

Stirlingmotor

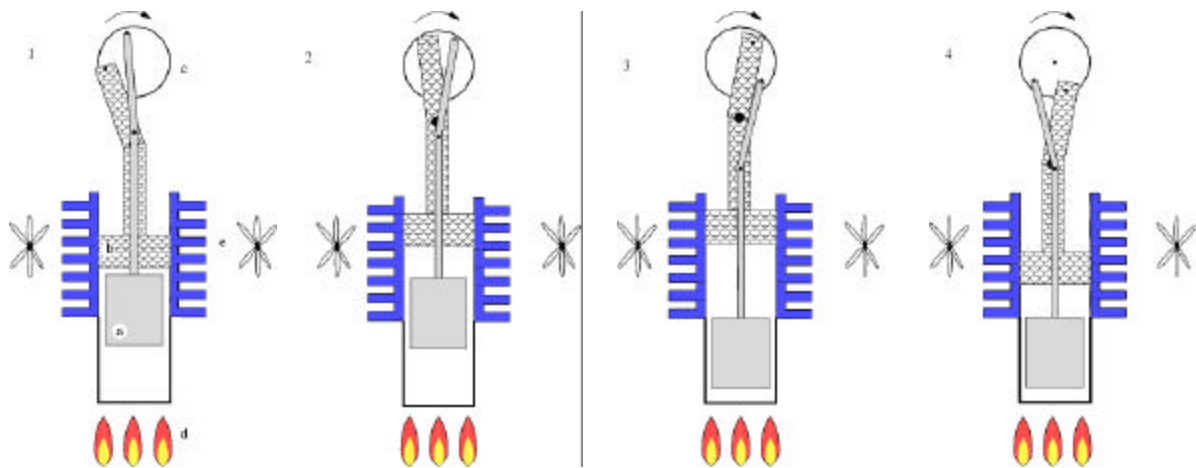
Technologie: Stirling motor

Brandstof: hete gassen (lucht, rookgassen)

Beschrijving van de technologie

Reeds in 1816 patenteerde Robert Stirling een ‘externe’ verbrandingsmotor; lang voordat Otto en Diesel hun ‘interne’ gas- en diesel verbrandingsmotoren uitvonden. Het principe van externe verbranding maakt het mogelijk om een veelvoud aan primaire brandstoffen te gebruiken, zowel vaste, vloeibare als gasvormige. Door verbranding van deze primaire brandstoffen ontstaat een heet gas dat als warmtebron dient om een werkgas in de cylinders van buitenaf te verwarmen en de zuiger in beweging te brengen. De Stirling cyclus is een gesloten thermodynamische cyclus met een theoretisch hoger rendement dan interne verbrandingsmotoren.

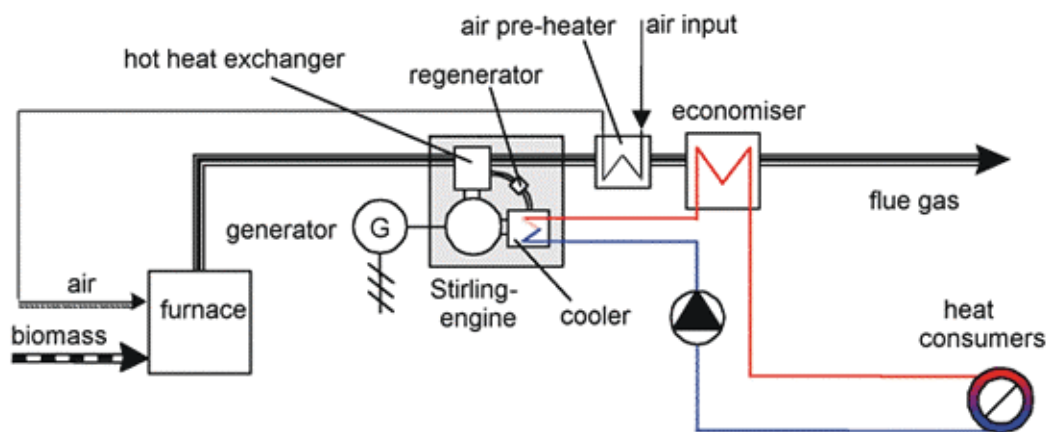
Een werkgas wordt verplaatst tussen twee ruimtes waarbij het afwisselend gecomprimeerd wordt in de koude ruimte en geëxpandeerd wordt in de ruimte met hoge temperaturen. Het geëxpandeerde gas levert netto energie op, die gebruikt wordt mechanische arbeid te verrichten, bijvoorbeeld door een generator aan te drijven, zie de schematische weergave in Figuur 1. Het werkgas kan behalve uit lucht ook uit helium, waterstof of stikstof bestaan; meestal wordt Helium gebruikt. Bij biomassa toepassingen dient het hete gas schoon te zijn om vervuiling van het warmteoverdragend oppervlak te voorkomen.



Figuur 1: De cyclus van een Stirling motor. Bron: www.wikipedia.org

1. Gas wordt gecomprimeerd bij het omhoog gaan van de zuiger
2. De druk neemt verder toe door verplaatsing van het gas van de koude naar de warme ruimte
3. Het gas expandeert als de zuiger naar beneden gaat
4. De druk neemt verder af bij verplaatsing van het gas van de warme naar de koude ruimte

Er zijn verschillende typen Stirling motoren; alfa, bèta en gamma. Verder kan onderscheidt worden gemaakt op de manier waarop de zuigers worden aangedreven: kinematisch of “vrij”. De bèta methode heeft een zuiger voor de energie overbrenging en één voor de verplaatsing in dezelfde cilinder. Deze laatste zuiger zit in een losse fitting en neemt geen energie uit het systeem, het fungeert alleen om het gas te verplaatsen. In de warme ruimte zal door uitzetting van het gas de zuiger zich verplaatsen, gebruikelijk is om een vliegwiel te gebruiken.



Figuur 2: Processchema van de biomassagestookte Stirling motor

Voordelen Stirling motor

Het grote voordeel van Stirling motoren is dat de verbranding extern plaatsvindt zoals bij de stoom-machine [2].

- Hierdoor zijn minder bewegende delen in het systeem dan bij interne verbrandingsmotoren. Dit maakt de motor robuust en de geluidsoverlast minimaal.
- Minder bewegende delen maakt dat de motor betrouwbaarder is, minder onderhoud vergt en een lange levensduur heeft.
- De toepassing van externe verbranding maakt dat de verbranding beter gecontroleerd kan worden dan bij interne verbrandingsmotoren waardoor de emissies laag gehouden worden [3].
- In principe kan elk type primaire brandstof worden gebruikt, de brandstof kan variëren van fossiele brandstoffen, vaste-, vloeibare- en gasvormige biobrandstoffen tot zonne-energie.
- Het rendement is theoretisch gelijk aan die van de Carnot cyclus en dus hoger dan de Rankine cyclus

Nadelen Stirling motor

Het belangrijkste nadeel van de Stirling motor is de beperkte ervaring waardoor de rendementen nog tegenvallen, geen serieproductie plaatsvindt waardoor de investeringen hoog zijn. Om deze spiraal te doorbreken zijn commerciële toepassingen nodig met acceptabele elektrische rendementen. De temperatuur in de verbrandingskamer dient bij voorkeur 1200 - 1300 °C te zijn waardoor dure hittebestendige materialen vereist zijn. Verder kan de hoge temperatuur in de verbrandingskamer leiden tot het versmelten van as en afzettingen in het verbrandingssysteem, met name op de warmtewisselaar en bij afkoeling van de rookgassen [3][4][5]. Tenslotte zijn Stirling motoren relatief tot hun capaciteit zwaar waardoor mobiele toepassingen minder aantrekkelijk worden.

Knelpunten technische ontwikkeling

De benodigde hoge temperaturen in combinatie met vervuiling van het warmteoverdragend oppervlak zijn een knelpunt waardoor de theoretische rendementen niet worden gehaald alsmede de capaciteit. De warmtewisselaar moet zo ontworpen zijn dat de mogelijkheden tot vervuiling geminimaliseerd worden. Om stofdeeltjes van de warmtewisselaar te verwijderen, kan een volledig geautomatiseerd pneumatisch reinigingssysteem worden toegepast [3] [4], maar dit vereist een extra investering.

De Stirling motor is relatief eenvoudig, onderhoudsvriendelijk gemakkelijk automatisch te bedienen. Problemen in de bedrijfsvoering liggen daarom meer aan de bio-energie opwekking dan de wkk-unit zelf.

Tabel 1 Technische kenmerken

Omschrijving	Eenheid	Waarde	Bronnen
Vermogen op vollast	kW_{th} kW_e	(Meest gangbaar) 220 en 500 1 - 150 Meest gangbaar 9, 35 en 75	
Netto energetisch rendement			
vollast	%	10 - 25	[6][7]
Elektrisch	%	60 - 80	
Thermisch	%	80 - 90	
Totaal		Het rendement is afhankelijk van het vochtgehalte in de biomassa brandstof.	[8]
Technische beschikbaarheid en levensduur		$\pm 50.000-60.000$ uur Uit tests is gebleken dat er maandelijks eenmaal de warmtewisselaar handmatig schoongemaakt moet worden, afhankelijk van type brandstof.	[6] [3]
Brandstof		Heet gas of rookgas door verbranding van hout pellets, houtsnippers, biogas, stookgas, rioolgas, etc.	[4][8]
Temperatuurniveau geleverde warmte	°C	60 - 80	[6]

Milieu

Stirling motoren gebruiken een externe warmtebron voor de energieopwekking en als zodanig produceren zij geen emissies; d.w.z. de emissies zijn gelijk aan de concentraties die zich reeds bevinden in de rookgassen; dus deze zijn afhankelijk van type verbrandingssysteem. {PS. Diverse publicaties melden een scala aan nietszeggende getallen m.b.t. emissies}. De eis voor de CO uitstoot van systemen, met vaste biomassa als brandstof, onder de 300 MW is 100 mg/m^3 [10][11] en de uitstoot van een dergelijk systeem zit hier dus ruim onder. De externe continue verbranding toegepast bij Stirling motoren biedt de mogelijkheid om optimale bewezen verbrandingstechnologieën toe te passen.

Investeringskosten

Stirling motoren worden nog niet in seriematig geproduceerd, en zijn hierdoor momenteel duur. Ook wanneer serieproductie mogelijk is, zullen de kosten naar verwachting relatief hoog blijven, vanwege de afdichting van het werkgas en het gebruik van materialen die bestand zijn tegen hoge temperaturen. Prijzen lopen nogal uiteen volgens de verschillende partijen.

- In Nederland worden op dit moment Stirling motoren (met als brandstof aardgas) met de hand gemaakt, hier hangt een prijskaartje aan van ongeveer 20.000 € voor een 1 kW installatie op aardgas. In de toekomst bij serieproductie zal deze prijs terugzakken naar 4000 € voor een aardgasgestookte 1 kW installatie (geschatte waarde) [12].
- *CogenChallenge* [10] schat de investering op 2600 €kW_e voor een micro stirling wkk installatie (7,5 kW_e, 22kW_{th}) en 6000 €kW_e voor de kleinst mogelijke installatie van 1 kW_e, 7 kW_{th} (deze prijzen zijn algemeen voor alle systemen, brandstoffen als hout en biogas worden genoemd maar ook aardgas).
- Fichtner GmbH & Co. noemt een prijs van bijna 4000 DM (2000 €) per kW_{th} voor de biomassa variant [11] en rond de 14.000€kW_e [22]
- Prof. Dr. Obenberger geeft een prijs aan van 3503 €kW_e (70 kW_e) gebaseerd op data van Bios Bioenergiesysteme GmbH [16]
- Samengevat zijn investeringskosten van 2600 - 4000 €kW_e gemoeid met biomassagestookte micro WKK instllaties van 7-70 kW_e bij serieproductie.

NB. Op internet zijn allerlei aardige animaties te vinden van de Stirling motor, waaronder: <http://www.sunmachine.com/animation.htm> en www.otag.de/download/OTAG%20Internet.swf)

Huidige marktsituatie en de stand der techniek Stirling motoren met biomassa

Nederland

Het gebruik van Stirling motoren voor micro WKK op aardgas is in een testfase, uitgevoerd door Enatec, het samenwerkingsverband van Eneco, Atag en ECN. Ook werken verschillende andere bedrijven¹ samen onder de naam EnergyValley [12] aan een “Virtuel Power Plant” van aan elkaar geschakelde WKK systemen op aardgas (www.energyvalley.nl). Op 3 september 2004 werd gestart met een praktijktest van vijftig thuiscentrales van 1 kW_e. Deze eerste proef is door GasTerra en vrijwel alle energiebedrijven in samenwerking met de Stichting Natuur en Milieu tot stand gekomen. De proefperiode loopt nog steeds. Het betreft een vier-zuiger Stirlingmotor van WhisperTech (www.whispergen.com, Nieuw-Zeeland). Tests met systemen op biomassa zijn nog niet gepland. Veel wordt verwacht van de Stirling motor gebaseerd op een Sunpower unit, www.microgen.com. In 2007 zullen enkele honderden units in het veld geplaatst worden in samenwerking met de E-sector.

EU

Ook hier is de micro wkk toepassing een nieuwe technologie, voor grootschalig gebruik (industrieel en commercieel) zijn de WKK stirling motoren al lange tijd in gebruik [17][18].

Wereld

Enkele commerciële toepassingen, proefprojecten in Japan. Het is een samenwerking tussen STM (www.stmpower.com), Chubu Electric, New Energy and Industrial Technology Development Organization en G-Tech Corporation. De stirling motor van 55kW op biomassa is een onderdeel van het “Project to Research and Develop Small-Scale Biomass Direct Injection Combustion Power Generators” (2004 - 2006) [19]. De test zal plaatsvinden met verschillende soorten biomassa stromen zoals bijvoorbeeld hout of landbouw afval.

¹ Continuum, ECN, Eneco Netbeheer BV, Essent Netwerk B.V., Gasunie Engineering & Technology, Gasunie Trade & Supply, ICT Automatisering, Kema, N.V. NOM, TietoEnator en TNO ICT

Tabel 2 Belangrijkste fabrikanten en voorbeelden biomassagestookte Stirling motoren

Fabrikant	Range capaciteit	Biomassa input	Voorbeelden van installaties	Website
Whisper Tech Ltd, Christchurch, New Zealand	1 kW		Whisper Tech Ltd is de fabrikant van o.a. commerciele 1kW Whispergen Micro CHP units	www.whispergen.com
Stirling Power Module, Austria	1kWe	Pellets	WKK pellets boiler USP 15 "Easyfire"	www.stirling-power-module.com
PlanEnergi, Denemarken	35 kWe (effectief 28kWe)	Houtsnippers	De Stirling motor is ontwikkeld door de DTU (Danish Technical University) en het verbrandingssysteem door REKA. [20][21]	
SOLO Stirling GmbH, Duitsland	2 - 7.5 kW	Hout	"SOLO Stirling 161 WKK Unit" tests met hout als brandstof.	www.stirling-engine.de
SunMachine, Duitsland	3kW	Hout pellets		www.sunmachine.de
Technische Universiteit Denemarken, + spinoff "Stirling Denemarken"	35 kW SD3, 9kW SD5	Hout snippers, biogas	Tests met en zonder vergasser	www.stirling.dk
Bios Bioenergiesysteme GmbH in samenwerking met Technische Universiteit Denemarken, MAWERA Holzfeuerungsanlagen GesmbH	bijvoorbeeld: 350 kWth 30 kWe & 35 kWe, 220 kWth	Hout snippers	O.a. Oberlech, Oostenrijk, sinds 2002	www.bios-bioenergy.at/bios01/bios_en.html
ENATEC, Nederland	1kWe	geen	Alleen testprojecten, ze gaan de machines commercieel aanbieden in 2007 (op aardgas)	www.enatec.com
Samenwerking tussen Eneco, Atag en ECN	9 kWth		Gebruiken Infinia Stirling generator technologie	www.infiniacorp.com
Stirling Systems Ltd. ("Stirling Systems"), Zwitserland	1.2kWe	Geen	Werken nog niet met biomassa systemen.	www.stirling-systems.com
Sunpower				www.microgen.com

Referenties

- [1] Stirling Technology Inc. www.stirling-tech.com (spinoff bedrijf van sunmachine)
www.ent.ohiou.edu/~urieli/stirling/engines/beta.html
- [2] Onowiona, H.I. en V.I. Ugursal (2006) Residential cogeneration systems: review of the current technology In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* Vol. 10 pp. 389–431
- [3] Obernberger, I., H. Carlsen and F. Biedermann (2003). *State-of-the-Art and Future Developments Regarding Small-scale Biomass CHP Systems with a Special Focus on ORC and Stirling Engine Technologies*. International Nordic Bioenergy 2003 Conference.
- [4] Biedermann, F., I. Obernberger, H. Carlsen and M. Schöch *Small-scale CHP Plant based on a 75 kWel Hermetic Eight Cylinder Stirling Engine for Biomass Fuels – Development, Technology and Operating Experiences*. Samenwerking tussen Bios Bioenergiesysteme GmbH, de Technische Universiteit Denemarken en MAWERA Holzfeuerungsanlagen GesmbH
- [5] Bios Bioenergiesysteme GmbH www.bios-bioenergy.at
- [6] OPET (2002). *Micro and small-scale CHP from Biomass (<300kWe)*
- [7] Laag, P.C. van der en G.J. Ruijg, (2002). *Micro-warmtekrachtsystemen voor de energievoorziening van Nederlandse huishoudens*.
- [8] Carlsen, H. (1998). *Status and prospects of small-scale power production based on Stirling engines – Danish experience*.
- [9] Frankfurter Allgemeine Zeitung, 01.08.2006, Nr. 176 / Seite T2
- [10] COGEN challenge, (2006). *Pick the right cogeneration technology. A technology checklist of small-scale cogeneration*
- [11] Ministerie Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (2006). *Besluit emissie-eisen stookinstallaties milieubeheer A* (tekst geldend op 10-08-2006)
- [12] Zoethout, T. (2006). Microwarmtekrachtcentrales worden rijp voor de markt. In: *Stromen*, Vol. 13/14, afl. 18 Augustus 2006
- [13] Heinrich, P. and B. Jahraus *Power Generation from Wood in Germany and Europe: Current Status and Future Prospects*, Fichtner GmbH & Co. KG, Stuttgart
- [14] McNeil Technologies, Inc. (2003). *Biomass Resource and Technology Assessment for the Four Corners Region*
- [15] Sunpower, www.sunpower.com
- [16] Obernberger, Prof. Dr. I. (2004). *Techno-economic evaluation of selected decentralized CHP applications based on biomass combustion in IEA partner countries, final report*
- [17] Microgen Energy Limited www.microgen.com
- [18] Biomass Cogeneration Network – BioCogen <http://www.cres.gr/biocogen/index.htm>
- [19] Chubu Electric Power Co., Inc (2006) *Test Operations Begin on Biomass Stirling Engine Small-scale 55 kW biomass direct injection combustion power generator under development*
http://www.chuden.co.jp/english/corporate/press2006/0621_1.html
- [20] PlanEnergi Consulting and Planning - Energy and Environment www.planenergi.dk
- [21] OPET (2002). *Small-scale biomass CHP technologies, Situation in Finland, Denmark and Sweden*.
- [22] Fischer, Dr.-Ing. J. (2003). *Technologies for small scale Biomass CHP-Plants –an actual survey*. Biomass Information Centre