

## ***Demonstration of 1300 kWth-commercial size- gasification plant for CHP production***

### **Slutrapport**



Udført for:  
Energistyrelsens EUDP program  
J.nr. 64010-0100  
Udarbejdet af  
BioSynergi Proces ApS  
Henrik Houmann Jakobsen  
Johnni Junker Daugaard Nielsen  
Marts 2016



BioSynergi pr. nr. 10015

---

✉ BioSynergi Proces ApS  
Industrivænget 4 C, Meløse,  
DK-3320 Skævinge  
☎ +(45) 45 86 14 30  
🌐 [www.BioSynergi.dk](http://www.BioSynergi.dk)  
CVR. nr. 25 90 41 84

## Indholdsfortegnelse

1.	Slutrapport	3
1.1	Projekt identifikation	3
1.2	Executive summary	3
1.3	Projektets målsætning	4
2.	Projektresultater	6
2.1	Forberedelser og start af projektet	7
2.2	Anlægs- og bygningsarbejder	9
2.3	Flislager	11
2.4	Flistørreanlæg	13
2.5	Gasgenerator	15
2.6	Gasrensning	16
2.7	Gasmotor	17
2.8	Eltilslutning og PLC styring	18
	2.8.1 Eltilslutning af gasmotoranlægget.	18
	2.8.2 PLC styring	20
2.9	Fremstilling og montage af øvrige anlægskomponenter.	20
2.10	Anden myndighedsbehandling	21
3.	Projektplan og faktisk tidsforløb	23
4.	Konklusion og perspektiv	24
Bilag 1:	Beskrivelse af BioSynergis kraftvarmesystem - 300 kWel kraftvarmesystem med forgasningsteknik til brændselsflis.	

*Forsidefoto: Det flisfyrede bioforgasningsanlæg til kraftvarmeproduktion opført af BioSynergi Proces ved fjernvarmecentralen hos Hillerød Forsyning.*

# 1. Slutrapport

## 1.1 Projekt identifikation

<b>Projekt titel</b>	<i>Demonstration of 1300 kWth-commercial size-gasification plant for CHP production.</i>
<b>Projekt identifikation</b>	EUDP – j.nr. 64010-0100
<b>Navn på programmet som har finansieret projektet.</b>	Energiteknologisk Udviklings-og Demonstrations Program (EUDP)
<b>Navn og adresse på projektansvarlig</b>	BioSynergi Proces ApS Industrivænget 4 C, Meløse, DK-3320 Skævinge
<b>CVR.</b>	25 90 41 84
<b>Dato for rapportering</b>	18/3 2016

## 1.2 Executive summary

Projektet har haft som målsætning at planlægge, detailudvikle procesanlægget og gennemføre etableringen af den første opskalerede udgave af BioSynergi Proces' trinopdelte bioforgasningsanlæg til kraftvarmeproduktion (1.300 kWth svarende til ca. 300 kW<sub>el</sub>/750 kJ/s varme), så det efterfølgende var klar til idriftsættelse.

Projektet skal endvidere demonstrere hvordan rejst kapital fra en gruppe af individuelle private investorer i forening med midler fra EUDP programmet kan skabe økonomisk grundlag til at en nyudviklet vedvarende energiteknologi kan tage skridtet fra pilot skala til kommercielt produkt.

Anlæggets er placeret i en ny opført bygning direkte op ad Hillerød Forsynings fjernvarmecentral på Kirsebæralle, Hillerød, der rummer tre naturgasfyrede kedler og en varmevekslerstation.

Foruden EUDP-programmet har Hillerød Bioforgasning P/S og BioSynergi Proces ApS ydet finansiering til etableringen af bioforgasnings-kraftvarmeverket, der er tilsluttet fjernvarmenettet hos Hillerød Forsyning.

Anlægget er projekteret til at blive fyret med almindelig våd brændselsflis fra skovbruget af samme kvalitet som anvendes på flisfyrede fjernvarmeværker. Dets årlige flisforbrug estimeres til at blive ca. 12.000 m<sup>3</sup> flis af nåletræ.

Tæt på afslutningen af projektet måtte erkendes, at en række uforudsigelige omstændigheder, der er stødt til i løbet af projektperioden, havde opbrugt projektmidlerne. Det var især anlægsarbejde, opførelsen af bygningen samt flislagerindretningen, der var årsag til meromkostningerne. Det betød, at der ikke længere var tilstrækkelige økonomiske midler til at afslutte opførelsen af anlægget.

For at nå frem til projektålet blev ansøgt om og bevilliget et tillægsprojekt under EUDP programmet med titlen *Afslutning af demonstrationsanlæg- 1300 kWth bioforgasningsanlæg til kraftvarme* (EUDP – j.nr. 64013-0570).

Til at løfte egenfinansieringen af projektaktiviteterne har BioSynergi Proces ligeledes foretaget en kapitalrejsning og udvidet ejerkredsen.

Tilsammen har midlerne gjort det muligt at fuldføre anlægsetableringen og nå frem til idriftsætning af anlægget, således at arbejdet med idriftsættelse og prøvedrift kunne begynde i september 2014.

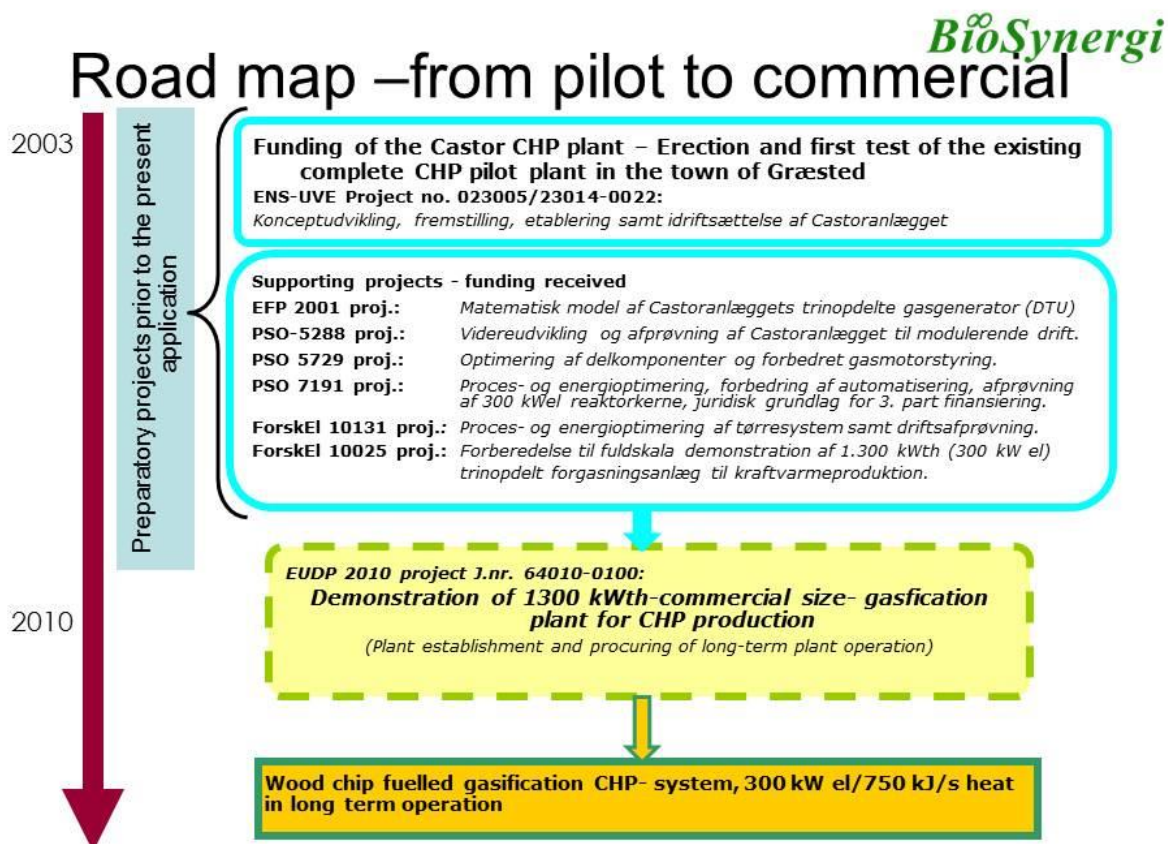
### **1.3 Projektets målsætning**

Projektet har haft som målsætning at planlægge og detailudvikle procesanlægget samt gennemføre etableringen af den første opskalerede udgave af BioSynergi Proces' brændselsflisfyrede, trinopdelte bioforgasningsanlæg til kraftvarmeproduktion (1.300 kWth svarende til ca. 300 kWel/750 kJ/s varme), så det efterfølgende er klar til idriftsættelse.

Projektet tager udgangspunkt i BioSynergis mangeårige udviklingserfaringer fra etablering og ubemandet drift af et komplet bioforgasningsanlæg i pilot størrelse (med projektnavnet Castoranlægget), der var i kvart størrelse i forhold til det her etablerede bioforgasningsanlæg i Hillerød. Ved afviklingen af Castoranlægget, der leverede varme til Græsted Fjernvarmes forsyningsnet, havde det præsteret 4.000 timers drift med kraftvarmeproduktion på trægas.

Der ligger et stort og mangeårigt forarbejde til projektet. Det startede i 2003 med opførelsen af Castoranlægget i Græsted. Efter etableringen er udført mangfoldige udviklingsprojekter. Figur 1 illustrerer kæden af projekter, der har dannet vejen fra pilotanlæg til det her opførte opskalerede bioforgasningsanlæg. Alle projekter har stilet mod at udvikle det komplette bioforgasningsanlæg, så det efterfølgende kunne opføres i den nu etablerede

opskalerede udgave, der er tilpas stor til at den være økonomisk interessant for mindre fjernvarmeværker og større industrivirksomheder.



**Figur 1:** Den her viste kæde af projekter har dannet vejen fra pilotanlæg til det opførte opskalerede bioforgasningsanlæg.

Projektet vil endvidere demonstrere hvordan rejst kapital fra en gruppe af individuelle private investorer i forening med midler fra EUDP programmet kan skabe økonomisk grundlag for at en nyudviklet vedvarende energiteknologi kan tage skridtet fra pilot skala til kommercielt produkt.

## 2. Projektresultater

Etableringen af bioforgasningsanlægget har fundet sted i en nyopført bygning direkte op ad Hillerød Forsynings fjernvarmecentral på Kirsebæralle, Hillerød, der rummer tre naturgasfyrede kedler og en varmevekslerstation.

Fjernvarmecentralens matrikel er på alle sider omkranset af Hillerød Forsynings centralrenseanlæg.

Bioforgasningsanlægget er fra starten udviklet til at kunne modtage våd brændselsflis direkte fra skovbruget af samme kvalitet, som anvendes på landets mange varmeproducerende flisfyrede fjernvarmeværker.

Forgasningsprocessen kræver dog tørt brændsel, hvorfor der indgår et kontinuerligt arbejdende tørreanlæg i det samlede anlægskoncept, der benævnes som BioSynergis kraftvarmesystem.

En nærmere beskrivelse af kraftvarmesystemet findes i bilag 1.

Den termiske forgasningsproces foregår i en cylindrisk lodret stående isoleret reaktor af stål. Det er en såkaldt medstrøms forgasningsproces, hvor brændsel, luft og den producerede brændbare gas bevæger sig i samme retning gennem reaktoren.

I de faglige miljøer kaldes reaktoren i dag ofte for en forgasser. Under anden verdenskrig var medstrøms forgasningsteknologien udbredt til drift af køretøjer og den blev alment kendt udenfor fagkredse. Dengang blev forgasseren konsekvent betegnet som gasgenerator. I respekt for teknologiens historiske rødder og tidligere store udbredelse benyttes ordet gasgenerator her i rapporten som synonym for forgasser.

*Gasgenerator = Forgasser*

Med en generel faglig term betegnes den producerede brændbare gas fra gasgeneratoren ofte som produktgas eller forgasningsgas og blev tidligere kaldt gengas. Da BioSynergis kraftvarmesystem udelukkende er designet til at anvende træ som brændsel vil i rapporten i stedet blive brugt ordet trægas som synonym for produktgas.

*Trægas = forgasningsgas = produktgas = gengas*

## **2.1 Forberedelser og start af projektet**

Umiddelbart efter igangsættelsen af projektet primo 2011 blev taget kontakt til Hillerød kommunes tekniske forvaltning. Forvaltningen blev bedt om en tilkendegivelse vedrørende forslaget om placering af bioforgasningsanlægget ved den fjernvarmecentral i Hillerød, som Hillerød Forsyning havde tilbudt projektet. Den valgte fjernvarmecentral er naturgasfyret og beliggende på en matrikel, der er fuldt omkranset af centralrenseanlægget. Planen var at opføre en ny tilbygning til fjernvarmecentralen til at rumme bioforgasningsanlægget.

Selv om lokalplanen udpeger området til renseanlæg og fjernvarmeforsyning foreslog forvaltningen, at vi burde undersøge alternative placeringer ved andre varmecentraler. Samtidig fik vi besked om, at en eventuel tilladelse på det pågældende sted ikke kunne gives af forvaltningen før der forelå en godkendelse fra byrådet af anlæggets placering i forhold til lokalplanen.

I andet kvartal 2011 blev der indsendt ansøgning til Teknik- og Miljøudvalget (TMU) om anlæggets placering i forhold til lokalplanen. Samtidig blev igangsat en søgning og vurdering af alternativer til placering af anlægget, men ingen alternativer var praktisk mulige i Hillerød Forsynings område.

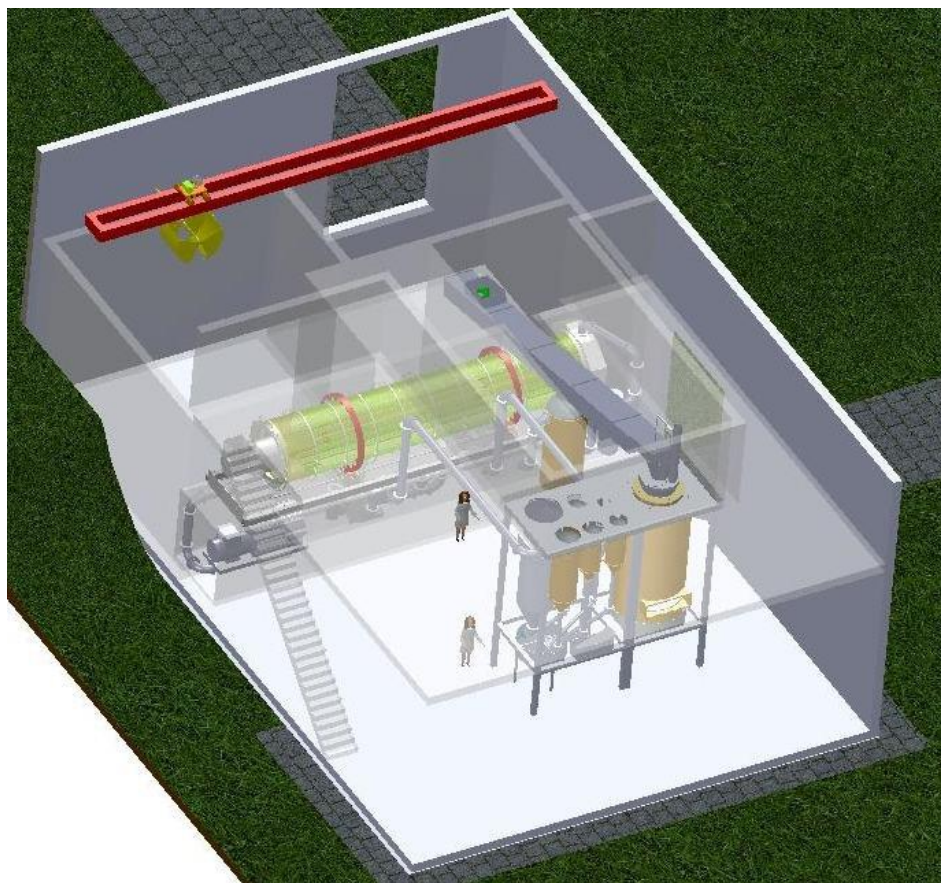
Derfor var det meget positivt for projektet, at Teknik- og Miljøudvalget godkendte ansøgningen i juni måned.

Herefter kunne arbejdet med ansøgningerne om byggeandragende og miljøgodkendelse accelereres.

Sideløbende med ansøgningerne blev indhentet tilbud på anlægs- og jordarbejdet samt på bygningen og de større anlægskomponenter. Byggetilladelsen og ansøgning om miljøgodkendelsen blev indsendt i juli 2011.

For at undgå spildte omkostninger var jordbundsundersøgelserne af byggegrunden blevet udsat indtil byrådets beslutning var kendt. Undersøgelserne viste heldigvis ikke forureninger, men grundvandsspejlet stod højt. Grunden indeholdt desuden et stort naturgasrør og samt kloakledninger, som måtte omlægges.

I forberedelsesfasen blev arbejdet med 3D konstruktioner af mange forskellige størrelser og udformninger af den ca. 300 m<sup>2</sup> store maskinhal og anlægsopbygningen. De fysiske forhold sammen med kravene i byggetilladelsen og miljøgodkendelsen ender med at indsnævre frihedsgraderne, så der kun er en enkelt af de mulige løsninger, som var brugbare.



**Figur 2:** Illustration af et - tæt på det endelige - forslag til anlægsopbygningen i maskinhallen.

Den 20/10 2011 fremsendte kommunen byggetilladelsen til anlæggets maskinhal, men den blev sat i bero igen den d. 31/10.

I den efterfølgende dialog med kommunen blev det klart, at der foruden ansøgningen om miljøgodkendelse også skulle indsendes en VVM-anmeldelse, så kommunen kunne vurdere om en VVM screening ville være tilstrækkelig til at træffe en VVM afgørelse.

Det medførte at det planlagte byggearbejde måtte udsættes, hvorved den oprindelige plan om at få gennemført jord-og betonarbejdet inden vinteren definitivt kunne skrinlægges.

Byggetilladelsen og en dispensation til at igangsætte byggeriet før miljøgodkendelsen forelå, blev modtaget d. 5/1 2012. Herefter kunne byggeprocessen genoplives.



Den offentlige høring gav ikke anledning til indsigelser og den skriftlige miljøgodkendelse bliver modtaget hen mod afslutningen af 4. kvartal 2012.

## **2.2 Anlægs- og bygningsarbejder**

Rydningen af arealet og landinspektørens afsætning af bygningen begyndte i 1. kvartal 2012.



*Figur 3: Starten på arealrydning og afsætning af bygning*

Gasrøret til forsyningen af fjernvarmecentralens tre kedler krydsede byggefeltet. Den første opgave var at opgrave og omlægge gasrøret og den tilhørende indvendige rørinstallation, da indføringen i fjernvarmecentralen måtte flyttes over i en anden bygningsvæg.

Ved terrænreguleringen af byggefeltet ind mod den eksisterende bygning viste sig et større område med et løst gruslag. Det krævede opførelse af en ekstra betonstøttemur for at sikre bygningerne.



**Figur 4:** Omlægning af gasrør og arealrydning

Udgravningen og støbningen af modtagesiloen foregik i den våde sommer 2012. Der løb ekstra omkostninger på denne entreprise på grund af behov for ekstra spunsning for at hindre regn i at forårsage sammenstyrtning og brug af sugeanlæg til at sænke grundvandspejlet under arbejdet. Støbningen af den fire meter dybe modtagesilo til flis går ned under vandspejlet, så det var nødvendigt både at udføre den vandtæt og sikre den mod at flyde.



**Figur 5:** Udgravningen og støbningen af flisgraven foregik under konstant kamp med at holde grundvandspejlet i skak. Det stod ekstra højt på grund af store mængder nedbør i perioden.

For at overholde kravene til brandsikkerhed blev en del af fjernvarmecesentralens gavl udskiftet og højden forøget på hele brandvæggen, så den svarede til højden på maskinhallens sidevæg. Derefter kunne opførelsen af maskinhallen gå i gang.

Anlægs- og bygningsarbejdet rykkede godt fremad i løbet af 3.kvartal 2012. Bygningsfundamentet, betondæk, kloak og flis graven blev færdigt og maskinhallens spær, panelelementer og tagkonstruktionen blev rejst.



*Figur 6: Næsten færdig bygning i 3 kvartal 2012*

På nær enkelte detaljer blev etableringen af bygningen til anlægget afsluttet i 4 kvartal 2012.

### **2.3 Flislager**

Ved projektstarten blev undersøgt og vurderet en række mulige mekaniske løsninger til flismodtagelse og flistransport i lageret. Modtagesilo og flislager er i alt dimensioneret til at rumme ca. 300 m<sup>3</sup> brændselsflis svarende til syv dages drift ved maksimal effekt.

På grund af bygningens fastlåste placering, som nævnt i afsnit 2.1, blev det desværre været nødvendigt at vælge den dyreste løsning - et automatisk krananlæg - der er det eneste system, som er praktisk muligt at anvende qua placeringen af modtagesiloen og resten af anlægget i bygningen. Krananlægget er den dyreste selvstændige anlægskomponent i det samlede kraftvarmesystem.

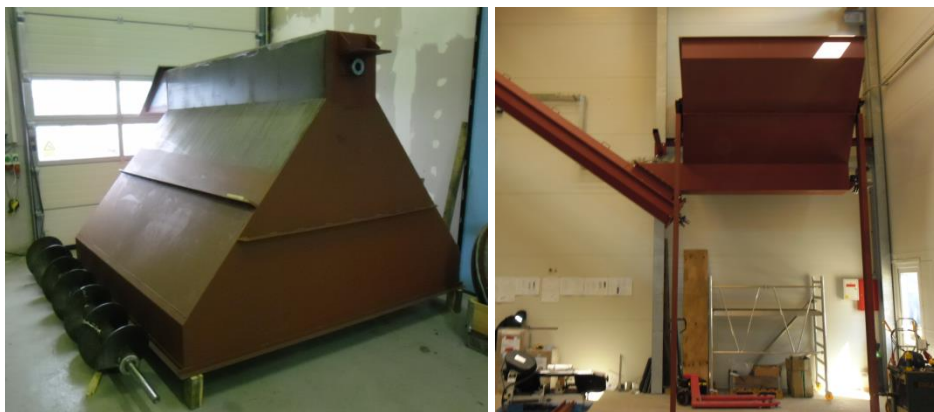
Det fuldautomatiske krananlæg blev leveret så installationen kunne begynde i 4. kvartal 2012.



**Figur 7:** Montage af det fuldautomatiske krananlæg

Der bliver samtidigt arbejdet på mellemlageret til tør flis, som bygges ind i en 20 fods container. Mellemlageret forøger anlægsomkostningerne men sparer til gengæld driftsomkostninger, fordi der bliver mindre behov for naturgas ved opstarten af anlægget. Ved opstarten kan gasgeneratoren tændes og varme op med flis fra mellemlageret og først når det er tomt, bliver det nødvendigt at tilføre flis direkte fra tørreanlægget.

Konstruktion og fremstilling af de øvrige dele til flistransportsystemet er ligeledes i gang mens krananlægget installeres. Delene hertil bestilles som halvfabrikata hos underleverandører og fremstilles færdige i eget værksted som komponenter inden de fragtes ind til den efterfølgende montage på anlægget.



**Figur 8:** Flistragt med snegl ses her i værkstedet og efter det er monteret i anlæggets flishal.

## 2.4 Flistørreanlæg

Tørreanlægget er den største enkeltstående komponent i kraftvarmeanlægget. Det blev designet 1. kvartal 2012 fra grunden ud fra erfaringsgrundlaget fra de foregående projekter på pilotanlægget i Græsted. Konstruktionen blev klar til at blive sat i produktion hos en underleverandør i 2. kvartal 2012. Varigheden af myndighedsbehandlingen i starten af projektet havde strammet tidsplanen. For at spare tid blev tørreanlægget ikke fremstillet færdigt hos underleverandøren, men blev hentet hjem til slutmontage i eget værksted i 3. kvartal 2012. Slutmontagen indebar bl.a. montering af gearmotorer, drivakslar og tætninger og koldtest af tromlen.



*Figur 9: Modtagelse af tørreanlægget til slutmontage i eget værksted.*

Ved den efterfølgende koldtest af tromlen blev konstateret at bære- og drivhjulene ikke kunne klare belastningen fra tromlen. Der blev i første omgang taget kontakt til leverandøren af hjulene. Deres tekniske konsulent kunne ikke udelukke en produktionsfejl på hjulene. Men det blev efterfølgende besluttet at vælge en hjultype fra en anden leverandør, da normale driftsforhold ville belaste bære- og drivhjulene yderligere på grund af varmepåvirkningen og vægten af flismængden i tromlen. Tørreanlægget blev herefter fragtet til og installeret i kraftvarmeanlæggets maskinhal i 1. kvartal 2013.



*Figur 10: Tørreanlægget lempes ind i maskinhallen.*



*Figur 11: Montage af tørreanlæg i maskinhal.*

## 2.5 Gasgenerator

Gasgeneratorens grundlæggende opbygning er identisk med den gasgenerator, der blev brugt med succes på Castoranlægget i Græsted og er opbygget efter BioSynergi Proces' patenterede forgasningsprincip.

Til dimensioneringen af den her anvendte opskalerede udgave er blandt andet anvendt det computerbaserede simuleringsværktøj, som BioSynergi Proces og DTU har udviklet i et samarbejdsprojekt (ForskEl pr. nr. 5288 for Energinet.dk).

Konstruktionen, dimensioneringen og trykberegninger på gasgeneratorens grundmodul blev fastlagt og tegningsmaterialet med specifikationer blev gjort klar, så en underleverandør kunne begynde fremstillingen i 4. kvartal 2012.

Grundmodulet var klar til at opstilling i maskinhallen i slutningen af 1. kvartal 2013.



**Figur 12:** Gasgeneratorens grundmodul aflæsses udenfor anlægsbygningen.

Bunden af gasgeneratoren er en selvstændig konstruktion, der kan tilpasses i forhold til grundmodulet. Bundsektionen indeholder rist og mekaniske dele til askeudmadningen.

Den detaljerede udformning af bundsektionen er fastlagt ud fra resultaterne fra et udviklingsprojekt (ForskEl pr. nr. 10635), udført for Energinet.dk af BioSynergi Proces.

I ForskEI- projektet blev udviklet en bundsektion, der - målt i forhold til BioSynergi's tidligere fremstillede bundsektioner - var i stand til at reducere energitabet med aske. Bundsektionen blev fremstillet og afprøvet på Castoranlægget i Græsted i 3-4. kvartal 2012, så resultaterne kom straks i brug til det her fremstillede anlæg.

Fremstillingen af bundsektionen blev sat i gang i 1.kvartal 2013 som halvfabrikata hos en underleverandør. Slutfremstillingen med isolering og støbning af keramik og mekanisk montage af enheden fortsatte herefter i eget værksted.

De indvendige stålforinger og keramiske elementer i gasgeneratoren var i 2009 blevet udviklet og prøveopstillet under et udviklingsprojekt udført for Energinet.dk (ForskEI/PSO projekt nr. 7191). Delene fra dette projekt blev nu tilpasset, så de kunne indsættes i grundmodulet og blev derefter monteret i gasgeneratoren ved hjælp af en lastbilkran i 3.kvartal 2013.

Montagen af bundsektionen blev af økonomiske årsager udskudt til det efterfølgende EUDP projekt nr. 64013-0570.

Som den sidste større del til gasgeneratoren begyndte den detaljerede konstruktion af indfyrdelen, der udgør toppen af gasgeneratoren og forbinder den til indfyrdingsystemet, i 3.kvartal 2013. Dens udformning blev i høj grad bestemt ud fra forudgående dimensionerende beregninger af eksplosionsaflastninger i indfyrdelen. Af praktiske årsager blev eksplosionsaflastningerne konstrueret som to separate åbninger, som via kanaler er ført direkte ud af bygningen.

Fremstillingen og montagen af indfyrdelen blev af økonomiske årsager udskudt til det efterfølgende EUDP projekt nr. 64013-0570.

## **2.6 Gasrensning**

Gasrensningsmodulet består af luftforvarmer, varmeveksler til varm trægas, posefilter og varmeveksler til kold trægas.

Det er de samme typer komponenter, som blev anvendt til rensning og køling af trægas på Castoranlægget. Driftserfaringerne herfra er benyttet ved dimensioneringen og konstruktionen af gasrensningsmodulet.

I modsætning til det tidligere anlæg, hvor de enkelte komponenter var separat opstillede på gulvet, er komponenterne til gasrensning i den nye konstruktion monteres i en samlet transportabel enhed.



Enheden er blevet konstrueret færdig og beskrivelser og tegningsmateriale til tilbudsindhentning fra underleverandørerne blev udarbejdet i løbet af 2-3. kvartal 2012.

I slutningen af 3. kvartal 2012 blev modtaget tilbud på delkomponenterne til modulet og efter tilretningen af konstruktionen kunne der afgives ordrer til underleverandørerne i 4. kvartal 2012. Ordren på posefilteret blev lagt således at det kunne leveres rettidigt til det maskinværksted, der var blevet valgt til at fremstilling og samling af modulet. Medio første kvartal 2013 stod modulet klart og blev derefter fragtet frem til og opstillet i anlæggets maskinhal.



*Figur 13: Montage af gasgenerator og gasrensingsmodul.*

## **2.7 Gasmotor**

Mens der blev ventet på byggesagens behandling blev forudsætningerne for gasmotoranlægget og dimensioneringen af motoranlægget genberegnet og kontrolleret.

For at opnå størst mulig sikkerhed for at kunne levere den ønskede eleffekt blev valgt at indkøbe et relativt stor totalrenoveret gasmotoranlæg som ifølge beregningerne burde være overdimensioneret i forhold til projektets forudsætninger om at der skal opnås en afgiven eleffekt på 300 kW på trægas.

Den alternative mulighed indenfor budgettet ville være at vælge et nyt, mindre motoranlæg. Det skulle i givet fald kunne presses i ydelse i forhold til erfaringsværdierne fra Græsted anlægget for at nå den ønskede eleffekt.

Valget af det totalreoverede motoranlæg gav derimod en ekstra sikkerhed for at opnå projektets forudsætning om den afgivne eleffekt, selv hvis det skulle vise sig, at kvaliteten af trægassen i starten af anlægsdriften ville være ringere end forudsat.

Aftalen om leverance af et totalreoveret Deutz MWM gasmotoranlæg kunne herefter indgås med leverandøren i 4. kvartal 2011.

Gasmotoranlægget blev klar til levering før maskinhallen var bygget færdig, og andre komponenter skulle ind i hallen før motoren. Det blev derfor først i marts 2013 at gasmotoren bliver leveret til maskinhallen og installationen startede.



**Figur 14:** Gasmotoranlægget ankommet til installation i maskinhallen.

## **2.8 Eltilslutning og PLC styring**

Udover den almindelige bygningsinstallation til lys og elstik er indlagt et kraftkabel for tilslutning af gasmotoranlægget. Til styringen af hele bioforgasningsanlægget er desuden udviklet og installeret et komplet PLC styringsanlæg, der modtager signaler fra og styrer anlægskomponenterne.

### **2.8.1 Eltilslutning af gasmotoranlægget.**

Der var heldigvis ledig kapacitet i den eltransformer på matriklen, som forsyner fjernvarmecentralen. Det var derfor muligt at tilslutte gasmotoranlæggets elgenerator til elnettet via denne transformer, og der var kun en kort afstand over til den.

Det var dog nødvendigt at udvide eltransformeren med et ekstra kabinet til at rumme afbrydere, sikringer og forskruninger til montagen af elkablerne.

Elforsyningsselskabet åbnede kabinettet ind til transformeren da det praktiske arbejde med udvidelsen startede. De konstaterede da, at den var bestykket med komponenter, der ikke længere fandtes på markedet. En simpel udvidelse af transformerens eltavle var således ikke teknisk mulig. Det blev nødvendigt at bekoste en hel udskiftning af transformerens elektriske forsyningsdele før det blev muligt at tilslutte elkablet. Arbejdet blev udført i løbet af 2. kvartal 2012.



**Figur 15:** Eltransformeren blev udvidet med et ekstra kabinet til materiellet for tilslutning af gasmotoranlæggets elkabler.

El entreprisen, der inkluderer fremføring af hovedkablerne og levering af værkets hoved-eltavle, er blevet udarbejdet og i gang sat i 3. kvartal 2012. Værkets hoved-eltavle blev leveret og monteret i 4. kvartal og el i bygningen blev ligeledes afsluttet. Den sidste del af elentreprisen vedrører gasmotoranlæggets elgenerator, der skal kobles på til el-nettet via hovedtavlen. Denne del af elentreprisen startede da gasmotoranlægget blev installeret i maskinhallen.

### 2.8.2 PLC styring

Hele styringen af kraftvarmeanlægget er opbygget af individuelle moduler, som styrer hver deres del af anlægget. Modulerne er hensigtsmæssigt placeret i elskabe rundt på anlægget. Modulerne er indbyrdes forbundet via et netværkskabel, som udgår fra hoved PLC'en.

Denne løsning var et resultat af den fastlagte strategi for udformningen af PLC systemet og den tilhørende arkitektur af styresystemet.

Der var i 1 kvartal og lidt af 2 kvartal 2013 tilknyttet en automationsteknologi-studerende som praktikant, der sammen med vores fastansatte elingeniør arbejdede med programmering og den øvrige opbygning af PLC styringen.

Logikken i det programmerede styresystem, som er indlagt i PLC'en blev som udgangspunkt udført på samme måde, som det system, der var udviklet til at styre Castoranlægget i Græsted. Det er en meget omfattende opgave at etablere denne intellektuelle del af styresystemet, så det var en stor fordel at der kunne tages udgangspunkt i et system, der havde vist sig at fungere i praksis.

Der blev efterfølgende afgivet ordre på modulerne og PLC systemet hos et eksternt firma, hvorefter leveringen fandt sted i slutningen af 2. kvartal 2013. Herefter startede arbejdet med at koldteste systemet mens der befandt sig i værkstedet. Derefter blev modulerne flyttet og monteret på selve anlægget.

### 2.9 Fremstilling og montage af øvrige anlægskomponenter.

Foruden de allerede omtalte anlægskomponenter indgår der en lang række af mindre anlægskomponenter i det samlede bioforgasningsanlæg. Det drejer sig blandt andet om:

- Naturgasinstallation
- Intern varmekreds med forbindelse til fjernvarmecentralen
- Gasrørinstallation med ventiler til trægas
- To gassugere til trægas
- Gasfakkel
- Kondenserende røggaskøler
- Røgsuger
- Skorsten

Heraf er konstruktionen og fremstillingen af den kondenserende røggaskøler med tilhørende dråbefang udført indenfor projektet.



**Figur16:** Kondenserende røggaskøler konstrueret af BioSynergi Proces på vej til installation i maskinhallen.

Naturgasinstallationen er ligeledes igangsat indenfor projektet mens dimensioneringen og detailprojekteringen af de øvrige komponenter er udført inden projektet.

Selve udførelsen og installationen af de øvrige komponenter er grundet de omstændigheder, der er omtalt i kapitel 3 blevet udført i det efterfølgende projekt: *Afslutning af demonstrationsanlæg- 1300 kWth bioforgasningsanlæg til kraftvarme* (EUDP – j.nr. 64013-0570), og er beskrevet i afslutningsrapporten til dette projekt.

## **2.10 Anden myndighedsbehandling**

Til Sikkerhedsstyrelsen blev udarbejdet materiale til ansøgning om en projektgodkendelse af en såkaldt speciel installationsløsning, idet anlæg til trægasproduktion ikke indgår i gasreglementet som en normal installationsløsning.

En meget væsentlig del af ansøgningsmaterialet er en såkaldt HAZOP analyse af det samlede bioforgasningsanlæg. HAZOP analysen er en samlet systematisk risikovurdering af de tænkelige former for drifts- og nødsituationer på bioforgasningsanlægget.

Til udarbejdelsen af HAZOP analysen blev valgt at benytte konsulentbistand fra Dansk Gasteknisk Center, der kunne tilbyde de rette kompetencer til opgaven. Arbejdet hermed blev påbegyndt 1. kvartal 2013 og indeholdt en lærerig proces, der blev afsluttet i 2 kvartal 2013.

Foruden en rapport medførte HAZOP analysen nogle mindre praktiske ændringer og udvidelser af PLC styresystemets opbygning.

### **3. Projektplan og faktisk tidsforløb**

Tæt på afslutningen af projektet måtte erkendes, at en række uforudsigelige omstændigheder, der er stødt til i løbet af projektperioden, havde opbrugt projektmidlerne. Det var især anlægsarbejde, opførelsen af bygningen samt flislagerindretningen, der var årsag til meromkostningerne. Det betød, at der ikke længere var tilstrækkelige økonomiske midler til at afslutte opførelsen af anlægget.

For at nå frem til projektmålet blev ansøgt om og bevilliget et tillægsprojekt under EUDP programmet med titlen *Afslutning af demonstrationsanlæg- 1300 kWth bioforgasningsanlæg til kraftvarme* (EUDP – j.nr. 64013-0570).

Til at løfte egenfinansieringen af projektaktiviteterne har BioSynergi Proces ligeledes foretaget en kapitalrejsning og udvidet ejerkredsen.

Tilsammen har midlerne gjort det muligt at fuldføre anlægsetableringen og nå frem til idriftsætning af anlægget, således at arbejdet med idriftsættelse og prøvedrift kunne begynde i september 2014.

#### 4. Konklusion og perspektiv

Projektet har ikke indenfor tidsrammen og den økonomiske ramme nået målet om opførelse af det komplet driftsklart bioforgasningsanlæg.

Det er dog lykkedes at finde den nødvendige supplerende kapital til at afslutte anlægsetableringen og ved afslutningen af det efterfølgende EUDP finansierede projekt: *Afslutning af demonstrationsanlæg- 1300 kWth bioforgasningsanlæg til kraftvarme* (EUDP – j.nr. 64013-0570) var etableret et anlæg, hvor der kunne indledes prøvedrift af anlæggets komponenter.

Med støtte fra to projekter fra Energinet.dk's ForskVE program er arbejdet med idriftsættelsen og prøvedrift af anlægget nu i gang.

Når bioforgasningsanlægget har demonstreret stabil drift med kraftvarmeproduktion er det en energieffektiv løsning, som en lang række mindre fjernvarmeværker med økonomisk fordel kan vælge at investere i.

Især for de mindre naturgasfyrede kraftvarmeværker, som netop nu er i gang med at finde erstatningsanlæg til deres installerede gasmotorer, kan denne løsning være ekstra økonomisk interessant.

Det gælder især, hvis det på det enkelte fjernvarmeværk er praktisk muligt at opnå en investeringsbesparelse ved at genanvende og konvertere den eksisterende gasmotorinstallation fra naturgasdrift til drift på trægas fra den her udviklede og etablerede type bioforgasningsanlæg.

O-----O



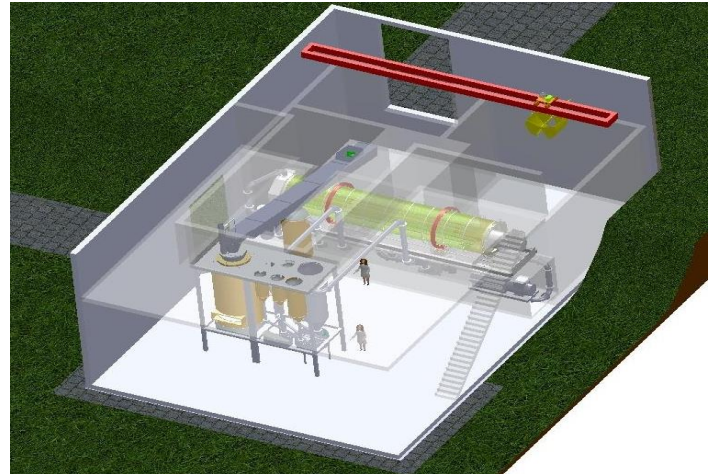
**Bilag 1:**

Beskrivelse af BioSynergis kraftvarmesystem - 300 kWel kraftvarmesystem  
med forgasningsteknik til brændselsflis.

## BioSynergis kraftvarmesystem

August 2014

**300 kW<sub>el</sub>**  
**kraftvarmesystem**  
**med forgasningsteknik**  
**til brændselsflis**



Eksempel på anlægslayout af BioSynergis 300 kW<sub>el</sub> bio-forgasningsanlæg til kraftvareproduktion.

*Af Henrik Houmann Jakobsen, Direktør, Akademiingeniør, BioSynergi Proces ApS*

BioSynergi Proces ApS udvikler og markedsfører et komplet kraftvarmesystem, der udnytter brændselsflis fra skovbruget til kombineret el- og varme-  
produktion (kraftvarmeproduktion).

Kraftvarmesystemet benytter sig af en effektiv forgasningsproces og henvender sig især til mindre fjernvarmeværker, store industrivirksomheder samt institutioner. Anlægget er designet til at anvende almindelig brændselsflis fra skovbruget.

Til udvikling af kraftvarmesystemet råder BioSynergi over et mindre pilot- og demonstrationsanlæg med en nominel eleffekt på 75 kW og en varmeeffekt på 165 kW. Dette anlæg har p.t. været i drift i flere end 5.000 timer heraf 3.400 timer med salg af elproduktionen til det offentlige elforsyningsnet.

Den følgende beskrivelse dækker den næste generation af kraftvarmesystemet, der får en eleffekt på ca. 330 kW samt en varmeeffekt på 750 kW(kJ/s).

### **Størrelse af varmebehov.**

Et BioSynergi kraftvarmeanlæg med størrelsen 330 kW<sub>el</sub>/750 kW varme kan årligt producere flere end 2.000 MWh el og 5.000 MWh varme.

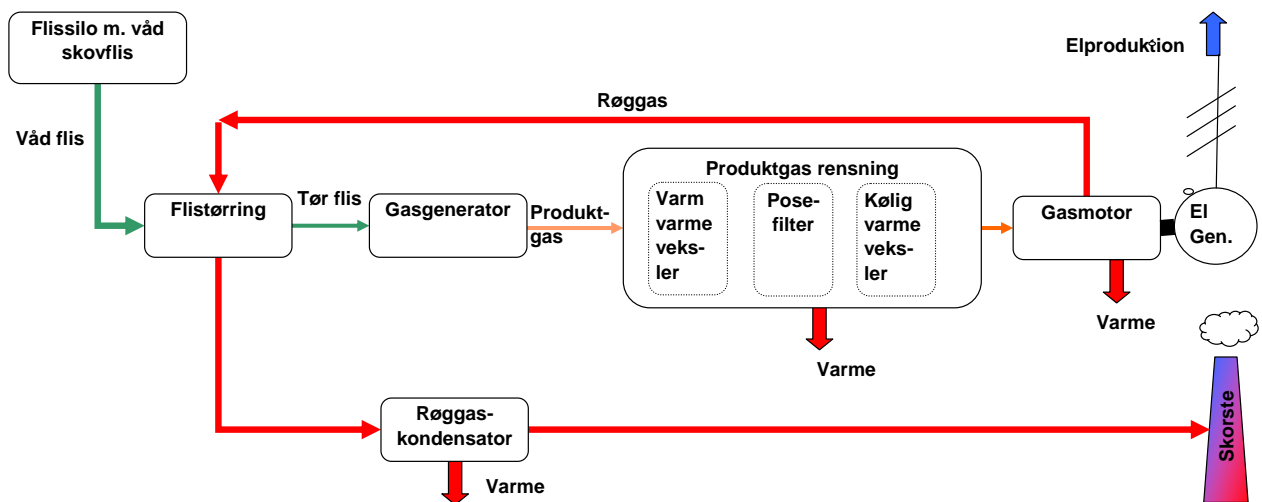
For at opnå regulær og stabil drift på anlægget anbefales at det tilkobles et varmesystem som har et årligt behov på minimum 5.000 MWh varme. På et

eksisterende varmeværk/varmecentral vil det eksempelvis fint kunne overtage positionen som hovedforsyningsanlæg. De gamle forsyningsanlæg kan så med fordel bevares og fremover kun benyttes til at levere den supplerende varme i de relativt få timer om året, hvor kraftvarmeanlægget ikke kan dække det fulde varmebehov.

### Anlægsbeskrivelse

Den centrale proces i kraftvarmesystemet, som omsætter brændselsflis til en brændbar gas, foregår i en patenteret såkaldt trinopdelt Open Core medstrøms gasgenerator. Gassen benyttes som brændstof til en forbrændingsmotor, der producerer el og varme. Anlægget er udviklet til ubemandet, automatisk drift.

## BioSynergi



Hovedprocesserne i BioSynergis kraftvarmesystem.

Anlægget er designet til at anvende almindelig skovflis, der ved modtagelsen typisk har et vandindhold på 40-55 % af totalvægt. Skovflis produceres af skovbrugets overskudstræ, der er for småt til at kunne sælges til andre formål. Når forstfolkene fjerner en del af træerne med små dimensioner forbedres vækstvilkårene og dermed kvaliteten af de blivende træer i bevoksningerne.

Efter modtagelsen i flistransportsystemet føres den våde brændselsflis til tørring i en 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.

Den trinopdelte Open Core gasgenerator kan være i drift med fri adgang til toppen af brændselslaget i dens centrum. Ved normal drift holdes toppen dog

lukket, så der kan tilføres forvarmet luft til forgasningen. Brændsel, luft og produktgas bevæger sig i samme retning ned gennem gasgeneratoren. De indre dele af gasgeneratoren er fremstillet af ildfaste keramiske materialer og afsluttes i bunden med en bevægelig rist.

Aske fra forgasningen udtages gennem en vandlås i bunden af gasgeneratoren. Allerede fra starten af designfasen er konstruktionen udført med henblik på at sliddele skal være lette at udskifte og at konstruktionens hovedsektioner skal være lette at adskille og samle på stedet.

Luft til forgasningsprocessen kan reguleres til fordeling mellem tre adskilte områder i gasgeneratoren. En del af luften tilføres gasstrømmen midt i gasgeneratoren og medvirker bl.a. til en intern omsætning af hovedparten af tjærestofferne fra pyrolysen.

Produktgassens temperatur er ca. 550 °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. Restproduktet fra posefilteret er tør flyveaske som bortskaffes sammen med asken fra gasgeneratoren.

Efter posefiltret køles produktgassen en gang mere 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 sugerens indløb. Under start og opvarmning af anlægget føres produktgassen gennem et bypass rør udenom posefiltret og sendes af blæseren til afbrænding i en udendørs gasfakkel.

Når opvarmningen af anlægget er overstået ledes produktgassen til gasmotoren hvor den forbrændes efter at være blevet blandet med luft i motorens indsugningssystem. Gasmotoren er tilkoblet en elgenerator med tilslutning til elforsyningsnettet.

Varmen fra gasmotorens kølevand og motorolie udnyttes til varmeproduktion, mens udstødningsvarmen, (som tidligere nævnt) 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.

Den kondenserende røggaskøler udskiller vand og støvpartikler fra røggassen. Støvet kommer fra tørringen af det friske træ, filtreres fra inden det oversky-

dende vand ledes til kloak. Udstødningsgassen har til slut en temperatur på ca. 60-65 °C og er mættet med vanddamp, når den bortledes gennem skorstenen.

### Produktgassens sammensætning

Danmarks Tekniske Universitet (DTU) har i forbindelse med et udviklingsprojekt i december 2006 foretaget analyser af produktgassen på BioSynergis demonstrationsanlæg. Følgende typiske gassammensætning blev fundet ved målingerne:

Gaskomponent	Volumen % (tør basis)
H <sub>2</sub>	18,5
CO	15,8
CO <sub>2</sub>	14,1
CH <sub>4</sub>	1,6
N <sub>2</sub> (beregnet)	50,0

Under målingerne blev intervallet for produktgassens nedre brændværdi fundet til: 4,6 -5,4 MJ/m<sub>n</sub><sup>3</sup> (m<sub>n</sub><sup>3</sup>: normal kubik meter).

Et anlæg på 300 kW<sub>el</sub> producerer en gas af mindst lige så god kvalitet som målingerne på det mindre demonstrationsanlæg viste i 2006.

### Energiudnyttelse og hoveddata

Biosynergi råder over et et PC-baseret simuleringsprogram, hvormed der er beregnet procesværdier og energibalancer for hver af de komponenter, som tilsammen danner det samlede kraftvarmesystem.

Tabellen herunder præsenterer simuleringsprogrammets nøgletal for et anlæg i størrelsen 300 kW<sub>el</sub>. Af den tilførte energi i form af vådt træ omsættes ca. 26 % til el og 58 % til varme.

300 kW <sub>el</sub> BioSynergi kraftvarmesystem				
El effekt	Varme effekt	Indfyret effekt	Gasproduktion fra gasgenerator	Typisk årligt flisforbrug (45 % vandindhold)
[kW]	[kJ/s]	[kW]	[m <sub>n</sub> <sup>3</sup> /h] <sup>1)</sup>	[Ton/år]
330 (26%)	750 (60 %)	1.250 (100 %)	875	3.000

<sup>1)</sup> m<sub>n</sub><sup>3</sup>/h -Normal kubikmeter/time

### Luftemissioner

Teknologisk Institut, Århus har i december 2006 udført autoriserede målinger på røggassen fra anlægget gasmotor. Motorens røggas er det eneste udslip til luften som anlægget leverer under normal drift.

Målingerne blev foretaget i skorstenen efter tørreprocessen.

Teknologisk Instituts emissionsmåling på BioSynergis demonstrationsanlæg, december 2006
Partikler < 4 mg/ m <sub>n</sub> <sup>3</sup>
CO < 1600 mg/ m <sub>n</sub> <sup>3</sup>
NO <sub>x</sub> < 650 mg/ m <sub>n</sub> <sup>3</sup>
UHC < 100 mg/ m <sub>n</sub> <sup>3</sup>
[mg/ m <sub>n</sub> <sup>3</sup> ]: milligram pr. normal kubikmeter.
Reference iltprocent i røggas: 5% O <sub>2</sub>

Måleværdierne for partikler, CO og UHC overholder Miljøministeriets emissionsgrænseværdier i BEK 621 af 23. juni 2005, som gælder for gasmotorer på forgasningsgas. NO<sub>x</sub> værdien lå ved målingen knap 20 % over grænseværdien, men det forhold må tilskrives, at demonstrationsanlæggets gasmotoranlæg er over 25 år gammelt på måletidspunktet. Med et nyt og større gasmotoranlæg vil NO<sub>x</sub> værdien også ligge under grænseværdien.

### Restprodukter og andre udledninger

Restproduktet fra forgasningsprocessen er fint trækul og aske. Det bliver udtaget på våd form og kan deponeres.

Til rensning af produktgassen for støv og tjære anvendes som tidligere omtalt en tør proces. Restproduktet fra gasrensningen er tør flyveaske der eventuelt også kan udtages på våd form og deponeres sammen med asken fra forgasningsprocessen.

Gasmotorens røggas renses for partikler efter at den er anvendt til trættørring. Derved fremkommer en mindre mængde træstøv i tør form og træstøv i våd form, der kan deponeres. Fra kondenseringen af røggassen fra gasmotoren udskilles kondensat. Selve kondensatet er neutralt og kan ledes til kloak.

### Arbejde med drift- typer opgaver og tidsforbrug

De typiske daglige driftsopgaver består af tilsyn med anlægget samt opgaver i forbindelse med modtagelse af træflis og bortskaffelse af aske og træstøv til deponi. I BioSynergis driftsøkonomiske beregninger medregnes derfor altid omkostninger til både timeforbrug og materialeomkostninger i det resulterende driftsøkonomiske resultat.

o-----o