

Indkøring og driftsoptimering af trinopdelt bioforgasningsanlæg til kraftvarmeproduktion

Slutrapport



Udført for:
Energinet.dk
ForskVE projekt nr. 2015-1-12300
Udarbejdet af
BioSynergi Proces ApS
Henrik Houmann Jakobsen
Johnni Junker Daugaard Nielsen
November 2016

✉ BioSynergi Proces ApS
Industrivænget 4 C, Meløse,
DK-3320 Skævinge
☎ +(45) 45 86 14 30
🌐 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	Gassuger	6
2.1.1	Havari på rågassugerens løbehjul	7
2.1.2	Tilstopning af rågasrør	8
2.2	Gasfakkel	8
2.3	Flistransportsystem	9
2.3.1	Transport snegle frem til reaktor	9
2.3.2	Tørlager	10
2.4	Gasgenerator, gasmotor og generelt om anlægsdrift	11
3.	Konklusion	19
3.1	Anvendelse af projektresultater og perspektiv	19

Forsidefoto: Et kig ind i bioforgasningsanlæggets gasgenerator.

1. Slutrapport

1.1 Projekt identifikation

Projekt titel	Indkøring og driftsoptimering af trinopdelt bioforgasningsanlæg til kraftvarmeproduktion.
Projekt identifikation	Nr. 2015-1-12300.
Navn på programmet som har finansieret projektet.	ForskVE pr. nr. 12300
Navn og adresse på projektansvarlig	BioSynergi Proces ApS Industrivænget 4 C, Meløse, DK-3320 Skævinge
CVR.	25 90 41 84
Dato for rapportering	23/11 2016

1.2 Executive summary

I projektet er udført opgaver med henblik på indkøring og driftsoptimering af et forgasnings-kraftvarmeværk som BioSynergi Proces har opført på Hillerød Forsynings fjernvarmecedral på Kirsebærølle, Hillerød.

Anlægget fyres med almindelig våd brændselsflis fra skovbruget af samme kvalitet som anvendes på fjernvarmeværker.

Etableringen af anlægget har modtaget støtte fra Energistyrelsen EUDP projekt nr. 64010-0100: *Demonstration of 1300 kWth-commercial size- gasification plant for CHP production" under EUDP 10-I. og EUDP projekt j.nr. 64013-0570: Afslutning af demonstrationsanlæg- 1300 kWth bioforgasningsanlæg til kraftvarme.*

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

Projekternes målsætning har været at etablere den første opskalerede udgave (1.300 kWth svarende til ca. 300 kWel/750 kJ/s varme) af BioSynergi Proces' trinopdelte bioforgasningsanlæg til kraftvarmeproduktion.

Denne målsætning var opnået ultimo august 2014. Herefter blev ForskVE projekt nr. 2011-1-10654 sat i gang.

Dette projekt var desværre præget af et helt usædvanligt antal afbrydelser af arbejdet med driftsstart af bioforgasningsanlægget. Selvom langt hovedparten af anlægskomponenterne fungerede lykkedes det derfor desværre ikke at få

det samlede forgasningsanlæg i drift under det projekt. Ved projektets afslutning manglede stadig at få løst det sidste problem med ophobning af aske i bunden af gasgeneratoren, der skabte en blokade for gasafgangen.

Ligeledes manglede også at få afprøvet og demonstreret den endelige løsning på omkobling af gasmotoren fra drift på naturgas til drift på trægas samt at fremvise en stabil drift på trægas.

Arbejdet i det her rapporterede projekt er udført i direkte forlængelse af ForskVE 2011 projektet.

Det overordnede projektmål om at fremvise længere tids stabil drift med kraftvarmeproduktion på trægas er desværre ikke opnået. Det er lykkedes at opnå flere end 1.000 timers drift på selve gasgeneratoren men desværre kun er realiseret 3 - 4 timers drift med elproduktion på trægas.

Den helt overvejende årsag til den manglende stabile drift har været risten og dens komponenter i gasgeneratoren. Disse dele er blevet repareret og ændret adskillige gange.

Ved projektets afslutning i oktober 2016 blev den sidste forstærkning af risten og transmissionen, der forbinder rist og gearmotor, udført.

Projektarbejdet er fortsat for BioSynergi Proces' egne midler i november, hvor anlægget igen blev klart til opstart med den sidste nye akseldel. Ved den første start af anlægget i november blev opnået godt 1½ times drift med kraftvarmeproduktion på trægas.

Der kræves fortsat meget store kræfter til at drive risten, men hele transmissionen nu så solid, at den holder.

Arbejdet med idriftsættelsen fortsætter herefter udelukkende for egne midler med målsætning om at få anlægget i stabil drift.

1.3 Projektets målsætning

En væsentlig lære fra etableringen af bioforgasningsanlægget var at en række komponenter blev større, tungere og dyrere end oprindeligt forudset. Fra montagen af anlægget er tydeligt erfaret, at mange komponenter alene på grund af deres størrelse har taget længere tid og krævet mere løftegrej at bakse på plads og montere.

Den indlysende driftsmæssige konsekvens heraf var, at de kommende aktiviteter med service og reparation af anlægget også blev mere tidskrævende og dyrere at udføre.

Disse forhold stod ikke klart dengang ForskVE 2011 projektet blev ansøgt og bevilliget.

Et formål med det her ansøgte projekt er derfor at yde tilskud til de forudsigelige ekstra omkostninger, som er forbundet med anvendelsen af større og dyrere anlægskomponenter end oprindeligt antaget.

I projektet er derfor afsat ressourcer til bemanning og optimering af den daglige drift til indkøring og driftsoptimering af anlægget.

Projektet har ydet tilskud til at dække de ekstra driftstekniske udfordringer, som driftsstart af en helt ny teknologi til el- og varmeproduktion på biomasse indebærer. Tilskuddet har medvirket til at forhindre at der ikke er opstået en økonomisk kvælning af den demonstrerede teknologi og den bagvedliggende organisation i løbet af det første kritiske år.

Til opfyldelse af projektets målsætning blev ansøgt om en bevilling på kr. 4.235.875.

Fra ForskVE 2015 programmet blev modtaget en bevilling på 2,0 mio.kr, som ved en revurdering i september 2016 blev hævet til 2,2 mio. kr.

En begrundelse for øge bevillingen ved revurderingen har været at projektet ikke har kunnet gennemføres indenfor det først bevilligede budget.

Behovet for yderligere midler understreges af at BioSynergi Proces som projektansvarlig selv har måttet yde en væsentligt højere egenfinansiering end oprindeligt planlagt. I slutregnskabet udgør ForskVE bevillingen kun udgør 45 % af projektets totalomkostninger mod de oprindeligt budgetterede 60%.

Herudover fortsætter BioSynergi Proces for egne midler med arbejdet efter projektafslutningen.

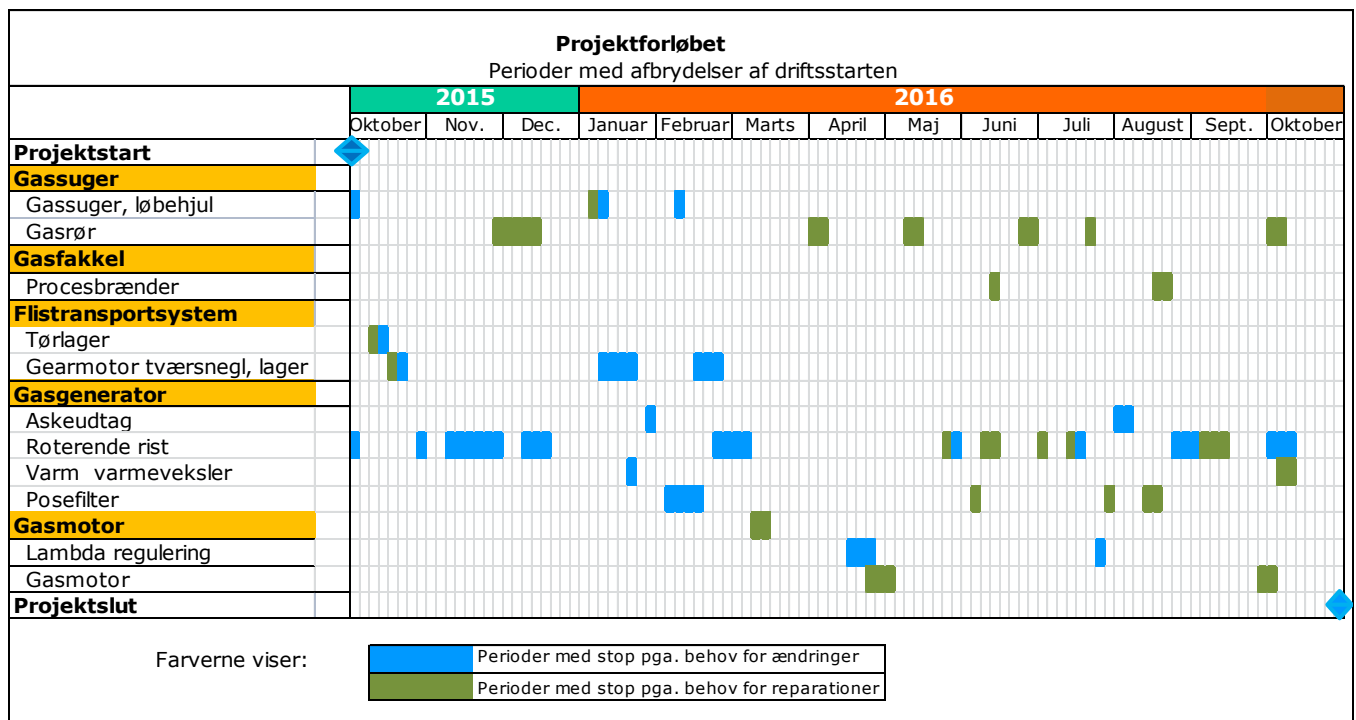
2. Projektresultater

I de følgende afsnit beskrives kort de gennemførte opgaver og resultater fra indkøring og driftsoptimeringen driften af bioforgasningsanlægget.

Projektet er udført i perioden:
Oktober 2015 til november 2016.

Illustrationen af projektførløbet i figur 1 viser, at det er de samme få årsager, der har været skyld i afbrydelser af arbejdet med indkøring og driftsoptimeringen af bioforgasningsanlægget.

Mest dominerende fejl har været den roterende rist med tilhørende aksler og gear, som er blevet ændret og repareret adskillige gange.



Figur 1: Oversigt på projektførløbet med angivelse af hvornår der af tekniske årsager har været afbrydelser i arbejdet med idriftsættelsen af bioforgasningsanlægget.

2.1 Gassuger

Den installerede rågassuger havde fungeret problemfrit som rengassuger på BioSynergis tidligere opførte udviklingsanlæg i Græsted.

Rågassugeren bruges kun i opstartsfasen til at lede produktgas ud til gasfaklen. Den er afbrudt når produktgassen anvendes i gasmotoren.

Dens flowdiagram og beregninger af tryktabet i gasrørsystemet havde vist, at den havde kapacitet til at levere det nødvendige flow til gasfakkeldriften. Alt i alt blev vurderet at den var egnet til opgaven.

2.1.1 Havari på rågassugerens løbehjul

Anlægget havde i løbet af de første kvartaler af 2015 haft rigtig mange opstarter, hvilket er unormalt i forhold til almindelig drift. Under det foregående FORSKVE 2011 pr. nr. 10654 måtte desværre rapporteres om mange afbrydelser i arbejdet med idriftsættelsen af anlægget og det medførte ekstraordinært mange opstarter.

Under opstarten føres produktgas (trægas), som ikke er fuldstændig rensset for partikler, gennem gasrør og rågassuger ud til afbrænding i gasfaklen. Det medfører afsætning af belægnings på de berørte dele.

Umiddelbart inden projektstart i oktober 2015 blev konstateret at rågassugeren ikke længere kunne levere det nødvendige flow ud til gasfaklen, så en af de første opgaver i projektet var at få genetableret det nødvendige flow.

Adskillelsen af rågassugeren afslørede kraftige belægnings på vingerne indvendigt i løbehjulet, hvilket reducerede dens ydeevne. Rågassugeren var originalt konstrueret med krummede vinger. Den udformning var tydeligvis uhensigtsmæssig til gas med stort partikelindhold. Til erstatning for den originale design af løbehjulet blev i stedet konstrueret et nyt løbehjul med lige vinger, som er mere modstandsdygtige overfor belægningsdannelse.

Der blev valgt at fremstille det ny løbehjul, så materiale og samlingsmetode svarede til det originale hjul, hvorfor det blev udført i aluminium og samlet med ombukkede tappe.

Men allerede under den efterfølgende opvarmning havarede rågassugerens nye løbehjul totalt. En meget pludselig temperaturstigning i gasrøret umiddelbart før havariet indikerede, at der var gået ild i belægnings og varmen havde forårsaget skaden.

Reservedele til at fremstille et nyt løbehjul var på lager, så efter godt 1½ døgn var rågassugeren klar igen. For at undgå gentagelse blev der foretaget nogle ændringer af driftsparametrene.

Men i starten af januar 2016 havarede rågassugeren igen. Indtil da havde det kørt problemfrit og designet med lige vinger havde løst problemet med belægnings inde i selve løbehjulet.

Da dette havari opstod, blev besluttet at konstruere et nyt løbehjul i rustfast stål og med en anden samlingsmetode for at mindske risikoen for gentagelse.

For at undgå stilstand under konstruktionen og fremstillingen af det ny løbehjul blev gassugeren samlet igen med endnu et af den gamle type løbehjul i aluminium. Men allerede ved første opstart havarede blæseren igen på grund af en kortvarig temperaturspids, der blev målt til 170 C. Det målte temperaturforløb ned gennem forgasseren gav desuden en frygt for at der skulle være en intern utæthed. Den efterfølgende søgning gav ingen indikation af utætheder i systemet.

Rågassugeren blev samlet med det nye løbehjul i rustfast stål i slutningen af februar 2016.

Bortset fra at det i starten af april igen blev nødvendigt at rense ind- og udløb på rågassugeren for belægninger, har den kørt problemfrit med det nye løbehjul i rustfast stål.

Der blev i den forbindelse fundet en utæthed omkring rågassugerens aksel.

Akseltætningen blev herefter adskilt og rensed. Samtidig blev monteret et automatisk smøresystem til akseltætningen. Herefter har det blot været et spørgsmål om at holde smøresystemet fyldt. Som ekstra sikkerhed er en af følerne til anlæggets centrale kulilte overvågningsystem monteret lige i nærheden af rågassugeren.

2.1.2 Tilstopning af rågasrør

Rågasrørene er designet og dimensioneret til lede rågassen ud til gasfaklen under opstart af anlægget. På grund af de mange kolde opstarter som anlægget har været igennem i perioden fra nov. 2014 og frem til nov. 2016 har gasrørene ud til gasfaklen været i drift i en samlet tid, der svarer til flere års normal drift.

Anlægget har derfor været lukket ned flere gange for rensning af gasrør og komponenter ud til faklen.

Rensningen af gasrørene blev den første gang foretaget ved at afmontere rørstykker og manuelt skrabe belæggingerne ud. Ved den lejlighed blev ud fra belæggningernes beskaffenhed vurderet, at rensningen af gasrørene kunne udføres mere effektivt med en kraftig højtrykreenser.

Der har siden været anvendt assistance fra to forskellige specialfirmaer, som er i besiddelse af særligt kraftige højtrykreensere. Med deres udstyr er det muligt at foretage rensningen af rørene uden at de skal afmonteres. For at få adgang til at udføre spulingen af rørene kræves i stedet afmontering af enkelte gasventiler og fleksible rørforbindelser, men den opgave er langt mindre end at skulle tage rørstykkerne ned.

2.2 Gasfakkel

Gasfaklen, der er konstrueret og fremstillet af BioSynergi Proces, er monteret med en naturgasfyret procesbrænder til at antænde produktgassen. Procesbrænderen med tilhørende brænderstyring er indkøbt som en samlet færdig komponent fra en anerkendt leverandør af brænderenheder.

Naturgasbrænderen og styreenheden er monteret på den udendørs opstillede fakkell. Brænderstyringens komponenter er med hensyn til temperaturer og indkapsling beregnet til udendørs opstilling og havde hidtil fungeret problemfrit selv om den først i december 2015 blev monteret med en lukket afskærmning omkring styringen for at beskytte den mod nedbør.

I andet kvartal 2016 begyndte en periodevis fejl at dukke op. Den naturgasfyrede brænder gik ud i løbet af dagen og kunne ikke genstartes.

For at undgå udslip af uforbrændt gas til omgivelserne måtte opstarten af hele anlægget hver gang afbrydes efter flere timers opstarts drift, når den naturgasfyrede procesbrænder svigtede.

Efter at der i flere omgange havde været tilkaldt gasteknikere og flere komponenter var blevet ændret eller udskiftet uden resultat, blev iagttaget at fænomenet opstod når lufttemperaturen var høj og solen samtidig ramte afskærmningen omkring brænderstyringen.

Som en ny foranstaltning blev der fremstillet en udluftningskanal i toppen af afskærmningen for at holde temperaturen nede på komponenterne bag afskærmningen.

Efter denne ændring har naturgasbrænderen fungeret problemfrit siden aug. 2016.

2.3 Flistransportsystem

Brændselsflisen til anlægget aftippes fra en lastvogn i en fire meter dyb modtagegrav. Herfra tager en fuldautomatisk flis kran den våde flis og transporterer den til modtagetragten. Modtagetragten består af en stålbeholder med en snegl i bunden. Modtagetragten er forbundet til en transportsnegl, som fører flis frem til et slusesystem bestående af et topskydespjæld, en mellembeholder og et bundskydespjæld. Slusen er placeret direkte over flis indføringen til tørretromlen. Efter tromlen falder flisen ned i en snegl, som er direkte forbundet til tørlageret via en flangesamling. Selve tørlageret er fremstillet i en standard 20 fods container. Containeren indeholder i grove træk et sneglerørstykke, et skydespjæld, fire langsgående snegle samt en tværsnegl for enden af containeren. Efter tværsneglen fører to snegle flisen frem til et nyt slusesystem. Det består af en spadeventil, en mellembeholder, snegl samt endnu en spadeventil. Dette slusesystem forbinder de to forrige snegle med indfyringen i gasgeneratoren.

Alle transportsnegle er udført som trugsnegle med aftagelige låg og med \varnothing 400 mm snegle. Den store størrelse har væsentlig større kapacitet end nødvendigt, men det er valgt for at kunne håndtere et uensartet brændsel som skovflis med færrest mulige driftsstop.

Det har desværre været nødvendigt at anvende relativt mange transportsnegle på anlægget. Grundet nødvendige afstandsforhold til veje og bygninger har der været begrænsninger af anlægget placering på matriklen, og det har gjort anlægget mere kompakt end hvad der ellers ville være ideelt.

2.3.1 Transport snegle frem til reaktor

Før projektet startede var i september 2015 blevet monteret nye gear på transportsneglene frem til gasgeneratoren. De kunne levere større moment men reducerede samtidig sneglens kapacitet en del. Det medførte som ønsket, at sneglene ikke længere satte sig fast, men desværre også at

transportsystemet ikke længere kunne levere nok flis til gasgeneratoren under drift. Det var især den sidste snegl før gasgeneratoren – snegl 3- der ikke kunne følge med. Løsningen blev at udskifte dens forgear og elmotor med en type, der kører dobbelt så hurtigt.

Den nye kombination af elmotor og gear medfører en dårligere service faktor på gearet, men i forhold til den tid og økonomi som var til rådighed blev vurderet, at en ombygning til en helt anden og mere robust og effektiv gear-elmotor kombination ikke var en mulighed. Efter ændringen har systemet fungeret og sneglen har den krævede kapacitet.

2.3.2 Tørlager

Tørlagret består af en ombygget 20 fods container. Lagret rummer en mængde tør flis, så de første timers opfyldning med flis i gasgeneratoren kan begynde, uden at gasmotoranlægget nødvendigvis skal startes på naturgas for at tørre flis.

Tørlagret blev installeret sammen med de andre anlægskomponenter i løbet af 2014.

Det har været nødvendigt at lave flere ændringer i tørlagret for at få det til at fungere efter hensigten.

Det viste sig, at tørlagerets effektive kapacitet var i underkanten til at begynde en ordentlig opfyldning af gasgeneratoren med tør flis. Det betød af opfyldningen måtte afbrydes i en periode fordi det tager cirka ca. 2 timer fra gasmotoren bliver startet til produktionen af tørret flis når frem til lagret.

Årsagen til lagerets mindre kapacitet var, at når de fire bundsnegle kørte flisen frem i det ønskede omfang, nåede tværsneglen i tørlislageret at blive så overfyldt, at dens gearmotor ikke kunne trække den. Lageret kunne derfor ikke fyldes ret meget. Der blev forsøgt med rigtig mange ændringer af tiderne for sneglens styring, men hver gang endte det med tidskrævende driftsstop, nedlukning af resten af anlægget og efterfølgende besværlig manuel rensning af tværsneglen.

Anlægsdrift er ikke mulig uden at have et funktionelt tørlislager, fordi det indgår som en integreret del af flistransportsystemet.

Koblingen mellem gearmotor og tværsnegl var ikke dimensioneret til at trække en overfyldt snegl, hvilket resulterede i at den havarede totalt i januar 2016.

Koblingen kunne hurtigt udskiftes, men for at undgå flere driftsstop på den konto blev i stedet igangsat en ombygning, så en ny og kraftigere gearmotor kunne monteres i stedet.

Løsningen med et kraftigere gear og kobling havde hele tiden været indlysende. Men budgettet i projektet havde fra starten været stramt og tidspresset stort for at få det samlede anlæg i drift. Derfor var gjort mange forsøg på at løse problemet uden de udgifter og den liggetid, som en ombygning til et kraftigere gear indebærer.

Men den ny gearmotor blev nu bestilt og i ventetiden blev monteringsbeslagene ændret så den kunne kobles på tværsneglen.

Den nye gearmotor nåede frem og monteringsbeslaget var klar så den kunne monteres i februar 2016. Det svageste led i tværsneglen var nu dens drivaksel, der forbandt koblingen med sneglerøret. Men en ændring af drivakslen til en større dimension blev undladt, fordi det ville forsinke af anlægget yderligere.

Det skulle dog vise sig at være en dårlig beslutning, da netop denne aksel havarerede efter ganske få timers drift under opstart af anlægget.

Ombygningen til en kraftigere aksel krævede en mindre konstruktionsændring, men vores underleverandør til den opgave havde heldigvis tid til fremstillingen, så efter en uges tid var tværsneglen funktionsdygtig igen.

Der har ikke siden været problemer med flistransportsystemet, og det har ikke givet anledninger til driftsstop.

Efter den kraftigere gearmotor blev monteret har der dog ikke været gjort forsøg på at fylde tørfliislageret i det omfang, som oprindeligt var planlagt.

Fordi tværsneglen nu har så mange flere kræfter til rådighed kan det sandsynligvis godt lade sig gøre, men tidsplanen for at få anlægget i drift levner bestemt ingen tid til at ansøre eventuelle nye driftsstop.

2.4 Gasgenerator, gasmotor og generelt om anlægsdrift

I dette afsnit omtales hovedforløbet i arbejdet på at få det samlede bioforgasningsanlæg sat i drift med kraftvarmeproduktion på trægas. En række mindre årsager til reparationer og afbrydelser er udeladt af hensyn til det samlede overblik.

Det foregående ForskVE projekt (nr. 2010-1-10654) blev afsluttet med montage af en ny stor ledeplade i stål for at ændre udformningen af gasgeneratorens askeudtag i området omkring risten.

Ændringen skulle forhindre asken i at hobe sig op inde i gasgeneratoren hvilket havde resulteret i et stort trykfald i området hvor aske og gas skal adskilles. I sommeren 2015 var gasgeneratoren blevet monteret med en mindre rist fordi gearmotoren var svag til at trække den originale rist.

Ulempen ved den mindre rist var, at den til trods for monterede skrabere ikke på en effektiv måde kunne nå ud og fjerne det kompakte lag af finkornet trækul, der ophobede sig omkring gasafgangen.

Indbygningen af ledepladen skulle afhjælpe dette problem. Tanken var at pladen skulle føre det kompakte lag ind til risten, så dens skrabere transportere det videre.

Gasgeneratoren blev igangsat igen i oktober 2015 med den nye ledeplade.

Anlægget blev dog hurtigt lukket ned igen på grund af et havari på rågassugeren. (se afsnit 2.1.1.)

Da dette problem var løst blev opstarten af gasgeneratoren og tørringen af flisen genoptaget.

Men endnu engang måtte anlægget lukkes ned efter koblingen til tværsneglen i tørlagret havarerede og måtte udskiftes. (se afsnit 2.3.2)

Ved den næste opvarmning lykkedes det at fylde gasgeneratoren med flis uden at trykfaldet over flis-og askelaget kom i nærheden af grænseværdien, hvor der er risiko for at der suges luft ind gennem gasgeneratorens vandlås.

For første gang kunne anlæggets gasrensningssystem kobles ind. Selve omkoblingen til produktion af rensat trægass (rengasdrift), hvor anlæggets rengassuger fører trægassen gennem anlæggets posefilter og derefter til afbrænding i gasfaklen, forløb problemfrit. Men med brugen af den kraftigere rengassuger steg trykfaldet over reaktoren dog til den fastsatte grænseværdi i løbet af et par timer og anlægget måtte lukkes ned.

Et efterfølgende forsøg med at optimere askeudtagningsprocessen ved at køre mere med risten i gasgeneratoren resulterede desværre i en havareret gearkasse.

Gasgeneratorens rist var fra start blevet forsynet med et relativt prisbilligt snekkegear, som ikke fandtes i større udgaver.

Alternativet blev et væsentligt dyrere, men mere effektivt tandhjulsgear, der kunne levere et meget stort moment. Det var muligt at montere det nye gear uden alt for store modifikationer. Tandhjulsgæret blev klar til drift i november 2015 og anlægget blev igen startet op og gasgeneratoren blev fyldt op med flis. Den ny kraftigere gearmotor kørte fint under hele forløbet, men når gasgeneratoren er fyldt med flis er det ikke muligt at konstatere om risten faktisk også kører som den skal.

En mistanke om at noget var galt opstod fordi trykfaldet begyndte igen at stige og der samtidig næsten ikke nogen aske ud i askecontaineren.

Den efterfølgende fejlsøgning viste at den nye kraftige gearmotor havde trukket en skjult akselsamling over, så risten ikke kørte rundt. Det blev besluttet at lave en hurtig reparation af akselsamlingen for på den måde at kunne konstatere om den nye rist kunne reducere trykfaldet gennem gasgeneratoren.

Med reparationen lykkedes det at få risten til at køre, men selv om den kørte, var den desværre ikke i stand til at holde trykfaldet over flis- og askelaget under grænseværdien.

Det var blevet tid til at revurdere hele designet af rist og askeudtag.

Det nye design med en afskærmning, der blev monteret i september 2015, efterlod åbenbart stadig nogle døde områder af ophobet aske, som blokerede for gasafgangen.

Fordi det nye gear har et større moment blev det besluttet at genmontere den originale store rist og samtidig flytte den vertikalt til en ny position i gasgeneratoren.

Under designet af gasgeneratoren blev der taget udgangspunkt i de positive resultater fra udviklingsanlægget i Græsted og der blev tillige taget ekstra hensyn til risikoen for opbygning af trykfald over risten.

Konstruktionen var udført så der forholdsmæssigt var bedre plads til at få trægassen separeret fra aske/trækullet hvilket burde medføre mindre trykfald over flis/trækullet end på udviklingsanlægget i Græsted.

Men den vurdering har øjensynligt ikke været korrekt. Ud fra den erkendelse blev konstruktionen og placeringen af risten ændret så forholdene imellem risten og indvendigt svøb i reaktoren kom så tæt som muligt på det design, der havde bevist sin funktion på det tidligere udviklingsanlæg i Græsted.

Ombygningen blev fortaget i løbet af slutningen af november 2015 og ind i december 2015. De første tests i slutningen af december med den nye større rist viste lovende resultater idet det nu var muligt at holde trykfaldet ned ved at aktivere risten.

I januar blev anlægget varmet op igen, men der viste sig hurtigt at være behov for at åbne og rense den varmeveksler, som styrer temperaturen på produktgassen inden den når frem til posefilteret. Rensningen blev udført af et specialfirma med en særlig kraftig højtryksrenser, der også har været brugt til at rense rågasrør (omtalt i afsnit 2.1.2). Mekanismen til temperaturstyringen i varmeveksleren blev ligeledes modificeret så den fungerede bedre i et miljø med belægninger.

I den efterfølgende opstart kom anlægget uden problemer til at køre stabilt med rengasdrift, og efter et par timer blev den første indkobling af gasmotoren til drift på trægas foretaget. Indkoblingen lykkedes ganske kortvarigt. Dog kunne styringen af rengassugerne ikke regulere hurtigt nok så, så motoren blev koblet tilbage på naturgas igen mens der blev arbejdet på ændring af styringsparametrene.

Et stigende trykfald over posefilteren betød at anlægget også måtte kobles tilbage til rågasdrift. Det er ikke muligt at inspicere poserne uden at lukke anlægget ned.

Inspektionen af filteret viste at alle 21 poser i filteret var defekte og krympet fast til deres indvendige metal indsats, hvilket medførte en del ekstra arbejde i forbindelse med udskiftningen af poserne. Der var leveringstid på nye poser, så de kom først på plads medio februar.

Ventetiden blev brugt at tømme og rense vandlåse under gasrensingsmodulet og gasgeneratoren samt montere en kraftigere gearmotor til tværsneglen i

tørlageret (se afsnit 2.3.2). Skyllepumpen til røggaskondensatoren efter tørreanlægget blev også udskiftet med en kraftigere model.

Ved den efterfølgende i øvrigt vellykkede opstart blev endnu en gang konstateret at risten ikke kørte rundt. Denne gang var den udvendigt monterede del af akslen til risten, der var knækket.

Styrkeberegningerne viste, at denne aksedel kunne øges fra 50 mm til 55 mm diameter og fortsat bevares den som det svageste led i transmissionen til risten. Det tilhørende specielle kombinerede leje- og tætningshus kunne genbruges ved denne diameterforøgelse ved blot at ændre lejetype.

At bevare netop den aksedel som det svageste led var at foretrække for der var risiko for, at et eventuelt havari af den indvendigt monterede aksedel ville kræve at hele bundsektionen af gasgeneratoren skulle afmonteres. Den operation ville være ret omfangsrig og langvarig, så det burde selvfølgelig undgås.

Gasgeneratoren var klar igen medio marts med den ny udvendige aksedel.

Men ved første opstart opstod et nyt problem. Akslen til tværneglen i tørlagret knækkede og anlægget lå stille igen (se afsnit 2.3.2)

Under stilstanden blev de nye poser i posefilteret kontrolleret visuelt igennem lågen på siden af filteret. Der havde endnu ikke været ført produktgas igennem dem, så de var som forventet stadigvæk bløde og smidige, men de har fået en gullig misfarvning.

Når anlægget varmes op og der ledes urensset produktgas – rågas - ud til gasfaklen passerer rågassen udenom filteret, men der ingen ventil som direkte spærrer for rågassens adgang til filteret.

Misfarvningen viser, at rågassen – måske under nedkøling af anlægget- finder vej ind i filteret på et tidspunkt hvor temperaturen af gasgeneratoren var så lav at der dannes forholdsmæssigt meget tjære.

Fænomenet kan formentlige undgås hvis posefilteret bliver indkoblet hurtigere, så der aflejres trækulstøv på poserne til at absorbere tjærestofferne. Det haster derfor med at nå så langt med opstarten at posefilteret til gasrensning kan indkobles.

Gasmotoranlægget, der ellers havde kørt upåklageligt under hele perioden begyndte at lukke ned på grund af en for høj vandtemperatur og for høj temperatur i et af forbrændingskamrene. Motorleverandørens tekniker udbederede fejlen og anlægget var klar igen i slutningen af marts måned.

Efter opvarmning blev gasgeneratoren igen fyldt med træflis og koblet om til rengasdrift hvorved de nye poser i filteret blev taget i brug.

Derefter lykkedes det – den 12. april 2016 - for første gang med trægas fra gasgeneratoren som brændsel at få gasmotoren til at levere kraftvarmeproduktion i ca. 1 time, (ydelse ca. 120-150 kW el). Det var en milepæl i anlæggets historie.

Den udviklede styring til selve omkoblingen fra motordrift på naturgas til drift på trægas fungerede uden problemer og blev udført mens motoren producerede el til elnettet.

Under drift på trægas blev fra starten brugt en styring, der regulerede gasmængden til motoren i forhold til gastrykket før motoren, men det krævede konstant overvågning og manuel justering reguleringsparametrene. Fra anlægget i Græsted var kendt, at en lidt mere avanceret styring af gasmængden i forhold til motorens luftoverskud (lambdastyring) generelt fungerede bedre.

Anlægget var forberedt til denne type styring, så i stedet for at arbejde videre med den trykbaserede styring besluttes at få lambdastyringen i drift. Den allerede monterede iltmåler af samme type som i Græsted, viste sig desværre at give et ringe udgangssignal til PLC styringen, som ikke umiddelbart kunne kalibreres korrekt. Efter længere tids fejlsøgning og test opgives den og der bekostes i stedet et indkøb af en ny fuldt færdig iltmåler med et kendt analogt udgangssignal.

Undervejs i arbejdet med lambdastyringen begyndte gasmotorens helt separate originale styring af naturgasmængden, der kun bruges under opstarten af gasmotoren, at forårsage fejl og lukke motoren ned. Det bremsede arbejdet med tilretning af lambdastyringen til trægassen.

Efter fejlsøgning, udskiftning af flere dele i motorovervågningen og med assistance fra leverandørens servicetekniker lykkedes det at undgå fejlen ved at få ændret på motorens grundjustering. Hvorfor denne fejl pludselig dukkede op fandtes der ingen forklaring på. Herefter kunne arbejdet med lambdastyringen af trægasmængden til motoren genoptages.

Den næste opstart af gasgeneratoren foregik planmæssigt og blev udført med henblik på at arbejde videre med lambdastyringen af trægasmængden til gasmotoren. Askeudtaget fra gasgeneratoren blev dog meget varmt, hvilket var tegn på at der ad den vej trak falsk luft ind i gasgeneratoren.

Der blev gjort flere forsøg på at omskifte fra motordrift på naturgas til drift på trægas, men de mislykkedes. Trægassen var for tynd (dvs. med for lav brændværdi).

Ved fejlsøgningen efter kilder til den falske luft gennem askeudtaget opdages at akslen, som driver risten, igen er knækket. Det forklarer den tynde gas. Når brændselslaget ikke kan bevæges af risten går det ud over gaskvaliteten.

Denne gang var det den indvendigt siddende overgang imellem aksel og rist, der var knækket. Heldigvis lå bruddet et sted så akslen kunne afmonteres uden at bundsektionen skal fjernes (som ellers frygtet). Bruddet var opstået i en

overgang mellem aksel og rist. En ny og kraftigere (massiv) ca. 50 kg tung aksel blev sat i produktion hos en underleverandør.

Efter at have modtaget den ny aksel, tilpasset den og samlet anlægget igen kunne opvarmningen af gasgeneratoren igen begynde.

Men allerede under opvarmningen knækkede tre ud af de fire styk 20 mm bolte, i den flangesamling, der fungerer som kobling mellem gear og risteaksel. Fordi kun tre ud af fire bolte knækkede, resulterede det i et excentrisk træk i det svejste akselrør i bundkarret, som omslutter akslen op til risten.

Derved bøjede akselrøret men det lykkedes at trække det på plads igen med taljer. Ved at køre asken ud fra området under risten med askeudtaget lykkes det at løsne risten og med fire nye bolte i flangesamlingen kunne den igen komme i drift.

Men allerede dagen efter knækkede feder/not forbindelsen lige over den flangesamling som brød sammen dagen før. Fremstillingen af nye dele ville presse tidsplanen og økonomien for meget, så det blev besluttet blot at lave en tilpasning og svejse delene sammen.

For at undgå at risten sætter sig igen, programmeres anlægget til at køre hyppigt med askeudtaget mens gasgeneratoren fyldes op med flis. Men selvom askeudtaget kører hyppigt satte risten sig fast.

To gange i træk knækker alle fire bolte i flangesamlingen igen, men heldigvis uden yderligere skader.

Det besluttes at ændre flangesamlingen til en klokobling selvom det betyder at akslerne herefter bliver de nye svage led.

Efter ombygning og en mindre rensning af røggasrensningen efter tørreanlægget, kom anlægget i drift og gasmotoren blev koblet over på trægas og kørte hermed ca. 20 min.

Men pludseligt forsvandt trykfaldet over posefilteret. Det blev set som et tegn på at en eller flere poser var brændt igennem. Det viste sig, at for omtrent halvdelen af poserne vedkommende, var den øverste tredjedel af tekstilet forsvundet. Der er ikke tegn på at der har været nogen egentlig brand i gang.

En brand kræver ilt, så mens anlægget alligevel er afspærret blev udført en lækagetest på hele gasrørsystemet fra gasgenerator til posefilter. Indenfor målingens usikkerhed kunne ikke konstateres nogen lækage.

Ved genstart af anlægget blev bemærket at askeudtagets overflade på stedet blev over 300 grader varmt på grund af luft der trænger ind igennem askeudtaget. Datalogningen viste også at trykket over gasgeneratoren faldt mens aske blev kørt ud.

Det mistænkes at luften der suges igennem askeudtaget kan være årsag til de ødelagte poser i posefilteret. Det virker helt ganske vist usandsynligt at ilt kan

passere hele vejen fra askeudtag til filter uden at blive omsat, men ilten kan måske forårsage og medrive varme gløder??

Derfor indkøbes og monteres et ekstra spjæld i askeudtaget til at forhindre at luft kan strømme fra den ellers lukkede askecontaineren ind igennem askesneglene og op i gasgeneratoren.

Ved starten af anlægget efter udskiftningen af poserne og med det nye spjæld blev holdt særligt godt øje med gastemperaturen før og efter posefilteret.

Der observeres, at den temperaturføler som skal lukke anlægget ned ved for høj temperatur ved indgangen til filteret blev ved med at vise en mistænkelig lav værdi.

Føleren er monteret i gasrøret med urensset gas og det viste sig, at den var for kort til at nå ordentligt ind i gasstrømmen. Dens målested lå i et isoleret lag af belægninger og viste derfor for lav temperatur. Føleren blev skiftet til en ny med korrekt længde.

Hvis poserne i filteret har kørt med for høj temperatur er det mere sandsynligt at de er revnet efter at være blevet hårde og sprøde og end at de skulle være brændt.

Ved den efterfølgende start af anlægget var det igen umuligt at kontrollere trykfaldet over flis- og askelaget i gasgeneratoren ved hjælp af risten. Og det viste sig at den nye massive aksel der var blevet monteret i juni 2016 var knækket i den overgang, der forbinder den med risten.

Teoretisk burde spændingerne i denne overgang ikke være større end dem som optræder i den udvendige 55 mm akseldel, men temperaturen inde i gasgeneratoren reducerer stålets styrke.

På grund af de geometriske begrænsninger var det ikke muligt at forstærke dette led i transmissionen yderligere.

I stedet træffes den økonomisk og tidsmæssigt mere belastende beslutning at konstruere, fremstille og montere en helt ny rist og tilhørende størst mulige aksel med en forbindelse, der er dimensioneret til gearmotorens moment under hensyntagen til temperaturen på stedet.

På dette tidspunkt har gasgeneratoren haft lige over 1000 driftstimer, hvor knap 3 timer har været med motordrift på trægás. Problemet omkring transmissionen til risten og askeudtaget har været de eneste væsentlige problemer med konstruktionen.

Den ny aksel og rist var klar og blevet monteret i midten af september af september 2016.

Derefter begyndte opvarmning og opfyldning af gasgeneratoren igen og det forløb planmæssigt. Anlægget blev koblet over på rengásdrift og derefter kunne det gamle arbejde med at tilpasse lambdastyringen til forsyning af gasmotoren med trægás fortsætte.

Selv med den nye rist er det tydeligt at der bruges store kræfter på at aktivere risten.

Efter en opstart i begyndelsen af oktober opleves igen, at det ikke var muligt at kontrollere trykfaldet over flis- og askelaget i gasgeneratoren ved hjælp af risten.

Det skyldtes det sidste svage led, den udvendige 55 mm akseldel, der simpelthen var vredet over.

Sidste gang denne aksel blev repareret blev på grund af pres på økonomi og tid fravalgt at konstruere og fremstille et nyt og større lejehus med tilhørende aksel.

Selv om projektmidlerne var tæt på at være opbrugt ved udgangen af september 2016 kunne det nu ikke undgås at en ny aksel og lejehus skulle fremstilles og monteres hvis idriftsættelsen af anlægget skulle fortsætte.

Mens der ventes på de nye dele afmonteres de havarede dele og en række opgaver med vedligehold udføres.

Med omkostningerne til den nye akseldel er projektbudgettet overskredet ved udgangen af oktober 2016.

Projektarbejdet har herefter fortsat for egne midler i november hvor anlægget igen blev klart til opstart med den nye akseldel. Ved den første start af anlægget i november opnås godt 1½ times drift med kraftvarmeproduktion på trægas.

Der kræves fortsat meget store kræfter til at drive risten, men hele transmissionen nu så solid, at den holder.

Efterrationale

Allerede på det tidspunkt hvor den kraftigere gearmotor blev monteret var det indlysende og erkendt, at den fagligt korrekte løsning ville være også at udskifte at hele transmissionen op til risten med en korrekt dimensioneret udgave.

Men budgettet i projektet havde fra starten været stramt og tidspresset stort for at få det samlede anlæg i drift. På det stadie i projektet hvor gearmotoren blev anskaffet var det samtidig ukendt hvor mange og hvor dyre yderligere ændringer af anlægget der var krævet for at få anlægget i drift. Derfor blev udvist sparsommelig med projektmidlerne. Det har desværre resulteret i at der har været gjort mange forsøg på at løse problemer ad hoc for at undgå de umiddelbare store udgifter og den liggetid, som en samlet ombygning og udskiftning af hele transmissionen ville indebære.

3. Konklusion

Indkøringen og idriftsættelsen af bioforgasningsanlægget har i projektperioden være ramt af talrige behov for ændringer og reparationer af anlægget. Det har gang på gang hindret kontinuerligt arbejde med idriftsættelsen. Mest markant har været behovet for at ændre og ombygge gasgeneratorens rist og askeudtag, som tilsammen har stået for langt hovedparten af afbrydelserne.

Trods de mange afbrydelser i arbejdet med idriftsættelsen havde anlæggets gasgenerator ved projektafslutningen været i drift i over 1.000 timer.

Det er i projektet lykkedes at opnå målet om kraftvarmeproduktion ved drift af gasmotoren med den producerede trægas som brændstof, men der er desværre kun opnået 4 driftstimer hermed under projektet.

Fordi enhver afbrydelse, der medfører nedlukning af anlægget også resulterer i spild af mange timers arbejde med opstart af anlægget, er omkostningerne til udbedring af de mange calamiteter endt med at blive store.

Projektets gennemførelse har derfor krævet et væsentligt overforbrug af projektmidler, hvorfor ForskVE midlerne er endt med kun at dække 45 % af de totale projektomkostninger mod de budgetterede 60 %. Overforbruget er i stedet afholdt af BioSynergi Proces.

Med et retrospektivt blik på projektforsløbet er det oplagt at hævde, at de rapporterede problemer fra starten burde have været tacklet ved valg af mere radikale og omfangsrige løsninger.

Men budgettet i projektet var fra starten stramt og tidspresset stort for at få det samlede anlæg i drift. Undervejs har det samtidigt været ukendt hvor mange og hvor dyre ændringer af anlægget, der i alt var krævet for at få anlægget i drift. Ved enhver beslutning i projektforsløbet er derfor blevet udvist stor sparsommelighed med projektmidlerne.

Det har desværre resulteret i at der i flere tilfælde har foregået en ad hoc problemløsning, som er endt med at koste mere tid og flere ressourcer end en mere radikal tilgang til valg af løsningsmetoder ville have krævet. I andre tilfælde har ad hoc metoden båret frugt og tilført lidt økonomisk luft i budgettet til at tackle de næste opståede problemstillinger.

3.1 Anvendelse af projektræsultater og perspektiv

Når bioforgasningsanlægget efterfølgende 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.

Det altafgørende beslutningsgrundlag for disse varmekærker vil være stabile driftsresultater fra det her etablerede bioforgasningsanlæg.

○-----○