

Forbedringer og forenklinger af trinopdelt forgasningsanlæg til kraftvarmeproduktion

En Delrapport til projektet:

*Forenkling, system- og driftsoptimering af trinopdelt forgasningsanlæg til
kraftvarmeproduktion (Castor anlægget i Græsted).*



Udført for:
Energinet.dk
ForskEl projekt nr. 7191

Udarbejdet af
BioSynergi Proces ApS
Henrik Houmann Jakobsen
Juli 2010
2. udgave August 2010

✉ BioSynergi Proces ApS
Slotsbakken 108, DK-2970 Hørsholm
☎ +(45) 45 86 14 30
🌐 www.BioSynergi.dk
CVR. nr. 25 90 41 84

Indhold

1. Indledning og sammendrag	3
2. Kraftvarmeanlæggets procesforløb og hovedkomponenter.....	6
3. BioSynergis trinopdelte gasgenerator	8
4. Optimering af gasgeneratorens procesdesign.....	11
5. Etablering af opvarmnings mulighed til opstart af anlæg	17
6. Forenkling af flisindfyringssystemet.....	19
7. Forbedring af reguleringsmulighederne for forgasningsluften.	21
8. Automatisering af indkobling af gasmotor til drift på produktgas	24
9. Driftsprøvning med de udviklede anlægsforbedringer.....	27

Bilag:

- 1 What is gasification?

1. Indledning og sammendrag

I dette delprojekt er udført en række forbedringer og forenklinger af Castor-anlægget. De forbedrer anlæggets driftsøkonomiske præstationer og medfører at kommende udgaver af kraftvarmesystemet kan fremstilles billigere. Disse tiltag vil således gøre forgasningsteknologi til biomasse-kraftvarme mere attraktiv og relevant overfor et bredere kundegruppe.

Resultaterne fra to tidligere projekter udført for ForskEl har dannet udgangspunkt for delprojektet. Det var ForskEl projekterne nr. 5288 og 5729 som identificerede de områder, hvor det var relevant at gøre en indsats for at forenkle anlæggets opbygning og drift.

Det førte til følgende punkter hvor der er blevet udviklet og afprøvet nye løsninger til forbedring af kraftvarmesystemet:

- Optimering af procesdesignet af gasgeneratoren indenfor de bestående rammer. Der er især konstateret behov for at ændre på udformningen af reduktionszonen og ristekonstruktionen.
- Etablering af opvarmningssystem til opstart af gasgeneratoren.
- Automatisering af indkobling af gasmotor til drift på produktgas.
- Forenkling af gasgeneratorens brændselsindfyringssystem.
- Forbedring af reguleringsmulighederne for tilførslen af forgasningsluft.

De indførte ændringer har medført at driften af det samlede forgasningskraftvarmesystem er blevet mere hensigtsmæssigt og lettere at betjene for ”ikke specialister”.

Driftsafprøvningen af anlægget under projektførelsen har omfattet ca. 2.300 timer drift med kraftvarmeproduktion. Det har identificeret de regelmæssige vedligeholdelsesopgaver på demonstrationsanlægget.

Gennem yderligere udvikling af anlæggets komponenter, som eventuelt først vil ske i forbindelse med efterfølgende anlægsudgaver, vil det være muligt at fjerne nogle af de regelmæssige vedligeholdelsesopgaver og mindske hyppigheden af andre.

Optimeringen af procesdesignet blev afsluttet med et delforsøg med tilsætning af ekstra luft i midten af den nederste kokszone. Observationer under forsøget gav indtryk af at dette både mindskede mængden og størrelsen af trækulstykkerne.

På grund af gasgeneratorens sektionvis opbygning vil der relativt let kunne konstrueres og monteres en ny undersektion til denne og deri monteres systemet permanent. Det vurderes, at der med et korrekt design af et sådant ekstra procestrin vil en næsten fuldstændig omsætning af trækulmængden til aske være indenfor rækkevidde.

En sådan ændring var dog ikke planlagt i det her udførte projekt hvorfor der heller ikke var afsat ressourcer hertil. De positive resultater med det ekstra procestrin er imidlertid det mest effektive som hidtil har været forsøgt og gør det relevant at fortsætte med et målrettet udviklingsprojekt, som resulterer i design og fremstilling af en ny undersektion med styret lufttilsætning i trækulzonen og efterfølgende afprøvning med kraftvarmeproduktion.

Om Castor anlægget

Castoranlægget er det første trinopdelte forgasningsanlæg, som udviklet og afprøvet gennem længere tid med kraftvarmeproduktion på et almindeligt varmekværk i Danmark.

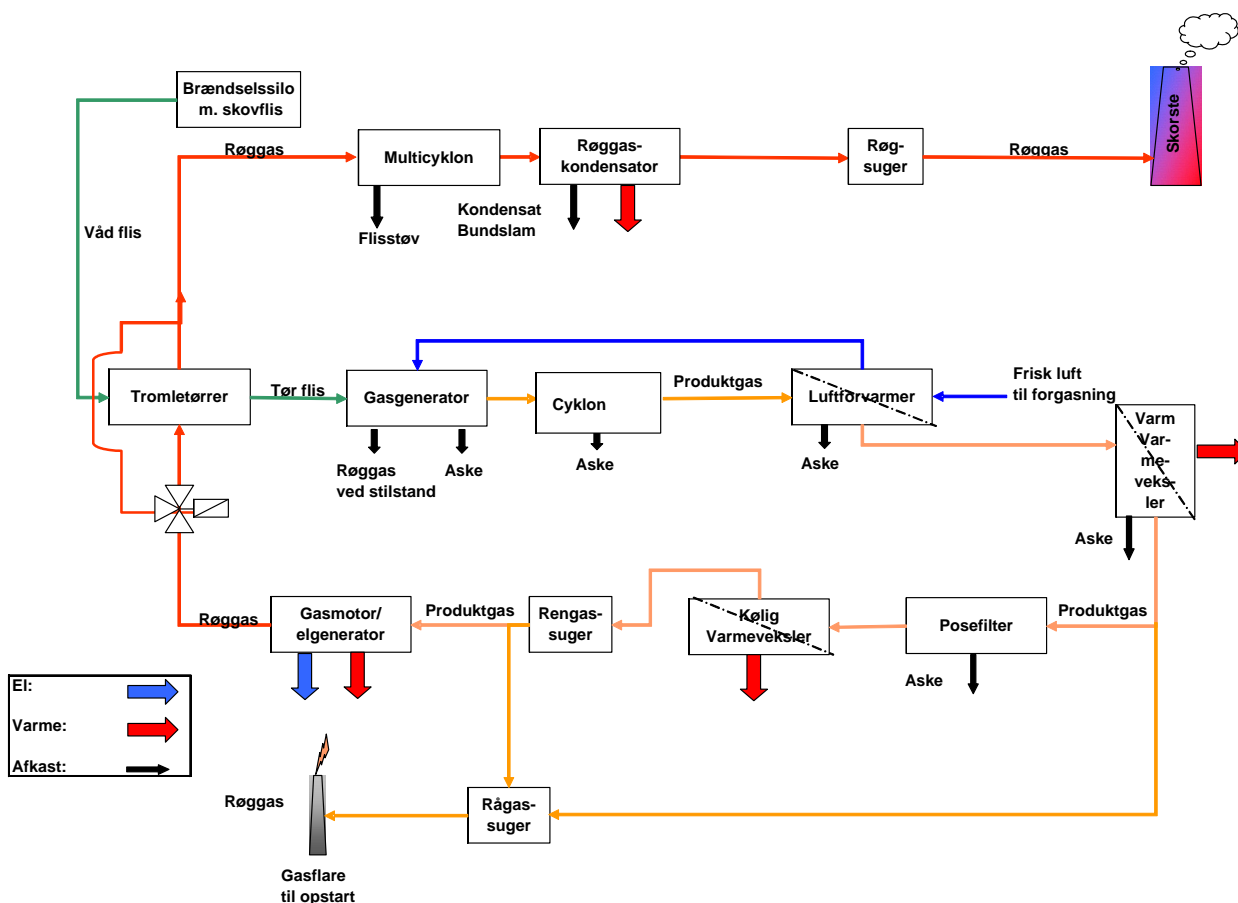
Anlægget er opført af og drives af Biosynergi Proces ApS som et udviklings/demonstrationsanlæg. Det blev sat i drift i 2004 hos Græsted Fjernvarme i Nordsjælland.

Det har en nominel eleffekt på 75 kW og en varmeeffekt på 165 kJ/s. Det første forløb med drift af anlægget viste at anlæggets grundprincipper fungerer efter hensigten. Herefter er anlægget vekselvist blevet forbedret/udbygget og anvendt til yderligere driftsafprøvnings og procesoptimeringer. Ved starten af det her rapporterede delprojekt var anlægget allerede indrettet til og havde gentagne gange med succes kørt i ubemandet døgn-drift og havde dengang rundet flere end 2000 driftstimer hvoraf ca. 1200 timer var med motordrift.



2. Kraftvarmeanlæggets procesforløb og hovedkomponenter

Figur 1 viser det procesforløb og de hovedkomponenter, der tilsammen betegnes som BioSynergis kraftvarmesystem. På figuren er markeret hvor el og varme produceres samt hvor der skal fremkommer restprodukter, der skal håndteres.



Figur 1: Castoranlæggets hovedprocesser og anlægskomponenter. Gasmotoren producerer elektricitet mens varmeproduktionen, der leveres til Græsted Fjernvarme, hentes fra fire af anlægskomponenterne.

Den følgende beskrivelse af kraftvarmesystemet gælder for den opbygning som er udført på Castor udviklings- og demonstrationsanlægget i Græsted.

Flismodtagelse og tørring

Frisk brændselsflis ankommer til anlægget med lastbil. Brændslet placeres derefter i anlæggets flissilo, der er forbundet til flistransport-systemet. Dette fører den våde brændselsflis til tørring i en 5 meter lang tromletørrer. Den opvarmes med udstødningsgassen fra gasmotoren.

Den tørrede flis har herefter et vandindhold på 15-20 % af totalvægt og føres af transportsystemet videre til indfyring i toppen af gasgeneratoren.

Gasgeneratoren

Beskrivelsen af gasgeneratoren findes i det følgende afsnit 3.

Gasrensningen

Produktgassens temperatur er ca. 550 - 650 °C når den forlader gasgeneratoren. Den nedkøles straks ved passage af en varmeveksler, der forvarmer luften til forgasningsprocessen.

Produktgassen fortsætter til en vandkølet varmeveksler, som afkøler den til ca. 120 °C. Rensningen af produktgassen for partikler og tjærestoffer sker herefter i et posefilter.

Efter posefiltret køles produktgassen en gang til og når dermed en passende lav temperatur på ca. 60 °C inden den tilføres gasmotoren. Undervejs til gasmotoren har produktgassen passeret en gassuger, der sørger for at holde undertryk i gasgeneratoren og hele vejen frem til blæserens indløb.

Der forekommer ikke spildevand fra gasrensningen, da produktgassens temperatur hele vejen frem til motoren holdes højere end dugpunktet for gassens indhold af vanddamp.

Under start og opvarmning af anlægget føres produktgassen gennem et bypass rør udenom posefiltret og sendes af blæseren til afbrænding i en udendørs gasfakkel.

Gasmotoren

Gasmotoren er en 8-cylindret Deutz MWM, der er tilkoblet en asynkron 1500 o/min elgenerator med en nominel el-effekt på 90 kW. Den fabriksopgivne eleffekt for motorgeneratoranlægget er dog kun 75 kW.

Varmen fra kølevand og motorolie udnyttes til varmeproduktion, mens udstødningsvarmen i første omgang anvendes til tørring af brændselsflis. Efter tørringen genvindes energien i den fugtige udstødningsgas i en kondenserende røggaskøler, der også fjerner partikler fra gassen. Udstødningsgassen har til slut en temperatur på ca. 60-65 °C og er mættet med vanddamp, når den bortledes gennem skorstenen.

3. BioSynergis trinopdelte gasgenerator

BioSynergis gasgenerator er sektionsobygget. Det bevirker, at den er let at adskille og gør det også let at ændre på eller endda udskifte hele sektioner af gasgeneratoren med modificerede elementer.

Gasgeneratoren, eller forgasseren som den også kaldes, er opbygget omkring en sektion, der indeholder en reaktorkerne. Reaktorkernens principielle opbygning er vist i figur 2. Der anvendes det medstrøms forgasningsprincip (cocurrent gasification), der findes beskrevet i adskillige steder i faglitteraturen. En kort beskrivelse findes i bilag 1.

Tilførslen af luft til forgasningsprocessen foregår trinopdelt og medvirker til en opdeling af forgasningsprocessen i veldefinerede procestrin.

Foruden selve reaktorkernen består den samlede gasgenerator af flere andre komponenter. Den indeholder blandt andet:

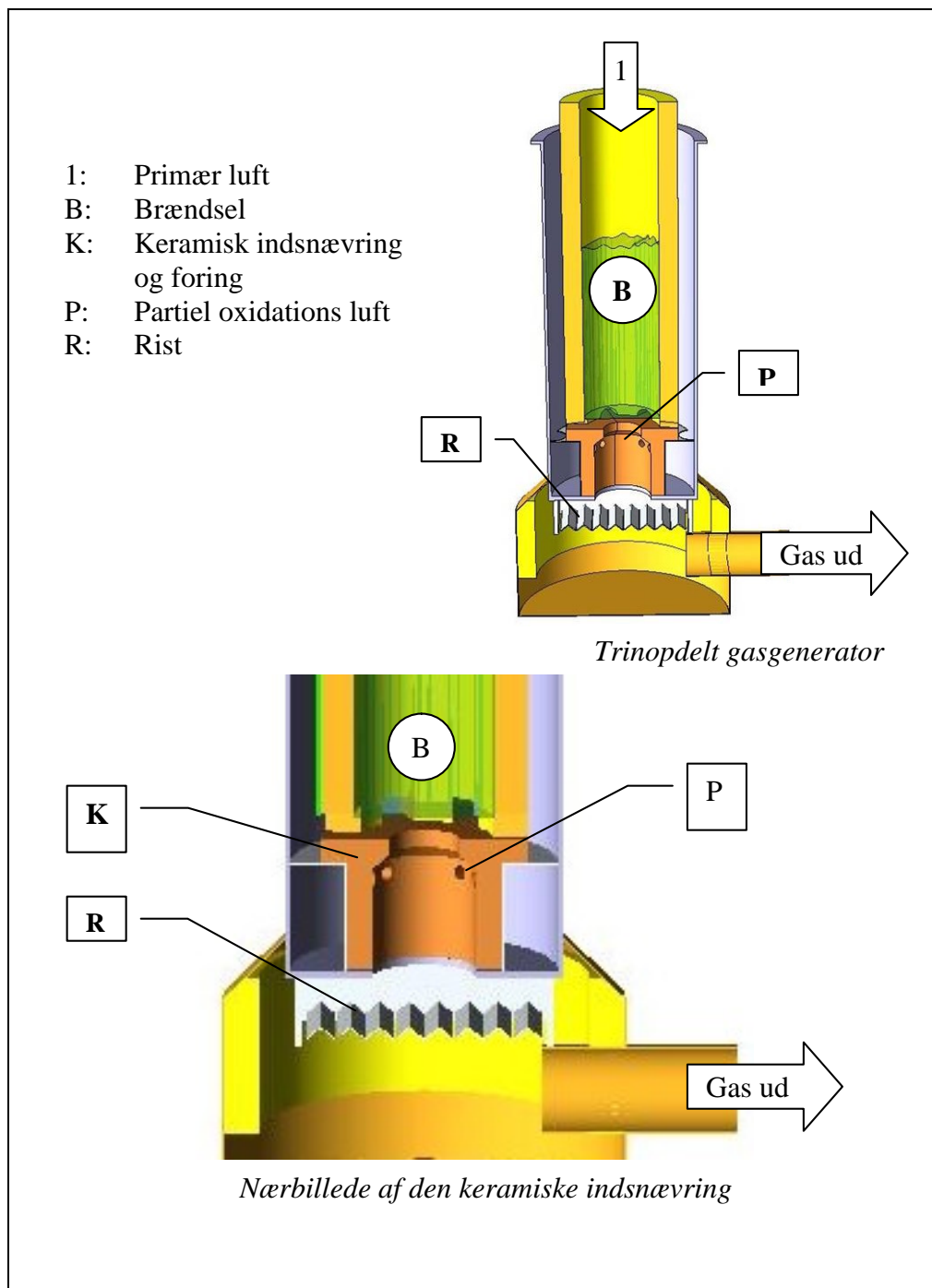
- en isolerende kappe,
- system til brændseltilførsel
- et rørsystem til lufttilførsel
- bevægelig rist/askeudtag

Gasgeneratoren afsluttes for enden af en demonterbar bundsektion med vandlås, der også benyttes til at fjerne aske fra forgasningsprocessen.

I BioSynergis gasgenerator tilsættes luft tre steder undervejs i forgasningsprocessen.

Brændsel påfyldes i toppen af gasgeneratoren. Her tilføres også luft gennem to separate kanaler. Luft og brændsel samt den udviklede produktgas bevæger sig medstrøms lodret ned gennem reaktoren.

Midt i reaktorkernen sidder en keramisk indsnævring. På det sted opnås en temperatur på 800 - 1.000 °C som følge af en ufuldstændig forbrændingsproces, der næres af lufttilsætningen i toppen. I indsnævringen tilføres også ekstra luft (partiel oxidations luft eller blot benævnt partiel luft) hvorved der sker en delvis forbrænding af de udviklede pyrolyseprodukter fra de overliggende procestrin. Den delvise forbrænding af pyrolyseprodukterne midt i reaktoren medfører yderligere temperaturstigning samt en markant reduktion af gassens indhold af tjæreforbindelser.



Figur 2: Principskitser af BioSynergis patenterede trinopdelte gasgenerator.

Den keramiske indsnævring skaber en naturlig opbremsning af den vertikale nedadgående brændselsbevægelse. Det er med til at sikre en veldefineret procesopdeling.

Det er afgørende for et lavt tjæreindhold i den færdige produktgas, at pyrolyseprocesserne i brændslet er afsluttet inden brændselsstykkerne passerer gennem indsnævringen. For at opnå dette, skal de enkelte brændselsstykker tilbageholdes i så lang tid ovenover indsnævringen at deres temperatur helt ind i centrum når at blive så tilpas høj, at pyrolyseprodukterne frigives.

Når trækoksen har passeret ned gennem reaktorens indsnævring placerer den sig i et kammer ovenpå risten/askeudtaget. Gasprodukterne fra den ovenfor liggende proces passerer videre ned igennem koksbed'en, der også kan kaldes for kokszone. Herved udvikles yderligere brændbare gasprodukter via en reduktionsproces, som foregår mellem den faste trækoks og de i forvejen dannede gasprodukter. Denne proces forbruger både varme og formindsker mængden af trækoks/trækul.

Hele processen foregår ved et svagt undertryk. Undertrykket skabes af en tilsluttet gassuger, der suger den udviklede brændbare produktgas ud af gasgeneratoren fra et kammer under risten. I kammeret skilles gassen fra asken, som derefter fjernes mekanisk fra gasgeneratoren. Udtaget af aske/trækul sker gennem en stor vandlås, der ligger under ristens kammer.

Størrelsen af undertrykket i kammeret efter risten bestemmer hvornår risten og askeudtaget aktiveres. Når risten aktiveres mindskes undertrykket i ristekammeret. Det maksimale undertryk som tillades i ristens kammer er bestemt af hvor stort undertryk som vandlås kan opretholde. Driftsovervågningen sikrer, at hvis undertrykket nærmer sig grænsen for vandlåsen funktion, bliver anlægsdriften automatisk afbrudt.

BioSynergi gasgenerator er beskyttet af et dansk patent. Den har desuden opnået europæisk patent.

4. Optimering af gasgeneratorens procesdesign

BioSynergis gasgenerator er sektionsofbygget. Det indebærer at det er relativt enkelt at ændre de designparametre, som er afgørende for gasgeneratorens funktion og effektivitet.

De væsentligste driftsmæssige årsager til at ændre på gasgeneratorens reduktionszone var:

- 1) gastemperaturen i reaktoren blev ofte kritisk høj i de områder i bunden af reaktoren, hvor konstruktionen nødvendigvis består af varme-fast stål og
- 2) at mængden af uomsat brændsel i form af trækul, der kom som restprodukt ud fra gasgeneratoren, var u hensigtsmæssig stor.

Den høje temperaturer i bunden af reaktoren betød at den automatiske overvågning ofte lukkede anlægget ned under drift. De store mængder trækul udgør både et energitab og medfører at må benyttes for meget arbejdstid til manuelt at bortkøre trækul.

De hidtidige driftserfaringer havde tydeliggjort at det ville være formålstjenligt at forlænge reduktionszonen i bunden af gasgeneratoren og forenkler ristekonstruktionen. Den ønskede virkning heraf var at få mindre trykfald over risten og forlænge produktgassens opholdstid i kokszonen ved høj temperatur for at forøge koksomsætningen.

Resultater fra to PC-baserede simuleringsværkstøjer, der tidligere er udviklet i samarbejde med DTU i et EFP2001 projekt samt i ForskEl projekt 5288, påpegede ligeledes at en forlængelse af reduktionszonen ville være en fordel for brændselsomsætningen.

Simuleringsværktøjerne viste yderligere, at det er vigtigt ret præcist at kunne styre de tilførte luftmængder til forgasningsprocessen.

Den umiddelbart mest enkle måde til at forlænge kokszonen indenfor de konstruktive begrænsninger som resten af gasgeneratoren satte, var at modificere den oprindelige ristekonstruktion og benytte en del af dens ophæng til at fastholde et nyt keramisk element inde i gasgeneratoren. Det ny keramiske element forlængede kokszonen med ca. 100 mm.

Samtidig blev fremstillet og monteret en ny og forenklet type rist under det keramiske element. Ændringen øgede åbningsarealet for gassens udstrømning fra kokszonen og tillod samtidig at større fremmedelementer, som f.eks. sten og andet ubrændbart, der undertiden findes i flisleverancerne, lettere kunne passere hele vejen ud af gasgeneratoren.



Figur 3: Der blev fremstillet og monteret et keramisk element til forlængelse af gasgeneratorens kokszone.

Det ny system blev herefter afprøvet i automatisk drift. Erfaringerne herfra viste at forlængelsen medførte lavere temperaturer ved udgangen af kokszone. Aske/koksmængden ud af gasgeneratoren var dog fortsat ret høj.

Driftsforsøgene gav indikationer på at kombinationen af den ny ristetype og den oprindelige placering af hullet til askeafgang fra kokszone til det våde askeudtag ikke var hensigtsmæssig. Tilsyneladende var en vis del af asken i stand til af sig selv at falde ud gennem hullet fra kokszone og ned i det våde askeudtag.

Askeudtagets placering måtte derfor ændres i forbindelse med det videre arbejde med designet af kokszone.



Figur 4: På Castoranlægget udgør denne isolerede plade den nederste del af gas-kammeret. Smeden står bøjet over det hul hvorigennem koksen føres hen til det våde askeudtag. Han er netop blevet færdig med at flytte hullet længst muligt væk fra risteområdet.

Da gasgeneratoren blev adskilt for at ændre askeudtagets placering kunne konstateres at en ny udformning af den forlængede reduktionszone var påkrævet. De oprindelige risteophæng, der blev benyttet til at fastholde det indsatte keramiske element mod bunden af reaktorbunden, viste sig at have utilstrækkelig styrke ved de høje temperaturer, der optræder i gasgeneratoren.

Det keramiske element blev fjernet. Til erstatning blev svejst et varmemfast svøb under reaktorbunden som derved gav den ønskede forlængelse af reduktionszonen. De termofølere, som overvåger og lukker anlægget ned ved for høj temperatur i dette område, blev monteret med direkte kontakt til svøbet.



Figur 5: Efter det første forsøg med det keramiske element til forlængelse af gasgeneratorens kokszone blev det erstattet af et svøb i varmemfast stål.

Efter de to ændringer blev anlægget sat i drift igen. Mængden af trækul ud af gasgeneratoren var mindsket, men var dog fortsat højere end ønsket.

Ved flere efterfølgende inspektioner siden ændringen i starten af 2008 er hver gang konstateret at holdbarheden af den valgte løsning til forlængelse af reduktionszonen er tilfredsstillende.

I juli måned 2008 blev gasgeneratoren adskilt igen, da den midlertidigt skulle modificeres og afprøves med forgasning af træpiller i forbindelse med et projekt for Energistyrelsen (EFP-07 projekt nr. 33033-0087).

Ved den lejlighed viste det sig muligt at øge åbningsarealet for gassens udstrømning fra kokszone ved at flytte på reaktorkernens vertikale placering ca. 50 mm i forhold til gasgeneratorens ydersektion. Den ændring blev indført til forsøgene med forgasning af træpillerne og blev efterfølgende bevaret, da afprøvningen med brændselsflis blev genoptaget.

Også denne ændring gav en vis reduktion af den producerede trækulmængde, men ud fra et energimæssigt og håndteringsmæssigt synspunkt vurderes den fortsat som for høj.

De indførte ændringer har dog løst det oprindelige meget væsentlige problem med den for høje temperatur i bunden af reaktoren. Den forhindrede ofte længere tids sammenhængende drift af anlægget. Med de indførte ændringer opnås nu en stabil temperatur, som ligger under det kritiske niveau for de anvendte materialer i gasgeneratoren, så anlægsdriften afbrydes ikke længere af den automatiske temperaturovervågning.

Som et sidste forsøg på at mindske trækulmængden blev i slutningen af afprøvningsperioden udført et enkelt forsøg med at foretage en yderligere lufttilsætning direkte ind i bunden af kokszone. Denne lufttilsætning blev forsøgt som et supplement til de to permanente lufttilsætninger, der ses på figur 2.

Der blev placeret et stålelement med huller i midten af den nederste del af kokszone. Gennem et rør i varmfest stål blev luft ført ind til stålelementet. Mængden af luft blev styret manuelt. Det var tydeligt at selv en beskedne lufttilsætning øgede temperaturen, der var let at kontrollere gennem indstilling af luftmængden. Der blev ligeledes forsøgt med en tilsætning af en blanding af luft og vand. Blandingen gjorde temperaturstyringen lettere og tillod tilsætning af en større luftmængde uden risiko for at temperaturovervågningen koblede anlægget fra.

Tidskonstanterne i asketransportsystemet er store, så indflydelse af ændringer i driftsparametre tager lang tid at registrere, men flere dages afprøvning gav indtryk af at den ekstra lufttilsætning både mindskede mængden og størrelsen af de enkelte trækulstykker.



Figur 6: Stålelement med huller, der blev brugt til forsøg med lufttilførsel direkte ind i kokszone.

Stålelementet holdt udmærket til de høje temperaturer, men det tilsluttede rør som ledte luften derind kunne ikke findes en ordentlig placering til på det eksisterende anlæg, så røret brændte over efter ca. 100 timers drift.

Men alt i alt gav dette lille delforsøg positive resultater. Den nuværende udformning af gasgeneratoren tillader desværre ikke umiddelbart en permanent montage af systemet.

På grund af gasgeneratorens sektionvis opbygning vil det relativt let være muligt at konstruere og montere en ny undersektion til den og deri montere systemet permanent. Det vurderes, at der med et korrekt design af et sådant ekstra procestrin vil en næsten fuldstændig omsætning af trækulmængden til aske være indenfor rækkevidde.

En sådan ændring var dog ikke planlagt i det her udførte projekt hvorfor der heller ikke var afsat ressourcer hertil.

5. Etablering af opvarmnings mulighed til opstart af anlæg

Inden projektet startede var optænding af den fuldkomne kolde og tomme gasgenerator en ganske omstændelig procedure. Hvis der blot påfyldes de sædvanlige portioner brændselsflis inden der er dannet en tilstrækkelig varm kokszone i bunden af gasgeneratoren vil der med sikkerhed blive udviklet store mængder af tjære. Det vil tilstoppe rør og aggregater på vejen ud til gasfaklen, hvor gassen brændes af i opvarmningsperioden.

Derfor foregik optændingen af den kolde og tomme gasgenerator ved først at tænde op i et par almindelige grillstartere. Så blev der fyldt nogle store portioner trækul på gasgeneratoren. Herefter blev gassugeren startet og grillstarterens glødende trækul blev fyldt i gasgeneratoren. Når hele portionen af trækul i gasgeneratoren var i glød blev fyldt mere trækul på og endnu en portion fra grillstarteren.

I ForskeEl-projekt 5288 var blevet afprøvet en interimistisk monteret kraftig gasfyret opstartsbrænder. Brugen af den eliminerede grillstarterne og forkortede opvarmningstiden betydeligt. Det var dog var ikke muligt at placere den pågældende brænder på en sådan måde at den ikke ødelagde stådele øverst i gasgeneratoren. .

Med udgangspunkt i disse erfaringer er flere positioner for placering af en oliefyret startbrænder til gasgeneratoren blevet gennemgået og vurderet. Det har ført til valg af en placering i toppen af gasgeneratoren. For at undgå skader på stådelene er en specielt udformet lang startbrænder, som tillader opvarmning direkte over de keramiske dele blevet fremstillet ud fra en standard oliebrænder. Det er vist på figur 7.



Figur 7: Første udendørs test af det specielt designede oliefyret, der let kan monteres ved opvarmning af gasgeneratoren.



Figur 8: Tv.: Oliebrænderen på plads øverst i gasgeneratoren. Th.: Flammen fra det forlængede oliefyr brænder lige over den øverste del af gasgeneratorens keramiske elementer.

Castoranlæggets PLC- program er blevet udvidet med en ekstra opstartssekvens som kun bruges når oliebrænderen er monteret. I den driftssituation tillades at der trækkes en lille luftmængde gennem gasgenerator og rørsystem ud til gasfaklen så hele rørstrækningen opvarmes.

Afprøvningen af den oliefyrede opvarmningsmetode har været vellykket

Den er sædvanligvis i stand til at i løbet af 5-7 timer i stand til at opvarme reaktorkernen til ca. 600-700 °C. Også styre- og sikkerhedssystemet til startbrænderen har hidtil fungeret udmærket. Det indebærer at anlægget kan forlades mens opvarmningen foregår.

Når opvarmningen er afsluttet trækkes oliebrænderen let op fra gasgeneratoren.. Da oliebrænderen normalt kun bruges relativt sjældent og i få timer ad gangen har det vist sig at være en mere hensigtsmæssigt at afmontere den efter brug frem for at altid at have den siddende permanent på gasgeneratoren.

Når brænderen er fjernet sættes gassugerer tilbage til sin normale driftsform og brændselsindfyringen startes. Der påfyldes brændselsflis i små portioner som bliver antændt i de varme omgivelser. PLC-programmet har fået tilføjet en ekstra funktion så den indfyrede brændselsmængde reduceres når reaktortemperaturen er under en valgt tærskelværdi.

6. Forenkling af flisindfyringssystemet.

Den eksisterende indfyring bestod af en indfyringstragt med en indbygget klap og en standard cellesluse. Celleslusen var indkøbt som et standardprodukt fra en leverandør af større flisfyingsanlæg, men den var alligevel årsag til regelmæssige nedbrug og driftsstop. Der var endvidere større utætheder i overgangen mellem indfyringstragten og gasgeneratoren, hvorigennem der ukontrolleret blev suget luft ind i reaktoren. Da celleslusens rotor hurtigt blev deformeret og slidt af flisens passage gennem den betød det også, at der var risiko for tilbagebrand og indtrængning af gas ind i sneglen ved anlægsstop.



Figur 9: Den skrå snegl fører flisen op til indfyringssystemet. Det bestod oprindeligt af den røde cellesluse og den grå indfyringstragt. Begge komponenter var årsag til utætheder og gav anledning til en del driftsstop.



Figur 10: Celleslusens rotor kunne ikke holde til blive brugt til brændselsflis. Billedet til venstre viser en af de adskillige gange, hvor den både var blevet deformeret skulle have skiftet gummilapperne. Til højre ses en rotor, der er ved at få monteret nye gummilapper efter være blevet rettet op.

Det gamle indfyringssystem blev fjernet og et nyt komplet indfyringssystem blev konstrueret, fremstillet og monteret.

I modsætning til den tidligere indfyringstragt er den ny monteret med en tæt flangesamling, der blev svejst på reaktorens svøb. Celleslusen blev opgivet og erstattet af en enkel klap som åbnes af en cylinder når der skal indfyres flis.

I modsætning til før inkluderer indfyringssystemet nu tillige en sikkerhedsudluftning til det fri. Den udløses automatisk ved både forudsete og uforudsete stop af anlægget. Uafhængigt af styringen aktiveres sikkerhedsudluftningen også hvis der skulle opstå overtryk i indfyringssystemet.

Afprøvningen af det ny indfyringssystem viste tydeligt, at det var blevet betydeligt mere tæt end det gamle. Den øgede tæthed forbedrede muligheden for styring af lufttilsætningen. I modsætning til tidligere kunne anlægget nu styres så det er muligt at opnå drift med undertryk i toppen af reaktoren.



Figur 11: Det ny indfyringssystem er udført i kraftigere materiale og har en indbygget tætlukkende klap så celledslusen kan undværes. Øverst i højre hjørne skimtes det indbyggede aftræk til det fri. Det er afspærret under normal drift, men åbner under stilstand og eller hvis der opstår overtryk i indfyringssystemet.

7. Forbedring af reguleringsmulighederne for forgasningsluften.

Inden projektet startede blev forgasningsluft til reaktoren tilsat tre forskellige steder. De tre tilgange blev forsynet af en og samme luftblæser. Det betød at de tre luftstrømme ind i gasgeneratoren var indbyrdes afhængige. Regulering på en af luftstrømmene medførte også en vis men ukendt ændring af de to andre luftstrømme.

Her var det især en ulempe at der var indbyrdes afhængighed mellem primærluften til toppen af reaktoren og den partielle luft (se figur 2). Da karakteristikken for de nuværende ventilarrangementer til fordeling af luften tillige er lagt ud til langt større luftmængder end der faktisk benyttes, har det vist sig at være meget vanskeligt at sikre korrekt styring og fordeling af den tilførte forgasningsluft.

For at rette op på disse ikke hensigtsmæssige forhold er i delprojektet udviklet, installeret og afprøvet et fuldkommen nyt system til luftens tilførsel til gasgeneratoren.

Det overordnede mål for det ny luftsystem har været at få indført en entydig og automatisk reguleret tilførsel af forgasningsluften. Første skridt ad den vej var den tidligere omtalte ændring af indfyringssystemet. Den forbedring var forudsætningen for at luft til forgasningsprocessen kunne blive tilført kontrolleret gennem luftsystemet og i stedet for at komme ind gennem autonomt fungerede utætheder.

Det ny luftsystem blev fra starten monteret med to regulerbare centrifugalblæsere, der var dimensioneret til at kunne yde den nødvendige luftmængde. Der blev monteret på to separate kanaler til at levere henholdsvis primærluft og partiel luft. Den primære luft kunne endvidere fordeles mellem to forskellige indblæsningssteder i toppen af reaktoren.

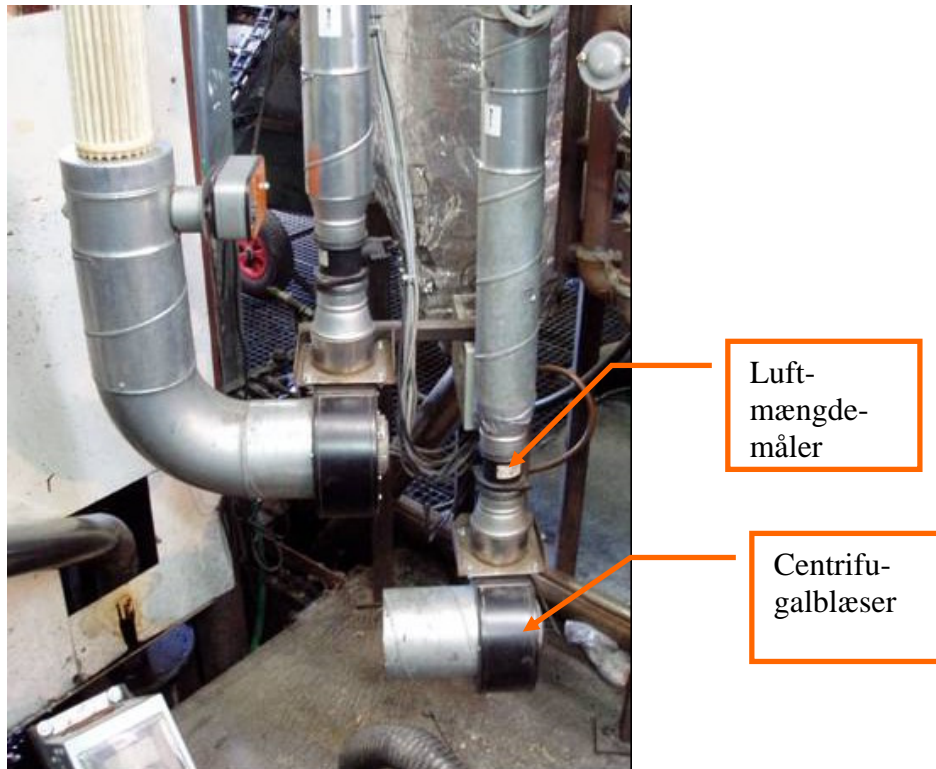
På vej ind i gasgeneratoren forvarmes begge luftstrømme i en luftforvarmer.

Til registrering og som forberedelse til automatisk regulering af den tilførte luftmængde blev fra starten indsat pitotrør i luftkanalerne.

Afprøvningen beviste at varmeveksleren kunne forvarme forgasningsluften til ca. 350-380 °C.

Den valgte metode til styring og fordeling af den tilførte forgasningsluftmængde virkede lovende, men målemetoden med pitotrør i de relativt små rør var alt for følsom til at fungere stabilt i værkstedsmiljøet. Deres position skulle holdes inden for små tolerancer for at give pålidelige signaler.

Pitotrørene blev derfor erstattet med varmetrådsanemometre, som viste sig at være væsentligt bedre til formålet. De viste sig dog at kræve ret ren luft eller regelmæssig rensning.



Figur 12: Den her viste opsætning af luftsystemet med to centrifugalblæsere og luftmængdemålere var et vigtigt skridt på vejen til den endelige udformning af systemet.

Efter en lidt længere afprøvningsperiode blev konkluderet at det anvendte reguleringsprincip ikke fungerede optimalt. Centrifugalblæserne var kun i stand til at øge lufttilførslen og ikke fastholde eller begrænse den. Afprøvningsresultaterne viste at det kunne der være behov for i nogle driftssituationer. Den erkendelse førte til en forenkling af blæserstyringen.

Efter et forsøg med en lånt kapselblæser blev besluttet at skifte til to blæsere af denne type.

Indenfor det trykkrævede område som luftsystemet kræver, har den nye blæsertype en næsten lineær karakteristik mellem blæseromdrejninger og den leverede luftmængde. Den egenskab har fjernet behovet for at foretage direkte måling af luftmængden hvilket har simplificeret styringen betydeligt.

Den nye styring betjenes og grundjusteres via anlæggets PC-baserede SCADA system. Der er valgt at programmere separate reguleringer i PLC systemet til hver af de to luftblæsere. Den efterfølgende afprøvning viste at den nye styring udgør en markant forbedring af den samlede forgasningsproces. Der ses nu en tydelig sammenhæng mellem indstilling af luftblæserne og temperaturerne i gasgeneratoren. Det blev tidligere oplevet som værende en ret arbitrær relation.

8. Automatisering af indkobling af gasmotor til drift på produktgas

Frem til udviklingen startede i dette projekt foregik indkoblingen af gasmotoren på elnettet på en måde, der i høj grad var dikteret af den oprindelige relæbaserede motorstyring, der stammede fra starten af 1980'erne.

Motoren startes og køres driftsvarm på sit startbrændsel (LPG gas).

Når motoren er driftsvarm omkobles gasventilerne ved manuel aktivering til drift på produktgas fra gasgeneratoren. I forbindelse med omkoblingen bliver motoren manuelt holdt i nogle sekunder i drift på begge brændstoffer indtil tilstrækkelig kraftig produktgas når frem til indsugningen. Afhængig af gasgeneratorens øjeblikkelige driftstilstand kan der så efter et kortere eller længere tidsrum i tomgang og eventuelt efter diverse småjusteringer af blandingsforholdet foretages en manuel opspeedning af motoren indtil den nærmer sig det synkrone omdrejningstal. Herefter speedes forsigtigt op i små intervaller til lidt over synkront omdrejningstal. Det aktiverer en omdrejningsovervågning, som giver signal til indkobling af den asynkrone elgenerator på elnettet. Betjeningsproceduren krævede undertiden to mand for at gennemføre den korrekt og indeholdt ingen erfaringer som kunne bruges på kommende anlæg..

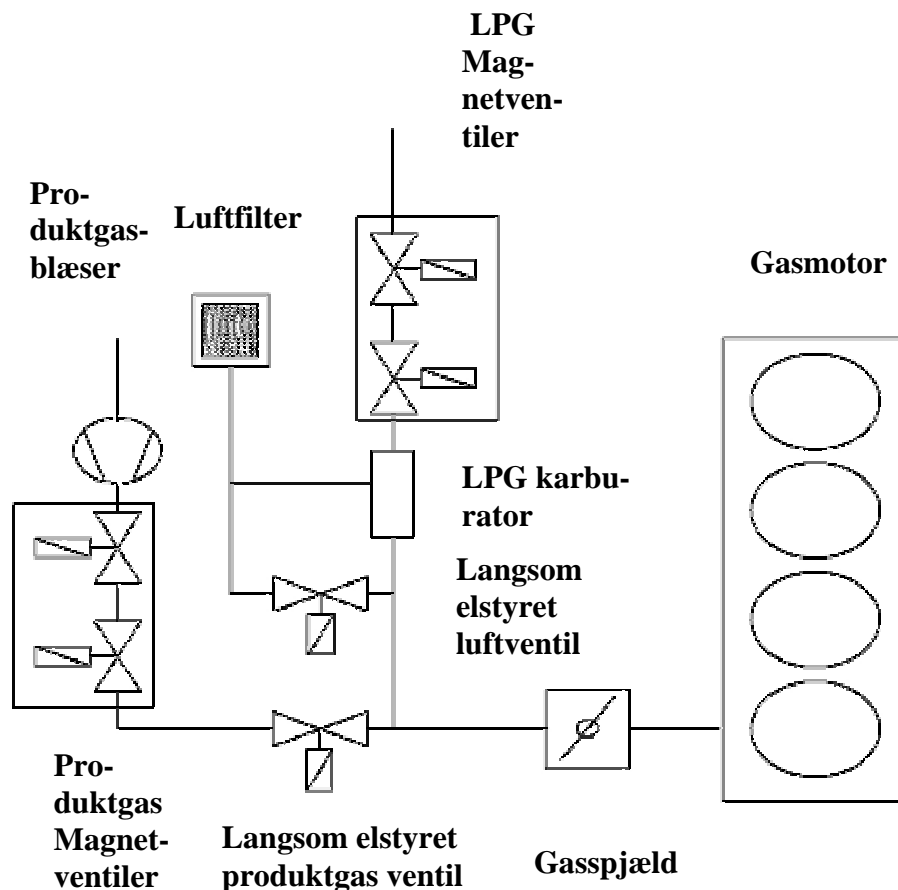
Målsætningen for denne opgave i delprojektet var at få implementeret en automatisering af startproceduren således at indkoblingen af produktgas/omskiftningen til drift på produktgas og tilkobling på elnettet kan foregå automatisk uden behov for en indsats fra særligt motorkyndigt personale.

Første skridt var at erstatte den oprindelige relæbaserede motorstyring med en moderne programmerbar elektronisk motorstyring.



Figur 13: Det gamle motorstyringskab fyldt med relæstyringer blev erstattet af den lille blå elektroniske motorstyring, der her er hængt op under en test til højre i billedet.

Den ny motorstyrings programmerbare faciliteter blev udnyttet til at opbygge en styring med automatisk omkobling fra drift på startbrændsel til drift på produktgas. På figur 14 ses det udviklede nye ventilarrangement, som motorstyringen kontrollerer.



Figur 14: Det udviklede nye ventilarrangement som automatisk kobler gasmotoren om fra drift på startbrændsel (LPG) til drift på produktgas (gengas).

Med den ny styring bliver gasmotoren på samme måde som før startet på startbrændsel (LPG). Herefter overlades gasmotoren til sig selv. Efter den har kørt et bestemt stykke tid i tomgang afbrydes LPG magnetventilerne der fører gas til LPG karburatoren og produktgas magnetventilerne åbnes. Den langsomme elstyrede magnetventil får aldrig lov til at lukke helt, så der kommer gas frem til gasmotoren så snart der lukkes op for produktgassen.

De elstyrede langsomme ventiler til produktgas og luft begynder at åbne samtidig. Samtidig hermed sørger styringen af produktgasblæseren for at forbrændingen i motoren fastholdes på et bestemt luftoverskud.

Når de to elstyrede ventiler er fuldt åbne er motoren overgået til at køre på produktgas fra gasgeneratoren og er klar til at blive koblet på elnettet.

Normalt vælges at benytte den elektroniske motorstyrings semi-automatiske driftstilstand. Det betyder at der endnu en gang skal trykkes på betjeningspanelet for at sætte netindkoblingen i gang. Den speeder motoren op og foretager tilkoblingen af elgeneratoren på nettet. Herefter indregulerer motorstyringen den afgivne eleffekt i forhold til det valgte sætpunkt for gasmoto-

ren produktion. Der kan eksempelvis vælges at styre motoreffekten i forhold til varmeproduktionen eller en bestemt afgiven eleffekt.

Den ny motorstyring har gjort omkoblingen mellem gastyperne og tilkoblingen af generatoren til elnettet betydeligt mere enkelt at udføre.

9. Driftsafprøvning med de udviklede anlægsforbedringer

De indførte ændringer er blevet afprøvet undervejs i projektperioden under drift af det samlede kraftvarmesystem på brændselsflis.

Dog er der i en periode på lidt over et år - fra juli 2008 til september 2009 - tillige blevet udført et projekt om modificering og afprøvning af anlægget med forgasning af træpiller under et projekt for Energistyrelsen (EFP-07 projekt nr. 33033-0087). I den periode har der således ikke været foretaget driftsafprøvning med brændselsflis.

I løbet af den samlede projektperiode er opnået følgende driftstimer med kraftvarmesystemet.

Opgave typer		
	Driftstimer på gas-generator	Driftstimer med motordrift og elproduktion
Projektsslut 1/2 2010	5.523	3.477
Projektstart, 2 kvartal 2007	Ca. 2.000	1.200
Driftstimer opnået i projektperioden	Ca. 3.500	2.277

Det er undervejs i afprøvningsforløbet ført noter over de mest almindelige vedligeholdelsesopgaver på anlægget.

De registrerede regelmæssige vedligeholdelsesopgaver er følgende:

- Skift af motorolie.
- Skift af gasmotorfilter
- Rensning af varmeveksler før posefilter (produktgas)
- Rensning af luftforvarmer (produktgas)
- Rensning af demistor efter røggaskondensator (udstødningsgas)
- Rensning af multicyklon (udstødningsgas)

Som en del af den daglige driftsrutine er tømningen af askevognen den periodiske opgave, som har det korteste tidsinterval mellem den nødvendige eksekvering. Afhængig af fliskvaliteten skal dette ske 2- 3 gange i døgnet fordi pladshensyn ikke tillader større askevogn end den eksisterende.

Det betyder at det fortsat er nødvendigt at foretage tilsyn af anlægget om aftenen (tager mindre end en time), når det skal kunne holdes i drift indtil næste arbejdsdag starter.

Gennem yderligere udvikling af anlæggets komponenter, som eventuelt først vil ske i forbindelse med efterfølgende anlægsudgaver, vil det være muligt at fjerne nogle af de regelmæssige vedligeholdelsesopgaver og mindske hyppigheden af andre.

Den mest almindelige årsag til driftsstop på anlægget skyldes afbrydelser af flistransportsystemet. Mange af disse stop kan tilskrives uregelmæssige store stykker i flisen som blokerer anlæggets relativt lille snegletransportsystem.



Figur 14: Også en slags brændselsflis. Disse stykker blev fanget og lagt til skue ovenpå en af transportsneglene. Forbavsende mange stykker i den størrelse passerer faktisk hele vejen igennem, men der også en del, der sætter sig fast, så anlægget automatisk lukker ned.

o-----o

What is Gasification ?

The purpose

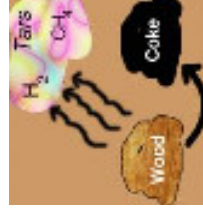
Gasification is a process that convert carbonaceous materials into combustible gases.

The resulting gas is called *producer gas* (or *wood gas* when fueled by wood) and may be more efficiently converted to high quality energy such as electricity than would be possible by direct combustion of the fuel. Also, corrosive ash elements such as chloride and potassium may be retained by the gasification process, allowing high temperature combustion of the gas from otherwise problematic fuels. Gasification relies on chemical processes at elevated temperatures > 700C, contrary to biological processes such as biogas plants.

Pyrolysis

After drying, the first process that the fuel is going through during heating is the *pyrolysis*, which initiate at around 230C. During pyrolysis thermally unstable components such as lignine in biomass are broken down and evaporate with other volatile components. The resulting *pyrolysis gas* consist mainly of tar, polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH), methane (CH₄), steam and CO₂. The solid residual is carbon structures (coke) and ashes.

Tar) formed during pyrolysis can be sticky like asphalt, is known to be highly carcinogenic and represent a great challenge to machinery — e.g. IC engines and turbines — when the producer gas is transported, stored, and used.



Gasification

The actual gasification happen at temperatures above 700C when the glowing coke is allowed to react with a *gasification agent* such as oxygen, air or steam. The coke is gradually broken down into gases such as CO, CO₂ and H₂ (from the steam reaction)

The gasification can happen in a pile of coke — a fixed bed — or e.g. in a fluid bed. Fixed bed gasification processes can be divided into two basically different process designs: *countercurrent* ("up draft") and *cocurrent* ("down draft") gasification.

Countercurrent gasification

In countercurrent gasification, the gasification agent is flowing in the opposite direction as the fuel/coke. It enters at the end of the gasification bed and leave the process along with the pyrolysis gas at the beginning of the pyrolysis (or possibly drying) zone. This way the producer gas is not very hot, but contain all of the tars from the pyrolysis zone. Tar levels in untreated gas from countercurrent gasification plants exceed 2 g/Nm³. Fluid bed processes can exceed this number by one magnitude, since the pyrolysis happen much faster, and rapid pyrolysis produce more tar.



Cocurrent gasification

In cocurrent gasification the gasification agent is added before the gasification zone (sometimes before the pyrolysis zone) and leave at the end of the gasification zone. When the pyrolysis gas is forced through the glowing coke bed, a large fraction of the tars are broken down and gasified. Thus the gas contain magnitudes less tar than that of countercurrent gasification.

High temperature zone

Recent cocurrent gasification processes contain a small high temperature zone where temperatures exceed 1100-1200C. When pyrolysis gases pass this zone, large fractions of the tars are broken down ("cracked") in milliseconds. Combined with the tar reduction in the glowing coke bed, tar levels as low as 0.025-0.100 g/Nm can be achieved.

The **two stage gasifier** developed by the Biomass Gasification Group keeps the pyrolysis and gasification processes in two separate reactors with an intermediate high temperature zone.