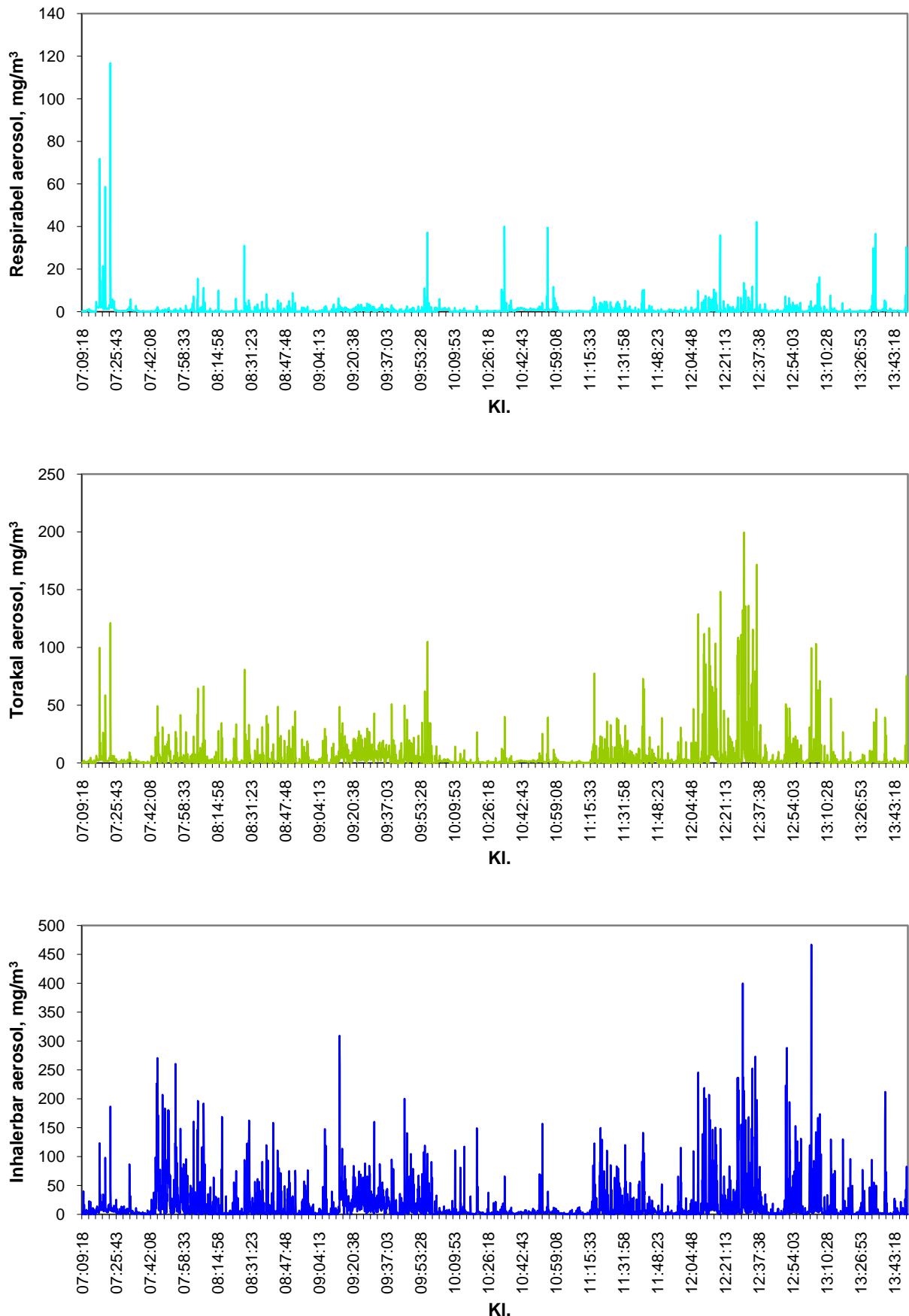
Av tabell 12.3 ser ein at det geometriske gjennomsnittet (GM) for aerosol målt med IOM-prøvetakaren var signifikante* forskjellar for fleire av jobbkategoriane.

Jobbkategorien anodeskiftarar skil seg ut ved å vere signifikant forskjellig frå alle dei seks andre jobbkategoriane og den var samstundes den kategorien med høgast målt gjennomsnittleg (GM) eksponering. For inhalerbar aerosol målt med Respicon var det jobbkategorien omnspassar som var signifikant forskjellig frå alle dei andre jobbkategoriane utanom badtappar. Høgast gjennomsnittleg eksponering hadde anodeskiftarane. For torakal og respirabel aerosol var det oksidkøyrarar som var signifikant forskjellig frå flest av dei andre jobbkategoriane. Generelt var det færre signifikante forskjellar dess finare aerosolen er.

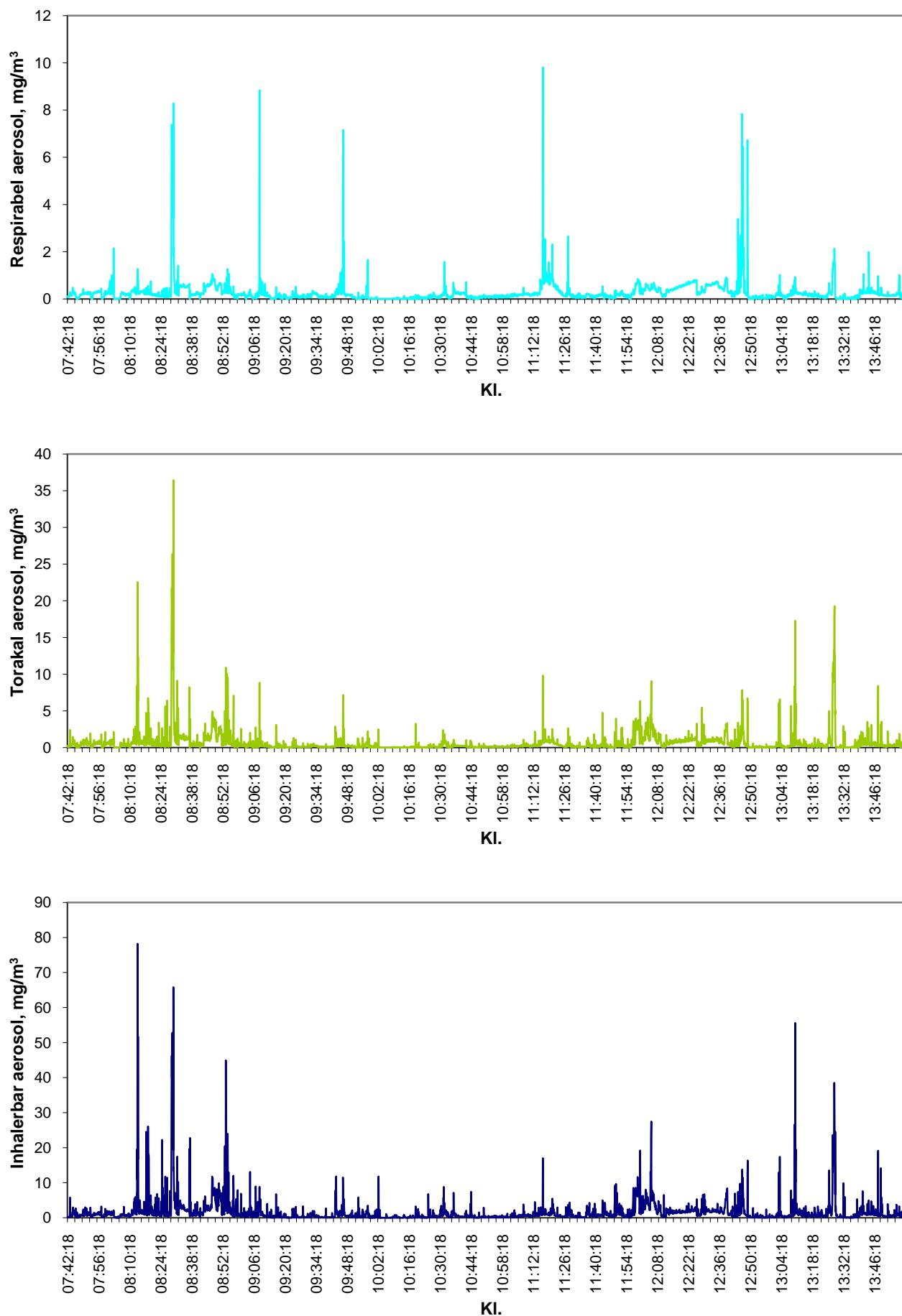
* p<0,05

12.1.2. Direktevisande utstyr for aerosolmålingar

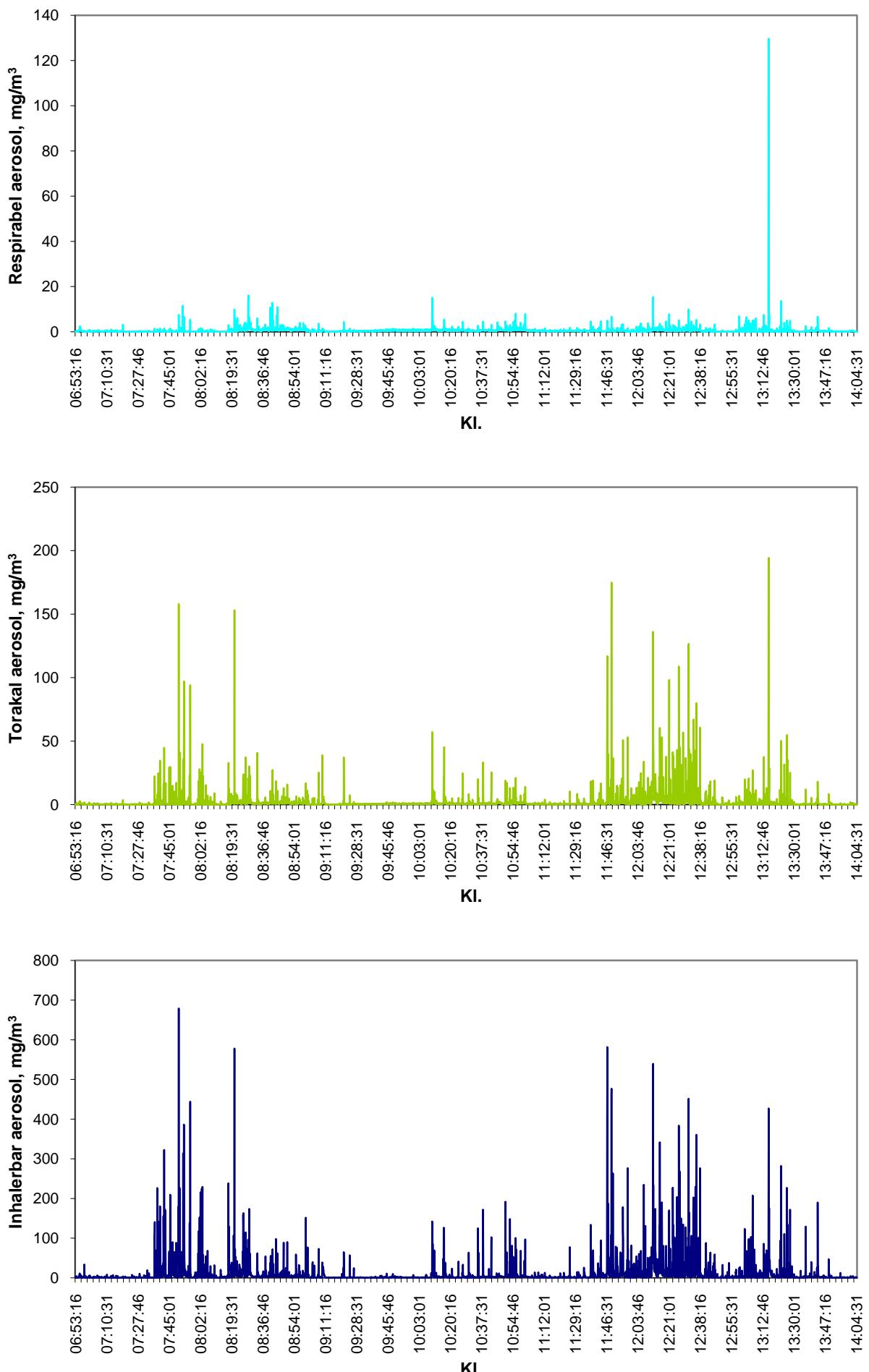
Til dette vart det nytta ein direktevisande Respicon.



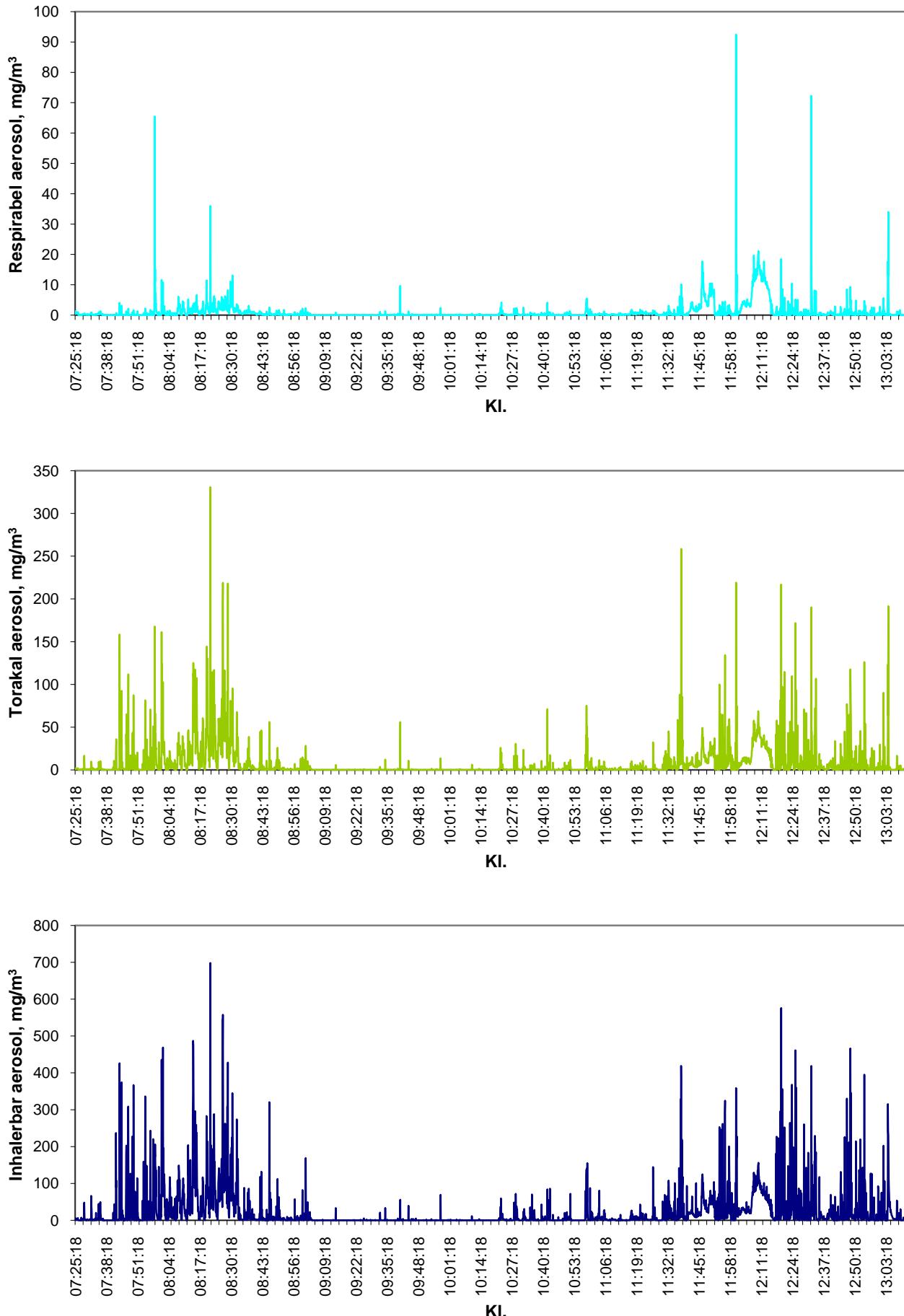
Figur 12.7: Anodeskiftar 25. mars 2003 (Utført arbeid: Anodeskift frå golv fram til matpause, dekking frå golv etterpå).



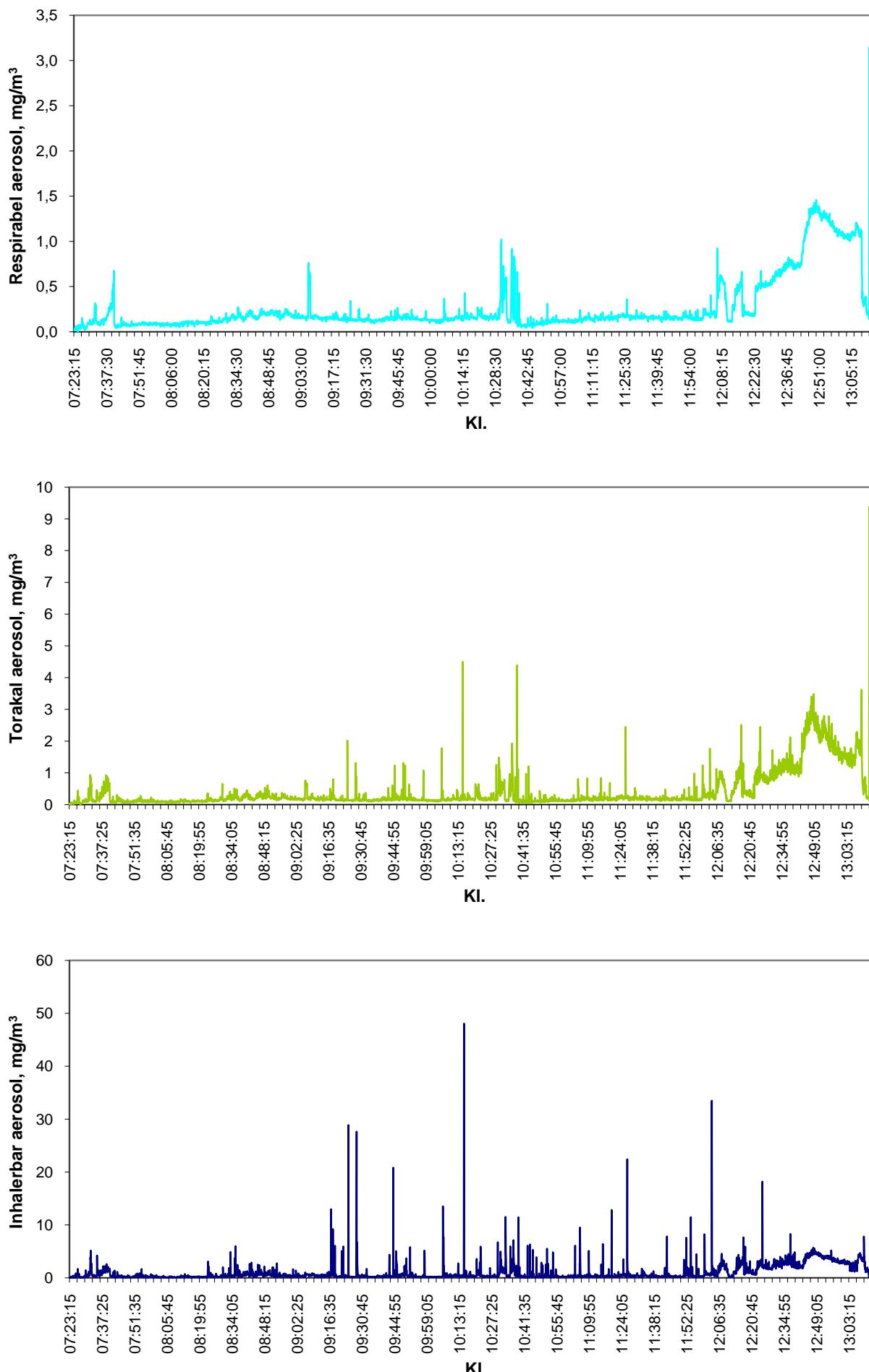
Figur 12.8: Digel 26. mars 2003 (Utført arbeid: Fresing av 6 krus og 3 røyr).



Figur 12.9: Anodeskiftar 28. mars 2003 (Utført arbeid: Anodeskift frå golv med skimming, slått tappehull, dekking frå golv, ei dekkecelle).



Figur 12.10: Anodeskiftar 29. mars 2003 (Utført arbeid: Anodeskift frå golv og frå kran, dekkecelle, dekking frå golv, deksel på dekkecelle).



Figur 12.11: Badtappar 30. mars 2003 (Utført arbeid: Gjort rent knust bad ved tobber).

Figurane 12.7 – 12.11 viser dei tidsoppløyste aerosolmålingane som vart utført for dei ulike jobbkategoriene

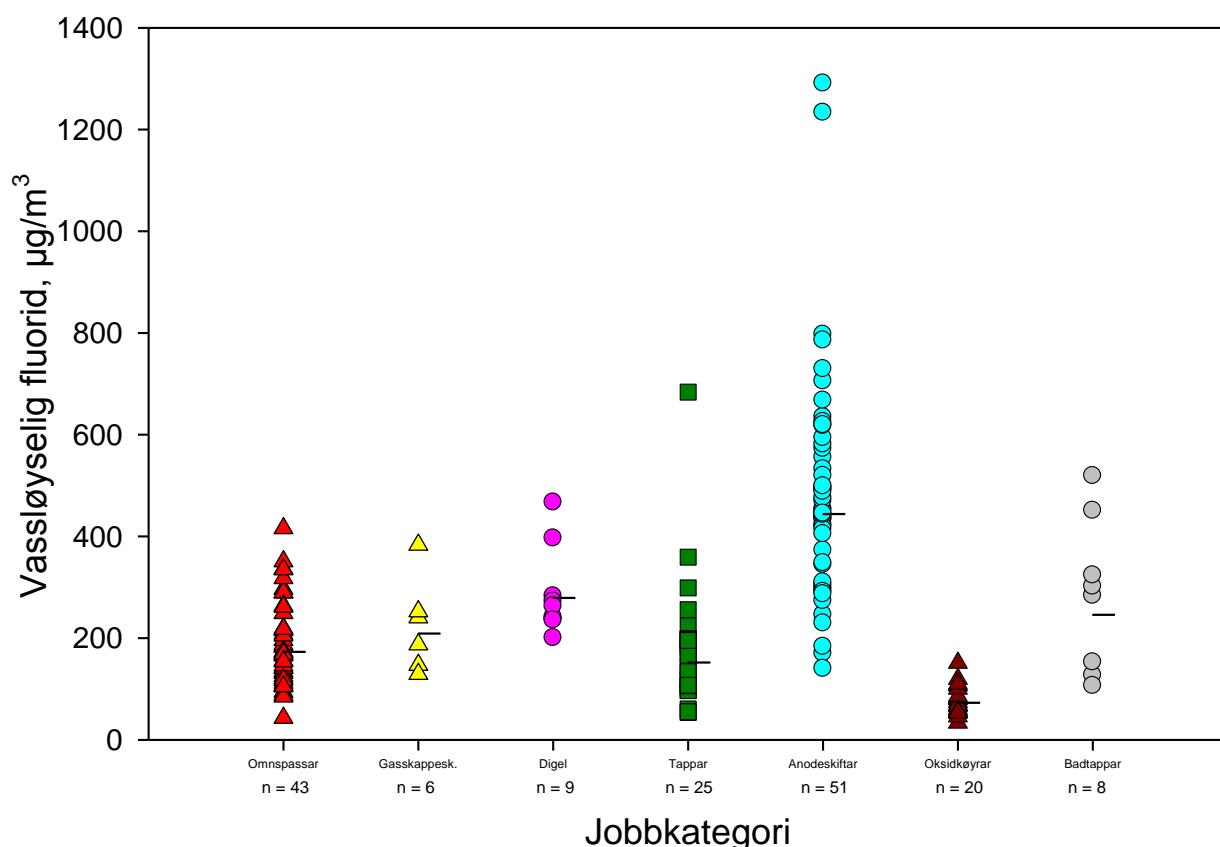
Tidsoppløyste aerosolmålingar blir brukt til å skaffe verdfull informasjon om toppeksponering og identifisering av partikulære forureiningskjelder samt å estimere eksponering ved spesifikke arbeidsoperasjoner. Det var derfor svært viktig å fylgje opp arbeidstakarane med skjema med tidspunkt og arbeidsoppgåve.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

Felles for dei direktevisande målingane er at det periodevis vart registrert kortvarige svært høge eksponeringar, og at anodeskiftarane ($n = 4$) har fleire kortvarige episodar med høgare eksponering enn målingane av badtappar ($n = 1$) og digel ($n = 1$).

12.2. Resultat vassløyseleg fluorid

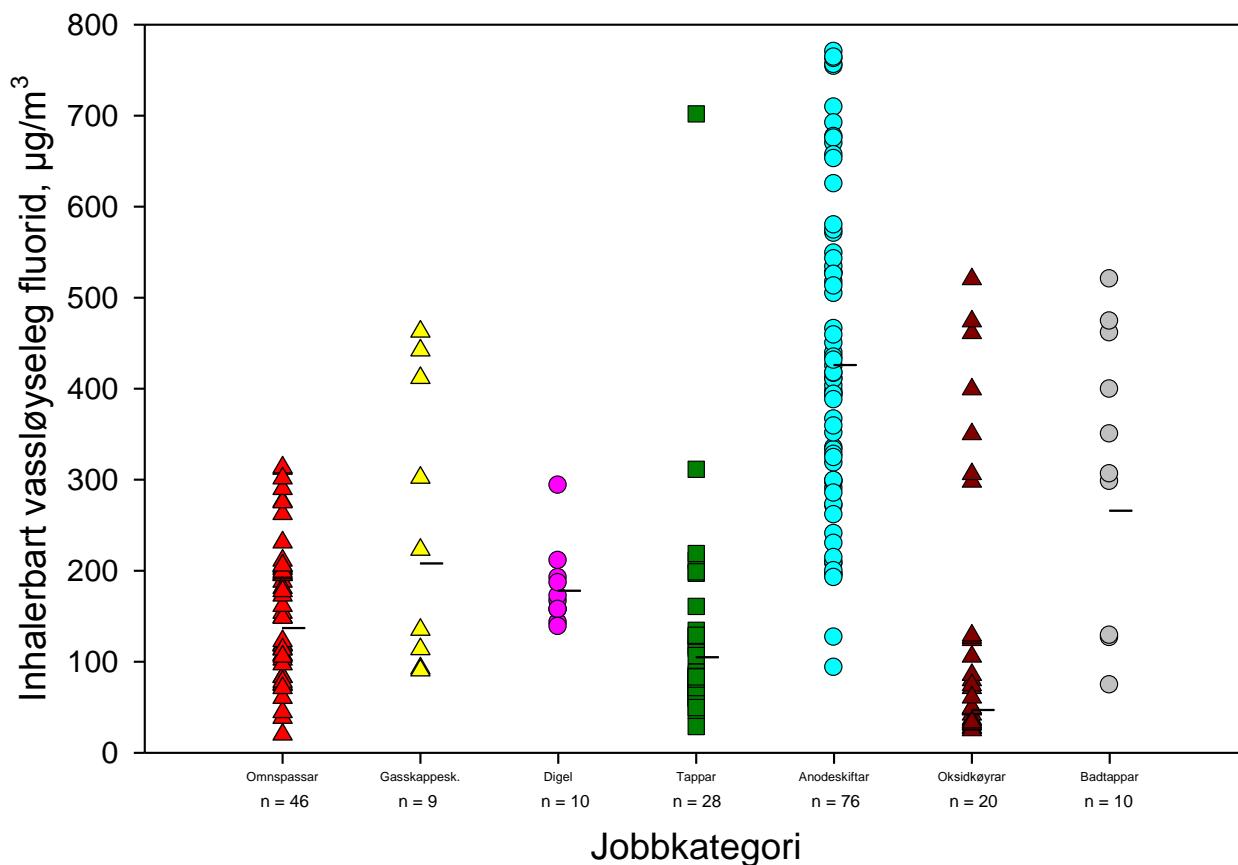
Alle aerosolprøvene vart løyst i vatn og fluoridmengda i dette vassekstraktet vart fastsett; vassløyseleg fluorid.

Ein oversikt over alle enkeltresultata for IOM-prøvetakaren visast i figur 12.12.



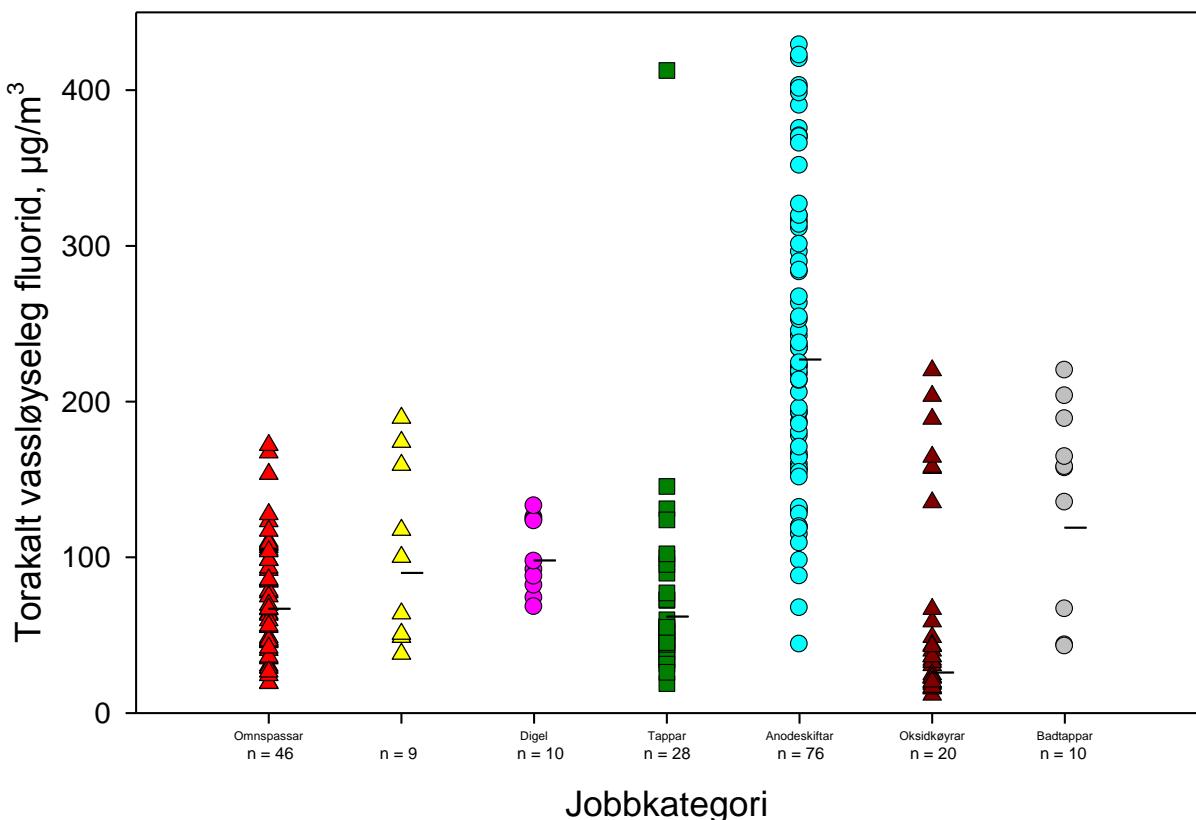
Figur 12.12: Vassløyseleg fluorid bestemt i aerosolen frå IOM-prøvetakaren fordelt på jobbkategori. Talet på prøver er gjeve med bokstaven n og må ikke forvekslast med talet på personar.

Frå fig. 12.12 får ein at anodeskiftarane hadde den høgste eksponeringa ($444 \mu\text{g}/\text{m}^3$) medan oksidkøyrarane hadde lågast ($73 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Spreiinga er mindre enn for aerosolmålingane.

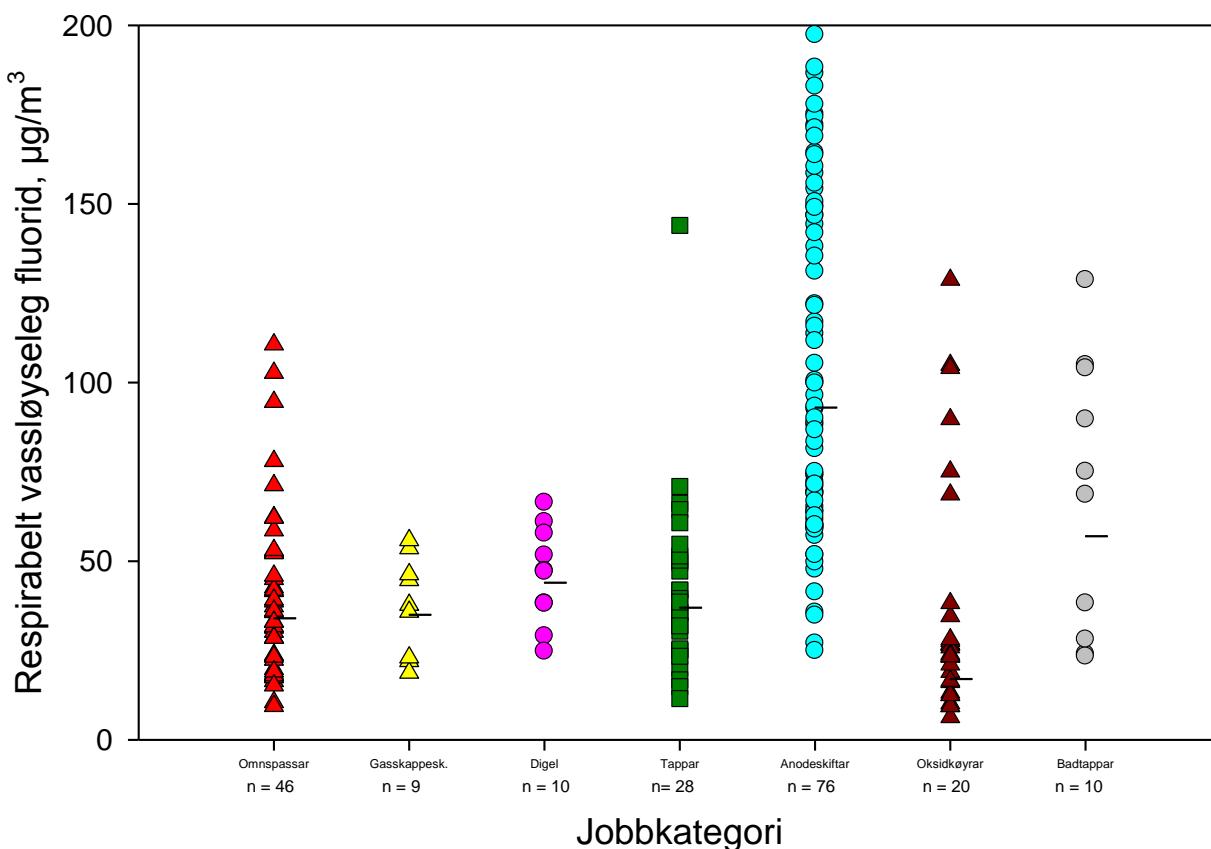


Figur 12.13: Vassløyseleg fluorid fastsett i den inhalerbare aerosolfraksjon fra Respiconprøvetakaren fordelt på jobbkategori. Talet på prøver er gjeve med bokstaven n og må ikkje forvekslast med talet på personar.

I fig. 12.13 blir det vist at ein hadde same trenden med bruk av respiconprøvetakaren som med bruk av IOM-prøvetakaren. Den største skilnaden er større spreiing i resultata, og med noko lågare nivå enn ved bruk av IOM-prøvetakaren. Anodeskiftar har høgast gjennomsnittleg (GM) eksponering ($426 \mu\text{g}/\text{m}^3$), medan oksidkøyrar er den gjennomsnittleg (GM) lågast eksponerte kategorien ($47 \mu\text{g}/\text{m}^3$).



Figur 12.14 Vassløyseleg 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.



Figur 12.15: 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 figurane 12.14 og 12.15 har ein same trendane, at spreiinga er størst for jobbkategorien anodeskiftar og at den også har den gjennomsnittleg høgaste eksponeringa (torakalt $227 \mu\text{g}/\text{m}^3$ og respirabelt $93 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Den lågast eksponerte jobbkategorien er oksidkøyrarane (torakalt $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ og respirabelt $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Tabell 12.4 Prosentdel torakalt vassløyseleg fluorid av inhalerbart vassløyseleg fluorid.

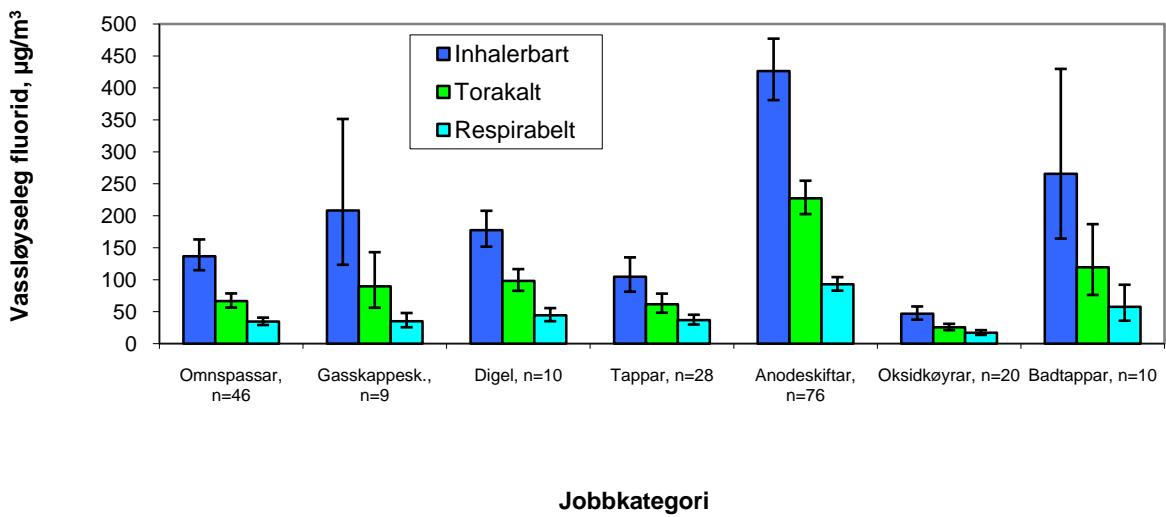
Jobbkategori	n	GM	95 % konfidensintervall		Minimum	Maksimum
			Nedre	Øvre		
Omnspassar	46	49	45	53	28	95
Gasskappskiftar	9	43	38	49	34	56
Digel	10	55	49	62	43	72
Tappar	28	59	54	64	25	78
Anodeskiftar	76	53	52	55	35	76
Oksidkøyrar	20	55	48	63	29	74
Badtappar	10	45	37	54	29	63
Alle	199	52	51	54	25	95

Av tabell 12.4 ser ein at det er ein større del vassløyseleg torakalt fluorid enn den tilsvarende torakale delen av aerosolen (52 % mot 33 % for aerosol). Spreiinga for individuelle målingar innanfor dei ulike jobbkategoriane er stor (25 – 95 % torakalt vassløyseleg fluorid).

Tabell 12.5 Del respirabelt vassløyseleg fluorid av inhalerbart vassløyseleg fluorid (%).

Jobbkategori	n	GM	95 % konfidensintervall		Minimum	Maksimum
			Nedre	Øvre		
Omnspassar	46	25	22	29	5,9	82
Gasskappskiftar	9	17	13	22	11	33
Digel	10	25	22	29	18	31
Tappar	28	35	32	39	21	58
Anodeskiftar	76	22	20	23	6,8	43
Oksidkøyrar	20	36	29	45	16	71
Badtappar	10	22	16	30	8,3	34
Alle	199	25	24	27	5,9	82

Av tabell 12.5 ser ein at det er ein større del vassløyseleg respirabelt fluorid enn den tilsvarende torakale delen av aerosolen (25 % mot 14 % for aerosol). Spreiinga for individuelle målingar innanfor dei ulike jobbkategoriane er stor (5,9 – 82 % respirabelt vassløyseleg fluorid).



Figur 12.16.: Vassløyseleg fluorid, GM med 95 % konfidensintervall for vassløselig fluorid fastsett i aerosolfraksjonane fra Respicon.

Jobbkategorien anodeskiftar har det høgste gjennomsnittet (GM) medan oksidkøyrar har det lågaste. For torakalt vassløyseleg fluorid er det dei same jobbkategoriene som skil seg ut.

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

Komponent	Jobbkategori	Signifikant* forskjellig fra jobbkategori
Inhalerbart vassløyseleg fluorid IOM	Omnspassar	Digel, Anodeskiftar, Oksidkøyrar, Badtappar
	Gasskappeskiftar	Anodeskiftar, Oksidkøyrar
	Digel	Omnspassar, Tappar, Anodeskiftar, Oksidkøyrar
	Tappar	Digel, Anodeskiftar, Oksidkøyrar, Badtappar
	Anodeskiftar	Omnspassar, Gasskappeskiftar, Digel, Tappar, Oksidkøyrar, Badtappar
	Oksidkøyrar	Omnspassar, Gasskappeskiftar, Digel, Tappar, Anodeskiftar, Badtappar
	Badtappar	Omnspassar, Tappar, Anodeskiftar, Oksidkøyrar
Inhalerbart vassløyseleg fluorid Respicon	Omnspassar	Gasskappeskiftar, Tappar, Anodeskiftar, Oksidkøyrar, Badtappar
	Gasskappeskiftar	Omnspassar, Tappar, Anodeskiftar, Oksidkøyrar
	Digel	Tappar, Anodeskiftar, Oksidkøyrar
	Tappar	Omnspassar, Gasskappeskiftar, Digel, Anodeskiftar, Oksidkøyrar, Badtappar
	Anodeskiftar	Omnspassar, Gasskappeskiftar, Digel, Tappar, Oksidkøyrar, Badtappar
	Oksidkøyrar	Omnspassar, Gasskappeskiftar, Digel, Tappar, Anodeskiftar, Badtappar
	Badtappar	Omnspassar, Tappar, Anodeskiftar, Oksidkøyrar

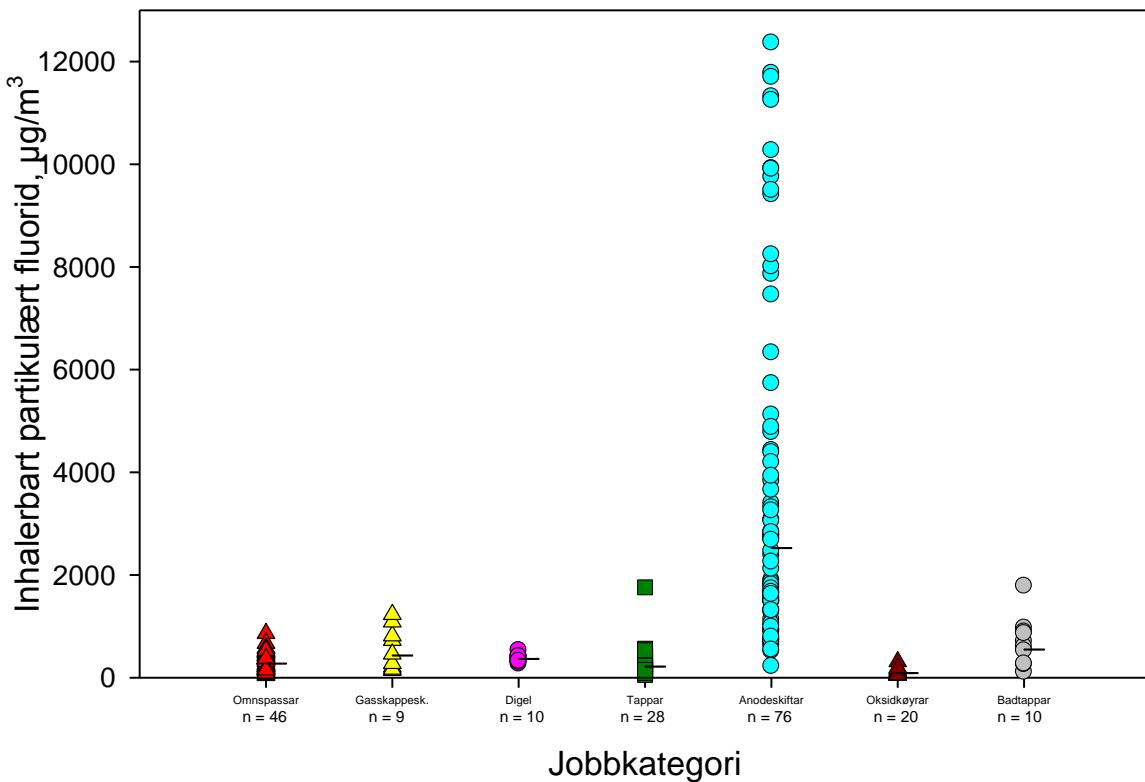
* p<0,05

Tab. 12.6 forts.

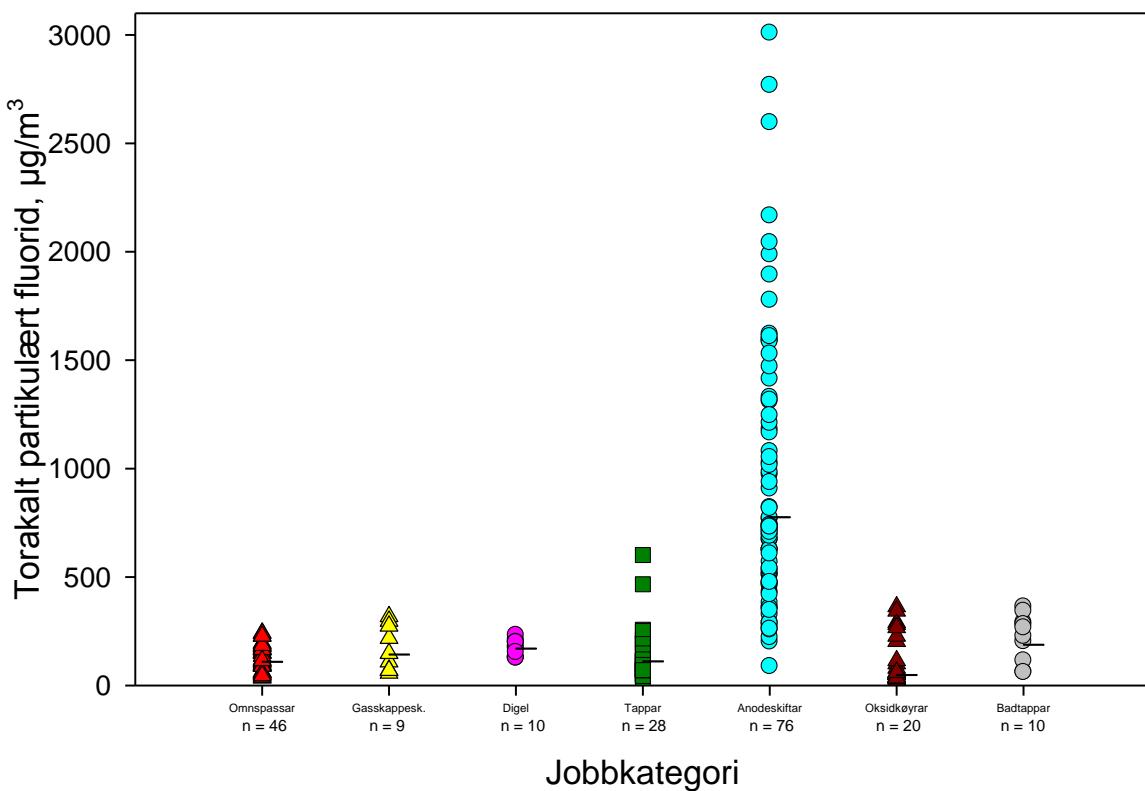
Komponent	Jobbkategori	Signifikant* forskjellig fra jobbkategori
Torakalt vassløyseleg fluorid Respicon	Omnspassar	Digel, Anodeskiftar, Oksidkøyrar, Badtappar
	Gasskappeskiftar	Anodeskiftar, Oksidkøyrar
	Digel	Omnspassar, Tappar, Anodeskiftar, Oksidkøyrar
	Tappar	Digel, Anodeskiftar, Oksidkøyrar, Badtappar
	Anodeskiftar	Omnspassar, Gasskappeskiftar, Digel, Tappar, Oksidkøyrar, Badtappar
	Oksidkøyrar	Omnspassar, Gasskappeskiftar, Digel, Tappar, Anodeskiftar, Badtappar
	Badtappar	Omnspassar, Tappar, Anodeskiftar, Oksidkøyrar
Respirabelt vassløyseleg fluorid Respicon	Omnspassar	Anodeskiftar, Oksidkøyrar, Badtappar
	Gasskappeskiftar	Anodeskiftar, Oksidkøyrar, Badtappar
	Digel	Anodeskiftar, Oksidkøyrar
	Tappar	Anodeskiftar, Oksidkøyrar, Badtappar
	Anodeskiftar	Omnspassar, Gasskappeskiftar, Digel, Tappar, Oksidkøyrar, Badtappar
	Oksidkøyrar	Omnspassar, Gasskappeskiftar, Digel, Tappar, Anodeskiftar, Badtappar
	Badtappar	Omnspassar, Gasskappeskiftar, Tappar, Anodeskiftar, Oksidkøyrar

* p<0,05

12.3. Resultat partikulært fluorid

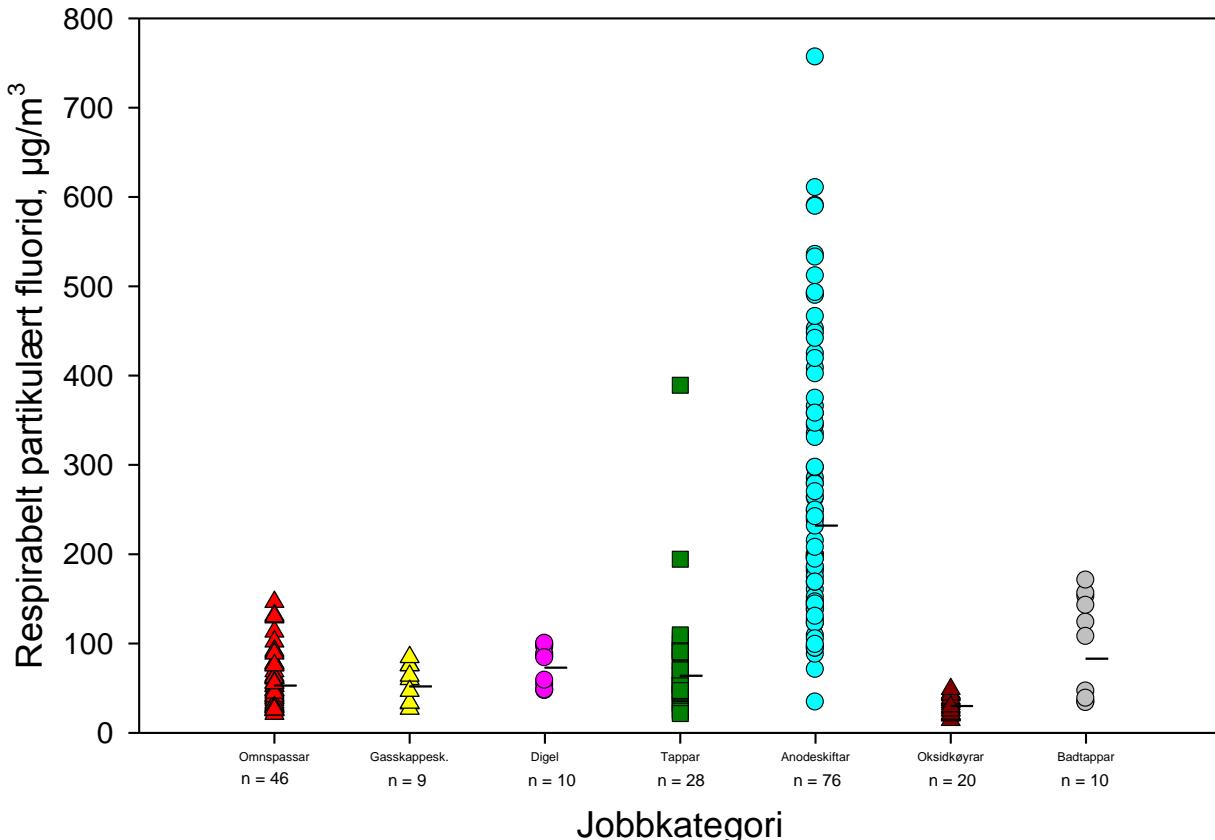


Figur 12.17: Partikulært fluorid fastsett i den inhalerbare aerosolfraksjonen frå Respiconprøvetakaren fordelt på jobbkategori. Talet på prøver er gjeve med bokstaven n og må ikkje forvekslast med talet på personar.



Figur 12.18: Partikulært fluorid fastsett i den torakale aerosolfraksjonen frå Respiconprøvetakaren fordelt på jobbkategori. Talet på prøver er gjeve med bokstaven n og må ikkje forvekslast med talet på personar.

Figur 12.18 viser det torakale partikulære fluoridet for dei ulike jobbkategoriene. Dei geometriske gjennomsnittsverdiane for omnspassar- og oksidkøyrarkategoriene var låge. Igjen er det spreininga innanfor dei ulike jobbkategoriene som er dominante og spesielt for anodeskiftarar.



Figur 12.19: Partikulært fluorid fastsett i den respirable aerosolfraksjonen frå Respiconprøvetakaren fordelt på jobbkategori. Talet på prøver er gjeve med bokstaven n og må ikkje forvekslast med talet på personar.

Tabell 12.7 Prosentdel torakalt partikulært fluorid av inhalerbart partikulært fluorid (%).

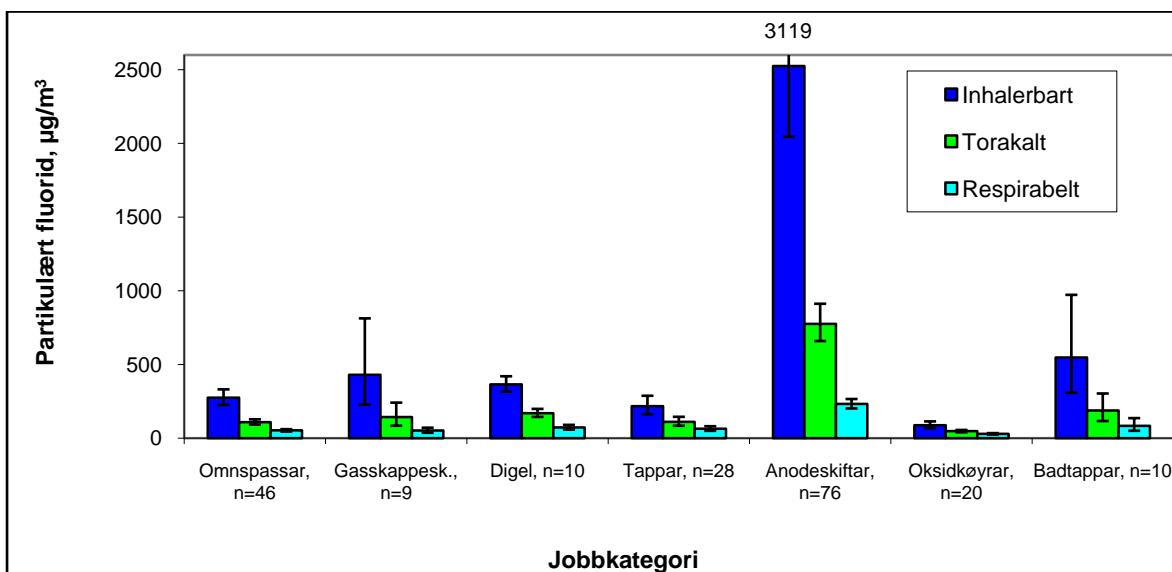
Jobbkategori	n	GM	95 % konfidensintervall		Minimum	Maksimum
			Nedre	Øvre		
Omnspassar	46	40	36	44	17	86
Gasskappskiftar	9	33	27	41	22	53
Digel	10	47	40	54	34	62
Tappar	28	51	46	57	22	83
Anodeskiftar	76	31	28	33	13	75
Oksidkøyrar	20	54	46	64	19	72
Badtappar	10	34	26	45	20	57
Totalt	199	38	36	40	13	86

Av tabell 12.7 ser ein at det er om lag like stor del partikulært torakalt fluorid som den tilsvarende torakale delen av aerosolen (38 % mot 33 % for aerosol). Men lågare enn torakalt vassløyseleg fluorid (38 % mot 52 % for vassløyseleg torakalt fluorid). Spreininga for individuelle målingar innanfor dei ulike jobbkategoriene er stor (13 – 86 % torakalt vassløyseleg fluorid).

Tabell 12.8 Prosentdel respirabelt partikulært fluorid av inhalerbart partikulært fluorid (%).

Jobbkategori	n	GM	95 % konfidensintervall		Minimum	Maksimum
			Nedre	Øvre		
Omnspassar	46	19	17	22	7,9	59
Gasskappskiftar	9	12	8,0	18	5,9	29
Digel	10	20	17	23	16	26
Tappar	28	30	26	34	11	69
Anodeskiftar	76	9,2	8,1	10	1,4	27
Oksidkøyrar	20	33	26	42	12	61
Badtappar	10	15	9,9	23	4,8	31
Totalt	199	16	14	17	1,4	69

Av tabell 12.8 ser ein at det er om lag like stor del partikulært respirabelt fluorid som den tilsvarende respirable delen av aerosolen (16 % mot 14 % for aerosol). Men lågare enn torakalt vassløyseleg fluorid (16 % mot 25 % for vassløyseleg respirabelt fluorid). Spreiinga for individuelle målingar innanfor dei ulike jobbkategoriene er stor (1,4 – 69 % torakalt vassløyseleg fluorid).



Figur 12.20: Geometrisk middelverdi, GM med 95 % konfidensitervall for partikulært fluorid frå Respiconprøvetakaren.

I figur 12.20 er ei samanlikning av dei geometriske gjennomsnitta (GM) for dei ulike jobbkategoriene gjeve. Av denne går det fram at anodeskiftar hadde klart høgst målt eksponering for partikulært fluorid. Dette gjeld for både inhalerbart, torakalt og respirabelt partikulært fluorid.

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

Komponent	Jobbkategori	Signifikant* forskjellig frå jobbkategori
Inhalerbart partikulært fluorid Respicon	Omnspassar	Anodeskiftar, Oksidkøyrar, Badtappar
	Gasskappeskiftar	Tappar, Anodeskiftar, Oksidkøyrar, Badtappar
	Digel	Anodeskiftar, Oksidkøyrar
	Tappar	Gasskappeskiftar, Anodeskiftar, oksidkøyrar, Badtappar
	Anodeskiftar	Omnspassar, Gasskappeskiftar, Digel, Tappar, Oksidkøyrar, Badtappar
	Oksidkøyrar	Omnspassar, Gasskappeskiftar, Digel, Tappar, Anodeskiftar, Badtappar
	Badtappar	Omnspassar, Tappar, Anodeskiftar, Oksidkøyrar
Torakalt partikulært fluorid Respicon	Omnspassar	Digel, Anodeskiftar, Oksidkøyrar, Badtappar
	Gasskappeskiftar	Anodeskiftar, Oksidkøyrar
	Digel	Omnspassar, Anodeskiftar, Oksidkøyrar
	Tappar	Anodeskiftar, Oksidkøyrar, Badtappar
	Anodeskiftar	Omnspassar, Gasskappeskiftar, Digel, Tappar, Oksidkøyrar, Badtappar
	Oksidkøyrar	Omnspassar, Gasskappeskiftar, Digel, Tappar, Anodeskiftar, Badtappar
	Badtappar	Omnspassar, Tappar, Anodeskiftar, Oksidkøyrar
Respirabelt partikulært fluorid Respicon	Omnspassar	Anodeskiftar, Oksidkøyrar, Badtappar
	Gasskappeskiftar	Anodeskiftar, Oksidkøyrar
	Digel	Anodeskiftar, Oksidkøyrar
	Tappar	Anodeskiftar, Oksidkøyrar
	Anodeskiftar	Omnspassar, Gasskappeskiftar, Digel, Tappar, Oksidkøyrar, Badtappar
	Oksidkøyrar	Omnspassar, Gasskappeskiftar, Digel, Tappar, Anodeskiftar, Badtappar
	Badtappar	Omnspassar, Anodeskiftar, Oksidkøyrar

* p<0,05

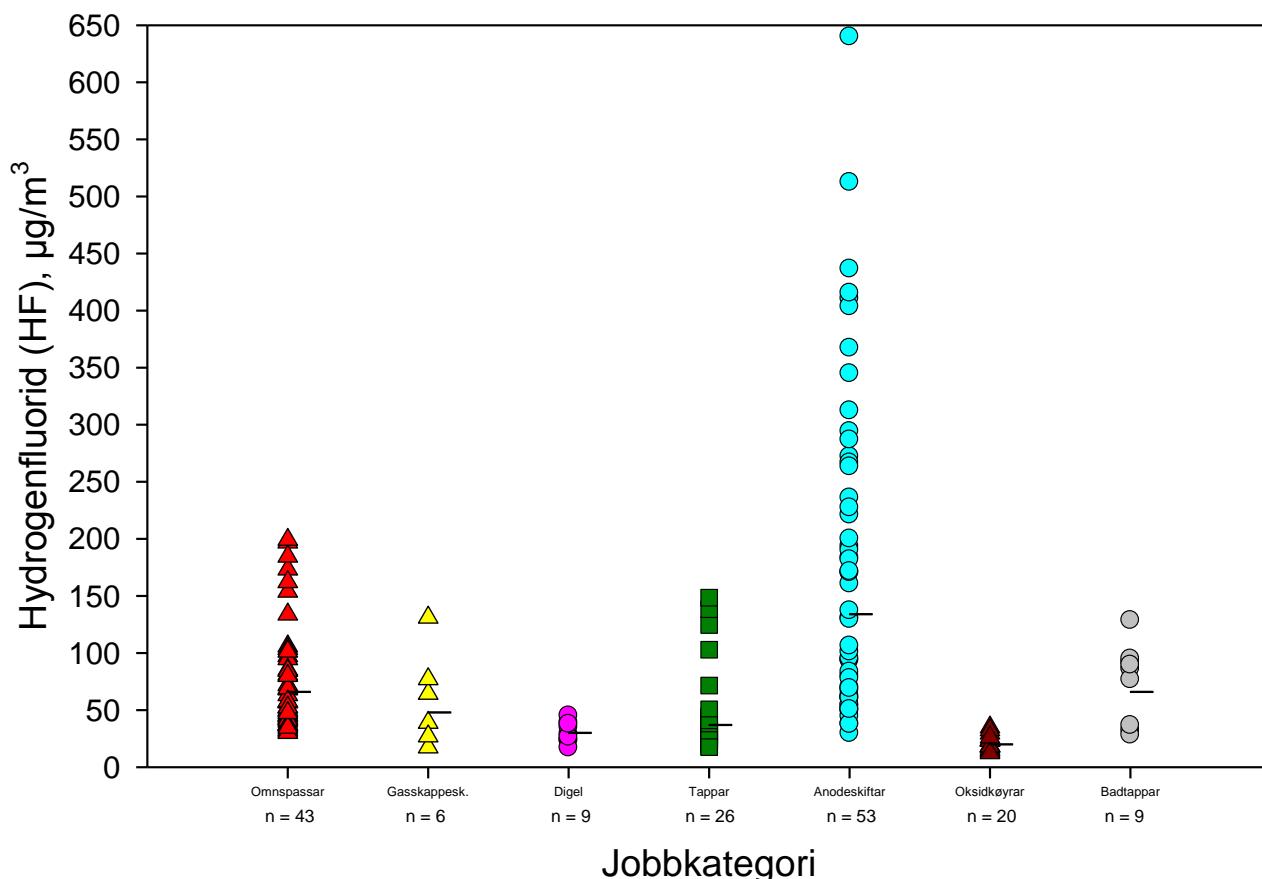
Tabell 12.10: Prosent vassløyseleg fluorid av partikulært fluorid.

Parameter	Jobbkategori	n	GM	95 % Konfidensintervall		Minimum	Maksimum
				Nedre	Øvre		
Prosent respirabelt vassløyseleg fluorid av respirabelt partikulært fluorid	Omnspassar	46	65	61	69	32	86
	Gasskappeskiftar	9	68	62	74	59	84
	Digel	10	61	52	71	42	81
	Tappar	28	57	48	69	6,4	88
	Anodeskiftar	76	40	38	42	23	73
	Oksidkøyrar	20	57	50	66	26	81
	Badtappar	10	69	64	75	55	82
	Alle	199	52	50	55	6,4	88
Prosent torakalt vassløyseleg fluorid av torakalt partikulært fluorid	Omnspassar	46	61	58	64	27	81
	Gasskappeskiftar	9	62	58	68	54	73
	Digel	10	58	52	64	44	69
	Tappar	28	55	47	65	9,5	86
	Anodeskiftar	76	29	28	31	13	50
	Oksidkøyrar	20	53	48	60	26	71
	Badtappar	10	63	58	69	52	72
	Alle	199	45	42	48	9,5	86
Prosent inhalerbart vassløyseleg fluorid av inhalerbart partikulært fluorid	Omnspassar	46	50	48	52	34	66
	Gasskappeskiftar	9	48	42	55	38	64
	Digel	10	49	45	53	40	58
	Tappar	28	48	42	55	11	80
	Anodeskiftar	76	17	15	19	6,0	42
	Oksidkøyrar	20	53	48	58	31	70
	Badtappar	10	49	41	57	29	66
	Alle	199	33	30	36	6,0	80

Kor stor del av det partikulære fluoridet som er vassløyseleg 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 lutløyseleg fluorid. I tabell 12.10 viser det at det er ulik mengde vassløyseleg fluorid avhengig av fraksjonane, 52 % for respirabel fraksjon, 45 % for torakal fraksjon og 33 % for inhalerbar fraksjon. Dette tyder på at dess finare aerosolen er, dess større del av det partikulære fluoridet er vassløyseleg. Der er forskjell mellom dei ulike jobbfunksjonane, men trenden er uavhengig av jobbkategori.

12.4. Gassar, HF og SO₂

12.4.1. Hydrogenfluorid (HF)



Figur 12.21: Gasformig fluorid som HF fordelt på jobbkategoriene. Talet på prøver er gjeve med bokstaven n og må ikke forvekslast med talet på personar.

Høgst gjennomsnittleg HF eksponering er vist for anodeskiftarane ($134 \mu\text{g}/\text{m}^3$) og lågast for oksidkøyrarane ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Det er berre for anodeskiftarar det er målt verdiar over $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

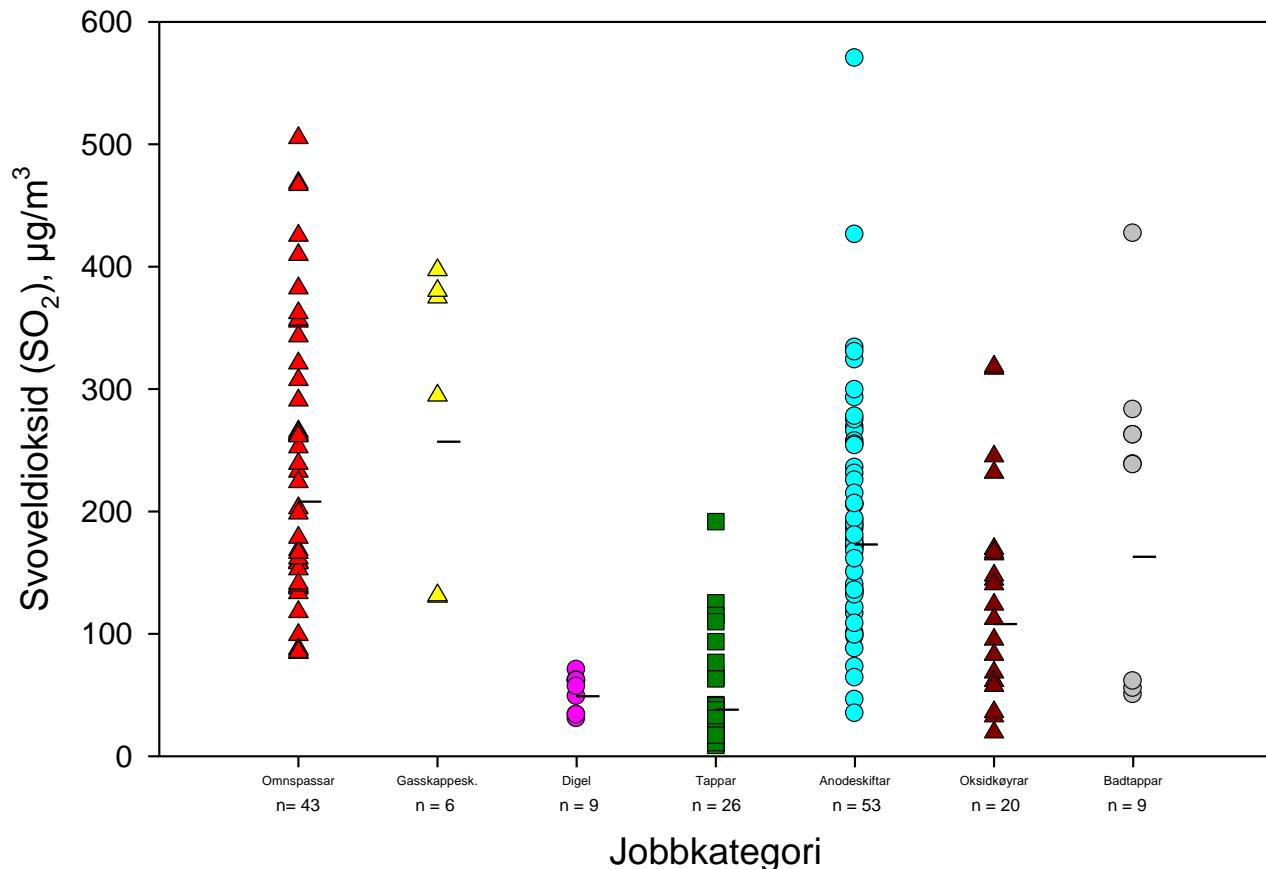
Tabell 12.10: Oversikt over kva jobbkategoriar der GM var signifikant* forskjellige for gasformig fluorid (HF).

Komponent	Jobbkategori	Signifikant* forskjellig frå jobbkategori
HF (gass), Millipore	Omnspassar	Digel, Tappar, Anodeskiftar, Oksidkøyrar
	Gasskappeskiftar	Anodeskiftar, Oksidkøyrar
	Digel	Omnspassar, Anodeskiftar, Badtappar
	Tappar	Omnspassar, Anodeskiftar, Oksidkøyrar, Badtappar
	Anodeskiftar	Omnspassar, Gasskappeskiftar, Digel, Tappar, Oksidkøyrar, Badtappar
	Oksidkøyrar	Omnspassar, Gasskappeskiftar, Tappar, Anodeskiftar, Badtappar
	Badtappar	Digel, Tappar, Anodeskiftar, Oksidkøyrar

* p<0,05

$\text{HF}_{(\text{g})}$ blir danna frå prosessen. Ein kan tenkje seg at eksponeringa er avhengig av opphaldstid ved opne bad. $\text{HF}_{(\text{g})}$ vil kunne adsorberast på aerosolen i hallatmosfæren og vil bli rapportert som partikulært fluorid. Som ei mogleg årsak til at jobbkategoriene anodeskiftar har høgast nivå og størst spreiling er opphaldstida nær opne celler. Avhengig av utført arbeid er det svært ulik opphalstid nær cellene, både mellom ulike personar og mellom dagar for same person. Det spesielle med jobbkategorien anodeskiftar er at arbeidsdagen både har arbeid i ventilerte kran og på golvet.

12.4.2. Svoeldioksid (SO_2)



Figur 12.22: SO_2 frå filter fordelt på jobbkategori. Talet på prøver er gjeve med bokstaven n og må ikkje forvekslast med talet på personar.

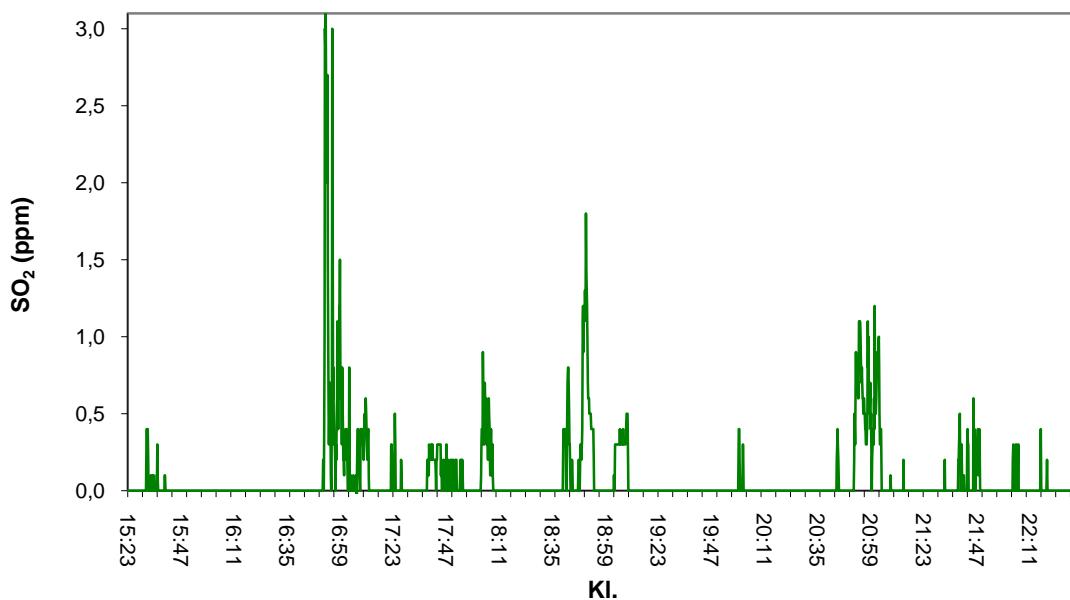
Kjelda til SO_2 -gasseksponeringa er svovelet i anoden. Sovelinhaldet i anoden vil kunne variere med råstoffet til anoden og då truleg variere frå batch til batch. Frå figur 12.22 har ein at lågast SO_2 -eksponering var målt for tappar ($38 \mu\text{g}/\text{m}^3$) medan gasskappeskiftar har høgast eksponering ($257 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Stor spreiling har ein for alle jobbkategoriene utanom digel.

Tabell 12.11: Oversikt over kva jobbkategoriar der GM var signifikant* forskjellige for svoveldioksid (SO_2).

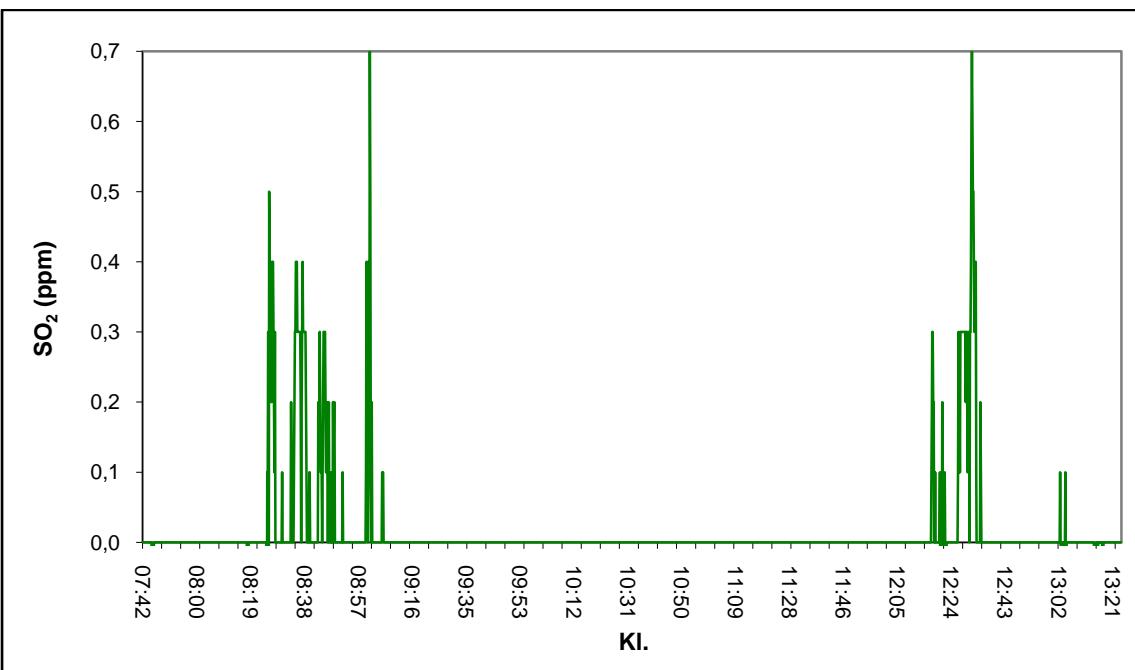
Komponent	Jobbkategori	Signifikant* forskjellig frå jobbkategori
SO ₂ Millipore	Omnspassar	Digel, Tappar, Oksidkøyrar
	Gasskappeskiftar	Digel, Tappar, Oksidkøyrar
	Digel	Omnspassar, Gasskappeskiftar, Anodeskiftar, Oksidkøyrar, Badtappar
	Tappar	Omnspassar, Gasskappeskiftar, Anodeskiftar, Oksidkøyrar, Badtappar
	Anodeskiftar	Digel, Tappar, Oksidkøyrar
	Oksidkøyrar	Omnspassar, Gasskappeskiftar, Digel, Tappar, Anodeskiftar
	Badtappar	Digel, Tappar

12.4.3. Tidsoppløyste SO_2 -målingar

For å betre kunne forstå SO_2 eksponeringa vart det nytta direktevisande gassesensorar til kontinuerleg kunne monitere konsentrasjonen av SO_2 over arbeidsskifta. Fig. 12.23 og 12.24 viser to typiske variasjonsmålingar for to ulike arbeidsoperasjonar. SO_2 kan kome frå svovelet i kolet som blir nytta. Eksponeringsmønstra for dei ulike arbeidsoperasjonane varierar og er derfor eit viktig verktøy til å identifisere utsette arbeidsfunksjonar.



Figur 12.23: Tidsoppløyst SO_2 signal for omnspassar i Søderberg 1. april 2003.



Figur 12.24: Tidsoppløyst SO₂ signal for gasskappeskiftar i Søderberg 2.april 2003

For å kunne vurdere dei tidsoppløyste SO₂ –verdiane vart det nytta ein strategi som var å telje talet på episodar over ein gjeven verdi, kor lenge ein slik episode varer og dosen av SO₂ i kvar episode. Figur 12.25 viser talet på episodar med verdiar over 2,0 ppm SO₂ fordelt på jobbkategoriar. I figur 12.26 viser talet på sekund kor eksponeringa har vore over 2,0 ppm, fordelt på dei ulike jobbkategoriane. I figur 12.27 er det gjeve dosen av desse episodane over 2,0 ppm fordelt på dei ulike jobbkategoriane.

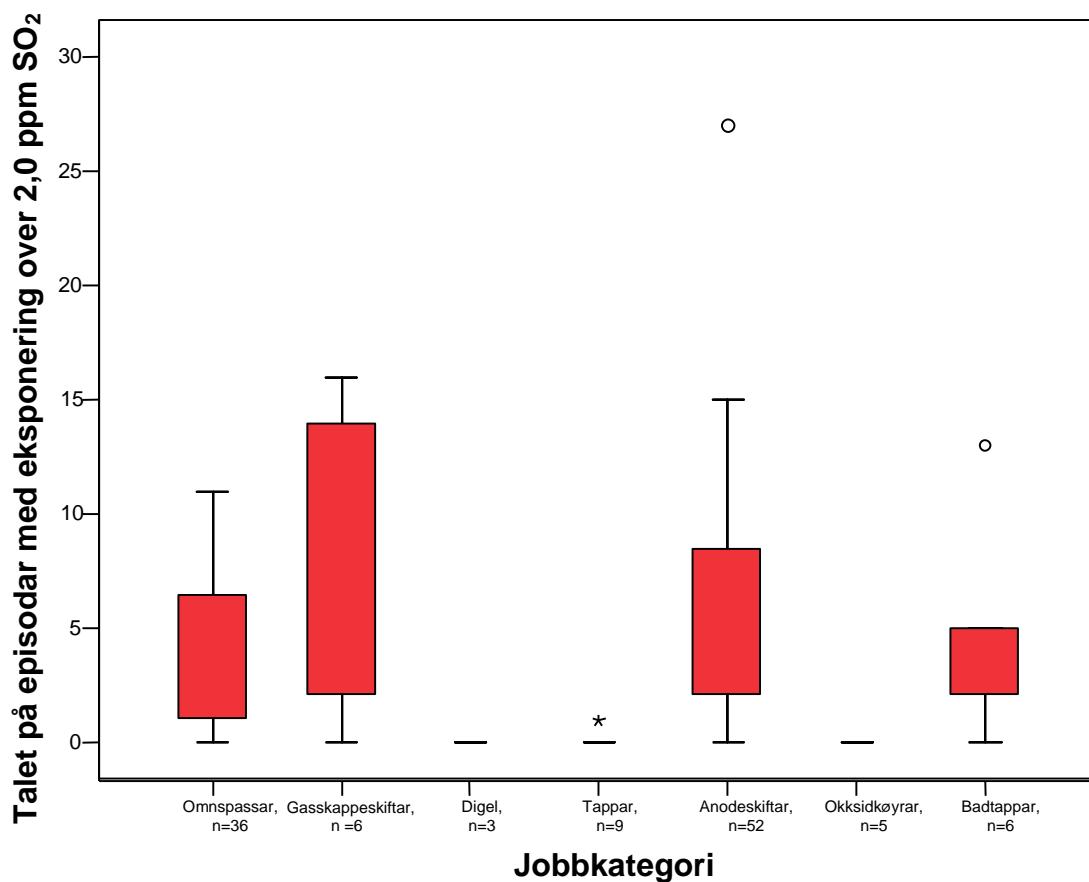


Fig. 12.25: Boksplot av talet på eksponeringsepisodar med eksponering over 2,0 ppm SO₂.

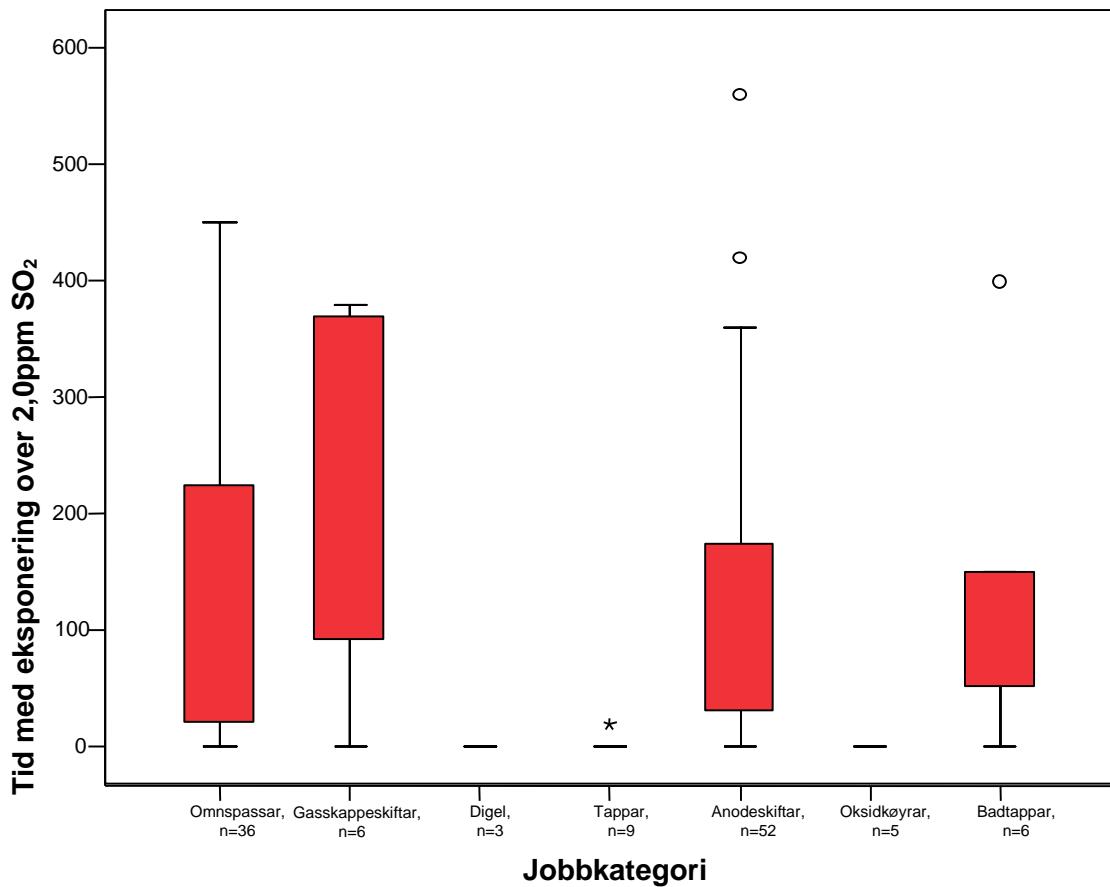


Fig. 12.26: Boksplott av talet på sekund med eksponering over 2,0 ppm SO₂.

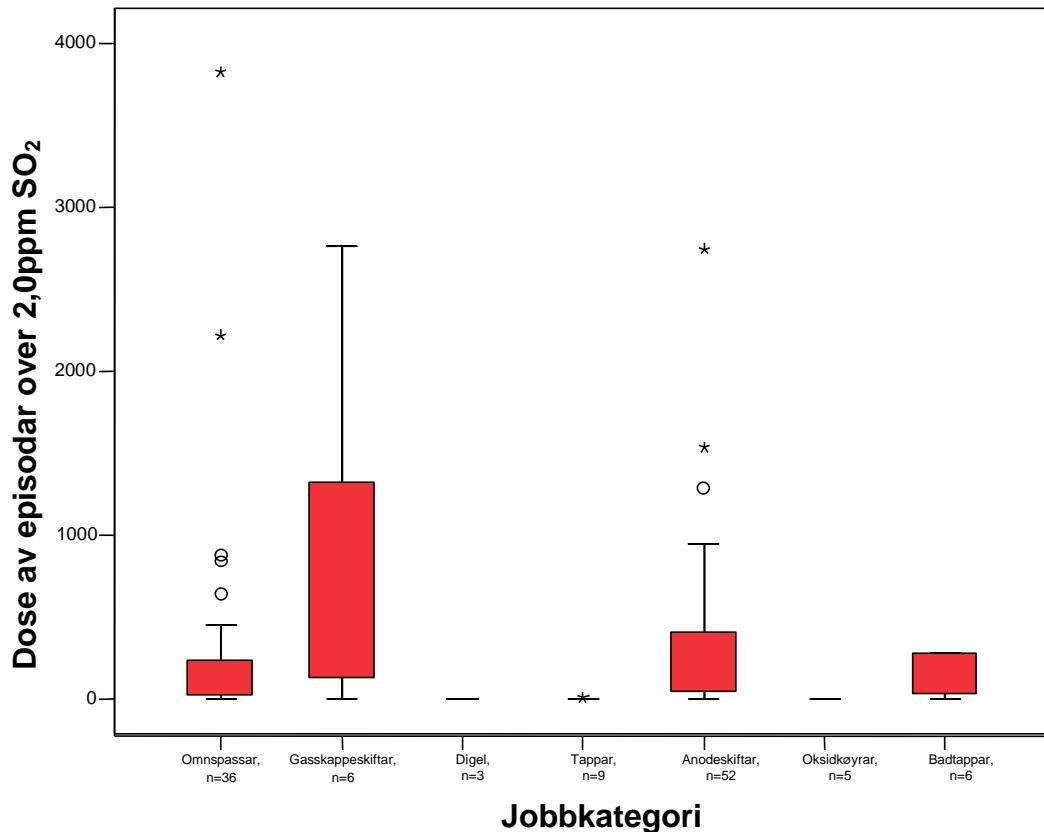


Fig. 12.27: Boksplott av dose (ppm *sekund) for eksponering over 2,0 ppm SO₂.

Gass-sensorar med logging er nyttige hjelpemiddel for identifisering av toppeksponering og
48

variasjonen av eksponeringa gjennom eit arbeidsskift. For alle gassloggarane er det rekna tidsoppløyste konsentrasijsfigurar, gjennomsnittleg konsentrasijsjon (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 12.12: 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	36	57	4888	2119
Gasskappeskiftar	6	27	2927	2285
Digel	3	14	1090	353
Tappar	9	38	3577	700
Anodeskiftar	52	47	2604	1300
Oksidkøyrar	5	60	9646	2243
Badtappar	6	66	9787	3677
Totalt	117	49	4029	1694

**Tabell 12.13: Oppsummering over direktevisande SO₂ eksponeringsmålingar.
Eksponeringsverdiar over 0,5 ppm, Aritmetisk middelverdi (AM).**

Jobbkategori	Talet på målingar, n	Tal på episodar	Tid over, s	Dose, ppm*s
Omnspassar	36	28	1594	1082
Gasskappeskiftar	6	34	1110	1614
Digel	3	3,0	393	123
Tappar	9	6,7	383	77
Anodeskiftar	52	20	766	778
Oksidkøyrar	5	16	1 614	402
Badtappar	6	40	3 440	1512
Totalt	117	22	1 173	865

**Tabell 12.14: Oppsummering over direktevisande SO₂ eksponeringsmålingar.
Eksponeringsverdiar over 1,5 ppm, Aritmetisk middelverdi (AM).**

Jobbkategori	Talet på målingar, n	Tal på episodar	Tid over, s	Dose, ppm*s
Omnspassar	36	5,3	216	403
Gasskappeskiftar	6	11	273	1061
Digel	3	0	0	0
Tappar	9	0,2	3,3	2,6
Anodeskiftar	52	7,0	175	389
Oksidkøyrar	5	0,2	4,0	0,4
Badtappar	6	8,2	287	270
Totalt	117	5,7	173	365

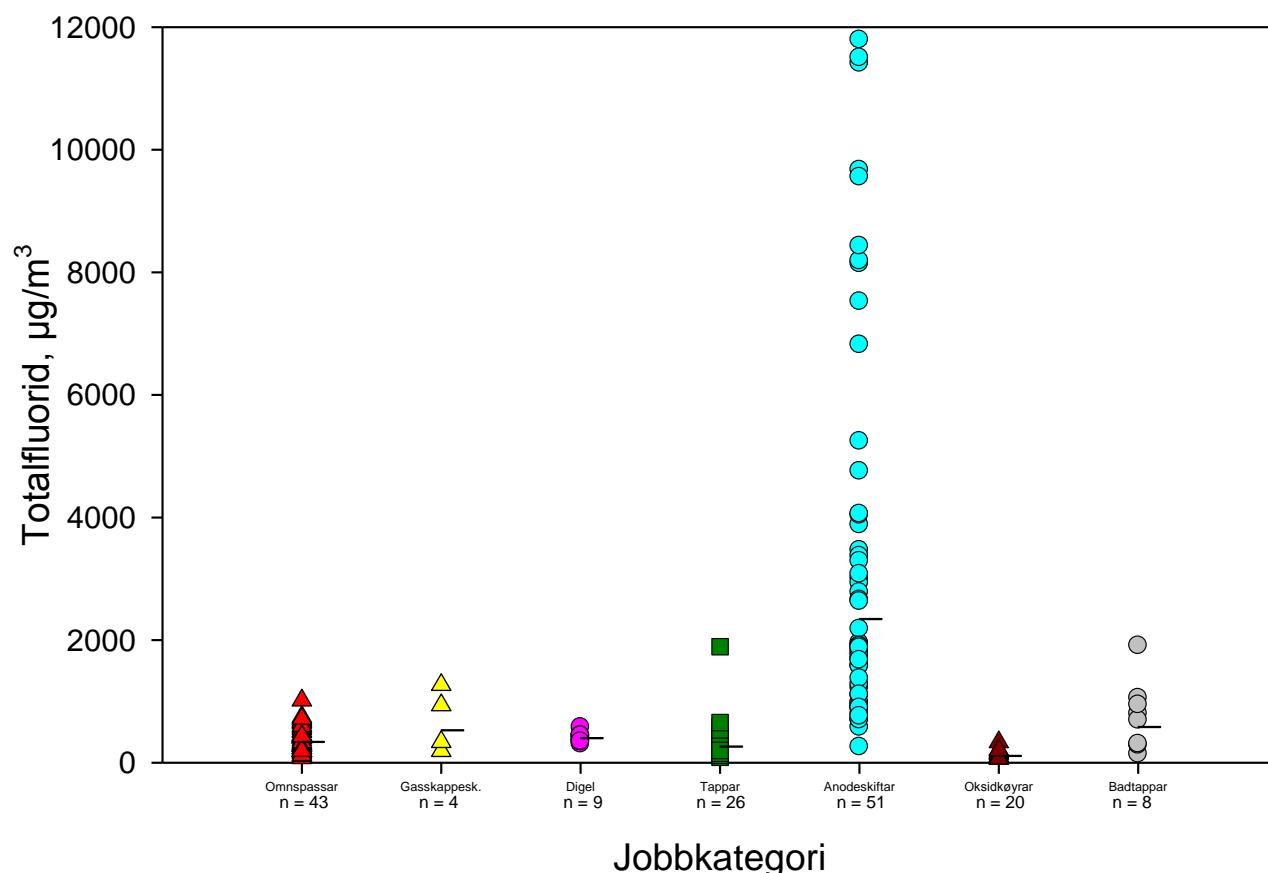
**Tabell 12.15: Oppsummering over direktevisande SO₂ eksponeringsmålingar.
Eksponeringsverdiar over 2,0 ppm, Aritmetisk middelverdi (AM).**

Jobbkategori	Talet på målingar, n	Tal på episodar	Tid over, s	Dose, ppm*s
Omnspassar	36	3,6	119	318
Gasskappeskiftar	6	8,7	217	938
Digel	3	0	0	0
Tappar	9	0,1	2,2	1,1
Anodeskiftar	52	5,3	116	315
Oksidkøyrar	5	0	0	0
Badtappar	6	4,7	125	166
Totalt	117	4,2	106	295

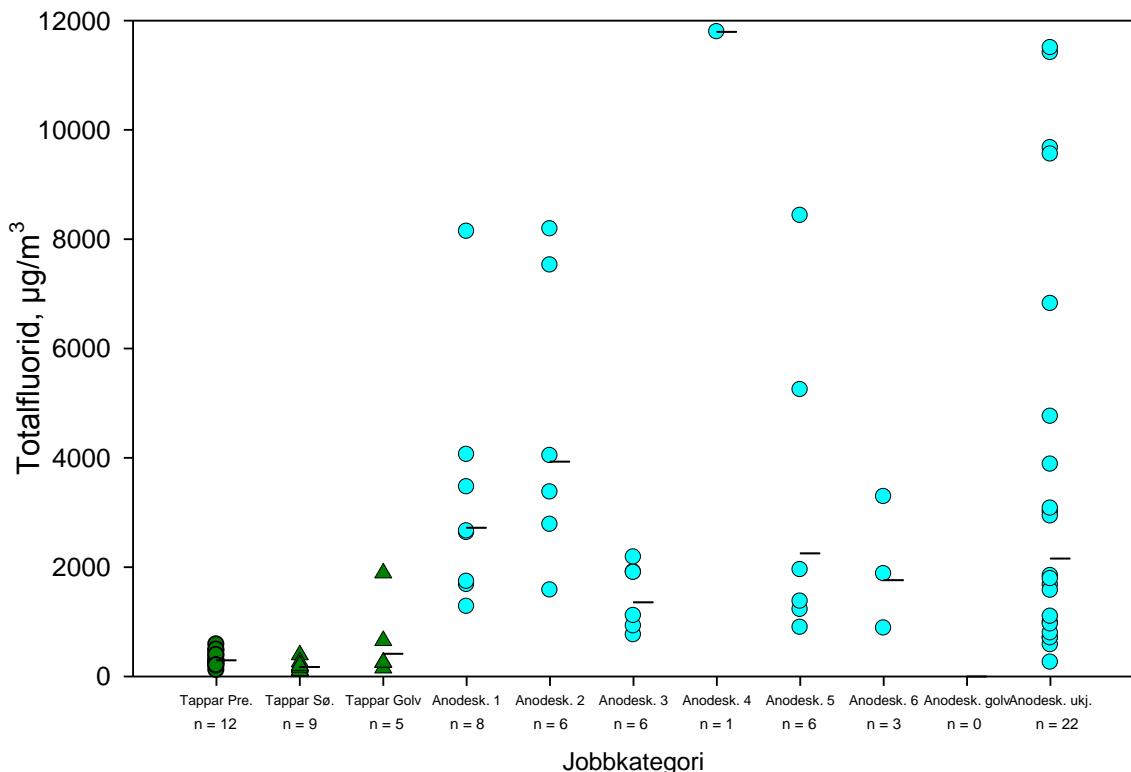
**Tabell 12.16: Oppsummering over direktevisande SO₂ eksponeringsmålinger.
Eksponeringsverdiar over 5,0 ppm, Aritmetisk middelverdi (AM).**

Jobbkategori	Talet på målinger, n	Tal på episodar	Tid over, s	Dose, ppm*s
Omnspassar	36	0,7	22	179
Gasskappeskiftar	6	4,0	72	559
Digel	3	0	0	0
Tappar	9	0	0	0
Anodeskiftar	52	1,3	25	151
Oksidkøyrar	5	0	0	0
Badtappar	6	0,8	15	43
Totalt	117	1,0	22	153

12.5. Totalfluorid

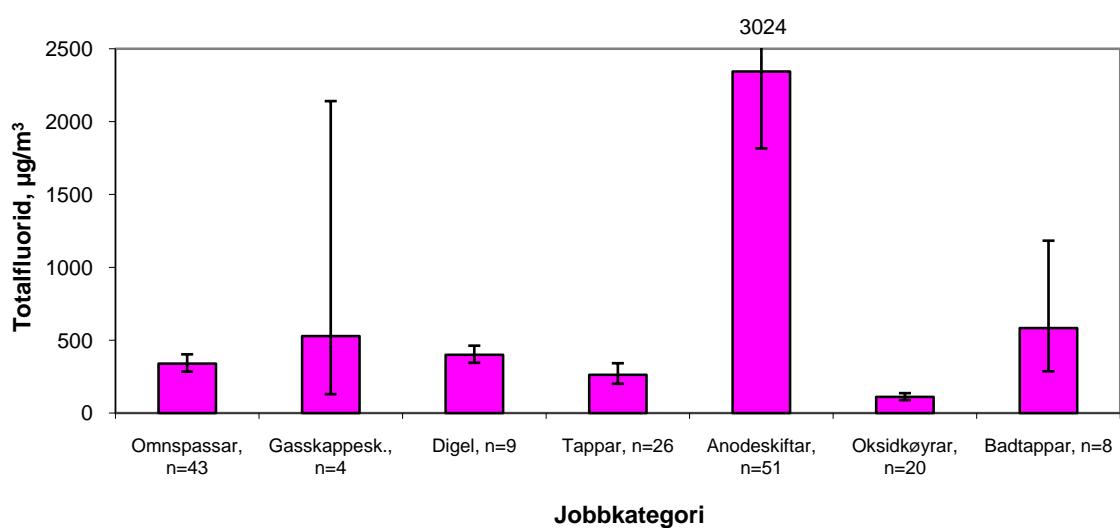


Figur 12.28: Totalfluorid (summen av inhalerbar partikulær aerosolfraksjon frå Respiconprøvetakaren og gassformig fluorid frå HF), fordelt på jobbkategori. Talet på prøver er gjeve med bokstaven n og må ikkje forvekslast med talet på personar.



Figur 12.29: Totalfluorid (summen av inhalerbar partikulær aerosolfraksjon frå Respiconprøvetakaren og gassformig fluorid frå HF), oppdelt mellom dei ulike arbeidsfunksjonane for tapparar og anodeskiftarar. Talet på prøver er gjeve med bokstaven n og må ikkje forvekslast med talet på personar.

I figur 12.29 er det valt å dele opp jobbkategoriane tappar og anodeskiftar på same måte som i fig. 12.3. Som for aerosoleksponeringa er det gruppa Anode 3-ar som skil seg ut ved å være mest homogen og lågast av anodeskiftargruppene. For dei fleste gruppene er talet på målingar for lågt til at det kan gjerast statistiske berekningar.



Figur 12.30: Geometrisk middelverdi, GM med 95 % konfidensintervall for totalfluorid (gassformig og partikulært fluorid).

Jobbkategorien anodeskiftar har den høgste eksponeringa for totalfluorid. Oksidkøyrar har den lågaste eksponeringa. For kategorien gasskappeskiftarar er det stort 95 % konfidensintervall, noko som skuldast få målingar for den kategorien.

Tabell 12.17: Oversikt over kva jobbkategori der GM var signifikant* forskjellige for totalfluorid.

Komponent	Jobbkategori	Signifikant* forskjellig fra jobbkategori
Totalfluorid Inhalerbart partikulært fluorid, Respicon og gassformig fluorid	Omnspassar	Anodeskiftar, Oksidkøyrar, Badtappar
	Gasskappeskiftar	Anodeskiftar, Oksidkøyrar
	Digel	Anodeskifar, Oksidkøyrar
	Tappar	Anodeskifar, Oksidkøyrar, Badtappar
	Anodeskiftar	Omnspassar, Gasskappeskifar, Digel, Tappar, Oksidkøyrar, Badtappar
	Oksidkøyrar	Omnspassar, Gasskappeskifar, Digel, Tappar, Anodeskiftar, Badtappar
	Badtappar	Omnspassar, Digel, Anodeskiftar, Badtappar

Av tabell 12.17 ser ein at for totalfluorid er jobbkategorien anodeskiftar signifikant* forskjellig frå alle dei andre jobbkategoriene. Nivå av eksponeringa er også mykje høgare for denne kategorien samanlikna med dei andre målte kategoriene.

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

Det var ein teoretisk sjanse for å danne NO₂ i elektrolyseprosessen. Prosjektet nytta derfor direktevisande NO₂-sensorar for eventuelt å kunne måle denne eksponeringa. Vi fann ikkje verdiar over den nedste fastsettjingsgrensa for utstyret. Der er såleis ingen verdiar å rapportere eller diskutere. Ein kan slå fast at NO₂ eksponering ikkje var mogeleg å fastsetje for dei arbeidsoperasjonane som vart undersøkt i dette prosjektet.

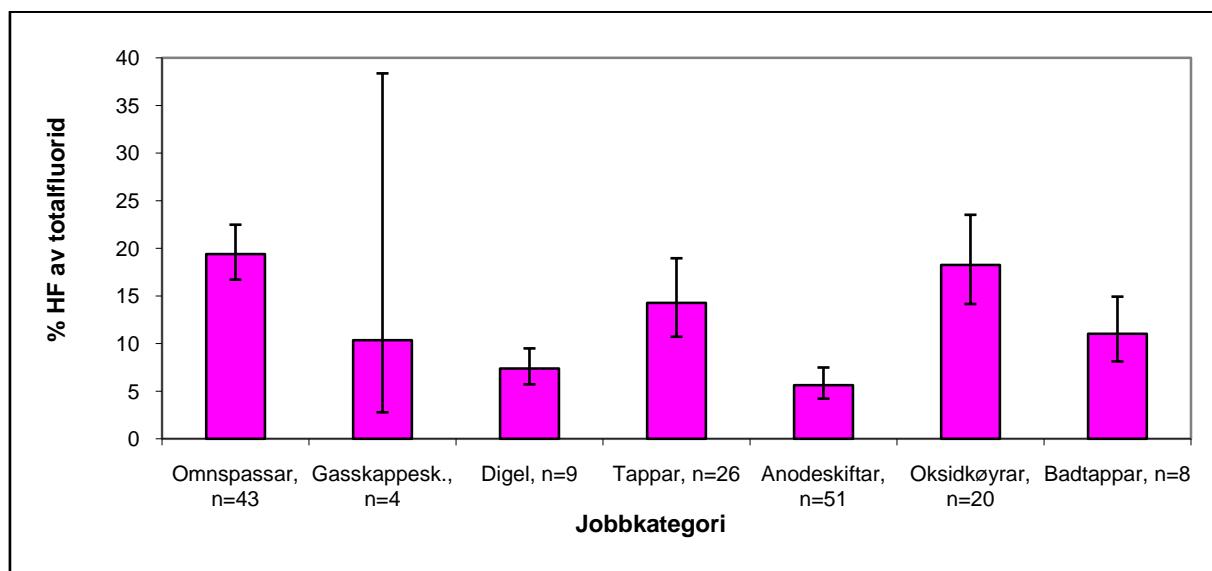


Fig. 12.31: Prosentdel HF av totalfluorid fordelt på jobbkategoriar med 95% konfidensintervall.

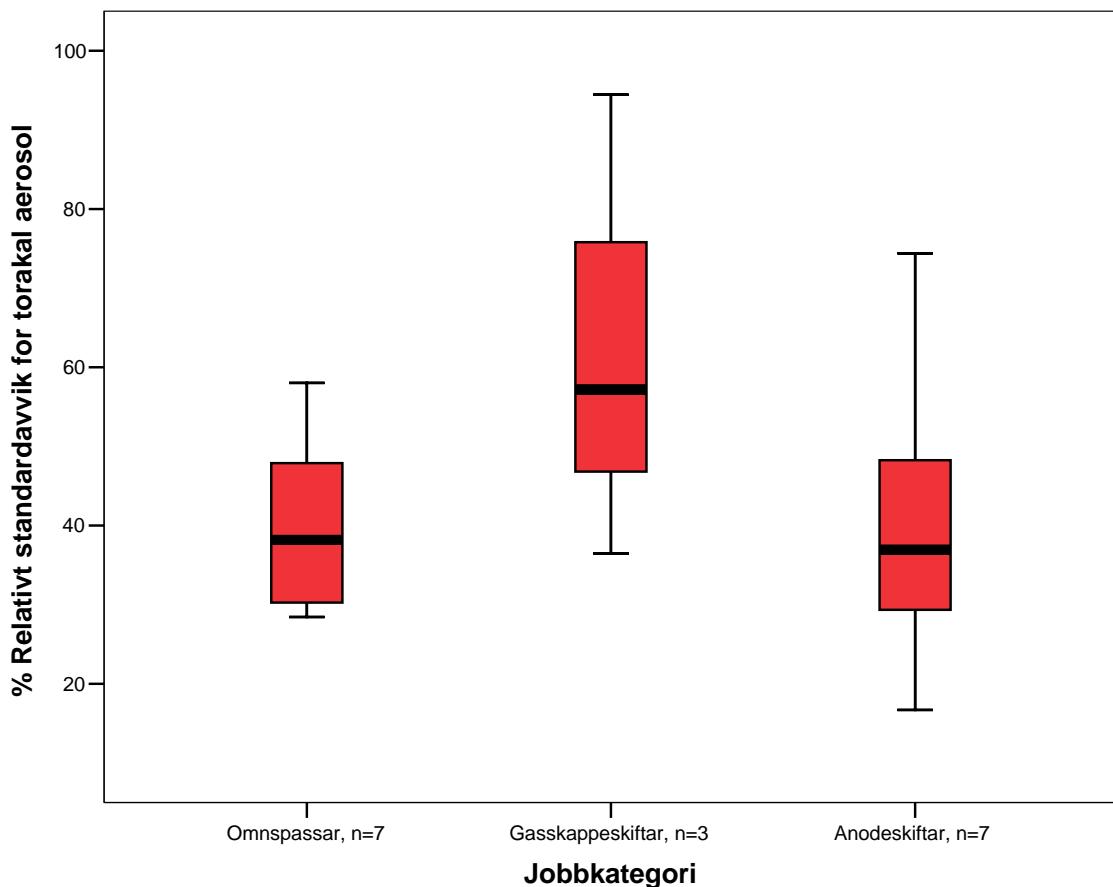
Av fig. 12.31 ser ein at der skilnad i kor stor del av den totale fluoridet som er gassformig (HF) og kor mykje som er partikulært bunde. Jobbkategoriene digel og anodeskiftar har den lågaste prosentdelen HF (< 10 %). Omnspassar og oksidkøyrar har den største prosentdelen HF av totalfluorid (18 og 19 %).

* p<0,05

12.6. Personvariasjon

Fleire av resultata kjem frå målingar på same person over fleire dagar. Ein ynskte å sjå på dag til dag variasjonen for kvar person som funksjon av arbeidsoppgåver. Dei personane som ein hadde 3 eller fleire målingar på vart valt ut. Ved å sjå på det relative standardavviket (Relativt standardavvik [RSD] = $(\text{standardavvik/gjennomsnittet [AM]} \times 100\%)$) mellom målingane for same person, kan ein estimere kor stor spreiing i resultat ein kan forvente når ein tek eksponeringsmålingar på ein tilfeldig dag.

I fig. 12.32 er det gjeve dag til dag variasjonen for dei tre ulike jobbkategoriar.



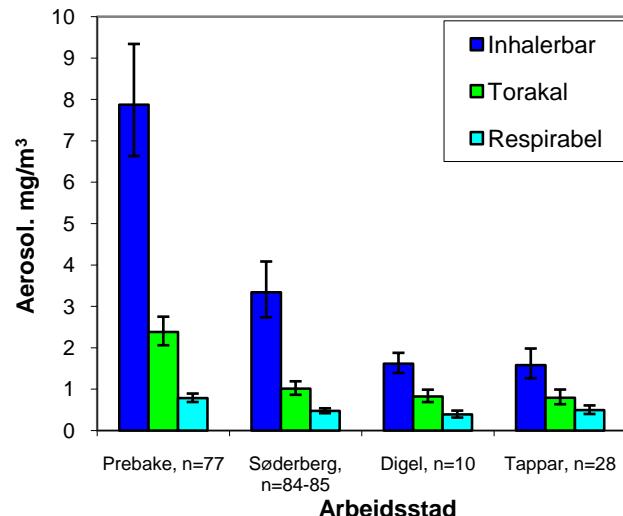
Figur 12.32: Relativt standardavvik for torakal aerosol, dag til dag variasjon for dei same personane med same jobbkategori.

Det var berre dei tre jobbkategoriene omnspassar, gasskappeskiftar og anodeskiftar ein hadde nok målingar på same person til å kunne samanstille. Det er jobbkategorien gasskappeskiftar som har det høgaste gjennomsnittlege relative standardavviket (om lag 60 %). Jobbkategoriene omnspassar og anodeskiftar har begge omlag 35 %.

12.7. Eksponering ved ulike arbeidsstadar

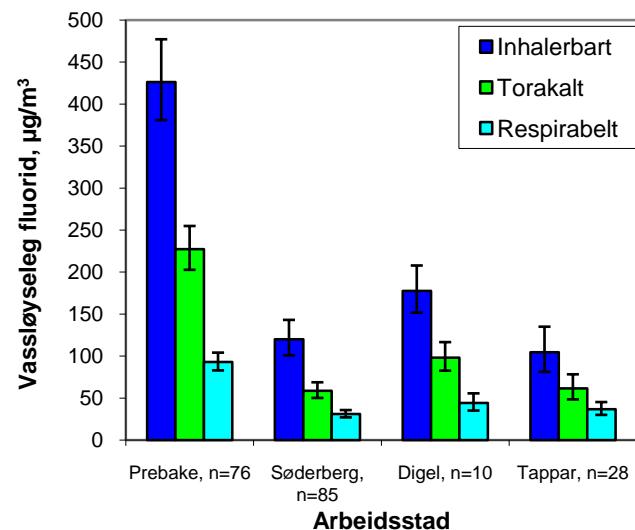
I dette kapittelet er det delt opp etter arbeidsstad. Arbeidsstadane prebake og Søderberg representerar arbeid utført i hallar med desse teknologiane. Arbeidsstaden digel er arbeid i med fresing og reingjering av digler. Medan tappar er jobbkategorien tappar, uavhengig av kva hall det er blitt utført arbeid i. Årsaka til denne oppdelinga er at arbeid på digelrommet og med tapping ikkje naturleg let seg klassifisere som arbeid knytt til anten prebake- eller Søderberg-teknologi.

Ei samanlikning av dei ulike aerosolfraksjonane er vist i figur 12.33. Figuren viser at det er signifikant ($p<0,05$) høgare aerosoleksponering for alle aerosolfraksjonane ved arbeid i prebake enn dei andre undersøkte arbeidsstadane. For inhalerbar aerosol er det også signifikant høgare eksponering ved arbeid i Søderberg enn ved arbeid i digel eller som tappar. For torakal og respirabel eksponering var det ingen signifikant forskjell mellom Søderberg, digel og tappar.



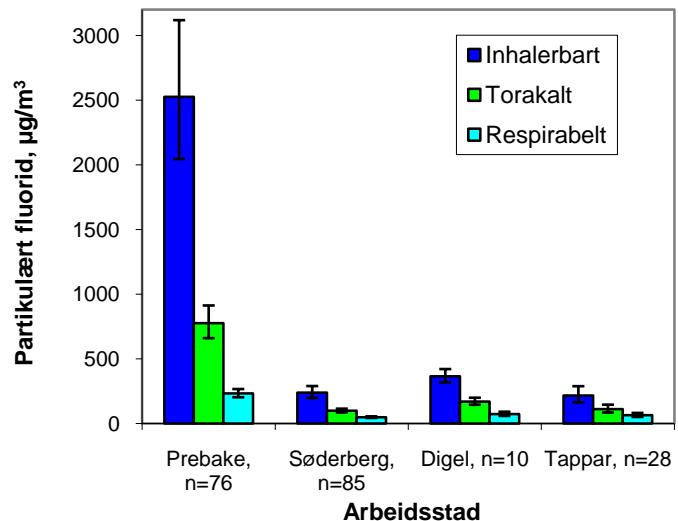
Figur 12.33: Aerosolfraksjonar, GM med 95 % konfidensintervall fordelt på arbeidsstad

Dei ulike vassløyselege fluoridfraksjonane er vist i figur 12.34. Også for denne komponenten er det signifikant ($p<0,05$) høgare eksponering i prebake enn dei andre undersøkte arbeidsstadane. For inhalerbart vassløyseleg fluorid er det høgast eksponering i prebake, medan eksponeringa i Søderberg i motsetning til for aerosol ikkje er signifikant forskjellig frå verken digel eller tappar. Utanom prebake er det digel som har høgast eksponering for alle fluoridfraksjonane. Eksponeringa for respirabelt vassløyseleg fluorid er ikke signifikant forskjellig mellom Søderberg, digel og tappar.



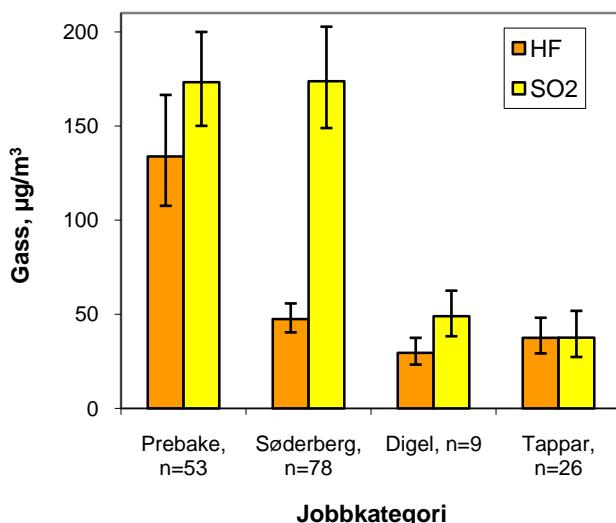
Figur 12.34: Vassløyseleg fluorid i dei ulike aerosolfraksjonane, GM med 95 % konfidensintervall, fordelt på arbeidsstad.

For partikulært fluorid vist i figur 12.35 har ein same trenden, at eksponeringa er høgast for jobbkategoriene i prebake. Prebake har den høgaste eksponeringa med eit gjennomsnitt på over 2500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for inhalerbart partikulært fluorid. Den inhalerbare partikulære fluorideksponering for dei andre arbeidsstadane er ikkje signifikant ($p<0,05$) forskjellig frå kvarandre. For respirabelt partikulært fluorid er eksponeringa i Söderberg signifikant ($p<0,05$) lågare enn dei andre arbeidsstadane.



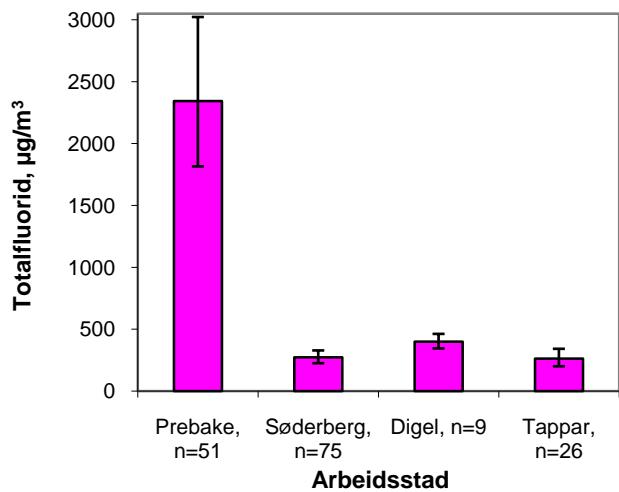
Figur 12.35: Partikulært fluorid i dei ulike aerosolfraksjonane, GM med 95 % konfidensintervall, fordelt på arbeidsstad.

For hydrogenfluorid vart det målt signifikant høgare eksponering i prebake enn for dei tre andre arbeidsstadane. Eksponeringa for svoveldioksid er i ikkje signifikant forskjellig mellom prebake og i Söderberg, men signifikant lågare i digel og for tappar.



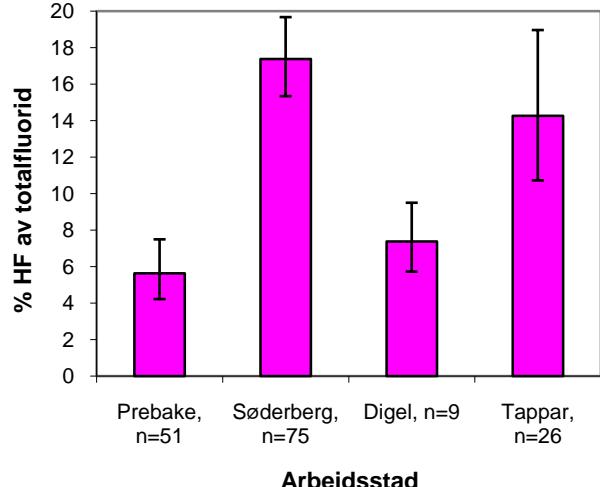
Figur 12.36: Gassane HF og SO_2 , GM med 95 % konfidensintervall, fordelt på arbeidsstad

Totalfluorideksponeringa vist i figur 12.37 viser at den signifikant ($p<0,05$) høgaste eksponeringa er for arbeid i prebake, medan det ikkje er signifikante forskjellar mellom dei tre andre arbeidsstadane. Forskjellen i nivå mellom arbeidsstaden prebake og dei andre arbeidsstadane er stor.



konfidensintervall

Den prosentvise samansetninga av totalfluoridet fordelt på arbeidsstad er vist i figur 12.38. Söderberg og tappar har størst prosentdel HF av totalfluoridet (15 % – 17 %), medan prebake har lågast prosentdel (6 %).



Figur 12.38: % HF av totalfluorid, GM med 95 % konfidensintervall, fordelt på arbeidsstad

Av figurane 12.33 -12.38 går det klart fram at eksponeringa er forskjellig mellom dei to ulike teknologiane prebake og Söderberg. For alle dei målte eksponeringane er det forskjell i nivå på eksponeringa mellom prebake- og Söderberghallar, med klart høgast eksponering i prebake (bortsett frå for SO_2). Ei mogleg forklaring på noko av forskjellen kan være opphaldstid i hallen utanom ventilerte køyretøy. Opphaldstida ute i hallane og arbeidstida ved opne celler er avgjerande for eksponeringa.

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 primær aluminium, *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 partikkeltørrelse 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

Tabell 14.1: Resultat sortert etter jobbkategori

Komponent	Jobbkategori	n	GM	95 % konfidensintervall	
				Nedre	Øvre
Inhalerbar aerosol (IOM), µg/m ³	Omnspassar	44	4900	4300	5800
	Gasskappesk.	6	5600	2800	11000
	Digel	9	2800	2300	3600
	Tappar	26	2300	1900	2900
	Anodeskiftar	53	9500	7900	12000
	Oksidkøyrar	20	2000	1500	2600
	Badtappar	9	4500	2900	7200
	Total	167	4700	4200	5400
Vassløyseleg inhalerbart fluorid (IOM), µg/m ³	Omnspassar	43	173	150	199
	Gasskappesk.	6	209	138	317
	Digel	9	279	227	343
	Tappar	25	152	120	194
	Anodeskiftar	51	444	392	501
	Oksidkøyrar	20	73	62	87
	Badtappar	8	246	150	403
	Total	162	216	192	242
Respirabel aerosol (Respicon), µg/m ³	Omnspassar	46	520	460	600
	Gasskappesk.	9	600	420	870
	Digel	10	390	310	480
	Tappar	28	490	400	610
	Anodeskiftar	77	790	690	890
	Oksidkøyrar	20	300	210	420
	Badtappar	10	620	440	860
	Total	200	570	530	620
Torakal aerosol (Respicon), µg/m ³	Omnspassar	46	1200	1000	1400
	Gasskappesk.	9	1800	1100	3100
	Digel	10	820	690	990
	Tappar	28	790	640	990
	Anodeskiftar	77	2400	2100	2800
	Oksidkøyrar	20	470	340	630
	Badtappar	10	1500	900	2300
	Total	200	1300	1200	1500
Inhalerbar aerosol (Respicon), µg/m ³	Omnspassar	45	4000	3300	5000
	Gasskappesk.	9	7500	3600	15000
	Digel	10	1600	1400	1900
	Tappar	28	1600	1300	2000
	Anodeskiftar	77	7900	6600	9300
	Oksidkøyrar	20	1200	900	1600
	Badtappar	10	5200	2900	9500
	Total	199	4000	3500	4600
Respirabelt vassløyseleg fluorid (Respicon), µg/m ³	Omnspassar	46	34	29	41
	Gasskappesk.	9	35	26	48
	Digel	10	44	35	56
	Tappar	28	37	30	45
	Anodeskiftar	76	93	83	104
	Oksidkøyrar	20	17	14	21
	Badtappar	10	57	36	92
	Total	199	49	44	55

Tab. 14.1 forts.

Komponent	Jobbkategori	n	95 % konfidensintervall		
			GM	Nedre	Øvre
Torakalt vassløyseleg fluorid (Respicon), µg/m ³	Omnspassar	46	67	56	79
	Gasskappesk.	9	90	56	140
	Digel	10	98	83	120
	Tappar	28	62	48	78
	Anodeskiftar	76	230	200	260
	Oksidkøyrar	20	26	21	31
	Badtappar	10	120	76	190
	Total	199	100	90	120
Inhalerbart vassløyseleg fluorid (Respicon), µg/m ³	Omnspassar	46	140	120	160
	Gasskappesk.	9	210	120	350
	Digel	10	180	150	210
	Tappar	28	110	81	140
	Anodeskiftar	76	430	380	480
	Oksidkøyrar	20	47	37	58
	Badtappar	10	270	160	430
	Total	199	200	170	220
Respirabelt partikulært fluorid (Respicon), µg/m ³	Omnspassar	46	53	45	62
	Gasskappesk.	9	52	37	71
	Digel	10	73	58	91
	Tappar	28	64	51	82
	Anodeskiftar	76	230	200	270
	Oksidkøyrar	20	30	25	35
	Badtappar	10	83	51	140
	Total	199	94	82	110
Torakalt partikulært fluorid (Respicon), µg/m ³	Omnspassar	46	110	93	130
	Gasskappesk.	9	140	85	240
	Digel	10	170	150	200
	Tappar	28	110	85	150
	Anodeskiftar	76	780	660	910
	Oksidkøyrar	20	48	40	56
	Badtappar	10	190	120	300
	Total	199	230	190	270
Inhalerbart partikulært fluorid (Respicon), µg/m ³	Omnspassar	46	270	230	330
	Gasskappesk.	9	430	230	810
	Digel	10	370	320	420
	Tappar	28	220	160	288
	Anodeskiftar	76	2500	2000	3100
	Oksidkøyrar	20	89	68	110
	Badtappar	10	550	310	970
	Total	199	590	490	720
Hydrogenfluorid (HF), µg/m ³	Omnspassar	43	66	56	78
	Gasskappesk.	6	48	22	100
	Digel	9	30	23	37
	Tappar	26	37	29	48
	Anodeskiftar	53	130	110	170
	Oksidkøyrar	20	20	18	23
	Badtappar	9	66	43	100
	Total	166	62	54	71

Tab. 14.1 forts.

Komponent	Jobbkategori	n	95 % konfidensintervall		
			GM	Nedre	Øvre
Svoveldioksid (SO_2), $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Omnspassar	43	210	180	240
	Gasskappesk.	6	260	150	450
	Digel	9	49	38	63
	Tappar	26	38	27	52
	Anodeskiftar	53	170	150	200
	Oksidkøyrar	20	110	76	160
	Badtappar	9	160	86	310
	Total	166	130	110	150
Totalfluorid, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Omnspassar	43	340	290	400
	Gasskappesk.	4	530	130	2100
	Digel	9	400	350	460
	Tappar	26	260	200	340
	Anodeskiftar	51	2300	1800	3000
	Oksidkøyrar	20	110	90	140
	Badtappar	8	580	290	1200
	Total	162	550	450	670

Tabell 14.2: Resultat sortert etter arbeidsstad

Komponent	Teknologi	n	95 % konfidensintervall		
			GM	Nedre	Øvre
Respirabel aerosol (Respicon), $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Prebake	77	790	690	890
	Søderberg	85	470	420	540
	Digel	10	390	310	480
	Tappar	28	490	400	610
	Total	200	570	530	620
Torakal aerosol (Respicon), $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Prebake	77	2400	2100	2800
	Søderberg	85	1000	860	1200
	Digel	10	820	690	990
	Tappar	28	790	640	990
	Total	200	1300	1200	1500
Inhalerbar aerosol (Respicon), $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Prebake	77	7900	6600	9300
	Søderberg	84	3300	2700	4100
	Digel	10	1600	1400	1900
	Tappar	28	1600	1300	2000
	Total	199	4000	3500	4600
Respirabelt vassløyseleg fluorid (Respicon), $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Prebake	76	93	83	100
	Søderberg	85	31	27	36
	Digel	10	44	35	56
	Tappar	28	37	30	45
	Total	199	49	44	55
Torakalt vassløyseleg fluorid (Respicon), $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Prebake	76	230	200	260
	Søderberg	85	59	50	69
	Digel	10	98	83	120
	Tappar	28	62	48	78
	Total	199	100	90	120
Inhalerbart vassløyseleg fluorid (Respicon), $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Prebake	76	430	380	480
	Søderberg	85	120	100	140
	Digel	10	180	150	210
	Tappar	28	110	81	140
	Total	199	200	170	220

Tab. 14.2 forts.

Komponent	Teknologi	n	GM	95 % konfidensintervall	
				Nedre	Øvre
Respirabelt partikulært fluorid (Respicon), µg/m ³	Prebake	76	230	200	270
	Søderberg	85	49	43	55
	Digel	10	73	58	91
	Tappar	28	64	51	82
	Total	199	94	82	110
Torakalt partikulært fluorid (Respicon), µg/m ³	Prebake	76	780	660	910
	Søderberg	85	99	85	110
	Digel	10	170	150	200
	Tappar	28	110	85	150
	Total	199	230	190	270
Inhalerbart partikulært fluorid (Respicon), µg/m ³	Prebake	76	2500	2000	3100
	Søderberg	85	240	200	290
	Digel	10	370	320	420
	Tappar	28	220	160	290
	Total	199	590	490	720
Hydrogenfluorid (HF), µg/m ³	Prebake	53	130	110	170
	Søderberg	78	47	40	56
	Digel	9	30	23	37
	Tappar	26	37	29	48
	Total	166	62	54	71
Sfoveldioksid (SO ₂), µg/m ³	Prebake	53	170	150	200
	Søderberg	78	170	150	200
	Digel	9	49	38	63
	Tappar	26	38	27	52
	Total	166	130	110	146
Totalfluorid, µg/m ³	Prebake	51	2300	1800	3000
	Søderberg	75	270	230	330
	Digel	9	400	350	460
	Tappar	26	260	200	340
	Total	161	550	450	670