

# **EFP-Projekt nr. 1373/03-003**

**Optimering af halmfyrede kedler til fjernvarme  
LINKA, HADSTEN Varmeværk**

**December, 2005**

Rapporten er udarbejdet af FORCE Technology

Projekt nr.: 20000  
Projektleder: Gitte Videcrantz

# INDHOLDSFORTEGNELSE

1.	Resumé .....	3
2.	Indledning .....	3
3.	Projektets formål .....	3
4.	Målingernes udførelse .....	3
4.1.	Anlægsbeskrivelse .....	3
4.2.	Måletidspunkt .....	4
4.3.	Målesteder .....	4
4.4.	Målemetoder .....	5
4.5.	Driftsforhold under målingerne og disses udførelse.....	6
5.	Målingernes resultater .....	8
5.1.	Målinger ved 8MW grå og gul halm .....	8
5.2.	Målinger ved 4,5MW grå og gul halm .....	9
5.3.	Målinger ved 6MW gul halm .....	9
6.	Kommentarer til målingernes resultat .....	9
7.	Bilagsoversigt.....	11

## 1. Resumé

FORCE Technology har i projektet "Fremtidens Halmkedel", foretaget målinger O<sub>2</sub>, CO og forbrændingstemperatur Hadsten Varmeværks halmkedel. Anlægget er af fabrikat LINKA, på 8MW nominal effekt.

Målingerne er udført ved ca. 50 og 100% last med "grå" og "gul" halm, på udvalgte steder i fyrboksen, i 1ste træk samt i skorstenen, i perioder med skift af brændsel eller ved omlægning af last.

## 2. Indledning

FORCE Technology har som en del af projektet udført målinger på Hadsten Varmeværk. Måleprogrammets omfang blev aftalt ved møde på Hadsten Varmeværk, i forbindelse med gennemgang af anlægget og fastlæggelse af hvilke positioner i forbrændingszonen det var muligt at monitere.

Målingerne blev foretaget den 6-7. april 2005 af Lars Peter Johansen, som også har udarbejdet denne rapport. I hele perioden blev der ydet god assistance af servicetekniker fra LINKA.

Resultaterne fra målingerne gælder for det aktuelle anlæg, den aktuelle produktion og i den aktuelle måleperiode.

## 3. Projektets formål

Et af formålene med projektet fremtidens halmkedel er at få et bedre udgangspunkt for forbedringer af de kedler, som er på markedet, med henblik på optimering af forbrændingen. Formålet med målingerne var bestemmelse af temperatur, O<sub>2</sub> og CO i en række udvalgte punkter i forbrændingszonen, som kan give information om opblandingsforhold og udbrænding af gasserne.

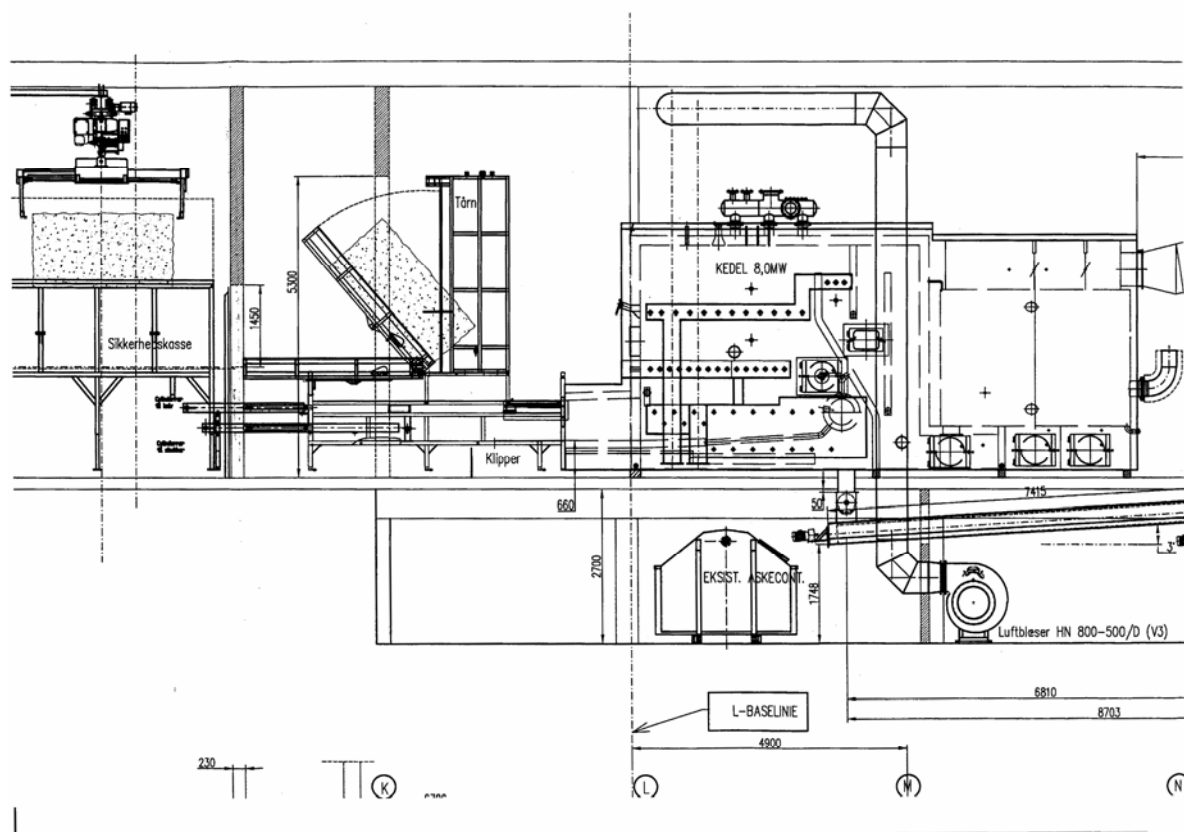
## 4. Målingernes udførelse

### 4.1. Anlægsbeskrivelse

Anlægget består af et LINKA indfyringsarrangement, en LINKA-kedel, efterfulgt af en Danstoker røggaskedel. Røgen renses for partikler i en cyklon og et posefilter, før den emitteres via skorstenen.

I figur 1 vises en tegning af indfyringsarrangement og kedel hvorpå de principielle processer kan følges.

I indfyringsarrangementet rejses Hestonballerne på højkant og snittes i 60cm høje stykker, som presses ind i fyrboksen trinvis med faste intervaller, ved fast last naturligvis. I kedlen kommer snittet ind på en fast bund og der blæses luft ind på siden og over snittet, og halmen antændes/brændes mest på siderne af snittet. Fra den plane bund skubbes snittet videre ud på to langsgående luftkølede rør så forbrændingsluften kan "angribe" halmen fra alle sider. I bagerste del af fyrboksen bæres de langsgående rør, af et tværgående rør som også indblæser luft på snittet. Efterhånden som snittet brænder ud, falder halmen/asken ned på bunden og transporteres ud af kedlen.



Figur 1. Tegning/princip over indfyrringsarrangement/kedel af 8MW LINKA halmanlæg

Der kan tilsættes forbrændingsluft til røggasserne i flere niveauer gennem kedlens sider, nederst som primær-, øverst som sekundær- og ved 1ste træk som tertiærluft.

Kort tid før målingernes gennemførelse blev fyrboksen forsynet med et "forsænket" loft af Skamolplader, som gik fra fyrboksens bagvæg til 1ste træk og sluttede ca. 0,5m fra frontvæggen. Denne ændring medførte dels at fyrboksens volumen blev formindsket, og dels af loftet virkede som et ekstra røgslag, som tvang røgen tilbage mod fronten inden den forlod fyrboksen. Skamolpladerne er ikke mekanisk stabile til kontinuert anvendelse i denne indbygningsform, og er efterfølgende fjernet.

## 4.2. Måletidspunkt

Målingerne blev udført, den 6-7. april 2005.

## 4.3. Målesteder

Der blev udført målinger på følgende positioner:

- 1) Gennem skueglas i kedeltop
- 2) Gennem målehul i sidevæg
- 3) I 1<sup>ste</sup> træk gennem målehul i sidevæg
- 4) Efter posefilter, svarende til skorsten

Ad 1) Målingerne gennem skueglasset er udført i 4 punkter langs en næsten lodret linie, nederste punkt ca. 0,5m over halmsnittet, og videre op mod loftet med 0,5m deling, hvor det øverste punkt er over det nedsænkede loft.

Ad 2) Gennem sidevæggen er der ligeledes målt i 4 punkter jævnt fordelt langs en linie.

Ad 3) I 1<sup>ste</sup> træk gennem sidevæggen er der ligeledes målt i 4 punkter jævnt fordelt langs en linie.

Ad 4) Gaskoncentrationer og temperatur blev målt i ét punkt i kanalen.

Desuden blev forbrændingen monitoreres med FORCEs ovnkamera, som til lejligheden blev monteret i kedeltoppen tæt på skueglasset.

I løbet af måleperioden udførte LINKA målinger efter kedlen med eget røggasanalyseudstyr. Disse målinger er indeholdt i denne rapport.

#### 4.4. Målemetoder

Målemetoderne fremgår af nedenstående tabel. Mere uddybende beskrivelse fremgår af bilag 1, dog beskrives anvendelsen af udsugningspyrometret indgående i 4.4.1.

Parameter	Manuel / registr.	Beskrivelse	Reference/ Standard	FORCE-reference	Total usikkerhed %
Gastemperatur	Man/reg.	NiCr/NiAl	VDI 3511 bl. 1-5	EM-03-01	± 25 °C
O <sub>2</sub> -koncentration	Reg.	Elektrokemisk	EPA M.3A, MEL-05	EM-06-02	± 5
CO-koncentration	Reg.	NDIR	EPA M.10, VDI 2459 bl.6, MEL-06	EM-07-01	± 5

Målemetoderne er beskrevet mere detaljeret i bilag 1. Usikkerheden er angivet for en enkeltmåling (95 % - konfidensniveau), og vurderet på baggrund af målemetoder og målestedernes indretning.

Den CO-måler, der er benyttet ved målingerne, har et måleområde på 0-5.000 ppm eller 0-0,5 % CO, og når måleområdet overskrides, registreres en ulineær sammenhæng af CO op til en visning på ca. 6.500 ppm CO, hvorefter måleren viser samme værdi. CO resultater større end 5.000 ppm, betyder altså, at der er mindst 5.000 ppm.

##### 4.4.1. Beskrivelse af princip for udsugningspyrometer samt anvendelse ved målinger i fyrboks

Princippet for udsugningspyrometret er, at termoføleren placeres i en strålingsbeskyttet holder, og den gas temperaturen skal bestemmes på, suges forbi føleren med høj hastighed, typisk 75-100m/s. Ved forbrænding af f.eks. halm er asken ofte klæbende i de positioner hvor undersøgelsen foretages, og blokerer for udsugningen så hastigheden falder. For at sikre troværdige målinger skal pyrometret renses med jævne mellemrum, så hastigheden opretholdes. Ved skift fra én position til den næste, skal temperaturføleren have tid til at blive stabil, hvilket med det anvendte udstyr betyder, at der går 3 minutter før den nye aflæsning kan foretages. Målingerne kan enten foretages som øjebliksværdier med 3 minutters intervaller eller som logging over længere perioder i hvert punkt.

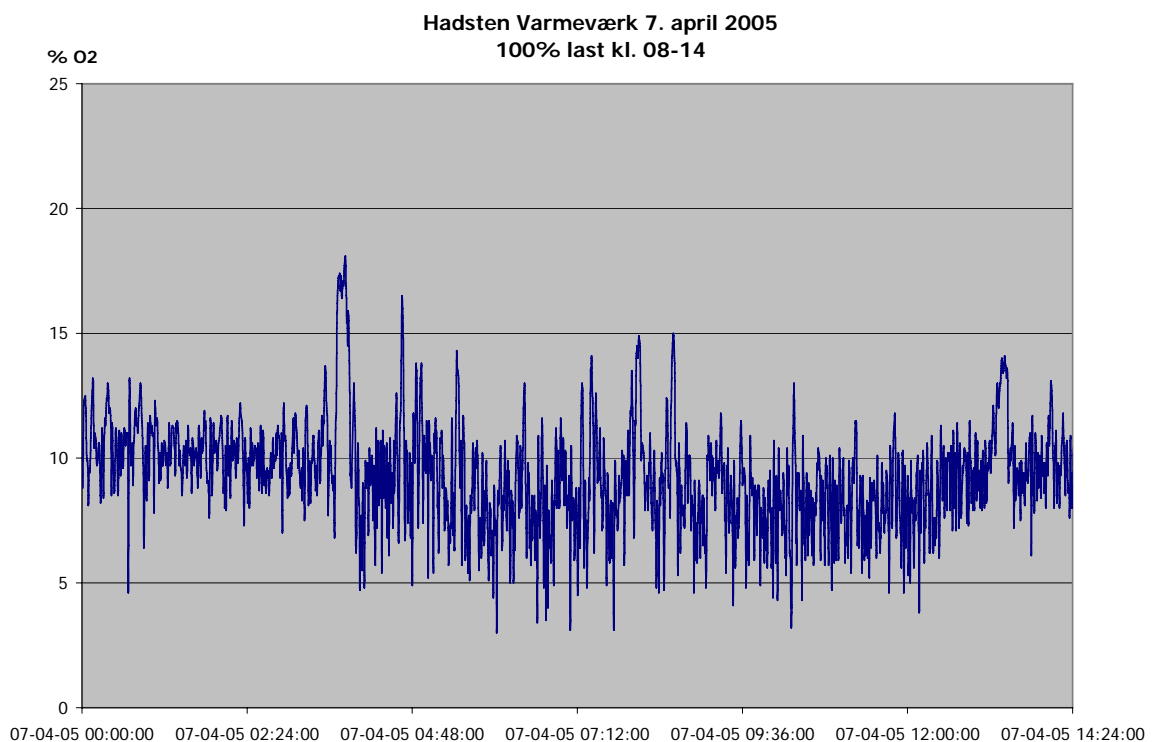
Ved måling i repræsentative tværsnit foreskriver standarden at der gennemføres 5-6 traverseringer tværsnittet i en måleserie, f.eks. pr. last, og normalt foretages der aflæsning af øjebliksværdier af de aktuelle parametre. I dette tilfælde hvor der ikke kan måles i et repræsentativt tværsnit og hvor forholdene i fyrboksen er meget varierende er det valgt at måle i

længere periode ad gangen og benytte middelværdien som udtryk for tilstanden i det aktuelle punkt.

Måling af O<sub>2</sub> og CO er fortaget på den udsugede gas. Umiddelbart efter temperaturmålingen med den strålingsbeskyttede føler, bratkøles gassen i det vandkølede sonderør, og derved stoppes forbrændingen af gasserne øjeblikkeligt.

#### 4.5. Driftsforhold under målingerne og disses udførelse

Målingerne skulle gennemføres med anlægget i normal nominel belastning, svarende til en varmeydelse på ca. 8MW og ved 50 % last svarende til ca. 4MW. Det meste af tiden blev lasten bestemt som konstant indfødnings af halm. I nedenstående figur ses forløbet af O<sub>2</sub>-indholdet d. 7. april 2005.



Figur 2. Figur 3. Registrering af O<sub>2</sub> i skorsten med anlægsmåler

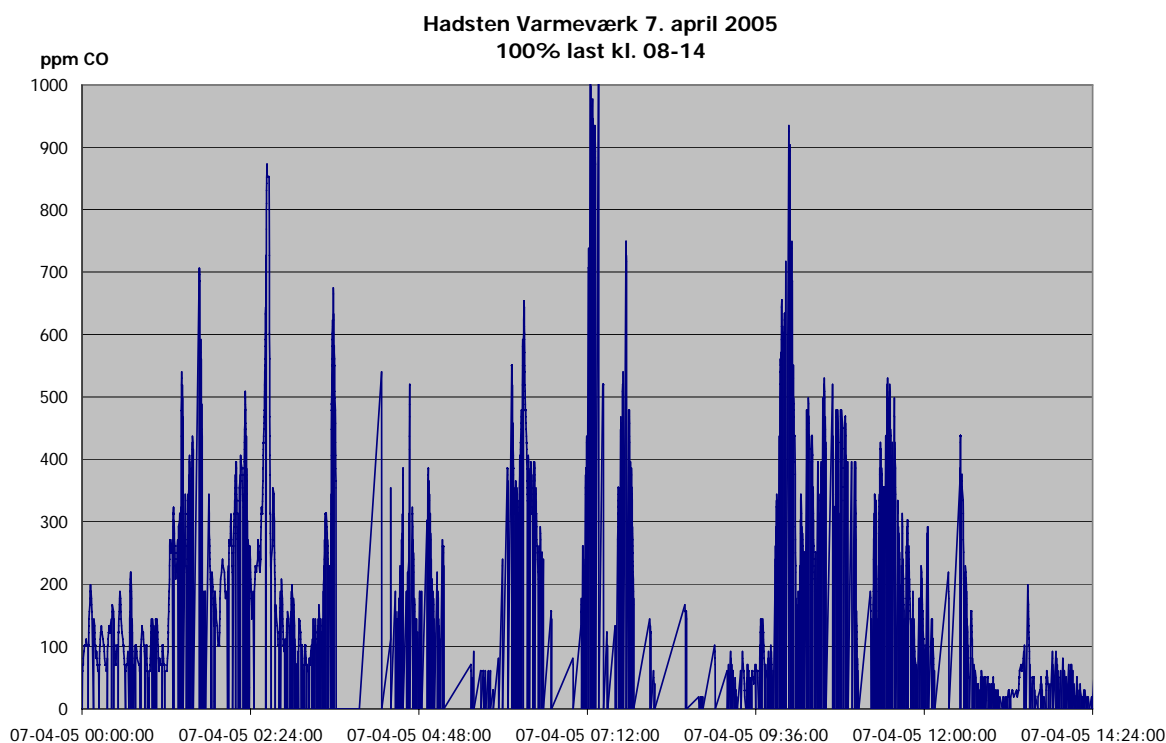
Selv om anlægget blev indstillet til fast last, var der i hele forløbet generelt tale om konstante større eller mindre variationer i forbrændingen. Det vurderes, at de to væsentligste årsager til dette er:

- 1) Relativ stor forskel på hvordan de forskellige snit af halmballerne brænder, på grund af forskellig komprimering og fugtindhold.
- 2) Forbrændingsluften tilføres ikke på de korrekte positioner i fyrboksen og/eller i de korrekte mængder.

Ad. 1) Ved "normale" forhold i fyrboksen, brændte snittene godt ud og faldt ned i bunden af fyrrummet. Imidlertid blev det flere gange observeret, at snittene ikke nåede at brænde så meget, at de brød op og faldt ned i bunden, før de nåede bagvæggen af fyrboksen. Dette resulterede i

ophobning af delvist uforbrændt halm i fyrboksen, som driftspersonalet blev nødt til at gribe ind overfor.

Ad. 2) Som følge af variationerne i opbrydningen af halmsnittene, er det ikke muligt kontrollere forbrændingen, ved at tilsætte den korrekte luftmængde på rette tid og sted. Specielt ved lav last kompenseres der for dette, ved at øge luftoverskuddet. I nedenstående figur ses forløbet af O<sub>2</sub>-indholdet d. 7. april 2005.



Figur 3. Registrering af CO i skorsten med anlægsmåler

Anlægsmålerne er ikke blevet kalibreret af FORCE i forbindelse med målingerne, men i kortere perioder har FORCE målt i skorstenen, der er foretaget parallelmålinger. I nedenstående tabel sammenlignes resultaterne af målingerne på en signifikant CO-spids kl. 11.28.

Parameter	Enhed	Hadsten VV	FORCE
CO	ppm	509	1773
O <sub>2</sub>	%	6,5 (våd)	5

Tabel L. Sammenligning af anlægsmålere og FORCE instrumenter, måling i skorsten.

Antages det, at der er et vandindhold i røggassen på ca. 10%, er der ca. 15% forskel på de to O<sub>2</sub>-målinger, hvilket er rimeligt forholdene taget i betragtning. For perioden kl. 11-11.30 registrerer begge målere niveauet til at være i området 5-10% O<sub>2</sub>.

For CO-målingerne er der en væsentlig større forskel, svarende til en faktor 3 på spidsværdien. FORCE registreringen er foretaget som 1-minuts middelværdier og i det sammenlignede område er anlægsdata logget med 15 sekunders intervaller (anlægget logger ikke med en fast frekvens, men hyppigere ved ændringer i signalet og langsommere ved mere konstante signaler). En længere midlingstid over en spidsværdi resulterer i en lavere målt værdi end en kortere midlingstid. Den meget lavere visning for anlægsmåleren må derfor skyldes selve CO-måleren.

Målingerne i fyrboks og første træk forløb normalt, det vil sige med jævnlige stop, for at rense pyrometret for halmaske, som klæbede til keramikken ved føleren, og derved hindrede et tilpas stort udsugningsflow. Problemerne med tilstopning af udsugningspyrometret var størst ved måling med indfødning af gul halm, men om det årsagen var den højere forbrændingstemperatur eller kemiske forskelle mellem de to halmtyper vides ikke.

## 5. Målingernes resultater

### 5.1. Målinger ved 8MW grå og gul halm

Hovedresultatet af målingerne fremgår af nedenstående tabeller.

Tabel \_Hadsten Varmeværk, last 8MW, grå halm målt d. 7. april 2005.

O2	CO2	CO	NOx	Temperatur	Pos	ID	
%	%	mg/m3(n,t)	mg/m3(n,t)	°C	-	-	
0,0	18,2	8249	118	1073	Top	0	
4,2	15,5	2976	792	991	Top	-50	ave
7,1	12,7	2037	550	939	Top	-100	ave
12,4	8,2	341	436	764	FB side	0	ave
9,4	10,8	1139	519	859	FB side	-40	ave
5,9	13,9	2939	545	981	FB side	-80	ave
8,1	11,9	2587	606	914	FB side	-120	ave
11,2	9,5	758	378	738	1ste	0	ave
7,2	12,9	2159	461	792	1ste	-40	ave
6,0	14,1	1123	534	797	1ste	-80	ave
7,3	13,0	483	552	736	1ste	-120	ave

Tabel \_Hadsten Varmeværk, last 8MW, gul halm målt d. 7. april 2005.

O2	CO2	CO	NOx	Temperatur	Pos	ID	
%	%	mg/m3(n,t)	mg/m3(n,t)	°C	-	-	
0,0	18,0	8231	37	1200	Top	0	
0,1	18,5	7900	227	1139	Top	-50	
6,2	13,5	3376	445	992	Top	-100	ave
1,5	17,2	6609	403	1193	FB side	1,00	ave
3,6	15,3	6105	413	1131	FB side	0,60	ave
8,4	11,5	2824	354	901	FB side	0,20	ave
4,8	15,1	2143	439	891	1ste	1	ave
5,1	15,0	853	417	848	1ste	0,6	ave
3,4	16,3	1630	509	892	1ste	0,2	ave

Selv om kedlens termiske ydelse har været konstant under forsøgene, og sætpunkter for O<sub>2</sub> med mere har været de samme, er der stor forskel på de opnåede resultater, som det fremgår af de to tabeller. På baggrund af resultaterne målt i forbrændingszonen er gul halm forbrændingsteknisk bedst med lavere værdier for O<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub> og højere forbrændingstemperaturer, mens CO ligger på samme niveau.

I perioder har der været ophobning af halm i fyrboksen, og dette fænomen som ifølge driftspersonale og Oluf, ikke er en usædvanlig hændelse, skønnes at have stor indflydelse på resultaterne der er fundet i selve fyrboksen, mens der vil være en vis udjævning allerede i 1ste træk. Fra kl. 08.18- 12.18 er der optaget et 4 timers videobånd, som primært overvåger

indfyringen ved frontvæggen, og af disse optagelser fremgår det, FORCE subjektive vurdering, at der i længere perioder forekommer ophobning på dette sted.

## 5.2. Målinger ved 4,5MW grå og gul halm

Hovedresultatet af målingerne fremgår af nedenstående tabeller.

Tabel \_Hadsten Varmeværk, last 4,5MW, grå halm målt d. 6. april 2005.

O2	CO2	CO	NO	Temperatur	Pos	ID
%	%	mg/m3(n,t)	mg/m3(n,t)	°C	-	-
7,8	12,2	57	469	695	1ste træk	1,5
7,6	12,2	56	455	679	1ste træk	1
9,2	10,8	46	452	635	1ste træk	0,5
8,8	11,3	61	443	863	Top	helt nede
8,9	11,2	72	429	827		Helt nede
12,4	7,6	357	369	875		-0,50
14,8	5,8	247	278	648		-1,00
11,5	8,1	4235	315	1004	Top	helt nede
11,0	9,2	337	416	896		-0,5
14,3	6,1	250	283	833		-1,00

Tabel \_Hadsten Varmeværk, last 4,5MW, gul halm målt d. 6. april 2005.

O2	CO2	CO	NO	Temperatur	Pos	ID
%	%	mg/m3(n,t)	mg/m3(n,t)	°C	-	-
9,9	10,0	2494	274	968	Top	0,00
12,0	8,2	1145	228	866		-0,50
12,4	7,8	962	264	915		-1,00
7,9	11,7	278	280	710	FB side	-20,00
10,5	9,3	1900	304	813		-60,00
10,9	9,3	700	350	807		-100,00
7,1	12,6	567	317	743		-140,00

## 5.3. Målinger ved 6MW grå halm

Målingerne ved 6MW last blev forstyrret af ophobning af halm i fyrboksen. Da ophobningen foregår over længere tid, og forstyrrelsen derfor ikke kan kvantificeres, er denne periode udeladt af rapporteringen.

## 6. Kommentarer til målingernes resultat

Som det fremgår af afsnit 5, resultater, er forbrændingen ikke så stabil som der kunne ønskes. De primære årsager til variationerne i forbrændingen vurderes at være:

- 1 Varierende indfødning/forbrænding af halmsnittene
- 2 Ujævn luftfordeling omkring halmsnittene

### 3 Forskel i halmkvalitet

Ad 1) Selve indføddningen af de enkelte halmsnit ved indløbet i fyrboksen er jævn. I starten af forbrændingen foregår forbrændingen udelukkende på overfladerne af snittet, men efter nogen tid, når et nyt snit presses ind i fyrboksen, begynder snittet at bryde op/falde sammen. Det er når de enkelte snit brydes op, og nye større brudflader blotlægges, at der i visse tilfælde ikke kan doseres forbrændingsluft nok til, at der opnås fuldstændig forbrænding, hvilket resulterer i at der kan registreres CO-spidser efter kedlen.

Ad 2) Ved det indledende møde på Hadsten Varmeværk d. 8. marts 2005, hvor anlægget blev besigtiget af FORCE, blev det efterfølgende diskuteret hvor målingerne kunne foretages, samt hvilket måleprogram der skulle gennemføres. I den forbindelse nævnte Lars P. Johansen, at under ca. 800°C forløber forbrændingen af CO meget langsomt, samt at fyrboksudformning sandsynliggjorde, at der var områder i fyrboksen, hvor temperaturen kunne være lavere end 800°C.

Da målinger skulle gennemføres var der etableret et midlertidigt "forsænket loft" af Skamolplader, for at hæve temperaturen i forbrændingszonen, og ifølge driftsinstrumenterne, havde haft den ønskede effekt, ved både at hæve temperaturen samt at nedsætte CO-emissionen både i størrelse og hyppighed.

På figur 1 ses at primærluften indblæses gennem sidevæggene under og over de to rør, som snittene skubbes ind i fyrboksen på. Langs fyrboksens bagvæg er der et tværgående rør som dels støtter de langsgående rør, og dels benyttes til indblæsning af primærluft på tværs af kedlen. Sekundærluften tilsættes højere oppe på sidevæggene. For at sikre en god opblanding af forbrændingsluften, bør der være en høj udløbshastighed gennem dyserne, gerne 50 m/s eller mere.

Er dette ikke tilfældet vil der opstå områder med lavt O<sub>2</sub>-indhold og CO-dannelse til følge, som ikke kan nå at udbrænde i fyrboksen selvom temperaturniveauet er blevet hævet, og det er disse CO-spidser som stadig registreres.

I fyrboksen blev der fundet et højere luftoverskud ved kedelvæggene end i de centrale dele. Denne manglende opblanding af forbrændingsluft blev gradvist udjævnet gennem strålingsparten.

Når snittene går i stykker og falder ned på kedelbunden, vil disse stykker variere i størrelse og energiindhold afhængig af hvor hårdt ballen er presset samt hvor stort dens vandindhold er. Ved normalt brændsel medfører dette større eller mindre pulsationer i forbrændingen, og deraf følgende variation i luftoverskuddet, som ikke har nogen indflydelse på den daglige drift. Ved en atypisk balle, som enten er meget hårdt presset eller meget våd, kan halmen på bunden ikke nå at udbrænde før der falder mere uforbrændt halm ned, og dermed er der risiko for ophobning af halm i fyrboksen.

Generelt har dette ikke betydning for varmeproduktionen, men i ét tilfælde i måleperioden blev der ved ophobning af halm i fyrboksen, konstateret reduceret ydelse som medførte stop i indfyringen for udtømmning af delvist udbrændt halm fra fyrboksen.

## **7. Bilagsoversigt**

**Bilag 1:**        **Målemetoder**  
                      (1 side)

## Bilag 3

### MÅLEMETODER

Gastemperatur: Måles med en NiCr/NiAl-termoføler tilsluttet et digitaltermometer (opløselighed: 1°C) eller datalogger. Visningen aflæses med korte intervaller og/eller signalet opsamles på datalogger.

FORCE Technology metode: EM-03-01

Reference/standard: VDI 3511 bl. 1-5

O<sub>2</sub>-koncentration (kontinuert): På en tør og partikelfri delgasstrøm bestemmes O<sub>2</sub>-koncentrationen med en elektrokemisk målecelle. Måleområde: 0-25% (volumen).

FORCE Technology metode: EM-06-02

Reference/standard: EPA metode 3A, MEL-05

CO-koncentration (kontinuert): På en tør og partikelfri delgasstrøm bestemmes CO-koncentrationen med en nondispersiv infrarød (NDIR) monitor. Måleområde: 0-1000 ppm (volumen).

FORCE Technology metode: EM-07-01

Reference/standard: EPA metode 10, VDI 2459 bl. 6, MEL-06

NO<sub>x</sub>-koncentration (kontinuert): På en tør og partikelfri delgasstrøm bestemmes NO<sub>x</sub>-koncentrationen med en kemiluminiscens monitor. Måleområde: 0-1000 ppm (volumen).

dk-TEKNIK metode EM-10-01, reference: US-EPA method 7E / VDI 2456 bl. 5.