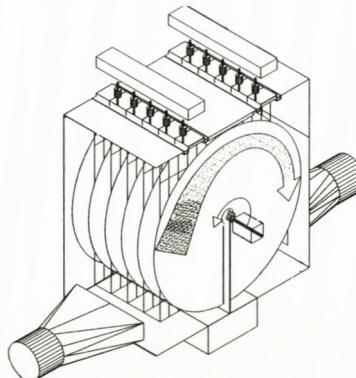




DJF rapport

December 1999

Nr. 20 • Markbrug



Jens Kristian Kristensen

Røgrensning på mindre halmkedler

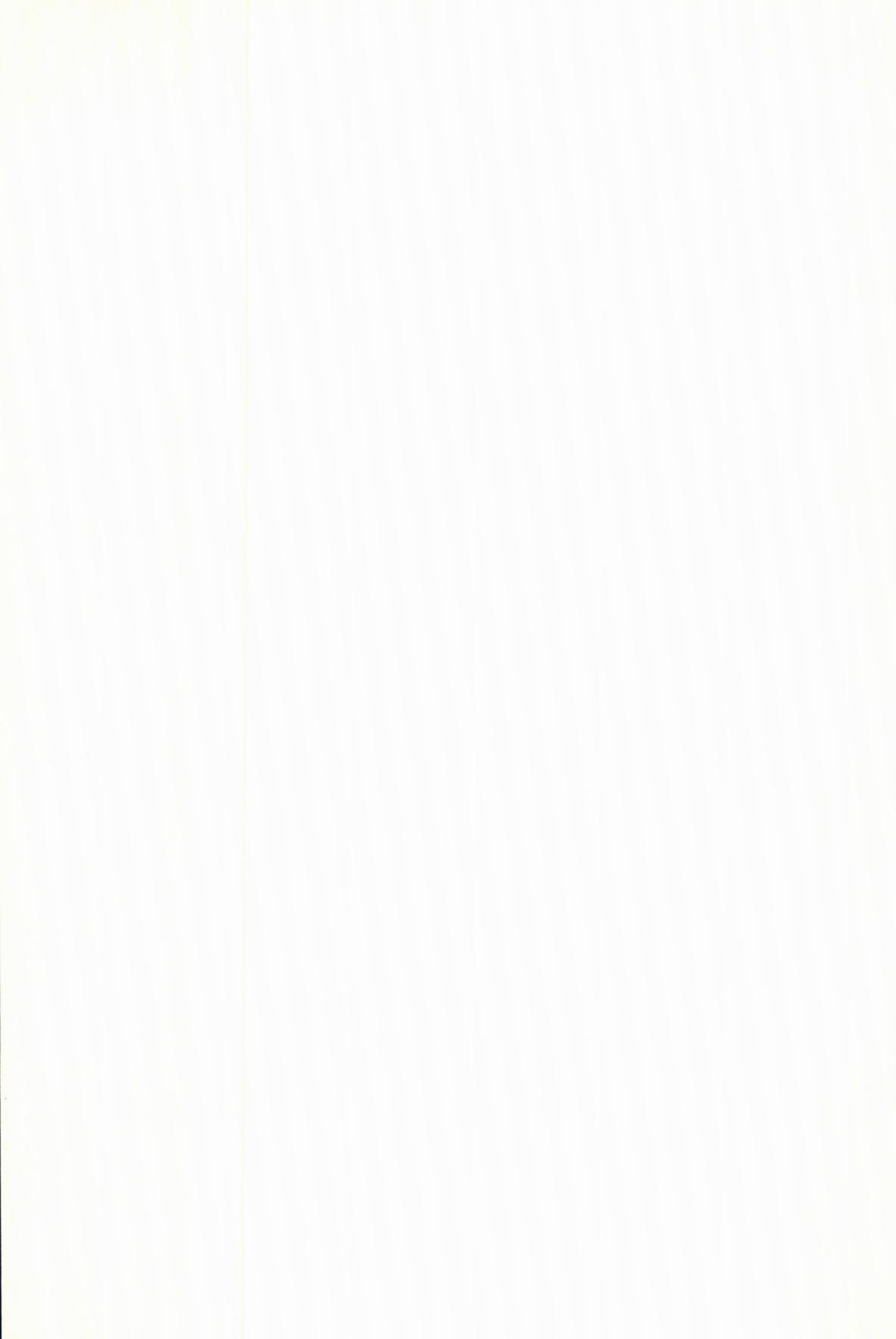
Elektrofilter

Smoke purification for small straw boilers

Electrostatic precipitator

Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri

Danmarks JordbruksForskning



Røgrentning på mindre halmkedler

Elektrofilter

Jens Kristian Kristensen
Afdeling for Jordbrugsteknik
Postboks 536
DK-8700 Horsens

DJF rapport Markbrug nr. 20 • december 1999

Udgivelse: Danmarks JordbrugsForskning Tlf. 89 99 19 00
Forskningscenter Foulum Fax 89 99 19 19
Postboks 50
8830 Tjele

Løssalg:	t.o.m. 50 sider	50,- kr.
(incl. moms)	t.o.m. 100 sider	75,- kr.
	over 100 sider	100,- kr.

Abonnement: Afhænger af antallet af tilsendte rapporter,
men svarer til 75% af løssalgsprisen.



Indholdsfortegnelse

Sammendrag	5
Summary	5
Indledning	7
Emission fra halmfyr	7
Projektforløb.....	7
Elektrofilterets virkemåde.....	9
Opbygning og funktion	9
Dimensionering af filter	11
Prototype	12
Opbygning.....	12
Strømforsyning.....	13
Prøvekørsel med halm og flis	14
Måleprogram med prototype	16
Virkningsgrad i forhold til røgtemperatur	16
Langtidstest	17
Diskussion	18
Videreudvikling.....	18
Økonomi.....	18
Konklusion	18
Litteratur.....	20
Bilag 1	

Contents

Summary in Danish.....	5
Summary	5
Introduction	7
Emission from straw boilers.....	7
Project progress	7
Mode of operation of the electrostatic precipitator.....	9
Construction and function	9
Dimensioning of filter	11
Prototype	12
Construction	12
Electricity supply.....	13
Trial run of boiler with straw and chips	14
Measuring program with prototype	16
Efficiency in proportion to smoke temperature.....	16
Long-term test	17
Discussion	18
Further development	18
Economy.....	18
Conclusion.....	18
References	20
Appendix 1	

Sammendrag

Ved forbrænding af halm emitteres forholdsvis meget støv fra skorstenen, sammenlignet med andre biobrændsler. Støvet består af meget små partikler, som ikke kan udskilles i en cyklon. Støvet kan udskilles i posefiltre eller scrubber, men begge typer er dyre i anskaffelse og drift, og derfor ikke egnede til mindre halmkedler.

Et elektrofilter har lave driftsomkostninger, men findes ikke i størrelser, beregnet til mindre halmkedler. Målet med nærværende projekt har været at udvikle en prototype på et prisbilligt elektrofilter til mindre halmkedler.

Et elektrofilters funktion er meget afhængig af støvets elektriske egenskaber. Støv fra halmrøg har generelt dårlige elektriske egenskaber og er derfor vanskelig at frarende i et traditionelt elektrofilter.

Driftsproblemerne skyldes primært en dårlig elektrisk ledningsevne i det afsatte støv på opsamlerpladerne, og det har derfor været nødvendigt at udvikle et specielt skrabsystem til at renholde opsamlerpladerne på prototypen.

Prototypen kan frarende 97-99% af støvet i halmrøg og over 99% af støvet i flisrøg. Virkningsgraden er uafhængig af røgtemperaturen.

Effektbehovet til drift af filteret er ca. 0,6 kW, svarende til 0,6% af kedeleffekten.

Ved kontinuerlig drift afsættes støv på udladertrådene, hvorved virkningsgraden falder – især ved fyring med gul halm. Udladertrådene bør derfor bankes regelmæssigt for at opretholde en høj virkningsgrad.

Det er nødvendigt med en vis videreudvikling af filteret, for at det kan blive helt produktionsmodent.

Salgsprisen for en kommercial udgave af filteret forventes at blive ca. 18% af anlægsprisen, inkl. filter.

Summary

The combustion of straw will result in a relatively higher emission of dust from the chimney than what will be seen on combustion of other types of biofuels. The dust will consist of very small particles which cannot be separated in a cyclone. Fabric filters or scrubbers may be used for separation of the dust particles, but they will both be costly in purchase as well as in management, and therefore, they are not considered suitable for small straw boilers.

The operating costs of electrostatic precipitators are low, but electrostatic precipitators are not available in sizes suitable for small straw boilers. The objective of the described project has been to develop a prototype of low-cost electrostatic precipitators for use in small straw boilers.

The function of an electrostatic precipitator is highly dependent on the electric properties of the dust. In general, the electric properties of dust from the smoke from combusted straw are poor, thus making it difficult to separate dust particles from smoke in a conventional electrostatic precipitator.

Operational problems will primarily occur due to poor electric conductivity of the dust which is deposited on the plate collectors. A special scraping system for purifying the plate collectors of the prototype was therefore developed.

The prototype will enable separation of 97-99% of the dust particles in smoke from combusted straw. The obtained efficiency will be independent of the temperature of the smoke.

A power requirement of approx. 0.6%, corresponding to 0.6% of the boiler output, is needed for the filter to function satisfactory.

Continuous operation of the electrostatic precipitator will lead to deposition of dust particles on the discharge wires, which again will lead to reductions in efficiency – especially if yellow straw is used for combustion. The discharge wires should therefore be rapped at regular intervals in order to maintain a high efficiency.

For the filter to become suitable for production, further development is needed.

A sales price of 18% of the initial price, filter included, is expected for a commercial version of the filter.

Indledning

Ved forbrænding af halm i mindre kedler er støvemissionen meget større end for andre bio-brænslere, og der er i tidens løb gjort mange tiltag for at nedbringe denne. Opmærksomheden har herunder især været rettet mod forskellige scrubber-systemer, hvor støvet frarenses ved hjælp af vand.

På Forskningscenter Bygholm (FCB) blev der i 1994 udviklet en scrubber, som kunne frarene 85-90% af støvet, men scrubberen krævede en kraftig røgblæser for at fungere, hvilket resulterede i et forholdsvis stort energiforbrug. Eftersom det frarensede støv blev opslemmet i vand, fremkom der desuden et surt og aggressivt slamprodukt, som var vanskelig at bortlede på forsvarlig vis. Udviklingsprojektet er beskrevet i FCB-Beretning, 61, 1995.

Som forudsætning for at arbejde videre med røgrensing på mindre kedler ved FCB var der derfor enighed om, at et røgfilter skulle have lave driftsomkostninger, samt at det skulle aflevere det frarensede støv i tør tilstand. Ud fra disse to kriterier er det elektrostatiske filterprincip valgt.

Nærværende udviklingsprojekt er udført med FCB som projektleder i samarbejde med Maskinfabrikken REKA A/S og dk-TEKNIK og støttet økonomisk af Energistyrelsen.

Som resultat af projektet er der opbygget en prototype af et elektrofilter med roterende op-samlerplader. Elektrofilteret er dimensioneret for en halmkedel med en afgiven effekt på 100 kW.

Emission fra halmfyr

Ud over uforbrændte gasarter, som kulalte (CO) og forskellige kulbrinter, emitteres der normalt store mængder støv ved forbrænding af halm. Størstedelen af støvet består af alkalisalte, som forefindes i halmen på høsttidspunktet, og som friges ved forbrændingen i form af et hvidt støv med meget små partikler. Diameteren er i størrelsesordenen 1μ , hvilket betyder, at partiklerne i praksis ikke kan udskilles i en cyklon.

På store halmfyrede kedler, som eksempelvis anvendes på varmeværker, benyttes normalt posefiltre til at rense røgen for støv, men denne løsning er forholdsvis dyr at benytte på små halmkedler. Desuden er røggassens temperatur på små halmkedler ofte højere, end filterposerne kan tåle, medmindre der benyttes meget dyre filterposer af teflon.

På nogle få halmfyrede varmeværker benyttes traditionelle elektrofiltre til at rense røgen for støv. Disse elektrofiltre er meget dyre og findes kun i store udgaver, beregnet for kedler med en ydelse på flere MW. Ved flere af disse værker har det desuden vist sig meget problematisk at rense halmrøgen tilfredsstillende, hvilket primært skyldes, at støvet fra halmrøg har en meget lav elektrisk ledningsevne.

Projektfører

I projektperioden er der opbygget to forskellige forsøgsmodeller og én prototype af elektrofilteret, samt konstrueret tre forskellige højspændingsforsyninger hertil.

Alle filtermodeller er testet på en 100 kW halmkedel med automatisk indfyring. Kedlen afgav i gennemsnit $0,09 \text{ m}^3$ røg pr. sekund med et iltindhold på ca. 0,8%. CO-indholdet i røgen var med den benyttede halmkvalitet på 0,1-0,2%.

Den første forsøgsmodel havde et pladeareal på $5,5 \text{ m}^2$, fordelt på tre parallelle kanaler med en længde på 1,2 m. Filtervirkningsgraden var på over 95%, såfremt røgen var nedkølet til 110°C , og pladerne var rengjorte. Ved varm røg eller ved et lille støvlag på pladerne faldt virkningsgraden til ca. 50%.

Ved den næste forsøgsmodel blev pladearealet fordoblet til 12 m^2 i én lang kanal på 7,5 m, idet der i litteraturen anbefales en vis minimumsrøghastighed, som bedre kunne opnås i et langt, smalt filter end i et kort, bredt filter. Uanset det forøgede pladeareal, viste forsøgsmodel nr. 2 dog ikke en bedre filtervirkningsgrad end nr. 1.

Fælles for begge forsøgsmodeller var, at virkningsgraden var god, såfremt pladerne var rengjorte. Men så snart der ved rensning af røgen var opbygget et tyndt støvlag på pladerne, faldt virkningsgraden drastisk. Det blev derfor besluttet at opbygge en prototype med roterende plader, som løbende blev skrabet rene ved hjælp af tynde stålklinger. Denne rapport beskriver opbygningen og funktionen af prototypen, samt opnåede måleresultater.

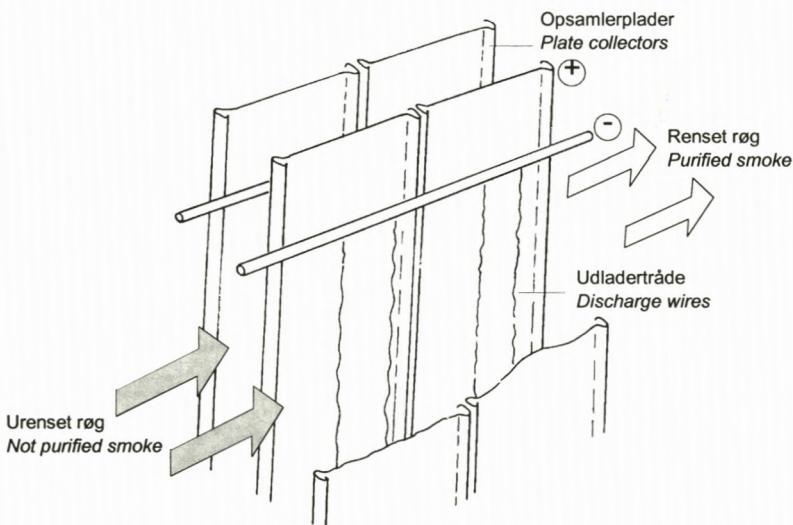
Sideløbende med opbygningen af de forskellige forsøgsmodeller, er der udviklet tre strømsyninger med forskellige former for pulserende højspænding, idet der var forventning om, at filtervirkningsgraden kunne forbedres ved at ændre på højspændingen. Dette kunne dog ikke konstateres.

Elektrofilterets virkemåde

Et elektrofilter består i principippet af to henholdsvis plus- og minuselektroder, som er forbundet med en højspændingskilde. Spændingsformen er normalt en pulserende jævnspænding, som er fremkommet ved ensretning af enfaset vekselspænding. Spændingsniveauet er 20-100 kV, afhængigt af filterets størrelse og uformning.

Opbygning og funktion

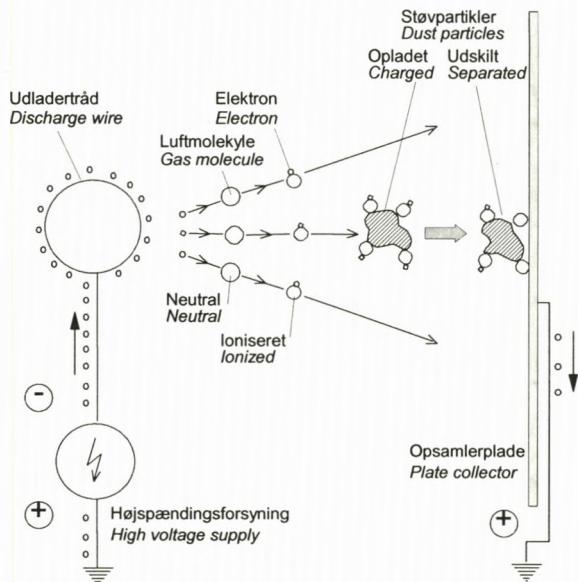
Elektrofilterets pluselektrode består som regel af store stålplader, som er ophængt med en indbyrdes afstand på 100-400 mm, hvorved der dannes parallelle kanaler mellem pladerne. Røgen ledes i en vandret strøm i disse kanaler. I det følgende benævnes plus-elektroderne som "opsamlerplader". Af sikkerhedsgrunde er opsamlerpladerne altid jordbundne, se figur 1, (Nielsen, 1995).



Figur 1. Principskitse af et traditionelt elektrofilter. Schematic diagram of traditional electrostatic precipitator

Minuselektroderne kan enten være tynde tråde, fjedre eller stænger med pigge, som er op-hængt midt mellem opsamlerpladerne. I det følgende benævnes minuselektroderne som "udladertråde".

Når spændingen mellem udladertrådene og opsamlerpladerne er tilstrækkelig høj, vil udladertrådene begynde at udsende elektroner, som straks bevæger sig over mod de positive opsamlerplader. Dette kaldes "korona" opladning. Undervejs vil elektronerne ionisere luftmolekylerne, som derefter vil blive tiltrukket af de neutrale støvpartikler, hvorved disse bliver negativt ladede og tiltrukket af opsamlerpladerne, se figur 2 (VDI3678).



Figur 2. Renseprincip i et elektrofilter. Purifying principle of electrostatic precipitator

Støvpartiklerne fra røgen vil efterhånden sætte sig som et lag på opsamlerpladerne. Lagtykkelsen vil være størst ved indløbet og aftage eksponentielt i filterets længderetning. Almindeligvis fjernes støvlaget efterfølgende fra opsamlerpladerne ved at banke på disse med mekaniske hamre eller vibratører. Derved løsnes støvet, og det falder som store klumper ned i støvtræte under opsamlerpladerne.

Eftersom den elektriske strøm går fra udladertrådene over mod opsamlerpladerne, er det nødvendigt med en vis ledningsevne i det opfangede støv, hvis processen skal fortsætte uhindret med støvbelagte opsamlerplader.

Ledningsevnen i støvet udtrykkes oftest ved den specifikke modstand, eller ”resistivitet”, som kan bestemmes eksperimentelt ved at måle modstanden i en prøve af støvet. Enheden er $\Omega \times \text{cm}$, som svarer til den målte modstand i en terning på $1 \times 1 \times 1 \text{ cm}$ af støvet. For at opnå en stabil funktion skal resistiviteten helst ligge mellem 10^7 og $10^{11} \Omega \times \text{cm}$. Hvis resistiviteten i det opfangede støv er over $10^{12} \Omega \times \text{cm}$, hvilket ofte er tilfældet med støv fra halmrøg, vil der opstå et forholdsvis stort spændingsfald over støvlaget på opsamlerpladerne (Oglesby & Nichols, 1977).

Hvis dette spændingsfald kommer over et vist niveau, vil luftmolekylerne mellem partiklerne i støvlaget ioniseres, og støvlaget vil begynde at udsende positive ioner, som søger over mod udladertrådene og neutraliserer de negative ioner. Derved stiger koronastrømmen drastisk, og filtervirkningsgraden falder katastrofalt. Dette fænomen kaldes ”tilbagestråling” og er et almindeligt kendt problem for elektrofiltre. På store, kulfyrede værker kan problemet reduceres ved løbende at til sætte vand eller kemiske forbindelser til røggassen, som forbedrer støvets ledningsevne. På mindre halmkedler er dette ikke realistisk.

Da tilbagestråling viste sig at være det væsentligste problem ved de to første forsøgsmodeller i dette projekt, måtte lagtykkelsen for støvlaget på opsamlerpladerne reduceres til et minimum. For at opnå dette er der udviklet et specielt skrabsystem, som sikrer, at opsamlerpladerne altid er tilstrækkeligt rengjorte.

Dimensionering af filter

De vigtigste parametre ved dimensioneringen af et elektrofilter er det ”specifikke filterareal” (f) og støvparkikernes ”vandringshastighed” (ω), som er et teoretisk mål for partikernes gennemsnitlige hastighed mellem udladertråde og opsamlerplader på tværs af røggasretningen. Vandningshastigheden kan ikke måles direkte, men må beregnes ud fra elektrofilterets data. Vandningshastigheden er proportional med partikernes ladning (q) og højspændingens middelværdi (U_a), (Nielsen, 1995), dvs.:

$$\omega = q \times U_a \times k_1$$

Ved opladning med pulserende jævnspænding oplades partiklerne i forhold til spændingens spidsværdi. Det vil sige, at (q) i ovenstående formel er proportional med højspændingens spidsværdi (U_p).

Formlen kan derfor omskrives til:

$$\omega = U_p \times U_a \times k_2$$

- ω = Vandningshastigheden (m/s)
- U_a = Højspændingens middelværdi (kV)
- U_p = Højspændingens spidsværdi (kV)
- q = Partikernes ladning (C)
- k_1 & k_2 = Anlægsbetingede konstanter

Ved en pulserende jævnspænding vil spidsværdien normalt ændre sig i samme forhold som gennemsnitsspændingen. Det betyder i praksis, at vandringshastigheden stiger med kvadratet på spændingshøjden på højspændingen.

Det specifikke filterareal (f) er lig med arealet af opsamlerpladerne i forhold til røgflowet i (m^3/s). Det vil sige, at enheden for (f) er: $m^2/(m^3/s)$. Det specifikke filterareal på eksisterende elektrofiltre er normalt på $50-150\ m^2/(m^3/s)$, primært afhængigt af støvets egenskaber mht. partikelstørrelse og resistivitet. På prototypen i dette projekt var det specifikke filterareal ca. $120\ m^2/(m^3/s)$.

En teoretisk dimensionering af et elektrofilter kræver et detaljeret kendskab til støvets egenskaber, hvilket normalt ikke er muligt i praksis. Men, hvis filtervirkningsgraden ved et bestemt specifikt filterareal er kendt, kan virkningsgraden ved ændringer i filterarealet beregnes ud fra Deutsch-Andersons formel (VDI 3678):

$$\eta = 1 - e^{-(\omega \times f)}$$

η = Filtervirkningsgrad (decimaltal)

ω = Vandningshastigheden (m/s)

f = Specifik filterareal ($m^2/(m^3/s)$)

Denne formel gælder dog kun for støv med en ensartet partikelstørrelse og benyttes derfor ikke så meget i praksis.

For støv med ikke ensartet partikelstørrelse, hvilket er typisk for støv i røggas, benyttes oftest en af Matts & Öhnfeldt modifikation af Deutsch-Andersons formel (Riehle & Löffler, 1990):

$$\eta = 1 - e^{-(\omega_k * f)^k}$$

ω_k = Effektiv vandringshastighed (m/s)

k = En anlægsbetinget eksponent (typisk 0,5-0,7)

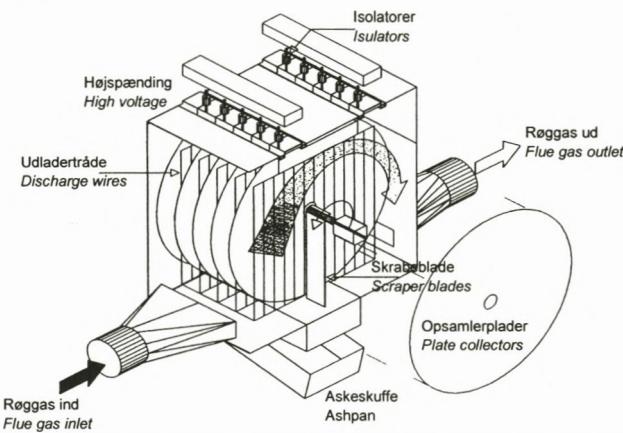
I denne formel betegner ω_k den "effektive vandringshastighed", som er den gennemsnitlige vandringshastighed for støv med ikke-ensartet partikelstørrelse. En forudsætning for at kunne benytte formlen er dog, at hele filterarealet udnyttes effektivt, og at der ikke optræder tilbagestråling på noget af arealet.

Prototype

Efter prøvekørslen med forsøgsmodel nr. 2 stod det klart, at opsamlerpladerne ikke ville kunne renholdes ved hjælp af en traditionel bankemekanisme, idet den skadelige tilbagestråling allerede opstod ved støvlag på langt under 1 mm tykkelse. Efter en del overvejelser vedr. forskellige skrabe/børstesystemer, var der enighed om at opbygge en prototype med roterende, skiveformede opsamlerplader, som hele tiden blev holdt rene ved hjælp af fastmonterede skrabere.

Opbygning

Opsamlerpladerne består af seks stålskiver med en diameter på 1,2 m. Skiverne er monteret på en fælles vandret aksel med en indbyrdes afstand på 130 mm. Der fremkommer derved fem parallelle kanaler med en kanalbredde på 130 mm. Røgen ledes ind forneden i den ene side, går rundt i filterhuset og ud forneden i modsatte side, idet de fastmonterede skrabere hindrer røgen i at passere lige gennem filteret, se figur 3.



Figur 3. Prototype af elektrofilter med roterende opsamlerplader. Prototype of electrostatic precipitator with rotating plate collector

Ved valg af kanalbredde er der taget hensyn til, at filteret skal være så kompakt og så billigt, som muligt. Ved større kanalbredde, som benyttes på store elektrofiltre, ville filterhuset blive bredere. Desuden skulle spændingen på udladertrådene være højere for at opnå den samme feltstyrke pr. mm, hvilket sandsynligvis ville gøre strømforsyningen dyrere og stille større krav til isolatorer mv. Ved evt. mindre kanalbredde vil selv små unøjagtigheder i udformningen og placeringen af udladertrådene let kunne give anledning til strømoverslag.

Skiverne roteres rundt med ca. 0,5 o/min. ved hjælp at en lille gearmotor på bæreakslen. For at undgå, at skiverne ”slår sig” ved opvarmningen af røgen, er der for hver skive monteret tre styreruller rundt langs periferien.

Under bæreakslen er der anbragt lodretstående skræbeblade af tyndt fjederstål, som ved skivernes rotation skraber det opfangede støv af. Samtidig lukker skræbebladene af for kanalerne under bæreakslen, så røgen tvinges rundt i filterhuset. Det afskrabede støv falder ned i en støvskuffe under filterhuset.

Midt mellem hver skive er der ophængt en trådramme, hvori der er udspændt 18 stk. 0,8 mm tykke udladertråde af rustfast stål. Trådene holdes stramme ved hjælp af en fæder i hver tråd. Trådrammen hænger frit i to isolatorer i filterhusets loft.

Ved prøverne var filterhuset isoleret med 50 mm mineraluld. Fremover vil filterhuset blive isoleret med 100 mm mineraluld.

Strømforsyning

Udladertrådene forsynes med højspænding fra en strømforsyning, anbragt uden på filterhuset. Spændingsformen er en pulserende, negativ jævnspænding. Spændingen kan justeres fra 0-35 kV, mens pulsfrekvensen kan justeres fra 0-1000 Hz. Strømforbruget er normalt 10-20 mA på højspændingssiden.

Ved at vælge en pulserende jævnspænding, frem for en udglattet, nedsættes risikoen for længerevarende overslag mellem udladertråde og opsamlerplader, idet spændingen falder forholdsvis langt ned mellem hver puls. Desuden nedsættes filterets totale effektbehov, når der kun går strøm en del af tiden.

Som højspændingskilde blev der som udgangspunkt benyttet en manuelt betjent strømforsyning, og ud fra erfaringerne med denne blev der udviklet en fuldautomatisk strømforsyning.

Prøvekørsel med halm og flis

Under prøvekørslen viste det sig hurtigt, at skiverne "slog sig", når de blev varme, hvorfor det blev nødvendigt at montere styreruller på periferien. Desuden kunne nogle af trådrammerne komme i svingninger, hvilket blev løst ved at koble alle fem trådrammer sammen for neden.

Indledningsvis blev renseevnen vurderet visuelt ved at gennemlyse røgstrømmen fra filteret med en kraftig lampe. Det kunne herved hurtigt konstateres, at renseevnen faldt en lille smule i løbet af den første time efter hver opstart, hvorefter den holdt sig konstant dagen igennem. Hvis rotationen af opsamlerpladerne forsøgsvis blev stoppet, faldt renseevnen meget i løbet af en halv time. Når pladerne igen blev sat i rotation (= skrabet rene), steg renseevnen til samme niveau som tidligere i løbet af et par minutter.

Under prøvekørslen blev pulsfrekvensen på højspændingen varieret fra 100-1000 Hz, uden at der kunne iagttages forskel på renseevnen. Det samme var tilfældet, hvis der i stedet for pulserende jævnspænding blev benyttet udglattet jævnspænding. Det kunne derfor konkluderes, at spændingsformen ikke var så afgørende, for at et godt resultat kunne opnås.

Under prøvekørslen blev der foretaget en serie målinger med henblik på at undersøge filtervirkningsgraden ved forskellig belastning af filteret både ved forbrænding af halm og af flis. Ved en kedeleffekt på 100 kW blev henholdsvis en, to, tre og fire af kanalerne i filteret afblændet, hvorved belastningen på de resterende kanaler steg tilsvarende. Ved hver indstilling blev filtervirkningsgraden bestemt ved at måle støvkonzcentrationen i røgen henholdsvis før og efter filteret. Hver indstilling blev afprøvet en hel dag, og hver dag blev filtervirkningsgraden bestemt 3 gange i løbet af dagen. Resultatet af målingerne fremgår af tabel 1.

Den indgående røgs temperatur blev holdt konstant på 180°C ved alle målinger. Temperaturen på den udgående røg var da ca. 140°C. Spidsværdien på højspændingen holdtes konstant på ca. 27 kV, uanset filterareal.

Tabel 1. Filtvirkningsgrad for halm og flis ved varierende filterareal. Efficiency of filter for straw and chips at variable filter areas

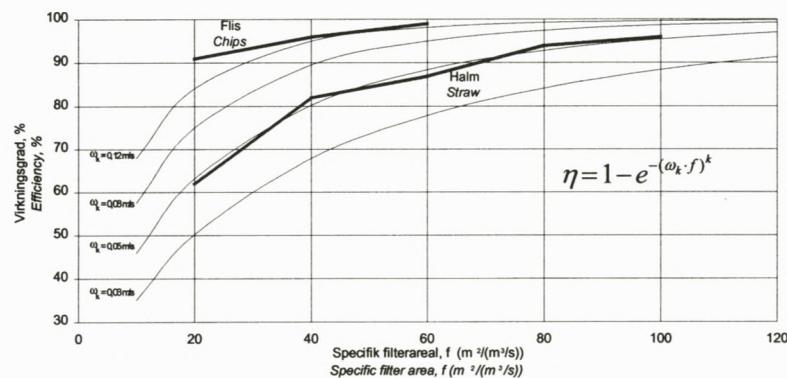
Filterareal Filter area	Gul halm Yellow straw			Flis Chips		
	Rå røg Raw smoke	Renset røg Purified smoke	Virkningsgrad Efficiency	Rå røg Raw smoke	Renset røg Purified smoke	Virkningsgrad Efficiency
	% mg/m ³	mg/m ³	%	mg/m ³	mg/m ³	%
100	701	25	96	106	<1	>99
80	859	50	94	82	<1	>99
60	952	120	87	84	<1	>99
40	992	179	82	63	2	96
20	1006	381	62	81	7	91

$1 \text{ m}^3_n = 1 \text{ m}^3$ tor røg med 10% ilt ved 0°C og 760 mmHg. $1 \text{ m}^3_n = 1 \text{ m}^3$ dry smoke with 10% oxygen at 0°C and 760 mmHg

Det fremgår af tabellen, at ved rensning af halmrøg har filterarealet stor indflydelse på virkningsgraden, men at forbedringen af virkningsgraden er stærkt aftagende ved forøgelse af filterarealet. Således stiger virkningsgraden relativt ca. 32% ved en fordobling af filterarealet fra 20-40%, mens en yderligere fordobling til 80% kun giver en relativ forbedring på 15%.

Ved rensning af flisrøg var virkningsgraden meget høj, selv ved 60% filterareal. Det skyldes sandsynligvis, at partiklerne i flisrøg er meget større og ikke indeholder så mange alkalisalte, som halmrøgspartiklerne.

De målte filtvirkningsgrader (fed kurve), er i figur 4 afbildet i forhold til filterarealet sammen med teoretiske virkningsgrader ved forskellige vandringshastigheder, som er beregnet ud fra den modificerede Deutsch-Angerson formel.



Figur 4. Virkningsgrad i forhold til specifikt filterareal. Efficiency in proportion to specific filter area

Det ses, at de målte virkningsgrader for halm falder godt sammen med de teoretiske virkningsgrader for en vandringshastighed på $0,05 \text{ m/s}$. For flis er vandringshastigheden meget større. Forskellige kilder angiver vandringshastigheder på $0,04-0,2 \text{ m/s}$ som værende normalt

for elektrofiltre på kulfyrede værker. Ved beregning af de teoretiske virkningsgrader er faktoren (k) i Deutsch-Andersons formel sat til 0,7.

Måleprogram med prototype

På baggrund af erfaringerne med de første manuelt betjente strømforsyninger, blev der udviklet en fuldautomatisk strømforsyning med selvregulering af spændingen. Strømforsyningen indstiller automatisk spændingen til det højest mulige, uden forekomst af overslag. Ved et eventuelt overslag nedsættes spændingen således øjeblikkeligt, hvorefter den langsomt øges, til et nyt overslag indtræffer. Højspændingen afgives som korte, energirige pulser med en frekvens på 500 Hz. Den maksimale pulsspænding er 30 kV. Strømforsyningen er tilsluttet almindelig, enfaset 230 V vekselspænding, og dens effektbehov er 300-600 W, afhængigt af temperaturen og støvindholdet i røggassen.

Virkningsgrad i forhold til røgtemperatur

Efter en kort prøvekørsel blev filterets virkningsgrad bestemt ved varierende røgtemperatur for to forskellige halmkvaliteter, henholdsvis "gul" halm og "grå" halm. Gul halm er presset umiddelbart efter mejetærskningen, og grå halm er udvasket af regn på marken inden presning.

Filtervirkningsgraden er ved disse målinger bestemt ud fra samtidige målinger af støvkonzcentrationen i røgen før og efter filteret. Resultatet er vist i tabel 2. De anførte røgtemperaturer er temperaturen på den indgående røg i filteret. Røgtemperaturen faldt 15-35°C gennem filteret på trods af, at det var isoleret med 50 mm mineraluld.

Tabel 2. Filtervirkningsgrad i forhold til røgtemperatur. Filter efficiency in proportion to smoke temperature

Røgtemperatur Smoke temperature °C	Grå halm Grey straw			Gul halm Yellow straw		
	Rå røg Raw smoke	Renset røg Purified smoke	Virkningsgrad Efficiency	Rå røg Raw smoke	Renset røg Purified smoke	Virkningsgrad Efficiency
	mg/m ³ _n	mg/m ³ _n	%	mg/m ³ _n	mg/m ³ _n	%
120	317	4	99	800	20	98
140	303	3	99	841	23	97
160	404	3	99	692	24	97
200	449	4	99	690	8	99

1 m³_n = 1 m³ tør røg med 10% ilt ved 0°C og 760 mmHg. 1 m³_n = 1 m³ dry smoke with 10% oxygen at 0°C and 760 mmHg

Det fremgår af tabellen, at filtervirkningsgraden er bedst ved grå halm, hvilket sandsynligvis skyldes, at indholdet af alkaliske saltet er mindre i røg fra grå halm end i røg fra gul halm, idet disse saltet er kendt for at have dårlige elektriske egenskaber. Det ses også, at røgtemperaturen ikke synes at øve nogen indflydelse på filtervirkningsgraden, hvilket er en klar fordel i forhold til traditionelle elektrofiltre. Her må røgtemperaturen ofte holdes på et ret lavt niveau, hvis elektrofilteret skal kunne fungere. Som nævnt, indsprøjtes der vand i røggassen på nogle anlæg for at sænke temperaturen.

Det væsentligste problem for disse filtre er fænomenet ”tilbagestråling” fra støvlaget på opsamlerpladerne. Dette problem bliver forøget ved stigende røgtemperatur, som følge af fal-dende ledningsevne i det opfangede støv. I nærværende koncept, hvor opsamlerpladerne altid holdes rene, betyder det derfor ikke noget, at ledningsevnen i støvet falder ved stigende tem-peratur.

Filterets strømforbrug på højspændingssiden steg dog med røgtemperaturen fra ca. 10 mA ved 120°C til ca. 16 mA ved 200°C. Det betyder, at højspændingsforsyningen i praksis skal di-mensioneres ud fra den højest forekommende røgtemperatur.

Langtidstest

For at teste driftssikkerheden og eventuelle langtidsvirkninger på filtervirkningsgraden blev der kørt kontinuerligt med anlægget en hel uge. Desværre gav fugtige partier i halmen anled-ning til to driftsstop for kedlens stokersnegl, så den samlede driftstid nåede kun op på 90 ti-mer. Heraf var den længste kontinuerlige periode på 53 timer.

Der blev benyttet ”gul” halm, og filtervirkningsgraden blev bestemt hver dag ved skiftevis at måle støvkonzcentrationen i røggassen før og efter filteret. Desuden blev den opsamlede støv-mængde i støvskuffen under filteret vejet hver dag. Røgtemperaturen holdtes i hele perioden på 200-230°C.

Der blev ikke observeret tekniske problemer med filteret eller strømforsyningen, og der kunne efterfølgende kun konstateres et ubetydeligt slid på skraberbladene. Det skyldes sandsynlig-vis, at der allerede efter få timers drift er opbygget en tynd, hård belægning på opsamlerski-verne. Denne belægning, som ikke opbygges yderligere ved langtidsdrift, bevirket, at skraber-bladene ikke er i direkte kontakt med opsamlerskiverne af stål.

I løbet af ugen faldt filtervirkningsgraden fra ca. 97% den første dag til ca. 80% den sidste dag. Det skyldes, at der efterhånden blev opbygget en tyk støvbelægning på udladertrådene og trådrammerne. Derved kom der flere overslag fra trådrammerne til opsamlerskiverne, hvilket resulterede i, at den maksimale filterspænding automatisk blev reguleret ned fra 30 kV til 23 kV.

Afslutningsvis blev udladertrådene banket rene, hvilket var let at gøre med få slag af en lille hammer. Derved steg filterspændingen efterfølgende til 27 kV, og filtervirkningsgraden steg igen til ca. 96%.

Størstedelen af det opsamlede støv faldt ned i støvskuffen under skraberbladene, men en del af støvet blev aflejret i bunden af filterhuset. Vægten af den totale mængde af opsamlet støv svarede til, at ca. 90% af støvmængden i røgen blev opsamlet i filteret i løbet af de 90 timer.

Diskussion

Det var forventet, at virkningsgraden ville falde ved kontinuerlig drift med gul halm på grund af støvafsstning på udladertrådene. Problemet er også kendt ved traditionelle elektrofiltre, som derfor er forsynet med en bankmekanisme på udladertrådene. Ved fyring med grå halm er støvafsstningen på udladertrådene normalt mindre, mens den praktisk talt ikke forekommer ved fyring med flis.

Videreudvikling

Resultaterne med nærværende prototype er meget lovende, men der vil dog altid kunne foretages forbedringer på filteret med henblik på at forbedre driftssikkerheden. Det drejer sig bl.a. om følgende:

- ❑ Tråddrammerne bør forsynes med en automatisk bankeanordning til at holde udladertrådene rene for støv. Til det formål findes der på markedet en række forskellige banke/vibratormechanismer, som er udviklet til traditionelle elektrofiltre, men som med få ændringer vil kunne benyttes på dette filter
- ❑ Isolatorerne af kunststof bør udskiftes til porcelæn eller glas, da der ved overslag kan dannes forkullede spor, som er elektrisk ledende, i kunststofisolatorerne
- ❑ Fremover bør filteret forsynes med støvskuffer under hele filterbunden
- ❑ Højspændingsforsyningen bør ved opstart af anlægget ikke koble ind, før røgtemperaturen er over ca. 100°C, da der under denne temperatur er risiko for kondens på isolatorerne
- ❑ Opsamlerskiverne skal evt. fremstilles af en anden stålkvalitet, da der efter en stilstandsperiode kan løsnes store rustflager fra pladerne, som er af almindeligt blødt stål. Disse rustflager kan forårsage kortslutning med udladertrådene
- ❑ Styrerullerne ved periferien af skiverne skal fremstilles således, at de ikke kan lukke til med støv
- ❑ Fjedrene til stramning af udladertrådene bør være af rustfast stål
- ❑ Ledopladerne i indløbstragten bør kunne justeres.

Økonomi

En af forudsætningerne for dette projekt var, at et kommersielt elektrofilter maksimalt måtte koste 20% af fyringsanlæggets samlede pris, inkl. filter. Desuden måtte filterets effektbehov maksimalt være 1% af kedeleffekten.

Listeprisen for et 100 kW automatisk halmfyringsanlæg er ca. 275.000 kr., ekskl. moms, og ifølge Maskinfabrikken REKA vil et kommersielt elektrofilter kunne sælges til en pris på ca. 58.500 kr., ekskl. moms, eller ca. 18% af anlæggets samlede pris.

Det samlede effektbehov til strømforsyningen og gearmotoren på elektrofilteret var i gennemsnit ca. 0,6 kW, hvilket svarer til 0,6% af kedeleffekten. Fyringsanlæggets øvrige effektbehov til drift af elmotorer er ca. 1,4 kW.

Konklusion

Nærværende projekt har vist, at det er muligt at fremstille et prisbilligt og enkelt elektrofilter med en god virkningsgrad til mindre halm- og fliskedler. Filteret adskiller sig fra traditionelle elektrofiltre ved, at opsamlerpladerne består af roterende skiver, som løbende skrabeler rene af

fastmonterede skraberblade. Derved undgås ”tilbagestråling” fra opsamlerpladerne, hvilket gør filteret velegnet til at frarende støv med stor resistivitet, f.eks. støv fra forbrænding af gul halm.

Filtervirkningsgraden er bedst for flis, hvor virkningsgraden er meget tæt på 100%. Ved grå halm er virkningsgraden ca. 99%, mens den er ca. 97% ved gul halm. Disse virkningsgrader har dog som forudsætning, at udladertrådene holdes rene, hvilket betyder, at fremtidige udgaver af elektrofilteret skal forsynes med en automatisk bankmekanisme på udladertrådene for at fastholde filtervirkningsgraden under kontinuerlig drift.

Det er nødvendigt med en vis videreudvikling af filteret, inden det er helt produktionsmodént.

Litteratur

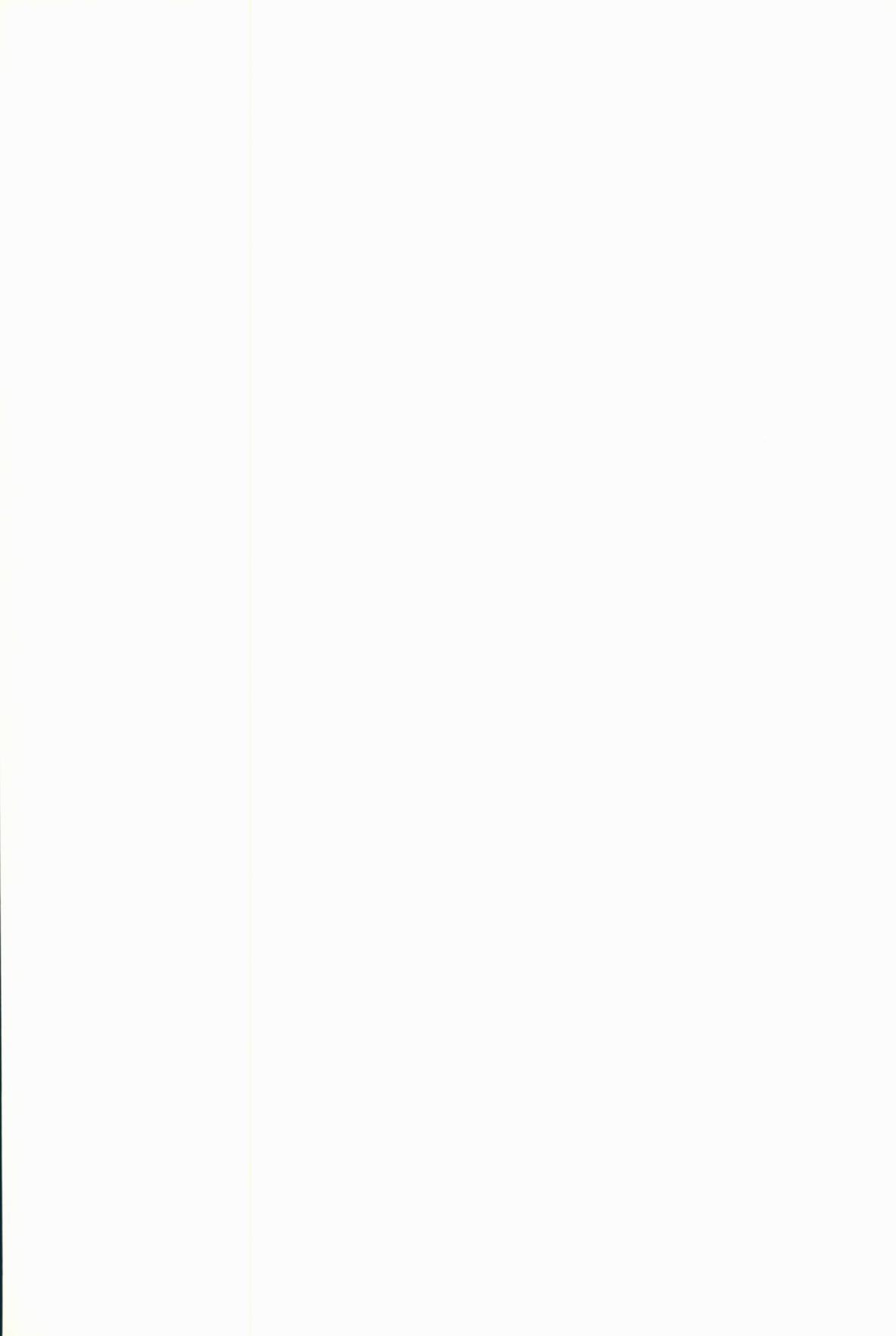
- Baumbach, G., 1990. Luftreinhaltung. Springer Verlag.
- Castle, G. S. P. & Bracha, W. S., 1987. Electric field conditions in conventional and wide duct precipitators. The 3rd Int. Conf. on Electrostatic Precipitation. Abano-Padova, Italy. 65-79.
- Fujishima, H. & Komimatsu, K., 1990. Applications of electrostatic precipitator with pulse energization system. The 4th Int. Conf. on Electrostatic Precipitation. Ruinan Li, Beijing. 419-430.
- Gilbu, O., 1977. Elektrostatiske askeudskillere. Danske Elværkers Forening. Dansk Kedelforening.
- Larsen, J. & Christensen, M., 1993. Miljølære for ingeniører. Akademisk Forlag.
- Laursen, P., 1990. Minimizing the power consumption of electrostatic precipitator. The 4th Int. Conf. on Electrostatic Precipitation. Ruinan Li, Beijing. 407-417.
- Neulinger, F.B., 1987. Even less energy does the job, results of variopuls operation in EP-plants. The 3rd Int. Conf. on Electrostatic Precipitation. Abano-Padova, Italy. 159-167.
- Nichols, G. B., 1990. Interpreting electrical data from electrostatic precipitators. The 4th Int. Conf. on Electrostatic Precipitation. Ruinan Li, Beijing. 93-103.
- Nielsen, C., 1995. Rensning af røg fra mindre halmfyr ved hjælp af elektrofilter. Delrapport fase 1, 41 pp.
- Oglesby, S. Jr. & Nichols, G. B., 1977. Electrostatic Precipitation. Air Pollution, 3rd edit., 189-255.
- Petersen, H. H., 1990. A precipitator sizing formula. The 4th Int. Conf. on Electrostatic Precipitation. Ruinan Li, Beijing. 330-337.
- Riehle, C. & Löffler, F., 1990. Can the effective migration rate increase observed in electrostatic precipitators with wider plate-spacings or faster gas streams really be regarded as a 'Non-Deutschian phenonen'? The 4th Int. Conf. on Electrostatic Precipitation. Ruinan Li, Beijing. 104-121.
- Riehle, C. & Löffler, F., 1990. The significance of the current-voltage characteristics in geometric-similar parallel plate precipitators. The 4th Int. Conf. on Electrostatic Precipitation. Ruinan Li, Beijing. 123-135.
- VDI 3678, 1980. Elektrische Abscheider. VDI-Richtlinien, 9 pp.

Bilag 1

**Emissionsmåling
for partikler efter elfilter
på Forskningscenter Bygholm**

Marts 1999

Rapport 10.643



INDHOLDSFORTEGNELSE

1. RESUMÉ	4
2. INDLEDNING	6
3. MÅLINGENS UDFØRELSE	6
3.1 Anlægsbeskrivelse	6
3.2 Målestedets indretning og placering.....	6
3.3 Produktionsforhold	6
3.4 Anvendte målemetoder.....	7
4. RESULTATER	8
5. MÅLEUSIKKERHEDER.....	9

1. RESUMÉ

dk-TEKNIK har for Forskningscenter Bygholm i Horsens foretaget emissionsmålinger for partikler i afkastet fra halmfyret kedel efter elfilter.

Målingerne blev udført den 27. og 28. januar 1999 i tidsrummet fra kl. 09.55 til 17.10. og i tidsrummet fra kl. 09.00-15.49.

Målingerne er foretaget af Peter Worck Nielsen, dk-TEKNIK. Ligeledes er nærværende rapport udarbejdet af Peter Worck Nielsen.

Der blev i alt foretaget 16 halvtimers målinger for partikler, 8 målinger på grå halm og 8 målinger på gul halm. Der blev målt 2 målinger ved 4 forskellige temperaturer før filter (120°C , 140°C , 160°C og 200°C).

Resultatet af målingerne efter filter er vist i nedenstående skema:

Grå halm

Parameter	Enhed	120°C Middel	140°C Middel	160°C Middel	200°C Middel
Partikler totalt	mg/m ³ (n,t)	4,1	3,1	2,9	3,7
O ₂ -indhold	Vol.-% tør	8,0	7,8	7,9	7,9
H ₂ O - indhold	Vol.-%	8,9	10,3	9,0	6,6
Temperatur	°C	105	121	136	164
Røggasflow	m ³ (n,t)/h	229	222	231	228

Partikel koncentrationerne er angivet ved 10% O₂

Gul halm

Parameter	Enhed	120 °C Middel	140 °C Middel	160 °C Middel	200 °C Middel
Partikler totalt	mg/m ³ (n,t)	20	23	24	8,5
O ₂ -indhold	Vol.-% tør	8,0	7,9	7,9	7,9
H ₂ O - indhold	Vol.-%	9,6	9,6	8,8	9,0
Temperatur	°C	105	119	135	162
Røggasflow	m ³ (n,t)/h	230	226	223	216

Partikel koncentrationerne er angivet ved 10% O₂

dk-TEKNIK ENERGI & MILJØ

Luftforurening, Måleteknik Vest

Marts 1999

Peter Worck Nielsen
projektleader

Lise Terkildsen
afdelingschef

2. INDLEDNING

dk-TEKNIK har for Forskningscenter Bygholm i Horsens foretaget emissionsmåling for partikler i afkastet fra halmfyret kedel efter elfilter.

Målingerne blev udført den 27. og 28. januar 1999 i tidsrummet fra kl. 09.55 til 17.10. og i tidsrummet fra kl. 09.00-15.49.

Målingerne er foretaget af Peter Worck Nielsen, dk-TEKNIK. Ligeledes er nærværende rapport udarbejdet af Peter Worck Nielsen.

Der blev i alt udført 16 halvtimers målinger.

Målingerne er udført i overensstemmelse med akkreditering nr. 51 fra DANAQ.

Resultatet af målingerne gælder kun for det aktuelle anlæg, den aktuelle produktion og i den aktuelle måleperiode.

3. MÅLINGENS UDFØRELSE

3.1 Anlægsbeskrivelse

Kedel

Fabrikat: REKA

Røggassen fra kedlen renses for partikler i et elektrofilter. Røggassen ledes efter rensning til afkast.

3.2 Målestedets indretning og placering

Målestederne er indrettet umiddelbart før og efter elektrofilter.

Røggaskanalen er ved målestederne runde og har en indre diameter på 250 mm.

Der er afsat en 3" mufte til måling for partikler hvert sted. Afstanden til strømningsmæssige forstyrrelser før målestederne er 1000 mm og afstanden efter målestederne er ca. 500 mm. Målestedet opfylder ikke Miljøstyrelsens vejledning, men idet det er så små dimensioner, vurderes målestedet ok.

3.3 Produktionsforhold

Kedlen er i måleperioden under konstant last.

3.4 Anvendte målemetoder

Parameter	Kontinuerlig	Manuel	Målemetode
Volumenstrøm		X	Pitotrør m. skårerør
Temperatur		X	NiCr/NiAl
Vanddampindhold		X	Gravimetrisk
Iltindhold	X		Paramagnetisk Målecelle
Støvindhold		X	Gravimetrisk

Temperatur: Bestemmes med et NiCr/NiAl-termoelement. dk-TEKNIK metode EM-03-01.

Volumenstrøm: Gashastigheden bestemmes ved hjælp af et pitotrør i forbindelse med et skårørsmanometer, hvorved det dynamiske tryk bestemmes. Ud fra hastigheden og måleplanets areal bestemmes gasstrømmen.

Reference: MST vejl. nr. 6 1990. EPA metode 1 og 2.

Vanddampindhold: En kendt delgasmængde renses for partikler og udsuges gennem et silicagel-tårn, hvori gassens vand adsorberes. Efter afsluttet måling bestemmes den opsamlede vandmængde gravimetrisk.

Reference: EPA M.4 (mod.)

Støvindhold: En kendt delgasmængde udsuges isokinetisk gennem et konditioneret og vejet kvartsuldfilter. Efter tørring med silicagel bestemmes gasmængden ved hjælp af en kalibreret gasmåler, som aflæses før og efter hver prøvetagning. Efter prøvetagningen konditioneres og vejes kvartsuldfilteret til bestemmelse af den udsugede partikelmængde.

Reference: VDI 2066.

Ilt-indhold: På en tør og støvfri gasstrøm bestemmes ilt-indholdet med en paramagnetisk målecelle. Måleområde : 0 - 25%.

Reference: EPA M.3A

4. RESULTATER

I nedenstående skema er resultatet af målingerne efter elfilter vist.

Grå halm

Parameter	Enhed	120 °C Måling 1	120 °C Måling 2	120 °C Middel	140 °C Måling 1	140 °C Måling 2	140 °C Middel
Partikler totalt	mg/m ³ (n,t)	4,3	4,0	4,1	2,9	3,3	3,1
O ₂ -indhold	Vol.-% tør	7,9	8,0	8,0	7,8	7,8	7,8
H ₂ O - indhold	Vol.-%	9,0	8,8	8,9	10,3	10,3	10,3
Temperatur	°C	105	105	105	120	122	121
Røggasflow	m ³ (n,t)/h	229	229	229	222	221	222

Partikel koncentrationerne er angivet ved 10% O₂

Parameter	Enhed	160 °C Måling 1	160 °C Måling 2	160 °C Middel	200 °C Måling 1	200 °C Måling 2	200 °C Middel
Partikler totalt	mg/m ³ (n,t)	2,7	3,1	2,9	3,9	3,5	3,7
O ₂ -indhold	Vol.-% tør	7,9	7,8	7,9	7,8	7,9	7,9
H ₂ O - indhold	Vol.-%	9,6	8,8	9,0	4,5	8,6	6,6
Temperatur	°C	136	136	136	163	164	164
Røggasflow	m ³ (n,t)/h	229	232	231	232	224	228

Partikel koncentrationerne er angivet ved 10% O₂

Gul halm

Parameter	Enhed	120 °C Måling 1	120 °C Måling 2	120 °C Middel	140 °C Måling 1	140 °C Måling 2	140 °C Middel
Partikler totalt	mg/m ³ (n,t)	21	19	20	30	15	23
O ₂ -indhold	Vol.-% tør	8,1	7,9	8,0	7,8	7,9	7,9
H ₂ O - indhold	Vol.-%	9,9	9,3	9,6	9,6	9,7	9,6
Temperatur	°C	104	105	105	118	119	119
Røggasflow	m ³ (n,t)/h	230	231	230	226	226	226

Partikel koncentrationerne er angivet ved 10% O₂

Parameter	Enhed	160 °C Måling 1	160 °C Måling 2	160 °C Middel	200 °C Måling 1	200 °C Måling 2	200 °C Middel
Partikler totalt	mg/m ³ (n,t)	17	31	24	8,5	8,5	8,5
O ₂ -indhold	Vol.-% tør	7,8	7,9	7,9	7,9	7,8	7,9
H ₂ O - indhold	Vol.-%	9,4	8,1	8,8	9,6	8,4	9,0
Temperatur	°C	134	135	135	161	163	162
Røggasflow	m ³ (n,t)/h	222	224	223	215	217	216

Partikel koncentrationerne er angivet ved 10% O₂

5. MÅLEUSIKKERHEDER

Følgende måleusikkerheder for en enkeltmåling (95%-konfidensniveau) er vurderet på baggrund af målemetoder og målestedernes indretning.

Parameter	Usikkerhed	
	Koncentration	Massestrøm
Støv	+/- 12%	+/- 17%
ilt	+/- 5%	+/- 13%
Volumenstrøm	+/- 12%	
Temperatur	+/- 4 °C	





POSTB. BLAD 7401 HRC 50466

695

Danmarks JordbrugetsForskning, Flakkebjerg

Flakkebjerg

Afd. for Plantebiologi
4200 Slagelse

DJF Foulum

Postboks 50, 8830 Tjele
Tlf. 89 99 19 00. Fax 89 99 19 19

Direktion

Direktionssekretariat, Økonomisekretariat

Afdeling for Animalske Fødevarer
Afdeling for Husdyravl og Genetik
Afdeling for Husdyrnærings og Fysiologi
Afdeling for Husdrysundhed og Velfærd
Afdeling for Jordbrugssystemer
Afdeling for Plantevækst og Jord

Afdeling for Markdrift
Afdeling for Stalddrift
Centrallaboratoriet
Informationsenhed
IT-funktion
Biblioteksfunktion
International Enhed

DJF Årslev

Kirstinebjergvej 10, 5792 Årslev
Tlf. 63 90 43 43. Fax 63 90 43 90

Afdeling for Prydplanter
Afdeling for Vegetabiliske Fødevarer
Afdeling for Infrastruktur

DJF Flakkebjerg

Flakkebjerg, 4200 Slagelse
Tlf. 58 11 33 00. Fax 58 11 33 01

Afdeling for Plantebiologi
Afdeling for Plantebeskyttelse
Afdeling for Infrastruktur

DJF Bygholm

Postboks 536, 8700 Horsens
Tlf. 76 29 60 00. Fax 76 29 61 00

Afdeling for Jordbrugsteknik
Driftsfunktion

Enheder på andre lokaliteter

Afdeling for Sortsafprøvning
Teglværksvej 10, Tystofte
4239 Skælskør

Tlf. 58 16 06 00. Fax 58 16 06 06

Askov Forsøgsstation
Vejnvej 55, 6600 Vejen
Tlf. 75 36 02 77. Fax 75 36 62 77

Bioteknologigruppen
(Afd. f. Plantebiologi)
Thorvaldsensvej 40, 1.
1871 Frederiksberg C
Tlf. 35 28 25 88. Fax 35 28 25 89

Borris Forsøgsstation
Vestergade 46, 6900 Skjern
Tlf. 97 36 62 33. Fax 97 36 65 43

Den Økologiske Forsøgsstation
Rugballegård
Postboks 536, 8700 Horsens
Tlf. 75 60 22 11. Fax 75 62 48 80

Foulumgård, Postboks 50
8830 Tjele
Tlf. 89 99 19 00. Fax 89 99 19 19

Jyndevad Forsøgsstation
Flensborgvej 22, 6360 Tinglev
Tlf. 74 64 83 16. Fax 74 64 84 89

Rønhave Forsøgsstation
Hestehave 20, 6400 Sønderborg
Tlf. 74 42 38 97. Fax 74 42 38 94

Silstrup Forsøgsstation
Højmarken 12, 7700 Thisted
Tlf. 97 92 15 88. Fax 97 91 16 96

Tylstrup Forsøgsstation
Forsøgsvej 30, 9382 Tylstrup
Tlf. 98 26 13 99. Fax 98 26 02 11