



Eksponeringskartlegging ved norske aluminiumverk

Delapport Hydro Aluminium Sunndal

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

Innholdsliste:

1. Samandrag	4
2. Konklusjon	5
3. Bakgrunn for prosjektet.....	6
4. Mål for prosjektet	6
5. Definisjonar og forklaringar	6
5.1. Støv og aerosolfraksjonar	6
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 middelerdi, GM	11
6. Om Hydro Aluminium Sunndal (HAS).....	12
7. Prøvetaking	12
7.1. Prøvetakingsstrategi	12
7.2. Aerosolprøvetakarar.....	13
7.2.1. IOM.....	13
7.2.2. Respicon™ virtuell impaktor	13
7.2.3. ”Totalstøv”-kassetten	14
7.2.4. Direktevisande Respicon og Split 2	14
7.3. Gassprøvetakarar	14
7.3.1. Gassensorar	14
7.3.2. Gassfilter	15
8. Prøver samla med dei ulike prøvetakarane	15
9. Analysemetodar.....	16
9.1. Gravimetri.....	16
9.2. Fastsetjing av fluorid	16
9.2.1. Vassløyseleg fluorid	16
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	17
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 vassløyseleg fluorid	29
12.3.	Resultat partikulært fluorid	35
12.4.	Gassar, HF og SO ₂	41
12.4.1.	Tidsoppløyste SO ₂ -målingar	43
12.5.	Totalfluorid	49
12.6.	Personvariasjon	51
13.	Referansar	54
14.	Appendiks	56

1. Samandrag

Ved aluminiumsmelteverket på Sunndalsøra er det føretatt arbeidsmiljømålingar som inngår i del 2 av prosjektet "Hallastma i produksjon av primæraluminium (HAPPA). Målingane vart utført i perioden 23. - 28. januar 2006. Eksponeringsnivåa for aerosol og gassar vart undersøkt med forskjellig utstyr og for dei mest aktuelle jobbkategoriene.

I alle Respicon- og "Totalstøv"-kassettprøvene vart både vassløyseleg og partikulært fluorid fastsett.

Prosjektet nytta prøvetakingsutstyr som fylgjer dei internasjonalt aksepterte kriteria for helserelevante aerosolfraksjonar. Totalt ved Hydro Aluminium Sunndal (HAS) vart det tatt eksponeringsprøver av 51 personar. I den grad det var praktisk mogeleg vart det tatt fleire eksponeringsprøver av same person. Av dette har ein 83 eksponeringsprøver tatt med IOM kassett, 92 eksponeringsprøver tatt med "Totalstøv"-kassett, 99 eksponeringsprøver tatt med Respicon og 83 prøver av eksponeringa for HF og SO₂. I tillegg vart det fastsett fluorid med ulike kjemisk sambinding i aerosolen.

Resultata viser at der var stor spreining i luftkonsentrasjonar over heile arbeidsskiftet for dei einsskilte jobbkategoriene. Kortvarig høg eksponering ser ut til å være den største utfordringa for industrien. Den høgaste eksponeringa er målt for jobbkategorien anodeskiftar, medan lågast vart målt for tappar.

Resultata ved bruk av "Totalstøv"-kassett kan samanliknast med gjeldande administrativ norm då denne baserar seg på bruk av dette prøvetakingsutstyret. Dette gjeld også for gassane SO₂ og HF.

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 var den gjennomsnittlege høgast eksponerte kategorien for alle komponentane utanom aerosolmålingane IOM-prøvetakaren og "Totalstøv"-kassetten. Den generelt lågast eksponerte kategorien var tappar.

Gjennomsnittleg var 26 % av den inhalerbare aerosolen torakal og 11 % respirabel. Av det inhalerbare vassløselege fluoridet var 48 % torakalt og 22 % respirabelt. For partikulært fluorid var 30 % torakalt og 12 % respirabelt.

Prosentdelen vassløseleg fluorid av partikulært fluorid varierte i gjennomsnitt frå 22 % (respirabel) til 41 % (torakal) avhengig av partikkelstorleik.

Av alle komponentane som ein føretok eksponeringsmålingar på var det totalfluorid (summen av HF og partikulært fluorid) og partikulært fluorid som skilte deg ut med fleire høge verdiar, spesielt for jobbkategorien anodeskiftar.

Gjennomsnittleg eksponering for svoveldioksid (SO₂) var 81 µg/m³ og tidsoppløyte målingar viste at nesten all eksponering var kortvarig og i mange tilfeller høg. Spesielt for anodeskiftar verka gjennomsnittet høgt (274 µg/m³) og spreinga stor i forhold til dei andre jobbkategoriene.

Der var relativ stor spreing i eksponeringa innanfor ein jobbkategori, noko som kan tyde på at einskilde arbeidsoperasjonar gjev høg eksponering. Personvariasjonen viste at det kan være stor variasjon frå deg til dag for same person, avhengig av jobbkategori (127 % RSD for anodeskiftar og 230% for omnspassar).

Direktevisane måleutstyr har vist at store delar av eksponeringa kan skuldast kortvarige episodar knytt til konkrete arbeidsoperasjonar med høg eksponering. Ein framtidig strategi bør være å redusere talet på episodar og mengda aerosol/gass i episodane. Dette er vanskeleg utan vidare undersøking av arbeidsoppgåvene med fokus på å identifisere årsaka til eksponeringstoppane.

3. Bakgrunn for prosjektet

Eksponeeringsundersøkingane ved HAS er ei utviiing av prosjektet: Hall Astma i Primær Produksjon av Aluminium (HAPPA) som har pågått i regi av Aluminiumsindustriens Miljøsekretariat, AMS og Statens arbeidsmiljøinstitutt, STAMI.

I aluminiumsindustrien blir det rapportert om tilfeller av hallastma og andre luftvegslidingar. Noko eksakt årsak til dette er til no ikkje kjent, men mange forureiningar er identifisert i arbeidsatmosfæren. I støvet er det funnet mellom anna, polysykliske aromatiske hydrokarbon (PAH), aluminium, fluorid og beryllium, medan hydrogenfluorid, og svoveldioksid er kjente gassar.

Direktoratet for Arbeidstilsynet foreslo i 2003 ein ny vurdering for hydrogenfluorid og fluorid i "Administrative normer for arbeidsatmosfære". Aluminiumindustrien i Noreg ved Aluminiumindustriens Miljøsekretariat (AMS) og Statens arbeidsmiljøinstitutt (STAMI) viste til manglande eksponeeringsdata for industrien, og foreslo ei utsetjing av revisjonen i 3 til 5 år. Dette forslaget vart vedteke av styret for Direktoratet for Arbeidstilsynet.

Den føreslåtte revisjonen av dei administrative normene for HF og fluorid, den mogelege samanhengen mellom fluorideksponeering og hallastma samt at industrien mangla informasjon om fluorideksponeeringa målt med prøvetakingsutstyr for dei helserelaterte aerosolfraksjonane gjorde at prosjektet vart starta i 2002.

4. Mål for prosjektet

Bruke monitoreringsprogrammet frå HAPPA til å kartlegge personeksponeeringa ved SU4 og Anoderens ved Hydro Aluminium Sunndal.

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. I tabellen 5.1 er det gjeve definisjonen av aerosol og dei helserelaterte aerosolfraksjonane

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.

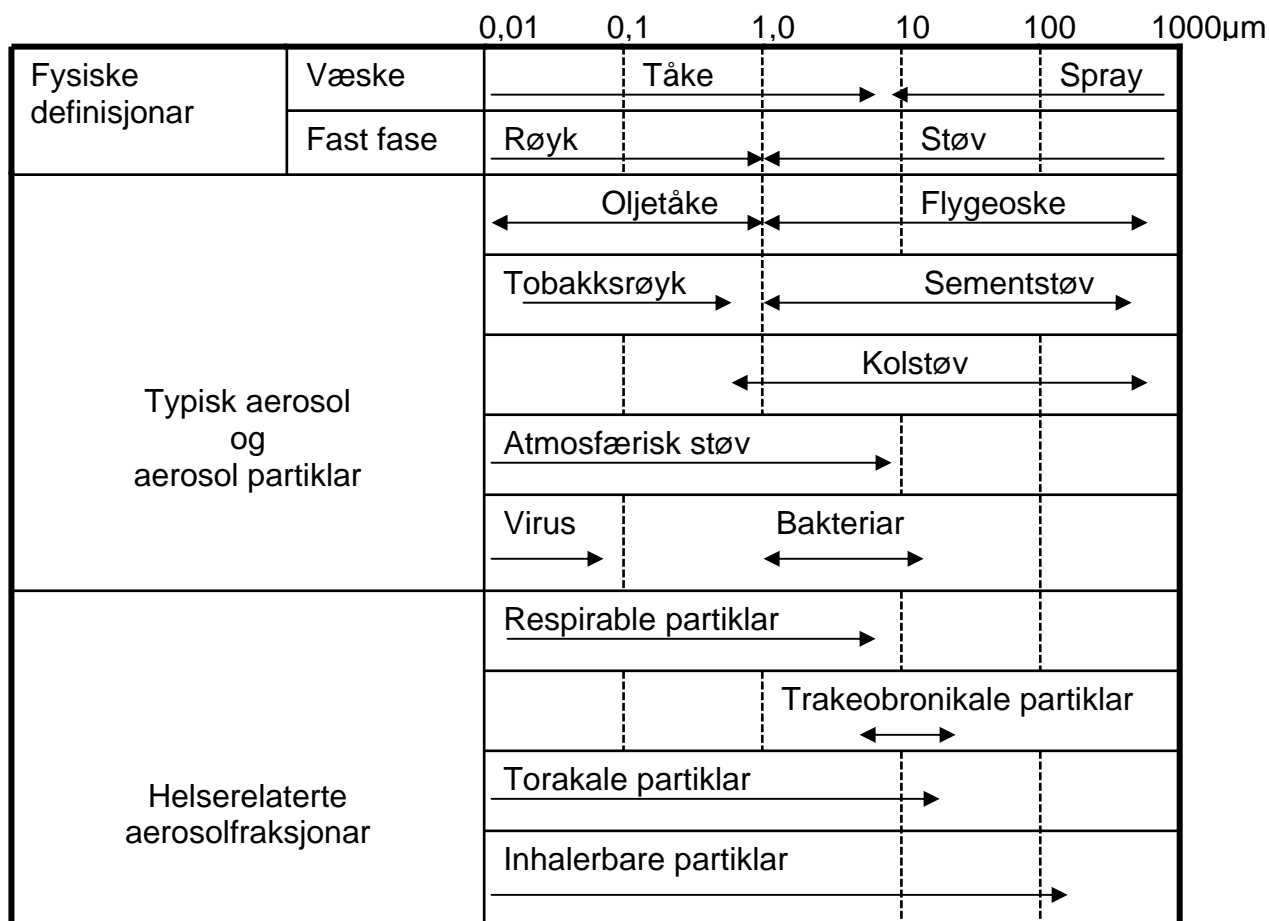
Totalstøv er eit omgrep som er innarbeida i sambande med arbeidsmiljømålingar. For mange er det noko som man måler med ein såkalla totalstøvkassett. Dette er kassetten som tradisjonelt blir brukt i dei fleste eksponeeringsmålingane, også i aluminiumindustrien.

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 μm . Dette gjer at kurvene for PM₁₀ og torakal fraksjon er nesten identiske opp til 10 μm , men deretter marginalt forskjellige (JEM), 2005,7,411-415.

Tabell 5.1: Oversikt over aerosol og helserelevante aerosolfraksjonar



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 $100 \mu\text{m}$.

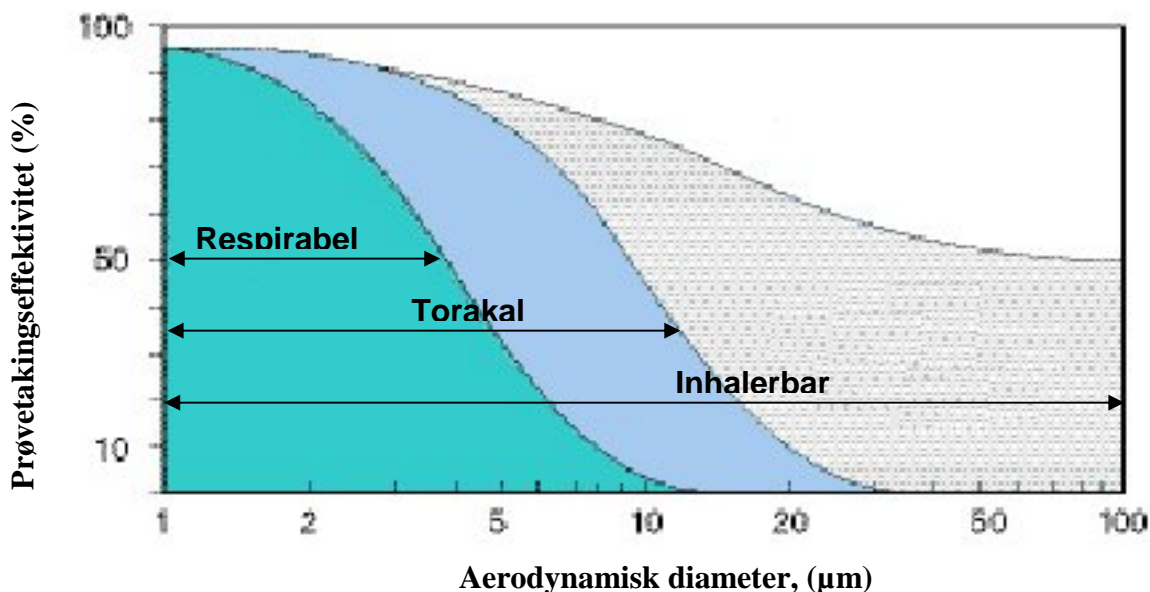
Denne fraksjonen er viktig for helseeffektar i alle stadar av respirasjonssystemet, som t.d. ved rhinitis, kreft i nase og lunge og andre luftvegslidingar.

5.2.2. Torakal aerosol fraksjon (f_{tor})

Denne fraksjonen inneheld partiklar som kan avsetjast nedanfor strupehovudet (larynx) dvs. at dei trengjer 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.



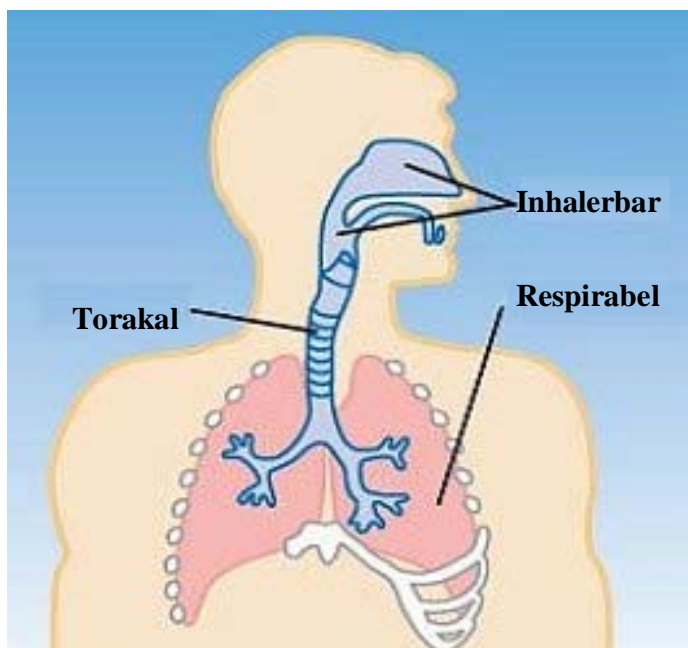
Figur 5.1: Kurver som viser respirabel og torakal aerosolfraksjon som funksjon av aerodynamiske diameter, og som underfraksjon av inhalerbar fraksjon, NS-EN 481.

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 prosjektet var det difor naturleg og føremålstenleg at ei grunnleggjande kartlegging av eksponeringshøva i elektrolysehallane i aluminiumindustrien fokuserte på alle desse tre helserelevante aerosolfraksjonane. For HAS vart prosjektet utvida til å ta med den tradisjonelle "Totalstøv"-kassetten for å kunne samanlikne prøvetakingsutstyret.

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 Hydro Aluminium Sunndal (HAS)

Tabell 6.1: Teknologioversikt for (HAS)

Emne:	
Teknologi:	Prebake – SU4

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

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

Omnspassar	Stell av omn, blusstaking (stauring), måling av temp. bad og metall, påfylling av knust bad, oksidsjekking, kosting, kryssing, ekstrakol, straumfordelingsmåling, rydding, badtapping, truckkøyning, reinsing av baddigle, køyning av staur, klumpa opp (tilsatt knust bad), opna tett mater, påfylling av kalsiumfluorid, reperasjon av køyretøy,
Tappar	Tapping, fluxing, drilling av røyr, fresing av digle, reinsking av ejetor, meisling av lokk, meisling av digeltopp, skifting av utblåsingsrøyr, meisling under lokk, blåsing av topp
Anodeskift	Anodeskift frå kran, anodeskift frå golv, dekking frå golv, dekking frå kran, dekselbetjening, kryssing, målt bad og metall, tatt bad- og metallprøver, blussvakt, stell av omn, straumfordelingsmåling, dekselbetjening miljøboksar, kosting.
Anoderens	Reinsking av sikt (badsikt), truckkøyning, tømning av sekkar, skifting av sekkar, målt heng, tømt tobber, meisling av bad, renska butts, lasting av kassetar, tømning av container, kosting, hjullasterkøyning, reperasjon av utstyr med opne luker, etterfylling av stålsand, arbeid på junker

7. Prøvetaking

7.1. Prøvetakingsstrategi

Prøvetakingsstrategien var fastlagt i protokollen for HAPPA-prosjektet. I utgangspunktet skulle ein ta prøver på 10 personar på kvart skift. Det skulle gjerast målingar ved formiddag og ettermiddagsskifta i 5 påfylgjande dagar. 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
- 90 SO₂ prøver med tidsoppløyst signal med dataloggar

7.2. Aerosolprøvetakarar

7.2.1. IOM

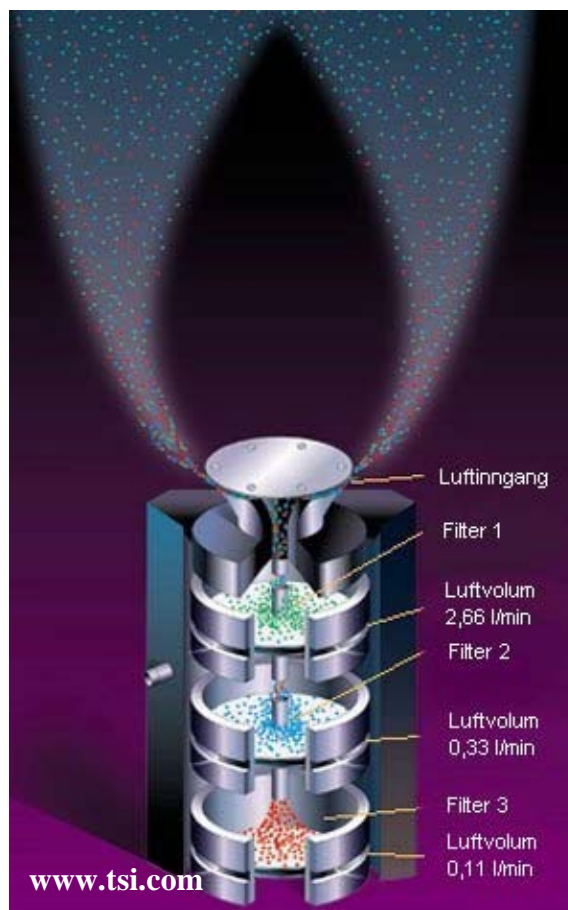
IOM-prøvetakeren er utvikla ved Institute of Occupational Medicine i Edinburg og er konstruert som ein personlig prøvetakar for inhalerbar aerosol (Mark og Vincent, 1986). Den nyttar 25 mm filter og skal ha ein luftgjennomstrømningsfart på 2 L/min. Testing i vindtunnel og i felt har vist at den fylgjer 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.



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 helse relaterte respirabel, torakal og inhalerbar aerosolfraksjonane. Produsent er Hund, Helmut Hund GmbH, Wilhelm-Will-Str. 7, D-35580 Wetzlar, Tyskland. Total luftstrøm gjennom prøvetakaren skal vere 3,11 L/min. Ulik luftstrøm 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 (Figur 7.2) 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



Figur 7.2. Respiconprøvetakar

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.

7.2.3. "Totalstøv"-kassetten

Tradisjonelt er "Totalstøv"-kassetten brukt til å overvake arbeidsmiljøet. Dagens administrative normer baserer seg på bruk av denne kassetten for 8-timars middelværdi. Kassetten har ein oppsamlingseffektivitet for aerosolar som ikkje direkte kan samanliknast med prøvetakingsutstyr for dei helserelevante aerosolfraksjonane. Den nyttar 25 mm filter og skal ha ein luftgjennomstrømningsfart på 2 L/min.

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 infraraude strålen treff aerosolen, vil dette føre til lysspreiing. Saman med den gravimetrisk analysen får ein aerosolkonsentrasjon i mg/m³. Luftstraumen gjennom prøvetakaren skal vere 2,0 L/min.

I den direktevisande respiconprøvetakaren er det tre fotodetektorar for fastsetjing av aerosol. Saman med gravimetrisk 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.

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

7.3. Gassprøvetakarar

7.3.1. Gassensorar

Direktevisande gassensorar er nyttige hjelpemiddel til å sjå på toppeksponeering for SO₂. 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. Ein direktevisande HF sensor med datalogging vart prøvd ut, men den var ikkje god nok for denne industrien.

NO₂ kunne ein tenkje seg blir danna ved bluss. Det vart derfor teke NO₂-prøver parallelt med SO₂-prøvene.

Direktevisande gassmålingar av SO₂ og NO₂ 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 registret 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 fastsetjingsgrense på 0,2 ppm. Sensorane vart kalibrert med kjent gasskonsentrasjon mellom prøvetakingane på kvart verk.

7.3.2. 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 prøvetakingsutstyr	Helserelaterte aerosolfraksjonar (jf. Fig. 4.1)					Gassar		"Totalstøv"-kassett
	Respirabel	Trakeo-bronkial	Ekstratorakal	Torakal	Inhalerbar	HF	SO ₂	
IOM	-	-	-	-	X	-	-	-
Respicon®	X	X	X	X [#]	X [#]	-	-	-
Millipore kassett med impregnerte støtteplater	-	-	-	-	-	X	X	X
Direktevisande gass sensorar, - Dräger	-	-	-	-	-	-	X	-
	-	-	-	-	-	-	X	-

[#] Vert utrekna frå dei andre fraksjonane

^{*} Anten respirabel eller torakal fraksjon

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 HAS

Jobbkategori	Respicon	IOM	"Totalstøv"-kassett	Gassar (HF/SO ₂)	Gassensor (SO ₂)
Omnspassar	22	18	19	18	19
Tappar	19	14	17	15	17
Anodeskiftar	38	34	37	34	37
Anoderens	20	17	19	16	14
Totalt	99	83	92	83	87

9. Analysemetodar

9.1. Gravimetri

Fastsetjing av masser på filter vart gjort med Sartorius MC5 og Sartorius 210P vektor, ved veging av filter før og etter eksponering. Arbeidet vart utført i STAMI sitt klimatiserte vegeom (20 ± 1 °C, 40 ± 2 % RH). Nedre fastsetjingsgrense var 0,08 - 0,4 mg/filter for Respicon og Millipore (5,0 µm PVC-filter, Millipore PVC 503700 og SKC, inc GLA-5000). For IOM-kassett med CA-filter (5,0 µm Mixed cellulose ester, SMWP02500) var nedre fastsetjingsgrense 0,2 - 2 mg/filter.

Resultat for Respiconprøver vart utrekna etter formlane i brukarretteleinga (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 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 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 aerosolfiler og filterinnsats overført til eit nytt sentrifugerør, 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 eluertet fortynta til 15 mL med ionebytta vatn (>17,8 MΩ). Fastsetjing av fluoridnivå vart gjort med ionekromatografi. Nedre fastsetjingsgrense for lutløyseleg fluorid var 20 µg/filter.

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

9.2.3. Partikulært fluorid

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

9.2.4. Fluorid i gassform (HF) og SO_2

Impregnerte gassfilter (10 % (w/v) KOH-løysning) ble 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) 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 timar 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 ("totalstøvkasset" med gassfilter). Respiconprøvetakaren har eit karakteristiskum 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 ble utført ved ionekromatografi med utstyr samansatt av ein Dionex DX-500 ionekromatograf (Dionex, Sunnyvale, CA, USA) utstyrt med ei gradientpumpe (GP40) og ein elektrokjemisk detektor (ED 40) med konduktivitetsselle. Til instrumentet er det kopla ein prøveinjektor (Gilson[®] 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 vann.

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 resultatata var kvar ellefte prøve eit ueksponeerte 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 timar.

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

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

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

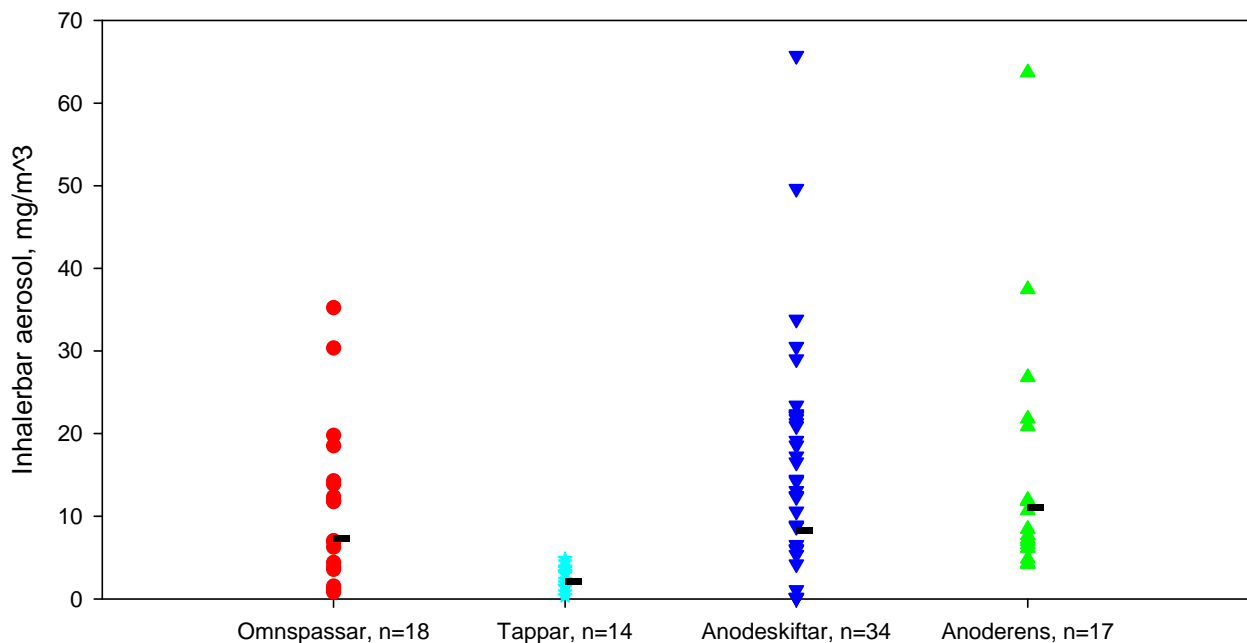
Det er viktig å kommentere at talet på prøver innan dei ulike jobbkategoriene er ulikt. For nokre av kategoriene har ein få prøver, noko som gjev større uvisse i gjennomsnittsmålingane enn ved fleire målingar.

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 jobbkategoriane. 1 personprøve var med 3M 9924/9926, ved 36 personprøver vart det ikkje nytta vernemaske i løpet av skiftet, 49 personprøver var med 3M 4277, 3 personprøver var med Sundström SR100, ved 2 personprøver vart det nytta 3M 7500, medan for 9 personprøver vart det ikkje notert kva type vernemaske som vart nytta.

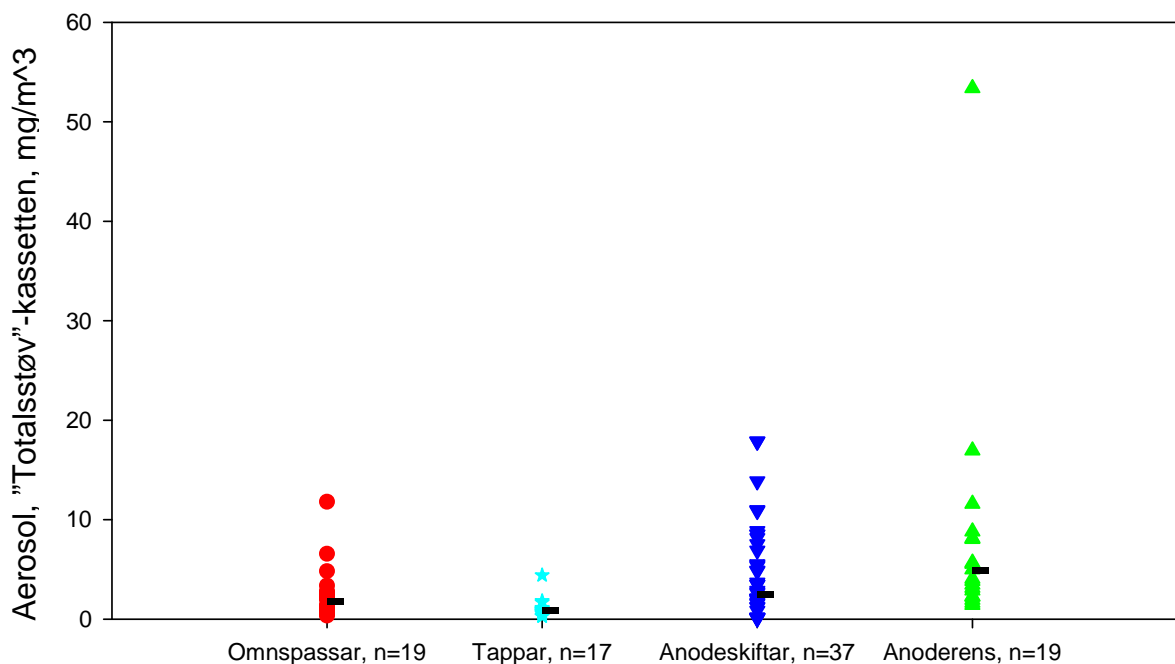
12.1. Aerosol

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 spreiring 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 svært høgt eksponerte på enkelte dagar.



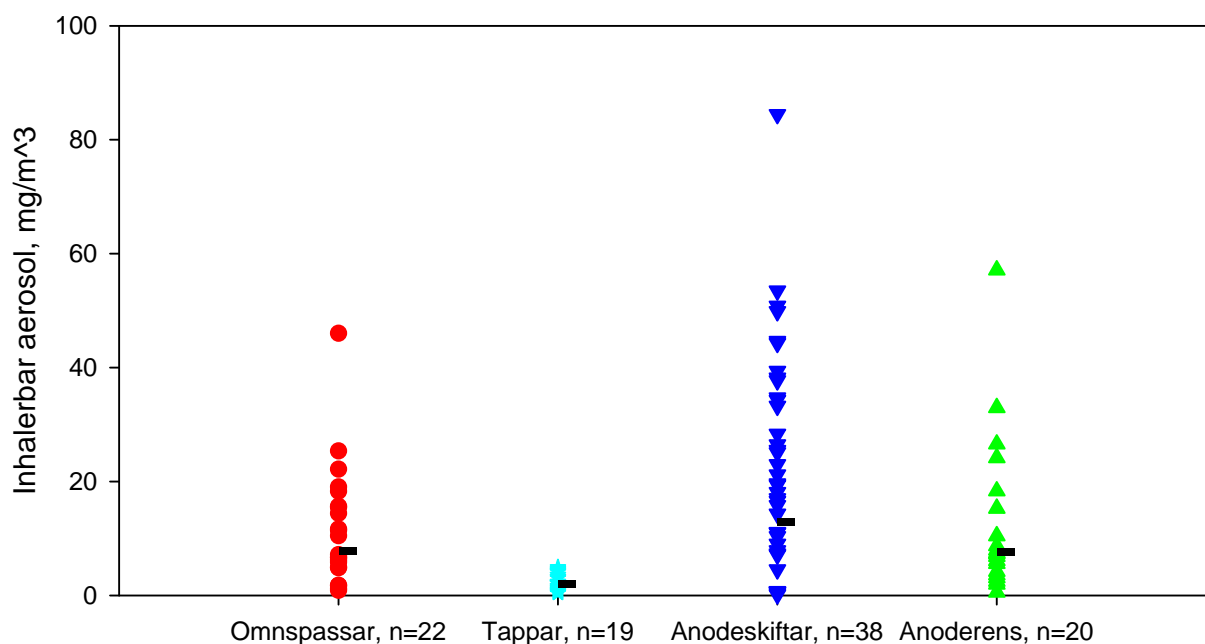
Figur 12.1: Inhalerbar aerosol frå IOM-prøvetakaren fordelt på jobbkategori. Talet på prøver er gjeve med bokstaven n og må ikkje forvekslast med talet på personar.

Av figuren ser ein dei ulike jobbkategoriene har svært ulik geometrisk middelverdi. Spreiinga er fyrst og fremst størst for gruppa anodeskiftar (høgste verdi 66 mg/m^3) medan gruppa tappar har relativt lita spreiring (høgste verdi $4,9 \text{ mg/m}^3$). Det høgaste gjennomsnittsverdien har jobbkategorien anoderens med 11 mg/m^3 og den lågaste hadde tappar med $2,1 \text{ mg/m}^3$.



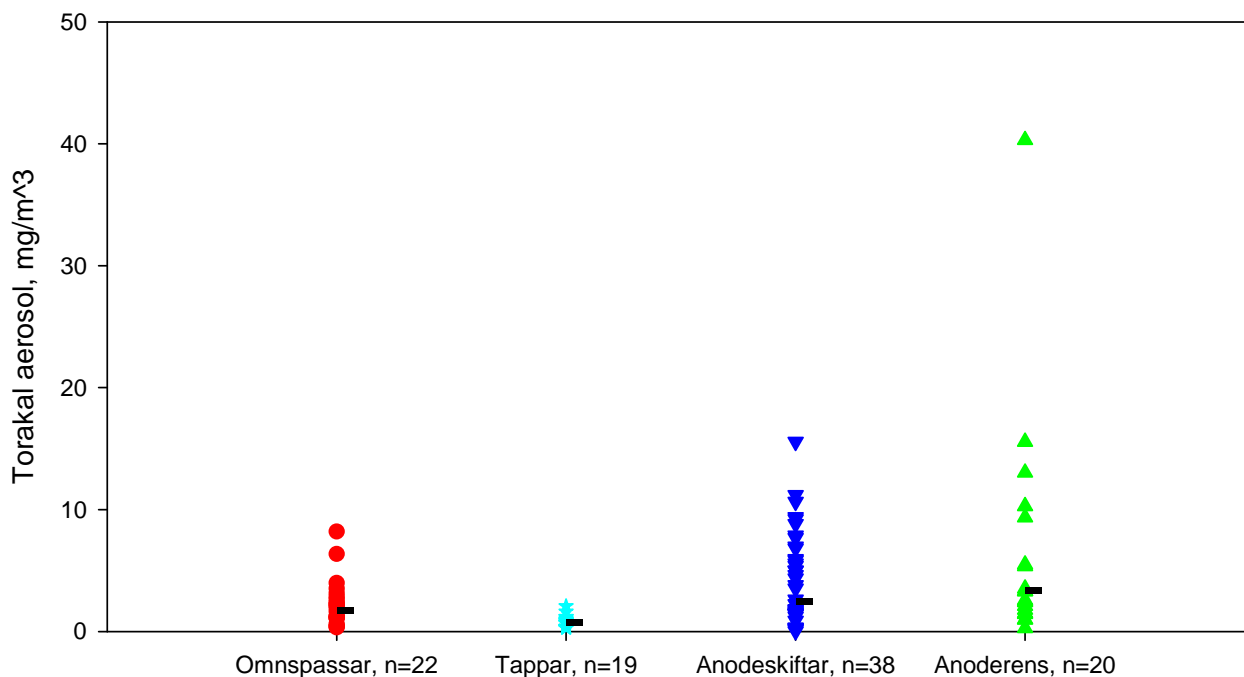
Figur 12.2: Aerosol frå "Totalstøv"-kassetten fordelt på jobbkategori. Talet på prøver er gjeve med bokstaven n og må ikkje forvekslast med talet på personar.

Figur 12.2 viser mengde aerosol målt med "Totalstøv"-kassetten. Jobbkategorien tappar ar den gjennomsnittleg lågast eksponeringa ($0,88 \text{ mg/m}^3$) medan anoderens hadde høgast eksponering ($4,9 \text{ mg/m}^3$). Spreiinga innanfor jobbkategoriene anodeskiftar og anoderens er relativt lik dersom ein ser bort frå den einslege høge verdien for anoderens (53 mg/m^3).



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

Figur 12.3 viser dei inhalerbare aerosolresultata målt med Respiconprøvetakaren. Det høgste gjennomsnittet har gruppa anodeskiftar med ein gjennomsnittsverdi på 12,8 mg/m³ og lågast tappar med ein gjennomsnittsverdi på 2,1 mg/m³. Spreiinga var størst for anodeskiftar med høgste verdi på 84 mg/m³ og minst for tappar med høgste verdi på 4,9 mg/m³.



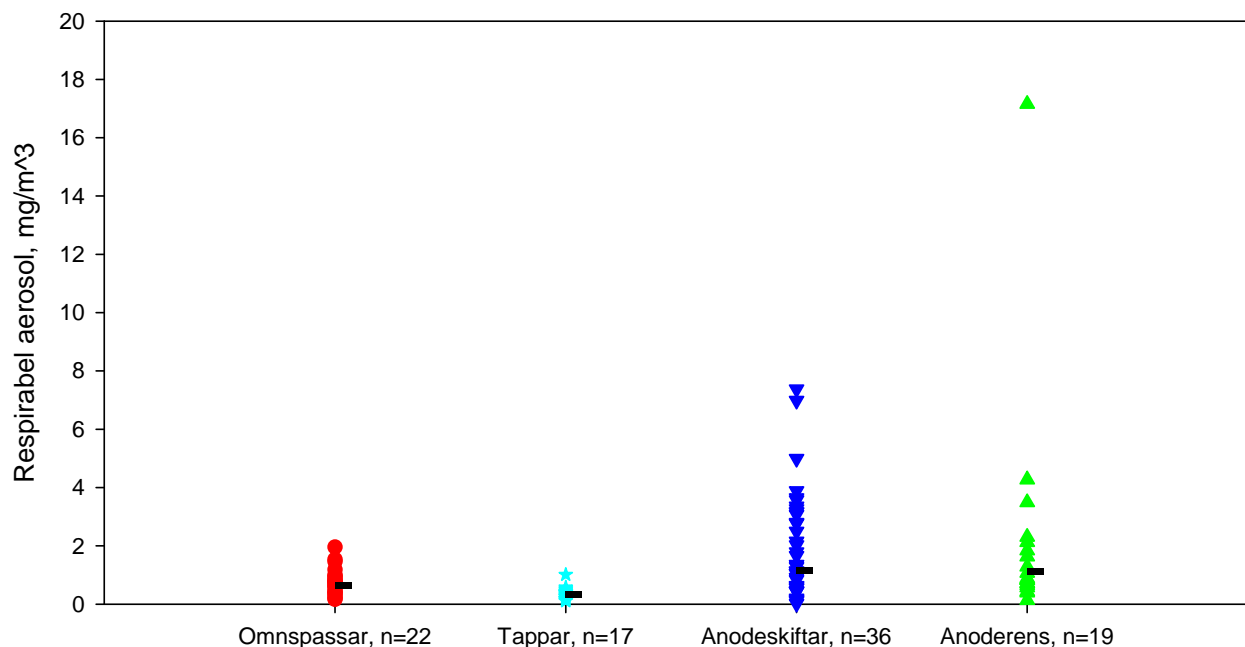
Figur 12.4: Torakal aerosolfraksjon frå Respiconprøvetakaren fordelt på jobbkategori. Talet på prøver er gjeve med bokstaven n og må ikkje forvekslast med talet på personar.

Respiconprøvetakaren og torakale sykklonar kan begge nyttast til å fastsetje aerosolmengda som kan avsetjast i luftvegane nedanfor strupehovudet (torakal aerosol). Figur 12.4 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 16 mg/m³. Dei geometriske gjennomsnittsverdiane (GM) var høgast for jobbkategorien anoderens (3,3 mg/m³) og lågast for tappar (0,7 mg/m³). Spreiinga var størst for anoderens, som også hadde ein enkelverdi på 40 mg/m³.

Tabell 12.1: Prosentdel torakal aerosol av inhalerbar aerosol.

Jobbkategori	n	GM	95 % Konfidensintervall		Minimum	Maksimum
			Nedre	Øvre		
Omnspassar	22	22	19	25	14	46
Tappar	19	34	28	41	17	65
Anodeskiftar	38	19	17	22	9	61
Anoderens	20	44	39	49	28	71
Alle	99	26	24	29	9	71

Frå tabell 12.1 utgjer den torakale delen 17 - 49 % av den inhalerbare aerosolen avhengig av jobbkategori. Dette gjer at den største delen av aerosolen er ekstratorakal, dvs. at størstedelen av aerosoleksponering ikkje vil passere strupehovudet og blir fylgjeleg avsett i dei øvre luftvegane.



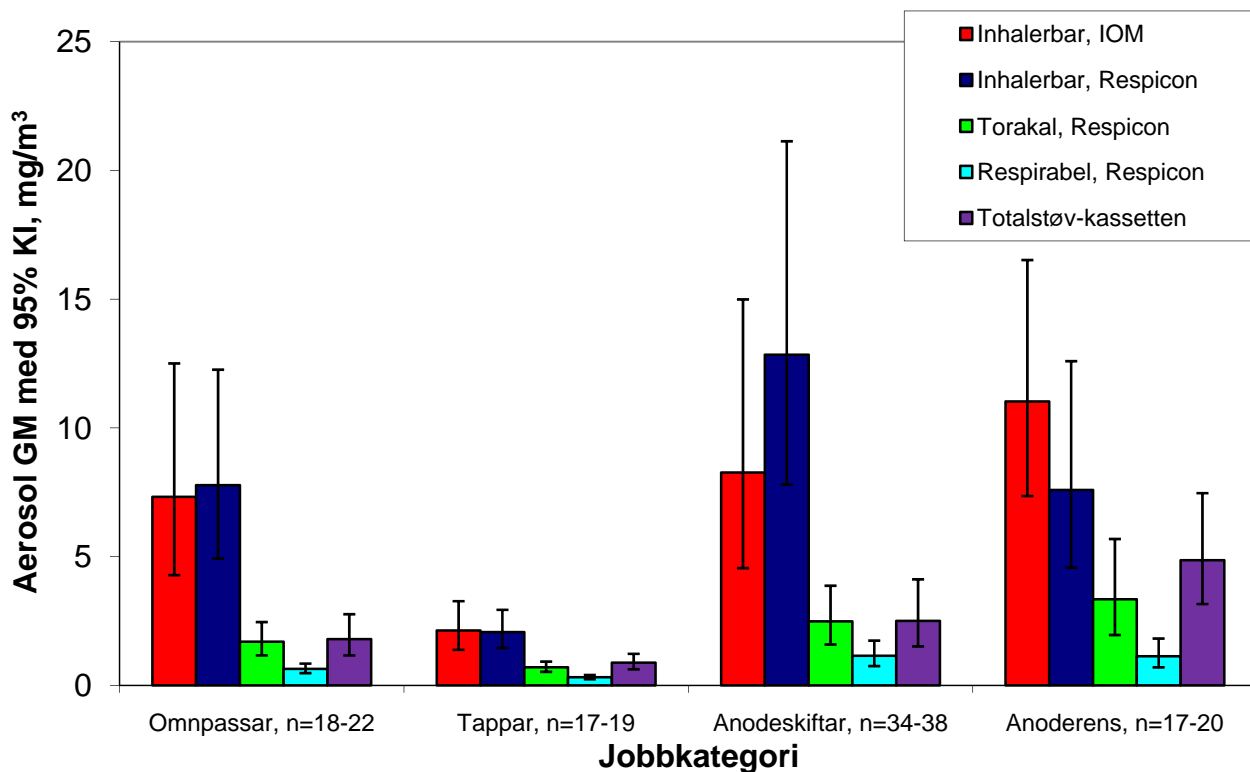
Figur 12.5: Respirabel aerosolfraksjon frå Respiconprøvetakaren fordelt på jobbkategori. Talet på prøver er gjeve med bokstaven n og må ikkje forvekslast med talet på personar.

I fig. 12.5 ser ein at trenden for respirabel aerosolfraksjon er relativt lik som den torakale fraksjonen, men at for den finaste aerosolen er den gjennomsnittlege eksponeringa høgst for jobbkategoriene anodeskift og anoderens ($1,1 \text{ mg/m}^3$) medan tappar har den lågaste eksponeringa med $0,32 \text{ mg/m}^3$. Spreiinga er størst for anodeskiftar og anoderens, med høvesvis $7,4 \text{ mg/m}^3$ og 17 mg/m^3 som høgste verdiar.

Tabell 12.2: Prosentdel respirabel aerosol av inhalerbar aerosol.

Jobbkategori	n	GM	95 % Konfidensintervall		Minimum	Maksimum
			Nedre	Øvre		
Omnspassar	22	8	7	10	3	22
Tappar	19	15	12	19	8	42
Anodeskiftar	38	9	7	11	3	37
Anoderens	20	15	12	18	7	30
Alle	99	11	10	12	3	42

Den respirable delen av inhalerbar aerosol utgjør 8 - 15 % for dei ulike jobbkategoriene (tabell 12.2). Jobbkategoriene tappar og anoderens hadde størst prosentdel respirabel aerosol (15 %), medan omnspassar har lågast (8 %).



Figur 12.6: Geometrisk middelværdi, GM med 95 % konfidensintervall for dei helse-relaterte aerosolfraksjonar prøveteke med Respicon, IOM og "Totalstøv"-kassett.

I figur 12.6. er dei geometriske middelværdiane med 95 % konfidensintervall for dei prøveteke aerosolfraksjonane fordelt på dei aktuelle 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.

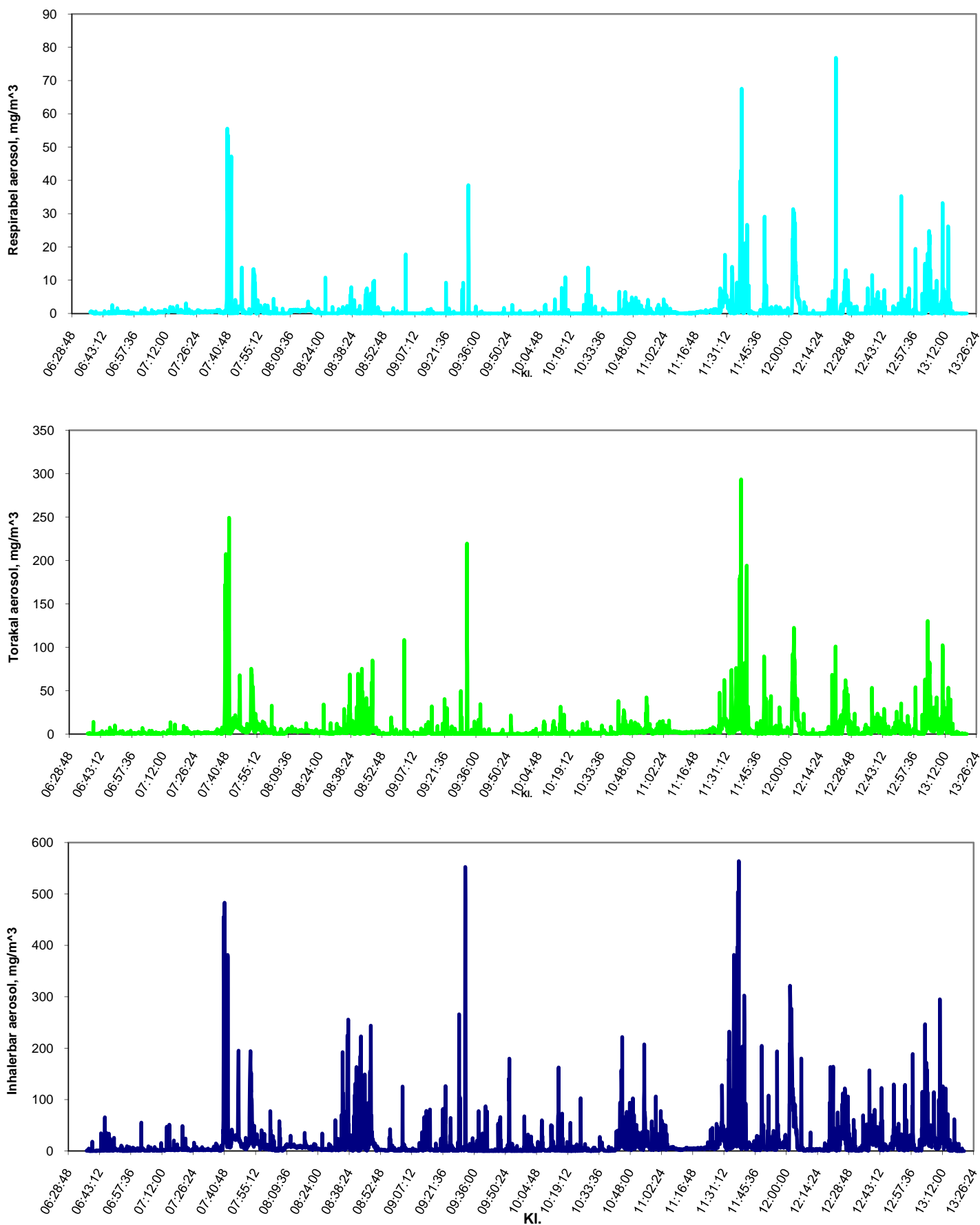
Tabell 12.3: Oversikt over kva kategori der GM var signifikant* forskjellige for dei ulike komponentane.

Komponent	Kategori	Signifikant* forskjellig frå jobbkategori
IOM inhalerbar aerosol	Omnspassar	Tappar
	Tappar	Omnspassar, Anodeskiftar, Anoderens
	Anodeskiftar	Tappar
	Anoderens	Tappar
Respicon Inhalerbar aerosol	Omnspassar	Tappar
	Tappar	Omnspassar, Anodeskiftar, Anoderens
	Anodeskiftar	Tappar
	Anoderens	Tappar
Respicon Torakal aerosol	Omnspassar	Tappar, Anoderens
	Tappar	Omnspassar, Anodeskiftar, Anoderens
	Anodeskiftar	Tappar
	Anoderens	Omnspassar, Tappar
Respicon Respirabel aerosol	Omnspassar	Tappar, Anodeskiftar
	Tappar	Omnspassar, Anodeskiftar, Anoderens
	Anodeskiftar	Omnspassar, Tappar
	Anoderens	Tappar
"Totalstøv"-kassett Aerosol	Omnspassar	Anoderens
	Tappar	Anodeskiftar, Anoderens
	Anodeskiftar	Tappar, Anodeskiftar
	Anoderens	Omnspassar, Tappar, Anodeskiftar

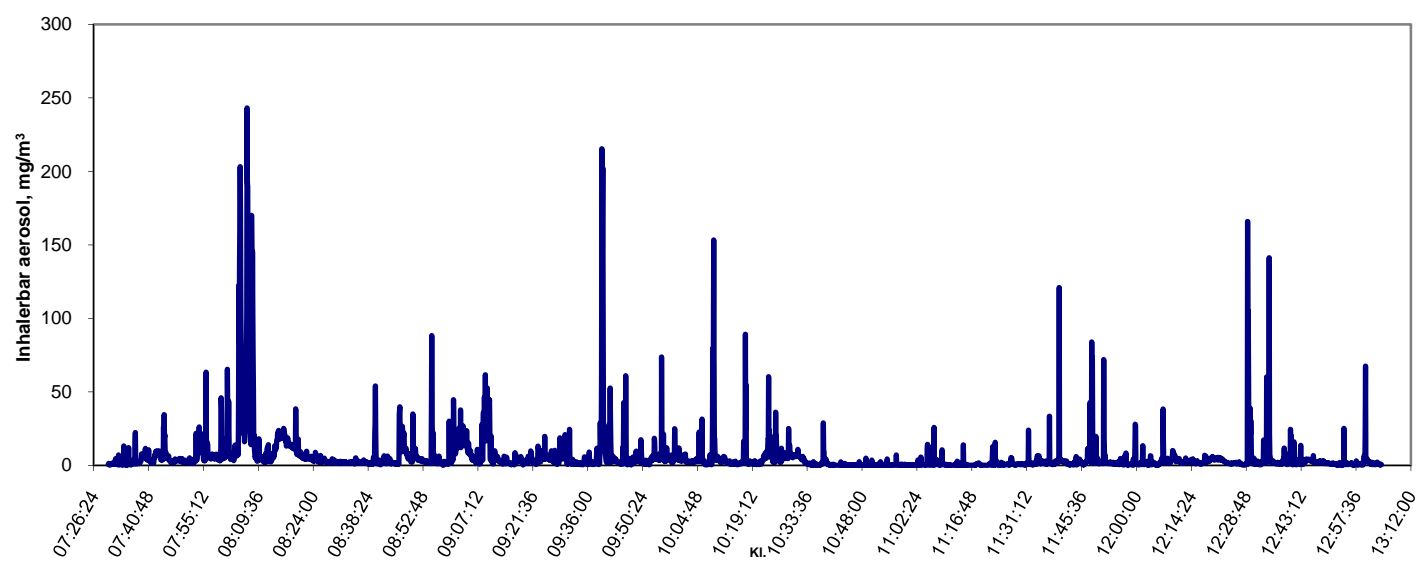
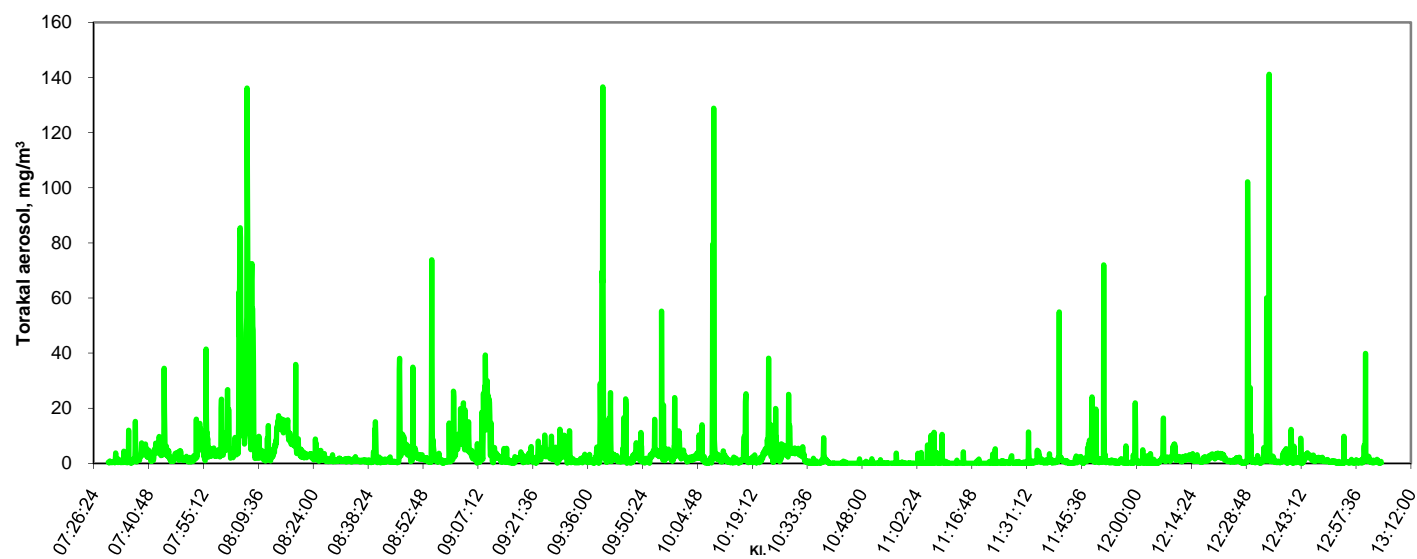
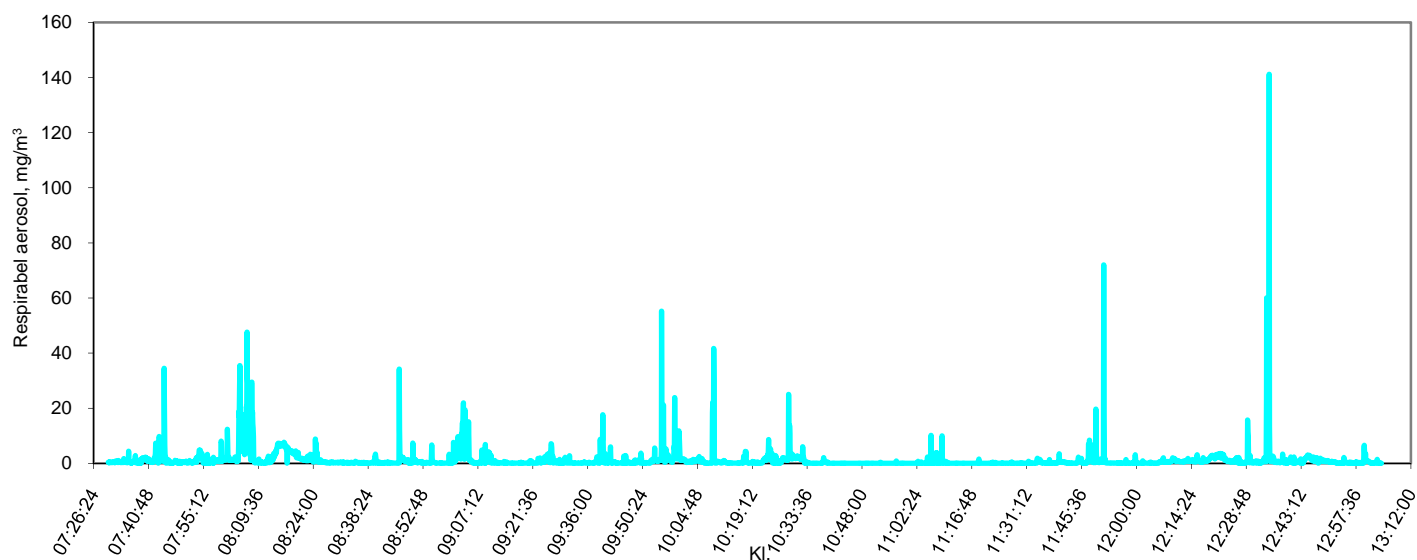
* p<0,05
25

12.1.1. Direktevisande utstyr for aerosolmålingar

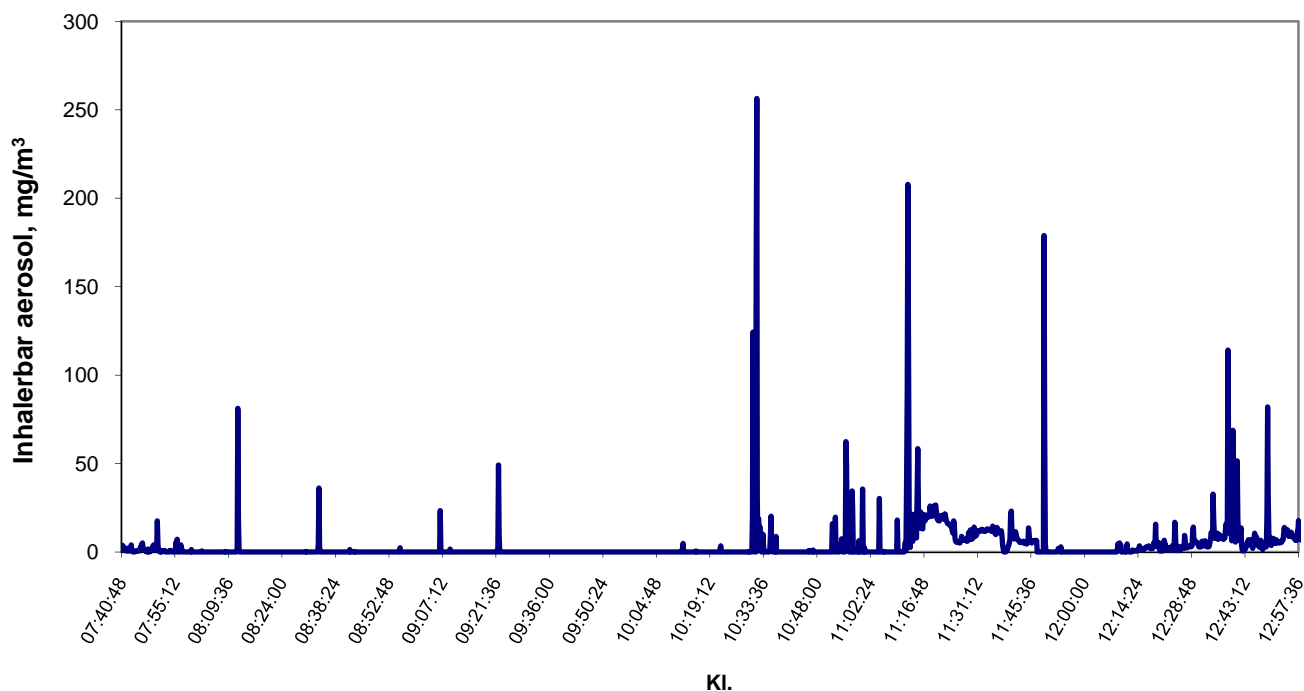
Til dette vart det nytta ein direktevisande Respicon (sjå 7.2.4).



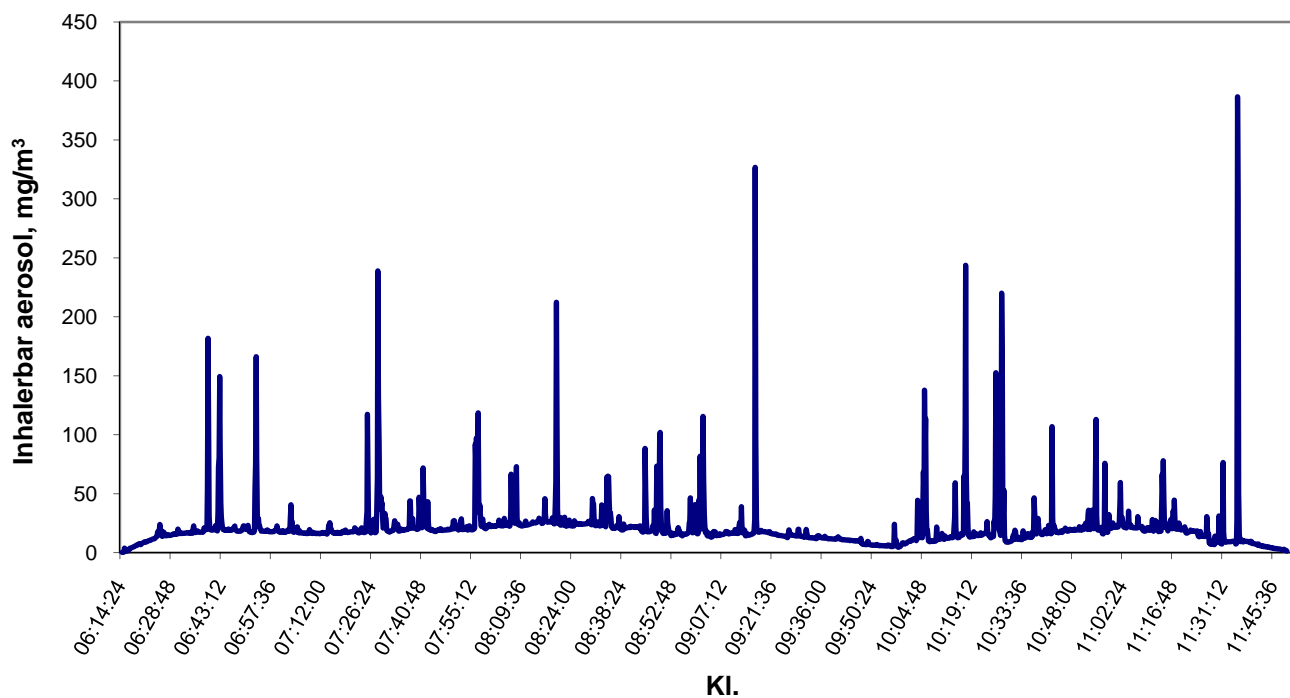
Figur 12.7: Anoderens 26.jan. 06. Arbeid utført: Kosting. Truckkøyring. Meisling av butts. Skifte av sekk.



Figur 12.8: Anoderens 27. jan.06. 2.etg. Anodesreinsing, meisling, tømning av 1 sekk. Rep. av utstyr med open luke.



Figur 12.9: Omnspassar, 24.januar 2006. Stell av omn, temperatur bad og metallmåling, 2-3 bluss



Figur 11.10: Anodeskiftar 26.januar 2006: Anodeskift frå golv (12 celler x 2 kol så 2celler x 1 kol), dekking (14 celler x 2 kol)

Tidsoppløyte aerosolmålingar blir brukt til å skaffe verdfull informasjon om toppeksposering og identifisering av partikulære forureiningskjelder samt å estimere eksponering ved spesifikke arbeidsoperasjonar. 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 oppfylgning hadde vore å føretrekke, men ei tettare oppfylgning vart så ressurskrevande at det ikkje let seg

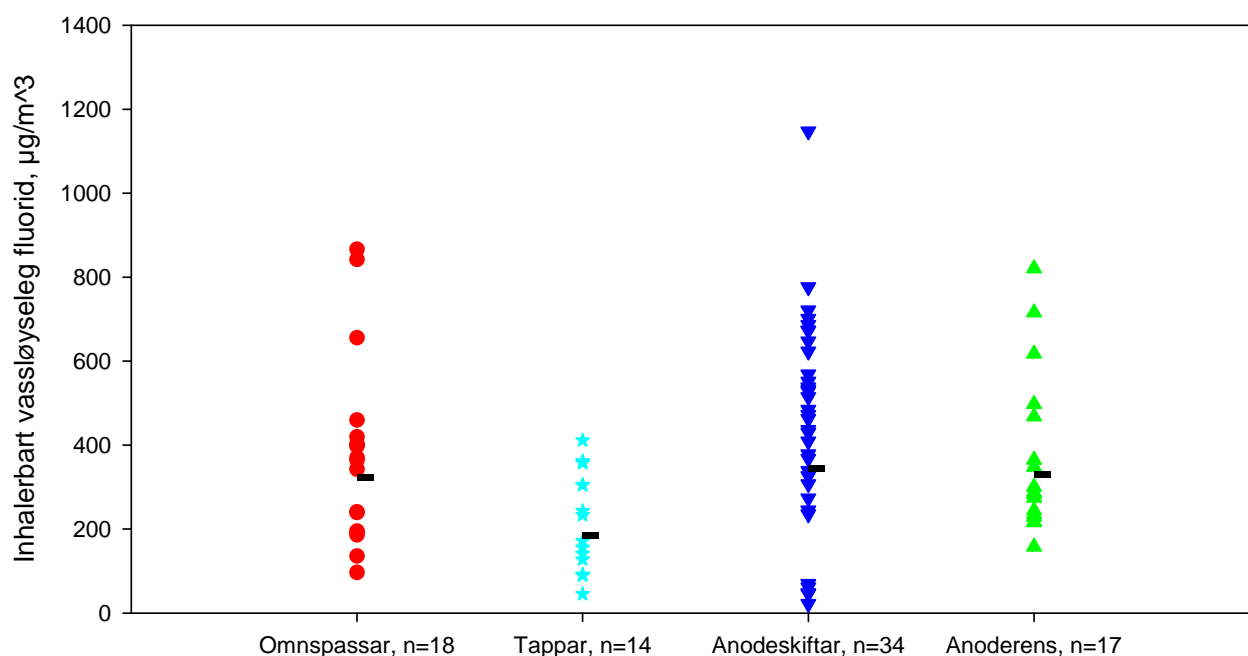
gjennomføre innafor dei økonomiske rammene og det tette prøvetakingsprogrammet i prosjektet.

Av figurane 12.6 – 12.10 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

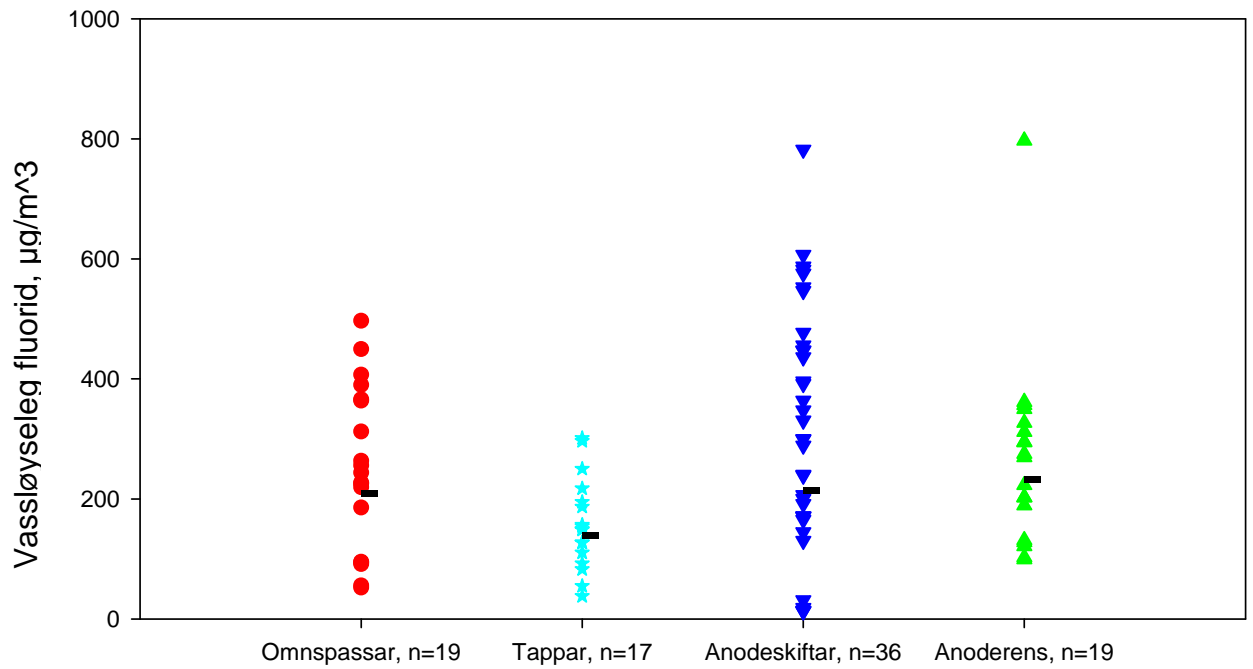
Alle aerosolprøvene vart løyst i vatn og fluoridmengda i dette vassekstraktet vart fastsett; vassløyseleg fluorid.

Ein oversikt over alle enkeltresultat for IOM-prøvetakaren visast i figur 12.11.



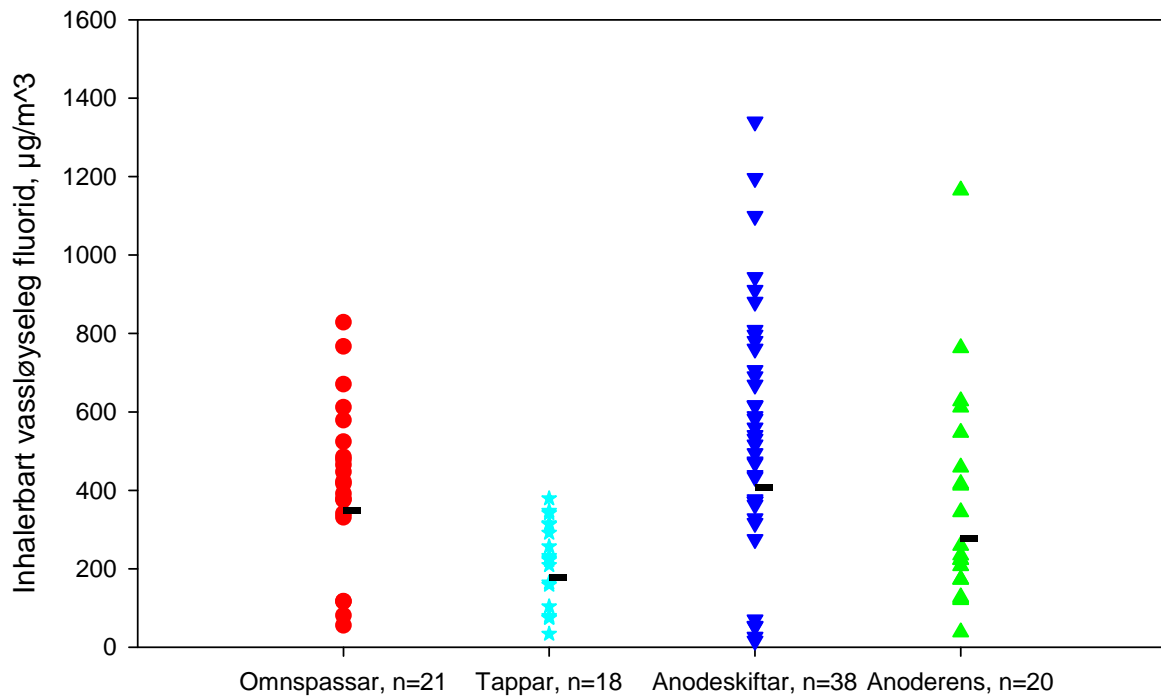
Figur 12.11: Vassløyseleg fluorid bestemt i aerosolen frå IOM-prøvetakaren fordelt på jobbkategori. Talet på prøver er gjevne med bokstaven n og må ikkje forvekslast med talet på personar.

Frå figur 12.11 går det fram at det er jobbkategori anodeskiftar som gjev den høgaste geometrisk gjennomsnitt ($344 \mu\text{g}/\text{m}^3$), medan tappar dei lågast eksponerte ($184 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Spreiinga innanfor dei ulike jobbkategoriene er stor for alle kategoriene. Høgste einildverdi var $1150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ målt på ein anodeskiftar.



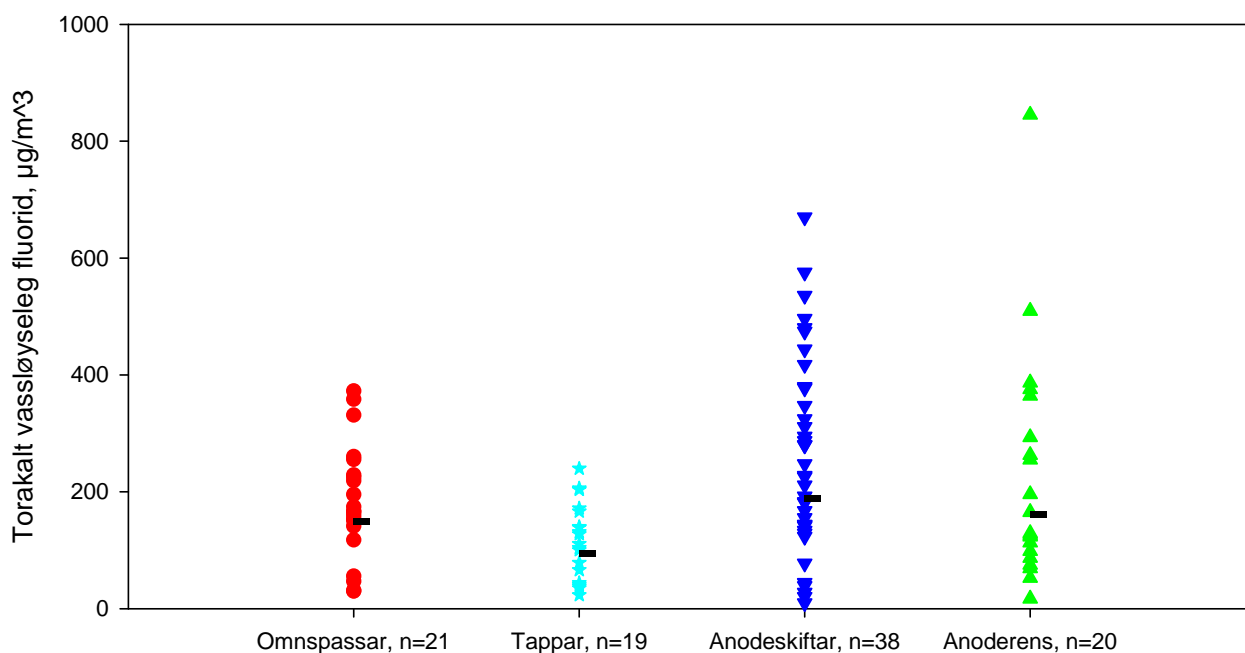
Figur 12.12: Vassløyseleg fluorid fastsett frå aerosolfraksjon frå "Totalstøv"-prøvetakaren fordelt på jobbkategori. Talet på prøver er gjeve med bokstaven n og må ikkje forvekslast med talet på personar.

I fig. 12.12 ser ein at det ikkje er så stor forskjell mellom gjennomsnittsverdiane for dei ulike jobbkategoriene for vassløyseleg fluorid målt med "Totalstøv"-kassetten. Spreiinga i resultata er stor, spesielt for jobbkategoriene anodeskiftar. Anoderens har det høgste gjennomsnittet med $232 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Medan kategorien tappar har den lågaste gjennomsnittlege eksponeringa på $139 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Figur 12.13: 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. 12.13 ser ein forskjellane mellom jobbkategoriene omnspassar, tappar, anodeskiftar og anoderens for inhalerbart vassløyseleg fluorid. Spreiinga i resultata er stor, spesielt for jobbkategoriene anodeskiftar og anoderens. Anodeskiftar har det høgste gjennomsnittlege eksponeringa med $408 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dette i motsetning til gruppa tappar som har den lågaste gjennomsnittlege eksponeringa på $178 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



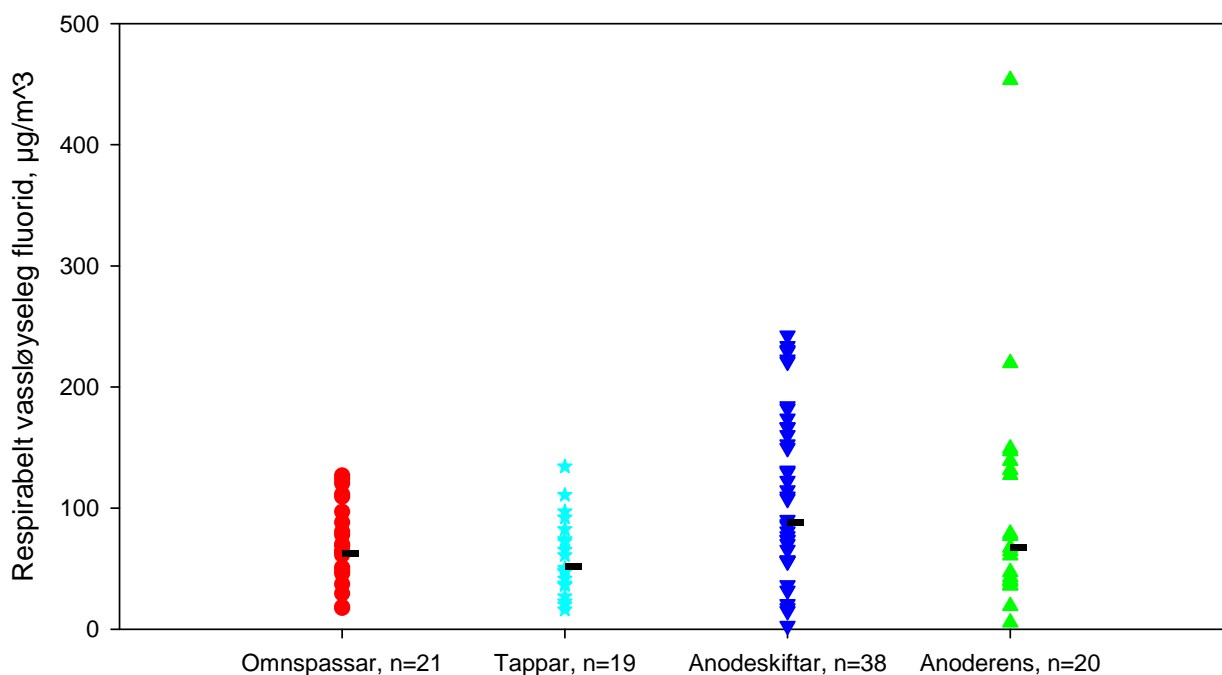
Figur 12.14: Vassløseleg fluorid fastsett i den torakale aerosolfraksjon frå Respiconprøvetakaren fordelt på jobbkategori. Talet på prøver er gjeve med bokstaven n og må ikkje forvekslast med talet på personar.

Av fig. 12.14 ser ein at eksponeringa for torakalt vassløseleg fluorid er størst for jobbkategoriene anodeskiftar ($188 \mu\text{g}/\text{m}^3$) og anoderens ($161 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Den gjennomsnittlege eksponeringa er lågast for tappar $94 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Spreiinga er størst for gruppene anodeskiftar og anoderens og minst for tappar.

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

Jobbkategori	n	GM	95 % Konfidensintervall		Minimum	Maksimum
			Nedre	Øvre		
Omnspassar	21	43	40	46	35	56
Tappar	18	51	46	57	35	70
Anodeskiftar	37	45	42	48	28	82
Anoderens	20	58	54	62	44	73
Alle	96	48	46	50	28	82

Prosentvis er det mellom 43 og 58 % torakalt vassløseleg fluorid i det inhalerbare vassløselege fluoridet. I motsetning til for aerosola der størstedelen av aerosolen er grov, er fordelar det vassløselege fluoridet seg omlag likt i den torakale delen og den grovare ekstratorakale delen.



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.

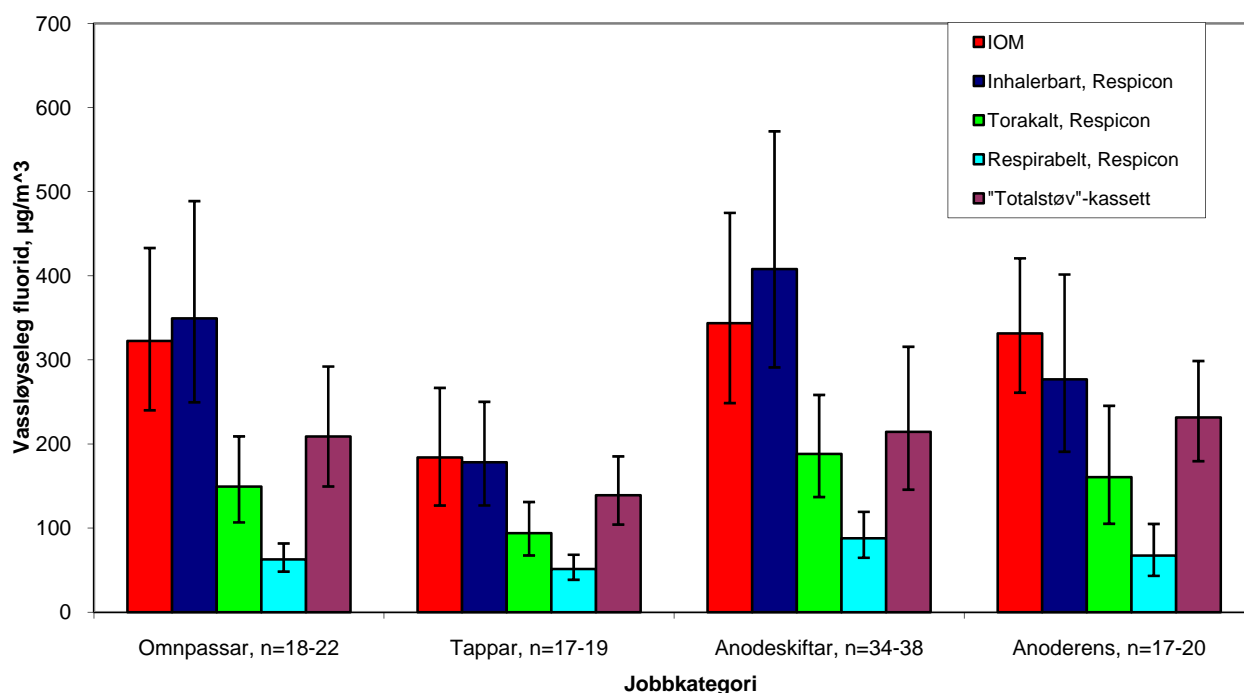
Av fig. 12.15 går det fram at det er jobbkategori anodeskiftar som har den høgaste eksponeringa for vassløyseleg respirabelt fluorid ($88 \mu\text{g}/\text{m}^3$), medan tappar har den lågaste ($51 \mu\text{g}/\text{m}^3$). To målingar for anodeskiftarar gjer at spreininga innan denne kategorien er stor.

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

Jobbkategori	n	GM	95 % Konfidensintervall		Minimum	Maksimum
			Nedre	Øvre		
Omnspassar	21	18	15	21	8	41
Tappar	18	28	24	33	18	60
Anodeskiftar	37	21	18	23	11	68
Anoderens	20	24	21	28	11	39
Alle	96	22	20	24	8	68

Den respirable delen av det vassløyselege inhalerbare fluoridet utgjer 18 – 28 % for dei ulike jobbkategoriene (jf. tabell 12.5). Høgast prosentdel respirabelt vassløyseleg fluorid har tappar (28 %), medan omnspassar 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 12.16: Vassløyseleg fluorid, GM med 95% konfidensintervall, fastsett i dei ulike aerosolfraksjonane frå Respicon.

I figur 12.16. er dei geometriske middelerdiene med 95 % konfidensintervall for dei prøvetekne vassløyselege fluorid fraksjonane fordelt på dei aktuelle jobbkategoriene. Ved å regne statistikk på data frå figur 12.16 kan ein sjå om det er nokon forskjell mellom dei ulike jobbkategoriene. Ei oppsummering er gjeve i tabell 12.6.

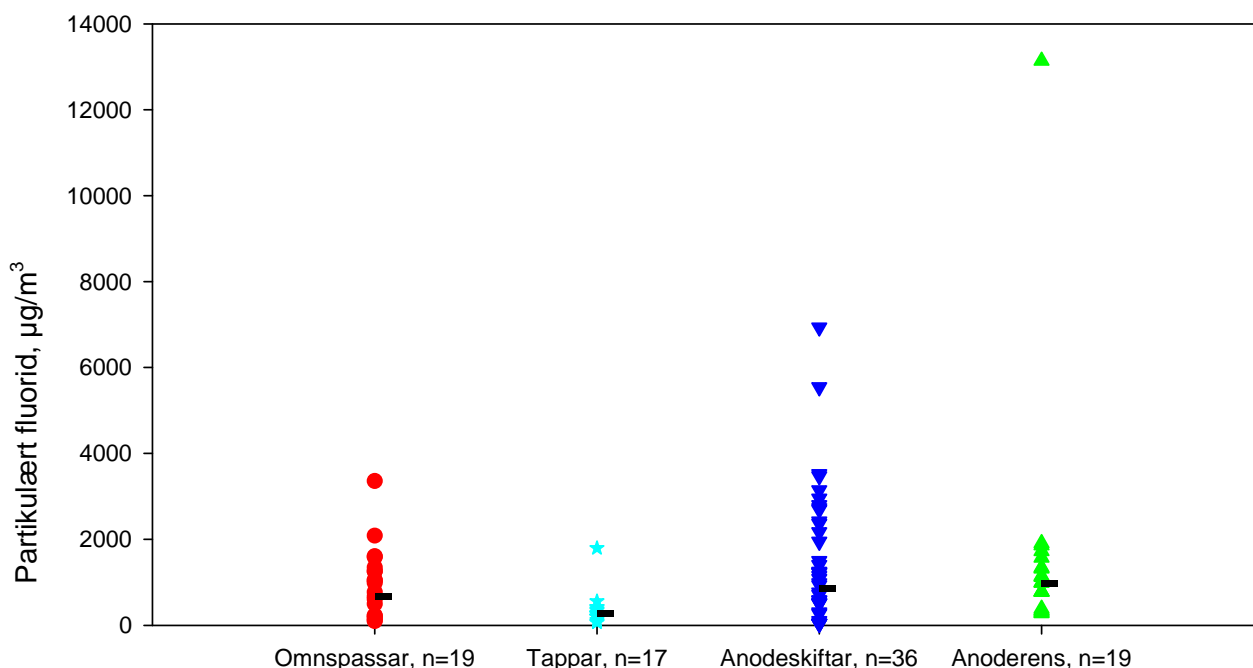
Tabell 12.6: Oversikt over kva jobbkategori der GM var signifikant* forskjellig for vassløyseleg fluorid.

Komponent	Jobbkategori	Signifikant* forskjellig frå jobbkategori
IOM vassløyseleg fluorid	Omnspassar	Tappar
	Tappar	Omnspassar, Anodeskiftar, Anoderens
	Anodeskiftar	Tappar
	Anoderens	Tappar
Respicon Inhalerbar vassløyseleg fluorid	Omnspassar	Tappar
	Tappar	Omnspassar, Anodeskiftar
	Anodeskiftar	Tappar
	Anoderens	-
Respicon Torakal vassløyseleg fluorid	Omnspassar	-
	Tappar	Anodeskiftar
	Anodeskiftar	Tappar
	Anoderens	-
Respicon Respirabel vassløyseleg fluorid	Omnspassar	-
	Tappar	Anodeskiftar
	Anodeskiftar	Tappar
	Anoderens	-
'Totalstøv'-kassetten vassløyseleg totalfluorid	Omnspassar	-
	Tappar	-
	Anodeskiftar	-
	Anoderens	-

* p<0,05

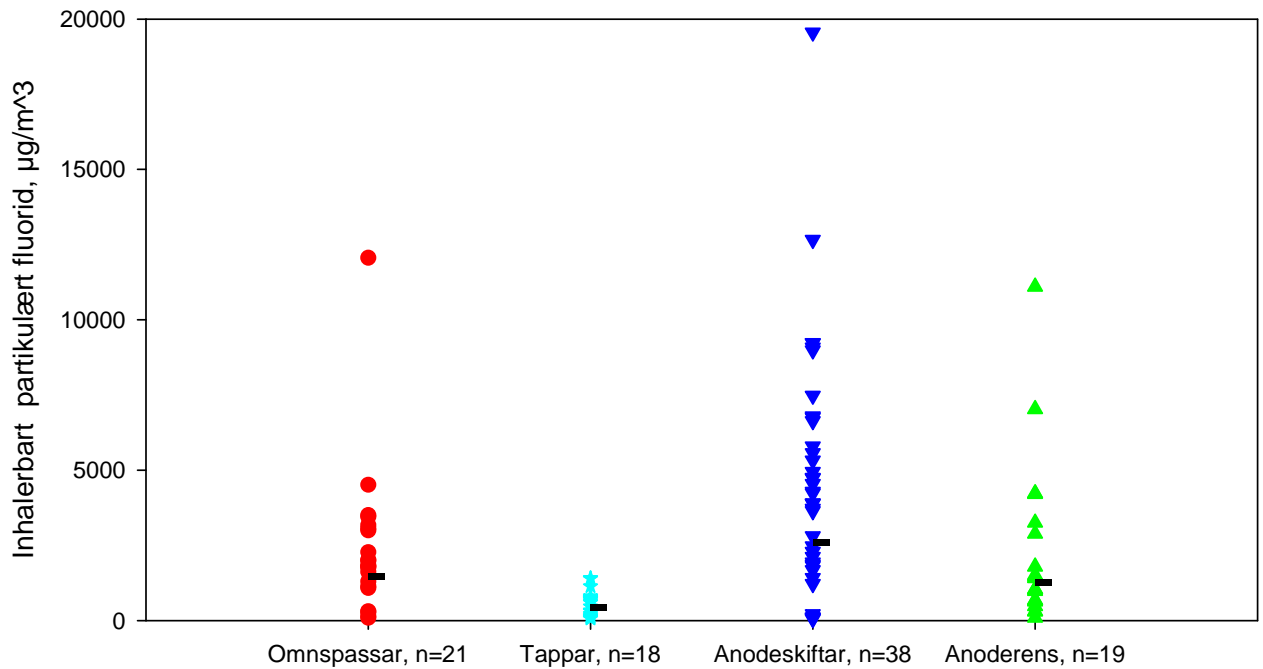
For vassløyseleg fluorid er det få signifikant forskjellar mellom dei ulike jobbkategoriene. Det betyr at dei ulike jobbkategoriene ikkje er å ulike. Av alle kategoriene er det tappar som skil seg ut ved å være statistisk forskjellig frå dei andre for fleire av dei målte eksponeringane.

12.3. Resultat partikulært fluorid



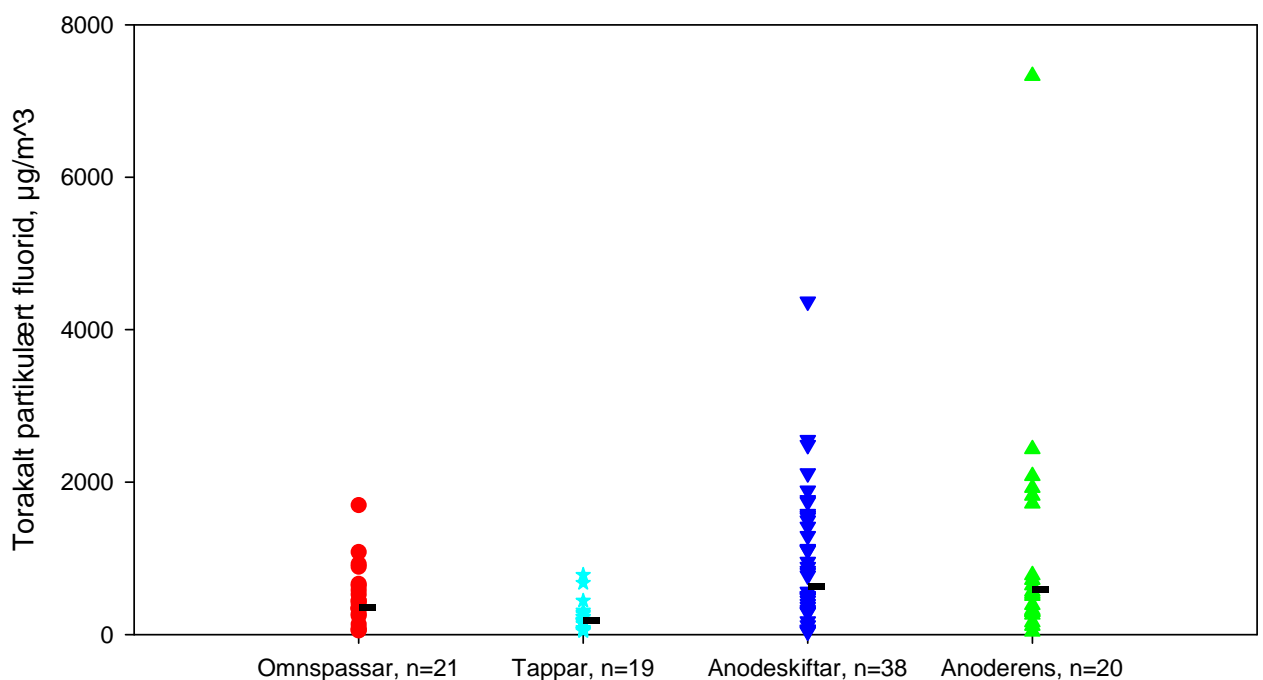
Figur 12.17: Partikulært fluorid fastsett i den aerosolfraksjon frå "Totalstøv"-kassetten fordelt på jobbkategori. Talet på prøver er gjeve med bokstaven n og må ikkje forvekslast med talet på personar.

I figur 12.17 er det vist det partikulære fluoridet i aerosolfraksjonen frå "Totalstøv"-kassetten. Dette er summen av vassløyseleg og lutløyseleg fluorid i aerosolen målt med "Totalstøv"-kassetten. Av figuren ser ein at det er jobbkategorien anodeskiftar som har den største spreininga, sjølv om anoderens har ein enkeltverdi som er svært høg ($13100 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Den høgaste gjennomsnittlege eksponeringa for vassløyseleg respirabelt fluorid er for anoderens ($966 \mu\text{g}/\text{m}^3$), medan tappar har den lågaste ($262 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Innan alle jobbkategoriene har ein ekstremverdiar, verdiar som er klart høgare enn størstedelen av målingane.



Figur 12.18: 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 12.18 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 jobbkategori anodeskiftar ($2590 \mu\text{g}/\text{m}^3$), medan tappar har lågast gjennomsnitt ($427 \mu\text{g}/\text{m}^3$).



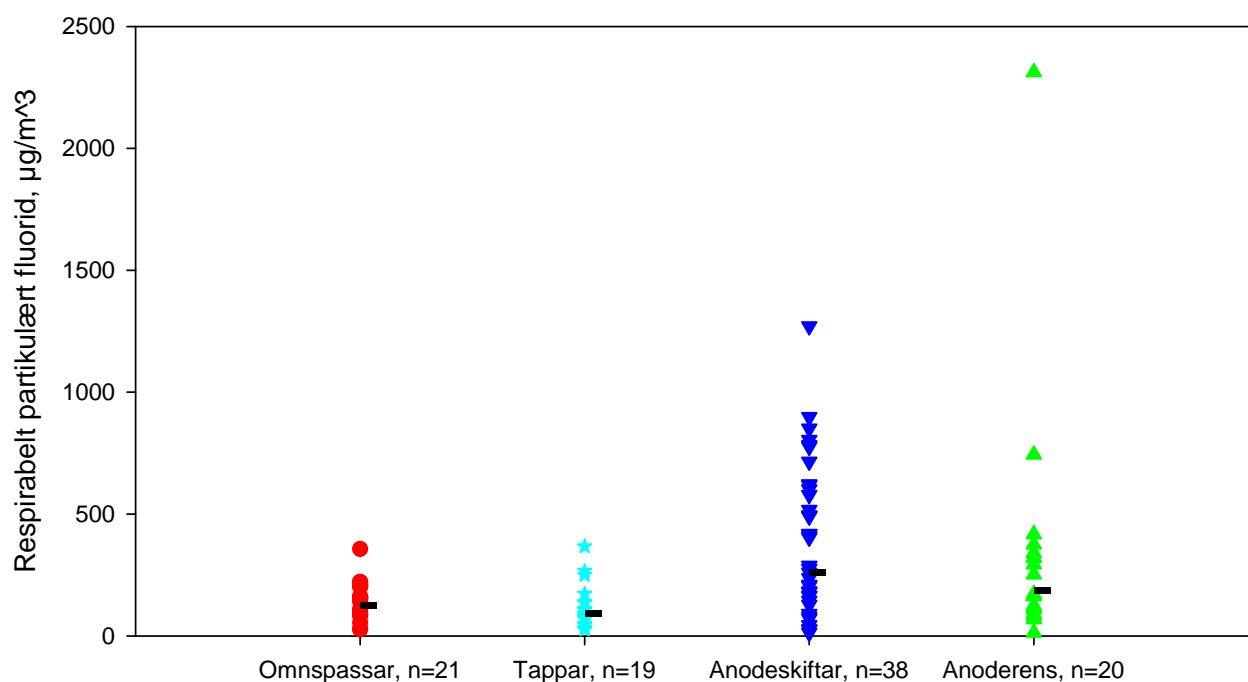
Figur 12.19: Partikulær fluorid fastsett i den torakale aerosolfraksjon frå Respiconprøvetakaren fordelt på jobbkategori. Talet på prøver er gjeve med bokstaven n og må ikkje forvekslast med talet på personar.

I figur 12.19 blir det vist det torakale partikulære fluoridet for dei ulike jobbkategoriene. Figuren viser lågast geometriske gjennomsnittsverdiar for tappar (181 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), medan anodeskiftar har høgst (624 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Igjen er det spreininga innanfor dei ulike jobbkategoriene som er dominerande.

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

Jobbkategori	n	GM	95 % Konfidensintervall		Minimum	Maksimum
			Nedre	Øvre		
Omnspassar	21	25	21	30	13	66
Tappar	18	42	35	50	20	76
Anodeskiftar	37	23	20	27	9	83
Anoderens	20	47	43	52	30	66
Alle	96	30	28	34	9	83

Gjennomsnittleg er 30 % av det inhalerbare partikulære fluoridet torakalt. Høgast prosentdel var i kategorien anoderens (47 %), medan prosentdelen var lågast for omnspassar (25%).



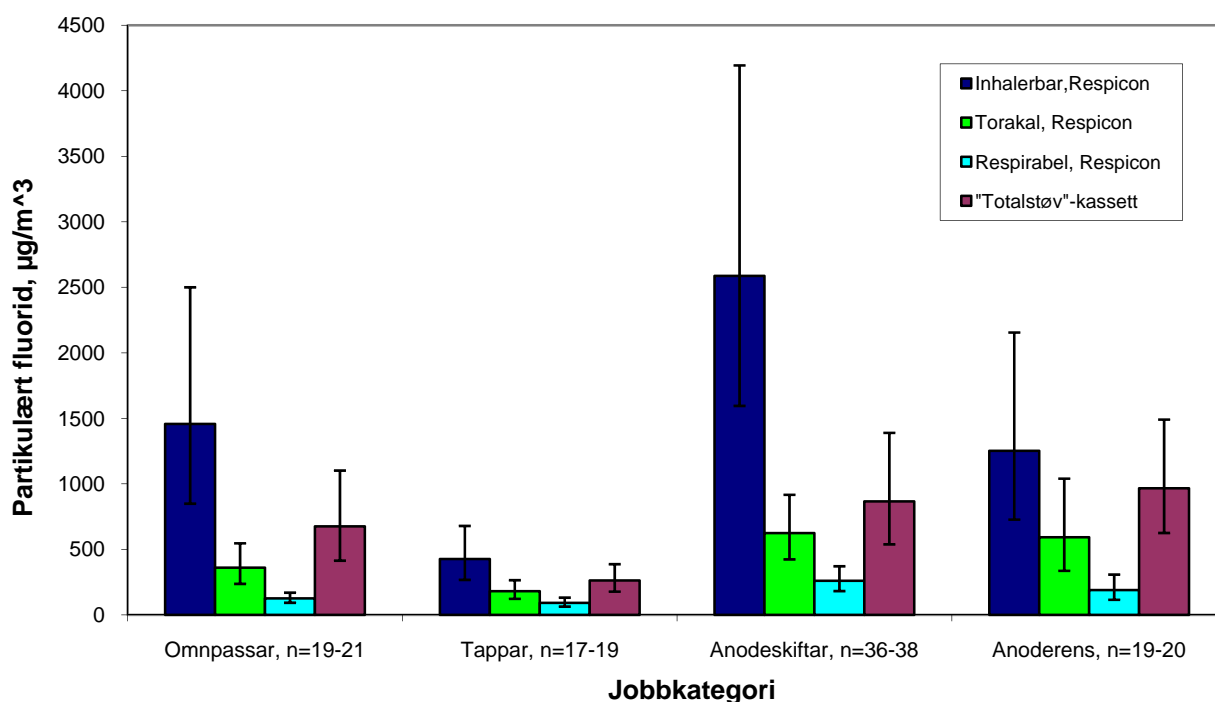
Figur 12.20: Partikulær fluorid fastsett i den respirable aerosolfraksjon frå Respiconprøvetakaren fordelt på jobbkategori. Talet på prøver er gjeve med bokstaven n og må ikkje forvekslast med talet på personar.

Det respirable partikulære fluoridet er vist i figur 12.20. Også for denne komponenten er det anodeskiftar som har det høgste gjennomsnittet ($260 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Det lågaste gjennomsnittet vart målt for tappar ($92 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Spreiinga er stor, spesielt for anodeskiftar og anoderens, men ein skilde svært høge verdiar.

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

Jobbkategori	n	GM	95 % Konfidensintervall		Minimum	Maksimum
			Nedre	Øvre		
Omnspassar	21	9	6	12	2	40
Tappar	18	21	17	27	11	49
Anodeskiftar	37	10	8	12	4	57
Anoderens	20	15	12	18	8	36
Alle	96	12	10	14	2	57

Frå tabell 12.8 får ein at det er gjennomsnittleg 12 % respirabelt partikulært fluorid av det inhalerbare partikulære fluoridet. Tappar har den største prosentdelen (21 %), medan omnspassar har den minste prosentdelen (9 %).



Figur 12.21: Geometrisk middelværdi, GM med 95 % konfidensintervall for partikulært fluorid frå Respiconprøvetakaren og "Totalstøv"-kassetten.

I figur 12.21 er det gjeve ei samanlikning av dei geometriske gjennomsnitta (GM) for dei ulike jobbkategoriene for dei ulike aerosolfraksjonane.

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

Komponent	Jobbkategori	Signifikant* forskjellig frå jobbkategori
Respicon Inhalerbart partikulært fluorid	Omnpassar	Tappar
	Tappar	Omnpassar, Anodeskiftar, Anoderens
	Anodeskiftar	Tappar, Anoderens
	Anoderens	Tappar, Anoderens
Respicon Torakalt partikulært fluorid	Omnpassar	Tappar
	Tappar	Omnpassar, Anodeskiftar, Anoderens
	Anodeskiftar	Tappar
	Anoderens	Tappar
Respicon Respirabelt partikulært fluorid	Omnpassar	Tappar
	Tappar	Anodeskiftar, Anoderens
	Anodeskiftar	Omnpassar, Tappar
	Anoderens	Tappar
"Totalstøv"-kassett Partikulært fluorid	Omnpassar	Tappar
	Tappar	Omnpassar, Anodeskiftar, Anoderens
	Anodeskiftar	Tappar
	Anoderens	Tappar

Frå tabell 12.9 får ein at jobbkategorien tappar har signifikant forskjellig eksponering frå dei andre kategoriane for alle dei målte fraksjonane partikulært fluorid. Saman med figur 12.21 er det klart at eksponeringa er signifikant lågare for jobbkategorien tappar enn for dei andre jobbkategoriane, noko som gjeld for alle dei ulike fraksjonane partikulært fluorid.

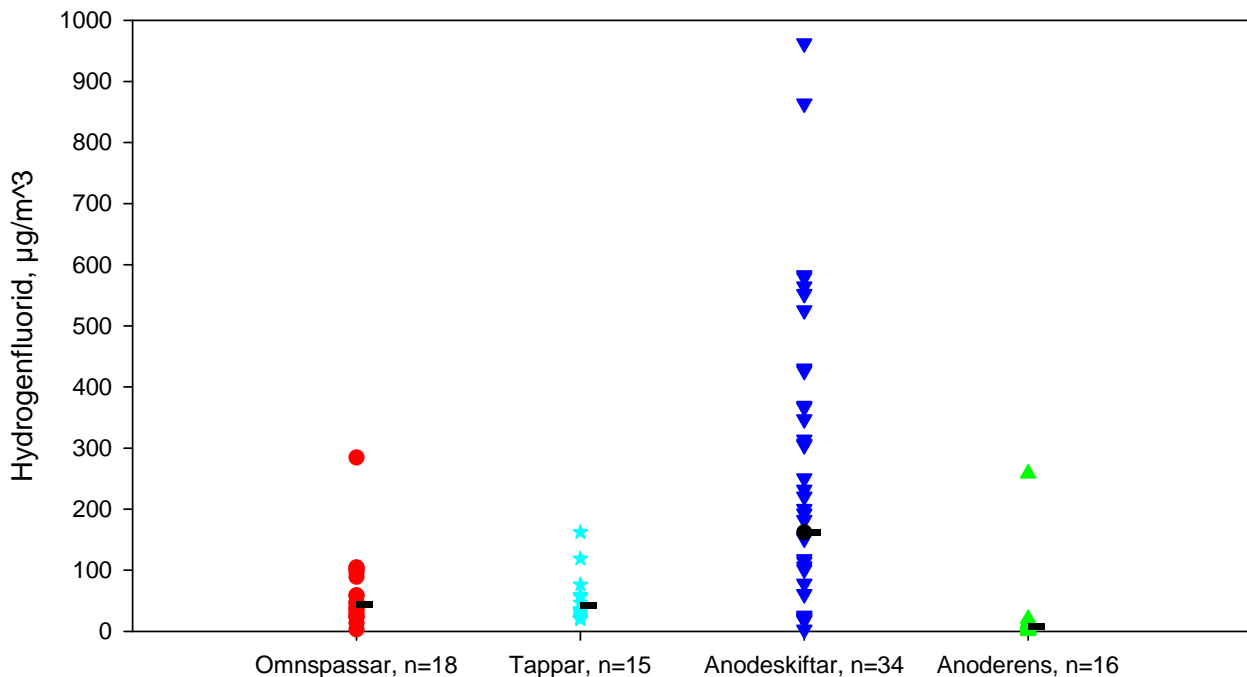
* $p < 0,05$
39

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	21	50	45	55	32	74
	Tappar	19	56	47	66	27	88
	Anodeskiftar	38	34	29	39	9	81
	Anoderens	20	36	27	47	6	62
	Alle	98	41	37	45	6	88
Prosent torakalt vassløyseleg fluorid av torakalt partikulært fluorid	Omnspassar	21	41	36	47	20	62
	Tappar	19	52	45	61	25	76
	Anodeskiftar	38	30	26	34	11	67
	Anoderens	20	27	20	36	5	47
	Alle	98	35	32	39	5	76
Prosent inhalerbart vassløyseleg fluorid av inhalerbart partikulært fluorid	Omnspassar	21	24	19	30	6	64
	Tappar	18	42	35	50	21	74
	Anodeskiftar	38	16	13	19	7	67
	Anoderens	20	22	17	29	5	44
	Alle	97	22	20	25	5	74
Prosent "Totalsrøv"-kassett vassløyseleg fluorid av "Totalstøv"-kassett partikulært fluorid	Omnspassar	19	31	26	37	15	59
	Tappar	17	53	45	63	17	78
	Anodeskiftar	36	25	22	28	11	54
	Anoderens	19	24	19	30	6	43
	Alle	91	30	27	33	6	78

Kor stor del av det partikulære fluoridet som er vassløyseleg er avhengig av kjelda til fluorideksponeinga. 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, 41 % for respirabel fraksjon, 35 % for torakal fraksjon og 22 % for inhalerbar fraksjon. Dette tyder på at dess finare aerosolen er, dess større del av det partikulære fluoridet er vassløyseleg.

12.4. Gassar, HF og SO₂



Figur 12.22: 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 200 µg/m³ for alle jobbkategoriene utanom anodeskiftar. Anodeskiftar har ei gjennomsnittleg eksponering på 162 µg/m³ med den høgste enkeltverdien på 960 µg/m³. Anoderens har den lågaste gjennomsnittlege eksponeringa med 7,6 µg/m³ med ein ekstremverdi på 260 µg/m³. For omnspassar og tappar er den gjennomsnittlege eksponeringa omlag lik, høvesvis 45 og 42 µg/m³.

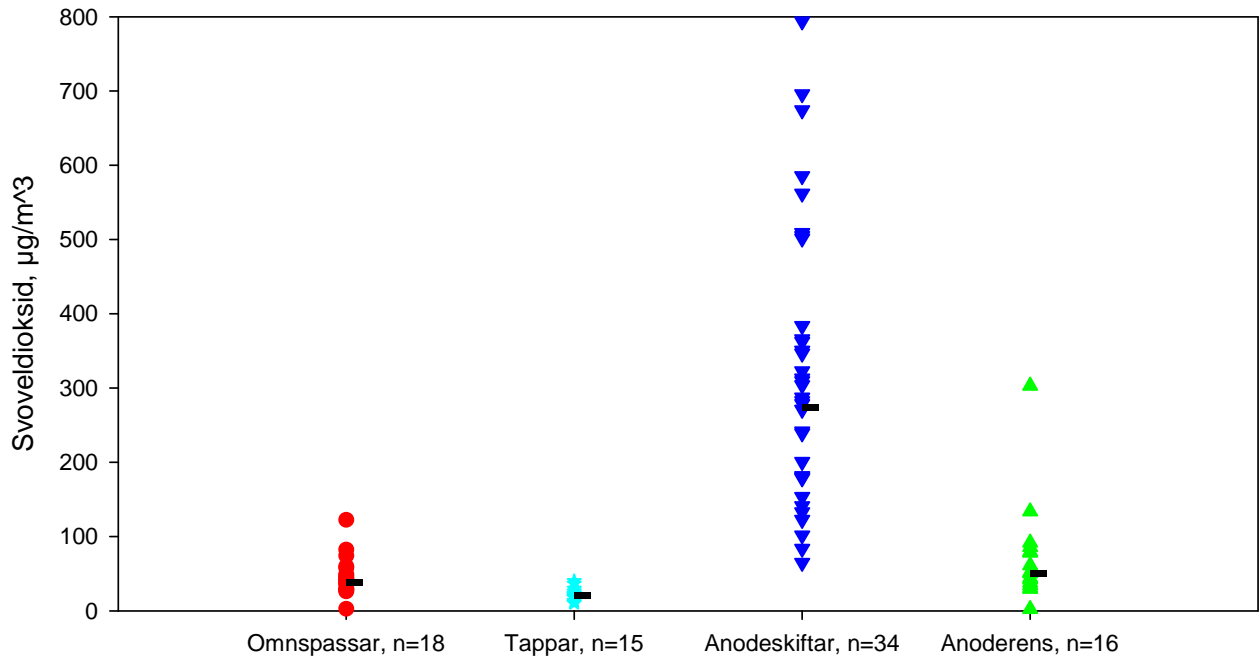
Tabell 12.11: Oversikt over kva jobbkategoriar der GM var signifikant* forskjellige for gassformig fluorid (HF).

Komponent	Jobbkategori	Signifikant* forskjellig frå jobbkategori
HF _(gass)	Omnspassar	Anodeskiftar, Anoderens
	Tappar	Anodeskiftar, Anoderens
	Anodeskiftar	Omnspassar, Tappar, Anoderens
	Anoderens	Omnspassar, Tappar, Anodeskiftar

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 kunne bli rapportert som partikulært fluorid.

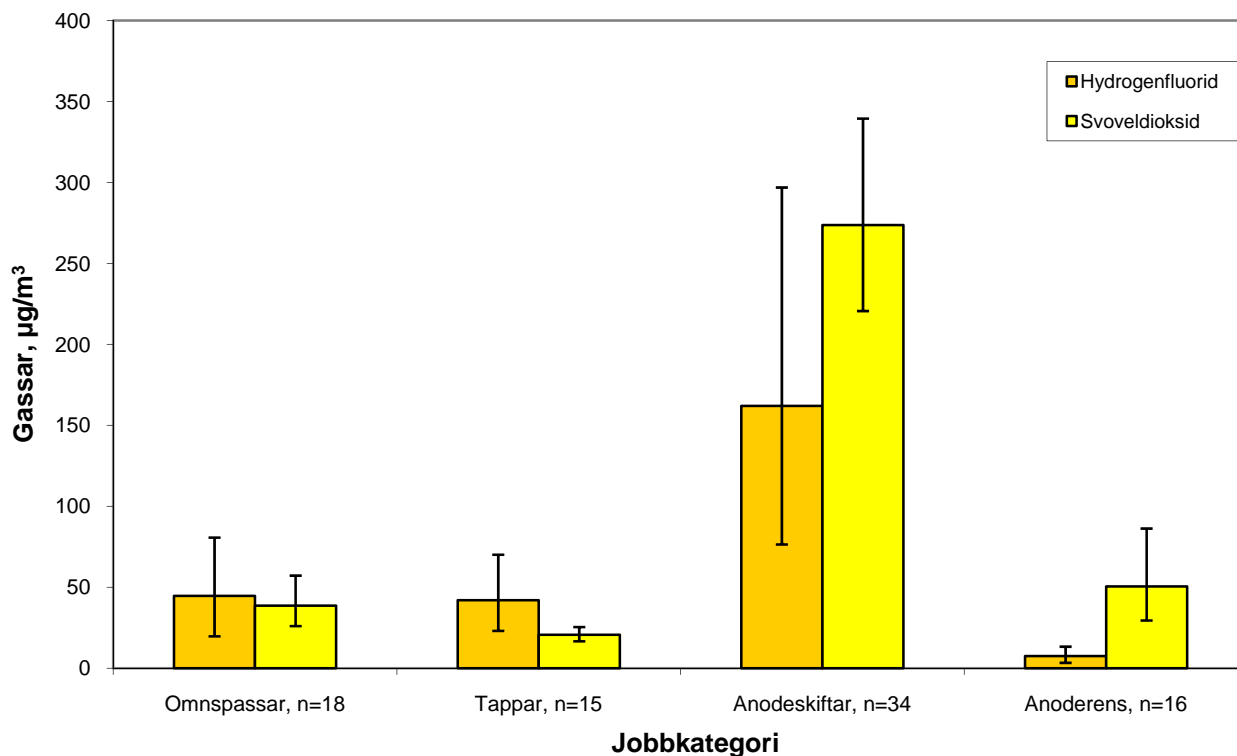
* p<0,05
41

Som ei mogleg årsak til at jobbkategoriene anodeskiftar 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.



Figur 12.23: 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 12.23 har ein at lågast SO₂-eksponering var målt for tappar (21 µg/m³) medan anodeskiftar har høgast eksponering (274 µg/m³) og størst spreing (høgste målte enkeltverdi 790 µg/m³).



Figur 12.24: HF og SO₂ frå filter fordelt på jobbkategori. Talet på prøver er gjeve med bokstaven n og må ikkje forvekslast med talet på personar.

I figur 12.24 er det vist gjennomsnittlege verdiar for SO₂ og HF fordelt på jobbkategori.

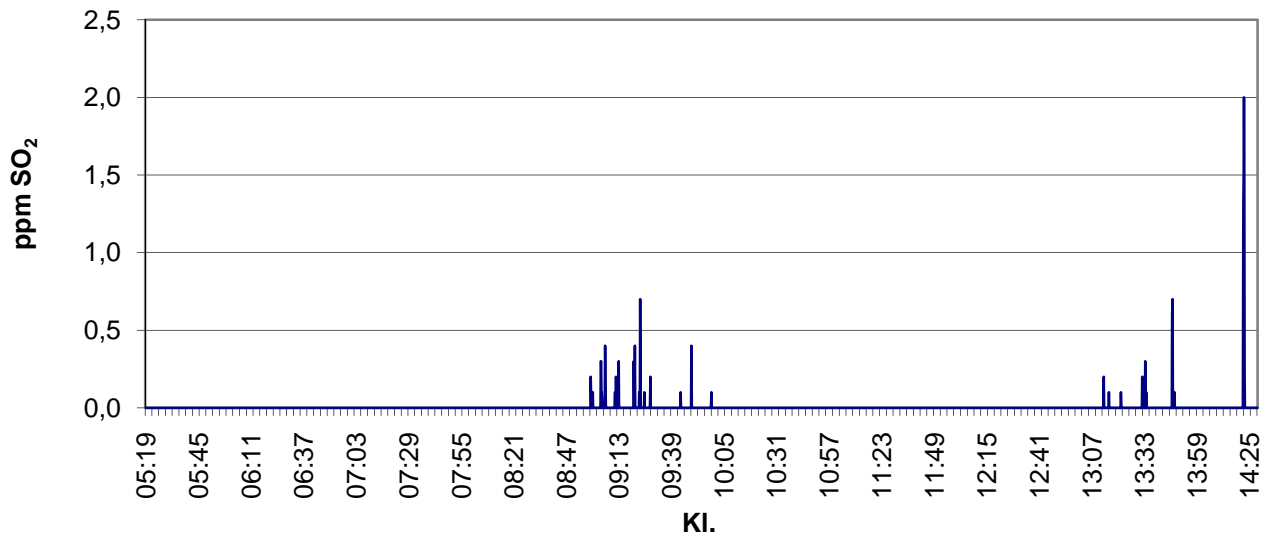
Tabell 12.12: Oversikt over kva jobbkategoriar der GM var signifikant* forskjellig for svoveldioksid (SO₂).

Komponent	Jobbkategori	Signifikant* forskjellig frå jobbkategori
SO ₂	Omnspassar	Tappar, Anodeskiftar
	Tappar	Omnspassar, Anodeskiftar, Anoderens
	Anodeskiftar	Omnspassar, Tappar, Anoderens
	Anoderens	Tappar, Anodeskiftar

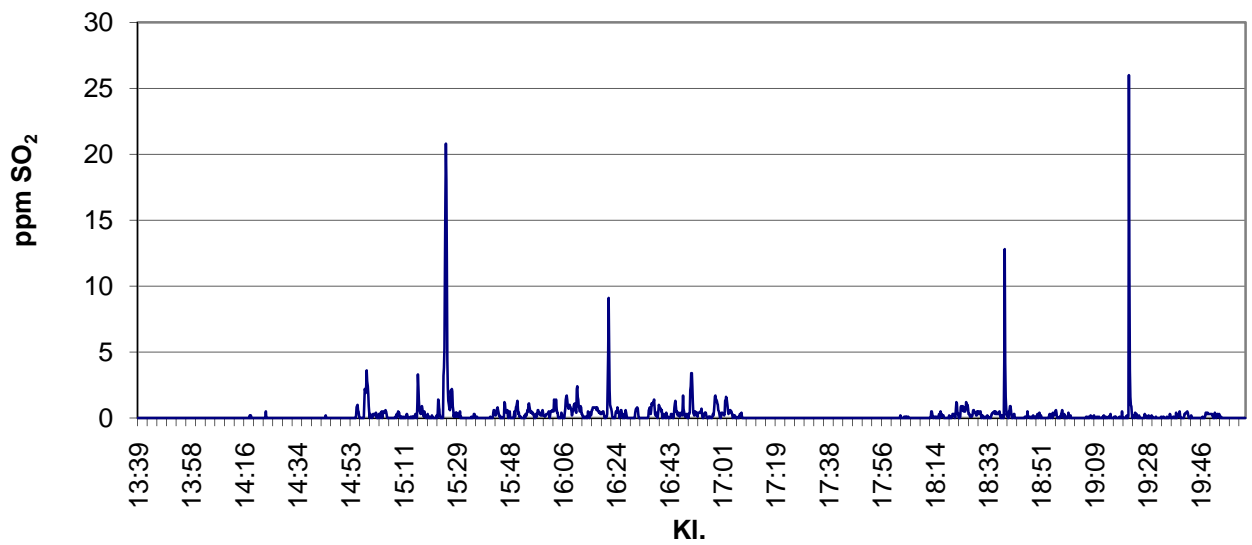
Jobbkategorien anodeskiftarar har signifikant høgare eksponering enn alle dei andre kategoriene, medan tappar har signifikant lågare eksponering. Spreiinga er størst innan kategorien anodeskiftar.

12.4.1. Tidsoppløyste SO₂-målingar

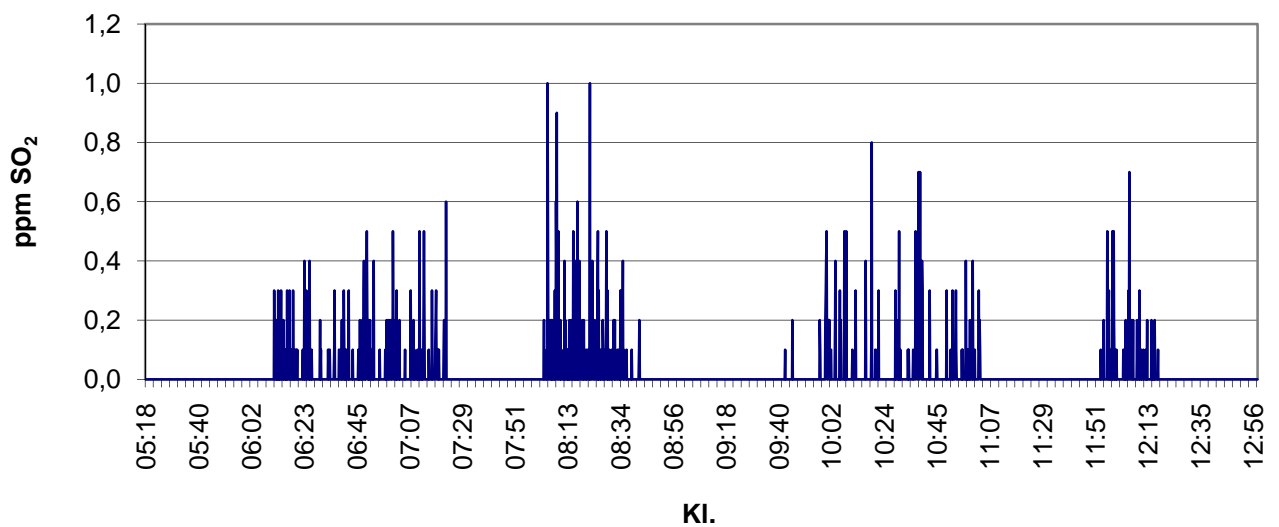
For betre å kunne forstå SO₂ eksponeringa vart det nytta direktevisande gassesensorar til kontinuerleg kunne monitorere konsentrasjonen av SO₂ over arbeidsskifta. Figurane 12.25-12.28 viser typiske variasjonsmålingar for tre ulike arbeidsoperasjonar. Eksponeringsmønstra for dei ulike arbeidsoperasjonar varierar og gassesensorar er derfor eit viktig verktøy til å identifisere utsette arbeidsfunksjonar.



Figur 12.25: Tidsoppløyst SO₂ signal for tapper 28. januar 2006.

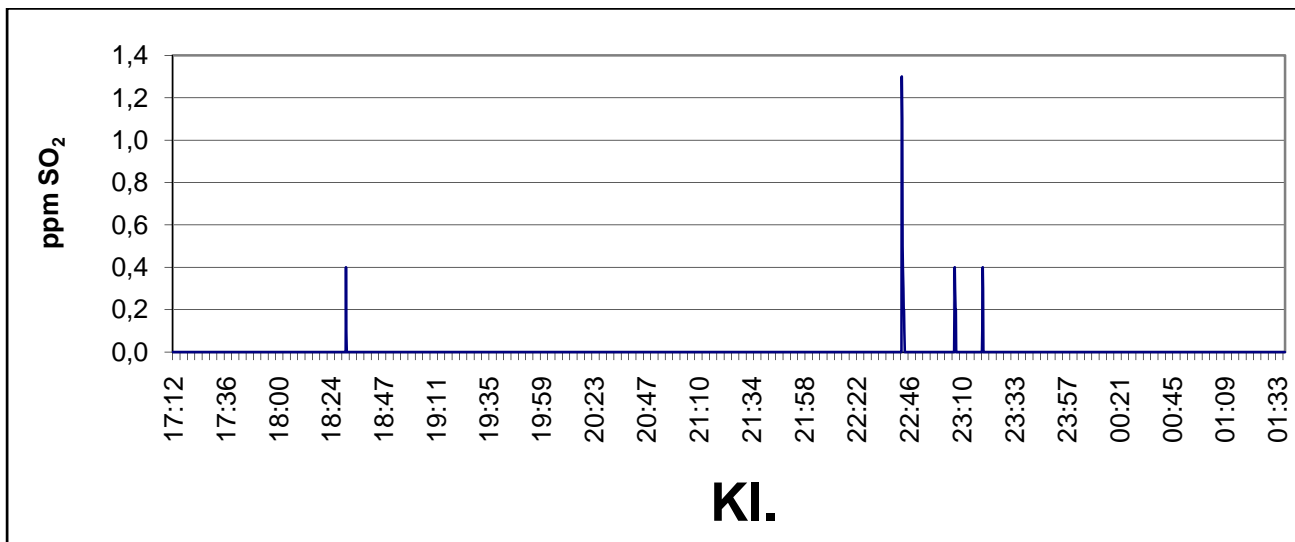


Figur 12.26: Tidsoppløyst SO₂ signal for anodeskiftar 26. januar 2006.

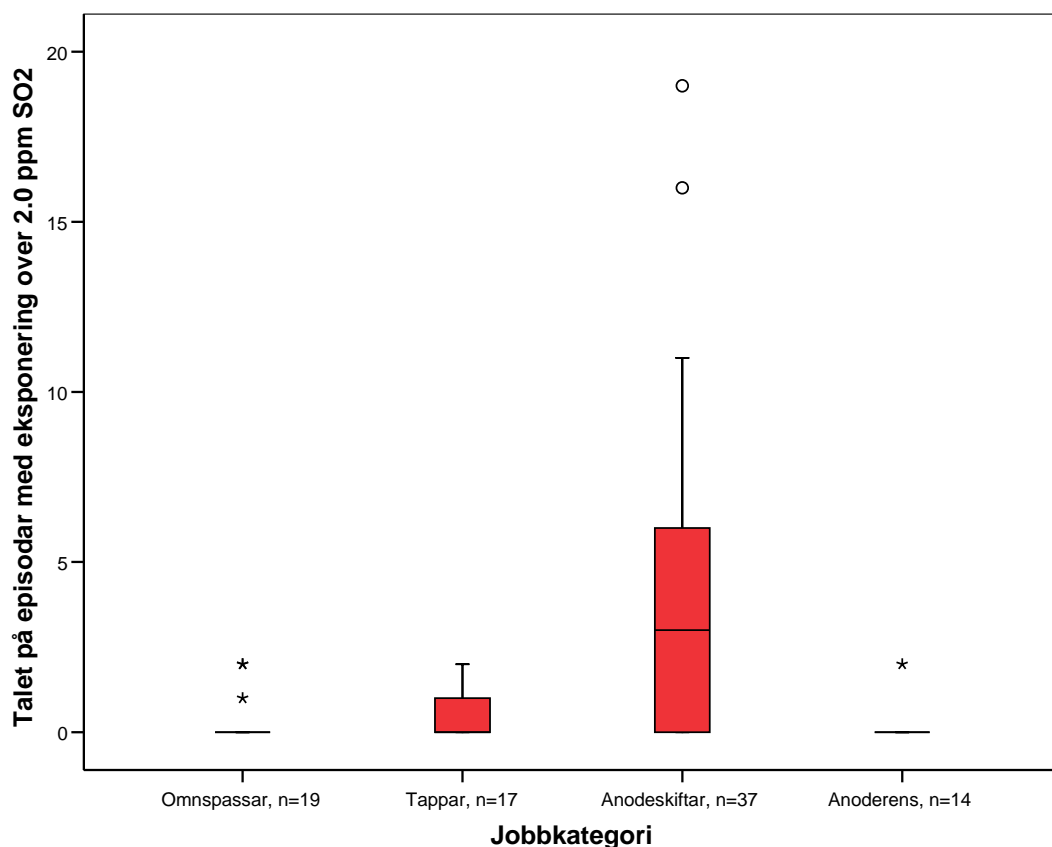


Figur 12.27: Tidsoppløyst SO₂ signal for omnspassar 28. januar 2006.

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 12.29 viser talet på episodar med verdiar over 2,0 ppm SO₂ fordelt på arbeidsoppasjonane. I figur 12.30 viser talet på sekund kor eksponeringa har vore over 2,0 ppm, fordelt på dei ulike arbeidsoperasjonane. I figur 12.31 er det gjevne dosen av desse episodane over 2,0 ppm fordelt på dei ulike arbeidsoperasjonane.

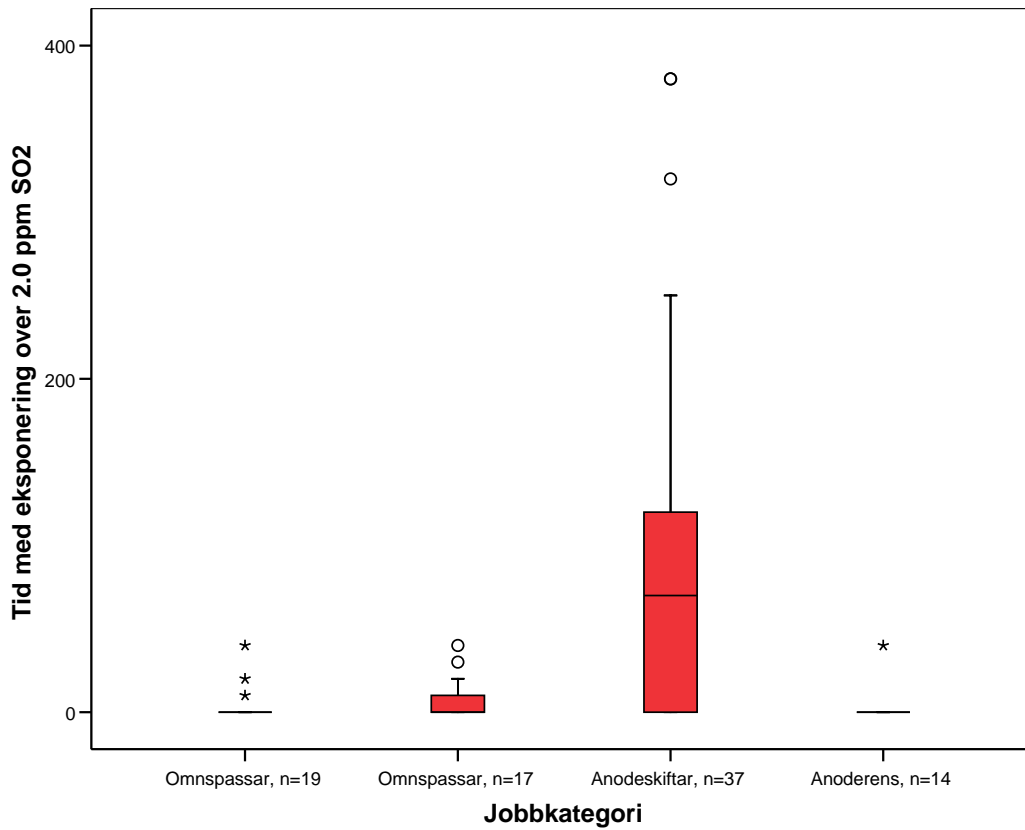


Figur 12.28: Tidsoppløyst SO₂ signal for anoderens 27.januar 2006.

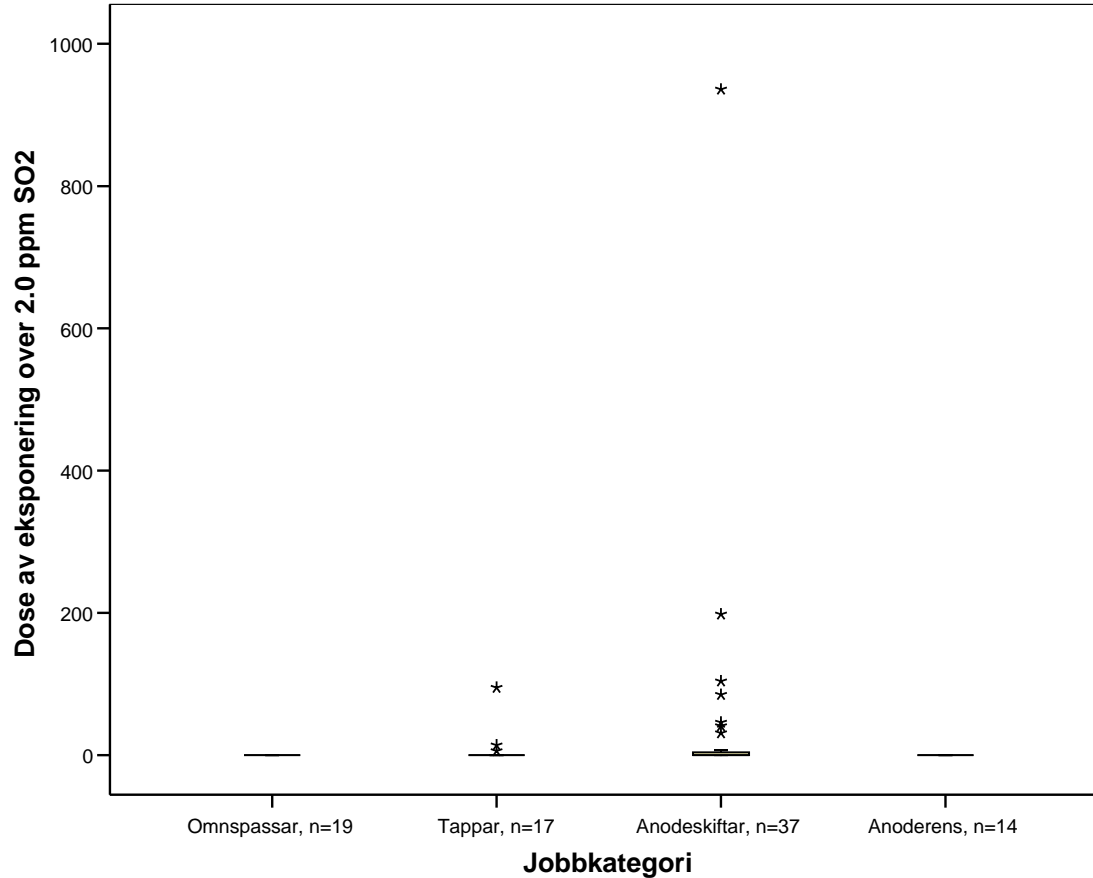


Figur 12.29: Boksplokk av talet på eksponeringsepisodar med eksponering over 2,0 ppm SO₂.

Frå figur 12.29 ser ein at det er anodeskiftar har flest episodar med eksponering over 2,0 ppm SO₂.



Figur 12.30: Boksplott av talet på sekund med eksponering over 2,0 ppm SO₂.



Figur 12.31: Boksplott av dose (ppm *sekund) for eksponering over 2,0 ppm SO₂.

Gass-sensorer med logging er nyttige hjelpemiddel for identifisering av toppeksposering og variasjonen av eksponeringa gjennom eit arbeidsskit. For alle gassloggarane er det rekna tidsoppløyte 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 middelværdi (AM).

Jobbkategori	Talet på målingar, n	Tal på episodar	Tid over, s	Dose, ppm*s
Omnspassar	19	26	400	112
Tappar	17	12	486	154
Anodeskiftar	37	57	2331	1129
Anoderens	13	5,9	268	112
Alle	86	34	1228	558

Anodeskiftar hadde flest episodar med eksponering for SO₂ over 0,2 ppm, medan omnspassar og anoderens har færrest episodar. Anodeskiftar hadde også 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	19	4,6	79	14
Tappar	17	2,4	109	34
Anodeskiftar	37	25	884	323
Anoderens	14	3,2	104	15
Alle	87	13	431	150

Flest episodar med eksponering over 0,5 ppm blir vist for anodeskiftar og størst dose i toppane over 0,5 ppm.

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	19	1,3	23	6,8
Tappar	17	0,9	21	26
Anodeskiftar	37	10	301	209
Anoderens	14	1,2	31	5,2
Alle	87	5,0	142	96

Anodeskiftar hadde flest episodar (10) med eksponering over 1,5 ppm og dei lengste (301 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	19	0,3	3,7	-
Tappar	17	0,4	7,1	6,8
Anodeskiftar	37	4,0	91	40
Anoderens	14	0,1	2,9	-
Alle	87	1,9	41	18

Anodeskiftar hadde flest episodar med eksponering over 2,0 ppm og lengst tid. For omnspassar og anoderens var talet på episodar få og tidsintervallet kort, noko som gjev små dosar SO₂.

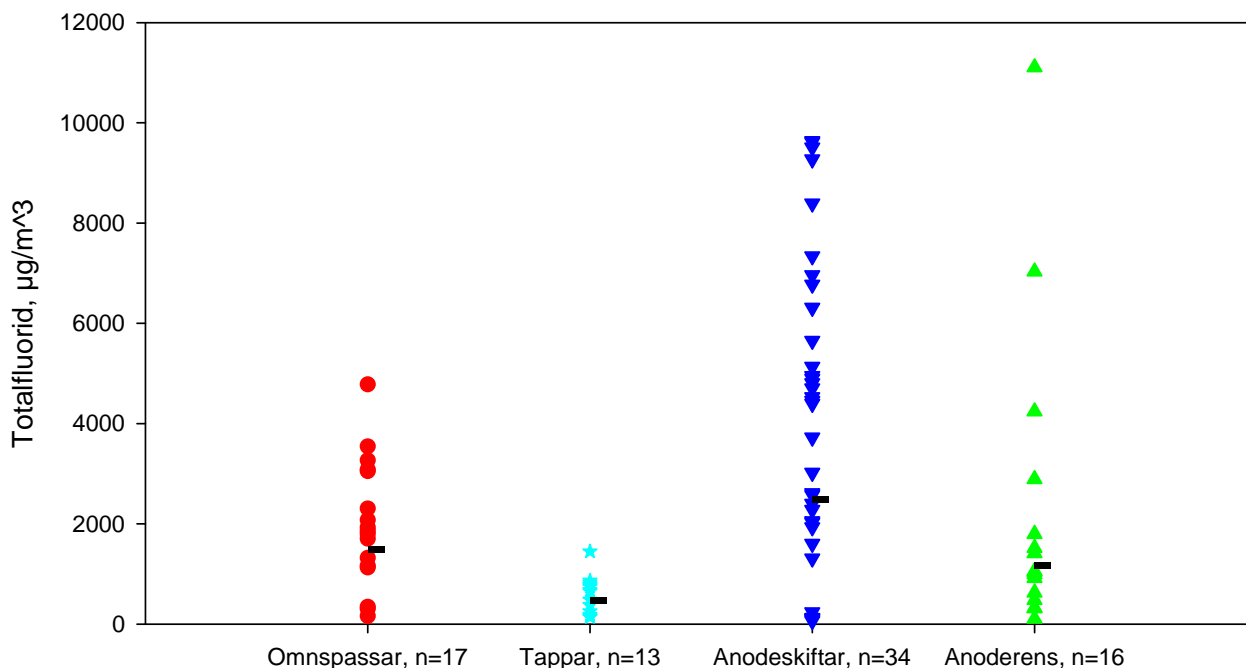
Tabell 12.17: Oppsummering over direktevisande SO₂ eksponeringsmålinger. Eksponeringsverdier over 5,0 ppm, Aritmetisk middelvei (AM).

Jobbkategori	Talet på målinger, n	Tal på episodar	Tid over, s	Dose, ppm*s
Omnspassar	19	0	-	-
Tappar	17	0,2	2,4	-
Anodeskiftar	37	0,5	9,5	-
Anoderens	14	0	-	-
Alle	87	0,3	4,5	-

Flest episodar over 5,0 ppm eksponering hadde anodeskiftar (0,5). Tidsintervallet er for kort til å kunne seie noko om dosen i desse toppane.

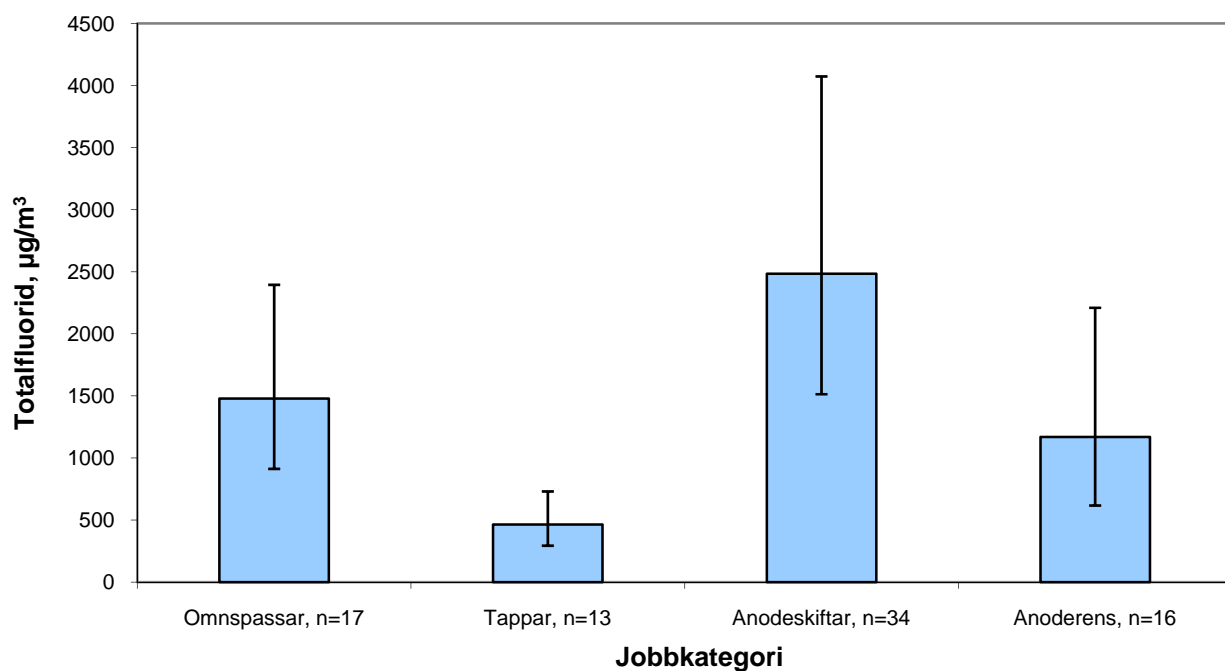
12.5. Totalfluorid

Totalfluorid er summen av gassformig fluorid frå impregnerte gassprøvetakarar (jf. kap. 7.2.4) og inhalerbart partikulært fluorid målt med Respicon (jf. kap. 7.2.5).



Figur 11.32: Totalfluorid, som er summen av inhalerbart partikulær aerosolfraksjon frå Respiconprøvetakaren og gassformig fluorid frå HF, fordelt på jobbkategori. Talet på prøver er gjevne med bokstaven n og må ikkje forvekslast med talet på personar.

Den høgste gjennomsnittlege eksponeringa er det jobbkategori anodeskiftar som har ($2484 \mu\text{g}/\text{m}^3$), medan tappar har den lågaste eksponeringa med $530 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Spreiinga er stor, spesielt for jobbkategori anodeskiftar og anoderens.



Figur 12.33: Geometrisk middelværdi, GM med 95 % konfidensintervall for totalfluorid (summen av gassformig og partikulært fluorid).

Ved å samanlikne dei geometriske gjennomsnittsverdiane statistisk får ein kva jobbkategori 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	Tappar
	Tappar	Omnspassar, Anodeskiftar, Anoderens
	Anodeskiftar	Tappar, Anoderens
	Anoderens	Tappar, Anodeskiftar

Av tabell 12.18 ser ein at jobbkategorien tappar skil seg ut som signifikant* lågare eksponering enn alle dei andre jobbkategoriene. I dette tilfellet er anodeskiftarane høgast eksponert, men ikkje signifikant høgare enn omnspassarane.

* $p < 0,05$

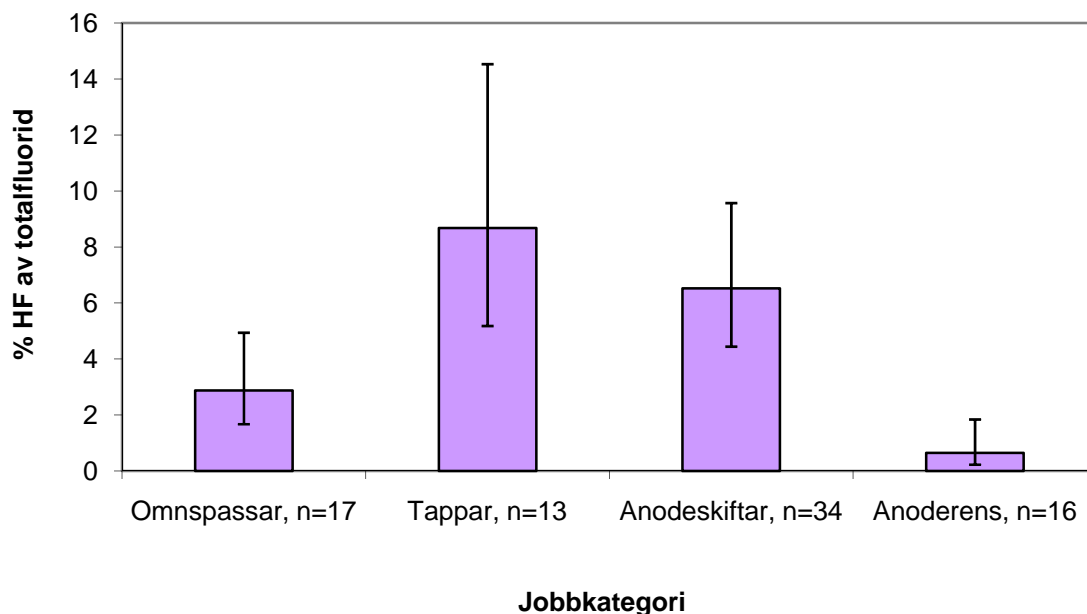


Fig. 12.34: Prosentdel HF av totalfluorid fordelt på jobbkategoriar med 95 % konfidensintervall.

Figur 12.34 viser den at gassformig fluorid hadde størst bidrag til den totale fluorideksponeringa for gruppa tappar (9 % av totalfluoridet), medan for jobbkategorien anoderens var det gassformige bidraget lite (0,6 % av totalfluoridet).

12.6. Personvariasjon

Fleire av resultata kommer frå målingar på same person over fleire dagar. Ein ynskte å sjå på dag til dag variasjonen for kvar person som funksjon av arbeidsoppgåver. Det vart valt ut dei personane som ein hadde 3 eller fleire målingar for. Ved å sjå på det relative standardavviket (Relativt standardavvik [RSD] = (standardavvik[s]/gjennomsnittet [AM] x 100 %)) mellom målingane for same person, kan ein estimere kor stor spreining 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.

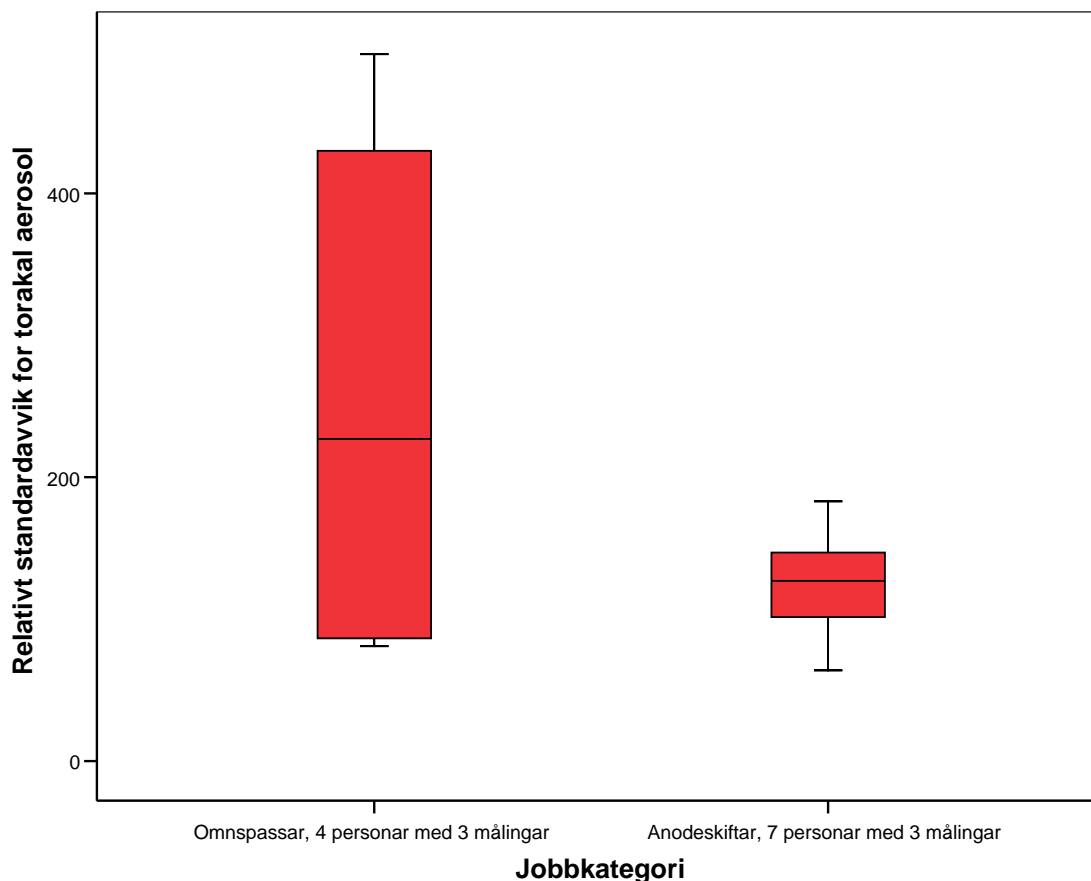


Fig. 12.35: Dag til dag variasjon for same personane.

Av fig. 12.35 ser ein at det er størst dag til dag variasjon for jobbkategorien omnspassar, med ein median (RSD) verdi på om lag 230 %. Medan for anodeskiftar var den tilsvarande verdien 127 %.

Tabell 12.19: Dag til dag variasjon for same person og variasjon mellom personar

Jobbkategori	K (personar) ¹	N (målingar)	AM	GM	GSD	GSD _{ww}	GSD _{bw}
Omnspassar	10	22	2,3	1,7	2,3	2,2	1,4
Tappar	12	19	0,82	0,70	1,8	1,8	1,0
Anodeskiftar	17	38	4,3	2,5	3,9	2,0	3,3
Anodeskiftar – kran	3	4	1,3	0,29	8,3	3,7	5,9
Anodeskiftar – golv	12	20	6,2	4,6	2,7	2,1	2,1
Anodeskiftar – kran/golv	9	14	2,5	1,9	2,3	1,7	2,1
Anoderens	13	20	6,3	3,3	3,1	2,8	1,7
Alle	51	99	3,6	1,9	3,3	2,1	2,6

I tabell 12.19 der variansen mellom personar (GSD_{bw}) er større enn dag til dag variansen for same person (GSD_{ww}) tyder det på at sjølv om personane er i same jobbkategori har anten forskjellige arbeidsoppgåvene (typisk at nokon jobbar fast med kran, medan andre jobbar fast på golvet under anodeskift/dekking) eller at same arbeidet blir utført forskjellig mellom ulike personar. For jobbkategoriar der dag til dag variasjonen (GSD_{ww}) er større enn variansen mellom personar (GSD_{bw}) tyder det på at eksponeringa varierer meir mellom dagane enn variasjonen mellom dei ulike personane i jobbkategorien. Generelt

¹ Ein person med ei måling i ei jobbkategori kan ha målingar i ein eller fleire av dei andre kategoriane.

for dei utførte målingane ved HAS er at ein finn litt større varians mellom personar enn dag til dag (GSD_{ww}) for same person. Dette skuldast at den største jobbkategorien anodeskiftar, og spesielt underkategoriane anodeskiftar kran og anodeskiftar golv/kran. Jobbkategorien anodeskiftar kran har få personar og få målingar, noko som gjer estimata svært usikre. For jobbkategorien anode kran/golv manglar ein informasjon om tida ved dei to svært ulike eksponeringssituasjonane (stor forskjell i gjennomsnittleg eksponering ved golv og kran). Det er derfor ikkje unaturleg at variansen mellom personar (GSD_{bw}) er større enn dag til dag variasjonen for same person (GSD_{ww}). For anoderens er dag til dag variasjonen (GSD_{ww}) klart større enn variasjonen mellom personar (GSD_{bw}). Dette gjeld også for omnspassar. For tapparar forklarar dag til dag variansen (GSD_{ww}) all variasjonen innan jobbkategorien.

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

Tabell 14.1: Aerosol, mg/m³

	Jobbkategori	n	Gjennomsnitt		95 % Konfidensintervall for GM		Minimum	Maksimum
			AM	GM	Nedre	Øvre		
Aerosol "Totalstøv"- kassett	Omnbspassar	19	2,6	1,8	1,17	2,8	0,35	12
	Tappar	17	1,1	0,88	0,63	1,2	0,27	4,4
	Anodeskiftar - alle	37	4,9	2,5	1,5	4,1	0,06	18
	- kran	4	0,74	0,20	0,01	3,4	0,06	2,7
	- golv	20	7,5	5,3	3,2	8,9	0,14	18
	- kran/golv	13	2,2	1,7	1,0	2,9	0,15	4,9
	Anoderens	19	7,9	4,9	3,2	7,5	1,4	53
	Alle	92	4,4	2,2	1,7	2,9	0,06	53
Inhalerbar aerosol, IOM	Omnbspassar	18	11	7,3	4,3	13	0,82	35
	Tappar	14	2,6	2,1	1,4	3,3	0,32	4,9
	Anodeskiftar - alle	34	16	8,3	4,6	15	0,12	66
	- kran	4	3,9	0,74	0,02	24	0,13	14
	- golv	17	24	16	8,0	32	0,12	66
	- kran/golv	13	11	7,3	3,3	16	0,14	22
	Anoderens	17	15	11	7,4	17	4,2	64
	Alle	83	13	6,8	5,0	9,2	0,12	66
Respirabel aerosol, Respicon	Omnbspassar	22	0,77	0,64	0,48	0,9	0,17	2,0
	Tappar	19	0,36	0,32	0,24	0,4	0,11	1,0
	Anodeskiftar - alle	38	2,0	1,1	0,76	1,7	0,02	7,4
	- kran	4	0,92	0,20	0,01	5,7	0,02	3,4
	- golv	20	2,7	2,1	1,4	3,1	0,13	7,4
	- kran/golv	14	1,2	0,8	0,5	1,4	0,16	5,0
	Anoderens	20	2,1	1,1	0,70	1,8	0,14	17
	Alle	99	1,4	0,79	0,63	1,0	0,02	17
Torakal aerosol, Respicon	Omnbspassar	22	2,3	1,7	1,2	2,5	0,33	8,2
	Tappar	19	0,82	0,70	0,53	0,9	0,27	2,1
	Anodeskiftar - alle	38	4,3	2,5	1,6	3,9	0,03	16
	- kran	4	1,3	0,3	0,0	8,5	0,03	4,6
	- golv	20	6,2	4,6	2,9	7,3	0,22	16
	- kran/golv	14	2,5	1,9	1,2	3,1	0,28	5,9
	Anoderens	20	6,3	3,3	2,0	5,7	0,28	40
	Alle	99	3,6	1,9	1,5	2,4	0,03	40
Inhalerbar aerosol, Respicon	Omnbspassar	22	12	7,8	4,9	12	0,89	46
	Tappar	19	2,6	2,1	1,5	2,9	0,42	4,9
	Anodeskiftar - alle	38	23	13	7,8	21	0,13	84
	- kran	20	13	7,6	4,6	13	0,56	57
	- golv	4	6,1	1,0	0,03	34	0,13	23
	- kran/golv	20	33	24	14	42	0,36	84
	Anoderens	14	14	11	6,0	18	0,69	35
	Alle	99	15	7,3	5,5	9,5	0,13	84

Tabell 14.2: Vassløyselege fluorid, $\mu\text{g}/\text{m}^3$

	Jobbkategori	n	Gjennomsnitt		95 % Konfidensintervall for GM		Minimum	Maksimum
			AM	GM	Nedre	Øvre		
Vassløyseleg fluorid, "Totalstøv"-kassett	Omnspassar	19	252	209	150	292	52	497
	Tappar	17	158	139	104	185	38	301
	Anodeskiftar - alle	36	315	214	146	316	13	782
	- kran	4	101	37	3,1	436	13	347
	- golv	19	431	357	240	532	19	782
	- kran/golv	13	211	175	107	288	14	364
	Anoderens	19	265	232	180	299	99	797
	Alle	91	262	200	167	239	13	797
Vassløyseleg fluorid, IOM	Omnspassar	18	378	322	240	433	97	866
	Tappar	14	217	184	127	267	45	411
	Anodeskiftar - alle	34	450	344	249	475	22	1147
	- kran	4	156	76	9,4	624	22	484
	- golv	17	585	512	362	724	47	1147
	- kran/golv	13	364	324	228	461	61	552
	Anoderens	17	369	331	261	421	158	821
	Alle	83	378	303	256	357	22	1147
Vassløyseleg respirabelt fluorid, Respicon	Omnspassar	21	72	63	48	82	17	127
	Tappar	19	60	51	39	68	16	134
	Anodeskiftar - alle	38	116	88	65	119	2,7	242
	- kran	4	44	28	6	136	15	122
	- golv	20	153	138	109	174	36	242
	- kran/golv	14	86	64	35	116	2,7	184
	Anoderens	20	99	67	43	105	6	453
	Alle	98	92	70	59	82	2,7	453
Vassløyseleg torakalt fluorid, Respicon	Omnspassar	21	183	149	107	209	30	373
	Tappar	19	114	94	68	131	23	240
	Anodeskiftar - alle	38	258	188	137	258	9,5	670
	- kran	4	78	47	8	261	20	225
	- golv	20	348	300	223	403	44	670
	- kran/golv	14	181	144	86	240	9,5	347
	Anoderens	20	227	161	105	245	17	845
	Alle	98	208	152	127	181	9,5	845
Vassløyseleg inhalerbart fluorid, Respicon	Omnspassar	21	423	349	250	489	55	828
	Tappar	18	213	178	127	250	34	379
	Anodeskiftar - alle	38	554	408	291	572	15	1340
	- kran	4	170	75	7,1	779	15	540
	- golv	20	717	624	456	854	54	1340
	- kran/golv	14	431	361	226	578	26	690
	Anoderens	20	363	277	191	402	38	1165
	Alle	97	423	312	260	375	15	1340

Tabell 14.3: Partikulært fluorid, $\mu\text{g}/\text{m}^3$

	Jobbkategori	n	Gjennomsnitt		95 % Konfidensintervall for GM		Minimum	Maksimum
			AM	GM	Nedre	Øvre		
Partikulært fluorid, Millipore	Omnspassar	19	997	676	415	1102	95	3357
	Tappar	17	358	263	178	387	64	1797
	Anodeskiftar - alle	36	1621	866	539	1390	39	6933
	- kran	4	358	121	9,2	1580	39	1247
	- golv	19	2503	1776	1037	3042	42	6933
	- kran/golv	13	721	555	317	972	43	1406
	Anoderens	19	1639	966	625	1491	281	13141
	Alle	91	1258	673	524	865	39	13141
Respirabelt partikulært fluorid, Respicon	Omnspassar	21	149	126	93	170	27	357
	Tappar	19	119	92	64	132	26	367
	Anodeskiftar - alle	38	393	260	182	372	13	1271
	- kran	4	157	73	8,2	646	27	494
	- golv	20	519	425	300	603	45	1271
	- kran/golv	14	281	186	101	342	13	851
	Anoderens	20	329	189	116	308	14	2313
	Alle	98	275	170	139	209	13	2313
Torakalt partikulært fluorid, Respicon	Omnspassar	21	500	360	237	547	54	1697
	Tappar	19	242	181	123	265	45	783
	Anodeskiftar - alle	38	1013	624	424	917	37	4367
	- kran	4	249	125	16	962	46	773
	- golv	20	1457	1077	691	1679	66	4367
	- kran/golv	14	598	452	265	771	37	1294
	Anoderens	20	1148	592	337	1041	40	7331
	Alle	98	781	432	342	544	37	7331
Inhalerbart partikulært fluorid, Respicon	Omnspassar	21	2397	1457	850	2501	86	12059
	Tappar	18	592	427	268	680	59	1414
	Anodeskiftar - alle	38	4624	2587	1596	4194	45	19554
	- kran	4	1278	265	11	6642	45	4745
	- golv	20	6514	4712	2791	7953	79	19554
	- kran/golv	14	2881	2106	1124	3946	75	6748
	Anoderens	20	2255	1253	728	2156	93	11103
	Alle	97	2905	1408	1062	1868	45	19554

Tabell 14.4: Totalfluorid, $\mu\text{g}/\text{m}^3$

	Jobbkategori	n	Gjennomsnitt		95 % Konfidensintervall for GM		Minimum	Maksimum
			AM	GM	Nedre	Øvre		
Totalfluorid, Inhalerbart partikulært fluorid og gassformig fluorid	Omnspassar	17	1988	1479	913	2395	159	4780
	Tappar	13	583	464	295	732	137	1450
	Anodeskiftar - alle	34	4219	2484	1515	4073	64	9634
	- kran	4	1306	308	15	6393	64	4803
	- golv	17	5824	4438	2558	7702	104	9634
	- kran/golv	13	3016	2210	1159	4215	96	6957
	Anoderens	16	2241	1169	618	2211	106	11106
	Alle	80	2758	1457	1088	1951	64	11106

 Tabell 14.5: Svoveldioksid og Hydrogenfluorid, $\mu\text{g}/\text{m}^3$

	Jobbkategori	n	Gjennomsnitt		95 % Konfidensintervall for GM		Minimum	Maksimum
			AM	GM	Nedre	Øvre		
Hydrogenfluorid (HF)	Omnspassar	18	66	45	27	73	3,0	284
	Tappar	15	52	42	30	59	20	162
	Anodeskiftar - alle	34	283	162	102	258	2,8	962
	- kran	4	30	26	11	65	18	61
	- golv	17	403	256	123	533	2,8	962
	- kran/golv	13	204	156	95	257	22	583
	Anoderens	16	24	7,6	3,8	15	0,61	258
	Alle	83	144	53	38	75	0,61	962
Svoveldioksid (SO ₂)	Omnspassar	18	47	39	26	57	2,5	122
	Tappar	15	22	21	17	25	10	40
	Anodeskiftar - alle	34	324	274	221	339	65	794
	- kran	4	140	135	79	229	84	181
	- golv	17	414	350	247	495	65	794
	- kran/golv	13	264	247	195	312	122	501
	Anoderens	16	72	51	30	86	2,5	303
	Alle	83	161	81	61	107	2,5	794