

Final report

1.1 Project details

Project title	Development of a electrostatic precipiator designed for straw and chip boilers Udvikling af elektrofilter til biobrændselanlæg
Project identification (program abbrev. and file)	EUDP
Name of the programme which has funded the project	Energiteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram (EUDP)
Project managing company/institution (name and address)	Maskinfabrikken REKA A/S Vestvej 7, 9600 Aars
Project partners	Aarhus Universitet Institut for Ingeniørvidenskab Forskningscenter Foulum Blichers Allé 20, Postboks 50 8830 Tjele Magnussen & Speirmann A/S Sydholmen 8 2650 Hvidovre
CVR (central business register)	88113217
Date for submission	

1.2 Short description of project objective and results

The aim of the project was to develop an efficient and economical solution of cleaning of smoke from biomass fired boilers. Focus have been on straw, but also other biofuel types e.g. wood chips have been tested. In the longer term, the technology will contribute to increased use of biomass instead of fossil energy and thereby reduced CO₂ emission.

Within the project electrostatic precipitators for small biomass-fired boilers has been developed, designed and tested. The basic electrostatic precipitator developed is designed for a 200kW biomass boiler with automatic stoking. The filter is capable of reducing the particle emission with an efficiency of 98% for straw firing and 99% for wood chip firing. After a long-term continuous test for 3 months, the emission was 23 and 22 mg per nm³ flue gas for straw and wood chip firing respectively.

The filter is ready for commercial marketing.

Formålet med projektet var at udvikle en effektiv og økonomisk løsning på rensning af røg fra biomassefyrede kedler – primært halm og flis. Teknologien vil kunne bidrage til øget anvendelse af biomasse i stedet for fossilt brændsel og dermed reducere CO₂-udledning.

I projektet er der udviklet et røgrensningsfilter baseret på elektrofilter princippet. Basis filtret er konstrueret til et 200kW biomassekedel med automatisk indfyring. Resultater har vist, at filtret er i stand til at rense røg med en effektivitet på 98% for halmfyring og 99% for flisfyring. Efter en langtidstest med kontinuerlig drift i 3 måneder var emissionen 23 og 22 mg pr nm^3 røg fra henholdsvis halm og flisfyring.

Filtret er klar til kommerciel markedsføring.

1.3 Executive summary

Projektets formål har været at udvikle et prisbilligt og driftssikkert røggasfilter, beregnet for mindre halm- og flisfyr. 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 posefiltre til at rense røgen for støv. Ved mindre halmfyrede kedler er der i Danmark p.t. ingen grænseværdier for støvemission fra halmfyr i landzone, men fra 26. januar 2018, gælder den fælles europæiske standard EN 303-5 også for mindre halmfyrede kedler i Danmark. Grænseværdien for støvemission vil herefter være 40 og 60 mg støv pr. normal- m^3 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 halmkedler baseret på elektrofilter princippet. Filtret er relativt enkelt opbygget, og har et lavt tryktab og dermed et lavt energiforbrug.

Projektet har været opdelt i 3 arbejdsopgaver. I arbejdsopgave 1 var fokus på videnindsamling samt renovering og test af et prototype elektrofilter fra et tidligere projektarbejde. I dette filter anvendes skraber til at holde opsamler plader rene for udfældet støv. Alternative metoder til at løsne og fjerne støvbelæggningerne, eksempelvis lydbølger via et akustisk horn blev forsøgt, men gav ikke tilfredsstillende resultater, hvorfor skraberprincippet blev fastholdt i det videre udviklingsarbejde. Ved brug af det gamle renoverede forsøgsfilter blev der målt en gennemsnits renseeffekt på 82% og 88% med henholdsvis halm- og flisbrændsel.

Arbejdsopgave 2 har omhandlet opskalering til et 200kW anlæg samt videreudvikling og optimering af elektrofiltret. Der er udviklet og testet isolatorer og spændingsforsyninger. Rammer med udladetråde, systemer til rensning af tråde, tråddammer og filterhusdesign er udviklet og testet. Automatik og styreprogram for strøm og spænding er helt afgørende for renseeffekten og driften af filtret, og har været en væsentlig del af arbejdsopgaven. Teknologien er dokumenteret i en forsøgsmodel, hvor der ved rensning af røgen fra en 200kW Reka stoker biomassekedel blev målt en renseeffekt på 98% ved halmfyring og 99% ved flisfyring, svarende til en støvemission efter filtret på 13-21 mg støv pr. normal- m^3 røggas og 1,3 mg støv pr. normal- m^3 røggas for henholdsvis halm- og flisrøg.

Arbejdsopgave 3 har omfattet konstruktion af et endeligt prototypefilter på basis af resultaterne opnået ved arbejdet med forsøgsmodellerne. De indledende målinger over filterets renseeffekt var som forventet mindst lige så gode som det der var opnået med forsøgsmodellen konstrueret i arbejdsopgave 2. Det valgte system med chockblasterne til rensning af udladetrådene gav dog anledning til periodisk større udledning af støv, men stadig en støvemission efter filtret langt under det kommende lovkrav på 40 mg støv pr. normal- m^3 røggas. Langtidstesten af filtret har dokumenteret stabil drift af anlægget i 3 måneder uden driftsstop. Målinger af renseeffekten efter testperioden viste en renseeffekt på 95% ved halmfyring og 90% ved flisfyring, svarende til en støvemission efter filtret på 23 mg støv pr. normal- m^3 og 22 mg støv pr. normal- m^3 for henholdsvis halm- og flisrøg.

I arbejdsopgaven har der også været inkluderet konstruktion af og målinger på et større anlæg monteret i forbindelse med et kommercielt biomasse fyringsanlæg. Her har REKA leveret et 1 MW anlæg til halm og flisfyring til Ulbjerg kraftvarmeværk. Anlægget er forsynet med elektrofilter af typen udviklet i projekt. Konstruktionen er baseret på 2 enkeltfiltre opstillet i serie, således at der opnås stor fleksibilitet i både konstruktion og anvendelse. Under opstart og indkøring af anlægget har målinger viste renseeffekt på 95% ved flisfyring svarende til 6 mg støv pr. normal- m^3 røggas. Her var kun et af de 2 filtre i drift. Ved halmfyring med begge filtre i drift blev der målt en renseeffekt på 92% svarende til 60-70 mg støv pr. normal- m^3 røggas. Det forventes at renseeffekten kan øges ved optimering af såvel kedel som filter.

1.4 Project objectives

Både af miljømæssige hensyn og på grund af de kommende skærpede lov krav vedrørende emission fra mindre biomasefyrede anlæg opstillet i landzone er der behov for ny effektiv og relativ billig teknik til rensning af røggasen fra halm- og flisfyre. Målet med dette projekt har været at udvikle og dokumentere et elektrofilter til rensning af røg fra kontinuerligt fyrede biomasse kedler – primært halm og flis – med en kedelydelse på 200 kW.

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 bestående af relativ små partikler, og at støvet har en høj resistivitet.

En væsentlig udfordring ved dette projekt og en stor del af dette projekt har derfor været at finde og udvikling af tekniske løsninger til at rense såvel udladertråde (elektroder) som opsamlerplader (opsamler elektroder) 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.

Helt centralt for et elektrofilter er spændingsforsyning og automatik til styring af strøm og spænding. Målet med projektet har været at finde en velegnet spændingsforsyning til den aktuelle elektrofilterstørrelse, samt at udvikle og optimere en robust og billig styringsautomatik, som kan håndtere de specielle udfordringer røg fra halm og flisfyring i mindre anlæg giver anledning til. Her har der været en risiko for at målet ikke kunne nås, da ikke fandtes tilsvarende teknologiske løsninger. Målet er i væsentlig grad opfyldt, men denne del af projektet har været mere ressourcekrævende end forventet.

På længere sigt har målet være, at udvikle en teknologi, som via øget anvendelse af biomasse i stedet for fossilt brændsel kan bidrage til at reducere CO² belastning og derved bidrage til Danmarks nationale mål på klimaområdet.

1.5 Project results and dissemination of results

Projektet har været inddelt i tre arbejdsopgaver. I arbejdsopgave 1 blev en eksisterende prototype fra et tidligere projekt renoveret og ombygget, således at alle kendte svagheder ved prototypen kunne undgås bedst muligt.

På baggrund af erfaringerne med det optimerede gamle prototype elektrofilter blev der i arbejdsopgave 2 fremstillet nye forsøgsmodeller. De nye forsøgsmodeller blev tilpasset en 200kW kontinuerlig Reka biomassekedel. De enkelte delkomponenter af filtret er udviklet og optimeret med henblik på en fremtidig produktion af et salgsmoden filter.

I arbejdsopgave 3 er der designet og konstrueret en endelig prototype af et elektrofilter til en 200 kW kontinuerlig kedel. Prototypen er test på AU Foulum. Testen har omfattet en lagtidstest med konstant drift i 3 måneder. Arbejdsopgaven har også indbefatte konstruktion af og målinger på et større anlæg monteret i forbindelse med et kommercielt biomasse fyrringsanlæg. Til Ulbjerg kraftvarmeværk der leveret et 1 MW anlæg til halm og flisfyring. Anlægget er forsynet med elektrofilter tilsvarende den endelige prototypen. Ulbjerg anlægget er baseret på 2 enkeltfiltre opstillet i serie, således at der opnås stor fleksibilitet i både konstruktion og anvendelse

Arbejdsplan 1.

Efter renovering viste det gamle prototype 100kW filter sig funktionsdygtigt. Med filtret er foretaget en række test med henblik på at videreudvikle og optimere teknologien. Der er gennemført forsøg med akustisk horn til rensning af filteret. Hovedkonklusionen er, at under de givne testforhold fungerer filtret bedst med skraber. Der er en effekt af hornet, men der er problemer med at få tilstrækkelig effekt og opnå den ønskede virkning. Renseeffekten aftager over tid, hvilket sandsynligvis skyldes at der bliver opbygget et støvlag på opsamlepladerne.

Nye udladertråde med spidser er testet, men der er opnået de bedste resultater med glatte tråde. Der sættes derfor på glatte tråde til den endelige prototype. Der blev fundet egnede isolatorer fra et svensk firma. Med hensyn til strømforsyning, er forskellige muligheder belyst, og en lille strømforsyning blev anskaffet og testet hos Magnussen & Speiermann.

Som afslutning på arbejdsplan 1 blev der foretaget en test over det renoverede filters renseseffekt i forbindelse med en 200kW kedel. Målet var dels at verificere teknologiudviklingen vedrørende afskrabning af opsamleplader, jf. milepæl 1, samt at dokumentere renseseffekten. Resultaterne ved fyring med halm er vist i tabel 1, mens resultater for fyring med flis er vist i tabel 2.

Tabel 1. Test af renseseffekt med renoveret "gammel" prototype filter, halm.

EMISSIONSMÅLINGER												
DATO:	16-12-2014	KEDEL:		REKA 200 kW								
Barometer:	1000 mbar	BRÆNDSEL:		Rug 2014								
MÅLEVÆRDIER - RÅGAS			STØVEMISSION				RENGAS			STØVEMISSION		
Start kl.:	Stop kl.:	Gasmåler	O2 (ABB)	Filter	mg/nm3	mg/nm3	Gasmåler	O2 (Sybron)	Filter	mg/nm3	mg/nm3	Effekt
		m3	%	mg	(målt)	(10% ilt)	m3	%	mg	(målt)	(10% ilt)	%
10:30	11:00	0.481	10.9	427	951	1034	0.738	15.4	62	90	178	82.8
11:30	12:00	0.521	10.8	431	886	952	0.727	15.6	43	63	128	86.5
12:30	13:00	0.494	10.7	406	880	944	0.73	15.6	51	75	151	83.9
13:30	14:00	0.5	10.4	461	987	1024	0.704	15.1	69	105	196	80.9
14:30	15:00	0.519	10.4	408	842	875	0.721	15.2	72	107	202	77.0

Tabel 2. Test af renseseffekt med renoveret "gammel" prototype filter, flis.

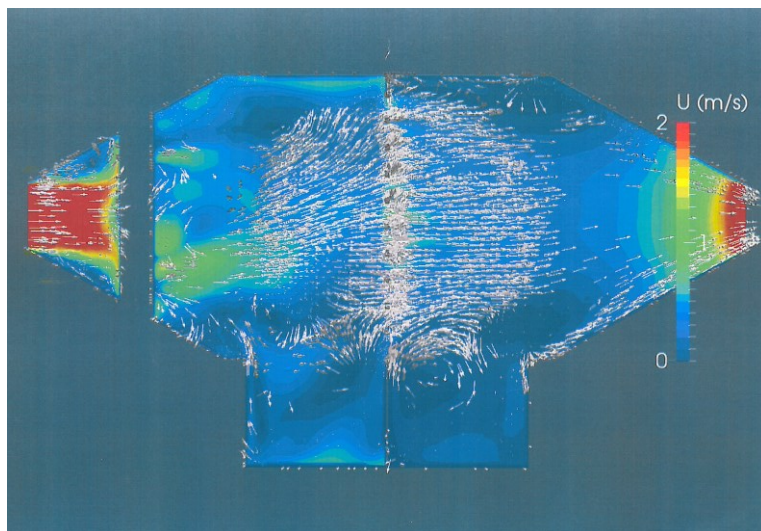
EMISSIONSMÅLINGER												
DATO:	17-12-2014	KEDEL:		REKA 200 kW								
Barometer:	1000 mbar	BRÆNDSEL:		Flis		Bem.:						
MÅLEVÆRDIER - RÅGAS			STØVEMISSION				RENGAS			STØVEMISSION		
Start kl.:	Stop kl.:	Gasmåler	O2 (ABB)	Filter	mg/nm3	mg/nm3	Gasmåler	O2 (Sybron)	Filter	mg/nm3	mg/nm3	Effekt
		m3	%	mg	(målt)	(10% ilt)	m3	%	mg	(målt)	(10% ilt)	%
10:30	11:00	0.526	9.3	81	165	156	0.721	14.5	7	10	17	88.8
11:40	12:10	0.488	9.8	73	160	158	0.971	14.8	12	13	23	85.2
12:30	13:00	0.464	10.4	64	148	153	0.731	15.0	7	10	19	87.7
13:30	14:00	0.524	10.2	76	155	158	0.709	14.9	4	6	11	93.0
14:30	15:00	0.517	10.0	63	130	130	0.727	14.8	6	9	16	87.9

En forudsætning for at iværksætte arbejdsplan 2 var, at der med det renoverede filter kunne opnås en renseseffekt på 75% for halmrøg og 85% for flisrøg. Det fremgår af tabellerne,

at renseseffekten var bedre end det krævede, og forudsætningerne for arbejdspakke 2 således opfyldt.

Arbejdspakke 2

Med udgangspunkt i resultaterne i Arbejdspakke 1 blev der designet og konstrueret en forsøgsmodel nr. 1 til et 200kW biomassefyr. Med henblik på at opnå korrekt luftgennemstrømning og ensartet lufthastigheder i det effektive rensningsområde i filtret, blev der lavet CFD-simuleringer over luftstrømninger og hastigheder med udgangspunkt i den forventede luftmængde og temperatur på røggassen.



Figur1. Eksempel på CFD simulering over luftstrømninger og hastigheder i elektrofilterhus.

I fyringslaboratoriet på AU Foulum er der gennemført en lang række forsøg og målinger til belysning af funktionsforhold. Filtret og delkomponenter er herefter ændret og optimeret. Der er fokuseret på at finde optimal type af udladetråde og rammer, teknik til rensning af udladertråde, type og udformning af isolatorer samt luftfordeling og hastighed i filtret. Endvidere har der været arbejdet på at optimere styringsautomatikken til filtrets højspændingsforsyning. Udvikling af styringsautomatikken for elektrofiltrets spænding og strøm har givet en del udfordringer, og med henblik på at finde en optimal løsning blev der eksterne elektronikfirmaer været inddraget på konsulent basis. Der sættes nu på et styringsprogram med en kombineret spændings- og strømstyring af højspændingsforsyning.

Med forsøgsmodel 1 blev der i flere tilfælde opnået en rensningseffekt på 98 procent med halmrøg. Ved fyring med flis kunne der opnås en endnu bedre rensningseffekt og flere målinger viste at 99 procent af faststofemissionen kunne frarenses ved flisfyring.

På baggrund af den indhøstede viden med forsøgsmodel 1 blev der fremstillet en forsøgsmodel 2. Forsøgsmodel 2 samt et nyt REKA 200kW biomassefyr blev opstillet i fyringslaboratoriet på AU Foulum januar 2016. Væsentlige ændringer i forhold til forsøgsmodel 1 er bl.a. ændret udformning af indløb, således at der opnås forbedret luftfordelingsprofil og reduceret risiko for elektrisk overslag. Ændret udformning af isolatorer og banke/vibrationsudstyr til rensning af udladertråde. Der er monteret chockblaster til at forhindre støvaflejringer i filterhuset. Endvidere er trådafstanden ændret fra 60 til 40 mm. Den fri afstand mellem opsamlerepladerne er uændret 134 mm.

I forsøgsmodel 2 er der forsøgt med forskellige udførelse af tråd-rammer og forskellig ståltype til opsamlerskiver. Der er ikke konstateret væsentlige forskelle mellem rammetyper. Mht. opsamlerepladerne har pladerne i cortenstål fungeret tilfredsstillende, og derfor anvendes fremover cortenstål.

Der er arbejdet videre med udvikling og optimering af styringsautomatikken, og der er i samarbejde med Homatic Engineering A/S nu udviklet en PLC styring som fungerer tilfredsstillende. I den automatiske styring er inkluderet en opstarts fase med koldt filter. Under opstart kan der på grund af fugt og kondens ikke anvendes høj spænding på grund af over-

slag. Ved kondens på isolatorerne lukkes der for højspændingen i 10 minutter, hvorefter der åbnes igen. Hvis kondensen nu er væk, starter filteret derefter normalt op. Spændingen øges nu 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.

Forskellige teknikker for at fjerne støvbelægninger fra udlader tråde er testet. Således er der forsøgt med mekaniskeammersystemer, pneumatiske vibratoer og trykluft chockblaster. Der blev i første omgang valgt en løsning med pneumatiske vibratorer som via isolatorerne periodisk ryster tråd rammer med udladertrådene. Løsningen giver en god rensning af trådene, og er konstruktionsmæssig enkel og giver i modsætning til den testede metode med hamre ikke problemer med mekanisk brud på isolatorer. Til den endelige prototype blev dog valgt chockblaster til rensning af såvel udladertråde som øvrige kritiske dele af filterhuset. Det skyldes at der i forvejen anvendes trykluft og chockblaster i fyringsanlæg og filter, og det således var relativt enkelt at montere ekstra chockblaster. Samtidig kunne teknikken sikre en tilfredsstillende rensning.

Det kunne konstateres at støvbelægninger på kanten af opsamlepladerne gav anledning til tilbagestrålinger. Derfor blev forsøgt med forskellige teknikker til rensning af pladekanten. Der opnås en god effekt med stålbørster. Kantskrabningen har dog ikke nogen sikker målbar effekt på filtrets rensningseffekt, hvorfor den er fravalgt til den endelige prototype.

Som afslutning på Arbejdspakke 2 er der gennemført en række målinger af rensningseffekten for forsøgsmodel 2. Uddrag af resultater er vist i tabel 3:

Tabel 3. Test af rensningseffekt for "Forsøgsmodel 2" ved fyring med halm og flis.

Fyringsanlæg	Filter	Effekt, kW	Brændsel	O ₂ , %	Røggas-temperatur, °C	Emission før filter, mg/nm ³	Emission efter filter, mg/nm ³	Effektivitet (masse), %
Reka 200kw biomasse-fyr	Forsøgsmodel 2	213	Hvedehalm	10,5	210	720	13	98
		222	Hvedehalm	10,5	210	1150	21	98
		215	Flis	9	190	160	1,3	99

En forudsætning for Arbejdspakke 3 var, at der med forsøgsmodel 2 kunne opnås en virkningsgrad på mindst 90 % på halmrøg og mindst 98 % på flisrøg. Som det fremgår af tabel 3 opfyldes kravet om denne rensningseffekt.

Arbejdspakke 3

Med udgangspunkt i arbejdet i Arbejdspakke 2 med forskellige forsøgsmodeller blev der designet og konstrueret en endelig prototype af et elektrofilter til en 200 kW biomassekedel. Foto 1 viser det endelige elektrofilter.



Foto 1. Prototype af elektrofilter beregnet til en 200kW halmkedel.

Prototypen er anvendt til afsluttende test i fyringslaboratoriet på AU Foulum samt til en 3 måneders langtidstest ved kontinuertlig fyring med halm.



Foto 2. Test af elektrofilter i AU fyringslaboratorium. Filtret er tilsluttet en 200kW Reka biomasse kedel med stoker indfyring (Foto: Anders Trærup)

Forud for de afsluttende test og målinger blev der opstillet en ny Reka 200kW biomassekedel med lidt ændrede dimensioner og med vandret indblæsning af sekundær forbrændings luft. Elektrofiltret er med 6 roterende skiver (opsamler-elektroder) og tråddammer med udladertråde i de 5 kanaler mellem skiverne. Diameteren på skiverne er 1,20 m, og den frie afstand mellem skiverne er 134 mm. Elektrofiltret er forsynet med chockblaster til rensning af såvel udladertråde som øvrige kritiske dele af filterhuset. Til at holde skiverne fri for støvbelægninger er monteret det udviklede skrabsystem, som fungerer ved en periodisk rotation af skiverne.

Effektbehovet til filteret er ca. 800 W inklusiv forbrug til motorerne til rotation af skiver og drift af aske/støv tømmesnegl. Ved en kedelydelsen på 200 kW, svarer det til 0,4 % af kedelydelsen.

Tidligere forsøg og målinger har vist, at der opnås den bedste renseseffekt med et rent filter hvor der ikke er belægninger på hverken udladertråde eller opsamler skiver. Over tid reduceres effekten lidt, indtil der er balance mellem de belægninger der afsættes og hvad rensesystemet fjerner fra tråde og skiver. Det er derfor vigtigt at det udviklede system er i stand til automatisk at holde støvbelægningerne på et så lavt niveau, at den ønskede røgrensningseffekt opretholdes.

Efter langtidstesten på 3 måneder blev anlægget stoppet og filtret åbnet for nærmere inspektion. Foto 3 viser vitale dele af filtret. Trådene, pladerne og isolatorerne så meget fine ud og kun med minimale belægninger. På indgangssiden i filtret var trådene med belægning maksimalt ca. 6 mm tykke, og det ser ud til, at støvet ind imellem brækker af i større stykker. I filtrets udgangsside var trådene næsten helt fri for belægninger. Der var en vis opbygning af støv i hjørnet under skraberne samt i bunden af røggassen på indgangssiden. Der var dog ingen af stederne ophobninger som gav anledning til driftsproblemer.

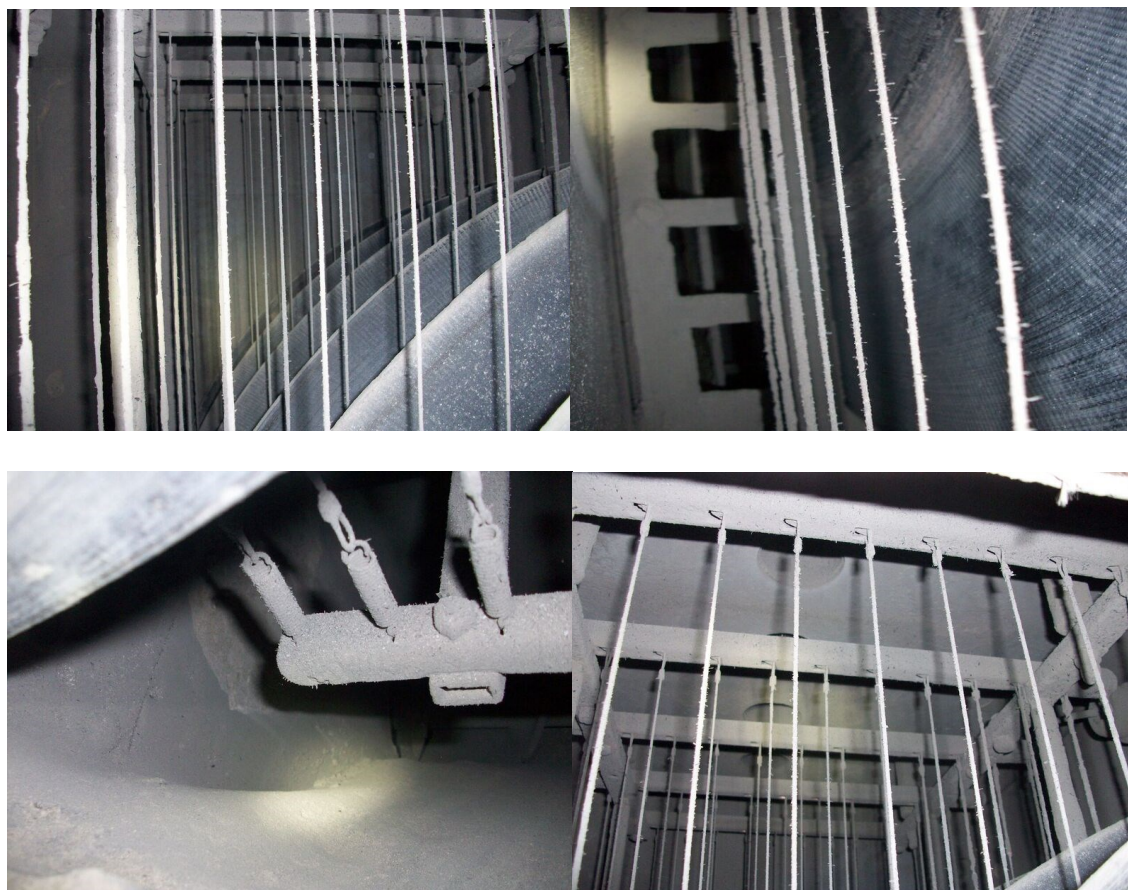


Foto 3. Elektrofiltret efter 3 måneders drift med kontinuerlig halmfyring. De opbyggede støvbelægninger gav ikke anledning til driftsproblemer.

Resultater fra målinger med røg fra hvedehalm efter de 3 måneders drift er vist i tabel 4.

Tabel 4. Test af renseseffekt med endelig prototype filter tilsluttet Reka 200kW biomassekedel, hvedehalm.

EMISSIONSMÅLINGER												
DATO:		21-03-2017		KEDEL:		REKA 200 kW						
Barometer:		997 mbar		BRÆNDSEL:		Hvedehalm		Bem.: Røgt: 220°, 24 kV / 24 mA				
MÅLEVÆRDIER - RÅGAS			STØVEMISSION				RENGAS			STØVEMISSION		
Start kl.:	Stop kl.:	Gasmåler	O2 (ABB)	Filter	mg/nm3	mg/nm3	Gasmåler	O2 (Sybron)	Filter	mg/nm3	mg/nm3	Effekt
		m3	%	mg	(målt)	(10% ilt)	m3	%	mg	(målt)	(10% ilt)	%
10:00	11:00	0.411	10.6	254.9	666	707	2.004	11.4	49.4	26	30	95.7
11:08	12:08	0.422	11.2	225.8	575	643	1.943	11.9	44.5	25	30	95.4
12:17	13:16	0.408	11.0	206	542	599	1.923	11.8	34.3	19	23	96.2

Som forventet var røgrensningseffekten lidt dårligere end med et nyt rent filter, men der kunne opretholdes en renseseffekt på over 95 procent. Den målte støv emission var mellem 19 og 26 mg støv pr. normal-m³ røggas. Elektrofiltret er således i stand til at reducere støv emissionen fra et 200 kW kontinuerligt halmfyringsanlæg så det kommende lovkrav på 40 mg støv pr. normal-m³ røggas overholdes.

Resultater fra målinger med røg fra flis efter de 3 måneders drift er vist i tabel 5. I forhold til de tidligere opnåede resultater med forsøgsfiltret og den tidligere anvendte kedel var resultaterne forbavsende dårlige. I måleperioden har chockblasterne kun skudt én gang for hver 1-times måling, så det er næppe på grund af løsreven støv i forbindelse med rensning af filtret der er årsag til de forholdsvis høje værdier for støv emission. Den målte støv emission er dog væsentlig under det kommende lovkrav på 40 mg støv pr. normal-m³ røggas. Som det fremgår af tabel 5 var den gennemsnitlige emission 22 mg støv pr. normal-m³ røggas og den gennemsnitlige renseseffekt 90 procent.

Tabel 5. Test af renseseffekt med endelig prototype filter tilsluttet Reka 200kW biomassekedel, flis.

EMISSIONSMÅLINGER												
DATO:		20-03-2017		KEDEL:		REKA 200 kW						
Barometer:		1000 mbar		BRÆNDSEL:		Flis		Bem.: Røgt: 200°, 25 kV / 25 mA				
MÅLEVÆRDIER - RÅGAS			STØVEMISSION				RENGAS			STØVEMISSION		
Start kl.:	Stop kl.:	Gasmåler	O2 (ABB)	Filter	mg/nm3	mg/nm3	Gasmåler	O2 (Sybron)	Filter	mg/nm3	mg/nm3	Effekt
		m3	%	mg	(målt)	(10% ilt)	m3	%	mg	(målt)	(10% ilt)	%
11:40	12:40	0.938	10.8	178.4	204	219	2.116	11.9	26.4	13	16	92.7
12:38	13:48	0.742	11.8	137.9	199	237	1.959	12.7	36.9	20	27	88.8
13:56	14:56	0.723	10.9	132.5	196	214	1.981	11.8	35.4	19	23	89.3

En mulig forklaring på den lidt dårligere renseseffekt kan være, at denne nye biomassekedel med vandret indblæsning af sekundær luften ikke er optimal til at brænde flis. Det var således ikke muligt at opnå en konstant forbrænding med en iltprocent på ca. 7. Ved testen skiftede forbrændingen hele tiden mellem perioder med luftoverskud, hvor flismængden hobede op i fyrboksen, og perioder med luftunderskud, hvor den ophobede flis brændte af i hurtigt tempo. Det udviklede kortvarigt sorte sodpartikler, som elektrofilteret er dårlig til at opfange. Det kan også være årsag til, at støvmængden i rågassen er forholdsvis stor i sammenligning med de tidligere målinger med flis, og hvad der kendes fra andre flisfyr. Når, der som ved

den aktuelle kedel, ikke kan blæse koncentreret ned i flisen, bliver der ikke en zone med meget høj temperatur, som kan brænde røggasserne af. En sådan varm zone er normalt nødvendig i en kedel uden udmuring.

I arbejdsplanen 3 er der også inkluderet konstruktion og målinger på et større anlæg monteret i forbindelse med et kommercielt biomasse fyringsanlæg. Her har REKA leveret et 1 MW kedelanlæg baseret på halm og flisfyring til Ulbjerg kraftvarmeværk. Anlægget er forsynet med elektrofilter af typen udviklet i projekts foregående arbejdsplaner. Konstruktionen er baseret på 2 enkeltfiltre i opstillet i serie, således at der opnås stor fleksibilitet i både konstruktion og anvendelse.

Der er gennemført forsøg og målinger med både halm og flis. For flis er der af firmaet ChimneyLab Europe ApS gennemført akkrediterede emissionsmålinger og på den baggrund udstedt et "Emissions Certificate".

Målingerne har vist tilfredsstillende resultater. Der blev målt en renseseffekt på ca. 98% med et filter i drift. Der var dog en del opstartsproblemer med koldt filter i form af overslag/overgang på isolatorrørene i bunden af filtret. Fugtig flis, lav røgtemperatur (115 °C) og et forholdsvis stort indhold af store sorte partikler i røgen kan sandsynligvis være årsag opstarts problemerne. For at løse problemerne med fugt og overslag blive fremstillet og monteret nye tråd-rammer til filtrene. De nye tråd-rammer er konstrueret og monteres således at de hænger ned fra loftet i filteret på traditionel vis.

De akkrediterede målinger er gennemført ved en kedelydelse på 990 kW. Den målte partikel emission PM var 3,8 g/GJ. NOx emission angivet i g/GJ var 102. Emissions certifikatet er vedlagt som bilag 1.

1.6 Utilization of project results

Projekts resultater vil direkte blive anvendt kommercielt, da der markedsføres en teknologisk løsning til rensning af røg fra mindre biomassekedler. Det udviklede elektrofilter er i stand til at sikre at et kontinuerligt fyret halm eller flis-brændselsanlæg kan leve op til skærpede krav til emissioner af partikler som fra 26. januar 2018 også vil være gældende for fyr opstillet i landzone. Herefter må nye anlæg maksimalt udlede 40 mg/m³ røg for automatiske anlæg og 60 mg/m³ for portionsfyrede anlæg. Et halmfyret uden røgrensnings-udstyr kan ikke overholde disse grænseværdier.

Projektdeltager firmaet Reka A/S har startet kommerciel markedsføring af elektrofilter. Bl.a. via firmaets hjemmeside tilbydes der røgrensningsløsninger med elektrofilter. Der arbejdes i øjeblikket på at færdiggøre markedsføringsmateriale til såvel det danske som europæiske marked.

Projektdeltager firmaet Magnussen & Speiermann A/S har på baggrund af projektet fået et produkt gjort klar inden for 2 nye markeder. 1 – Partikel fjernelse i industrielle processor. De første test er fortaget med en ny kunde. 2 – Partikel fjernelse i kemisk proces. De første test forventes udført i sommeren 2017.

Begge produkter har internationalt kunde potentiale, og vil blive solgt internationalt med partnere der allerede er aktive inden for de pågældende forretnings områder.

For Reka A/S er næste skridt at firmaet vil forsøge at bruge filtret til andre formål end støvrensning fra biobrændselskedler.

Magnussen & Speiermann A/S vil baseret på den udviklede nye styring at tilføjet en proces neutral algoritme som uafhængigt af processor kan optimere hvilken som helst proces auto-

matisk. Aarhus Universitet, Institut for Ingeniørvidenskab, vil udnytte den opnåede viden til fortsat udviklings- og forskningsarbejde indenfor området.

Der er af firmaet Reka A/S indsendt en patentansøgning over essentielle dele af det udviklede elektrofilter (Både dansk og internationalt patent).

Det forventes, at et færdigudviklet elektrofilter umiddelbart vil kunne fungere sammen med andre biobrændelskedler på 100 – 400 kW. Ved større kedler kan der evt. benyttes to eller flere filtre. Derved kan støvemissionen fra disse kedler reduceres med 90 % eller mere, hvilket både vil afhjælpe problemer med sodnedfald i nærmiljøet og nedsætte mængden af fin-kornet støv i den omgivende atmosfære. Hvis røgen fra halmfyr kan renses effektivt for støv, vil halmfyr kunne få en større udbredelse i Danmark og resten af Europa, hvor grænseværdierne for støv hidtil har blokeret for disse kedler. Derved vil fossile brændsler kunne erstattes af biobrændsler, hvilket vil reducere den samlede CO₂-emission. Nærværende elektrofilter vil nok være for dyrt for små kedler under ca. 100 kW, men på lidt længere sigt vil det sandsynligvis være muligt nedskalere denne type elektrofilter til også at kunne fungere sammen med en brændeovn eller en villakedel. Det vil i så fald være en stor gevinst for luftkvaliteten i villakvartererne.

1.7 Project conclusion and perspective

Der er i projektet udviklet et elektrofilter til et kontinuerligt fyret 200kW biomassefyr. Basis filtret er konstrueret til kedler med automatisk indfyring af halm eller flis. Resultater har vist, at filtret er i stand til at rense røg med en effektivitet på op til 98% for halmfyring og op til 99% for flisfyring. Elektrofiltret er i stand til at reducere støv emissionen fra kontinuerligt fyrede halm- eller flis-fyrianslæg så det kommende lovkrav på 40 mg støv pr. normal-m³ røggas overholdes.

Filtret er klar til kommerciel markedsføring, og formålet med projektet, som var at udvikle en effektiv og økonomisk løsning på rensning af røg fra biomassefyrede kedler – primært halm og flis er således opfyldt.

Når røgen fra biomassefyr kan renses effektivt for støv, vil træ, flis og specielt halmfyr kunne få en større udbredelse i Danmark og resten af Europa, hvor grænseværdierne for støv hidtil har blokeret for disse kedler. Teknologien vil således på længere sigt kunne bidrage til øget anvendelse af biomasse i stedet for fossilt brændsel og dermed reducere CO₂-udledning.

Annex

Relevant links

<https://www.reka.com/da/>

<http://www.speiermann.com/>

Bilag 1. Emissions Certificate

Bilag 2. Bedre styr på støvet fra halm- og flisfyr (Artikel)

Bilag 3. Less dust in flue gas from straw and wood-fired boilers (Artikel)

Bilag 4. Development of electrostatic precipitators for small biomass-fired boilers (Videnskabelig publication)

Bilag 5. Development of electrostatic precipitators for small biomass-fired boilers (Poster)

Bilag 6. Nyt elektrofilter kan fjerne 98-99 procent af støvet fra halmrøg (Artikel)

Bilag 7. Maskinfabrik og Universitet har fået styr på røgen fra halmfyr (Artikel)

