

# Stirling-motorer

*Jan de Wit, Dansk Gasteknisk Center, a/s (DGC)*

## Introduktion

Stirling-motoren er en spændende motortype, der baserer sig på et noget anderledes princip end de mere traditionelle forbrændingsmotorer. Motorprincippet er ikke nyt, idet det baserer sig på et varmeluftmotorprincip, opfundet af den skotske præst Robert Stirling i år 1816.

Motoren er en stempelmotor, men i modsætning til en mere traditionel motor foregår forbrændingen uden for cylinderen. Grundet sidstnævnte betegnes motoren også som en varmluftmotor. Motoren er dermed brændselsfleksibel og kan være særdeles interessant i forbindelse med anvendelse af biobrændsler, der ellers ville være vanskeligere at anvende til motordrift.

I det følgende beskrives motortypens virkemåde mere indgående, fordele/ulemper berøres, og der angives eksempler på udviklings- og afprøvningsaktiviteter.

## Styrker/svagheder

Som nævnt i indledningen foregår forbrændingen uden for cylindrene, og motoren er i realiteten en varmluftmotor. Dette betyder, at mange typer faste, flydende og gasformige brændsler vil kunne anvendes, blot disse kan frembringe varm luft til processen. Motoren bliver dermed meget brændselsfleksibel.

Forbrændingen forløber ikke som "tænd/sluk" ligesom i en traditionel 2- eller 4-takts motor. Den forløber derimod kontinuert og giver dermed bedre mulighed for allerede ved selve forbrændingen at optimere forbrændingskamret, så forureningen minimeres.

Motorens gang er som udgangspunkt roligere end den traditionelle motors, netop fordi processen forløber mere kontinuert. Den er dog ikke fuldstændig vibrationsfri, idet der jo stadig er stempelbevægelse, se f.eks. Figur 1.

De kritiske punkter i Stirling-motoren er holdbarhed kontra varmeoverførselsevne for de varmevekslere, der indgår, samt tætning, idet motoren arbejder under tryk (ca. 80 Bar). Enten må der laves en god tætning ved krumtapakslens udgang fra motoren, eller også kan der anvendes en hermetisk indesluttet generator, hvor så blot ledninger føres ud fra motorens tryksatte del.

Den mekaniske virkningsgrad, der opnås med Stirling-motoren, er for de bedste enheder på linje med de traditionelle motortyper. Datablade for eksempelvis 8-10 kW<sub>e</sub> Stirling-motorbaserede kraftvarmeanheder angiver ca. 25 % i elvirkningsgrad. Dette er ganske godt på linje med, hvad der ses for kommercielle kraftvarmeanheder baseret på traditionelle motorer. Her viste et større demonstrationsprojekt /3/ ca. 25 % virkningsgrad for enheder på ca. 5 kW<sub>e</sub>.

## **Virkemåde**

Stirling-princippet er ikke ganske nemt at få overblik over. Selve arbejdsprocessen foregår med et arbejdsmedie, fx helium med et pænt overtryk. Arbejdsmediet ”flyttes rundt” ved hjælp af stempler, dog med hurtig varmeoptagelse og afgivelse, idet de indbyggede varmevekslere passerer under ”flytningen”.

Arbejdsprincippet er skitseret i Figur 1.

Den praktiske realisering af ovenstående princip kan udføres på mange forskellige måder. I Figur 1 og 3 er vist en motorversion udført som V-motor, og i Figur 4 er vist en motor, der baserer sig på et andet princip.

## **Hvor foregår udviklingsaktiviteterne?**

Der er gennem tiden satset store penge på at få givet Stirling-motorprincippet et kommercielt gennembrud. Denne indsats har ført til klare forbedringer af teknologien og fået den implementeret i en række nicher (fx ubåde), men endnu ikke givet det store gennembrud. Det kan tænkes, at motorprincippets egnethed i forbindelse med fx biobrændsler kan ændre herpå.

Det hollandske firma Phillips har tidligere anvendt mange penge på forbedring og udvikling af teknologien. En del udvikling har med andre aktører fundet sted i Sverige. Da aktiviteterne her blev droslet ned, overførtes en del af de opnåede resultater til USA, hvor der så forsat er aktivitet.

Også i Norge er der aktivitet på Stirling-motorområdet. Der er anvendt store summer på en lille Stirling-motor under navnet Sigma. Enheden er på ca. 1-2 kW<sub>e</sub> og har endnu ikke været ude i praktisk drift.

Den Stirling-motorbaserede kraftvarmeeenhed, der er vist i Figur 2, er kommet fra New Zealand. Den er oprindeligt udviklet til strømforsyning i både.

Men også i Danmark finder der Stirling-motorudvikling sted. Der er foregået et udviklingsarbejde over mange år på Danmarks Tekniske Universitet omkring Stirling-motorer /4/. Her er udtaget en række patenter på den mekaniske udførelse af stempel/krumtap, så eksempelvis sidekræfter på stempelvæg minimeres og mekaniske tab ditto. Der satses på hermetisk lukkede enheder, således at tætningsproblematikken forenkles. Der er foretaget laboratorietest og praktisk test på en række enheder. En 9 kW<sub>e</sub>-enhed har kørt over 6000 timer biogasdrevet uden serviceindgreb /4/. Næste generation af denne motortype forventes at kunne nå en el-virkningsgrad på ca. 29 % for en 9 kW<sub>e</sub>-enhed.

## Afprøvninger hos DGC

På Figur 2 ses som nævnt en lille Stirling-motorbaseret kraftvarmeeenhed under afprøvning i DGC's laboratorium. Enheden yder ca. 600-700 W elektrisk og er naturgasfyret. De danske gasselskaber betalte for disse afprøvninger for at få eftervist ydelsesdata, undersøgt driftspålidelighed samt få vurderet, om en sådan enhed ville kunne passe ind som kraftvarmeeenhed i eksempelvis danske parcelhuse. Varmeafgivelsen fra den pågældende enhed var dog af en sådan størrelse, at der ikke ville kunne opnås driftstimer nok (og dermed el-produktion) i et typisk en-familiehus til forrentning af investeringen. Et større antal enheder er solgt til det britiske marked med en forhøjet el-ydelse på 1,2 kW<sub>e</sub>.

DGC har deltaget i et svensk ledet projekt, hvor der på Lunds Tekniske Højskole (LTH) blev udviklet et lav-emission naturgasbrændkammer til en kommerciel Stirling-motortype (Solo Klein). Dette brændkammer blev, efter test på LTH, efterfølgende monteret på en Solo Klein kraftvarmeunit og afprøvet i praktisk drift hos Göteborg Energi. Denne praktiske test klarede enheden udmærket, eneste uplanlagte service var i forbindelse med trykfald i heliumindkapslingen grundet utæthed. Projektet er rapporteret i /2/.

## Konklusion

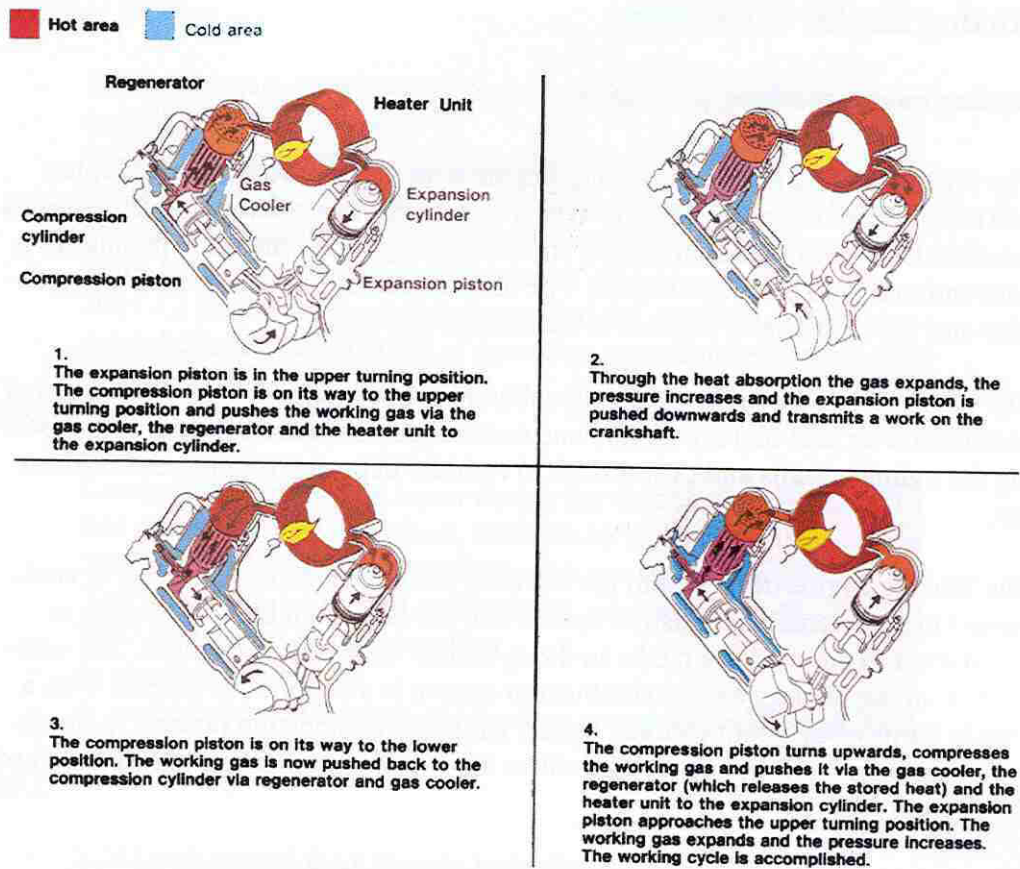
Stirling-motoren er et spændende motorprincip, der dog næppe er traditionelle motorer overlegent mht. brændselsudnyttelse (virkningsgrad). Motortypen rummer mulighed for anvendelse af brændsler, der normalt ikke umiddelbart vil kunne bruges til motordrift, herunder en række vedvarende energikilder samt biobrændsler. Her har motoren muligheder, hvis anvendelse af nævnte brændsler opprioriteres. Motortypen rummer også bedre mulighed for begrænsning af emission direkte i forbindelse med forbrændingen, idet forbrændingen jo foregår kontinuert uden for selve motoren.

Der resterer stadig en række mekaniske problemer som skal løses, før langtidsdrift uden indgreb i fuldt omfang kan realiseres.

## Referencer

- /1/ Doctoral Thesis: "On Premixed Gas Fuelled Stirling Engine Combustors with Combustion Gas Recirkulation", Magnus Pålsson, Lund University, 2002.
  - /2/ "Demonstration Stirling Engine based Micro-CHP with ultra-low Emissions", Marts 2004, SGC-rapport 144.
  - /3/ NESA/Shell MKV-projekt: Afprøvning af 10 stk. 5 kW<sub>e</sub> kraftvarmeenheder på i alt 3 forskellige brændsler, 1998-2002 .
  - /4/ "Development of a 9 kW Stirling Engine", Henrik Carlsen, Jacob Fentz, International Gas Research Conference (IGRC) 2004, Vancouver.
-

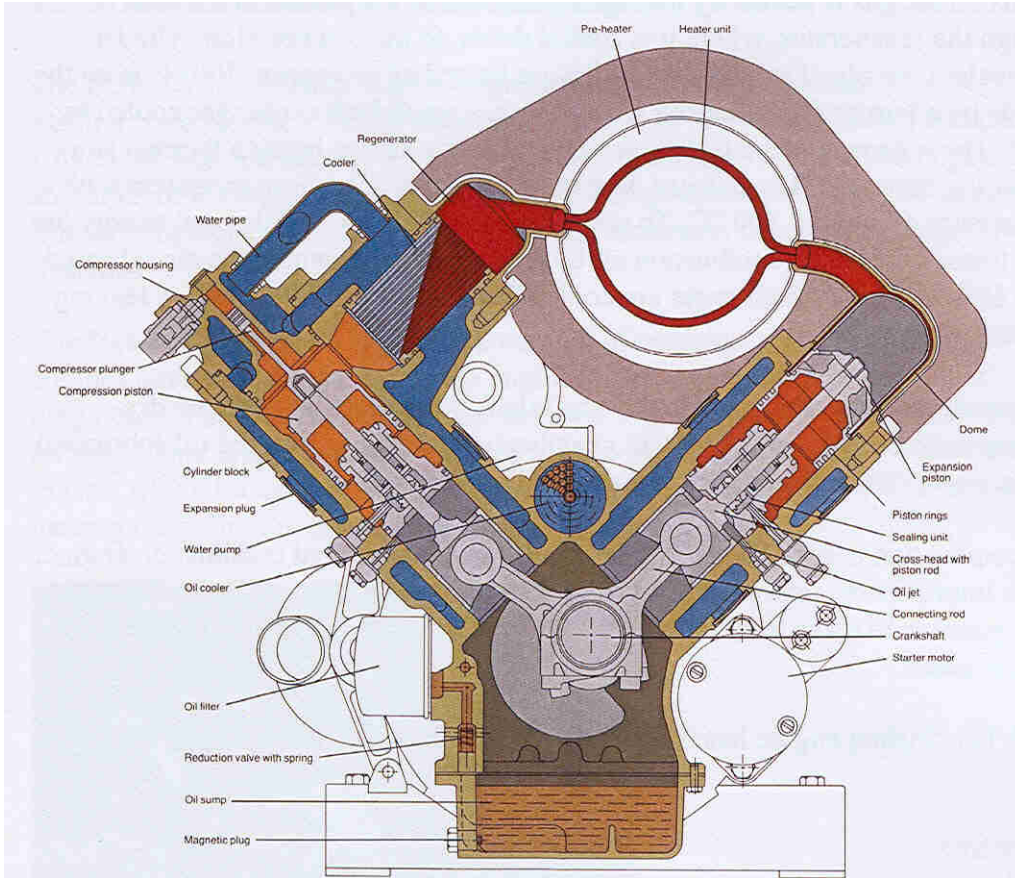
## Figurer



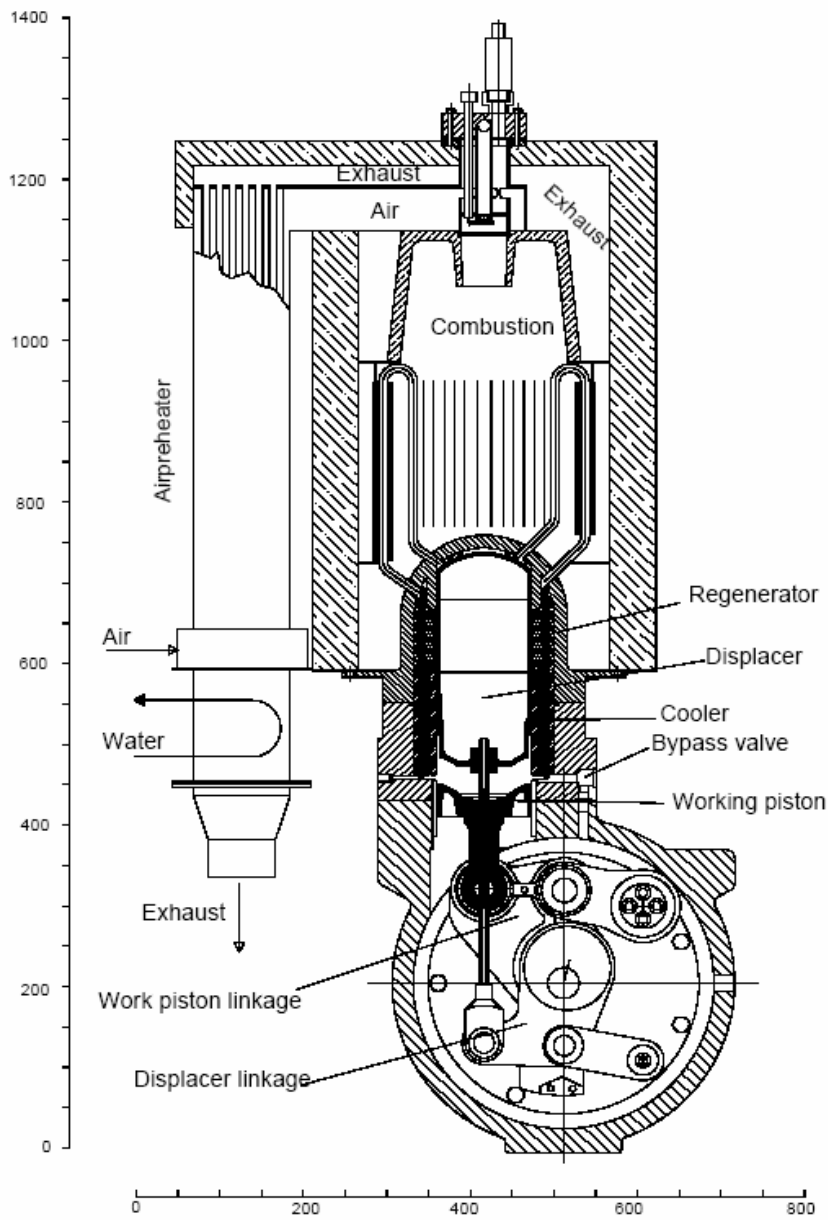
Figur 1 Stirling-motorens virkemåde, principskitse fra /2/



*Figur 2: Lille Stirling-motorbaseret kraftvarmehenhed under afprøvning i DGC's laboratorium (WhisperGen)*



Figur 3 Snit af Stirling-motor udført i V-konfiguration (SoloKlein)



Figur 4 Dansk Stirling-motor (fra /4/)





*Figur 5 Praktisk udførelse af skitsen i Figur 4*