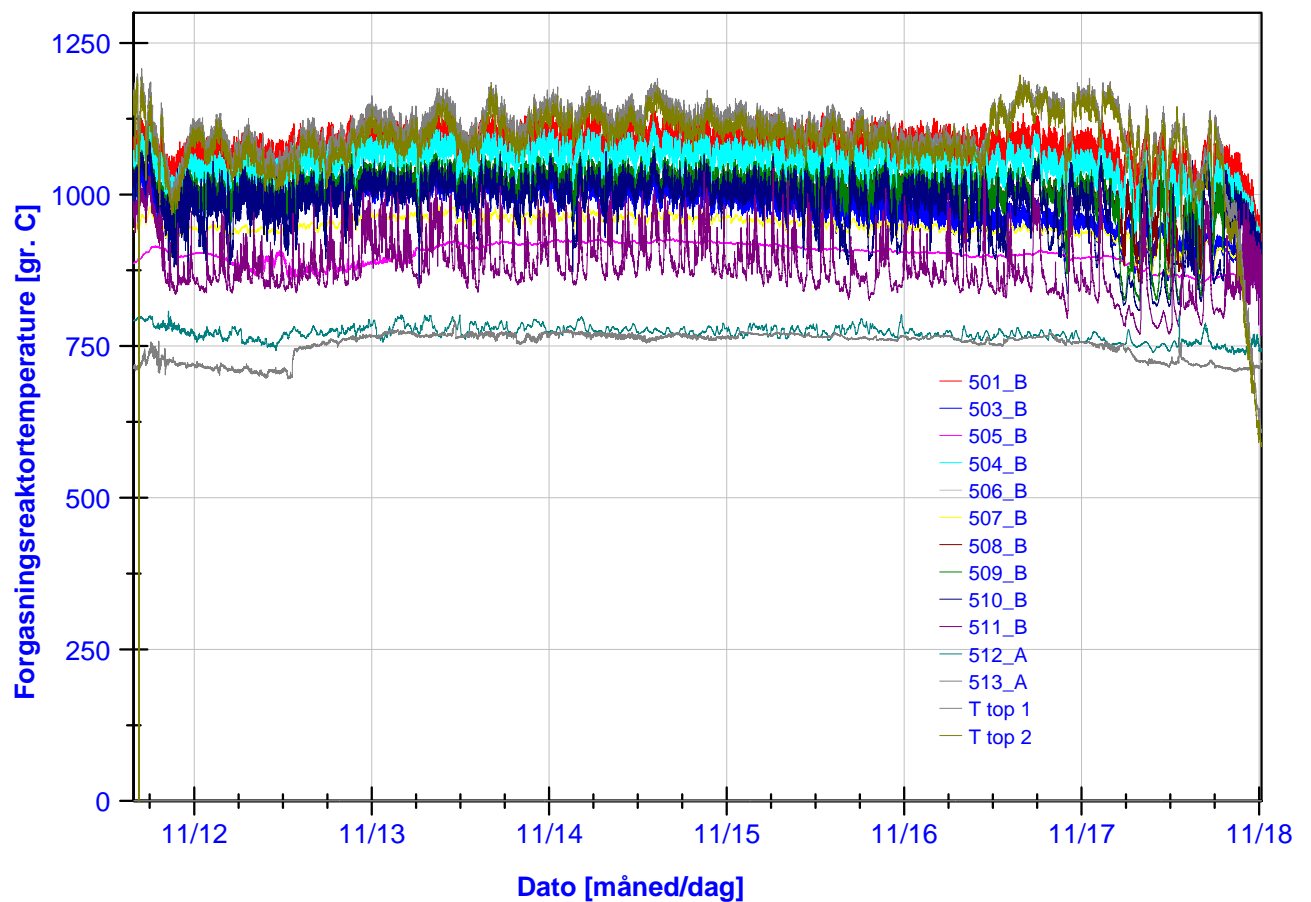


Energinet dk, j.nr. 6325

Indkøring, regulering og langtidsdrift af totrins- pilotanlæg

Slutrapport

August 2010



WEISS
Plastvænget 13
9560 Hadsund

Telefon 9652 0444
Telefax 9652 0445
www.weiss-as.dk

Energinet dk

Indkøring, regulering og langtidsdrift af totrins- pilotanlæg

Slutrapport

August 2010

Udgivelsesdato 26. August 2010

Udarbejdet JDB, UBH, JA

Kontrolleret BJS

Indholdsfortegnelse

1	Indledning	2
2	Formål	3
3	Pilot anlægget	4
3.1	Kompakt tørrer	4
3.2	Høj el- og total virkningsgrad	5
3.3	Pilotanlægget	7
4	Indkøring	10
4.1	Tørring	10
4.2	Pyrolyse	10
4.3	Posefilter	10
4.4	Opstartprocedure	11
4.5	Styring	11
4.6	Askeudmadning	11
4.7	Forgasser	11
4.8	Motoren	11
4.9	Måling af koksbedhøjde i forgassen	11
4.10	Uomsat koks	12
4.11	Drift	12
4.12	Konklusion	15
5	Langtidsdrift	16
5.1	Lastregulering	17
5.2	Ubemandet langtidsdrift	20
6	Demonstrationsprojekt	24
7	Konklusion	25
8	Bilag	26

1 Indledning

Totrinsprocessen er udviklet til at indgå i det danske energisystem, med særligt sigte på at omskifte naturgasfyrede kraftvarmeanlæg til biomasse. Målsætningen for udvikling af processen har været at sikre en god økonomi, høj energivirkningsgrad og lav miljøbelastning.

Totrinsprocessen er dokumenteret i lille skala på DTU og har vist meget positive resultater med hensyn til at kunne producere en brændbar gas, der på grund af et meget lavt indhold af tjærestoffer og partikler er velegnet til drift af gasmotorer til el- og varmeproduktion med lav miljøbelastning. Totrinsprocessen udmærker sig endvidere ved at have en meget høj virkningsgrad.

I totrinsprocessens oprindelige udformning foregår tørrings- og pyrolyseprocessen ved ekstern opvarmning i en snegl, som opvarmes af røggasser fra en tilknyttet gasmotor. Denne udformning har begrænsninger ved anlæg i større skala.

Et nyt koncept for totrinsforgasning, hvor varmen til pyrolyseprocessen tilføres fra den producerede forgasningsgas, og hvor flisen først tørres i overhedet damp, er udviklet. Konceptet sammenkæder de forgasningsmæssige fordele ved den traditionelle totrinsproces (vanddampforgasning og trinopdeling), med opskalerbart design.

WEISS A/S har interesse for totrinsforgasning, idet firmaet ønsker at udvikle og markedsføre anlæg til kraftvarmeproduktion baseret på træflis. Weiss A/S har med økonomisk støtte fra Energinet.dk og med assistance fra DTU og COWI A/S etableret et pilot anlæg med nominel kapacitet på 600kW indfyret effekt. Projektet var støttet af Energinet.dk under projekt nr. 6529, og afsluttedes ultimo 2007.

I nærværende projekt nr. 6325 er anlægget blevet indkørt, og det er blevet demonstreret, at anlægget kan køre ubemandet og stabilt.

Nærværende rapport beskriver de resultater der er opnået under projektet. De positive resultater har resulteret i at Weiss har truffet beslutning omkring etablering af et egentligt demonstrationsanlæg.

2 Formål

Projektets formål var at

- Indkøre anlægget til stabil drift
- Undersøge lastreguleringsevne (dellast)
- Eftervise længere tids drift.

3 Pilot anlægget

I dette kapitel beskrives pilotanlægget hos Weiss. Der henvises også til rapporten ”Opskalering og demonstration af totrinsprocessen” Energinet.dk under projekt nr. 6529.

3.1 Kompakt tørrer

I den velkendte udformning af totrinsprocessen foregår såvel tørring som pyrolyse i samme reaktor (pyrolysereaktoren) ved ekstern opvarmning. Ved forgasning af flis, som har et fugtindhold på 40-55%, vil omkring 80% af den energi der tilføres pyrolyseenheden blive benyttet til tørring. Tørretiden kan reduceres væsentligt, såfremt flisen kommer i direkte kontakt med tørremidiet, og herved kan størrelsen af tørrereaktoren reduceres væsentligt.

Til tørring af flis benyttes almindeligvis røggas til direkte tørring, men som alternativ kan overhedet damp benyttes. Ved tørring med overhedet damp overføres varme fra en varmekilde, f.eks. røggas eller forgassergas, til damp via en varmeveksler, og herefter ledes damp til tørrereaktoren.

Ved tørring med overhedet damp i forbindelse med trinopdelt forgasning opnås en række fordele, hvor de væsentligste nævnes herunder:

- Røggasserne bliver ikke forurenede med organiske stoffer og partikler.
- Der er ingen risiko for brand i tørreenheden på grund af lav iltkoncentration, idet tørremidiet er overhedet vanddamp.
- Optimale forgasningsbetingelser opnås ved tilsætning af vanddamp til forgasseren, herunder lavere sodproduktion og lavere maksimal temperatur ved tilsætning af vanddamp.
- Fordampningsvarmen ”går ikke til spilde”, men bevares i processen.

På grund af de væsentlige potentialer ved dette koncept besluttedes det at udvikle teknologien i dette projekt.

3.2 Høj el- og total virkningsgrad

Tottrinsprocessen er også kendetegnet ved at have en høj el- og totalvirkningsgrad (bl.a. eftervist ved VIKING forgasseren).

En høj total-virkningsgrad kan opnås blandt andet ved at udnytte energien i røggassen fra motoren til fjernvarme. Eftersom pilotanlægget ikke er tilsluttet fjernvarmen (dette er velkendt) er udnyttelse af røggas til fjernvarme udeladt i dette projekt.

En høj elvirkningsgrad opnås ved kombinationen af en høj koldgasvirkningsgrad på forgasseren og en høj el-virkningsgrad på motoren.

Den aktuelle forgasser bibeholder en høj koldgasvirkningsgrad idet produktgasen benyttes til at pyrolysere flisen og til at overhede vanddampen fra damp tørreren.

En ny motor med høj elvirkningsgrad velegnet til forgasningsgas kan købes med kommercielle garantier. I projektet har der ikke været fokus på motorens elvirkningsgrad. Der er derfor indkøbt en billig brugt motor uden turbolader. Dette til trods er der realiseret en meget høj el-virkningsgrad for anlægget.

Herunder ses et skematisk layout med design data.

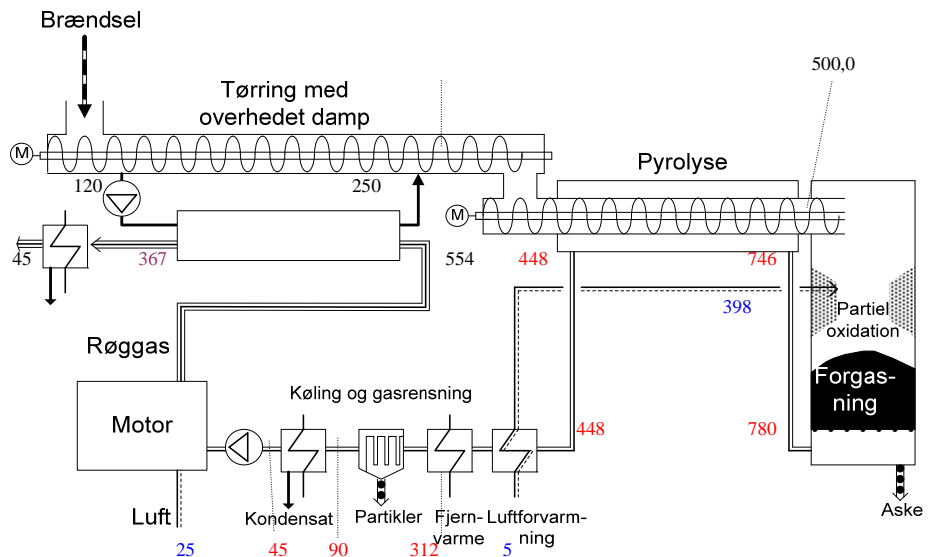
Energiproduktion

Fjernvarme		
køling og kondensering af rågas	59 kW	14,3%
motor køling	98 kW	23,9%
køling og kondensering af røggas		
Total fjernvarmeproduktion	157 kW	38,2%
Elproduktion	129 kW	31,5%
Total energiproduktion	286	69,7%

Varmetab

Forgasser	33 kW	8,0%
Motor	8 kW	1,9%
Total tab	27 kW	4,5%

Indfyret brændselsmængde	160 kg/t
Fugtindhold	45,0%
Effekt (Hn)	411 KW



Gassamsetninger

	Rågas	Efter kondensering	Røggas	Efter kondensering
CO2	13,0%	15,2%	11,9%	12,8%
CO	12,2%	14,3%		
H2O	22,2%	9,2%	15,1%	9,2%
H2	23,1%	27,0%		
CH4	1,3%	1,6%		
N2	28,0%	32,7%	67,5%	72,2%
O2	0,0%		5,5%	5,9%
Dugtemp	63	45	55	45

Motordata

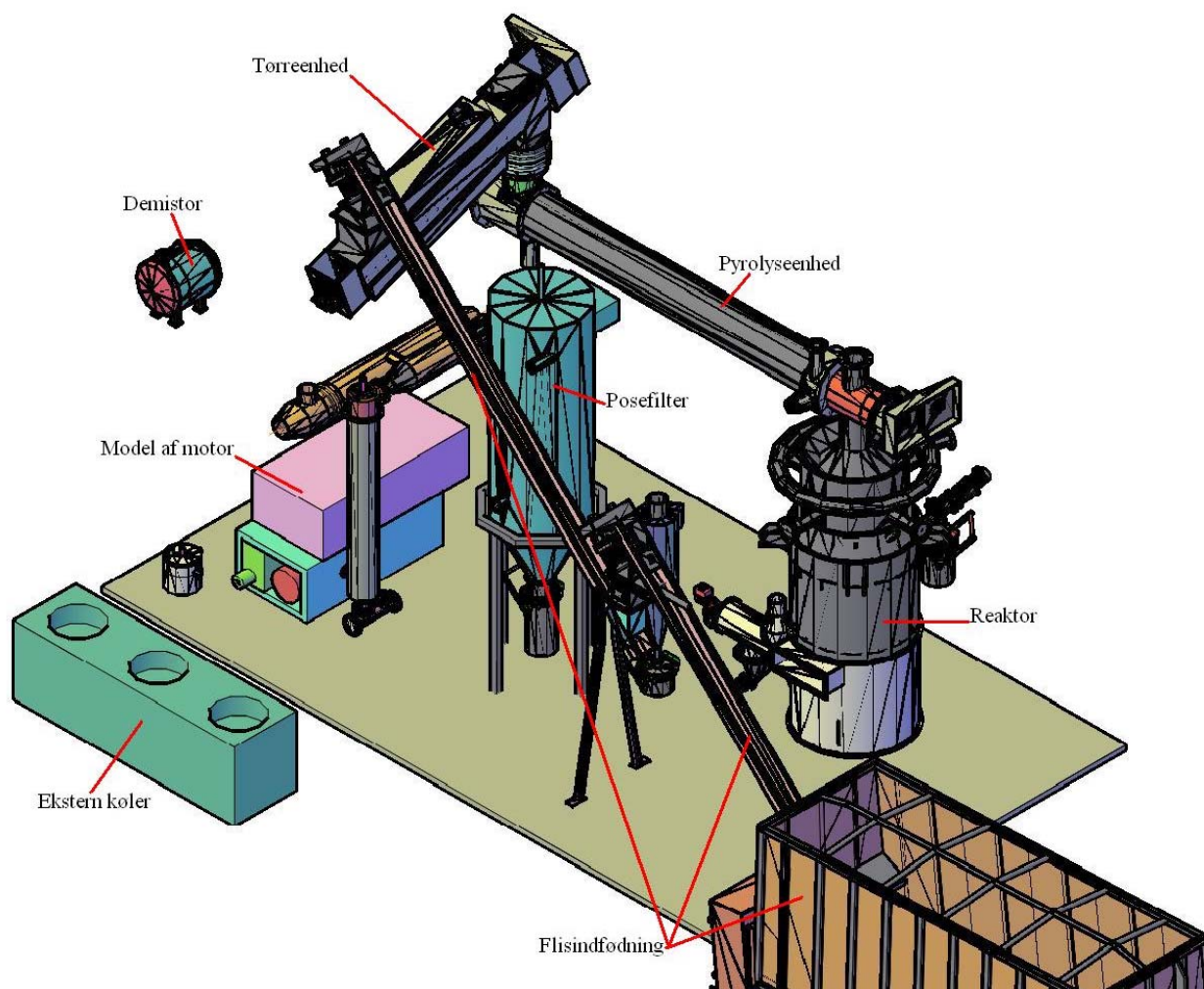
Lambda i motor	1,6
----------------	-----

Koldgasvirkningsgrad	nedre brændværdi	Øvre brændværdi	øvre brændværdi	MJ/Nm3	våd	tør
					95%	89%
			nedrebrændværdi	MJ/Nm3	5,3	5,8

Figur 3.1 Design data for pilotanlæg.

3.3 Pilotanlægget

Herunder ses 3-D figur af nøglekomponenter i pilot anlægget som er opført hos Weiss



Figur 3.1 3-D tegning af nøglekomponenter i pilotanlægget.

I det følgende ses fotos af nøglekomponenterne.



Figur 3.2 *Bjarne Skyum, Projektleder for WEISS A/S ved forgasser.*



Figur 3.3 *Posefilter, med 2 ren blæserum sektorer.*



Figur 3.4 Motor. Steen Nielsen, DTU-MEK; Thorvald Pedersen, Nissen Energiteknik; Thomas Skipper, WEISS A/S, Ulrik Henriksen DTU-MEK.



Figur 3.5 Bygning til pilotanlæg og LFG anlæg til opstart af anlæg.

4 Indkøring

Forgasseren blev indkørt og børnesygdomme blev løst i første halvdel af 2008. På basis af de vellykkede korte forsøg blev der efterfølgende gennemført en langtidstest.

I dette kapitel beskrives resultaterne af indkøringen, dvs. frem til og med August 2008.

4.1 Tørring

Der er designet og bygget en kompakt damptørreenhed til tørring af den indfødte flis før denne kommer ind i pyrolyseenheden.

Den ny designede tørreenhed er testet dels separat og dels i forbindelse med forgasningsforsøg. Den har fungeret perfekt fra dag 1. Den tørrer flisen ned til 1-2 % vandindhold. Der er ikke observeret aflejringer eller belægninger i komponenten. Den tilknyttede varmeveksler der opvarmede tørredampen vha. motorens udstødningsvarme fungerer ligeledes perfekt.

4.2 Pyrolyse

Den anvendte pyrolyseenhed opvarmes direkte af varm forgasningsgas i kappen (I VIKING forgasseren anvendes udstødningsvarme fra motoren) Pyrolyseenheden pyrolyserer som den skal der er ikke observeret belægninger eller lignende.

4.3 Posefilter

Posefilteret på VIKING forgasseren på DTU har tidligere udvist problemer under rensning benævnt "reintrainment" dvs de partikler der afstødes fra filterposen sætter sig omgående igen, og filteret kan ikke renses uden stop af gas gennemstrømning.

Dette problem er søgt undgået i den opskalerede version ved at dele posefilteret med et skot i midten.

Der har herefter ikke været problemer med at rense dette filter, det fungerer perfekt.

4.4 Opstartprocedure

Vikingforgasseren har to gassystemer. Det ene anvendes under opstart og nedlukning med det formål at undgå gassen i at strømme gennem gasrensesystemet fordi det formodes, at der ville være tjære i gassen i disse perioder. På den opskalerede version er der for enkeltheds skyld imidlertid kun et gassystem. Det vil sige at gas altid ledes gennem rensesystemet. Der er ikke observeret tjærebelægninger tilstopning eller lignende, og det konkluderes at også denne forbedring fungerer perfekt.

4.5 Styring

Styringen fungerer som den skal, og det er let at foretage ændringer når dette ønskes.

Motorens producerede effekt under drifttilstanden "Konstant gasflow til motor" har givet problemer pga. ujævn indfødning af brændsel. Dette er nu udbedret og det kan konstateres at indfødningssystemet nu fungerer tilfredsstillende.

4.6 Askeudmadning

Dette fungerer tilfredsstillende.

4.7 Forgasser

Forgasseren producerer en ren tjærefri gas.

4.8 Motoren

Motoren går godt på den producerede gas.

Det på DTU udviklede gasrampesystem, som er meget simpelt og effektivt og bl.a. muliggør meget høj dellastvirkningsgrad, fungerer perfekt også på den her anvendte motor.

Omkobling fra LPG gas (der anvendes i motoren under opstart) til forgasningsgas fungerer som det skal.

4.9 Måling af koksbedhøjde i forgasseren

Den metode, der oprindeligt blev anvendt i Viking forgasseren til måling af koksbedhøjden var baseret på temperaturmålinger i koksbedden. Det må konstateres at denne metode ikke fungerer i den opskalerede version. Derfor blev et system baseret på en ny raderteknologi udviklet. Dette skete først på Viking forgasseren og da dette gav rigtig gode resultater blev teknikken overført til den opskalerede version i Hadsund. Her viste det sig også at fungere rigtig fint. Se også artikel i bilag.

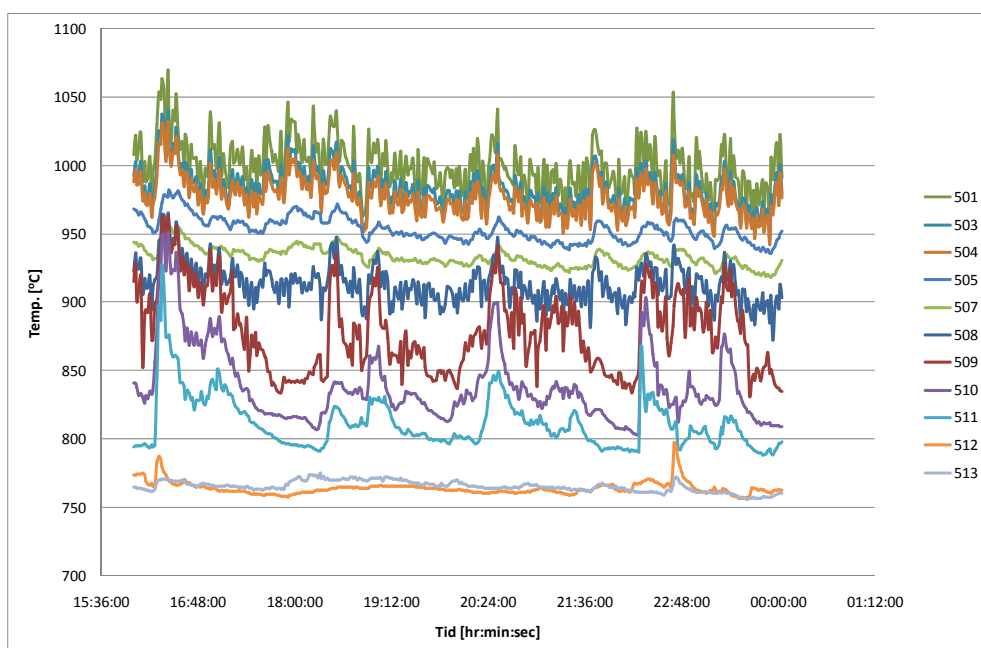
4.10 Uomsat koks

De vanskeligheder, der har været med at måle koksbedhøjden har bl.a. ført til at der er udmadet store mængder uomsat koks. Dette er uacceptabelt. Det vurderes at problemet med uomsat koks ikke alene løses med forbedret koksbedhøjde måling men kræver modifikationer i ristesystemet og et simpelt koksudbrændingstrin. En videreudvikling af dette system bør søges i forbindelse med en yderligere opskalering af forgasningskonceptet.

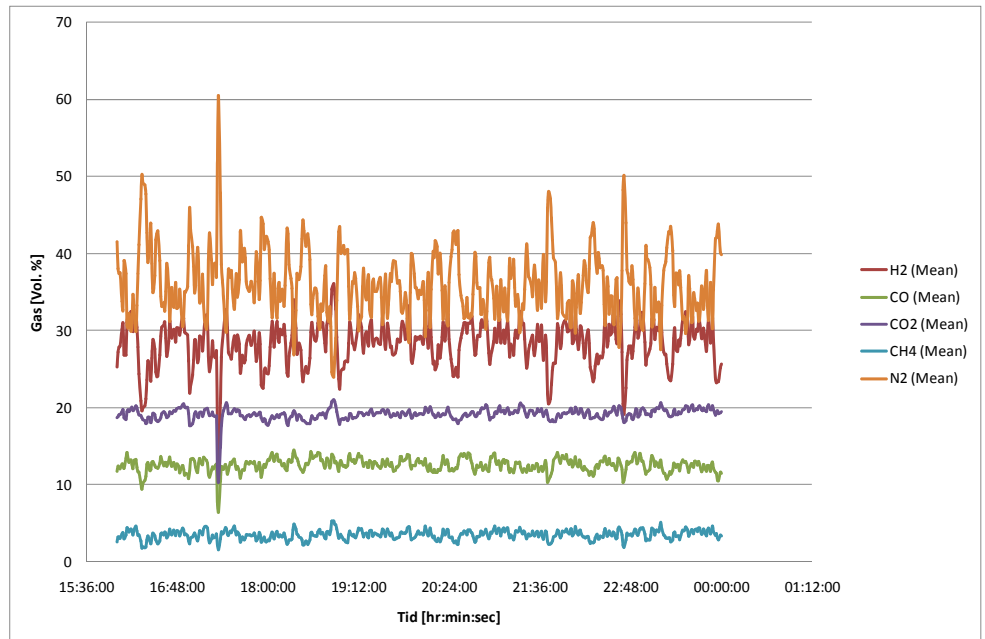
4.11 Drift

Forgasseren kører godt og stabilt og de forskellige reguleringsstrategier (konstant luft til forgasser, konstant gasflow, konstant motoreffekt osv.) fungerer som de skal.

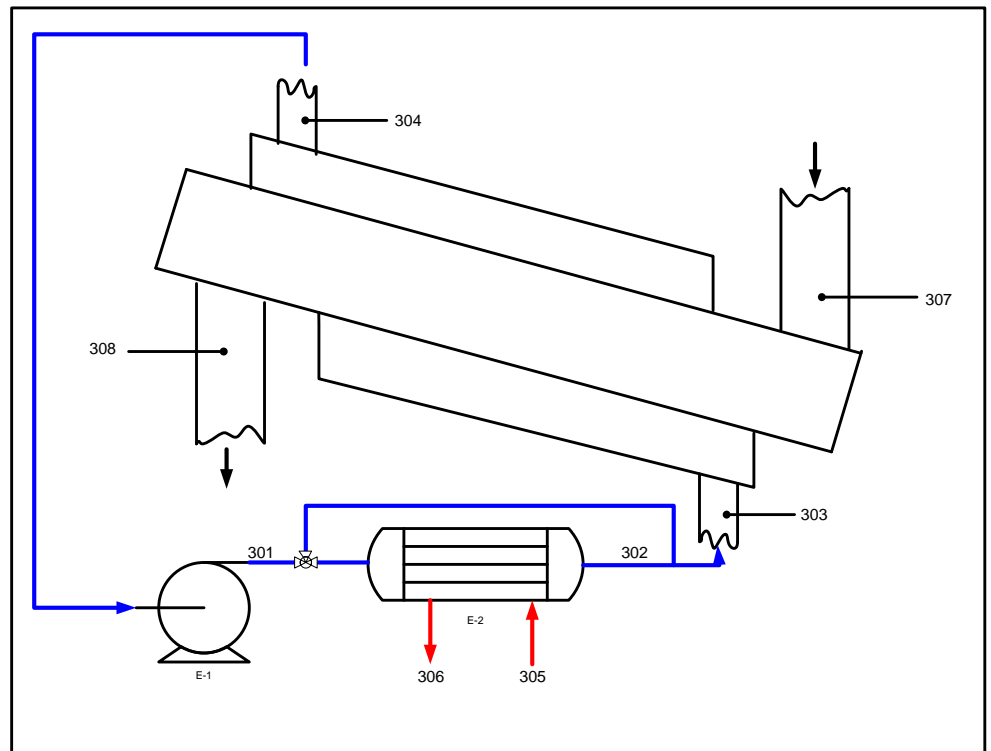
På figurerne 1, 2, 3, 4 og 5 vises temperaturmålinger i forgasseren, gassammensætningen og motorens el-effekt fra drift d. 26/8 2008 ved driftstilstanden ”konstant gasflow” samt en principskitse af damptrørreren. Figur 5 viser motorens el-effekt ved driftstilstanden konstant motoreffekt d. 22/5-2008.



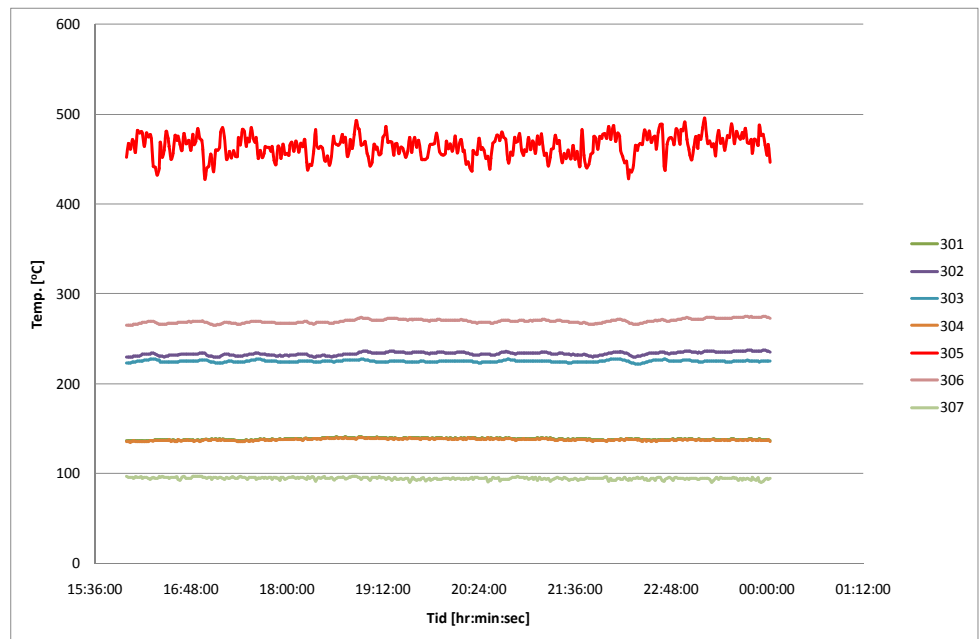
Figur 6 Temperatur målinger i reaktoren under drift, d. 26/8 2008



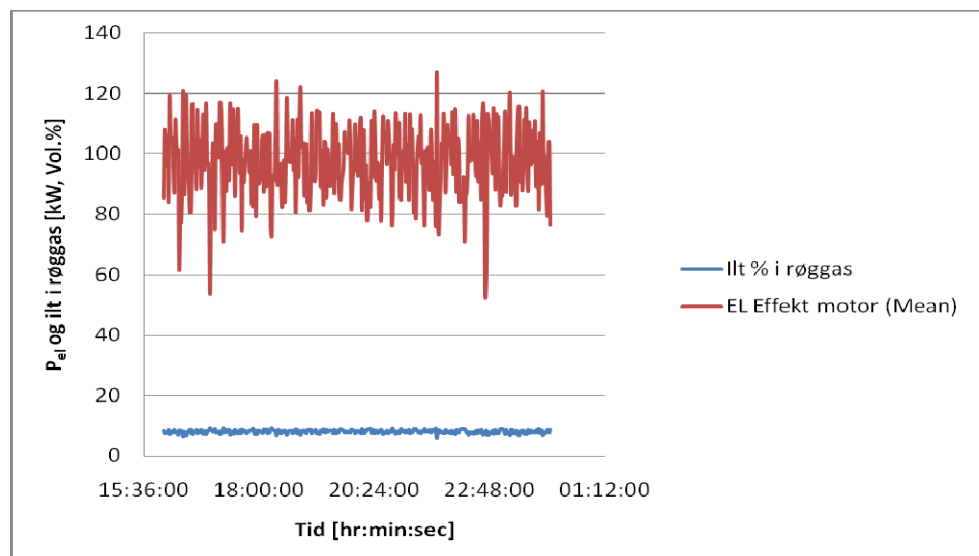
Figur 7 Gassammensætningen som funktion af tiden, d. 26/8 2008.



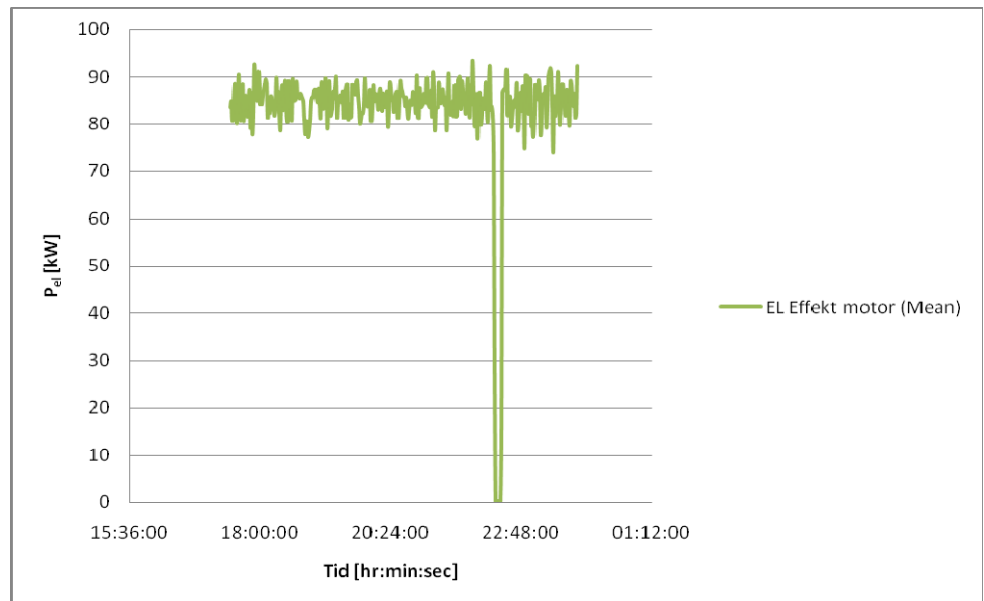
Figur 8 Principskitse af damptrørrer med nummereret temperaturer positioner.



Figur 9 Temperaturer i dampførere, d. 26/8 2008.



Figur 10 Motorens producerede el-effekt under driftstilstanden "Konstant gasflow til motor", d. 26/8 2008.



Figur 11 Motorens producerede el-effekt under driftstilstanden "Konstant el-effekt", d. 22/5 2008.

4.12 Konklusion

Det konkluderes at den opskalerede version af totrinsforgasseren placeret hos Weiss i Hadsund fungerer godt. Dog er der stadig mindre problemer, som skal løses før der kan opnås en effektiv drift. Disse eftervises bedst ifm. Opskalering af anlægget og etablering af et egentligt fuldskalaanlæg.

5 Langtidsdrift

Efter de indledende forsøg beskrevet i kapitel 4, blev der lavet forbedringer på anlægget forud for en ny forsøgsrække.

Følgende ændringer blev lavet i efteråret 2008 og foråret 2009.

Tabel 1. Oversigt over udbedringer foretaget på anlægget i 2008.

1	Forbedret askesystem
2	Gennemgang af styring
3	Automatisk tømning af filteraske.
4	Niveaustyring af tørresnegl
5	Ekstra brændselscontainer
6	Bedregulering
7	Optimering af skylleblæser.
8	Invendig inspektion af anlægget
9	Forsøg med omsætning af ristegennemfald
10	Transportsystem geares op
11	Pyrolysesnegl tættes
12	Forbrændingsluftsstyring
13	Fjernovervågning

I løbet af 2009 blev der gennemført en række forsøg med pilotanlægget.

Forsøgene var generelt vellykkede, og Weiss igangsatte forberedelse af et efterfølgende demonstrationsanlæg i større skala.

Tabel 2. Oversigt over forsøg med forgasser gennemført i 2009.

Dato	Formål	Resultat
Marts	Lastregulering	Problemer med tryktab pga. af dårlig flis med meget smuld.
Maj-Juni	Lastregulering	Succesfuld forsøg på god flis, last varieret fra 80 til 150 kW _{el} . Forsøget sluttede pga. fejl i gasmotorens styring.

September	Langtidsdrift	Problem med utæthed i forgasningsreaktoren.
November	Langtidsdrift	Succesfuld forsøg, 7 døgn uafbrudt drift stoppede pga. for meget vand i flisen (>60%)

Generelt gik forsøgene godt, og i løbet af 2009 kunne anlægget køre ubemandet.

Det nye bedhøjde reguleringsprincip med Radar var en god løsning.

I det følgende præsenteres eksempler på resultater for to forsøg :

- Forsøget i maj 2009, hvor fokus var at vise at anlægget kunne last regulere og yde mindst 160 kW el samt
- Forsøg i november 2009, hvor fokus var at vise at anlægget kunne køre ubemandet langtidsdrift.

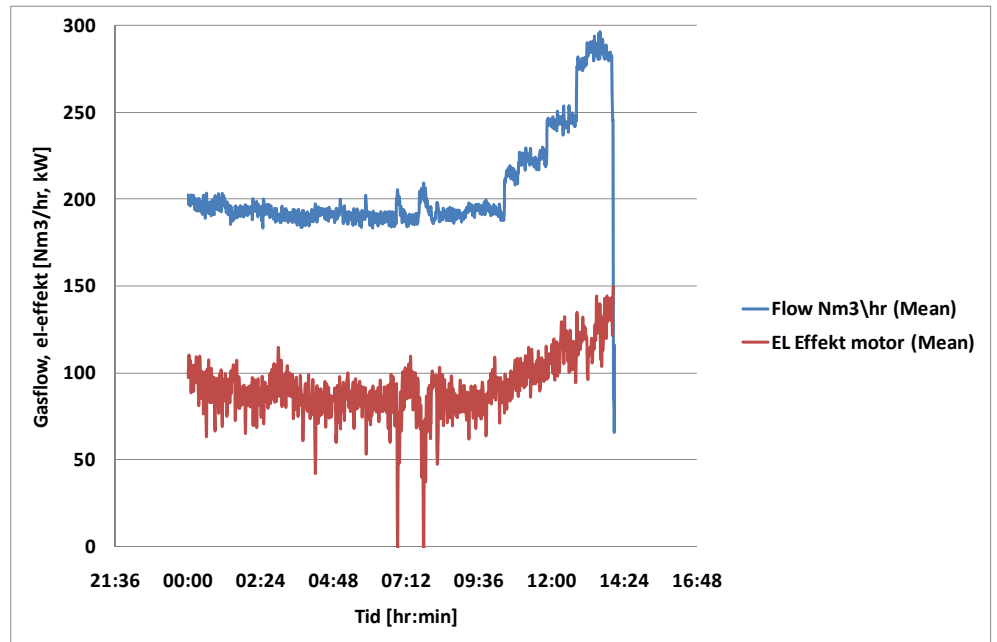
5.1 Lastregulering

I maj måned 2009 blev der udført et forsøg hvor bl.a. lastregulering af forgasseren blev testet. Figur 12 viser hvordan lasten er blevet varieret ved at øge gasflowet fra forgasseren og hvordan el-effekten fra gasmotoren tilsvarende er steget. Forsøget viste at belastningen på forgasseren problemfrit kan øges, men på grund af en effekt-begrænsning på motoren på 150 kW var det ikke muligt at øge belastningen yderligt, se Figur 12 og Figur 13.

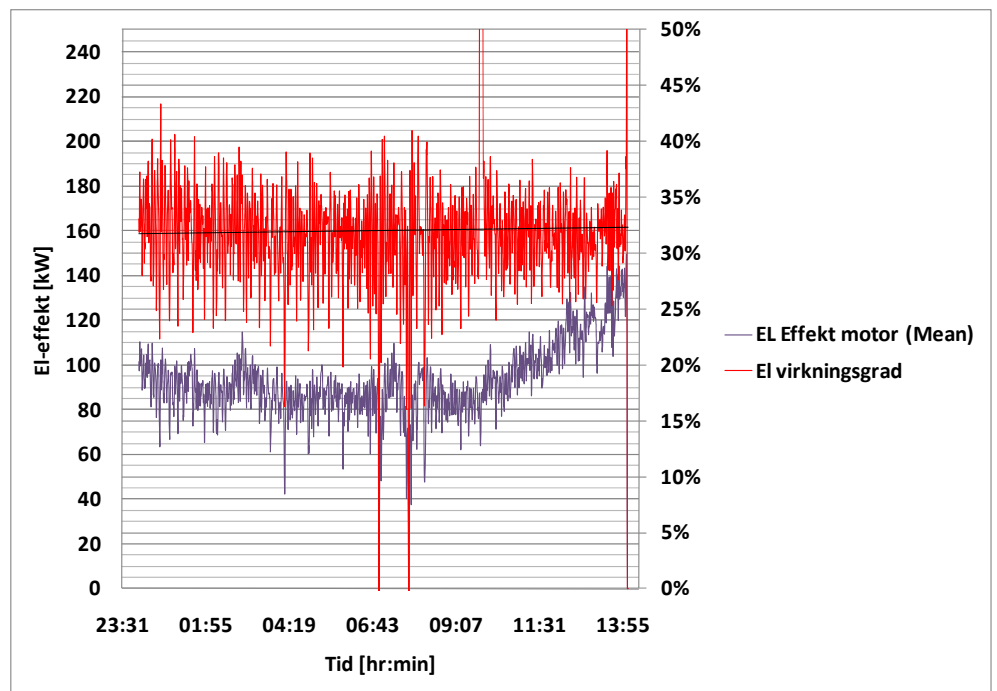
Som vist på Figur 13 var den gennemsnitlige el-virkningsgrad høj, over 32 %, til trods for en ikke optimal gasmotor.

Figur 14 viser at det er muligt at lastregulere samtidig med at brændværdi i forgasningsgassen og el-virkningsgraden på motoren holdes konstant.

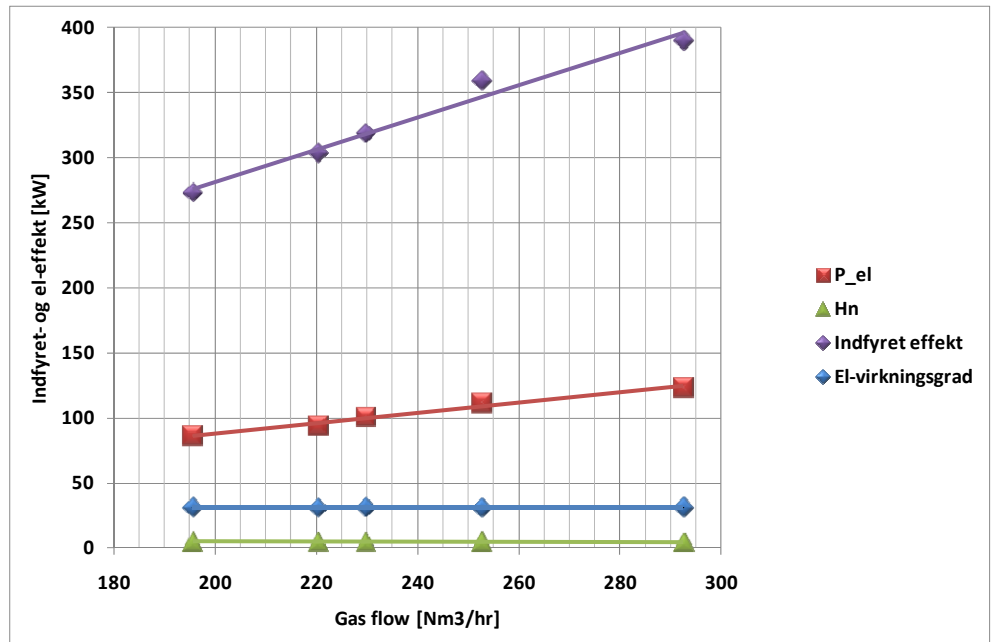
På Figur 15 ses det at gassammensætningen er stabil under hele forsøget og det samme ses for temperaturerne i koksreaktoren og tørreenheden (Figur 16).



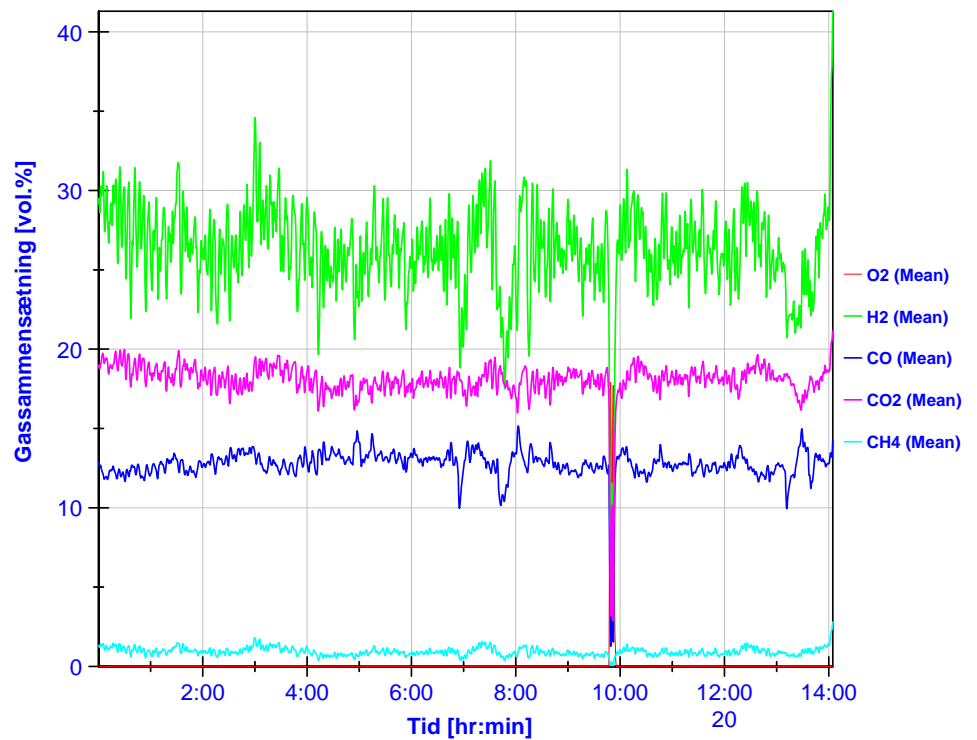
Figur 12 Gasflow og el-effekt ved varierende last.



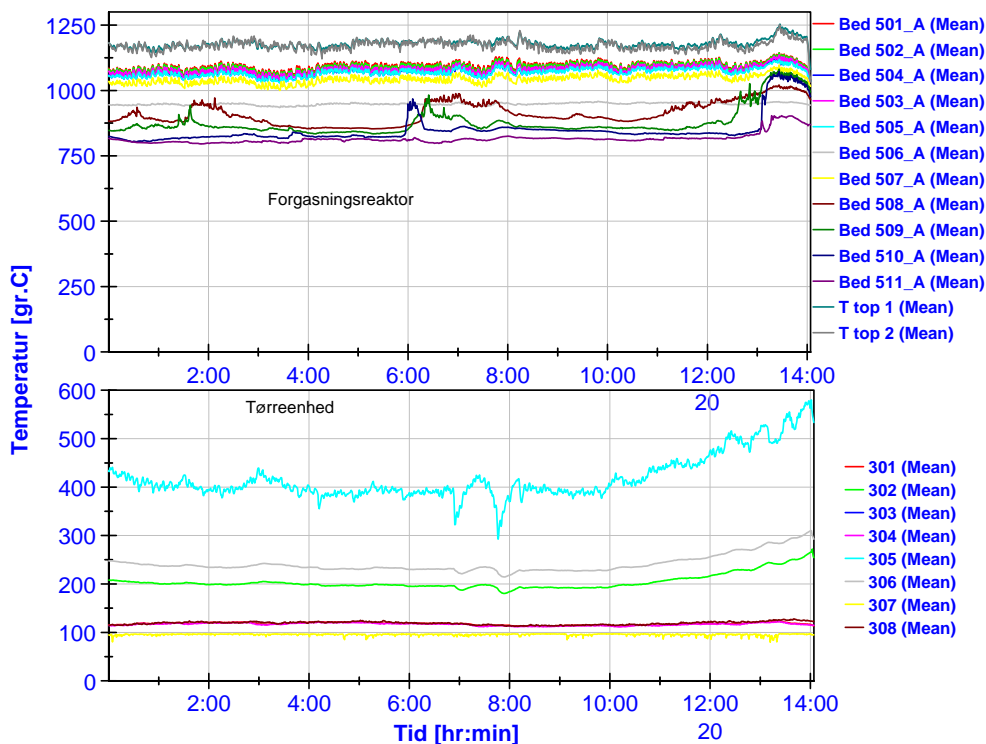
Figur 13 Effekt og virkningsgrad på motoren.



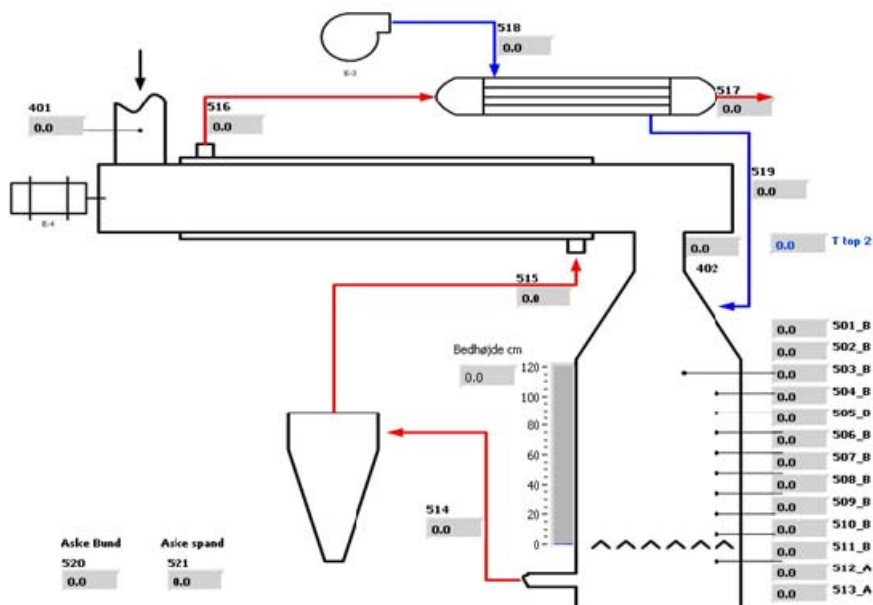
Figur 14 Effekt og virkningsgrad ved varierende gasflow.



Figur 15 Gassammensætningen under lastvariationsforsøget.



Figur 16 Temperaturer i forgasningsreaktoren og i tørreenheden under lastvariation. Temperaturer numrene referer til numrene på Figur 17.

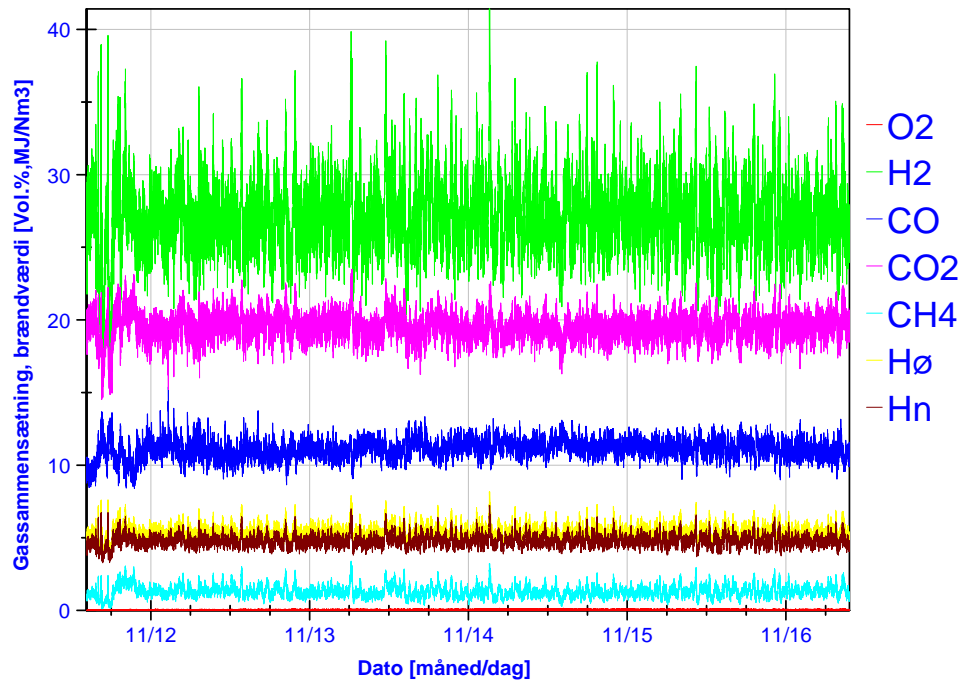


Figur 17 Principskitse af forgasseren med nummereret temperaturer positioner.

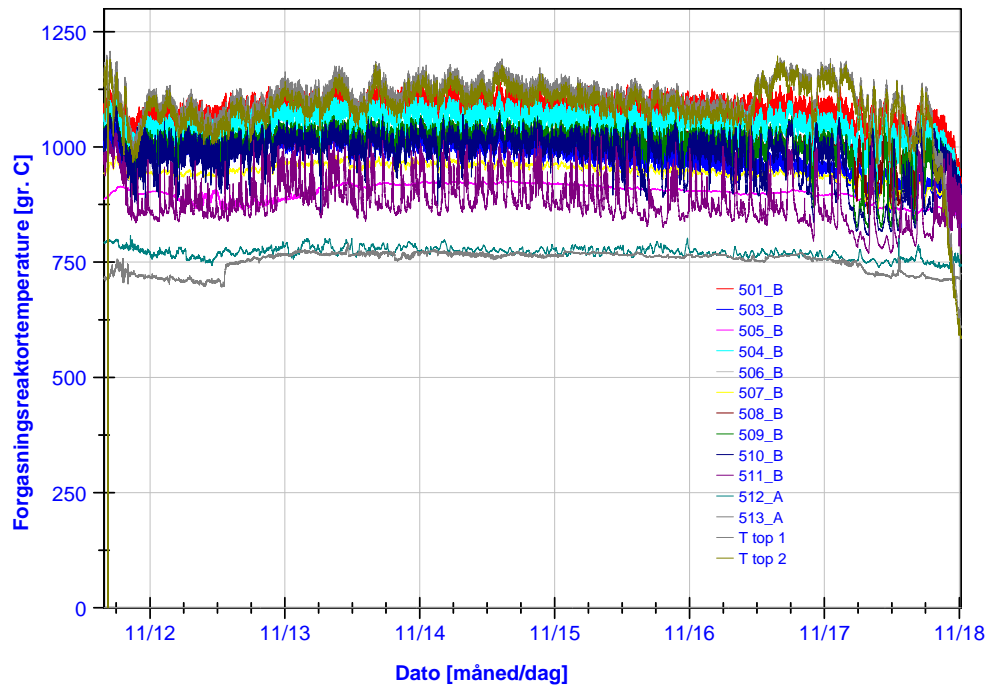
5.2 Ubemandet langtidsdrift

I november måned 2009 blev der udført et forsøg med ubemandet langtidsdrift af forgasseren.

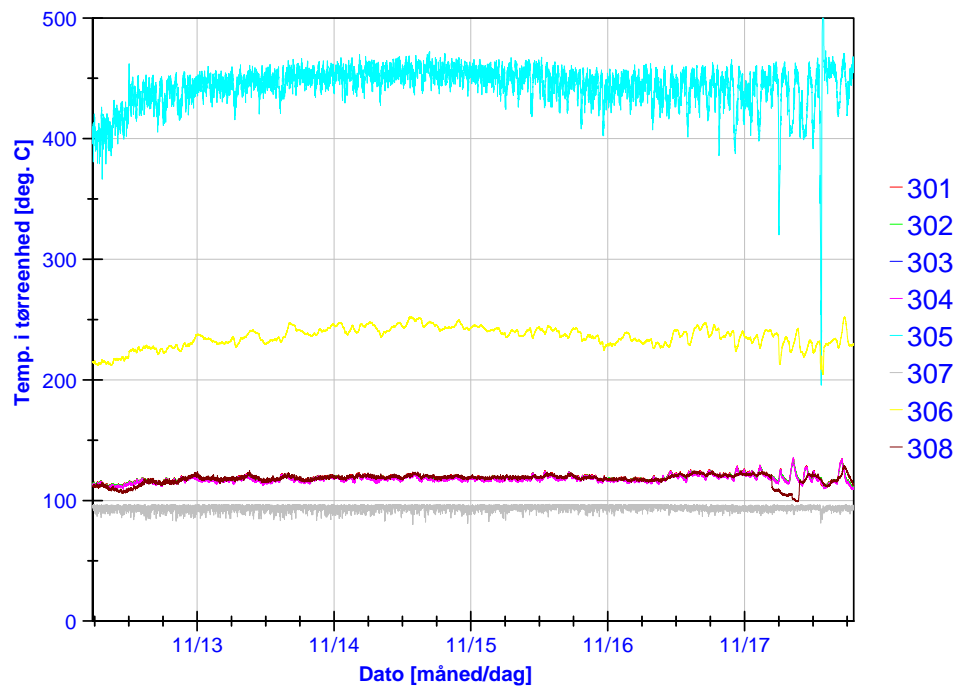
Figur 18 til Figur 21 viser data fra 7 døgns uafbrudt drift. Forsøget stoppede ikke på grund af anlægsspecifikke fejl men på grund af et for højt fugtindhold i det anvendte brændslet (>60 % vand). De målte data viser med tydelighed stabiliteten af anlægget, selv ved dellast.



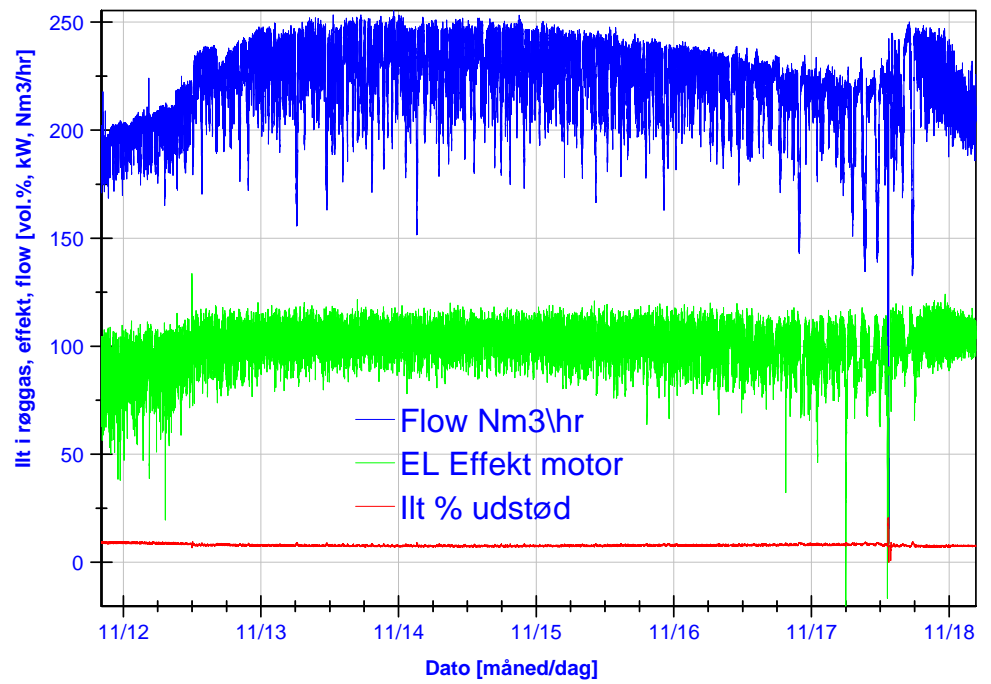
Figur 18



Figur 19 Temperaturer i fogsningsreaktoren. Temperaturer numrene referer til numrene på Figur 17.



Figur 20 Temperaturer i tørreenheden under lastvariation. Temperaturer numrene referer til numrene på Figur 8.



Figur 21 Måling af

6 Demonstrationsprojekt

På basis af nærværende projekt har Weiss besluttet at forberede et egentligt demonstrationsprojekt.

Energinet dk yder støtte til demonstrationsprojektet (ForskEL-projekt nr. 2009-10204) .

Demonstrationsprojektet forventes at blive etableret i Hillerød i løbet af 2011.

7 Konklusion

Anlægget er blevet indkørt og mangler er udbedret. Det er eftervist at anlægget har de ønskede last reguleringsegenskaber og at der kan køres ubemandet drift.

Gaskvaliteten har levet helt op til forventningerne og el-virkningsgraden har i gennemsnit været høj, til trods for at en ikke optimal, brugt motor er anvendt i pilotanlægget.

Langtidsdriften har været noget kortere end oprindeligt ønsket, men er tilstrækkelig til at konkludere, at processen nu er moden til opskallering og at næste trin må være etablering af et egentligt demonstrationsanlæg.

8 Bilag

Artikel "Hysterisk Varmt" fra Teknisk Nyt nr. 3 2010.