

HAPPA — Delrapport nr 1:

Karakterisering av eksponering for ultrafine partikler i elektrolysehaller ved produksjon av primæraluminium



Foto: P. A. Drabløs, Hydro Karmøy

Statens arbeidsmiljøinstitutt

Postboks 8149 Dep.

0033 Oslo

Tlf 23 19 51 00

Fax 23 19 52 00

stami@stami.no

www.stami.no

27.08.2003

Dato: 27.08.03

HAPPA — Delrapport nr 1:

Karakterisering av eksponering for ultrafine partikler i elektrolysehaller ved produksjon av primæraluminium*

Wolfgang Koch og Wilhelm Dunkhorst

Fraunhofer Institute of Toxicology and Experimental Medicine [Fraunhofer ITEM]
Nikolai-Fuchs- Str. 1, D-30625 Hannover, Tyskland

Yngvar Thomassen, Nils Petter Skaugset, Dag Ellingsen og Lars Jordbekken

Statens arbeidsmiljøinstitutt, P.B. 8149 Dep, 0033 Oslo

Per Arne Drabløs

Hydro Aluminium Karmøy, 4265 Håvik

*Denne rapporten er basert på en tilsvarende rapport utarbeidet av Wolfgang Koch og Wilhelm Dunkhorst ved Fraunhofer Institute of Toxicology and Experimental Medicine, Fraunhofer ITEM Prosjektnummer: 112 062.

Ansvarlig for oversettelsen og bearbeidelsen av den norske rapporten: Yngvar Thomassen

1	SAMMENDRAG	2
2	HENSIKTEN VED UNDERSØKELSEN	3
3	MATERIALER OG METODER.....	4
4	RESULTATER	7
	4.1 Total partikkelkonsentrasjon	8
	4.2 Mobilitet størrelsesfordelinger	9
	4.3 Partikkelmorfologi	17
5	DISKUSJON	21

1 SAMMENDRAG

Ultrafine partikler har blitt karakterisert i arbeidsatmosfæren på forskjellige plasser i Søderberg- og Prebakehallene ved Hydro Aluminium Karmøy. Totale partikkelkonsentrasjoner og partikkel størrelsesfordelinger som funksjon av mobilitetsdiameter ble kontinuerlig målt over lengre tidsperioder. I tillegg, ble prøver av luftbårne partikler samlet inn ved termoforetisk avsetning på kobbergitter. Kobbergitterne ble undersøkt ved transmisjonselektronmikroskopi for bestemmelse av partikkelens morfologi. Forurensningene til hallene fra elektrolysecellene i Søderberg- og Prebakehallene ble studert. Spesielt ble arbeidsatmosfæren i forbindelse med anodeskift i Prebakehallene studert.

Midlere bakgrunn partikkelkonsentrasjon ble bestemt til 20000 [partikler/cm³] for den ene Prebakehallen med 10 ganger høyere toppkonsentrasjoner i forbindelse med anodeskiftoperasjoner. Hallen med Søderbergteknologi førte til mer forurensning for ultrafine partikler med midlere konsentrasjoner i størrelsesorden 80000 [partikler/cm³]. Den målte midlere størrelsesfordeling av partiklene som funksjon av tid viste en bimodal struktur med en maksimal konsentrasjon ved eller under 10 nm og et annet maksimum ved partikkelstørrelser på 50-100 nm.

De luftbårne partiklene viste et stort antall forskjellige morfologiske strukturer som blant annet omfattet lange tynne fibrer, kjedeliknende agglomerater og forskjellige former av krystallitter. Bare en liten fraksjon av partiklene med størrelser rundt 10 nm kunne identifiseres på TEM bildene, noe som indikerte at disse partiklene kunne være flyktige. Mer detaljert informasjon om disse partiklene kan bli tilgjengelig ved nærmere mikroanalytiske undersøkelser.

Denne undersøkelsen hadde ikke vært mulig å få gjennomført uten stor velvilje fra de ansatte ved Hydro Aluminium Karmøy. Spesielt vil vi takke Otto Vikse for hans teknisk-faglige tilrettelegging ved verket og hans hjelp med de utfordringene som oppsto under prøvetakingen.

2 HENSIKTEN MED UNDERSØKELSEN

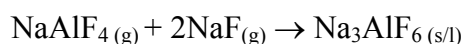
En forståelse av mulige uønskede helseeffekter i forbindelse med inhalasjon av forurensninger ved arbeid i elektrolysehallene i Al-industrien forutsetter en detaljert kjemisk og fysisk karakterisering av arbeidsatmosfæren. En omfattende kartlegging er igangsatt i Al-industrien for å prøveta og å bestemme massekonsentrasjonen og den kjemiske sammensetningen av de konvensjonelle helserelevante aerosolfraksjoner (HAPPA-prosjektet); den respirable fraksjonen (partikler som trenger ned i de alveolære områder av lungene); den torakale fraksjonen (partikler som trenger forbi strupehodet) og den inhalerbare fraksjonen (alle partikler som pustes inn gjennom munn og nese).

I løpet av de siste årene har det vært rettet spesiell oppmerksomhet mot ultrafine partikler som omfatter partikler med aerodynamiske diametere ≤ 100 nm. En har blitt oppmerksom på at slike partikler kan være spesielt helsefarlige. Dette mener en kan forårsakes av den relativt store spesifikke overflaten til ultrafine partikler og deres mulighet for å bli systemisk tilgjengelig. I pågående internasjonale vurderinger av andre eksponeringsvariable enn total masse av forurensningen inngår partikkelkonsentrasjon og overflaten til partikler som viktige aktuelle eksponeringsparametre i diskusjonen.

Ultrafine partikler blir hovedsaklig dannet fra gass/dampfase ved ufullstendig forbrenning eller kondensasjon. På grunn av den høye temperaturen i elektrolysecellene ved produksjon av aluminium vil ultrafine partikler sannsynligvis dannes når dampene like over badsmelten slippes ut til et kaldere område. Dette er tilfelle blant annet når dekslene over cellene i Prebakehallene fjernes for anodeskift. Professor Boris L'Vov, Technical University of St. Petersburg, Russland, har foreslått at fordampning av kryolitt kan forekomme ved primær dekomponering av kryolittmolekylet til tre andre gassmolekyler;



I kaldere områder over badsmelten kan disse molekylene rekombinere



Siden fordampning av AlF_3 (fra smelten) er 6-8 ganger høyere enn kryolitt, kan rekombinasjonsproduktene også bestå av mer komplekse former av Na og Al-fluorider.

Operatører som arbeider nært opptil badsmelter i forbindelse med blant annet anodeskift kan bli eksponert for nydannet røyk. Andre som for eksempel kranførere og operatører med funksjoner lengre bort fra åpne badsmelter er sannsynligvis eksponert for aldret røyk.

Denne undersøkelsen hadde som målsetting å måle/undersøke

- partikkelkonsentrasjon
- partikkel størrelsesfordeling
- partikkelmorfologi

av ultrafine partikler direkte ved mulige kilder ved anodeskift og i områder av elektrolysehallene representative for midlere eksponeringssituasjoner for aldret røyk i hallene til Hydro Aluminium Karmøy. For ikke å påvirke arbeidet i hallene måtte utstyret plasseres på steder hvor arbeid normalt ikke blir utført. Under måleperioden var kjøreporten i Prebakehallen låst i åpen stilling. Disse faktorene vil sannsynligvis ha kunnet påvirke måleresultatene. To produksjonsområder ble valgt:

- områder i en Prebakehall hvor nye forbakte anoder ble skiftet ut med gamle. Disse anodene skiftes regelmessig. Dekslene som normalt forhindret utslipp av forurensninger til hallatmosfæren måtte fjernes for å muliggjøre anodeskift.
- områder i Søderberghall hvor røyk fra cellene blant annet ble dannet ved fordamping fra badsmelte/forbruk av anodemasse (petroleumskoks/tjære).

3 MATERIALER OG METODER

Partikkelkonsentrasjonen og størrelsesfordelingen av partiklene ble målt kontinuerlig ved anvendelse av kommersiell tilgjengelig instrumentering. Morfologi av partiklene ble undersøkt ved oppsamling av individuelle partikler på egnede overflater for nærmere analyse i et transmisjonselektronmikroskop.

For bestemmelse av total partikkelkonsentrasjon ble en bærbar kondensasjon kjerneteller (nucleus counter), CNC, (Modell, 3007, TSI-Tyskland) benyttet. I dette instrumentet blir ultrafine partikler forstørret ved dampkondensasjon for etterfølgende telling ved lysspredning. Instrumentet prøvetar aerosolen ved en luftgjennomstrømning på 0,7 l/min og teller alle partikler i størrelsesområdet 0,01 til omtrent 1 μm . Måleområdet for instrumentet er opp til omtrent 10^5 partikler/cm³. For høyere konsentrasjoner må korreksjon for koinidens tas i betraktning. Instrumentet er batteridrevet og bærbart og kan derfor benyttes meget fleksibelt i forbindelse med raske bestemmelser av partikkelkonsentrasjoner i områder av interesse. Se Fig. 1 for nærmere forståelse av instruments virkemåte.

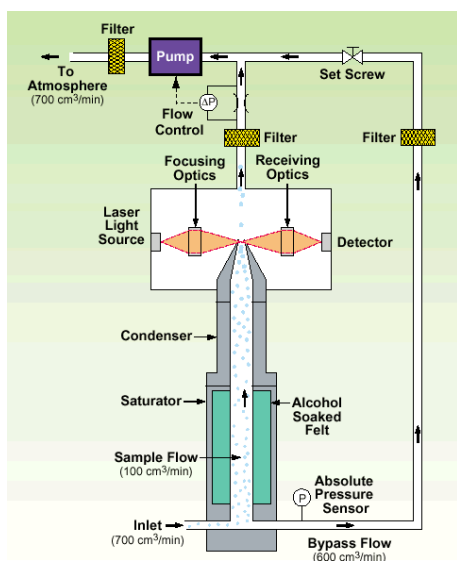


Fig. 1: Prinsippskisse og foto av TSI bærbar kondensasjon kjerneteller (kilde: www.TSI.com)

Partikkelkonsentrasjonen og partikkel størrelsesfordelingen ble målt ved anvendelse av et Scanning Mobilitet Partikkelspektrometer (SMPS) (Modell 3936L10, TSI-Tyskland). Dette instrumentet kombinerer partikkel størrelsesklassifisering i henhold til partiklens mobilitet ved telling i et CNC. Mobilitetsdiameteren for en partikkel er diameteren til en kule med samme luftmotstand og dermed samme Brownske diffusjonskoeffisient som den aktuelle partikkelen. Siden deponering av ultrafine partikler i det alveolære området av lungene er kontrollert av Brownsk diffusjon er mobilitetsdiameteren den mest korrekte ekvivalente diameter som kan bestemmes.

I klassifikasjonsenheten blir banene (*trajectories*) av enkeltladete partikler som entrer i periferien av et konsentrisk rør, deflektert imot midtstaven avhengig av partiklens mobilitetsdiameter og spenningsdifferansen mellom den indre og ytre sylindere (se Fig. 2). Partikler som ender ved spalten ved bunndelen av den midtre elektroden (dvs. partikler med en gitt mobilitetsdiameter), vil bli sugd ut av systemet for umiddelbar bestemmelse. Ved å skanne spenningen vil en oppnå at et visst mobilitetsdiameterområde også vil bli skannet. Måleområdet er bestemt av luftgjennomstrømningen gjennom sylindere og klassifiseringslengden. Det anvendte systemet var justert for et måleområde mellom 7,2 og 294 nm ved å sette luftgjennomstrømningen til 10 l/min og aerosolgjennomstrømningen (luftprøven) til 0,9 l/min. Aerosolgjennomstrømningen ble bestemt av en kritisk dyse på innsiden av CNC-instrumentet (Model 3010, TSI-Deutschland).

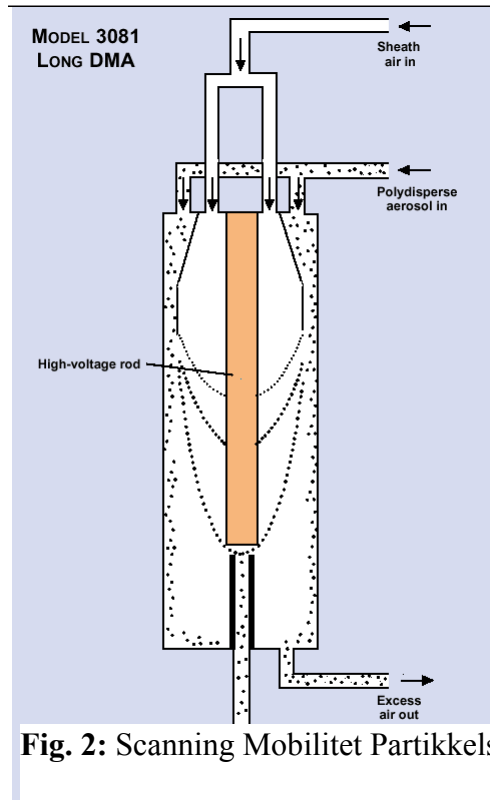


Fig. 2: Scanning Mobilitet Partikkelspektrometer (SMPS) (kilde: www.TSI.com).

Tellingene blir overført til en datamaskin for dataanalyse, grafisk presentasjon og lagring. I denne undersøkelsen er partikkel størrelsesfordelingen framstilt som en fordelingstetthet med logaritmen til mobilitetsdiameteren som en uavhengig variabel:

$$q_0(\log(d_{mob})) = \frac{dN}{d \log(d_{mob})} \text{ [partikler/cm}^3\text{]},$$

hvor d_{mob} er mobilitetsdiameteren og dN bestemmer konsentrasjonen av partiklene i størrelsesområdet mellom $\log(d_{mob})$ og $\log(d_{mob}) + d \log(d_{mob})$. Den totale partikkelkonsentrasjonen gitt ved:

$$N = \int_{-\infty}^{+\infty} q_0(\log(d_{mob})) d \log(d_{mob})$$

blir også beregnet av datamaskinen så vel som fordelingsparametre som median, midlere partikkeldiameter og geometrisk standard avvik.

For undersøkelse av partikkelmorfologien ble partikler avsatt på kobbergitre dekket av en kobberfilm som kunne studeres i et transmisjonselektronmikroskop uten videre prøvepreparering. Termoforetisk prøvetaking (dvs. migrasjon av partikler i en temperaturgradient) for avsetning av partikler på TEM-gitre ble benyttet. Temperaturgradienten ble dannet ved å suge aerosolen inn i et varmt rør (gjennomstrømningshastighet 3 l/min) og nedkjøling av gitteroverflaten ved hjelp av et Peltier element (se Fig. 3).

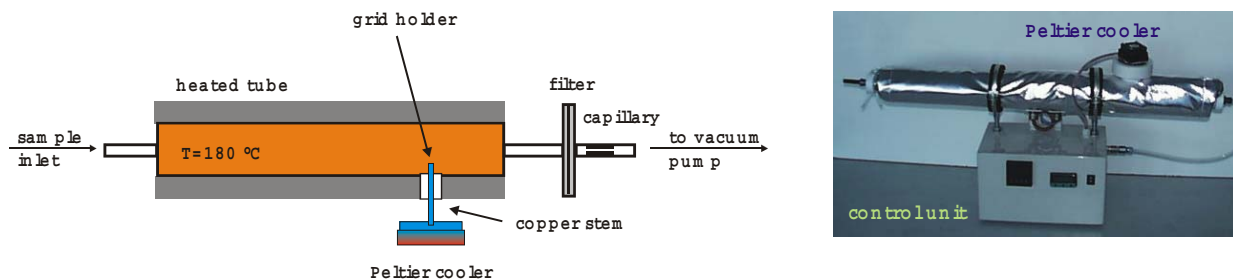


Fig. 3: Termoforetisk prøvetaker utviklet ved Fraunhofer ITEM.

Termoforetisk prøvetaking ble benyttet fordi avsetning av ultrafine partikler ved termoforese er så godt som uavhengig av partikkelstørrelse. I tillegg er migrasjonshastighetene lave ($< 0,1$ m/s) slik at partiklene ikke utsettes for sterke krefter ved avsetning på filmoverflaten. Dermed vil partiklene som er avsatt på filmen gi et realistisk bilde av størrelsesfordeling og morfologi.

En fysisk midling av partikkelkonsentrasjonen ble utført å suge en total luftmengde på 3,9 l/min gjennom en 10 l flaske. Midlere oppholdstid for luftprøven i buffervolumet var sammenliknbart med skanningtiden for SMPS-enheten som ble benyttet å bestemme en komplett størrelsesfordeling.

SMPS-enheten, datamaskinen og den termoforetiske prøvetakeren var plassert i en stålboks lagd av 5 mm tykt svartstål for å skjerme instrumenteringen imot de meget sterke statiske magnetiske feltene i nærheten av elektrolysecellene (Fig.4). Erfaringer fra det praktiske arbeidet viste at

stålboksen måtte være tildekket med et tilsvarende stållokk for at instrumenteringen skulle virke tett opptil cellene.



Fig. 4: Instrumentet montert inne i stålboksen (Prebakehall) (Foto: P. A. Drabløs, Hydro Karmøy)

4 RESULTATER

Målingene ble gjennomført i perioden 02.12. til 05.12. 2002 ved Hydro Aluminium Karmøy. Korttidsmålinger i tillegg til langtidsmålinger over nattskift med SMPS ble utført. Til sammen 4 elektronmikroskopiske prøver ble samlet inn i denne perioden.

4.1. Total partikkelkonsentrasjon

Det bærbare CNC instrumentet ble benyttet for å få en oversikt over total partikkelkonsentrasjon i områder av Prebake- og Søderberghallene samt ved noen utvalgte arbeidsplasser/jobbfunksjoner; inne i krankabinen i Prebakehallen under anodeskift og inne i førerhuset til bolttrekkervoggen i Søderberghallen. Fig. 5 viser variabiliteten i antall partikler hvor CNC er benyttet i forskjellige arbeidsmiljø.

I løpet av tidsperioden indikert med rødt var instrumentet plassert i Prebake hall C ved porten til Søderberghallene (B). Døren ble åpnet jevnlig og de høyeste konsentrasjonene var forårsaket av mer forurenset luft fra Søderberghallen som også visuelt var mer forurenset (av større synlige partikler) enn Prebakehallen. Den blå tidsperioden representerer målinger som er gjort meget nær inntil cellene i Prebake hvor reparasjonsarbeid og anodeskift pågikk. Noe overraskende er det at de laveste konsentrasjonene ble målt mellom de tillukkede cellene (indikert med grønt). Disse konsentrasjonene var signifikant lavere en midlere konsentrasjon i hallen. Måleperioden indikert med fiolett representerer typiske konsentrasjoner i Søderberghallen når instrumentet har blitt båret i hovedkorridorene mellom cellene. Atmosfæren her er mye mer forurenset enn i Prebakehallen for små partikler; noe som også gjelder for de større partiklene (reduert synlighet).

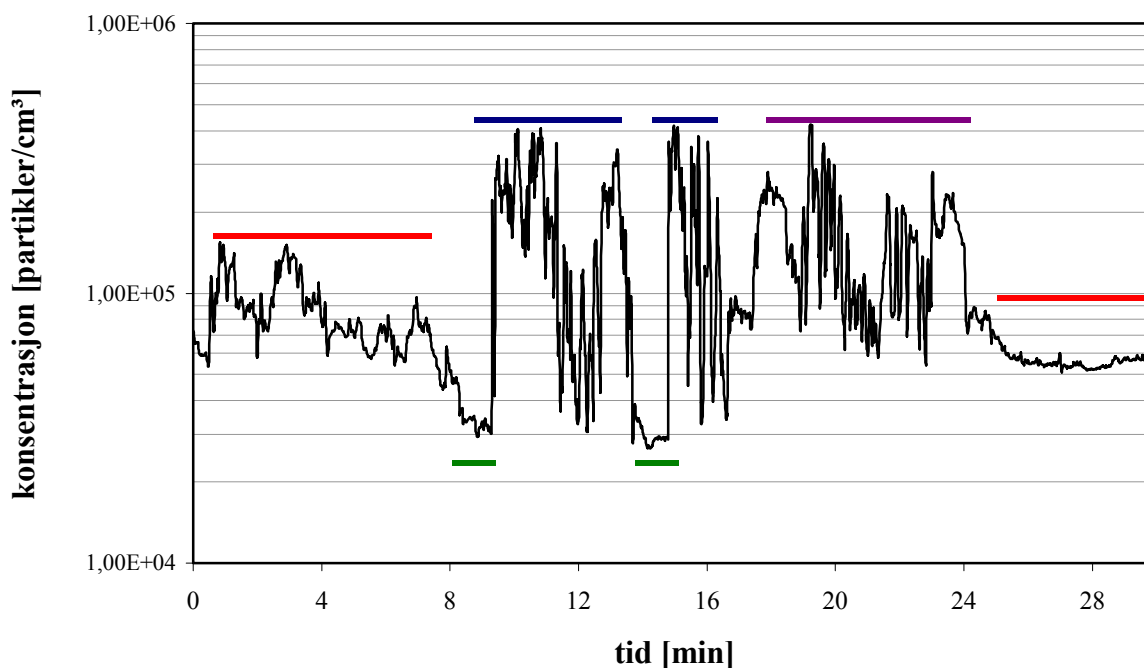


Fig. 5: Total antall partikler i forskjellige arbeidsmiljø.

Konsentrasjonene på innsiden av krankabinen og tappevognen er signifikant redusert ved bruk av tilførsel av filtrert luft (Fig. 6 og Fig. 7). I tidsperioden som er angitt ved dobbeltpilen målte CNC kontinuerlig i kabinene. Reduksjonen i antall partikler var redusert mer enn 95% sammenliknet med konsentrasjonene utenfor førerhusene.

Konsentrasjonene på innsiden av kjøretøyene er meget lave unntatt når krankabinen utsettes for meget forurenset luft under anodeskift i Prebakehallen (perioder av 30-80 min i Fig. 6) eller når operatøren åpner kabindøren (topper i Fig. 7). Til sammenlikning er typiske gatekonsentrasjoner i sentrale byområder i øvre del av 10^4 -området, mens i en veitunnel er typiske konsentrasjoner opp mot 10^6 partikler per cm^3 .

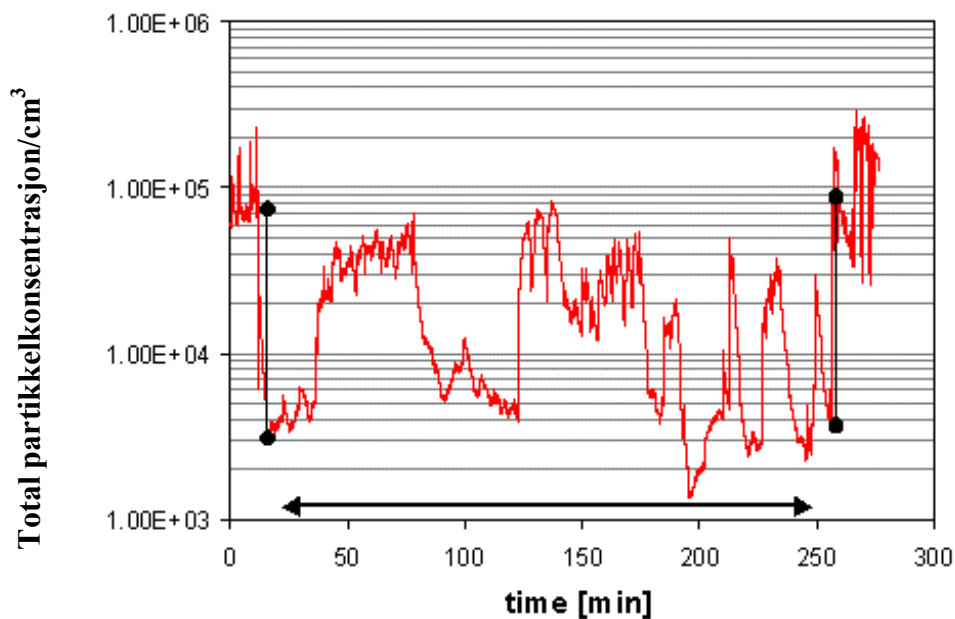


Fig. 6: Total partikkelkonsentrasjon på innsiden av en krankabin mens arbeid utføres over cellene i Prebakehallen.

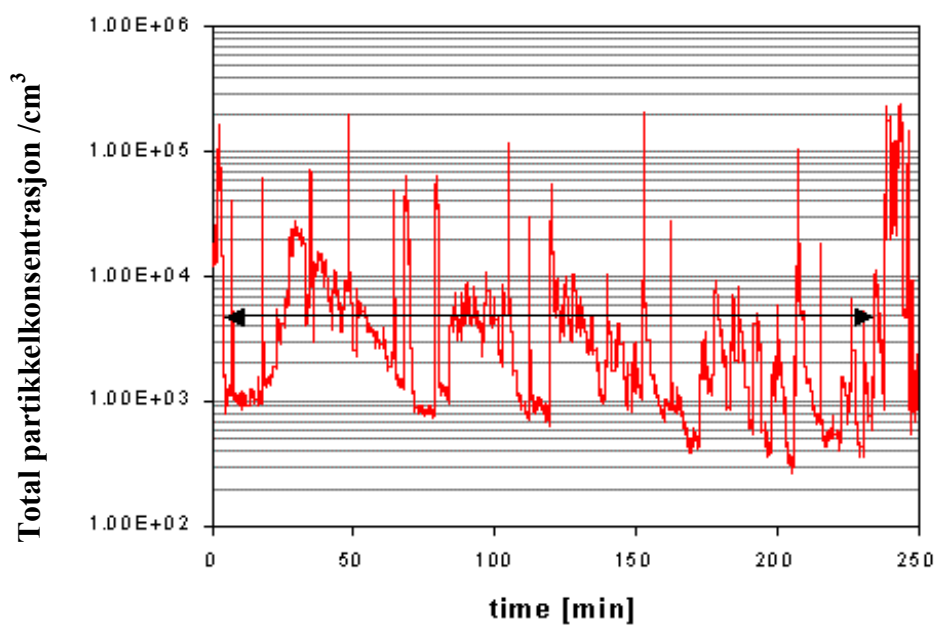


Fig. 7: Total partikkelkonsentrasjon inne i førerhuset til en boltetrekkervogn i Søderberghallen.

4.2 Mobilitet størrelsesfordeling

To langtidsmålinger ble utført i hall C seksjon 3 (Prebake) og i hall B seksjon 3 (Søderberg). Den forurensede luften ble prøvetatt i ca. 2 m høyde over gulvet og ført gjennom en 4 m lang plastslange til instrumentet. Prøvetakingsposisjonene var i passasjen mellom seksjonene 3 og 4 i Prebakehallen (se Fig.4 for Prebake). Disse målingene ble utført for å få kjennskap til gjennomsnittlige partikkelkonsentrasjoner i disse deler av hallene som vist i Tab.1.

Tab. 1: Gjennomsnittlige partikkelkonsentrasjoner og partikkelstørrelser i områder av Prebake og Søderberg

Område	Måleperiode	Partikkelkons. [partikler/cm ³]	Median størrelse [nm]	Mean størrelse [nm]
Prebake C3	03.12.02 12:46 - 04.12.02 07:16	26500	24,2	43,9
Søderberg B3	04.12.02 12:16 - 05.12.02 06:56	72970	35,1	48,7

Variabiliteten over tid for partikkelkonsentrasjonen og median mobilitetsdiameter er vist i figurene 8 og 9. Tredimensjonale diagram og konturskisser av mobilitet størrelsesfordelinger er vist i figurene 10 og 11.

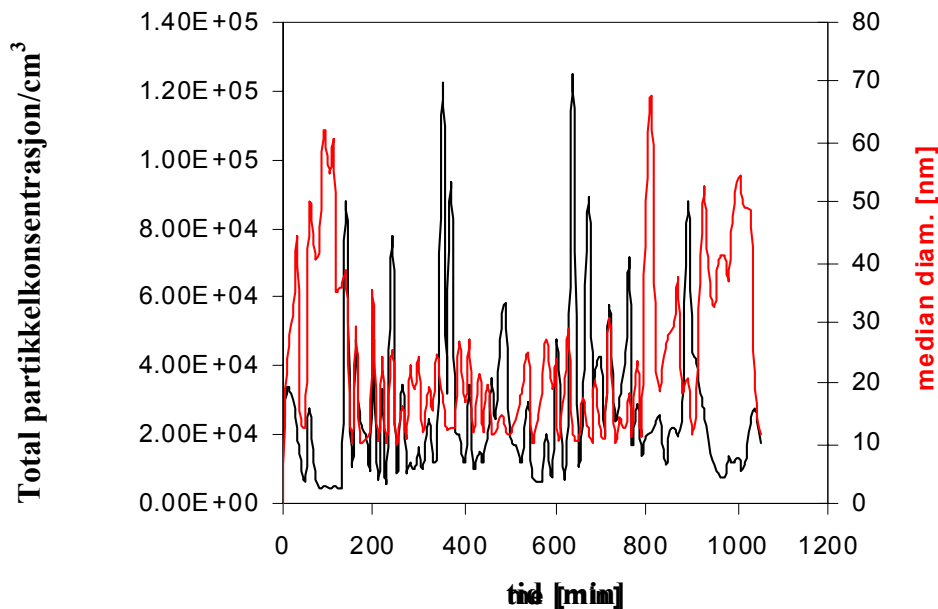


Fig. 8: Total partikkelkonsentrasjon og median diameter i områder av Prebakehallen.

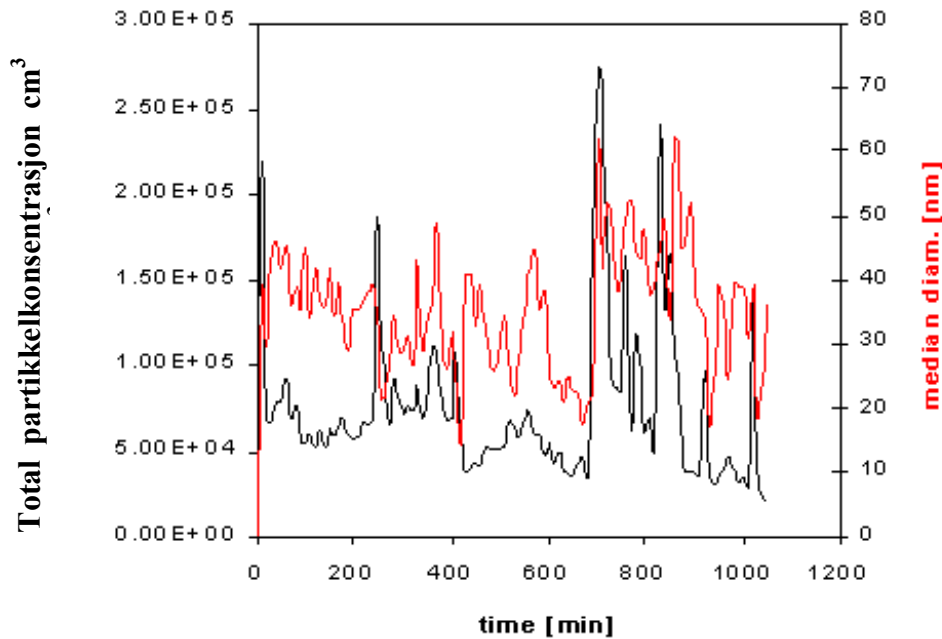


Fig. 9: Total partikkelkonsentrasjon og median diameter i områder av Søderberghallen.

I Prebakehallen er det meget tydelig at de forskjellige arbeidsaktivitetene i løpet av et skift påvirker partikkelkonsentrasjonen (fra $t=50$ til $t=900$ min). Maksimal konsentrasjoner forekom periodisk med lavere median partikkelstørrelse, noe som sannsynligvis er forårsaket av emisjon av nanopartikler fra cellene ved anodeskift og reparasjonsarbeid. Dataene tyder også på at det er en antikorrelasjon mellom total partikkelkonsentrasjon og median partikkeldiameter. Konsentrasjonsnivået i ventilasjonsluften (minimum konsentrasjon målt) var omtrent 10000 [partikler/cm³].

I Søderberghallen er forurensningsnivået høyere og partikkelstørrelsen er også i gjennomsnitt større. Det målte minimumsnivået på 50000 [partikler/cm³] er 5 ganger høyere enn i Prebakehallen, variabiliteten i forekomsten av nanopartikler er sjeldnere og hovedmengden av partiklene har en størrelse på rundt 50 nm mesteparten av tiden.

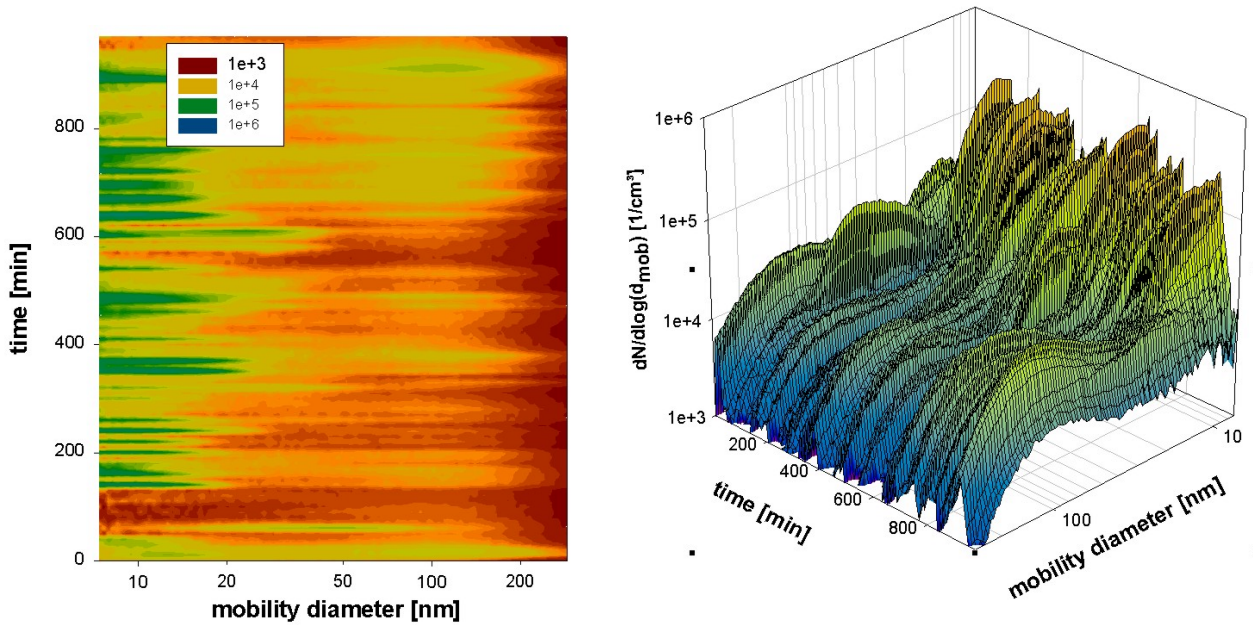


Fig. 10: 3-d og konturskisse av mobilitet størrelsesfordeling i Prebakehallen.

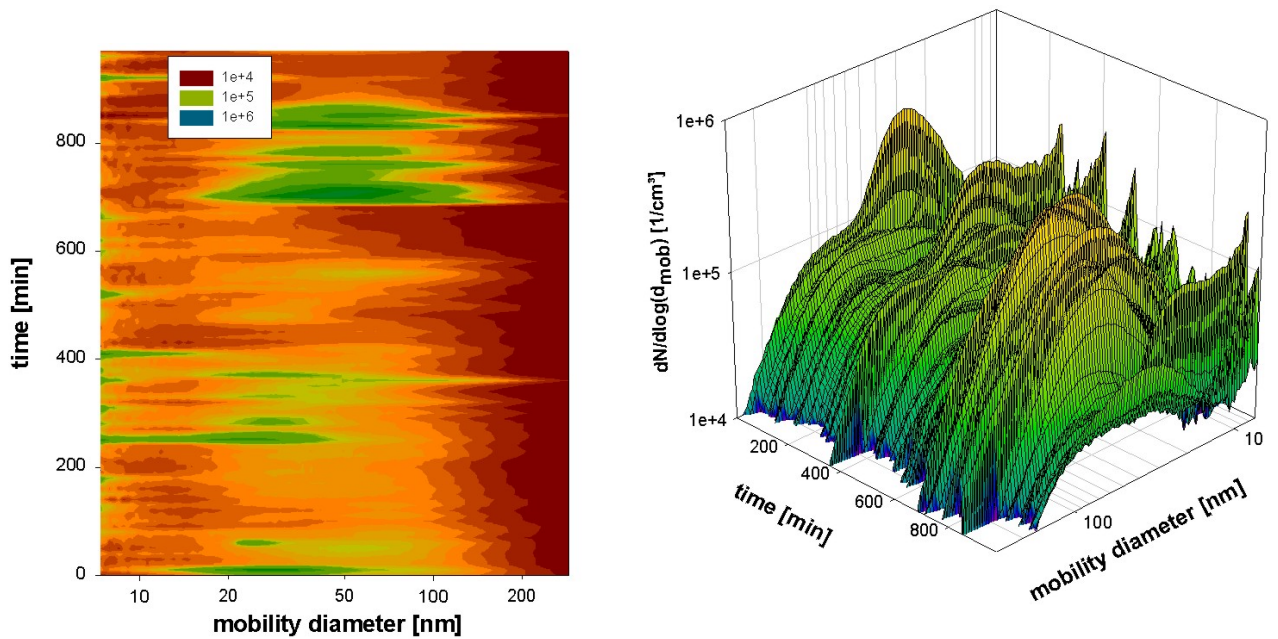


Fig. 11: 3-d og konturskisse av mobilitet størrelsesfordeling i Søderberghallen.

De spesifikke kildene for partiklene i de to hallene er åpenlyst forskjellige. I Prebakehallen er anodeskift en sannsynlig operasjon som fører til høye konsentrasjoner av nanopartikler. Arbeid i nærheten av cellene mens anodeskift pågår kan føre til høy eksponering for slike partikler. På grunn av eksperimentelle problemer kunne bare en en-times måling utføres hvor størrelsesfordelingen av partiklene i atmosfæren rundt de åpne cellene under anodeskift kunne bli monitert med SMPS. For å få utført disse målingene måtte vognen med instrumentet plasseres i passasjen mellom cellene og bakveggen og beveges fortløpende etter hvert som anodeskift ble utført for hver enkelt cellerad. Atmosfæren ble ført gjennom en 4 m lang plastslange som enten ble holdt i nærheten av de åpne cellene eller i innåndingssonen til anodeskiftoperatøren (se Fig. 12). På grunn av sterk konveksjon beveget hovedmengden av røyken fra områdene rundt anodene og/eller badet seg rett opp og var ikke tilgjengelig for partikkelstørrelsesbestemmelser.



Fig. 12: Prøvetaking ved anodeskift i Prebakehallen (Foto: P. A. Drabløs, Hydro Karmøy)

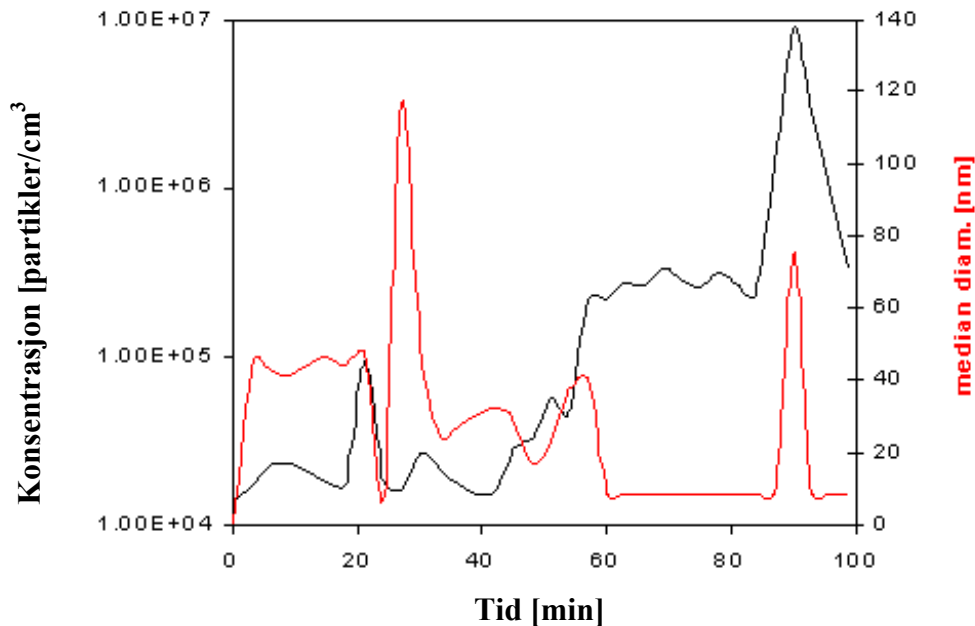


Fig. 13: Størrelsesfordelingsparametre under anodeskift start $t = 45$ min.

Figur 13 og 14 viser variabiliteten over tid for størrelsesfordelingsparametre mens målingene ble utført. Disse startet med monitoring av friskluften som ble tilført gjennom store åpninger i vegg bak celleraden. Den første cellen ble åpnet ca 30 min. etter at målingene ble igangsatt og kranfører startet å bryte skorpen (meisling – knusing). Anodeskiftet ble først fysisk utført etter $t = 45$ min og ble fortløpende utført på celleradene til $t = 98$ minutter. I løpet av denne tiden ble noen anoder på 6 cellerader byttet ut. Konsentrasjonen økte ca 10 ganger og median partikkelstørrelse ble redusert til verdier betydelig mindre enn 20 nm. Disse partiklene som ble emitert fra cellene var så små at de målte verdiene ble betydelig påvirket av bestemmelsesgrensen til kondensasjonstilleren på instrumentet (rundt 7 nm). Dette betyr at konsentrasjonen av mindre partikler ble underestimert på grunn av den reduserte telleeffektiviteten til detektoren.

Det er innlysende at aerosolen som emitteres fra elektrolysecellene er karakterisert ved en partikkelstørrelsesfordeling som har et maksimum under 10 nm, med høy forekomst av nanopartikler. Denne størrelsesfordelingen er ikke utypisk for kilder med høy temperatur eller hvor forbrenningsprosesser skjer. Konsentrasjonen i nærheten av cellene er i størrelsesorden 10^6 partikler/cm³. Etter at nanopartiklene har blitt dannet vil aerosolen eldes med påfølgende partikkelvekst. Dette forklarer differansen i midlere størrelsesfordeling mellom aerosolen like i nærheten av cellen og bakgrunnsnivået i Prebakehallen som vist i Fig. 15.

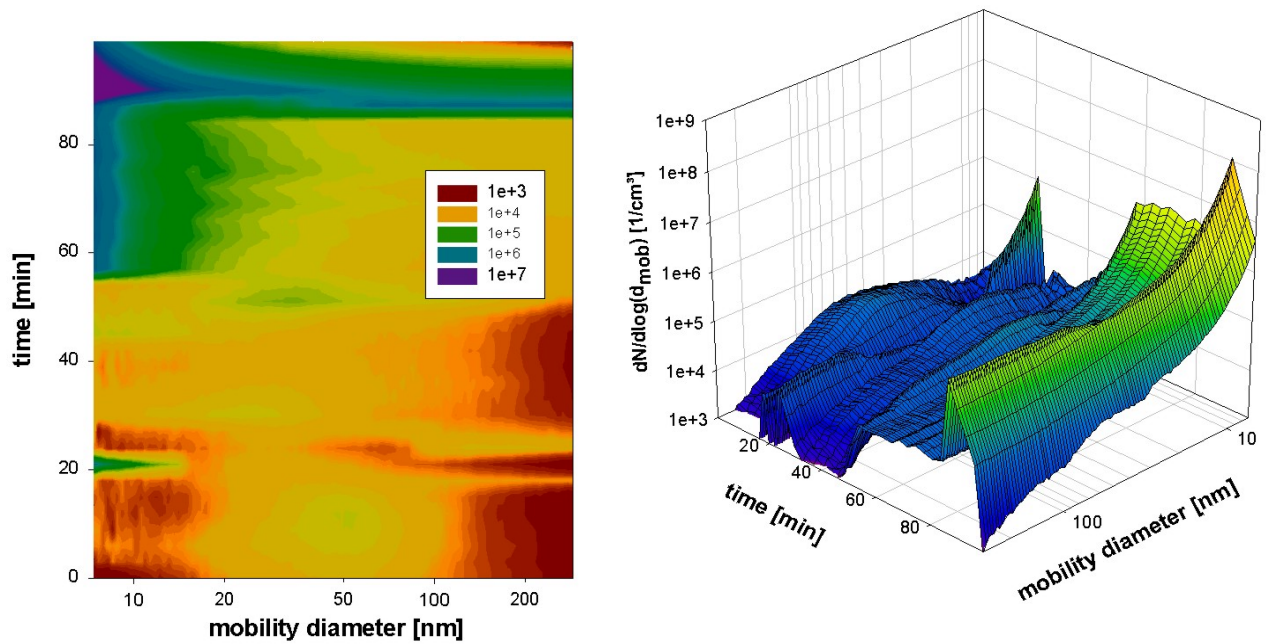


Fig. 14: 3-d og konturskisse av mobilitet størrelsesfordeling under anodeskift i Prebakehallen.

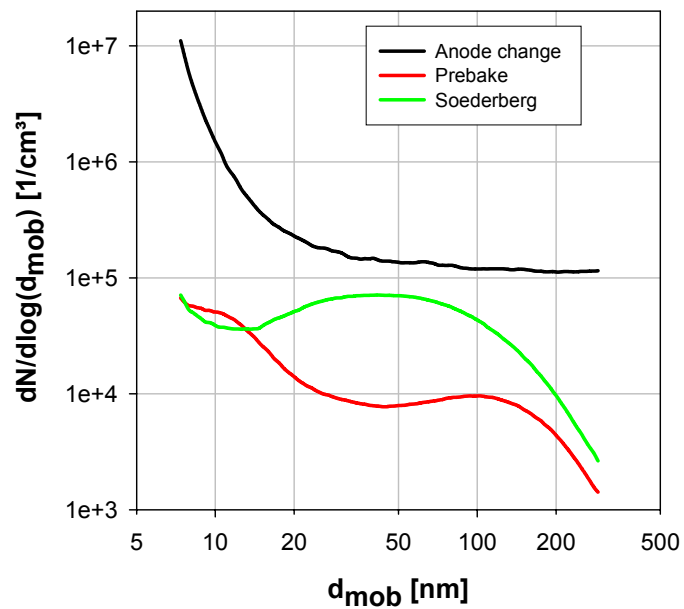


Fig. 15: Midlere størrelsesfordeling i Prebakehallen og Søderberghallen og under anodeskift i Prebakehallen.

4.3 Partikkelmorfologi

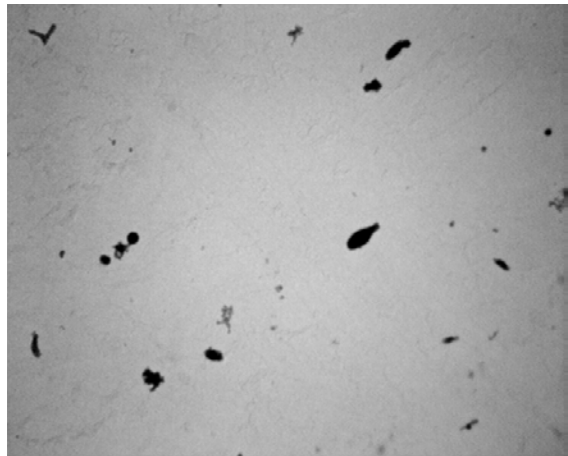
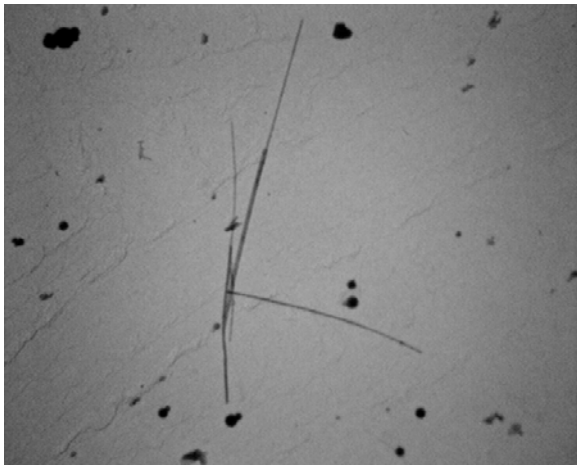
En potensiell uønsket helseeffekt av eksponering for små partikler er vanskelig å vurdere uten nærmere informasjon om morfologi og kjemisk sammensetning. I figurene 16 -18 er det vist eksempler på partikler med forskjellig morfologi i røyken fra cellene. Disse bildene viser at partiklene har blitt dannet under forskjellige betingelser.

Den generelle aerosolen som er prøvetatt i Prebake er karakterisert ved enkeltpartikler (karbon), agglomerater og i noe mindre grad små fibrer (se Fig. 16). Alle svarte partikler med sterk elektronabsorpsjon vist her er større enn 30 nm. Disse tilhører likevel til høyre del av størrelsesfordelingen (rød kurve i Fig. 15). Nanopartikler som indikert ved SMPS størrelsesfordeling (venstre topp) burde ha vært tilstede med et betydelig større antall enn større partikler. Imidlertid er disse partiklene meget sjeldne å finne i TEM bildene. Dette kan skyldes at de enten har en meget lav elektronabsorpsjon eller at de er sammensatt av forbindelser som er flyktige når de varmes opp til 180° i den termoforetiske prøvetakeren eller fordamper når de utsettes for lavt vakuum i TEM instrumentet.

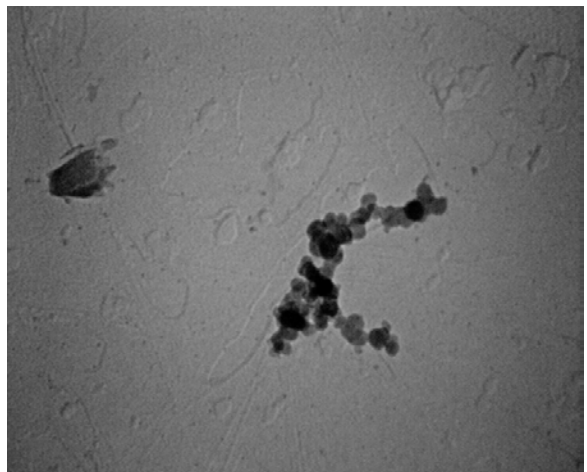
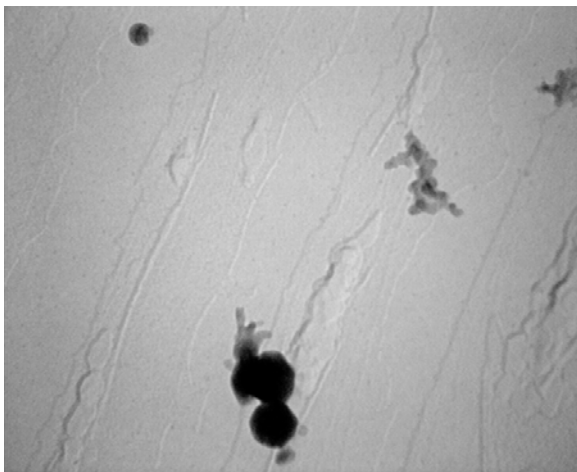
Ved nærmere studie av TEM bilder med høy forstørreling kan det være antydning til at noen grå punkter kan identifiseres som mulige fordampningsrester av slike nanopartikler.

Fig. 16: Elektronmikroskopibilder av partikler samlet inn under direkte langtids SMPS målinger 3-4/12-02. Størrelsesangivelsen for hver rad representerer bredden av bildet.

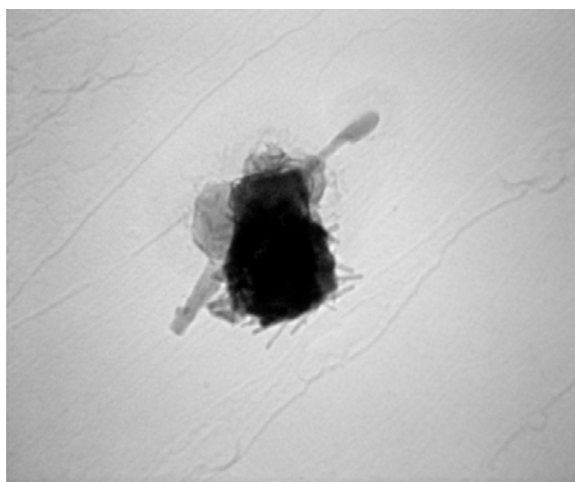
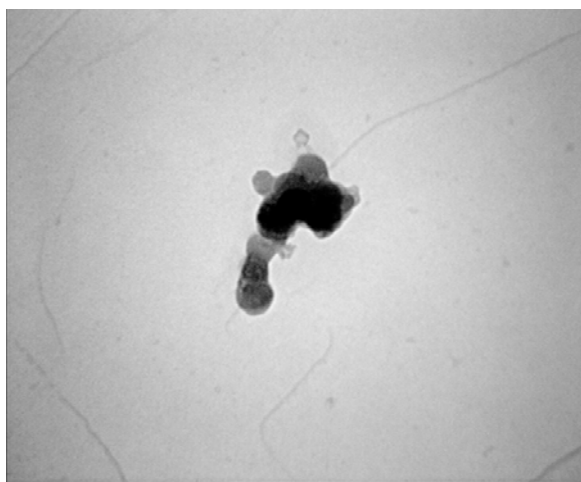
9 μm



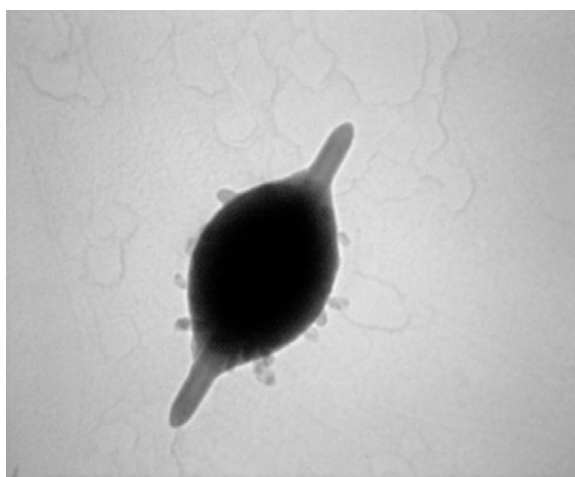
1,84 μm



1,47 μm



1,47 μm



0,37 μm

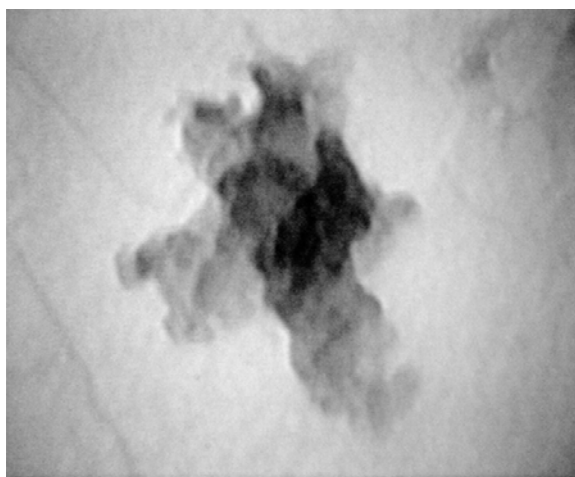
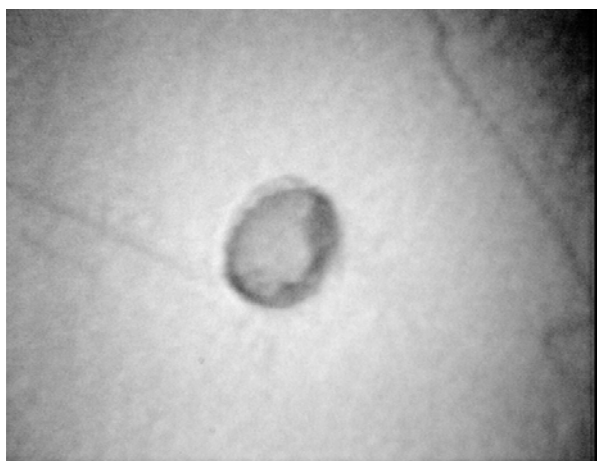
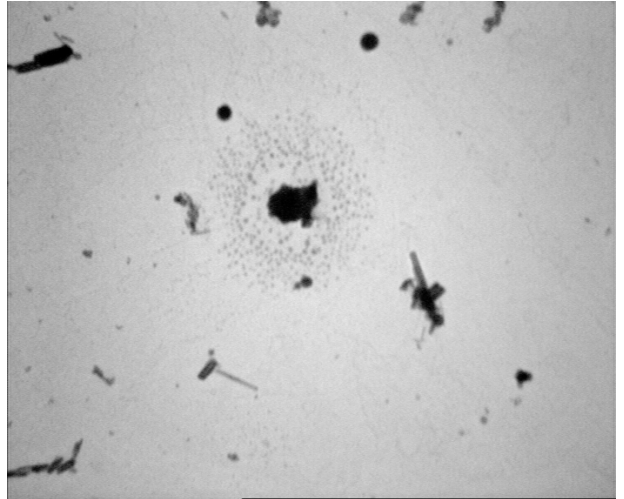
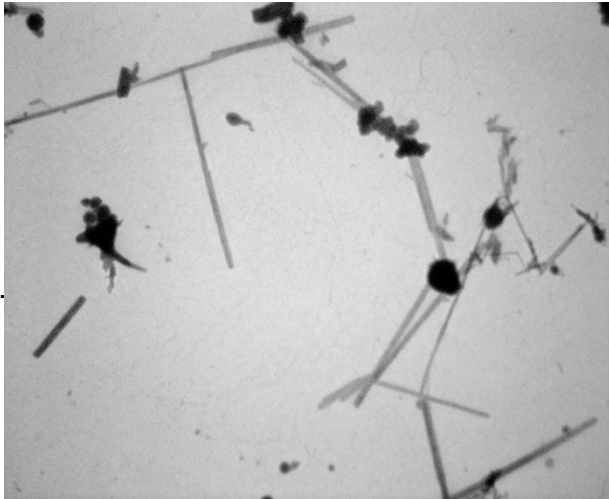
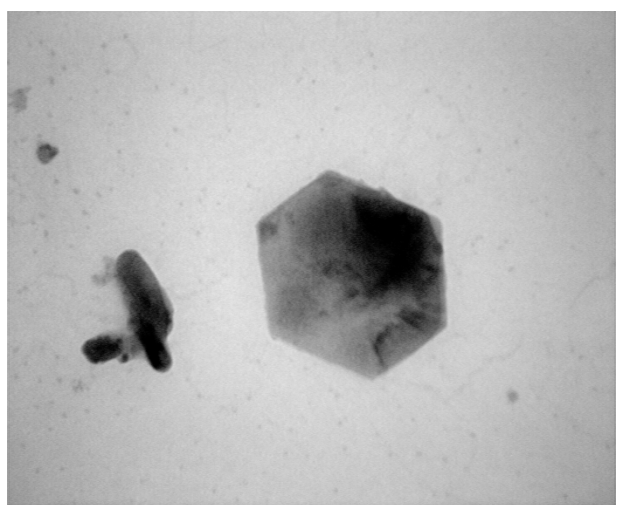


Fig. 17: Elektronmikroskopibilder av prøver tatt parallelt med langtids SMPS målinger 4-5/12-02 i Søderberghallen .

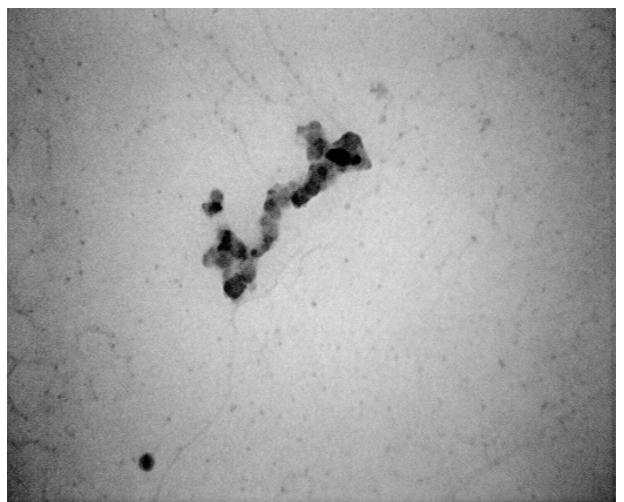
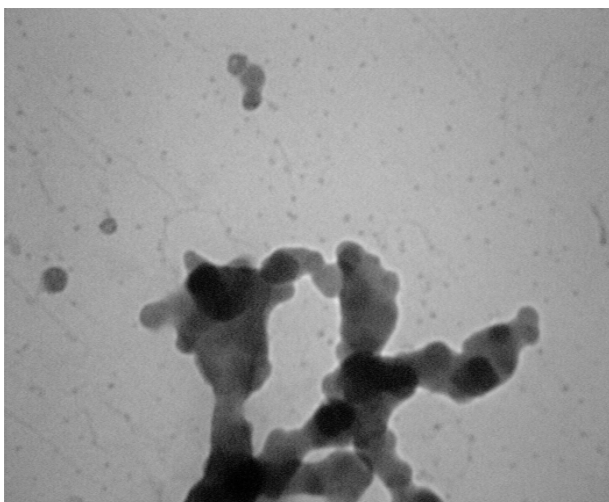
5,84 μm

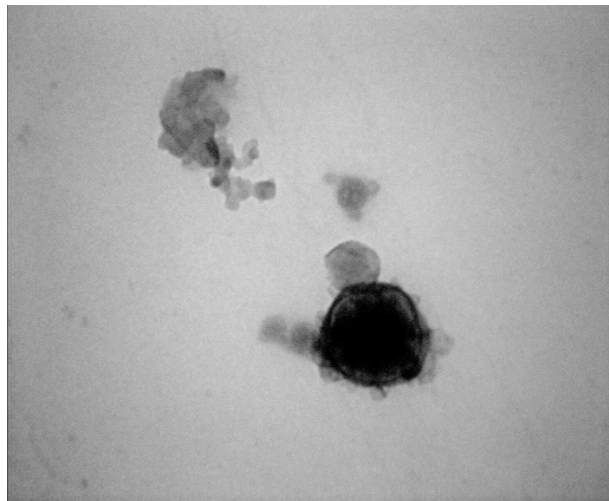
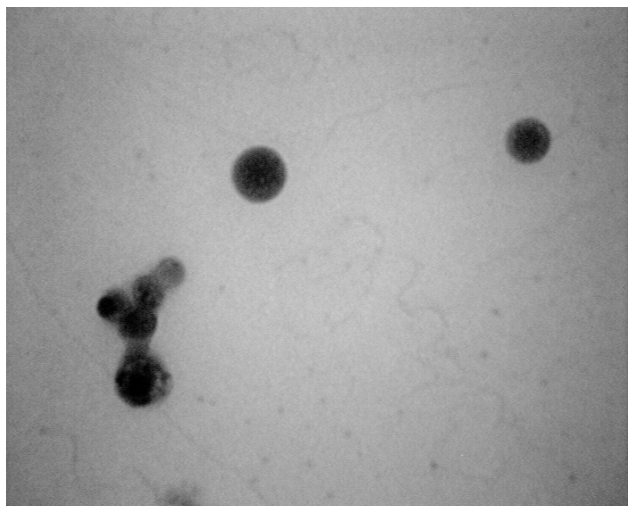


1,84 μm

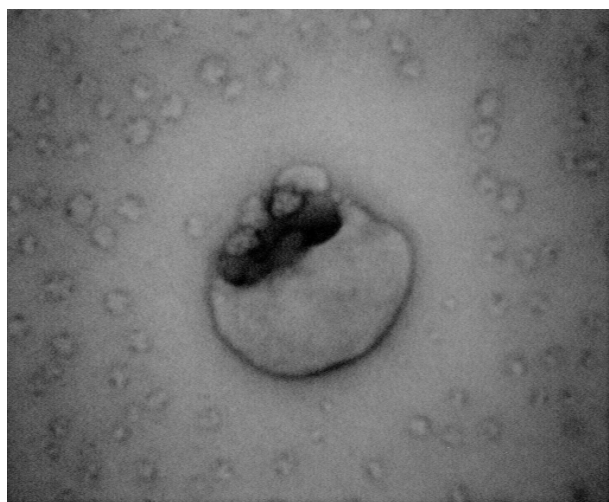
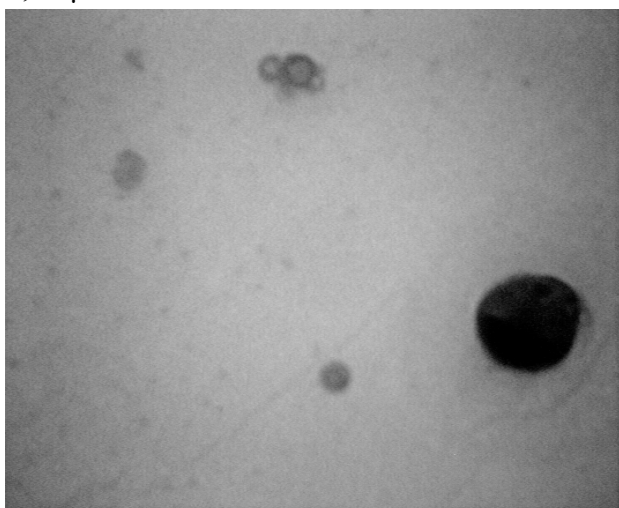


1,84 μm





0,74 μm



0,74 μm

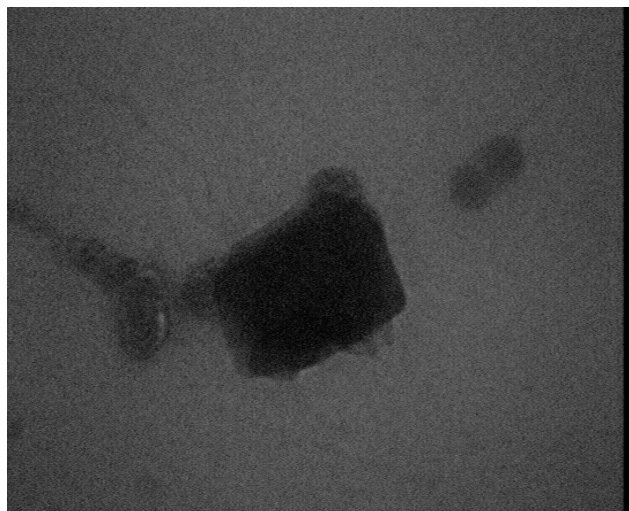
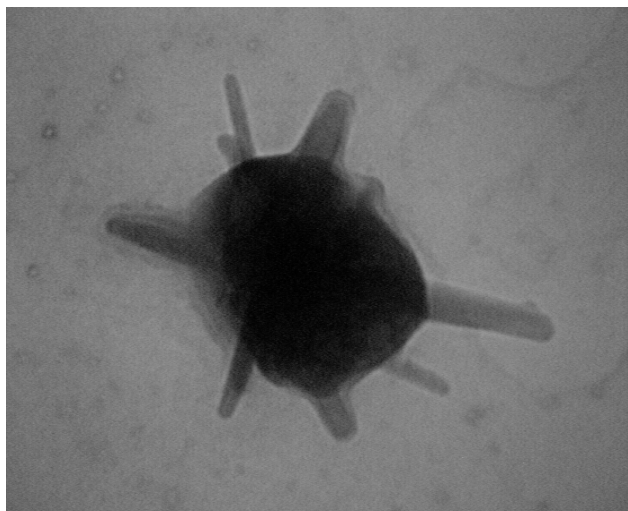
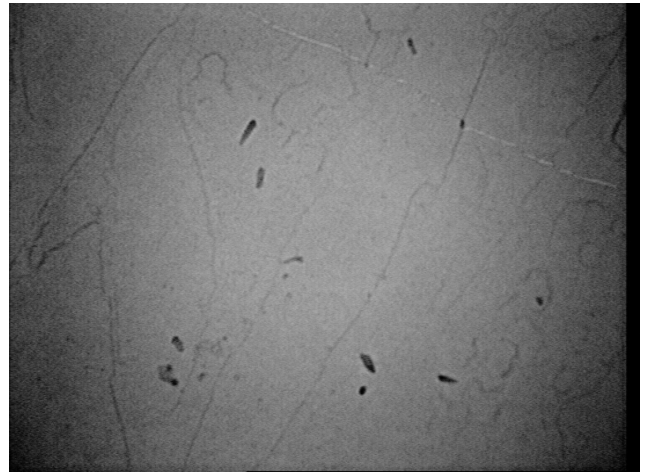
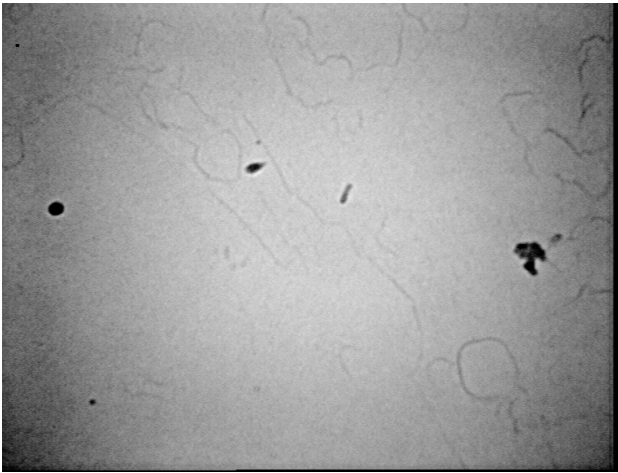
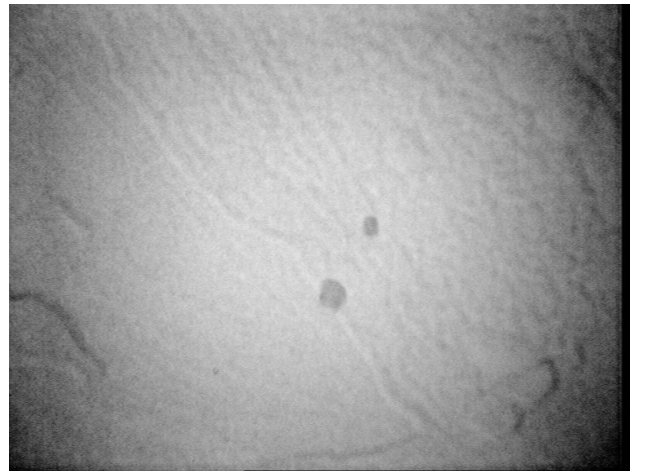
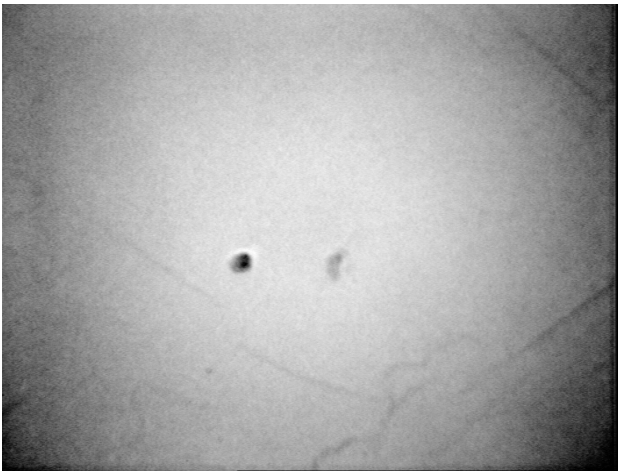


Fig. 18: Elektronmikroskopibilder av prøver tatt ved anodeskift i Prebakehallen.1,84 μm 0,74 μm 

Partikler prøvetatt i Søderberghallen viser en større variasjon i morfologi enn vist i Fig. 17. Fraksjonen av fibrer er høy (ca. 30 % av totalt antall). Disse er kjeder av agglomerater med “små” og “store” primære partikler, partikler som viser krystallinske transformasjoner, restrukturering og fordampning når de utsettes for elektronstrålen. Antallet av nanopartikler (ikke-flyktige) som kan identifiseres i TEM bildene er også få her sammenliknet med størrelsesfordelingen som er framkommet ved anvendelse av SMPS.

Dette er også tilfelle for prøvene tatt direkte ved kilden (Fig. 18). Selv om prøvetakingstiden her er 10 ganger korte, burde antallet partikler prøvetatt være sammenliknbart siden luftkonsentrasjoner er omlag ti ganger høyere.

Ytterligere informasjon er ikke tilgjengelig ved visuelt å undersøke partikkelmorfologien. En detaljert individuell partikkelanalyse ved hjelp av mikroanalytiske metoder er derfor nødvendig.

5 DISKUSJON

Denne undersøkelsen viser tilstedeværelsen av betydelige konsentrasjoner av nanopartikler i arbeidsatmosfæren i elektrolysehallene ved produksjon av primær aluminium. Hovedkilden til disse partiklene i Prebake er sannsynligvis anodeskiftoperasjonen. Nanopartiklene ble bestemt i nærheten av kilden men kunne også identifiseres i episoder med høye konsentrasjoner i den generelle atmosfæren i Prebakehallen. De framkomne data vedrørende partikkelstørrelsesfordeling og partikkelkonsentrasjoner er ikke tilstrekkelige for toksikologiske vurderinger av slike nanopartikler. Den kjemiske sammensetningen av disse partiklene må undersøkes nærmere. TEM studier i denne undersøkelsen viser ikke-konklusive resultater. I motsetning til partikler med størrelser i området 50-100 nm, kunne ikke de mindre nanopartiklene som utgjør det største antallet bli detektert i TEM. Dette indikerer at de enten ikke er termisk stabile ved prøvetaking eller i høyvakumdelen av TEM instrumentet.

Videre systematiske undersøkelser er en forutsetning for å kunne forstå egenskapene til disse nanopartiklene. Dette bør utføres ved anvendelse av Environmental Electron Microscopy for mikroanalytiske studier, prøvetaking av nanopartikler i en lavtrykk kaskadeimpaktor og total kjemisk analyse, direkte on-line bestemmelse av størrelsesfordeling hvor en termisk denuder er plassert i fronten av SMPS instrumentet for bestemmelse av størrelsesselektivt termogram for nanopartiklene.

For å kunne gjennomføre disse undersøkelsene må prøvetakingen utføres direkte i røyken fra cellene ved forskjellige høyder hvor aerosolen allerede har blitt avkjølt til temperaturer hvor konsentrasjonen likevel er høy nok til å kunne utføre de nødvendige on-line bestemmelser.