



Miljø- og
Fødevareministeriet
Miljøstyrelsen

**Udvikling af
elektrofilter til
reduktion af
røgemission fra
biomasseanlæg.
Projekt nr. MST 141-
00871**

MUDP-rapport

November 2018

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion: Erik Fløjgaard Kristensen. Institut for
Ingeniørvidenskab, Aarhus Universitet.

ISBN: 978-87-7038-011-9

Miljøstyrelsen offentliggør rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, som er finansieret af Miljøstyrelsen. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse.

Indhold

1	Forord	4
2	Sammendrag og konklusion	5
3	Indledning	7
4	Projektet omfang og forløb	8
5	Resultater	9
6.1	Litteratursøgning	9
6.2	Udvikling og konstruktion af elektrofiltre	13
6.3	Renseeffekt ved brug af elektrofiltrene	15
Bilag 1.	21	
Bilag 1.1	Konferencepaper præsenteret ved EUBCE 2016, Amsterdam. (<i>24th European Biomass Conference and Exhibition</i>)	21

1 Forord

I forbindelse med Miljøstyrelsens MUDP-program for udviklingsprojekter indenfor "Miljøeffektiv teknologi" under temaet *Renere luft* blev der november 2014 givet tilsagn om støtte til projektet *Udvikling af elektrofilter til reduktion af røgemission fra biomasseanlæg*. Ved fyring med biomasse, og i særlig grad ved halmfyring, indeholder røgen en stor mængde støvpartikler. For at kunne reducere denne støvemission var målet, at udvikle og teste elektrofiltre til mindre halm- og biomassefyr.

Projektet er gennemført i et samarbejde mellem Maskinfabrikken Reka A/S, Magnussen & Speiermann A/S og Aarhus Universitet, Institut for Ingeniørvidenskab, Forskningscenter Foulum. Til projektet har været tilknyttet en følgegruppe med deltager fra Miljøstyrelsen samt projektpartnerne. Projektet blev afsluttet maj 2018.

Erik Fløjgaard Kristensen, Institut for Ingeniørvidenskab
Forskningscenter Foulum, 2018

2 Sammen drag og konklusion

Projektets formål har været at udvikle en effektiv og økonomisk rentabel løsning til røgrensning for små biobrændselsanlæg. Konkret har målet været at udvikle et driftssikkert elektrofilter beregnet for mindre halm- og træpille fyr.

Ved forbrænding af biomasse, og i særlig grad halm, emitteres store mængder af meget finkornet støv fra skorstenen. Støvet er så finkornet, at det ikke kan udskilles med en cyklon. Ved store halmfyrede anlæg benyttes traditionelt posefiltere til at rense røgen for støv. Ved mindre halmfyrede kedler er der i Danmark p.t. ingen grænseværdier for støvemission fra fyr i landzone, men det forventes at den fælles europæiske standard EN 303-5 også skal implementeres for mindre kedler i Danmark. Grænseværdien for støvemission vil herefter være 40 og 60 mg støv pr. normal-m³ røggas for henholdsvis automatisk fyrede og portionsfyrede kedler. Med traditionel teknik kan denne grænseværdi kun overholdes, hvis der benyttes et posefilter. I dette projekt er udviklet et røggasfilter til mindre træpille- og halmkedler baseret på elektrofilter princippet. Der er udviklet 3 forskellige størrelser af basisfiltere tilpasset brændselstype og kedelydelse i intervallet fra 4 kW op til 200 kW. Filterne er relativt enkelt opbygget, og har et lavt tryktab og dermed et lavt energiforbrug.

Projektet har været opdelt i 4 arbejdsopgaver. Arbejdsopgave 1 var en litteraturscreening og forberedende udviklingsarbejde. Arbejdsopgaven er afsluttet med en delrapport med resultaterne af litteraturstudiet. Arbejdsopgave 2 har været design af forskellige prototypefiltere samt valg af teknologi og system for opbygning af strømforsyning og styringsautomatik. I arbejdsopgave 3 er der gennemført målinger, optimeringer og dokumentation af filternes egenskaber ved fyring med træbrændsler og halm. Arbejdsopgave 4 har været langtidstest med dokumentation af de færdige prototypefiltere, herunder akkrediterede målinger af virkningsgrad. De akkrediterede test er ikke afsluttede, men påbegyndt hos Teknologisk Institut.

De udviklede elektrofiltere er alle konstruerede med cirkulære roterende opsamlingsplader, hvor de opsamlede støvpartikler fjernes med tynde skraber, som har anlæg mod de roterende skiver. Til rensning af såvel udladertråde som øvrige kritiske dele af filterhuset anvendes trykluft og chockblaster. Antal og størrelse af opsamlingsplader, samt afstande mellem plader og afstande mellem udladertråde er optimeret i forhold til forskellige kedelstørrelser således, at der er et basisfilter til henholdsvis 4 - 20 kW, 20 - 80 kW og 80 - 200 kW kedelydelse. De to mindste størrelser er udelukkende til anlæg som anvender træbrændsler, mens den største model er udviklet til også at kunne rense røg fra halmfyr.

Litteraturscreeningen viste, at der tidligere er gennemført en række forsøg og undersøgelser med elektrofiltere til små brændeovne og træpillefyr. Det fremgår af litteraturen, at det er muligt at rense røg fra de små biomassekedler fyret med træbrænde, flis og piller, i forholdsvist enkelt opbyggede elektrofiltere. Der kan opnås gode resultater i rørfiltere bestående af et enkeltrør eller flere parallelt koblede rør alt afhængig af belastning og krav til renseseffekt. Der findes dog stadig ikke nogen færdigudviklet og markedsklar teknologi. Der er et generelt problem med at rense elektroderne for støv. Støvelægningerne som opbygges under driften skal fjernes, for at opretholde filterets renseseffektivitet. Hertil savnes automatisk fungerende tekniske løsninger. Ligeledes er der behov for optimering og tilpasning af strøm og spændingsforsyning samt styringsautomatik i forhold til de aktuelle driftsbetingelser. Med hensyn til halm, som giver meget emission bestående af meget finkornet støv med høj resistivitet, er der kun i meget begrænset omfang fundet litteratur, som beskriver rensning af røg i elektrofiltere ved fyring i de helt små kedler.

Specielt for de helt små anlæg har der været fokus på at udvikle et enkelt og prisbilligt elektrofilter. På baggrund af forsøg og den indhentede viden fra litteraturen blev den helt simple løsning med et rør med en center monteret udladertråd dog fravalgt. Til små træpille kedler med en ydelse på 4 – 20 kW er der udviklet et filter med 3 roterende opsamlingsplader svarende til 2 røgkanaler. Diameteren på skiverne er kun 250 mm. For at gøre anlægget så enkelt og billigt som muligt, er der valgt en styringsautomatik uden løbende regulering af den tilførte spænding. Målinger af renseseffekten ved en filterspænding på 16 kV viste en renseseffekt på 85 procent ved fyring med træ-

piller når kedelydelsen er 10 kW. Støvemission efter filtret blev målt til 5 mg støv pr. normal-m³ røg. Den tilførte effekt til filtrets højspændingsforsyning er her kun ca. 10 W.

Til pille og træfliskedler i ydelsesintervallet 20 – 80 kW er der udviklet et elektrofilter med 5 roterende opsamlersplader svarende til 4 røgkanaler. Diameteren på skiverne er 600 mm. Med henblik på at sikre maksimal renseeffekt er valget en styringsautomatik, som sikrer at filterspændingen er så høj som mulig uden for mange overslag. Ved et overslag lukkes ned for spænding og strøm, hvorefter styringen automatisk gradvist øger spænding og strømstyrke til det maksimale niveau. I styringsautomatikken er inkluderet en opstarts fase til start med koldt filter. Ved en kedel ydelse på 40 kW viste målinger en renseeffekt på over 97 procent både ved fyring med træpiller og halmpiller. Støvemission efter filtret blev målt til 2 og 16 mg støv pr. normal-m³ røg for henholdsvis træpiller og halmpiller. Ved rensning af røg fra fyring med træflis var filtret tilkoblet en større kedel, og ved en kedelydelse på 180 kW er der opnået en renseeffektivitet på 91 procent. Partikelindholdet i den rensede røggas er målt til 33 mg pr normal-m³ og således under den forventede grænseværdi på 40 mg pr normal-m³.

Til halm og træbrændselskedler i ydelsesintervallet 80 – 200 kW er der udviklet et elektrofilteret er med 6 roterende opsamlerskiver svarende til 5 røgkanaler. Diameteren på skiverne er 900 mm. Styringsautomatik er ligeledes her programmeret således, at den tilførte spænding og strøm reguleres og optimeres i forhold til overslag. Automatikken sikrer at der arbejdes med maksimale filterspænding og dermed højst mulig rensning. Der er gennemført forsøg og målinger ved rensning af røg fra fyring med hvedehalmballer i en portionsfyret kedel. Ved en kedel ydelse på 150 kW vist målinger en renseeffekt på over 93 procent ved fyring med halm. Støvemissionen i røgen efter filtret blev målt til 18 mg støv pr. normal-m³. Støvemissionen fra fyring med træbrændsler er væsentlig lavere end ved halmfyring, hvorfor filtret også vil være fuld tilstrækkelig til anlæg med træfyring. Fyres udelukkende med træbrændsler viste målinger som tidligere nævnt, at det mindre filter udviklet til 20 - 80 kW anlæg kan sikre en tilstrækkelig rensning af røgen ved en kedelydelse på 180 kW.

3 Indledning

Ved forbrænding af halm og andre biomasser emitteres der normalt store mængder støv fra skorstenen. Støvet består hovedsageligt af alkaliske salte, der er fordampet fra forbrændingszonen og efterfølgende kondenseret til et meget finkornet støv i kedlens konvektionsdel. Støvpartiklerne er i størrelsesordenen 1 μ , hvilket betyder, at de ikke kan udskilles i en multicyklon. Partiklerne kan udskilles i et posefilter, men posefiltre er forholdsvis dyre både at anskaffe og vedligeholde. Elektrofilter teknologien er kendt og meget anvendt til rensning af røg fra større værker. Traditionelle elektrofiltre har imidlertid vist sig uegnede til halmfyrede værker. Det skyldes, at halmforbrænding giver anledning til meget stor emission af støv der som nævnt består af relativ små partikler, og at støvet her har en meget høj resistivitet. Der fandtes således ikke et effektivt og prisbilligt røgfilter, som var egnet til rensning af røg fra små biomassefyrede kedler.

Ved Danmarks JordbrugsForskning (nu Aarhus Universitet, Foulum) blev der i 1998-99 i samarbejde med Maskinfabrikken REKA A/S udviklet et prototype elektrofilter beregnet til en 100 kW halmkedel. Elektrofilteret kunne udskille ca. 97 procent af støvet i røg fra halmfyr og ca. 99 procent af støvet i røg fra flisfyr. Baggrunden for dette udviklingsprojekt var en forventning om, at de danske grænseværdier for støvindhold i røg fra mindre halmfyr indenfor en kort tidshorisont ville tilpasse sig grænseværdierne i standard EN 303-5, hvilket ville betyde, at alle nye halmfyr skulle udstyres med et røgfilter. Det skete imidlertid ikke på daværende tidspunkt, hvorfor der ikke var økonomisk basis for at færdigudvikle og produktmodne elektrofilteret.

I det nye udkast til "Brændeovnsbekendtgørelse" for 2013 blev der lagt op til en grænseværdi på 60 mg støv pr. m^3 røg for mindre halmfyr, hvilket betyder, at der med stor sandsynlighed vil blive efterspørgsel på effektive og driftssikre støvfiltre til disse kedler. Målt urensset lige efter kedlen udledes i dag op til 800-1000 mg støv pr. m^3 røg. I en række andre europæiske lande er der tilsvarende høje krav vedrørende støvemission, således at der også på eksportmarkedet er efterspørgsel efter tekniske løsninger. Det gælder f.eks. både de store engelske og tyske markeder. Derfor er det nu i høj grad aktuelt at udvikle et elektrofilter, som kan imødekomme markedets efterspørgsel efter effektive og økonomisk bæredygtige løsninger.

Med henblik på at finde en løsning for anlæg på 200 kW – 1 MW bevilgede Energistyrelsen gennem EUDP program 2014 støtte til et elektrofilter udviklingsprojekt. Projektet er gennemført af Maskinfabrikken Reka A/S, Aarhus Universitet, Institut for Ingeniørvidenskab og Magnussen & Speiermann A/S.

Der var imidlertid også behov for at finde løsninger for anlæg med en effekt mindre end 200 kW. Behovet er aktualiseret af nye skærpede miljøkrav, hvor der eksempelvis fra tysk side allerede fra 1. januar 2015 krævedes at støv emissionen fra kedler på 4 – 500 kW skal være mindre end 20 mg pr. m^3 røg. Med støtte fra Miljøstyrelsens MUDP program for udviklingsprojekter indenfor "Miljøeffektiv teknologi" blev der derfor iværksat nærværende projekt, hvor der er fokuseret på at udvikle elektrofilterløsninger for biomassefyrede kedler på under 200 kW. Projektet er gennemført af Maskinfabrikken Reka A/S, Aarhus Universitet, Institut for Ingeniørvidenskab og Magnussen & Speiermann A/S.

4 Projektet omfang og forløb

Projektet har fokuseret på at opbygge ny teknisk viden, således at grundlæggende kendt elektrofilterteknologi kan finde praktisk anvendelse til konstruktion af røgrensningsfiltre til små halm- og træfyrede biomasseanlæg. Målet har været at udvikle og teste filtre klar til markedsføring på det danske og europæiske marked.

Projektet har været opdelt i en række delprojekter eller arbejdsopgaver, som alle har bidraget til at sikre et effektivt og driftssikkert elektrofilter til mindre biomassefyr. Desuden har arbejdet bidraget til, at der hos alle projektpartnere er opbygget ny brugbar viden.

Projektet arbejdsopgaver var:

1. Vidensopbygning og litteratursøgning
2. Design af prototype filtre til små biomassefyr
3. Fremstilling af prototyper til målinger og dokumentation
4. Langtidstest af driftssikkerhed og energiforbrug

I første del af projektet er undersøgt hvad der allerede er på markedet af simple elektrofiltre til mindre biobrændselskedler / brændeovne, og der er søgt fremskaffet dokumentation for virkningsgraden for disse filtre ved forskellige kedelstørrelser og forskellige brændsler.

Ud fra disse undersøgelser blev det besluttet hvilket rensningsprincip der skulle sættes på, herunder specifikt om der kunne benyttes et simpelt princip til de helt små træpillekedler på 10 kW eller derunder.

På baggrund af projektpartneres eksisterede viden, litteraturstudie, indledende undersøgelser og eksperimenter blev der konstrueret prototyper i forskellig størrelse, svarende til ydelsesniveauer på henholdsvis 4 - 20 kW, 20 - 80 kW samt 80 - 200 kW. De to mindste størrelser er udviklet til udelukkende at kunne benyttes ved fyring med træbrændsler, mens den største model er udviklet til også at kunne rense røg fra halmfyr.

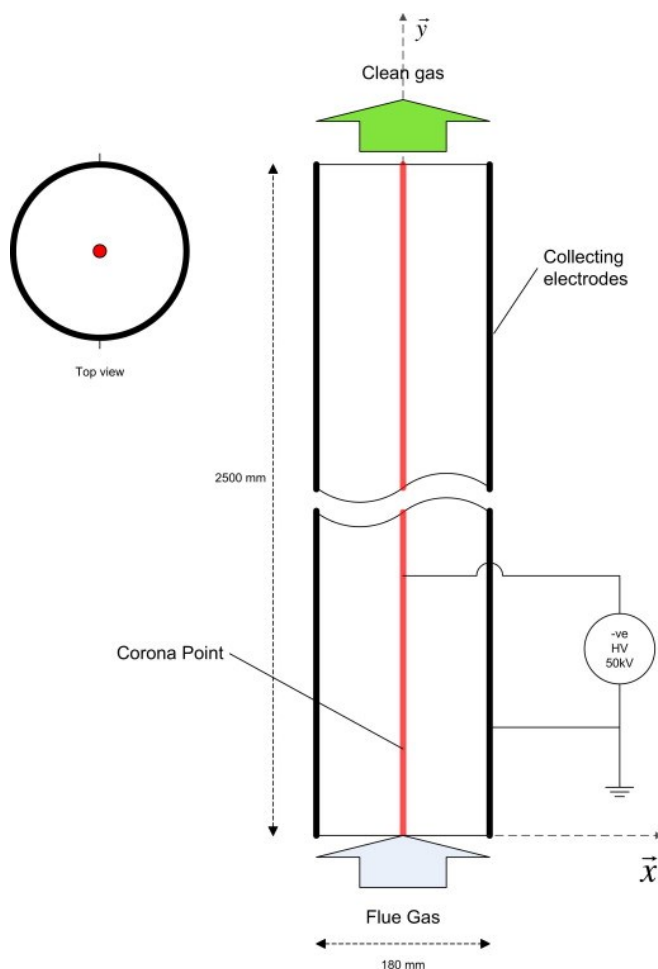
De færdigudviklede prototyper er testet med måling af virkningsgrad ved den kedelydelse, som hver model er beregnet til.

5 Resultater

6.1 Litteratursøgning

Fyring med biomasse i mindre fyringsanlæg giver en forholdsvis høj koncentration af partikelemission. Litteraturgennemgangen viser, at de fleste af partiklerne ved fyring med træ, træflis og træpiller kan filtreres gennem et forholdsvis enkelt opbygget elektrofilter. Der er kun i meget begrænset omfang fundet litteratur, som beskriver rensning af røg i elektrofilter ved fyring med halm og halmpiller i de helt små kedler.

Filtrene som anvendes til eller har været undersøgt i forsknings- og udviklingsprojekter, hvor fokus er på små anlæg indtil ca. 100 kW, består i langt de fleste tilfælde af en central elektrode som påføres en højspænding, i de fleste tilfælde negativ, på indtil 50 kV og en ydre elektrode/rør med en diameter på 120-180 mm med jordpotentialle. Figur 1 viser et eksempel på en typisk opbygning af et elektrofilter til en mindre biomassefyret kedel. Med henblik på at opnå en forbedret effekt er der i flere tilfælde udført forsøg med filtre med flere parallelle enkelt rør-filtre.



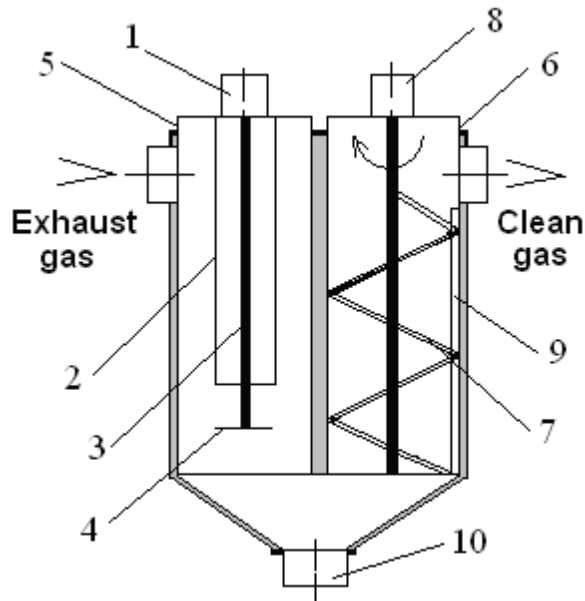
Figur 1. Skematisk tegning af et elektrofilter af rørtypen til et mindre biomassefyret anlæg.

De parametre der har været fokus på i forbindelse med filtrenes driftsegenskaber herunder renseseffekt er partikelstørrelse, støvets resistivitet, temperatur, tryk, gas strømningshastighed, type af udladerelektrode, den påtrykte spænding og strøm (Jeřudusik og Świerczok.2009 & White. 1963). Der er vist teoretiske beregninger af opladning

af partikler, partikelhastighed, partikelbaner mm., som er søgt verificeret ved målinger på forsøgsfiltre monteret i forbindelse med forskellige størrelser af ovne fyret med træ.

Resultater fra de undersøgte anlæg viser renseseffekter fra 60 til 99 procent (Schleicher. 2011 & Poskas et al. 2014 & Schmatloch og Rauch. 2005). I flere af artiklerne nævnes problemer med støvbelægninger og renholdelse. Der er behov for en mekanisme til at fjerne sod og støv fra specielt den ydre elektrode. Det anføres, at typiske industrielle systemer omfatter et hammersystem, men til de små rørfiltre vil der være behov for at udvikle et alternativt system til rensning (Dastoori, K et al. 2011 & Fischer, T et al. 2014).

Der er introduceret forskellige løsninger til alternative rensesystemer. Bologna et al. 2011 beskriver et elektrofilter med dobbeltrør hvor opladningen sker i det første rør, mens opsamlingen af støv primært sker i det sidste rør. Dette opsamlerrør holdes så rent med en roterende børste, figur 2 og 3.



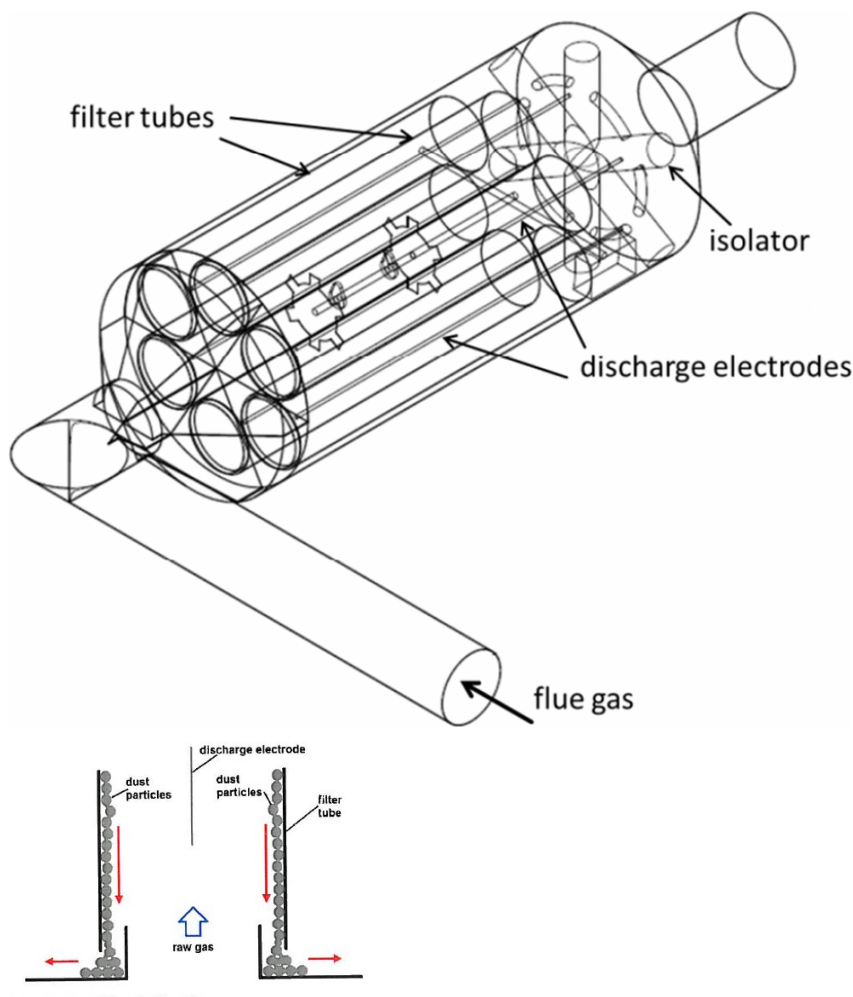
Figur 2. Skematisk opbygning af filter, 1- højspænding isolator, 2 - skjærmet jordet elektrode, 3 - HV elektrode, 4 - corona udlader elektrode, 5 - jordet rør, 6 - jordet opsamlerrør, 7 - roterende rensbørste, 8 - motor, 9 - plade, 10 - askeboks



Figur 3. Rensbørste og opsamlerrør efter rensning.

Under stabile driftsforhold ved fyring med træpiller var renseseffekten i gennemsnit 87%. (Partikelindholdet i rågassen var 30-40 mg/Nm³, spænding 16-18 kV og strømstyrken ca. 1 mA).

Et andet lovende anlæg hvor der er introduceret et rensesystem beskrives af Fischer, T et al. 2014, figur 4.



Figur 4. Designtegning som viser hovedkomponenter af elektrofilter med 6 parallel enkelt-rør (Fischer, T et al. 2014)

I dette anlæg sker rensningen af elektroderne automatisk. En vibratormotor overfører vibrationer til filterhus og filterrør, således at de opsamlede støvpartikler falder ned langs rørvæggen. Ioniseringsspændingen reduceres under rensningen, så støvlaget kan falde ned, men fortsat holdes ind mod rørvæggen og tømmes ud ved bunden (detalje tegning figur 4).

Filtrets renseseffekt er målt under forskellige forhold og med forskellige opladerspændinger. Ved fyring med træpiller er der opnået en renseseffekt på over 95% ved 18 kV spænding og en effekt på 35 W. Det var muligt at forbedre renseseffekten til 99%, men det krævede en firedobling af effekten. Det konkluderes at der er behov for flere undersøgelser for at finde den bedste strømforsyning og det optimale styringsset-up.

Konklusion

Det er muligt at rense røg fra små biomassekedler fyret med træ, -brænde, flis og piller, i forholdsvist enkelt opbyggede elektrofilter. Der kan opnås gode resultater i rørfiltre bestående af et enkelt-rør eller flere parallelt koblede rør alt afhængig af belastning og krav om renseseffekt. Det er dog ikke nogen færdigudviklet teknologi. Der er et generelt problem med at rense elektroderne for støv. Støvelægningerne som opbygges under driften skal fjernes, for at opretholde filtrets renseseffektivitet. Hertil savnes automatisk fungerende tekniske løsninger. Ligeledes er der behov for optimering og tilpasning af strøm og spændingsforsyning samt styringsautomatik i forhold til aktuelle driftsbetingelser.

Med hensyn til halm, som giver meget emission bestående af meget finkornet støv med høj resistivitet, er der kun i meget begrænset omfang fundet litteratur, som beskriver rensning af røg i elektrofilter ved fyring i de helt små kedler. Der må her forventes større udfordringer i opbygning af et effektivt og driftssikkert elektrofilter.

Referencer

- White, H. J. 1963. *Industrial Electrostatic Precipitation*. Addison-Wesley Publishing company, Inc. Pergamon Press.
- Fischer, T., Graß, N., Zouzou, N., Dascalescu, I., Greil, R., Hopf, N. 2014. *Smart Home Precipitator for Biomass Furnaces: Design Considerations on a Small-Scale Electrostatic Precipitator*. *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 50, no.3.
- Poskas, R., Sirvydas, A., Jankauskas, J. 2014. *Investigation of the removal efficiency of an ESP in a residential biomass boiler*. *Recent Advances in Environmental Science and Biomedicine*
- Bologa, A. ; Paur, HR; Woletz, K. 2011. *Development and study of an electrostatic precipitator for small scale wood combustion*. *International Journal of Plasma Environmental Science and Technology*, 5 no. 2
- Jaworek, A., Krupa, A., Czech, T. 2007. *Modern electrostatic devices and methods for exhaust gas cleaning: A brief review*. *Journal of Electrostatics*
- Navarrete, B., Vilches, L.F., Rodriguez-Galan, M., Alonso-Fariñas, B., Cañadas, L. 2014. *A pilot scale study of the rapping reentrainment and fouling in electrostatic precipitation*. *Environmental Progress & Sustainable Energy* 34.1
- Dastoori, K., Kolhe, M., Mallard, C., Makin, B. 2011. *Electrostatic precipitation in a small scale wood combustion furnace*. *Journal of Electrostatics*, 69(5), 466-472.
- Schmatloch, V., Rauch, S. 2005. *Design and characterisation of an electrostatic precipitator for small heating appliances*. *Journal of electrostatics*, 63(2), 85-100.
- Niemel, Janne-Petteri, 2009. *Modeling of Particle Trajectories in an Electrostatic Precipitator (ESP) for Small-Scale Wood Combustion*, Master's Thesis, University of Jyväskylä
- Schleicher, O. 2011. *Evaluation of small-scale precipitators in Denmark – results of lab- / field tests*, Central European Biomass Conference, Graz, Austria
- M.R. Talaie, M. Taheri, J. Fathikaljahi, 2001. *A new method to evaluate the voltage–current characteristics applicable for a single-stage electrostatic precipitator*, *Journal of Electrostatic*
- S.H Kim, K.W Lee, 1999. *Experimental study of electrostatic precipitator performance and comparison with existing theoretical prediction models*, *Journal of Electrostatic*
- Adel Z. El Dein , K. Usama, 2014. *Experimental and Simulation Study of V–I Characteristics of Wire–Plate Electrostatic Precipitators Under Clean Air Conditions*, *Arabian Journal for Science and Engineering*, May 2014, Volume 39, Issue 5, pp 4037-4045
- Jędrusik, M., Świerczok, A. 2009. *The influence of fly ash physical and chemical properties on electrostatic precipitation process*. *Journal of Electrostatics*, Volume 67, Issues 2–3

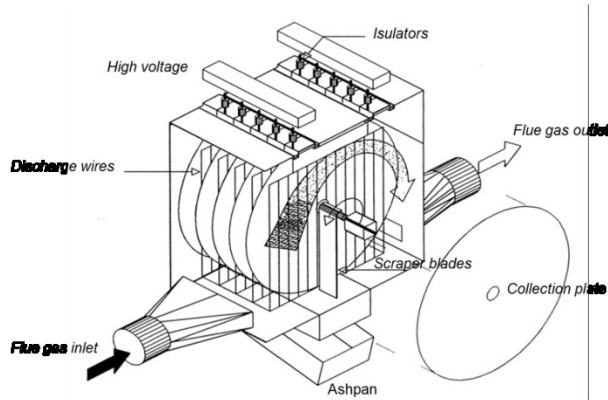
6.2 Udvikling og konstruktion af elektrofiltre

Filteropbygning

En væsentlig udfordring ved dette projekt og en stor del af arbejdet har været at finde og udvikle tekniske løsninger til at rense såvel udladertråde (elektroder) som opsamlerplader (opsamlerelektroder) for støvbelægninger, således at renseseffekten kan opretholdes. Traditionelt fjernes støvlaget med mekaniske hamre, som banker på pladerne, hvorved støvet løsnes og falder ned i en tragt under filteret. Denne teknik fungerer ikke ved rensning af halmrøg, da den lave ledningsevne og de meget små partikler kun tillader et meget tyndt lag før renseseffekten reduceres væsentligt. Det tynde støvlag er det ikke er muligt at banke af.

Støvet i røggassen fra biomassekedler består hovedsageligt af alkaliske salte. Støvet har en høj resistivitet. Dette betyder, at når bare et meget tyndt lag aflejres på opsamlerpladerne - kun ca. 0,1 mm - bliver den elektriske modstand gennem støvlaget så høj, at filterrensningseffektiviteten reduceres drastisk. Støvets masse i dette tynde lag er lav i forhold til klæbestyrken mellem støv og opsamlingsplade.

I et tidligere forskningsprojekt gennemført af Aarhus Universitet, Institut for Ingeniørvidenskab og Maskinfabrikken Reka A/S blev der udviklet en første prototype af et elektrofilter med cirkulære roterende opsamlingsplader. I stedet for etammersystem blev støvet her fjernet ved hjælp af tynde skraber. Dette princip er i et EUDP-projekt gennemført af de samme partnere samt Magnussen & Speiermann A/S videreudviklet til halmfyringsanlæg med en effekt over 200 kW. Figur 1 viser funktionsprincippet i filteret.



Figur 1: Principskitse som viser den grundlæggende opbygning af de udviklede filtre.

I dette projekt er der udviklet videre på dette funktionsprincip, således at antal og størrelse af opsamlerplader/skiver samt afstande mellem plader og afstande mellem udladertrådene er optimeret i forhold til forskellige kedelstørrelser.

Strømforsyning og styringsautomatik

Helt centralt for et elektrofilter er spændingsforsyning og automatik til styring af strøm og spænding. I projektet har der været forsøgt med forskellige spændingsforsyning og styringsautomatikken er udviklet og optimeret til den aktuelle elektrofilterstørrelse. Dette med fokus på at sikre en robust og billig styringsautomatik, som kan håndtere de specielle udfordringer røg fra halm, træpille- og flisfyring i mindre anlæg giver anledning til.

Der er i projektet primært arbejdet med 3 filterstørrelser, som er tænkt anvendt til kedler med et ydelsesniveauer på henholdsvis 4 - 20 kW, 20 - 80 kW samt 80 - 200 kW. I forbindelse med de to mindste filterstørrelser anvendes udelukkende træbrændsler, - træpiller og træflis, mens den største model kan anvendes i forbindelse med både halm- og træbrændselskedler.

Undersøgelserne viste, at der til filtret tilsluttet halm og flis fyrede kedler i størrelsesgruppen 80 – 200 kW kan anvendes en 750 W spændingsforsyning. For filtret til træbrændsels kedler i ydelsesintervallet 20 – 80 kW var en 400 W spændingsforsyning fuldt tilstrækkelig. Til de små kedler er anvendt en 120 W spændingsforsyning, men på baggrund af målingerne over det faktiske effektforbrug vil en 30 W strømforsyning være tilstrækkelig.

Den udviklede PLC baserede automatiske styring sikre at spændingen er så høj som mulig uden for mange overslag. Ved et overslag lukkes ned for spænding og strøm, hvorefter styringen automatisk gradvist øger spænding og strømstyrke til det maksimale niveau. I styringsautomatikken er inkluderet en opstarts fase til start med koldt filter. Under opstart kan der på grund af fugt og kondens ikke anvendes høj spænding. Er spændingen for høj giver fugten anledning til kortslutning og der kommer overslag. Ved kondens på isolatorerne sikre styringsautomatikken at der lukkes ned for højspændingen i en forud indstillet periode, hvorefter der åbnes igen. Hvis kondensen nu er væk, starter filteret derefter normalt op. Spændingen øges herefter i takt med opvarmning og fuld udtørring af isolatorer og filter, således at overslag og nedlukning af spændingsforsyningen begrænses samtidig med, at effekten øges i takt med at det bliver muligt. Til filtret beregnet for små træpillefyre med ydelser på 4-20 kW er udviklet en relativ simpel styring, hvor der anvendes en fast konstant spænding og strøm under drift uden løbende regulering.

I forbindelse med styring af spændingen og strøm til elektrofilter anvendes i visse anlæg pulserende spænding. Dette med henblik på at opnå en høj spænding og dermed en effektiv udfældning af støvpartikler uden overslag. Forsøg med pulserende spænding fra de spændingsforsyninger der er anvendt i dette projekt gav ikke tilfredsstillende resultater. Ved de gennemførte undersøgelser og målinger blev der opnået mindst lige så god renseseffekt på filteret med glat spænding, som med en pulserende spænding.

6.3 Renseeffekt ved brug af elektrofiltrene

Filter til 4 – 20 kW træpille fyr

Filtre til mindre anlæg skal tilpasses de aktuelle driftsbetingelser, herunder det forhold, at et energieffektivt træpille fyr operere med en relativ lav temperatur i afgangsrøgen. En udfordring har derfor været at undgå kondensering af vanddamp i filtret og deraf følgende driftsforstyrrelser og overslag. Der er udviklet 2 prototype filtre, hvor der er opnået tilfredsstillende driftsresultater, dels et filter med en kanal og roterende opsamlerskiver med en diameter på 400 mm, dels et filter med 2 kanaler og roterende opsamlerskiver med en diameter på 250 mm. Filtret med 250 mm skiver er vist i figur 2.



Figur 2. Elektrofilter til mindre pille fyr i ydelsesintervallet 4 – 20 kW. Filtret er med 2 kanaler og opsamlersplader med en diameter på 250 mm.

Filtret er testet ved brug af to forskellige systemer for styringsautomatik til den tilførte spænding og strøm. For det første er anvendt en avanceret styring hvor der reguleres og optimeres i forhold til overslag. Resultater fra disse forsøg er vist i tabel 1. Der blev opnået en renseseffektivitet på over 93 procent, svarende til et partikelindhold i den rensede røggas på 4 mg pr normal m³.

Driftsforhold	Måling nr.	Røggas		Rense effektivitet, %
		Urenset	Renset	
Reka TPK kedel Træpiller Ydelse 9,5 kW Røgtemperatur før filter 105 °C Røgtemperatur efter filter 85 °C		Partikel-emission, mg/nm ³ (10% ilt)	Partikel-emission, mg/nm ³ (10% ilt)	
	1	55	4	93,2
	2	73	5	93,7
	Gennemsnit	64	4	93,5

Tabel 1. Målt renseseffekt ved brug af elektrofilter til mindre pille fyr. Fyring med træpiller i Reka TPK kedel med en ydelse på 9,5 kW.

Med henblik på at få et mere simpelt og prisbilligt anlæg til de små kedler, er der udviklet og testet en løsning med en meget enkel styringsautomatik, hvor der anvendes en konstant og fast indstillet spænding over filtret.

Resultater fra forsøg med en konstant spænding på henholdsvis 18 og 16 kV er vist i tabel 2. Af tabellen fremgår, at renseseffektiviteten faldt lidt set i forhold til testen med den mere avancerede styringsautomatik. Der blev dog opnået en høj renseseffekt ved begge filterspændinger på i gennemsnit 88 og 85 procent ved henholdsvis 18 og

16 kV. Partikelindholdet i den rensede røggas var ca. 5 mg pr normal m³, og således klart under de eksisterede grænseværdier. Tilsyneladende er en filterspænding på 16 kV tilstrækkelig. Kan der sikres tilstrækkelig rensning, er den lave spænding at foretrække, da risikoen for overslag reduceres ligesom effektbehovet her er lavest. Den tilførte effekt til filtrets højspændingsforsyning var her ca. 10 W.

Driftsforhold	Filter spænding, kV	Måling nr.	Røggas		Rense effektivitet, %
			Urenset	Renset	
			Partikel-emission, mg/nm ³ (10% ilt)	Partikel-emission, mg/nm ³ (10% ilt)	
Reka TPK kedel Træpiller Ydelse ca. 10 kW	18	1	41	3	93,2
		2	43	6	86,6
		3	42	6	85,0
		Gennemsnit	42	5	88,3
Røgtemperatur før/efter filter, 110/90°C	16	1	38	5	86,8
		2	35	5	84,8
		3	35	5	85,0
		Gennemsnit	36	5	85,5

Tabel 2. Målt renseseffekt ved brug af elektrofilter til mindre pille fyr. Forsøg med konstant filter spænding på 18 og 16 kV.

Filter til 20 – 80 kW pille og flis fyr

Til pille og træflis kedler i ydelsesintervallet 20 – 80 kW er udviklet et elektrofilter med 4 kanaler og roterende opsamlerskiver med en diameter på 600 mm. Der er gennemført en række undersøgelser med forskellig udførsel og montering af udladerelektroder, herunder forsøg med laserskårne takkede udladertråde. I den færdige udgave af filtret er anvendt glatte udladertråde (elektroder). Filtret med 4 kanaler og 600 mm skiver er vist i figur 3.



Figur 3. Elektrofilter til pille og flis fyr i ydelsesintervallet 20 – 80 kW. Filtret er med 4 kanaler og opsamlerskiver med en diameter på 600 mm.

Filtret er testet ved brug af den udviklede styringsautomatik, hvor den tilførte spænding og strøm reguleres og optimeres i forhold til overslag, således at der løbende sikres den maksimale filterspænding og dermed højst mulig rensning. Der er gennemført forsøg og målinger ved rensning af røg fra fyring med træpiller, halmpiller, træflis og ballepresset halm. Resultater fra test med træ og halmpiller anvendt som brændsel i et Reka TPK 40kW fyr er vist i tabel 3.

Driftsforhold	Brændsel	Måling nr.	Røggas		Rense effektivitet,
			Urenset	Renset	
			Partikel-emission, mg/nm ³ (10% ilt)	Partikel-emission, mg/nm ³ (10% ilt)	%
Reka TPK kedel Ydelse ca. 40 kW	Træpiller	1	49	0,4	99,3
		2	84	4	96,1
		Gennemsnit	67	2	97,7
Røgstemperatur før filter, 125°C	Halmpiller	1	664	18	97,3
		2	664	13	98,0
		3	676	18	97,3
		Gennemsnit	670	16	97,5

Tabel 3. Målt renseseffekt ved brug af elektrofilter til pille og træflisfyr i ydelsesintervallet 20 - 80 kW. Forsøg med træ- og halmpiller.

Der blev opnået en renseseffektivitet på over 97 procent både ved rensning af røg fra træpille- og halmpille-fyring. Selv ved fyring med halmpiller, hvor der er et højt indhold af støvpartikler i røggassen, blev der målt et partikel-indhold i den rensede røggas under grænseværdien på 40 mg pr normal m³.

Med henblik på at belyse elektrofiltrets maksimale kapacitet blev det tilsluttet en 200 kW Reka kedel med automatisk indfyring. Der blev her gennemført forsøg med træflis og hvedehalm. Resultater fra test med træflis og halm anvendt som brændsel i er vist i tabel 4.

Driftsforhold	Brændsel	Måling nr.	Røggas		Rense effektivitet,
			Urenset	Renset	%
			Partikel-emission, mg/nm ³ (10% ilt)	Partikel-emission, mg/nm ³ (10% ilt)	
Reka 200 kW kedel med automatisk indfyring. Ydelse ca. 180 kW	Træflis	1	434	28	93,5
		2	380	41	89,2
		3	342	29	91,4
		Gennemsnit	385	33	91,4
	Halm <i>(Hvede storbal- ler)</i>	1	692	145	79,1
		2	753	165	78,1
		3	658	142	78,4
		Gennemsnit	670	151	78,5

Tabel 4. Målt renseseffekt ved brug af elektrofilter til pille og træflisfyr i ydelsesintervallet 20 - 80 kW. Forsøg med træflis og halm.

Ved fyring med træflis blev der opnået en renseseffektivitet på 91,4 procent. Partikelindholdet i den rensede røggas var 33 mg pr normal m³ og således under grænseværdien på 40 mg pr normal m³. Ved træfyring vil filtret således kunne dække ydelsesintervallet indtil ca. 200 kW. Resultaterne fra test med halmfyring viser imidlertid en dårligere og ikke tilstrækkelig rensning af røgen ved brug af dette filter. Her var partikelindholdet i den rensede røggas 151 mg pr normal m³ og renseseffekten i gennemsnit 78,5 procent.

Filter til 80 - 200 kW halmfyr

For at kunne sikre en tilstrækkelig rensning af røg fra små halmfyrede kedler i ydelsesintervallet 80 – 200 kW blev der derfor udviklet et lidt større filter. Elektrofilteret er med 5 kanaler og roterende opsamlerskiver med en diameter på 900 mm. Filtret er monteret med udladerelektroder bestående af glat ståltråd.



Figur 4. Elektrofilter til halmfyrede kedler i ydelsesintervallet 80 – 200 kW. Filtret er med 5 kanaler og opsamlerskiver med en diameter på 900 mm.

Filtret er testet ved brug af styringsautomatik, hvor den tilførte spænding og strøm reguleres og optimeres i forhold til overslag, således at der løbende sikres den maksimale filterspænding og dermed højst mulig rensning. Der er gennemført forsøg og målinger ved rensning af røg fra fyring med hvedehalmballer i en portionsfyret 150 kW Alcon kedel. Resultater fra test er vist i tabel 5.

Driftsforhold	Brændsel	Måling nr.	Røggas		Rense effektivitet,
			Urenset	Renset	
Alcon. Portionsfyret kedel. Ydelse ca. 150 kW	Hvedehalm	1	192	9	95,2
		2	245	5	97,8
		3	299	39	87,1
		Gennemsnit	245	18	93,3

Tabel 5. Målt renseseffekt ved brug af elektrofilter til halmfyring i ydelsesintervallet 80 - 200 kW. Forsøg med hvedehalm.

Ved fyring med ballepresset hvedehalm i den portionsfyrede kedel blev der opnået en renseeffektivitet på 93,3 procent i gennemsnit. Partikelindholdet i den rensede røggas var 18 mg pr normal m³ og således klart under grænseværdien på 60 mg pr normal m³ for portionsfyrede anlæg. Traditionelt er den gennemsnitlige partikel emission lavere for de automatiskfyrede anlæg, hvorfor filtret kan antages at være tilstrækkeligt effektivt også for de automatiskfyrede halmfyr.

Bilag 1.

Bilag 1.1 Konferencepaper præsenteret ved EUBCE 2016, Amsterdam. (24th European Biomass Conference and Exhibition)

Development of electrostatic precipitators for small biomass-fired boilers

Kristensen, E.F.¹⁾, Kristensen, J.K.¹⁾, Speiermann, M.²⁾, Linnemann, N.³⁾

¹⁾ Aarhus University, Department of Engineering, Blichers Allé 20, DK-8830 Tjele, Denmark .Tel.: +45 87157659. Email: erikf.kristensen@eng.au.dk & jkk@eng.au.dk

²⁾ Magnussen & Speiermann A/S, Sydholmen 8, DK-2650 Hvidovre, Denmark. Email: martin@speiermann.com

³⁾ Reka Maskinfabrik A/S, Vestvej 7, DK-9600 Aars, Denmark. Email: nl@reka.com

ABSTRACT: Small straw and wood fired boilers may be a significant source of air pollution as the combustion generates a high amount of particle emission in the flue gas. This paper describes flue gas cleaning by electrostatic precipitators developed for small wood and straw boilers with heating capacity from 4kW up to 500kW. Fulfilling the European standard EN 303-5 for small boilers demands a cleaning system for the flue gas. Especially for straw fired boilers the challenges are high. There are no suitable filters in the market. Cleaning by means of cyclones is insufficient, fabric filters are not suitable and traditional precipitator technology does not work. Different filter sizes and types for the actual boiler size and biomass types (straw, wood chips and wood pellets) have been developed and tested. Control automation as well as effective mechanical systems for removing dust deposits from the discharge electrodes and the collecting plates has been developed and tested. Total collection efficiency of 95-99 % has been achieved.

The project is collaboration between two commercial companies and a university.

Keywords: particle emission, combustion, biomass, straw.

1 INTRODUCCION

Devices for cleaning of flue gas for dust and other components may be based either on mechanical or electrical processes. The mechanical processes include cyclone separation, gas scrubbing or washing, filtration by means of fabric filters, screens, packed beds, gravity settling and agglomeration of particle e.g. by sound. When using the electrical processes an electric force act on the particles in the gas. This method is referred to as electrostatic precipitation [1,2]. The process require electrical charging of suspended particles, collecting of the charged particles in an electric field and finally removal of the precipitated dust from the collecting electrode.

Separation of particles from a gas by electrical precipitation requires:

- Electric charging of the particles
- Collection of charged particles in an electric field
- Removal of precipitated material (deposits) from the collecting electrodes.

The combustion of biomass and especially straw generates a high amount of particle emission in the flue gas. The known mechanical methods for flue gas cleaning are not suitable for small straw boilers [3]. The objective of this work has been to develop a low-cost, efficient and reliable electrostatic precipitator designed for small biomass boilers. Today in Denmark in rural areas, there is no threshold for dust emissions from small straw-fired boilers. However, from January 2018, the common European standard EN 303-5 for smaller straw-fired boilers will be implemented in Denmark. This means that the threshold for automatically fired boilers will be 40 mg of dust per normal m³ flue gas. With traditional techniques, this threshold can only be met by using a fabric filters. A fabric filter is relatively expensive both in procurement and in operation. The filter requires a large fan to overcome the pressure drop across the filter. The filters are vulnerable to high flue gas temperatures, which often occurs in small straw boilers. Therefore high operating cost for the replacement of filter will be necessary when using fabric filters. An ideal electrostatic precipitator for small biomass (straw, chip, wood etc.) fired boilers must be simple and inexpensive. The filter must have only few moving parts and there by the maintenance costs could be kept low. The pressure drop will be low and thus the filter will have low energy consumption. An effective and low-cost flue gas filter for small biomass-fired boilers is crucial for the use of these boilers in the future both in Denmark and in the rest of Europe [4,5]. There exists a large surplus of straw throughout Europe. If the straw could be used in these boilers, reduced CO₂ emissions will be achieved and the straw, a renewable energy source, could replace fossil fuels.

2 WORKING PRINCIPLE OF AN ELECTROSTATIC PRECIPITATOR

2.1 Design principle of the filter

An electrostatic precipitator consists of positive and negative electrodes which are connected to a high voltage supply. The voltage level is 10-100 kV, depending on the filter size and design. The positive electrodes are traditional formed as large steel plates which are mounted with a mutual distance of 100-400 mm, thereby forming parallel channels between the plates. The smoke is passed in a horizontal flow in these channels, see Fig 1.

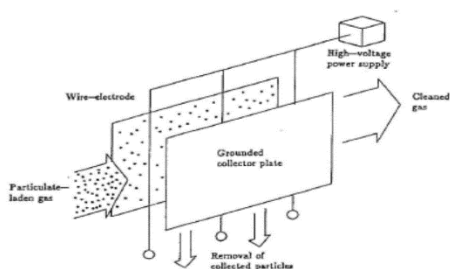


Figure 1: Schematic drawing of a wire-plate electrostatic precipitator.

The positive electrodes are named "collector plates" or "collector electrodes" as the dust particles are collected on the plates. Another very simple design consists of a tube with a corona discharge electrode installed in the center. The tube wall form in this case the grounded positive collector electrode, see Fig 2.

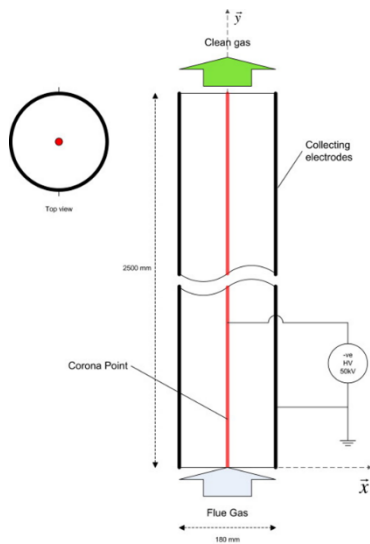


Figure 2: Schematic drawing of a tube electrostatic precipitator [7].

2.2 Electric field

The operation of electrostatic precipitators depends on the applied voltage. The voltage must produce enough electrical stress for ionizing and electrical charging of the dust particles. When the difference in voltage between the positive collector plates and negative discharge electrode is sufficiently high, the electric field near to the negative discharge electrode will be very high and it will excite electrons/ions. The electrons will immediately move toward the positive collector plates. A corona charging occurs.

The fast moving electrons will ionize the gas, and electrons and ions will collide with other flue gas molecules and produce further ions. The ions will then be connected to the neutral dust particles and thereby the dust particle becomes negative charged and attracted to the collector plates. See Fig. 3 [6].

Little by little, the dust particles will settle as an isolating layer on the collection plates. Therefore to maintain the cleaning effect, the plates must be kept free of dust. In a conventional filter typically periodic rapping is used for cleaning the plates. How often it is necessary to clean collection plates depends on the amount of dust, dust particle size and the type of dust particles. Particularly the resistivity of the dust is very important. Dust of high resistivity, over about $10^9 \Omega\text{m}$, will form a tight barrier on the collection plates, causing accumulation of electric charge leading to back-corona discharge [1,2,8].

The flue gas from straw fired boilers has both a very high amount of dust and the particles produced are of the type leading to dust with a high resistivity. Therefore, in an electrostatic precipitator for straw boilers the most important problem is the back corona. The layer thickness of the dust on the collecting plates must be reduced to a minimum if the filter should have a good cleaning effect.

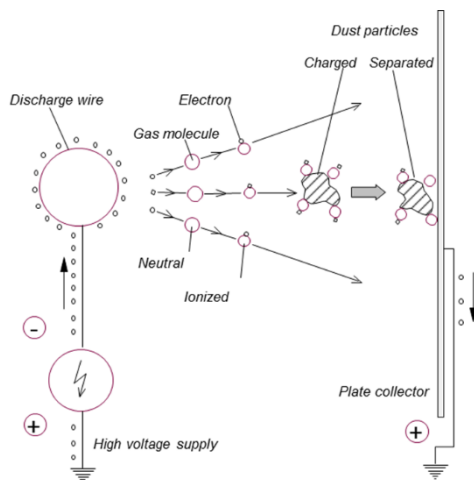


Figure 3: Corona discharge and the precipitation process in a wire-plate filter.

This work has focused on developing a new set-up with rotating collection plates with a mechanical system for removing the dust layer on the collecting plates.

The project is collaboration between two companies and a university. The company Reka A/S produces biomass boilers and company Magnussen & Speiermann projects and produces components for large electrostatic precipitators used in e.g. coal-fired plants. Aarhus University, Department of Engineering has a laboratory for development and testing of biomass boilers where the focus is on the efficiency and emissions.

The first part of the project was a screening of the literature. Based on literature and existing knowledge within project partners experimental models were constructed, tested and optimized in the laboratory. Prototypes have been made and tested in laboratory.

Installations and test in practice for documentation of operational reliability and collection efficiency will be made.

3.1 Laboratory test facilities

A great deal of the work has taken place in the biomass combustion laboratory at Aarhus University, Department of Engineering. The laboratory has facilities for developing and test of biomass boilers. The primary object of the laboratory is to improve the efficiency of smaller biofuel plants, reduce emission of environmentally damaging substances including carrying out incineration experiments with new types and different combinations of biomass.

The capacity of the laboratory is dimension for boilers up to 1MW and can be connected to one to three boilers at the time depending on the size of the boiler/plant. In connection with the lab, there is also an instrument room and an office. The standard measurement possibilities includes: Inlet temperature (Pt-100), outlet temperature (Pt-100), water flow (Inductive flow meter), flue gas temperature (Thermo element, available draught (Micromanometer), O in flue gas (Paramagnetic detector), CO-content in flue gas, 0-1000 ppm (infrared detector), CO₂ detector, NO_x detector, hydrocarbon detector, SO₂ detector, flue gas dust content (Ströhlein equipment) and flue gas conditioning (heating coil + refrigerant type dryer).

3.2 Basis filter concept

The dust in the flue gas from straw fired boilers consists mainly of alkaline salts. The dust has a high resistivity as mentioned previously. This means, that typically only a very thin layer, thickness of about 0.1mm, can be deposited on the collecting plates before the electrical resistance through the dust layer becomes so high, that the filter cleaning efficiency is drastically reduced. The mass of the dust in this thin layer is low compared to the sticking force between dust and collecting plate, meaning that the dust cannot be removed from the collecting plates by means of a traditional rapping technique. Thus, a conventional electrostatic precipitator is unsuitable for straw flue gas.

In a previously conducted research project Aarhus University, Department of Engineering and Reka A/S developed a test set-up and a first prototype of an electrostatic precipitator with circular rotating collection plates. Instead of a rapping system, the dust was removed by means of thin scrapers [3]. See fig 4.

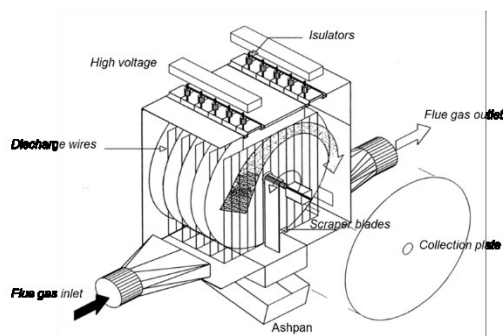


Figure 4: Principle drawing showing the working principle of the developed filters [3].

Two final prototypes for boiler sizes, respectively 10-50kW and 200-500kW, was designed, constructed and tested. The results described in the following sections are based on these prototypes

4 RESULTS

4.1 Characteristics of the prototype filters

The current-voltage characteristics for the two different filter sizes were measured with clean filter and atmospheric air. During the measurements each filter was connected to a Remo high voltage power supply unit with adjustable output voltage in the range between 0 and 40 kV. For the small filter (boiler size 10-50 kW) a 400 kW unit was used, and for the filter for boiler size 200-500 kW a 750 kW unit was used.

The results are shown in the figures 5 and 6.

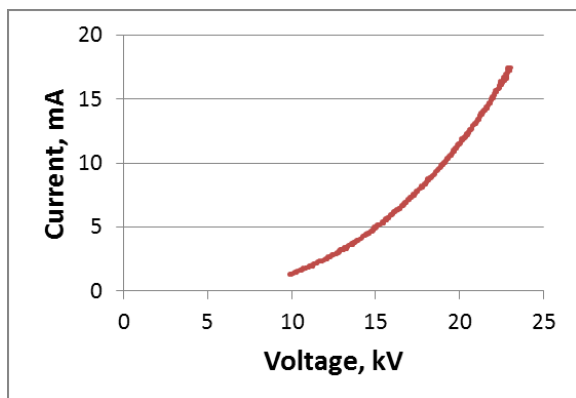


Figure 5: Current - voltage characteristic of the electrostatic precipitator for a 200-500kW biomass boiler. Distance between collection plates was 134mm and distance between discharge wires/electrodes was 40mm.

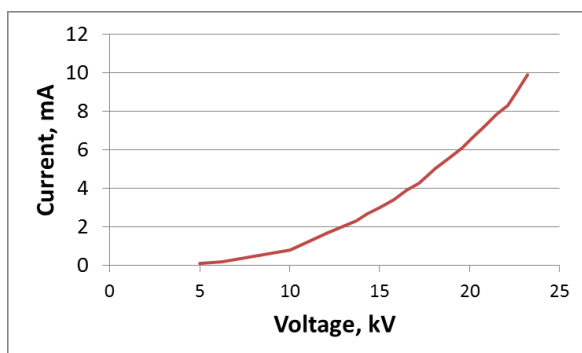
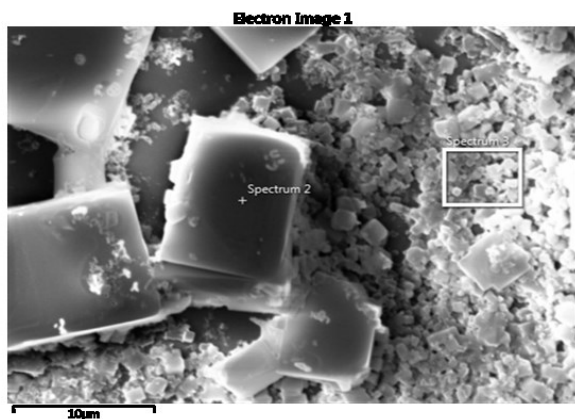


Figure 6: Current - voltage characteristic of the electrostatic precipitator for a 10-50kW biomass boiler. Distance between collection plates was 94mm and distance between discharge wires/electrodes was 30mm.

4.2 Dust particles analyses

The dust deposited on the collection plates was analyzed by means of scanning in an electron microscope. Results from these physical and chemical analyses are presented in figure 7.



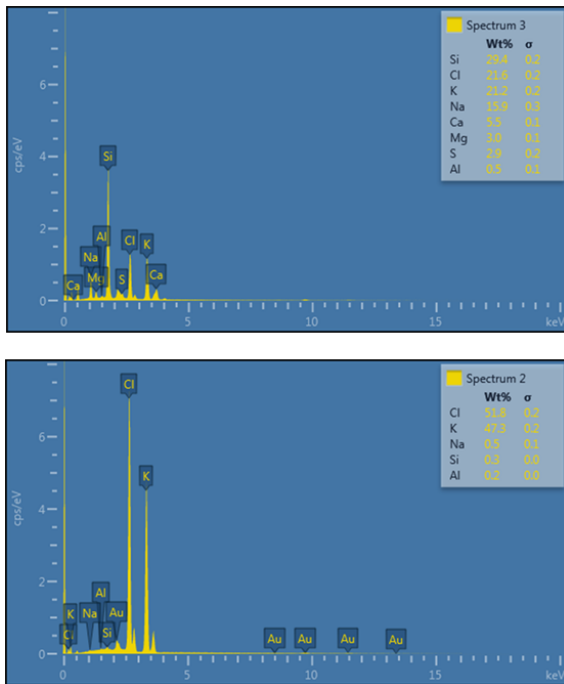


Figure 7: Electron microscope scanning of the dust particles in the flue gas from a boiler fired with straw.

The scanning showing the chemical composition of the dust displayed large amount of Cl, K, Na and Si. The particles were small and all the detected particles and crystals were below 10 μm .

4.2 Collection efficiency of the proto type filters

The measurements of particle mass concentration in the flue gas flow before and after passing through the filters were carried out during steady combustion conditions. Different types of biomass were used as fuel. Wheat straw, rye straw, wood pellets and wood chips have been combusted in the biomass boiler.

The electrostatic precipitators were operated at voltage at 20-26 kV and current up to 10 mA for the small filter and up to 18 mA for the large filter.

Results of the measurements for the large filter and a 200 kW Reka biomass boiler is presented in table 1.

Table 1: Mass collection efficiency for prototype filter designed for a 200 – 500kW biomass boiler

Fuel	Straw, wheat	Straw, wheat	Wood chips
Boiler effect, kW	213	222	215
Flue gas temperature, °C	210	210	190
O ₂ , %	10.5	10.5	9.0
Raw gas, mg/nm ³	720	1150	160
Cleaned gas, mg/nm ³	13	21	1.3
Mass collection efficiency, %	98	98	99

For the combustion of different types and qualities of wheat straw the particle mass concentration in the cleaned gas (exhaust gas) were 13-21 mg/nm³ corresponding to a mass collection efficiency of 98 %. When the fuel was wood chip the particle emission - as expected - was much lower. The particle mass concentration in the cleaned gas was for wood chips 1.3 mg/nm³ corresponding to a mass collection efficiency of 99 %.

Results of the measurements for the small filter and a 40 kW Reka biomass boiler is presented in table 2.

Table 2: Mass collection efficiency for prototype filter designed for a 10 – 50kW biomass boiler

Fuel		Straw, pellets	Wood pellets
Boiler effect, kW		36	39
Flue gas temperature, °C		135	125
O ₂ , %		7.4	6.3
Raw gas, mg/nm ³		670	49
Cleaned gas, mg/nm ³		16	0.3
Mass collection efficiency, %		98	99

For the combustion of straw pellets the particle mass concentration in the cleaned gas was 16 mg/nm³ corresponding to a mass collection efficiency of 98 %. When the fuel was wood pellets the particle emission in the raw gas was only 49 mg/nm³. The particle mass concentration in the cleaned gas was for wood pellets 0.3 mg/nm³ corresponding to a mass collection efficiency of 99 %.

5 CONCLUSIONS

Different filter sizes and types for biomass boilers with 10kW - 500kW effect have been developed and tested. The filter efficiency for straw, straw pellets, wood chips and wood pellets has been documented. Control automation for the power supply at the filters as well as effective mechanical systems for removing dust deposits from the electrodes has been made.

Total mass collection efficiency of 95-99 % has been achieved for straw, wood chips and wood pellets. This new design and set-up for electrostatic precipitators effectively reduces the particle mass in the flue gas from small scale biomass boilers below the norms for particle emission stated in the European standard EN 303-5.

6 REFERENCES

- [1] White, Harry J. 1963. Industrial Electrostatic Precipitation. Addison-Wesley Publishing company, Inc. Pergamon Press.
- [2] Jaworek, A., Krupa, A., Czech, T. 2007. Modern electrostatic devices and methods for exhaust gas cleaning: A brief review. Journal of Electrostatics
- [3] Kristensen, J.K., 1999. Smoke purification for small straw boilers. Electrostatic precipitator. (In Danish) DJF Rapport Markbrug nr. 20, Danmarks JordbrugsForskning.
- [4] Bologa, A., Paur, HR., Woletz, K. 2011. Development and study of an electrostatic precipitator for small scale wood combustion. International Journal of Plasma Environmental Science and Technology, 5 no.
- [5] Schmatloch, V., Rauch, S. 2005. Design and characterisation of an electrostatic precipitator for small heating appliances. Journal of electrostatics, 63(2), 85-100.
- [6] VDI 3678, 1980. Elektrische Abscheider. VDI-Richtlinien.
- [7] Dastoori, K., Kolhe, M., Mallard, C., Makin, B. 2011. Electrostatic precipitation in a small scale wood combustion furnace. Journal of Electrostatics, 69(5), 466-472.
- [8] Jaworek, A; Czech, T; Rajch, E; Lackowski, M., 2006. Laboratory studies of back-discharge in fly ash. Journal of Electrostatics, Volume: 64 Issue: 5 Pages: 306-317.

9 ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank the Danish Energy Agency and the Danish Environmental Protection Agency for funding of the work.

Udvikling af elektrofilter til reduktion af røgemission fra biomasseanlæg

Ved forbrænding af biomasse, og i særlig grad halm, emitteres store mængder af meget finkornet støv fra skorstenen. I Danmark er der p.t. ingen grænseværdier for støvemission fra mindre halmfyr kedler i landzone, men det forventes, at den fælles europæiske standard EN 303-5 også skal implementeres for mindre kedler i Danmark. Grænseværdien for støvemission vil herefter være 40 og 60 mg støv pr. normal-m³ røggas. Formålet med dette MUDP-projekt har været at udvikle en effektiv og økonomisk rentabel løsning til røgrensning for mindre halm- og træpille fyr.

Projektet har udviklet tre gasfiltre baseret på elektrofilter princippet, i kedelydelsesintervallet 4 kW op til 200 kW. De to mindste størrelser er udelukkende beregnet til anlæg som anvender træbrændsler, mens den største model er udviklet til også at kunne rense røg fra halmfyr. For alle tre filtre er partikelindholdet i den rensede røggas under den forventede grænseværdi. Projektet har således vist, at det er muligt at rense røg fra små biomassekedler fyret med træ, -brænde, flis og piller. Teknologien er dog ikke færdigudviklet. Der er et generelt problem med at rense elektroderne for støv, hvortil der savnes automatisk fungerende tekniske løsninger. Ligeledes er der behov for optimering og tilpasning af strøm og spændingsforsyning samt styringsautomatik i forhold til aktuelle driftsbetingelser.



Miljøstyrelsen
Haraldsgade 53
2100 København Ø

www.mst.dk