

**NOVEMBER 2007**



**Danmarks  
Tekniske  
Universitet**

**”Indpasning af totrinsforgasser i et  
energisystem”  
(videregående undersøgelser af Viking - forgasseren)  
(PSO projekt FU4201)**



**Institut for  
Mekanik,  
Energi og  
Konstruktion**

**MEK**

**Ulrik Henriksen**

**Jesper Ahrenfeldt**

**Energiteknik**

November 2007

”Indpasning af tottrinsforgasser i et energisystem”  
(videregående undersøgelser af Viking - forgasseren)  
(PSO projekt FU4201)

Ulrik Henriksen  
Jesper Ahrenfeldt

Institut for Mekanik Energi og Konstruktion (MEK)  
Danmarks Tekniske Universitet  
Nils Koppels alle  
Bygning 402  
2800 Kongens Lyngby

## Indholdsfortegnelse

Forord.....	3
Resume.....	4
1. Indledning .....	5
2. Procesbeskrivelse.....	6
Beskrivelse af forgasningsanlæg.....	7
Indfødnig.....	7
Pyrolyseenhed .....	7
Koksreaktor.....	7
Risten og bunden af forgasseren .....	7
Cyklon.....	8
Gasvarmevekslere .....	8
Posefilter .....	8
Kondensator .....	8
Mixertank.....	8
Motor.....	8
Styring.....	9
Beskrivelse af energiaftagsystemet.....	10
Varierende el-aftag-system. ....	11
Varierende varme-aftag-system .....	11
3. Resultater .....	14
Dynamik og last variationer svingninger .....	19
Responce fra Pyrolyseenheden .....	19
Feed- forward styring.....	20
Koksbedhøjdemåling .....	20
Simulering af forholdene i den partielle oxidation .....	21
Inspektion af anlæg. ....	21
4. Konklusion.....	22
Referencer .....	23

## Liste over bilag

Bilag 1. Inspektionsrapporter

Bilag 2. Validation of Continuous CHP Operation of a Two-Stage Biomass Gasifier  
Ahrenfeldt, Jesper ; Henriksen, Ulrik Birk ; Jensen, Torben Kvist ; Gøbel, Benny ;  
Wiese, Lars ; Kather, Alphons ; Egsgaard, Helge  
Energy and Fuels (ISSN: ) (DOI: 10.1021) , 2006, American Chemical Society

Bilag 3. Numerical investigation of the partial oxidation in a two-stage downdraft  
gasifier  
Gerun, Luc ; Paraschiv, Maria ; Vijeun, Razvan ; Bellettre, Jerome ; Tazerout, Mohand  
Gøbel, Benny ; Henriksen, Ulrik Birk  
Fuel (ISSN: 0016-2361) (DOI: 10.1016/j.fuel.2007.07.009) , 2007, Elsevier

## **Forord**

Denne rapport, inklusiv bilag (udgør den faglige afrapportering af projektet: ”Indpasning af tottrinsforgasser i et energisystem” (PSO projekt FU4201). Det skal bemærkes at en ukorrigeret version af bilag 2 indgår som bilag i ref 1.

Projektet er gennemført med økonomisk tilskud PSO-ordningen. Arbejdet startede juni 2004 og afsluttes november 2007.

Arbejdet kan betragtes som fortsættelse af projektet ”Langtidsundersøgelser af tottrinsforgasser” (ref 1), men blev igangsat ca. 1 år før dette tidligere projekt blev afsluttet. Som det fremgår af inspektionsrapporterne er der derfor betydningsfuld interaktion mellem de to projekter.

Nærværende arbejde er gennemført af Biomasseforgasningsgruppen, MEK, DTU. Endvidere har eksterne aktører bidraget med bistand til projektet, herunder Jørgen Beck Christensen vedrørende murværk, Erik Hansen vedrørende styring. Cowi og Weis har ligeledes bidraget specielt vedrørende HAZOP undersøgelsen der primært sigter på det opskalerede tottrinsforgasningsanlæg der er under opførelse hos Weis.

## Resume

Formålet med dette projekt er, at undersøge anlæggets sikkerhedsmæssige tilstand samt udvikle og implementere et nyt styresystem for fleksibelt varme- og elaftag.

Tillige ønskedes erfaringer med langtidsdrift. Herudover er det formålet at indhøste erfaringer under drift og forsøg, og herudfra løbende forbedre anlæggets komponenter.

Status for Vikingforgasseren ved projektets afslutning er:

En række komponenter er løbende forbedret med henblik på driftssikkerhed, levetid, lav investering.

Anlægget har været i stand til at følge en ønsket døgnvariation i såvel el som varmebehov.

Der er gennemført langtidsforsøg og anlægget har kørt 3856 driftstimer, heraf 3490 timer med motordrift. Anlægget er inspiceret ca. for hver 500 timer.

Der er kørt med en række forskellige træbrændsler og der er opnået en god gaskvalitet. Uforbrændt kulstof i asken har således været lav ved anvendelse af løvtræsflis (0,1 -1 % af indfødte effekt), hvorimod den steg betydeligt ved anvendelse af nåltræ (3-6 % af indfyret effekt).

Alle fire afprøvede murværks typer ser ud til at fungere perfekt.

Arbejdet har i stor udstrækning bidraget ved samarbejdet med virksomhederne COWI og Weiss A/S om opskalering og kommercialisering af tottrinsforgasseren.

## **1. Indledning**

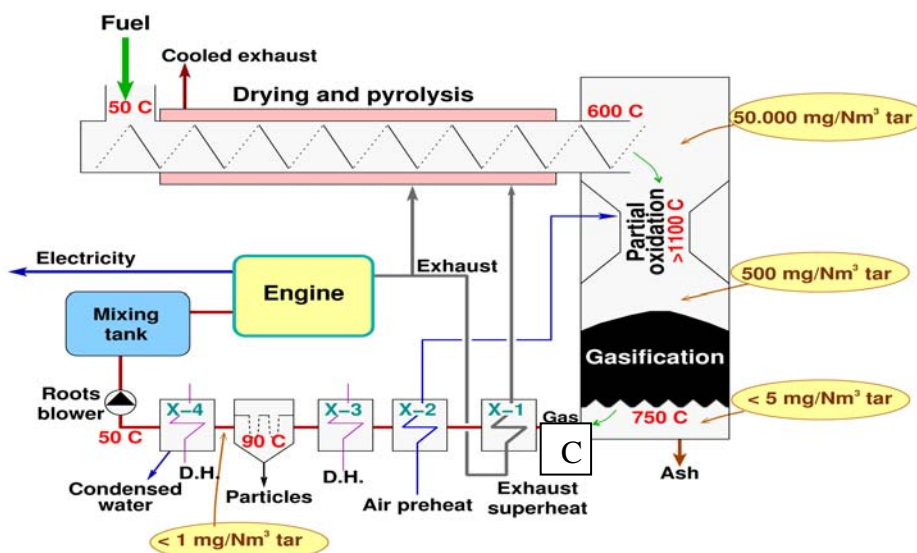
Beskrivelsen af baggrunden er baseret på ref 1. Gennem de seneste 18 år har der været arbejdet med tottrinsforgasning på DTU. Arbejdet har bl. a. ført til bygning af den tottrinsforgasser der benævnes 100 KW forgasseren (Ref 2). Med denne forgasser, blev der opnået overordentlige lovende resultater og tottrinsforgasseren blev herefter egentlig betragtet som færdigudviklet. Næste skridt ville naturligt have været produktmodning og kommercialisering. De gode resultater var imidlertid ikke tilstrækkeligt til at gøre industrivirksomheder interesseret i kommercialisering, og selv om dette nok hovedsageligt skyldtes de økonomiske og markedsmæssige forhold, blev det vurderet, at også den teknologiske risiko havde en betydning. Det var også klart, at selv om 100 kW anlægget havde forgasset i sammenlagt 400-500 timer, delt op på mange forsøg, så ville der være en betydelig udviklings- og forskningsmæssig indsats, før et færdigt kommercielt produkt ville eksistere.

På denne baggrund blev det besluttet at bygge en lille demonstrationsforgasser på DTU. Målet med denne forgasser, var at bygge en tottrinsforgasser, der skulle forgasse træflis og køre fuldautomatisk og uovervåget.

Ved nærværende projekts start havde Viking- forgasseren kørt 2224 timer og heraf 1956 timers drift med motoren på forgasningsgas.

## 2. Procesbeskrivelse

Som beskrevet i ref 1. er processen baseret på den traditionelle tottrinsproces med eksternt opvarmet pyrolyseenhed. Procesdiagrammet ses på Figur 1



Figur 1 Procesdiagram for Viking forgasningsanlægget. ( C angiver cyklonen)

Flisen kommer ind i en doseringsenhed hvor en snegl doserer flisen til pyrolyseenheden. Brændslet ledes gennem pyrolyseenheden ved hjælp af en snegl. Når flisen således er tørret og pyrolyseret falder koksen ned i koksforgasningsreaktoren.

De flygtige pyrolyseprodukter blandet med vanddampen fra tørringen af flisen møder den forvarmede luft, og den partielle oxidation finder sted. Produkterne strømmer ned og reagerer med koksen. Den herved producerede gas ledes ned gennem risten og videre ud i gassystemet.

Gassen passerer først en cyklon og ledes derefter til en varmeveksler, hvor en del af motorens udstødningsgas forvarmes. Herefter ledes gassen gennem luftforvarmeren og videre til en termostateret køler, der køler gassen ned til en ca. 90°C, hvilket er noget over gassens vanddugpunkt. Gassen ledes herefter til posefiltret og gennem et patronfilter, der fungerer som sikkerhedsfilter og videre til den kondenserende køler, hvor en del af vanddampen i gassen udkondenserer og bortledes. Gassen strømmer herefter gennem endnu et patronfilter, der fungerer som demistor og fjerner vanddråber fra gassen. Gassen ledes herefter gennem gasblæseren, der er en volumetrisk maskine (Rootsblæser) gennem mixertanken og til motoren. Mixertanken opblander gassen over ca. 5 minutter. Herved opnås en mere ensartet gassammensætning til motoren.

Ved motoren blandes gassen med luft i et T-stykke, herefter opblandes luft og gas i et blandelegeme, hvorefter blandingen ledes til motorens indsugningsmanifold.

Udstødningsgassen fra motoren deles således at en del opvarmes ved varmeveksling med produktgassen før den ledes til pyrolyseenhedens kappe i den varme ende. Denne



del af udstødningsgassen blandes sammen med resten af udstødningsgassen hvor denne ledes til pyrolyseenhedens kappe, se Figur 1 Herved opnås bedre pyrolysning og højere energivirkningsgrad af hele anlægget. Denne konfiguration er udviklet på baggrund af modelberegninger.

Efter pyrolyseenheden køles udstødningsgassen i en varmeveksler, før den ledes til skorsten. Et vandsystem er tilknyttet forgasningsanlægget svarende til et fjernvarmeanlæg. Dette system anvendes til at simulere døgnvariationer i el eller varme produktionen.

### **Beskrivelse af forgasningsanlæg**

Komponenterne i Vikingforgasningsanlægget er beskrevet i ref 1. Det er valgt her at gennemgå komponenterne igen, med tilføjelse af de ændringer der er foretaget.

#### **Indføding**

Flissiloen blev indkøbt som en standardkomponent. Siloen har automatisk udtræksystem og med en kapacitet til ca. to ugers forbrug.

Indfødingssystemet er baseret på snegle og et slusesystem bestående af to spjæld.

Indfødingensneglen der føder flis i pyrolyseenheden varetager doseringen ved styring af omløbsfrekvensen.

#### **Pyrolyseenhed**

Pyrolyseenheden består af et rør med sneglefremføring af brændslet. Opvarmningen sker ved at udstødningsgas fra motoren strømmer i en kappe omkring røret.

#### **Koksreaktor**

Koksreaktoren er ændret til at være konstrueres i murværk af fire forskellige slags. De fire slags udgør hver en fjerdedel af reaktoren opdelt i højderetningen. I den del af reaktoren hvori koksbedden ligger, er murværket foret med en metal kappe. Dette sikre at al gas passerer koksbedden. For at undgå for mange gennemføringer gennem murværket er temperaturfølerlommerne ført op i reaktoren nedefra langs væggen.

Det anvendte metal er MA 253 og de fire murværksprøver er beskrevet i inspektionsrapport maj 2004 (ref 1).

I den øverste del af reaktoren hvor den partielle oxidation finder sted er der for at sikre symmetri nu placeret fire i stedet for tre luftdyser.

#### **Risten og bunden af forgasseren**

Risten er en vipperist som kan lade fast materiale og gas passere igennem. I bunden af forgasseren leder to snegle aske ud gennem en ventil til en container. Containeren er lukket i forhold til omgivelserne, men kan tømmes under drift. Rist og bund er lavet

af højtemperaturstål. Der er op til forsøget maj 2006 tilføjet en yderligere askesnegl der munde ud i en større container.

### **Cyklon**

Der blev i juni tilføjet en cyklon efter forgasseren. Tanken var at reducere partikelbelastningen i varmevekslerne.

### **Gasvarmevekslere**

Gassen ledes gennem en varmeveksler (X-1 på Figur 1) der opvarmer en del af udstøds-gassen fra motoren. Gassen ledes herefter gennem luftforvarmeren (X-2 på Figur 1). Disse vekslere er fremstillet i højtemperaturstål. Herefter ledes gassen til 90°C veksleren (X-3 på Figur 1) der køler gassen ned til ca. 90 °C. Denne veksler er erstattet af en med større dimensioner. I den oprindelige var rørdiameteren indvendig 12 mm. Dette er nu øget til 22 mm. Samtidig er trådretningsystemet erstattet af et kæderensystem. Der er fremstillet nyt træktøj til disse kæder. Samtidig er bunden af varmeveksleren ændret således at det udrensede støv vil blæse med gassen over i posefilteret (dette fungerer i øvrigt fint) For at undgå korrosion under stilstand er denne veksler samt rørføringen over til posefilteret blevet elopvarmet til 80 °C året rundt.

### **Posefilter**

Gassen ledes herefter til et posefilter. Dette er købt kommercielt og monteret med almindelige polypropylen poser. Partiklerne akkumuleres i en container under bunden af filteret, og kan udtages gennem en ventil under drift.

Efter posefilteret er et politifilter bestående af et almindeligt papirpatronfilter, placeret. Dette filter findes for at rense gassen hvis posefiltret skulle fejle.

### **Kondensator**

Denne veksler (X-4 på Figur 1) køler gassen ned ved hjælp af returvand fra varmekredsen. Herved udkondenseres vand fra gassen. Gassen ledes herefter gennem et patronfilter svarende til politifilteret for at fange dråber i gassen. Kondensatet ledes til en palletank.

### **Mixertank**

Herefter ledes gassen til en 5 m<sup>3</sup> stor opblandingstank placeret efter rootsblæseren, for at få ensartet gassammensætning.

### **Motor**

Gassen ledes nu til motorens karboreringssystem og videre til motoren. Motoren er en trecylindret DEUTZ gasmotor incl. generator.

Udstødningssgassen ledes gennem varmeveksleren hvor den opvarmes af forgasningssgassen, gennem pyrolyseenhedens kappe.

## **Styring**

Anlægget styres automatisk. Styresystemet er PLC (Siemens step 5) baseret og bygger på valg af en af en række mulige drifttilstande (opvarmning, opstart, ren gas til fakkell, motordrift, nedlukning).

Under motordrift kan forgasseren reguleres efter forskellige strategier:

1. Luftindblæsningen holdes konstant, hvorefter gasstrømmen reguleres således at trykket i forgasseren ved indfødingen holdes på atmosfæretryk. Dette svarer til styringen af 100 kW anlægget.
2. Gasproduktionen holdes konstant. Lufttilsætningen reguleres i dette tilfælde således at trykket i forgasseren er atmosfæretryk.
3. Iltkoncentrationen i motorens udstødningssgas holdes konstant. Lufttilsætningen reguleres samtidig således at trykket i forgasseren holdes konstant. Denne strategi anvendes i situationen vist på figurerne 3 og 4.

En fjerde strategi er tilføjet:

El-effekten fra generator holdes konstant. Lufttilsætningen reguleres samtidig således at trykket i forgasseren holdes konstant. Denne strategi anvendes primært i forbindelse med forsøg varierende varmeaftagforsøg.

Koksbeddens højde over risten registreres ved hjælp af temperaturmålinger i koksbeddens side. Indfødningsraten reguleres således at det tilstræbes at holde koksbedhøjden konstant.

Risten aktiveres når tryktabet over koksbedden overstiger en indstillet værdi.

Driften er gennemført helt overvejende automatisk og uovervåget. Under opstart fra kold tilstand har anlægget været bemanded. Ved de seneste opstarter har anlægget været bemanded omkring 16 timer hvorefter anlægget er slået på automatisk drift. Opstart i varm tilstand f.eks. efter en alarm kræver bemanning i kort tid alt efter temperaturen i reaktoren. Opstart er ikke søgt automatiseret. Nedlukning af anlægget foregår automatisk og kræver ikke bemanning.

Der er tilføjet en styring der sikrer mod gennembrænding.

## **Beskrivelse af energiaftagssystemet**

Det er målet at undersøge hvorledes forgasningsanlægget opfører sig når det skal indgå i et energisystem hvor den ønskede elproduktion varierer eller den producerede varmemængde skal modsvare et varierende behov.

Der etableres et PLC system (baseret på Simens step 7) en reguleringsventil og en flowmåler indbygges i varmeaftagets vandledning på returside samt en temperaturføler (PT 100) i fremløbet.

Systemet sammenkobles med forgasserens system ved overførelse af et eksterne setpunkt for variation af eleffektproduktionen (hvilket kræver at forgasseren anvender styrestrategi 4).

På figur 5 er skitseret styresystemet. For overskuelighedens skyld vises den del af forgasserens styresystem der kan anvendes under motordrift sammen med energiaftagssystemets styring.

Når energi aftagssystemets styring er aktivt kræves at forgasseren anvender strategi 4) hvilket vil sige at motorens styring søger at få motoren til at producere den eleffekt der svarer til setpunktet til regulator (Regulator<sub>El effekt</sub>). Dette setpunktet kan så enten være valgt som en konstant i forgasserstyringen eller det kan være valgt at kommer fra energiaftagssystemet.

Her kan det enten komme fra den situation hvor der køres med en fastlagt elproduktion (Set El) eller fastlagt varmeproduktion (Regulator<sub>T frem</sub>)

Ved fastlagt elproduktion kan setpunktet enten fastlægges ved en konstant værdi eller ved en værdi der varierer efter en kurve der simulere en døgnvariation af elforbruget.

Ved fastlagt varme produktion er der tale om en kaskade regulering. Det hænger selvfølgelig sådan sammen af ved øget elproduktion øges også varmeproduktionen. Ønskes en øget varmeproduktion kan dette opnås ved at øge elproduktionen hvilket igen kan gøres ved at øge setpunktet til den styring der bestemmer elproduktionens størrelse.

En nærmere beskrivelse af varmeaftagssystemet er her nødvendig.

Fra dengang da Vikinganlægget blev etableret blev der etableret et køletårn der bort kølede varmeproduktionen. Dette var monteret med en regulator der holdt konstant returtemperatur ( $T_{\text{retur}}$ ). Dette system bibeholdes.

Der er herudover etableret en styreventil i vandstrengen samt en flowmåler. Sammen med regulator  $R_{\text{Flow}}$  sørger dette system for at massestrømmen i vandkredsen enten er konstant eller følger en fastlagt kurve.

Hvis samtidig fremløbstemperaturen holdes konstant vil flow variationen netop være proportional med varmeeffektvariationen idet:

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot (T_{\text{Fremløb}} - T_{\text{Retur}})$$

Idet Q og m er hhv varme og masse.

Derfor findes en regulator (Regulator<sub>T frem</sub>) der som tilbagekoblingssignal har fremløbstemperaturen ( $T_{\text{retur}}$ ) som den søger at fastholde på en konstant værdi.

Udgangen fra denne regulator går som setpunkt til (Regulator<sub>El effekt</sub>). Herved haves

en kaskade regulering således at varmeeffekten kan få den værdi eller følge den kurve der ønskes. For at et sådant system er stabilt skal (Regulator  $T_{frem}$ ) være væsentlig langsommere end (Regulator  $El_{effekt}$ ).

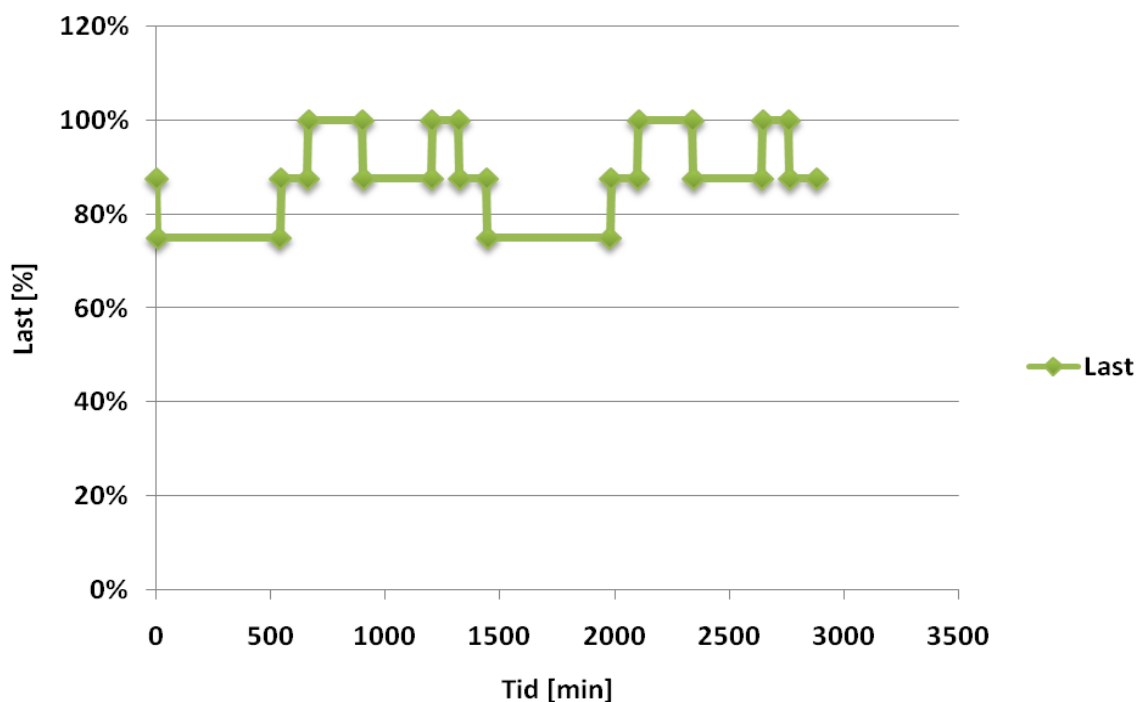
### Varierende el-aftag-system.

Med hensyn til varierende elproduktion tages udgangspunkt i en tredjestarif udstukket af Elkrafts system. Der er tale om tre effekt niveauer (se Figur 2)

Som udgangspunkt sættes forgasserens øvre grænse ved 14 kW og nedre grænse ved 10,5 kW.

Det er fastlagt at ændringerne foretages over 5 minutter.

Simuleringen af dette implementeres ved at der lægges en kurve ind i PLC en der svarer til kurven på Figur 2. Signalet herfra ledes til den PLC (simens step 5) der styrer forgasser og dette signal giver setpunktet til den regulator der regulerer gasblæseren under styrestrategi 4 således at der ydes den effekt der bedes om (se diagram figur 5)



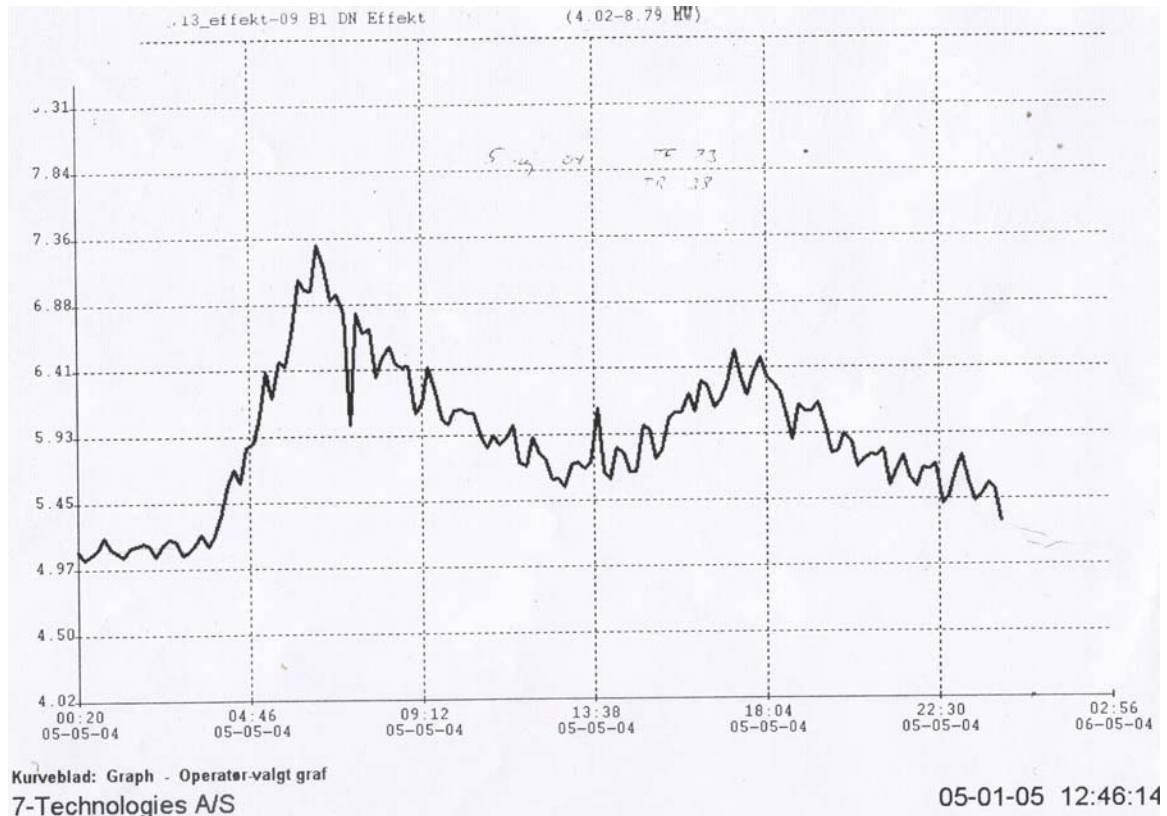
Figur 2 Kurve over varierende elproduktion svarende til en tredjestariff. (to døgn er vist)

### Varierende varme-aftag-system

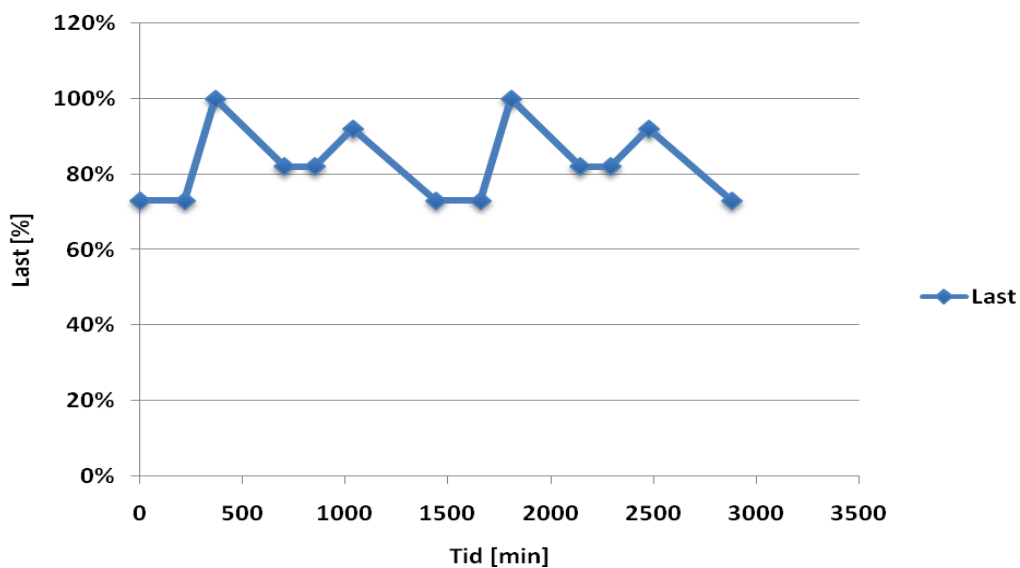
Med hensyn til varierende varme-aftagssystem blev der anvendt en døgnvariationskurve for fjernvarme-forbruget fra Assens kraftvarmeværk (se Figur 3). Denne kurve blev tilnærmet med en række rette linier (se Figur 4) og danner grundlag for den tilstræbte varme variation fra forgasningsanlægget.

Simuleringen af dette implementeres ved at der lægges en kurve ind i PLC en der svarer til kurven på Figur 4. Signalet herfra ledes til den PLC (Siemens step 7) der styrer varme-aftagssystemet og dette signal giver setpunktet vandflowregulatoren

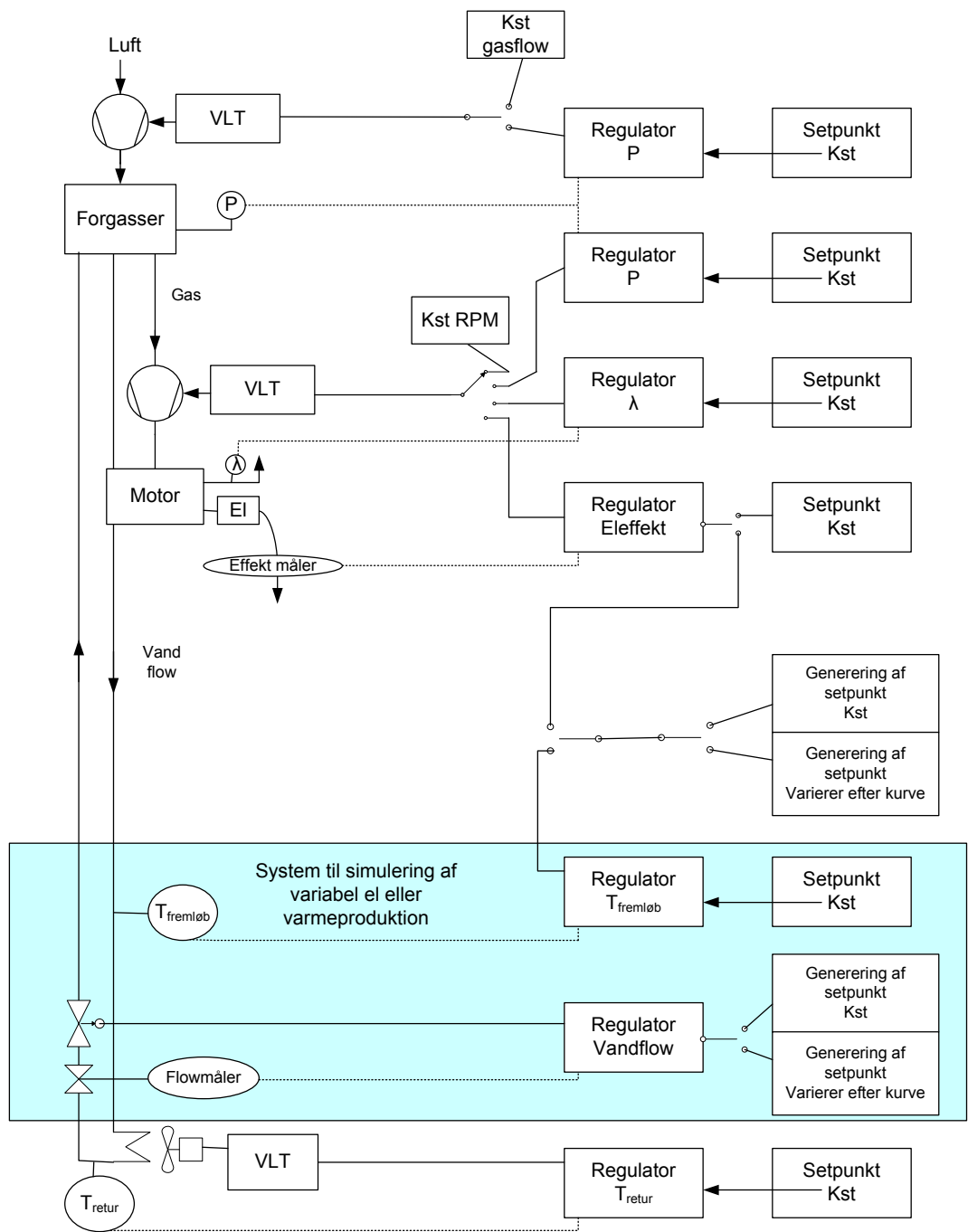
(Regulator  $V_{\text{vandflow}}$ ). Regulatoren der søger at holde fremløbstemperaturen konstant (Regulator  $T_{\text{frem}}$ ) giver sit udgangssignal som setpunkt til den regulator i forgasserens styretavle (PLC step 5) (Regulator  $E_{\text{effekt}}$ ) der giver motorens eleffekt. Herved gives også anlæggets varme ydelse der herved bliver proportionalt med vandflowet (se diagram Figur 5)



Figur 3 Varmeforbrugskurve for et døgn fra Assens kraftvarmeværk.



Figur 4 Simplificering af kurven vist på Figur 3 (to døgn er vist)

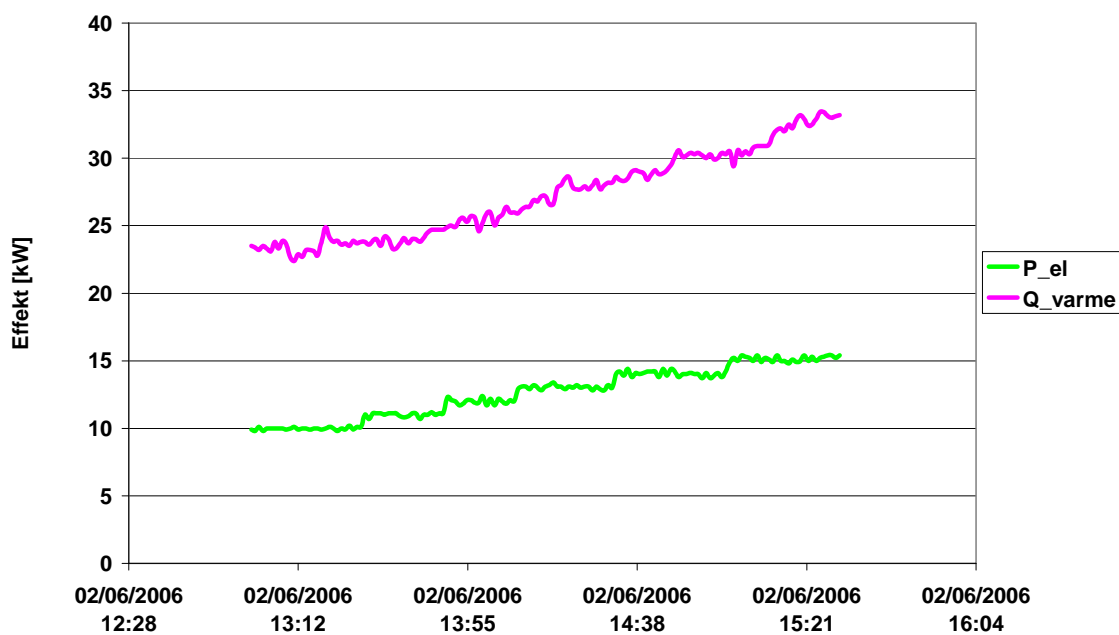


**Figur 5** Skitse af dele af Vikingforgasserens styring kombineret med styringen af energiaftagsystem.

### 3. Resultater

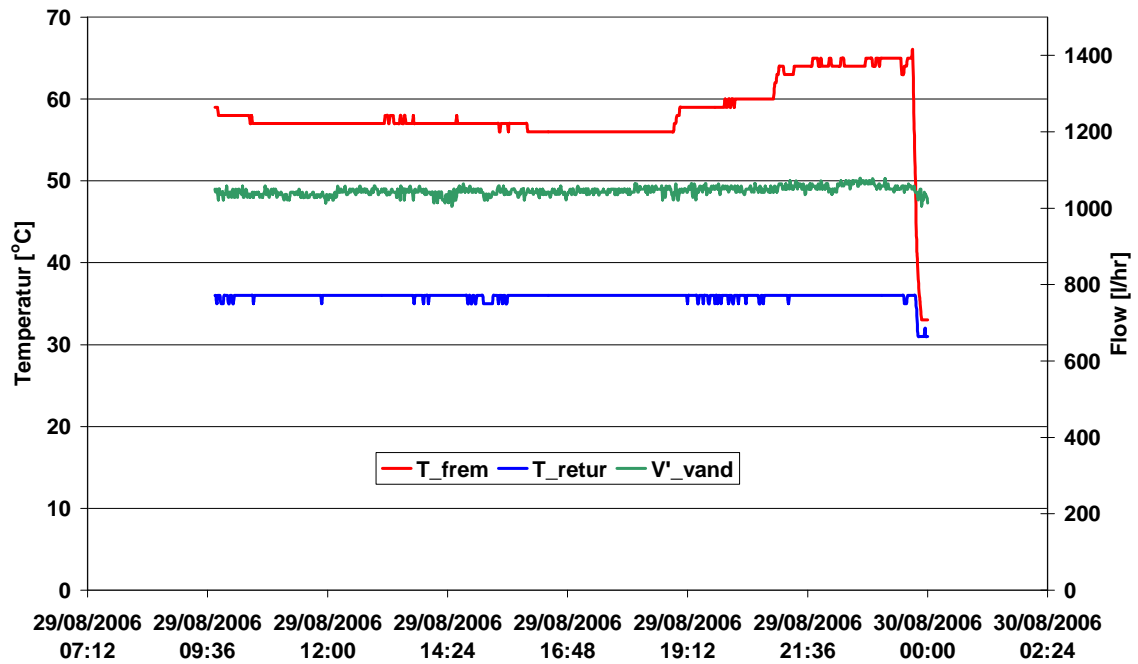
Der er gennemført test af responset fra variation af el-effekten. Det fremgår af Figur 6 at el-effekten ændres lige så hurtigt som man beder om det. Af Figur 7 ses at når vandflowet holdes konstant ændres som forventet fremløbstemperaturen når el-effekten (og dermed også varmeeffekten) ændres.

Der er gennemført kalibreringsforsøg hvor sammenhængen mellem el-effekten og varmeeffekten er eftervist. Som det fremgår af Figur 6 er der som forventet fin proportionalitet mellem disse to. Samtidig ses af Figur 8 at når el-effekten ændres, ændres også varmeeffekten hurtigt.

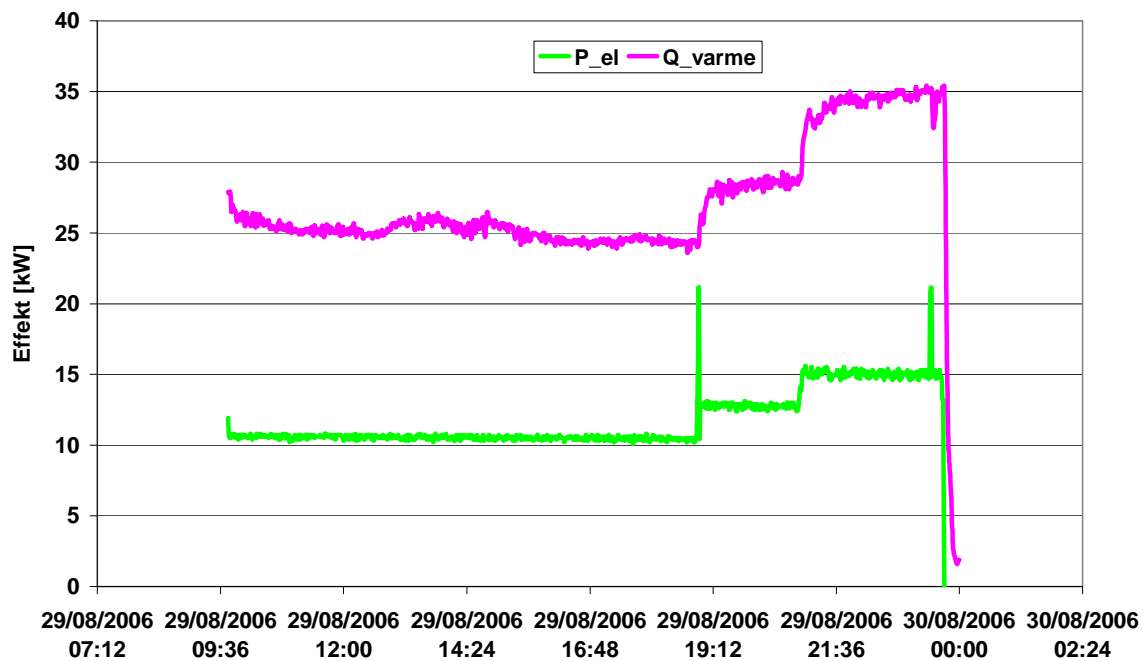


Figur 6 Sammenhængen mellem el og varmereproduktion.





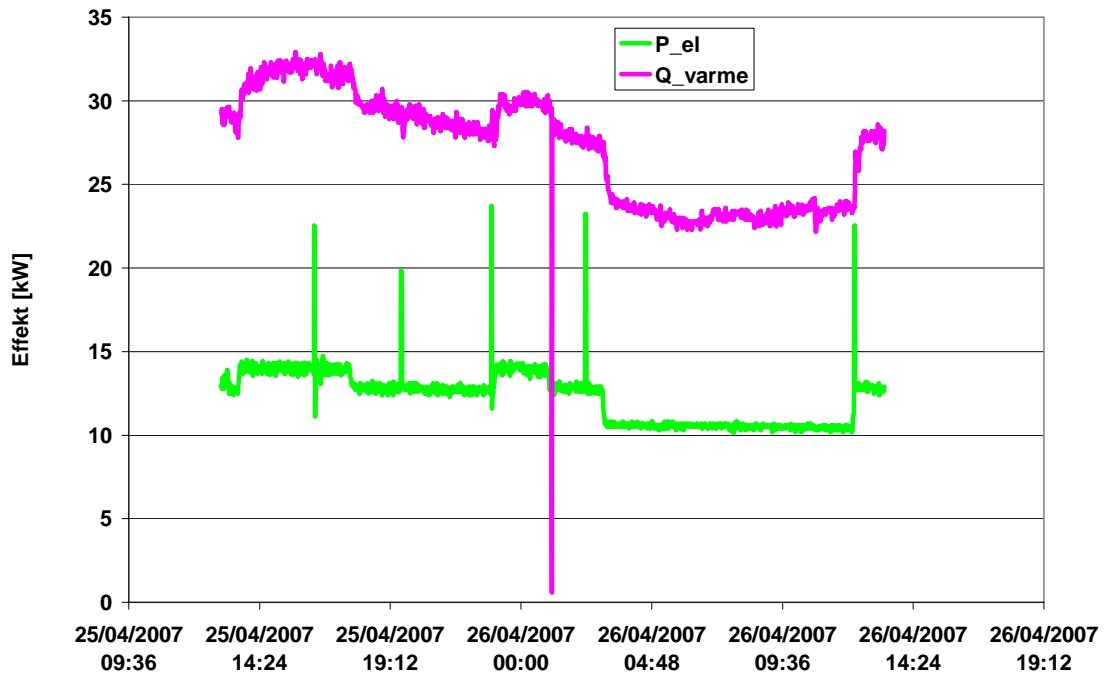
Figur 7 Fremløbstemperaturens ændring ved last forøgelse når vandflowet holdes konstant.



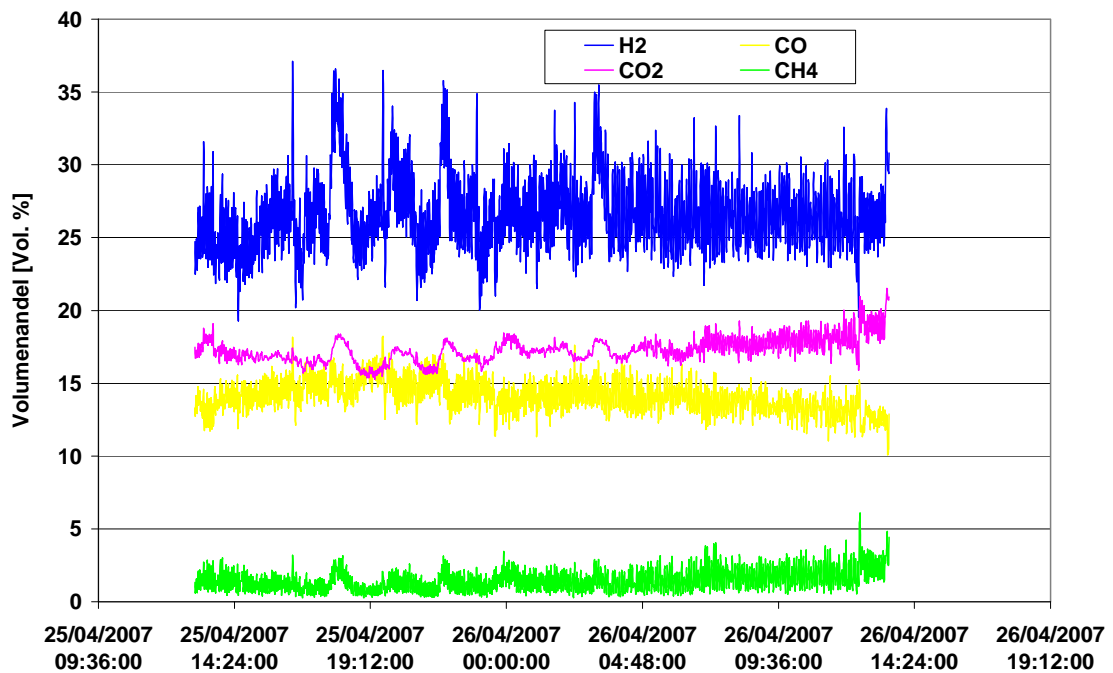
Figur 8 Det fremgår at varmeproduktionen ændres hurtigt når el-produktionen ændres.

Forsøg hvor el-effekten varierer over et døgn er vist på Figur 9.

Det kan konkluderes at effekten nøje følger det tiltænkte kurveforløb (sammenlign med Figur 2). På Figur 10 ses at dette betyder lidt variation af gassammensætningen, hvilket dog ikke har betydning for forgasserens eller motorens ydelse og effektivitet.



Figur 9 El-produktionen varieres over et døgn og følger nøje den ønskede kurve (se Figur 2)

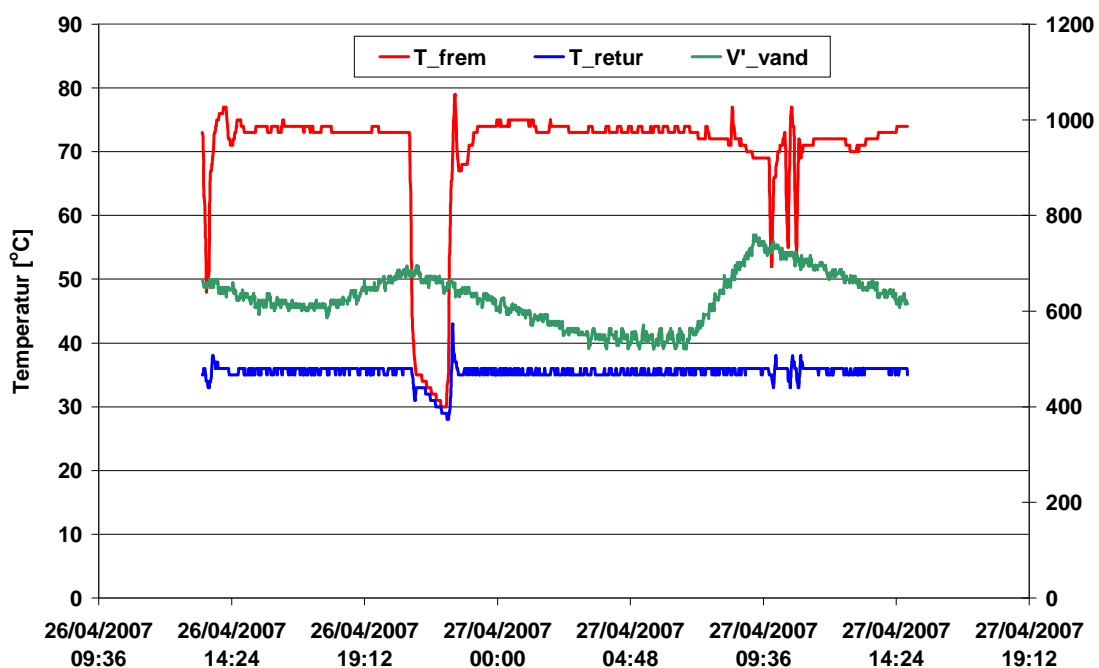


Figur 10 Gassammensætningen under variation af el-produktionen

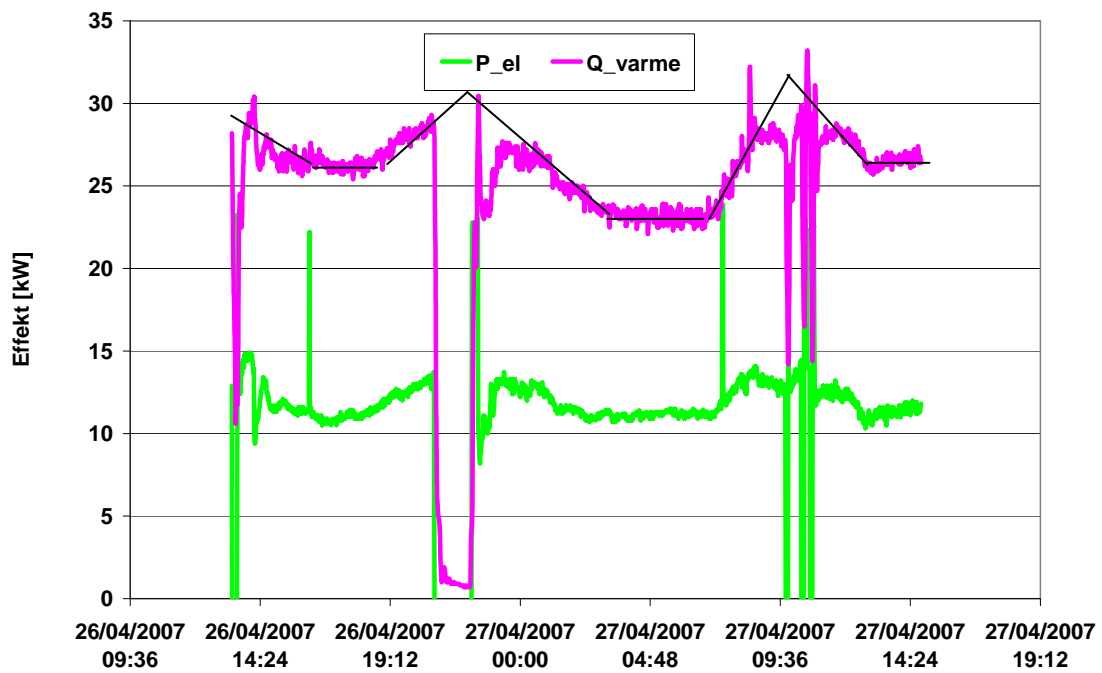
Forsøg hvor varmeeffekten følger en tiltænkt kurve gav lidt problemer idet forgasseren havde nogle nedlukninger undervejs. Dette skyldes at tryktabet over koksbedden pludselig blev lidt ustabil. Årsagen hertil er ikke fastlagt.

På Figur 11 ses at vandflowet følger den tiltænkte kurve nøje og fremløbstemperaturen holdes næsten konstant som ønskes. På Figur 12 ses at varmeproduktionen følger den tilsigtede variation over døgnet bortset fra tidspunkterne omkring de to nedlukninger (sammenlign med Figur 4).

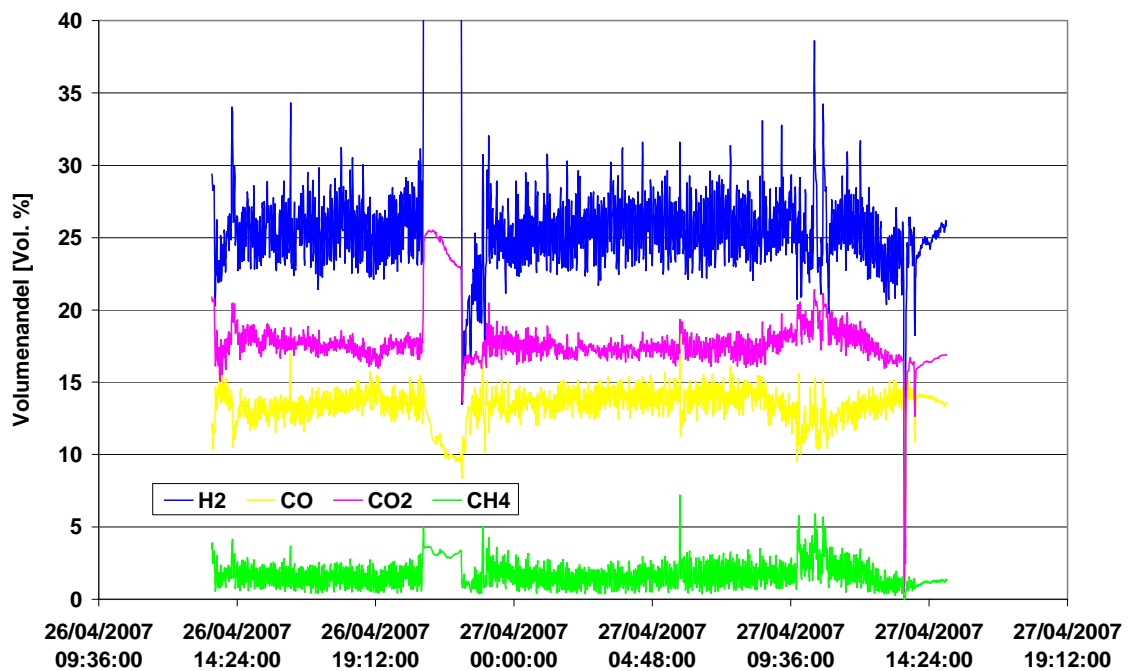
På Figur 13 er gassammensætningen vist under dette forløb, og der ses en fuld acceptabel variation i gassammensætningen.



Figur 11 Vandflowet ændres efter en døgnkurve og forgasseren klarer at holde fremløbs-temperaturen konstant ved at variere varmeproduktionen (se også figur 12).



Figur 12 Variation af varmeproduktionen over et døgn. Bortset fra driftstoppene ses kurven at følge det ønskede forløb skitseret med sorte streges.

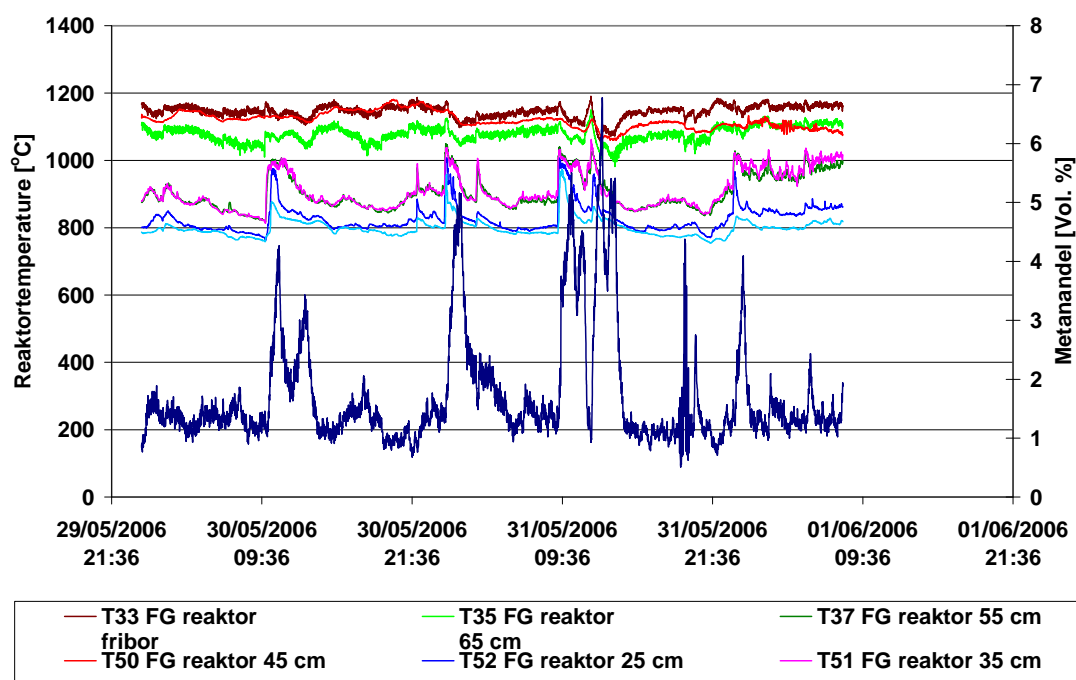


Figur 13 Gassammensætningen under variation af varmeproduktionen.

Det må sluttes at der ikke er noget der tyder på at der skulle være fald i effektivitet eller virkningsgrad som følge af variationer i hverken el-effekt eller varmeeffekt.

## Dynamik og last variationer svingninger

Under forsøgene i sommeren 2006 (se inspektionsrapporter for maj 2006, juni 2006 og august 2006) blev det konstateret at der opstod stabile svingninger i forgasseren med en frekvens på nogle timer. Svingningerne kunne ses på, at bl.a. temperaturerne i reaktoren og gassammensætningen (se Figur 14). Det blev antaget at svingningerne skyldtes et sammenspil mellem tidsforsinkelsen i pyrolyseenheden, koksbedregulatoren og variationer i gasflowet. Der køres med konstant ilt i røggassen (reguleringsstrategi 3).



Figur 14 Variationer af reaktor temperature og metanindholdet i gassen er vist.

En sammenhæng kunne være som følger: Som udgangspunkt antages at bedhøjden falder lidt, der skrues derfor op for indfødingen, der produceres mere pyrolysegas og dermed mere metan, brændværdien stiger herved, gasflowet reduceres derfor, der forgasses mindre koks og bedhøjden stiger, der skrues ned for indfødingen herved falder metanindhold og brændværdi og der skrues atter op for gasflowet.

En anden sammenhæng kunne være: Tryktabet stiger over askeudmadningens setpunkt og der makes aske ud. Herved falder bedhøjden lidt, der skrues derfor op for indføderen og der produceres herved mere metan, brændværdien stiger og gasflowet reduceres tryktabet falder, koksbedden stiger, der skrues ned for indfødingen metanindholdet falder brændværdien falder der skrues op for gasflowet, tryktabet stiger, askeudmaderen kører osv.

Det ses altså at der er en klar væsentlig dynamisk indflydelse fra metandannelsen i pyrolyseenheden, og at dette forudsætter at metandannelsen er hurtig. Når indfødingen stiger må metanen dannes hurtigt.

## **Responce fra Pyrolyseenheden**

Med udgangspunkt i disse teorier blev der udført forsøg der vist responcetiden for metanproduktionen. Anlægget blev sat på manuel (konstant) indføding. Herefter

blev indføddningen momentant forøget med 25 %. Det viste sig at allerede efter ca. 2 minutter kunne der konstateres en forøgelse i metanindholdet i den producerede gas. Dette var yderst overraskende, men skyldtes nok at fugtindholdet i brændslet var lavt (ca. 30% hvor det tidligere oftest har været ca. 40%).

Det må konkluderes fænomenerne vedrørende denne dynamik ikke har været modelleret da de ikke før har været erkendt.

### **Feed- forward styring**

For at dæmpe disse svingninger blev der justeret på regulatorparametre, og det så ud som om det hjalp, men ikke meget. Derfor blev en ekstra styreparameter indføjet. Det er jo klart at når det skal produceres mere gas skal der indfødes mere flis. Derfor blev der lavet en feed- forwardstyring der fungerede ved, at når gasflowet steg, steg omgående også flisindføddningen. Herved skulle en forøgelse af flisindføddningne ikke afvente at koksbeddens højde først skulle nå at falde (Det erindres ( ref 3) at koksbedhøjden ændres meget langsomt) Herved ville det være muligt at undgå de store variationer i metanindhold og dermed i gasflow, luftflow, temperatur osv.

Et sådant system blev simuleret ved manuel indgriben i indføddningsmængden under drift, og det så lovende ud. En PLC-programstump blev lavet og implementeret i forgasserens styring. Resultatet var, at der tilsyneladende blev opnået en væsentlig mere stabil drift under lastvariationer. Dokumentation over lang tids drift er dog ikke gennemført.

### **Koksbedhøjdemåling**

Det blev under forsøget maj 2006 klart, at den anvendte metode til måling af koksbedhøjden ikke fungerede så godt som ved tidligere forsøg. Der var ikke så tydelige temperaturfald når en føler blev dækket af koksbedden som tidligere set. Dette medfører, at koksbedhøjderegulatoren har svært ved at udregne den rette koksbedhøjde. For eksempel hvis det totale temperaturniveau falder samtidig med at en føler bliver dækket, kan regulatoren ikke detektere bedhøjdeforøgelsen.

Årsagerne til denne forværring er ikke helt klar, men et par forklaringer følger.

For det første er temperaturfølerne, i den nuværende reaktorkonstruktion, ført op nedefra for at undgå gennemføringer i de afprøvede fire murværkstyper. Dette fører med sig at temperaturfølerne og deres lommer har en potentiel fejl som følge af varmeledning i højderetningen. For det andet er reaktiviteten af det grantræsflis der anvendes under disse forsøg kun ca. det halve af hvad den er for det løvtræsflis der er anvendt ved tidligere forsøg. Dette betyder at temperaturfaldet under forgasningen ikke er så udtalt som tidligere set.

Det må sluttes at det anvendte koksbedhøjdemåleprincip fungerer nogenlunde, men er ikke det bedst tænkelige.

Det måtte sluttes at der fremdeles var behov for en forbedret koksbedhøjdemåler men da dette ikke var økonomisk muligt blev det besluttet at lave en temperaturmålesøjle (et MA 253 rør med en række termoelementer) som sænkes ned gennem skueglasset i reaktorens top.

Forgasseren blev startet og det nye temperaturmålesystem til bedhøjdderegulatoren blev afprøvet. Det fungerede perfekt. Der blev kørt forsøg over et døgn med varierende elproduktion, og forgasseren holdt den ønskede effekt som den skulle.

Det måtte slutes at reaktivitetsforholdene ikke var afgørende med at den tidligere føring af termoelementerne op langs reakturvæggene er mindre hensigtsmæssig.

### **Simulering af forholdene i den partielle oxidation**

Forholdene i den partielle oxidation indebærer af tjæremængden i gassen reduceres med størrelsesordenmæssigt en faktor 100. samtidig viser målinger på 100 kW forgasseren (ref 2) at hovedparten af primær og sekundær tjære forsvinder og at der stort set kun er tertiær tjære tilbage. Der er i samarbejde med Ecole des Mines Frankrig gennemført simuleringer af forholdene i denne zone. Dette er gjort ved hjælp af CFD beregninger (Se bilag 3) Der regnes på en geometri svarende til 100 kW forgasseren der er forgænger for Vikingforgasseren, men geometrisk meget lig med med denne. Årsagen er, at der findes detaljerede målinger (bl.a. af temperaturprofiler) fra 100 kW forgasseren.

Modellen finder et temperaturprofil tæt på målte resultater.

Resultaterne viser bl.a. at tertiær tjære bliver brændt af, at ordentlig tjærenedbrydning kræver en god turbulens og en god opholdstid i den partiel oxidationszone hvilket kan opnås ved en luftindblæsningshastighed på omkring 34 m/s i luftdyserne. Dette svarer pænt til den hastighed der er valgt på Viking (ca 35 m/s).

### **Inspektion af anlæg.**

Anlægget er fremdeles i god stand. Der er ikke set slid eller korrosion i nævneværdig grad, og konstruktionen vurderes i det store og hele at være god. Med hensyn til forgasningsanlægget henvises i øvrigt til Bilag 1 og med hensyn til inspektion af motoren henvises desuden til ref 4.

#### **4. Konklusion**

Der er gennemført langtidsforsøg og anlægget har kørt 3856 driftstimer, heraf 3490 timer med motordrift.

Der er gennemført en Hazop-undersøgelse der sigter på det opskalerede anlæg i Hadsund, men det kan sluttes at Vikinganlægget er i en god sikkerhedsmæssig tilstand.

Anlægget kan tilpasse produktionen af el og varme til en givet behovsvariation.

CFD simuleringer viser at udformningen af reaktorens geometri ved den partielle oxidation er god og resulterer i at der opnås optimal tjærekrakning.

Materialerne i anlægget er valgt således at der kan opnås god holdbarhed. Der er ikke valgt materialer der er unødvendige dyre. Alle fire prøvede murværkstyper ser ud til at fungere perfekt.

Der er kørt med en række forskellige træbrændsler og der er opnået en god gaskvalitet. Uforbrændt kulstof i asken har således været lav ved anvendelse af løvtræsflis (0,1 -1 % af indfødte effekt), hvorimod den steg betydeligt ved anvendelse af nåletræ (3-6 % af indfyret effekt).

De må konkluderes at ved anvendelse af nåletræ vil det være en fordel med bedre koksomsætning evt. ved hjælp af et koksomsætningstrin efter selve forgasseren.

Bedreguleringen har fungeret, men det konkluderes at et forbedret system er ønskeligt.

Ristesystemet fungerer, men det må sluttes at en optimering er ønskelig med hensyn til at undgå sjældne, men pludselige tryktabsstigninger over koksbedden i forbindelse med at risten kører. Dette kan muligvis afhjælpes ved at større anlæg hvor risteelementerne er større.

Projektet har bidraget til grundlaget for design af et opskaleret anlæg der nu er under indkøring i Hadsund.



## **Referencer**

- 1) Langtidsforsøg med tottrinsforgasseren "Viking"  
Henriksen, Ulrik Birk ; Ahrenfeldt, Jesper ; Dall Bentzen, Jens  
(ISBN: 87-7475-331-2) pages: 59, 2005
- 2) Optimering af 100 kW tottrinsforgasningsanlæg på DTU. Resultater fra forsøg i uge 37 1998. Jens Dall Bentzen, Peder Brandt, Benny Gøbel, Claus Hindsgaul, Ulrik Henriksen. Department of Energy Engineering. DTU. ET-ES-99-02. 167 pages. 1999.
- 3) The development of a computer model for a fixed bed gasifier and its use for optimization and control  
Henriksen, Ulrik Birk ; Gøbel, Benny ; Jensen, Torben Kvist ; Qvale, Einar Bjørn ; Houbak, Niels  
Bioresource Technology (ISSN: ) (DOI: 10.1016/j.biotech.2006.08.019) , vol: 98, issue: 10, pages: 2043-2052, 2006, Elsevier
- 4) Characterization of Biomass Producer Gas as Fuel for Stationary Gas Engines in Combined Heat and Power Production  
Jesper Ahrenfeldt, Ph.D. thesis. MEK-ET-PHD-2007-02  
(ISBN 87-7475-343-6)

**Inspektionsrapporter for projektet  
"Indpasning af tottrinsforgasser i et energisystem"**

**Bilag 1**

## **Inspektionsrapport for projektet :”Langtidsafprøvning af totrinsforgasseren Viking” og ”Indpasning af totrinsforgasser i et energisystem” for juni 2004.**

Der er startet et projekt med titlen : ”Indpasning af totrinsforgasser i et energisystem”. Projektet er bevilget af PSO Elkraft og kan betragtes som en videreførelse af projektet ”Langtidsafprøvning af totrinsforgasseren Viking”.

Der er foretaget konstruktion af den nye koksfor gasningsreaktor til viking. Produktion af det nye murværk er igangsat.

Der er konstrueret og fremstillet en ny varmeveksler til erstatning af den gamle på pladsen kaldet 90 °C varmeveksler. Den oprindelige varmeveksler havde rørdiameter på 12 mm og som beskrevet i tidligere inspektionsrapporter har der jævnt hen været problemer med tilstopning af denne veksler. Selv om disse tilstopninger er forhindret med et tråd-rene-system besluttedes alligevel at afprøve en veksler med rørdiameter på 22 mm.

## **Inspektionsrapport for projektet :”Langtidsafprøvning af totrinsforgasseren Viking” og ”Indpasning af totrinsforgasser i et energisystem” for juli 2004.**

Der er foretaget tegning af den nye koksfor gasningsreaktor til viking. Der er indkøbt metalmaterialer og produktion af metaldelene er sat i gang.

## **Inspektionsrapport for projektet :”Langtidsafprøvning af totrinsforgasseren Viking” og ”Indpasning af totrinsforgasser i et energisystem” for august 2004.**

Ingen aktivitet

## **Inspektionsrapport for projektet :”Langtidsafprøvning af totrinsforgasseren Viking” og ”Indpasning af totrinsforgasser i et energisystem” for september 2004.**

De nye murværkssten blev leveret fra Hasle.

Der blev arbejdet med indbygning af murværket i koksreaktoren.

Gasrensesystemet på Vikingforgasseren blev rensed for belægninger. I forbindelse hermed blev for gasningssystemet inspiceret, og en række tæringsproblemer viste sig.

Problemerne viste sig i de rustfrie metaldele, der hvor der havde været lav temperatur og før gasrensningen. Problemet var fremkommet under stilstand hvor fugt fra luften i over et år og saltbelægninger havde angrebet materialet.

Problemet vil ikke finde sted under drift.

## **Inspektionsrapport for projektet :”Langtidsafprøvning af totrinsforgasseren Viking” og ”Indpasning af totrinsforgasser i et energisystem” for oktober 2004.**

Der blev arbejdet videre med indbygning af nyt murværk i koksreaktoren. Dette arbejde er vanskeliggjort af, at de anvendte sten af de fire forskellige materialer har er lidt uens i størrelse.

Der blev arbejdet på at udskifte de korroderede dele i gassystemet (Dette viste sig at være et ret stort arbejde).

Rapporteringen af analyser af murværk blev færdiggjort. (bilag 1)

Rapportering af over valget af nye murværksmaterialer blev startet. Analyser af det nye murværks porøsitet blev gennemført.

Der blev startet på at fremstille et træktøj til ristesystemet som tillader større bevægelser end det oprindelige. Herved søges at fjerne de klumper af aske der efter tidligere forsøg er set på risten.

Ændringer i styringen er iværksat, således at styringen er forberedt for varierende belastningskurver.

Der er indkøbt nyt PLC-udstyr til at styre den varierende belastning mm.

Der blev under IEA mødet i København den 25. oktober 2004 holdt to indlæg.

### **Inspektionsrapport for projektet :”Langtidsafprøvning af totrinsforgasseren Viking” og ”Indpasning af totrinsforgasser i et energisystem” for november 2004.**

Der blev arbejdet videre med indbygning af nyt murværk i koksreaktorens midterste del.

Rapportering af valget af nye murværksmaterialer er gennemført.

Det nye træksystem til askeristen er fremstillet og afprøvet.

Ændringer i styringen er gennemført, således at styringen er forberedt for varierende varme- eller elproduktion.

Det ene var af Benny Gøbel, og omhandlede Vikingforgasseren. (Powerpointpræsentationen er bilag 2)

Det andet var af Jesper Ahrenfeldt og omhandlede motordrift på forgasningsgas bl.a. i forbindelse med Vikingforgassen. (Præsentationen er bilag 3)

Der var den 26. oktober fremvisning af Halmfortet og af Vikingforgasseren for IEA gruppen. Ca. 15 personer fra forskellige steder i verden deltog.

Bilag 1: Rapport over murværk.

Bilag 2: Powerpointpræsentation fra IEA møde i København den 25. oktober 2004  
”Vikingforgasseren”

Bilag 3: Powerpointpræsentation fra IEA møde i København den 25. oktober 2004  
”Motordrift på forgasningsgas”

### **Inspektionsrapport for projektet :”Langtidsafprøvning af totrinsforgasseren Viking” og ”Indpasning af totrinsforgasser i et energisystem” for december 2004.**

Arbejdet med fremstilling af koksreaktorens midterste del er gennemført og reaktordelen er under montage.

Der er opbygget programmer i det indkøbte PLC-udstyr til at styre den varierende belastning. Styrestrategien for denne del er fastlagt.

## **Inspektionsrapport for projektet :”Langtidsafprøvning af tottrinsforgasseren Viking” og ”Indpasning af tottrinsforgasser i et energisystem” for januar 2005.**

Reaktorens midterste del monteres.

Rørføringer og tilslutninger udføres.

Rørene isoleres og el-opvarmning af de kolde rørstrækninger med partikelholdig gas etableres.

## **Inspektionsrapport for projektet :”Langtidsafprøvning af tottrinsforgasseren Viking” og ”Indpasning af tottrinsforgasser i et energisystem” for februar 2005.**

Rørføringer og tilslutninger bliver færdigmonteret og trykprøvning påbegyndes. Det viste sig at store dele af askesystemet var gennemtæret på grund af saltholdig aske og fugt fra stilstandsperioden. Udskiftning af de tære dele påbegyndes.

En varmevariationskurve over døgnet ( nogenlunde svarende til varmeproduktionen fra Assens kraftvarmeværk) er programmeret op indlagt i styringen af varmeaftagssystemet.

Flissilo renses og frostsikres.

## **Inspektionsrapport for projektet :”Langtidsafprøvning af tottrinsforgasseren Viking” og ”Indpasning af tottrinsforgasser i et energisystem” for marst 2005.**

Udskiftning af de tære dele færdiggøres og reaktoren tæthedsprøvet igen. Nu er den tæt.

Måleprober (temperatur og tryk) monteres på de nye dele.

Isoleringsarbejde af reaktoren udføres.

Dataopsamlingsystemet og målesystemet kalibreres. Gasflowmåleren viser sig at være defekt.

Montering af komponenter til regulering af det varierende varme- og el- aftag etableres. Styreprogrammet er gjort næsten færdigt.

## **Inspektionsrapport for projektet :”Langtidsafprøvning af tottrinsforgasseren Viking” og ”Indpasning af tottrinsforgasser i et energisystem” for april 2005.**

De manglende opgaver er udført og anlægget er gjort klar til start.

## **Inspektionsrapport for projektet :”Langtidsafprøvning af tottrinsforgasseren Viking” og ”Indpasning af tottrinsforgasser i et energisystem” for maj 2005.**

Vikingforgasseren blev startet den 17. maj med det sigte at kører omkring 500 timer.

Formålet med forsøget var primært:

At få flere drifttimer med motoren på forgasningsgas.

At afprøve drift på flis af piletræ (poppel mix)

At afprøve den nye 90 °C varmeveksler med det nye kæderensesystem.

At afprøve poser i posefiltret med elektrisk jording for at forhindre re-entrainment og muliggøre bagskyldning under drift (se inspektionsrapporter september 2003 og oktober 2003)

At afprøve de fire murværkstyper i den nye midterdel til forgasningsreaktoren.

At afprøve det nye luftdysedesign.

At afprøve det nye træksystem til risten der tillader større vinkeldrejning af ristelementerne.

At teste og tilrette ændringerne i Vikings styresystem, hvilket primært er:  
Automatisk omkobling til naturgas under posefilterskyldning.  
Ny reguleringstrategi der holder motorens el effekt på en given værdi.

At teste det nye system der simulere varierende varme og el aftag.

At afprøve det nye udstyr til måling af cylindertrykket i motoren

#### Resultater:

Viking forgasseren blev startet, men der var nogle indfødningsmæssige problemer hvilket skyldtes lang tids stilstand. Problemerne blev løst. Herudover måtte enkelte essentielle styringsmæssige fejl rettes. Herefter gik anlægget i automatisk ubemandet drift.

Der viste sig gennem forsøget, at det var nødvendigt med væsentlige tilretninger og ændringer i de nye dele af styresystemet. Dette blev løbende gennemført.

Det nye træktøj til risten fungerede godt, og gennem hele forsøget faldt tryktabet over risten når denne blev aktiveret. Forsøg på at køre risten hele vejen rundt resulterede i at risten satte sig fast.

Styring af motorens el effekt viste sig at fungere perfekt. I løbet af få sekunder kan elproduktionen ændres fra en værdi til en anden og holdes konstant.

Den 24. maj var der rundvisning af IEAs koordinator gruppe. Her blev forgasseren fremvist i drift. Det fremgik at mange var ret imponeret over at anlægget kørte godt og stabil i ubemandet drift.

Bagskyldning af posefiltret lod sig ikke gøre medens dette var i drift. Men når der ikke var gasflow gennem poserne kunne bagskyldning gennemføres uden problemer. Problemet kunne skyldes statisk elektricitet i partiklerne således at disse ikke "kagede sammen" medens de sad på posernes overflade, men blev separeret ved bagskyldning for efterfølgende at sætte sig på poserne igen når bagskyldning blev foretaget under drift. Elektrisk jording af poser der var vævet sammen med en elektrisk ledende tråd blev forsøgt, men det viste sig ikke at havde nogen positiv effekt.

Effektiv bagskyldning kræver stadig at der ikke er gasflow gennem poserne imedens bagskyldningen står på. Dette betyder at motoren må køre på natur gas i ca. 1 minut hver gang der skyldes. Dette sker med intervaller på mellem 6 timer og to døgn. Omkoblingen til naturgas sker nu automatisk når posefiltret skal bagskylles.

Forsøg med at måle trykforløbe i motorens cylinder blev gennemført. Databehandling venter.

Systemet til varierende varme og elaftag fungerede godt, men kunne ikke afprøves fuldt ud bl.a. fordi reguleringsventilen i vandkredsen holdt op med at fungere.

### **Inspektionsrapport for projektet :”Langtidsafprøvning af tottrinsforgasseren Viking” og ”Indpasning af tottrinsforgasser i et energisystem” for juni 2005.**

Vikingforgasseren blev startet den 17. maj og blev stoppet planmæssigt den 13. juni.

Forsøget indebar 551 timer med motoren på forgasningsgas.

Vikingforgasseren har nu ialt kørt 2803 time med brændselsindfødning og 2507 timer med motoren på forgasningsgas.

I sidste del af forsøget blev det observeret at der var lidt tjærelugt i kondensatet.

Der blev samtidig observeret at fugtindholdet i brændslet steg fra omkring 40% i maj måned men steg til over 45% i juni. Det måtte atter konstateres at pyrolyseenheden ved dette fugtindhold fik problemer med at tørre og pyrolysere materialet hvorved upyrolyseret flis kunne nå koksbedden, hvilket må forventes at give lidt tjære i gassen. Samtidig blev der observeret et usædvanligt højt metanindhold i den producerede gas hvilket indikere tjære i gassen.

Det anvendte piletræ har en markant lavere densitet end det bøgetræsflis der sidst er anvendt, og dette kan påvirke varmeovergangsforholdene i pyrolyseenheden i uheldig retning.

For at bekræfte denne teori blev flisindfødningsmængden sænket og motoren kørt på fuld last på naturgas hvilket giver en forøgelse af temperaturen af den udstødningsgas der opvarmer pyrolyseenheden.

Herved blev pyrolyseenhedens mulighed for at tørre og pyrolysere brændslet forbedret.

Resultatet var, at metanindholdet faldt til det sædvanlige niveau. Herved kunne teorien bekræftes og det må konstateres at brændslets vandindhold på omkring 45 % er for højt til en acceptabel drift.

Driften fortsatte dog alligevel, og der blev placeret et aktivt kulfilter i kondensatstrømmen hvilket tilsyneladende rensede denne effektivt.

Efter 551 timers drift blev forgasseren stoppet planmæssigt.

Gassystemet blev inspiceret, og der kunne ikke konstateres tjærebeklæbninger eller andet i gasstrengen. Motorens indsugningssystem var ligeledes fremdeles fri for tjære.

### **Inspektionsrapport for projektet :”Langtidsafprøvning af tottrinsforgasseren Viking” og ”Indpasning af tottrinsforgasser i et energisystem” for juli 2005.**

Ingen aktivitet

### **Inspektionsrapport for projektet :”Langtidsafprøvning af tottrinsforgasseren Viking” og ”Indpasning af tottrinsforgasser i et energisystem” for august 2005.**



Ingen aktivitet

### **Inspektionsrapport for projektet :”Langtidsafprøvning af tottrinsforgasseren Viking” og ”Indpasning af tottrinsforgasser i et energisystem” for september 2005.**

Vikings koksreaktor blev åbnet og tømt.

Det viste sig at aske fra det anvendt brændsel (poppel-mix) havde sat sig i store mængder i reaktoren. Asken fyldte det meste af den del af reaktoren hvor koksbedden skulle være. Der var et mindre hul gennem askelaget langs den ene væg hvori forgasningen må have fundet sted under forsøget.

Asken var let klumpet, men kunne let knuses med fingrene og al asken kom ud gennem risten efter den var løsnet ovenfra.

Det må bemærkes at askemængden i brændeslet var relativt højt (ca. 3 %)

Denne ophobning af aske forklare hvorfor der under forsøget i maj og juni blev observeret tjære i gassen. Koksbedden fungerede ikke.

Samtidig viser disse resultater at askeudtagsmekanismen (risten) ikke på tilfredsstillende vis kan fjerne aske af denne karakter, under driften.

Efter reaktoren var tømt blev de fire forskellige slags murværk i reaktoren inspiceret. Der var efter ca. 500 timers drift intet problematisk at se. Murværkseksperten Jørgen Bech Christiansen inspicerede og hans kommentar kan ses i bilag 1.

Luftdyserne blev ligeledes inspiceret, og det viste sig at den forandrede konstruktion ser ud til at fungere. Der var ikke tilstopning af dysehullerne (hvilket dog nok også påvirkes af brændsel og driftforhold) og ikke synlig korrosion.

**Varmeveksleren (90 °C veksleren) med kæde-rens blev åbnet, og der var ingen problematiske belægninger. I gassystemet blev der ikke observeret korrosion, hvilket viser at den generelle opvarmning af den del af gassystemet hvor der er højt partikelindhold til ca. 80 °C som forventet forhindre korrosion.**

### **Inspektionsrapport for projektet :”Langtidsafprøvning af tottrinsforgasseren Viking” og ”Indpasning af tottrinsforgasser i et energisystem” for oktober 2005.**

Vikingforgasseren blev gennemgået for ”fejl og mangler” og udbedringer blev igangsat.

Projektet ”Langtidsafprøvning af tottrinsforgasseren FU 3201” er afrapporteret og afsluttet.

Se publikationsliste på Halmfortets hjemmeside: <http://www.bgg.mek.dtu.dk/>

### **Inspektionsrapport for projektet ”Indpasning af tottrinsforgasser i et energisystem” for november 2005.**

Under forsøget i maj og juni opstod det problem at doceringsneglens gearmotor dryppede med olie. Inspektion viste nu, at gearkassen var ødelagt af indtrængende vand fra flisens side.

Gearkassen blev afmonteret og en ny konstruktion der beskytter tætningen mellem flis og gear blev konstrueret. En ny gearkasse blev indkøbt.

**Inspektionsrapport for projektet ”Indpasning af totrinsforgasser i et energisystem” for december 2005.**

Mindre montage gennemført.

## **Inspektionsrapport for projektet ”Indpasning af totrinsforgasser i et energisystem” for januar 2006.**

Mindre montageopgaver udført.

## **Inspektionsrapport for projektet ”Indpasning af totrinsforgasser i et energisystem” for februar 2006.**

Mindre montageopgaver udført.

## **Inspektionsrapport for projektet ”Indpasning af totrinsforgasser i et energisystem” for marts 2006.**

Der blev planlagt forsøg med Viking forgasseren.

Brændslev. er valgt til tørt grantræ.

Der er gennemført forskellige oprydning og forbedringsopgaver.

En gearmotor til containerens udtræksnegl blev skiftet og tætning til gearkassen blev omkonstrueret i forhold til den leverandøren havde lavet og som resulterede i en ødelagt tætning.

## **Inspektionsrapport for projektet ”Indpasning af totrinsforgasser i et energisystem” for april 2006.**

Forsøg blev startet om morgenen den 19. april.

Anlægget kom hurtigt i drift og kunne slås over på automatisk drift i løbet af aftenen.

Der var lidt problemer med niveauerne for temperaturmålingerne, hvilket påvirkede koksbed regulatoren. Problemet blev løst ved at trække T33 lidt ud i murværket.

Det anvendte brændsel var grantræsflis. Fugtighedsindholdet var på 26-30%

Det blev derfor besluttet at tilsætte vand til pyrolyseenhedens indløb (ca 1-3 kg/time)

Det viste sig, at for at holde tryktabet over koksbedden under de 300 – 450 mm vandsøjle måtte risten køre ca. en til to gange i timen. Dette afstedkom et ret højt kokstab (ca 0,5 kg/time svarende til ca 4-5 % af indfyret tør flis).

Dette betød at askecontaineren måtte tømmes to til fire gange i døgnet, og da weekenden kom betød dette nedlukning af anlægget.

Der blev konstateret fejl i styringen af det nye system der skulle simulere varierende varmeafgang. Fejlen blev rettet.

Der blev herefter konstateret at de forskellige styreparametre ved lastvariation og variation af vandflow i centralvandskreds opførte sig som forventet.

Der blev opnået 46 timers motordrift og 53 timer med indfødning.

Anlægget havde nu i alt kørt 2859 timer med indfødning og 2555 timer med motoren på forgasningsgas.

Efter forsøget blev en ekstra askesnegl monteret på askeudmadningen således at en større askecontainer kunne monteres.

### **Inspektionsrapport for projektet ”Indpasning af tottrinsforgasser i et energisystem” og ”Biocellus - projektet” for maj 2006.**

Anlægget blev startet den 2. maj.

Anlægget startedes nemt og hurtigt. Den nye askesnegl blev afprøvet, og fungerede tilsyneladende godt om end den rystede lidt under kørsel. Anlægget kørte godt, Der blev gennemført trykmålingerne i en motorens cylinder ved forskellige luftoverskudstal. Der blev kørt ca. et døgn hvor der reguleredes efter konstant ilt i røggassen. Det blev konstateret at der var et par gange med gennembrænding af koksbedden, men uden nedlukning til følge.

Der kom som tidligere observeret temperatur svingninger i forgasningsreaktoren med store frekvenser (nogle timer). Der blev opkastet den teori, at tidsforsinkelsen i pyrolysegasproduktionen, koksbedregulatoren og variation i gasflowet forårsagede disse svingninger. Svingningerne er stabile og forårsager ikke problemer med motordrift. Den nye snegl rystede således at der kom en revne i bælg. Herigennem kom der luft ind i forgasserens gasafgang. Herved blev gassen afbrændt og anlægget gik ned på manglende effekt fra motoren. Imidlertid var gasafgangsrøres medtaget af den høje temperatur en del heraf måtte udskiftes.

Der blev etableret en alarm for høj temperatur i den varme gas efter cyklonen.

Anlægget kørte i denne opgang 80 timer med indfødning og deraf 74 timer med motordrift på forgasningsgas.

Der blev ikke konstateret problemer i reaktoren. Alle materialer så fine ud. Luftdyserne fordelte luften korrekt (hvilket blev kontrolleret med en røgmaskine), og der blev ikke konstateret askeophobning i reaktoren.

Efter udskiftningen af gasrøret og efter at der var indkøbt og monteret en ny bælg til kokksneglen var anlægget klar opstart. (Omdrejningstallet på sneglen blev efterfølgende reduceret og rystelserne blev herved elimineret)

Samarbejdspartnere fra EU-projektet ”Biocellus” kom med to forskellige SOFC brændselsceller som skulle afprøves på forgasningsgas fra Viking.

Gassen blev for ”finpudset” ved at blive ledt gennem et aktivt kulfilter.

Forgasseren startedes mandag den 22. maj og brændselscellerne var opstillet og klar til drift onsdag middag.

Det var planen at undersøge cellernes "levetid" med forskelligt vandtilsætning. Man startede med "worst case", men cellerne blev ved med at køre uden tab af performance. Det blev derfor besluttet at fortsætte kørslerne med de samme celler under disse betingelser, og efter hhv. 150 timer og 168 timer (1 uge) slukkede man for cellerne idet de to forskere fra universiteterne i Munchen og Athen skulle hjem. Brændselscellernes ydeevne var ikke reduceret. Det blev konstateret at den tidligere verdensrekord på 48 timers drift af brændselsceller på forgasningsgas var slået (Den gamle rekord var endda stoppet fordi cellerne havde mistet deres ydeevne).

Under disse forsøg havde Vikingforgasseren kørt godt, og var kun gået ned en enkelt gang pga. gennembrænding i bedden.

Der var fremdeles set svingninger af temperatur og gassammensætning samt et ret højt kokstab. Der blev ikke gjort meget for at ændre dette, idet vi ikke ville risikere driftforstyrrelser, men stille og rolig blev det konstateret at kokstabet og bedreguleringen spillede sammen på en uheldig måde. Dette blev til dels afhjulpet ved at ændre på reguleringsparametrene, og et lavere kokstab samt en mere stabil drift blev opnået. Dog blev der efter brændselscelleforsøgenes afslutning set gennembrænding af koksbedden med nogle dages mellemrum.

Det må atter konstateres at Vikingforgasseren sammenlignet med andre forgassere (f.eks. dem der også er afprøvet under Biocellusprojektet) producere er ret ren gas.

## **Inspektionsrapport for projektet "Indpasning af tottrinsforgasser i et energisystem" for juni 2006.**

Efter brændselscelleforsøgene fortsattes driften af forgasseren.

Der blev konstateret en række fejl i det styresystem der skulle simulere døgnvariationer af hhv. elaftag som varmeaftag. Fejlene blev rettet.

Der blev herefter gennemført afprøvning af variation af anlæggets eleffekt efter en døgnvariationskurve. (kurven blev komprimeret til kun at vare 3 timer i stedet for et døgn) Anlægget fulgte det foreskrevne forløb uden problemer.

Efterfølgende gennemførtes et forsøg hvor 7 timer af en døgnvariationskurve af varmeaftaget blev foreskrevet anlægget. Anlægget fulgte også denne kurve nøje, og var i stand til at levere den foreskrevne fremløbstemperatur inden for 1 grad Celsius ved variationen af varmeaftaget på ca. 30%.

Der blev foretaget en række forsøg for at fastlægge anlæggets dynamik. Der blev derfor gennemført forsøg med step response for effekt- og metanproduktion. Og det fremgik at for indfødningstrin var responstiden under 2 minutter. Dette resultat er relateret til det lave vandindhold i brændslet, og er en del af forklaringerne på at anlægget er vanskeligere at stabilisere end tidligere set. Det besluttedes at indføre en feed forward styring af indfødingen for at undgå store variationer i gassammensætning, temperaturer osv. under driftvariationer. En sådan styring blev med godt resultat simuleret manuelt under driftvariationsforsøgene.

Anlægget fik lov at køre indtil der ikke var mere flis i siloen, og gik ned på flismangel.

Der blev siden 22.maj opnået 398 timer med flisindføding og 388 timer med motordrift på forgasningsgas.

Anlægget har nu siden 1.maj opnået 478 timer med flisindføding og 462 timer med motor på forgasningsgas.

I alt har anlægget nu kørt 3337 timer med flisindføding og 3017 timer med motordrift på forgasningsgas.

Mod slutningen af forsøget voksede frekvensen af bagskyldning af posefiltret højere. Det viste sig ved efterfølgende inspektion at partiklerne lå op i filteret og dækkede 60- 70% af filterarealet. Manglende tømning under forsøget (for at sikre med iltindtrængen i gassen) var årsagen.

### **Inspektionsrapport for projektet ”Indpasning af tottrinsforgasser i et energisystem” for juli 2006.**

Ingen aktivitet

### **Inspektionsrapport for projektet ”Indpasning af tottrinsforgasser i et energisystem” for august 2006.**

Reaktoren er tømt for koks. For første gang var der ingen askeophobning på risten. Der var lidt små sten som dem der er set i asken under drift. Alle kom de ud gennem risten. Inspektion af reaktoren viste et tyndt slaggelag på murværket. Luftdyserne var ligeledes belagt med lidt slagge, men test med røg viste at dyserne fungerede som de skulle. Trykmåling i luftdysernes ringkammer viste også at tryktabet over dyserne var normalt.

Beskidtgasblæseren fik skiftet lejer da et af dem tydeligvis var gået i stykker. Tætningsringene blev skiftet og den let korroderede aksel drejet ren.

I henhold til forsøg i juni blev bedregulatoren modificeret således at der omgående bliver kompenseret indfødningsmæssigt for ændret gasproduktion (feed forward styring). Samtidig blev det i styringen indføjet, at hvis gennembrænding opstod skulle der indfødes en portion flis omgående.

Anlægget trykprøvedes og blev gjort klar til start.

Under starten viste det sig at den ene dataopsamlingscomputer måtte have ny strømforsyning.

Da forgasseren kom i gang viste det sig at temperaturmålingerne der anvendes til brdreguleringen viste lidt ejendomme resultater idet rækkefølgen på temperaturerne ikke som sædvanlig følger højden i reaktoren. Dette gjorde at der måtte foretages lidt ændringer i parameterindstillingen af bed regulatoren.

En enkelt nedlukning skyldes at en grankvist lænede sig indover containersneglen og skærmede for forocellen så anlægget ikke fik flis.

Flisen var af samme kvalitet som ved sidste forsøg (juni) dvs. nåletræ. Fugtigheden i flisen blev målt til 16%, 30%, 32% og 33 %.

Kokstaves vurderes at ligge på samme niveau som i juni-forsøget.

Der blev ikke set gennembrænding, så det må sluttes at de styringsmæssige tiltag i denne retning har fungeret.

Der blev startet på forsøg med varierende last. Forgasseren havde vanskeligt ved at holde indfødnings og dermed bedhøjden på det rigtige niveau. Dette skyldes formodentligt at temperaturfølerne ikke som sædvanlig gav et klart billede af bedhøjden. Man må konstatere at temperaturmåling som basis for bedregulering er lidt følsomt.

Feed forward styringen fungerede godt, men dens parametre nåedes ikke at blive trimmet ind. Forsøget blev stoppet pga. flismangel (leverandøren havde imod til aftale ladet læs nr. to ligge ude i regnen så fugtigheden overskred 50%. Denne flis blev returneret og forsøget stoppede.

Anlægget har nu kørt 3599 timer med flisindfødnings og 3265 timer med forgasningsgas til motor.

### **Inspektionsrapport for projektet ”Indpasning af tottrinsforgasser i et energisystem” for september 2006.**

Oprydning efter forsøg mm.

### **Inspektionsrapport for projektet ”Indpasning af tottrinsforgasser i et energisystem” for oktober 2006.**

Ingen aktivitet.

### **Inspektionsrapport for projektet ”Indpasning af tottrinsforgasser i et energisystem” for november 2006.**

Reaktoren blev tømt for koks.

Der blev ikke observeret væsentlige belægninger eller ophobninger i reaktoren.

Murværket så fint ud hele vejen rundt.

**Inspektionsrapport for projektet "Indpasning af totrinsforgasser i et energisystem" for december 2006.**

Der blev foretaget forbedringer af silosystemets tag.



## **Inspektionsrapport for projektet ”Indpasning af totrinsforgasser i et energisystem” for januar 2007.**

Der er gennemført praktiske tiltag i retning af at identificere utætheder i reaktorsystemet som er opstået under stilstand og identificeret under trykprøvning.

## **Inspektionsrapport for projektet ”Indpasning af totrinsforgasser i et energisystem” for februar 2007.**

Der er gennemført udskiftning af askesneglens rør idet dette er gennemtæret som følge af stilstandskorrosion. Røret er fremstillet af AISI 316 L. Endvidere blev en pakning ved 90 °C varmevekslerens top skiftet.

## **Inspektionsrapport for projektet ”Indpasning af totrinsforgasser i et energisystem” for marts 2007.**

Der er gennemført forsøg med anlægget. Målet var at demonstrere at den tidligere beskrevne varierende elproduktion og den varierende varmeproduktion kunne fungere.

Der opstod problemer med at forgasseren gik ned på overtryk i reaktoren hver gang risten slog. Dette søgtes afhjulpet ved at justere max tryktab over bedden samt ristens udslagsstørrelse.

Samtidig opstod der problemer med at koksbedhøjdemåleren begyndte at svigte. Når kravet var konstant gasproduktion fungerede den udmærket, men ved varierende last blev svigtede den.

Det viste sig at der ikke var så tydelige temperaturfald når en føler er dækket af koksbedden som tidligere set. Dette medførte, at koksbedhøjderegulatoren havde svært ved at udregne den rette koksbedhøjde. For eksempel hvis det totale temperaturniveau falder samtidig med at en føler bliver dækket, kan regulatoren ikke detektere bedhøjdeforøgelsen.

Årsagerne til denne forværring er ikke helt klar, men et par forklaringer følger.

For det første er temperaturfølerne, i den nuværende reaktorkonstruktion, ført op nedefra for at undgå gennemføringer i de afprøvede fire murværkstyper. Dette fører med sig at temperaturfølerne og deres lommer har en potentiel fejl som følge af varmeledning i højderetningen. For det andet er reaktiviteten af det grantræsflis der anvendes under disse forsøg (se afsnit om TGA undersøgelse) kun ca. det halve af hvad den er for det løvtræsflis der er anvendt ved tidligere forsøg. Dette betyder at temperaturfaldet under forgasningen ikke er så udtalt som tidligere set.

Konklusionen blev at der fremdeles var behov for en forbedret koksbedhøjdemåler men da dette ikke var økonomisk muligt blev det besluttet at lave en temperaturmålesøjle (et MA 253 rør med en række termoelementer) som sænkes ned gennem skueglasset i reaktorens top.

## **Inspektionsrapport for projektet ”Indpasning af totrinsforgasser i et energisystem” for april 2007.**

Forgassen blev startet og det nye temperaturmålesystem til bedhøjderregulatoren blev afprøvet. Det fungerede perfekt. Der blev kørt forsøg over et døgn med varierende elproduktion, og forgassen holdt den ønskede effekt som den skulle.

Forsøg med varierende varmeproduktion lykkedes også. Forgassen holdt fremløbstemperaturen inden for 1 °C. Dog havde vi et par nedlukninger undervejs. Dette skyldes at der opstod for stort tryktab over gasvarmevekslerne, men forsøget kom i hus. (Det viste sig efterfølgende at tryktabet over varmevekslerne skyldes at kædeholderen i kæderensystemet i 90° C varmeveksleren var knækket af således at rensning ikke fandt sted)

Forgassen har på dette tidspunkt kørt 3744 timer med flisindfødning og 3387 timer med motor på forgasningsgas.

Projektet er hermed slut.