



Af Niels Bjarne K. Rasmussen,
Dansk Gasteknisk Center a/s,
og Thomas Wagner Sødning,
Babcock & Wilcox Vølund

Forbedring af Stirling-motor til kraftvarme

PSO-projekt omfatter bl.a. optimering af brændkammer med CFD og viser højere effektivitet med naturgas end forgasningsgas.

Dansk Gasteknisk Center a/s har på foranledning af gasselskabernes Teknisk Chef Gruppe gennemført et projekt, hvor der er foretaget en undersøgelse af forbrændingsforholdene i brændkammeret til en Stirling-motor.

Efterfølgende er brændkammeret beregningsmæssigt optimeret for at opnå fuld udbrænding og lave emissioner. Denne artikel er et resultat af dette arbejde. Det er en del af et større PSO projekt, som endnu ikke er afsluttet hos Stirling Danmark ApS.

PSO-projektets formål er at kombinere de danske erfaringer med Stirling-motoren, modstrøms-forgasseren og FLO-brænder teknologien (Flame Less Oxidation) til udvikling og demonstration af et fleksibelt biomasse- eller naturgasbaseret mini-kraftvarme anlæg med 75 kW el-effekt, høj virkningsgrad og lave emissioner.

Under PSO projektet bliver forskellige muligheder for forbedring af Stirling-motoren undersøgt med henblik på at opnå bedre ydelse, øge pålideligheden samt reducere behovet for service under drift ved bl.a. en simplificering af konstruktionen.

Flame Less Oxidation

I en Stirling-motor er der ikke forbrænding direkte i motoren. Forbrændingen foregår uden for motoren, og varmen overføres til motoren via hedeflader. Varmevekslingen i hedefladerne skal derfor være så effektiv som muligt.

For at opnå lave emissioner og samtidig en simplere og billigere varmeveksler til overførsel af varme fra forbrændingen af forgasningsgas til Stirling-motoren er det hensigten at udvikle en højhastighedsbrænder, der fungerer efter det såkaldte FLO-princip (Flame Less Oxidation).

Ved FLO-forbrænding er der ikke en egentlig flamme, men forbrændingsreaktionerne foregår i hele brændkammeret, hvor varmeveksleren samtidig køler gassen. Dermed reduceres maksimumtemperaturen, hvilket fører til lave NO_x-emissioner.

En forudsætning for FLO forbrænding er, at forbrændingsluften forvarmes til en høj tem-

peratur, hvilket netop er en fordel for Stirling-motorer, fordi der dermed samtidig opnås en højere anlægsvirkningsgrad. Anvendelse af forvarmet luft fører også til lave emissioner af kulbrinter og CO.

Figur 1 viser en Stirlingmotor uden brændkammeret monteret.

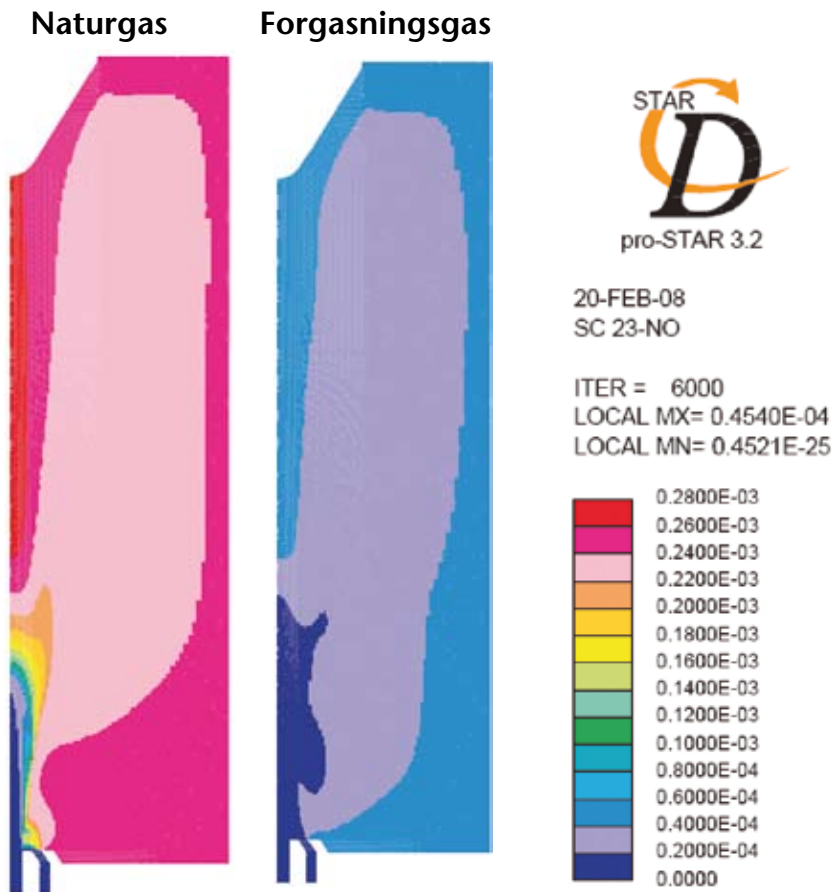
Design af brænder, brændkammer og højtemperatur-varmeveksler er baseret på CFD-beregninger (Computational Fluid Dynamics), hvilket DGC tidligere har arbejdet med i forbindelse med FLO-forbrænding af naturgas.

Modellering af brændkammer

Ved CFD modelleringen af brændkammeret til Stirling-



Figur 1: 35 kW SD3-Stirling-motor fra Stirling Danmark ApS. Hedefladerne ses til venstre, og brændkammeret bygges uden om disse.



Figur 2: NO-plot i kg NO/kg røggas for naturgas og forgasningsgas med samme indfyringseffekt.

motoren er det valgt, at den indfyrede effekt er på 220 kW ved et luftoverskudstal på 1,1. Det samlede varmetab fra brændkammerets vægge til omgivelserne er på 10 kW, og det forventede effektoptag ved hedefladerne er ca. 110 kW.

Optimeringen af Stirling-motorens brændkammer er vigtig af hensyn til maksimering af virkningsgraden og minimering af emissionerne i røggassen.

For at få en forståelse af, hvordan strømningsforholdene er i brændkammeret, foretages en parameterundersøgelse af strømningsforholdene i forskellige brændkammergeometrier med forskellig rotation i brænderindløb.

Dimensioneringer

Med denne viden er en røggasfordeler dimensioneret for at optimere strømningsforholdene ind i hedefladerne. Efterfølgende er der udført beregninger med forbrænding for at vurdere, hvilken længde af brændkammer, der er mest hensigtsmæssig for at opnå

en god virkningsgrad og lave emissioner.

Resultaterne af beregningerne med henholdsvis forgasningsgas og naturgas viser både fællestræk og forskelle. Fælles for beregningerne er, at et langt brændkammer forbedrer varmevekslingen i hedefladerne og dermed effektiviteten.

Begge eksempler viser også en fuldstændig udbrænding af de brændbare gasser, dvs. ingen emissioner af uforbrændt gas. Strømningsbilledet i brændkammeret er det samme i de to tilfælde.

For den samme indfyrede effekt opnås imidlertid et væsentligt højere temperaturniveau med naturgas end med forgasningsgas.

Dette betyder over 30% højere effektivitet af hedefladerne med naturgas i forhold til forgasningsgas. Det betyder imidlertid også en væsentlig højere emission af NO_x fra naturgassen, dvs. ca. 5 gange højere fra naturgas end fra forgasningsgas. Denne forskel vil dog mindskes, hvis man sammenligner for samme afsatte ef-

fekt i hedefladerne. Begge eksempler giver beregnede emissioner langt under grænseværdierne.

Figur 2 viser NO -værdier i brændkammeret beregnet med CFD.

Konklusion

Modellering af Stirling-motorens brændkammer med CFD er udviklet til et stadie, hvor det er muligt at forudsige temperaturer og gaskomponent-koncentrationer i brændkammeret samt effektoptaget i hedefladerne, hvilket var formålet med denne del af PSO projektet.

For naturgas og forgasningsgas opnås der sammenlignelige strømningsforhold med en central rotation inde i brændkammeret, og der er en høj variation i temperaturen, hvor forbrændingen foregår - primært i centrum af brændkammeret.

Beregningerne viser, at forbrændingsprocessen er stabil og emissionerne i røggassen af uforbrændte gasser er reduceret til mindre end 1 ppm ved udløb. Et langt brændkammer forøger effektiviteten af hedefladerne. For NO_x er temperaturen i brændkammeret tilstrækkelig lav ved afbrænding af forgasningsgas og naturgas, så emissionsgrænserne ikke overskrides.

Referencer

Sødring, Thomas W., Stirlingmotor til kraftvarme, Optimering af fyrum med CFD, Projektrapport, DGC, Marts 2009.