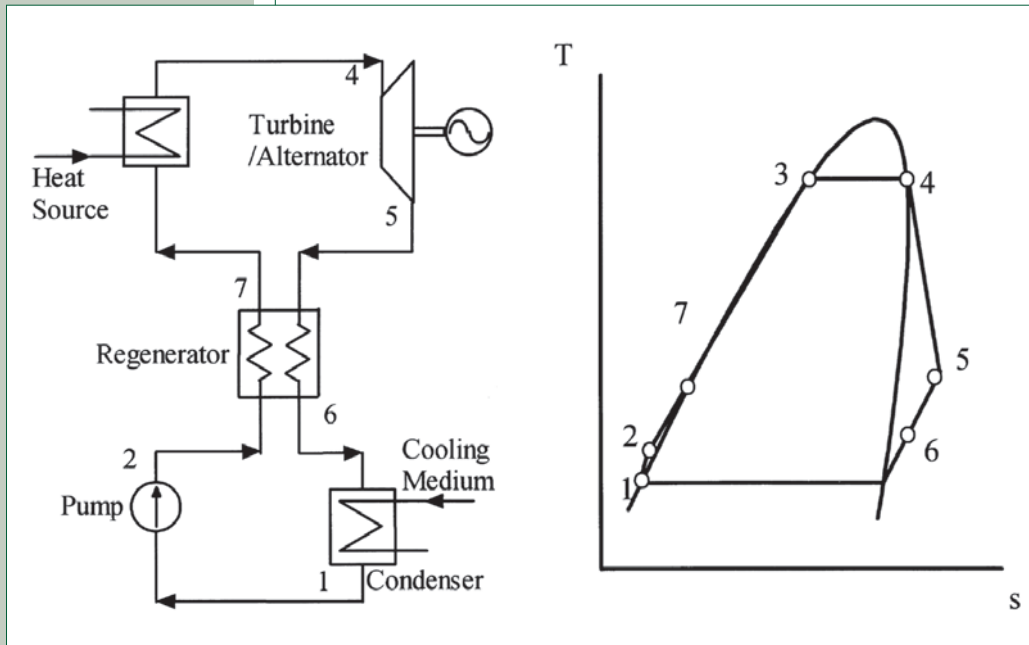


Elektriciteit uit afvalwarmte!

Restwarmtestromen vanaf 80°C worden omgezet in elektriciteit met behulp van een ORC



De dreigende klimaatverandering en de steeds stijgende energieprijzen verplichten ons duurzame energie te produceren. Minstens even belangrijk is evenwel de efficiëntie van het energieverbruik. Afvalwarmte blijft nog al te vaak onbenut bij gebrek aan toepassingen ter plaatse. Het departement PIH van de Hogeschool West-Vlaanderen voert momenteel onderzoek naar de mogelijkheden van restwarmterecuperatie via een Organische Rankine Cyclus bij hernieuwbare energietoepassingen. Dit project omvat onder meer de uitwerking van een vijftal casestudies die model kunnen staan voor talrijke gelijkaardige situaties in Vlaanderen.

***E. Defoer, B. Vanslambrouck en S. Gusev
Howest, dept. PIH - Kortrijk***

Door geen oververhitte stoom te gebruiken voor de productie van elektriciteit, maar organische vloeistoffen, kan een veel lagere voedingstemperatuur gebruikt worden.

Wat is ORC

De term 'Rankine-cyclus' doet slechts bij enkelen een belletje rinkelen. Nochtans is dit de meest gebruikte methode bij elektriciteitsproductie en beter bekend als de stoomcyclus. Grondlegger is de Schotse natuurkundige William John MacQuorn Rankine (1820-1872).

Oververhitte stoom op hoge druk (> 500°C, > 100 bar) expandeert in een turbine en produceert hierbij arbeid, via een generator als elektriciteit beschikbaar. De hiervoor noodzakelijke warmte is afkomstig uit verbranding van fossiele brandstoffen, kernreactoren of in het geval van een STEG, uit de uitlaatgassen van een voorgeschakelde gasturbine. Ook verbranding van biomassa of afval wordt gebruikt. In dit geval spreken we van groene energie.

Het gebruik van water/stoom als medium heeft diverse nadelen. Zo is voor de verdamping zeer veel warmte nodig, mede door de aanwezigheid van 'waterstofbruggen' die tijdens de faseverandering moeten 'gebroken' worden. Bovendien is

het noodzakelijk de stoom te oververhitten om het ontstaan van vochtdruppeltjes in de turbine bij het einde van de expansie te beperken. Hierdoor zijn hoge temperaturen vereist om de gewenste stoomcondities te realiseren. Ook heeft waterdamp bij omgevingstemperatuur een lage dampdruk en lage dichtheid, dus een groot specifiek volume, wat om grote en dure meertrappsturbines en condensors vraagt.

Het gebruik van een werkmedium, anders dan water, kan deze nadelen grotendeels verhelpen. Koolwaterstoffen, koelvloeistoffen en siliconenoliën, dus vooral organische verbindingen, bieden mogelijkheden. Vandaar de naam 'Organische Rankine Cyclus'. In regel is minder verdampingswarmte vereist en is oververhitting overbodig. Vergeleken met de stoomcyclus volstaat minder warmte op een lagere voedingstemperatuur, wat een ORC uiterst geschikt maakt om laagwaardige warmte (vanaf 80°C) in elektriciteit om te zetten. Na expansie in de turbine is het medium normaal nog oververhit, zodat een recuperator het condensaat voorverwarmt voor het de ketel bereikt. Dit verbetert het rendement.

Toepassingen van ORC

ORC op warm water

Warm bodemwater (80 tot 300°C) op grote diepte is uitermate geschikt om een ORC mee aan te drijven. In de VSA, Duitsland en Oostenrijk zijn diverse geothermische installaties bekend met vermogens van 250 kWe tot 110 MWe. In België is de temperatuurgradiënt van de aarde echter onvoldoende gunstig om op aanvaardbare diepte voldoende warm water te vinden. De toepassingen kunnen wel model staan voor vergelijkbare rest-warmtestromen, daar de technologie zich reeds bewezen heeft.

De OTEC-technologie (Ocean Thermal Energy Conversion) maakt gebruik van het temperatuurverschil tussen water op grote diepte ($\approx 6^\circ\text{C}$) en oppervlaktewater ($\approx 28^\circ\text{C}$) in tropische oceanen om een ORC mee aan te drijven. De rendementen liggen hier zeer laag maar daartegenover staan de enorme hoeveelheden vrij beschikbare warmte. Deze toepassing toont de limiet van het technisch realiseerbare aan.

Zonne-energie

Zonne-energie kan omgezet worden in elektriciteit met behulp van fotovoltaïsche cellen. Deze cellen zijn echter erg duur, waardoor ORC een 'goedkoper' alternatief biedt. De zonnewarmte wordt via spiegelsystemen gecollecteerd naar een buis waarin het te verhitten medium zich bevindt, dat vandaar verder circuleert in de installatie. In de Mojavewoestijn (Californië) zorgen negen SEGS-centrales (Solar Electric Generating System) voor een totaal vermogen van 354 MWe. Ook in Australië zijn er verschillende referenties.

Warmtebronnen op hoge temperatuur

Motoren zijn ware energieverslinders. Tot 40% van het inputvermogen wordt omgezet in uitlaatgassen van 450 à 500°C : een uitstekende warmtebron voor een ORC-installatie! De motorkoeling komt vrij op een lagere temperatuur (90°C)

Het TETRA-project 'Restwarmterecuperatie via een Organische Rankine Cyclus bij hernieuwbare-energie-toepassingen', een initiatief van de Hogeschool West-Vlaanderen, departement PIH (Kortrijk), geniet de steun van het IWT. TETRA staat voor 'TEchnologie TRAnsfer', met de bedoeling een bestaande technologie te introduceren in Vlaanderen.



Instituut voor de Aanmoediging van Innovatie door Wetenschap en Technologie in Vlaanderen

EERSTE ORC IN BELGIË BIJ MIROM ROESELARE

Afvalverwerker MIROM Roeselare verbrandt jaarlijks 62.000 ton huisvuil en voedt hiermee het stedelijk verwarmingsnetwerk. De warmtevraag is echter niet constant zodat er, vooral tijdens de zomer, overschotten op het warmtenetwerk ontstaan. Om deze hoeveelheden warm water van 180°C te valoriseren, installeerde MIROM recent een ORC-installatie die een vermogen tot 3 MWe kan leveren. Dat is voldoende om 5.000 gezinnen van elektriciteit te voorzien.



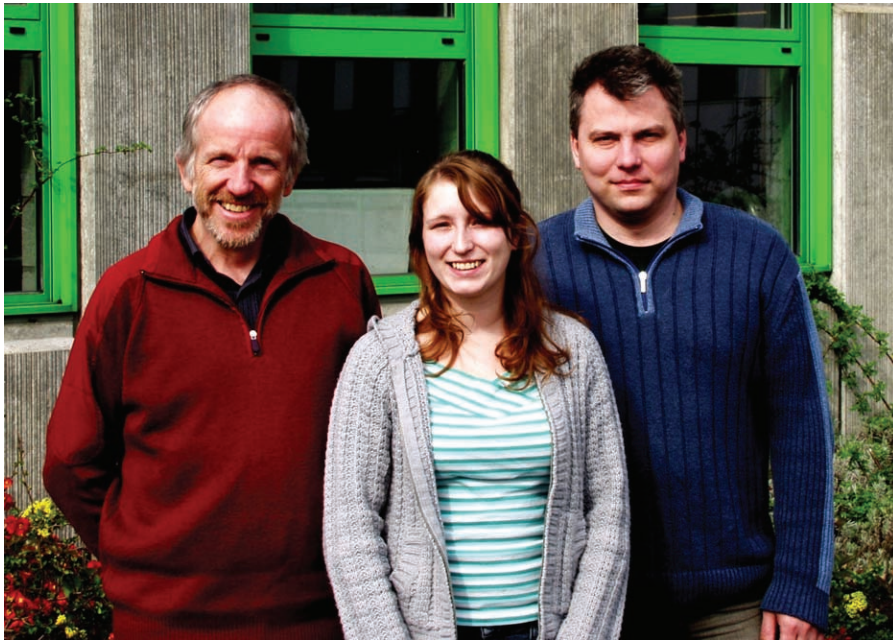
Deze ORC van 2,5 MWe wordt gevoed via overschotten op het warmtenetwerk (180°C) van de afvalverbrandingsoven te Roeselare.

maar kan met de rookgassen gecombineerd worden in een ORC voor een betere warmterecuperatie. Is de gebruikte brandstof biogas, stortgas of PPO, dan produceert de ORC groene stroom, waarvoor de zeer geëerde groenestroomcertificaten te verkrijgen zijn.

WKK's benutten reeds de vrijkomende uitlaatwarmte en motorkoeling, maar ook hier kan een ORC interessant zijn. Verouderde WKK's die niet meer certificaat-

gerechtigd zijn, kunnen de status 'vernieuwd' krijgen mits een bijkomende besparing van de RPE (Relatieve Primaire Energie) van 5% aangetoond wordt. Dit is (onder bepaalde omstandigheden) mogelijk door het toevoegen van een ORC. Biomassa- en afvalverbranding kunnen via een ORC ook groene elektriciteit leveren, maar aangezien hierbij hoge temperaturen bereikbaar zijn, blijft stoom (klassieke Rankine Cyclus) een alternatief. Referenties zijn er in Zwitserland, Italië, Oostenrijk en Duitsland, waar dergelijke installaties vaak als WKK functioneren. Er wordt op hogere temperatuur (80 à 100°C) gecondenseerd om de hierbij vrijkomende warmte nog verder te benutten, bijvoorbeeld voor gebouwenverwarming.

ORC is ook ideaal om industriële restwarmte te valoriseren, afkomstig van bijvoorbeeld droogprocessen, naverbranders of rookgassen. In de cementfabriek 'Heidelberg Zement' in het Duitse Lengfurt verwarmen de afvalgassen, als gevolg van de productie van cementklinkers, een thermisch olie-circuit tot 230°C. Hiermee wordt een ORC met het werkmiddel isopentaan gevoed, die een ver-



Bruno Vanslambrouck, Evelyn Defoer en Sergei Gusev werken aan de bouw van een proefopstelling voor demonstratieve doeleinden en organiseren een studiedag rond ORC op dinsdag 19 mei 2009.

mogen van 1,5 MWe levert. Het aanwezig potentieel in de procesindustrie is enorm. Hierbij vermelden we staal- en papierindustrie, de petrochemie...

Economische haalbaarheid

Een ORC vergt investeringen van 1.500 euro/kWe tot 4.000 euro/kWe, maar de economische troeven zijn meer dan gunstig. Bij hernieuwbare-energie-toepassingen berekenen wij een terugverdientijd van 1 tot 3 jaar, dankzij de ondersteuning door groenestroomcertificaten. Bij industriële toepassingen met voldoende hoge temperatuur is een terugverdientijd van 5 jaar (bron: VITO) mogelijk. Een IRR van 15% is hierbij haalbaar, wat perspectieven biedt binnen benchmark-bedrijven.

Wetenschappelijk onderzoek

De Hogeschool West-Vlaanderen, departement PIH (Kortrijk) voert momenteel onderzoek naar de ORC-technologie, via het TETRA-project: 'Restwarmterecuperatie via een Organische Rankine Cyclus bij hernieuwbare-energie-toepassingen'. TETRA staat voor 'TEchnologie TRAnsfere', met de bedoeling een bestaande technologie te introduceren in Vlaanderen.

Binnen het project is onder meer de uitwerking van een vijftal casestudies voorzien, waarbij de economische en technische haalbaarheid van de implementatie van een ORC worden onderzocht. De case studies zijn zo gekozen dat ze model staan voor talrijke gelijkaardige situa-

ties in Vlaanderen, en zo als 'spiegel-functies' voor andere installaties dienen. Volgende situaties worden geëvalueerd.

Restwarmte van storgasmotoren (3 MWe)

Twee types ORC zijn implementeerbaar. Enerzijds de HT-toepassingen (met een fluïdum dat op hoge temperatuur verdampt), die rookgassen als bron gebruiken en meestal condenseren op hogere temperatuur. De hierbij vrijkomende condenswarmte gaat echter verloren omdat op de site (of in de nabije omgeving) geen warmte vereist is. Anderzijds combineren LT-toepassingen (lage voedings-temperatuur) de rookgaswarmte en de motorkoeling, waarbij wel op omgevings-temperatuur wordt gecondenseerd. Beide mogelijkheden zijn rendabel, waarbij de ORC een vermogen van 150 tot 200 kWe produceert.

Roosterkoeling in biomassa-verbrandingsinstallaties

Het materiaal in biomassaketels wordt verbrand op roosters die gekoeld worden met water. Daarbij kan de temperatuur oplopen tot 140°C en het vermogen varieert van 500 tot 2500 kWth. Deze warmtestoom doet denken aan de warmtebron bij geothermische projecten. Ook hier blijken verschillende mogelijkheden implementeerbaar en economisch interessant. Het geleverde vermogen van de ORC bedraagt 50 tot 250 kWe.

ORC op bestaande biomassaketels

Groene warmte wordt financieel niet ondersteund door de overheid. Indien de geproduceerde warmte, beschikbaar onder de vorm van warm water tot 180°C,

aangewend wordt voor elektriciteitsproductie, zijn hiervoor wel groenestroomcertificaten te verkrijgen. De warmtevraag blijft natuurlijk centraal, dus is verdere benutting van de condenswarmte (bijvoorbeeld voor serreverwarming) vereist. Er wordt onderzocht of dit gecombineerd kan worden met de roosterkoeling. Voor de tuinbouwsector biedt dit interessante perspectieven.

Restwarmte van biogas-WKK (375 en 500 kWe)

Het biogas is afkomstig van een vergistingsinstallatie, verdere benutting van de condenswarmte is vereist voor het drogen van het digestaat (vraagtemperatuur 80°C) en het op temperatuur houden van de vergistingstank (60°C, kan eventueel met motorkoelwater). Een kleinschalige ORC van 30 à 50 kWe is implementeerbaar, maar dergelijke beschikbare installaties werken op een lage voedings-temperatuur. Hierdoor ligt het rendement bij hogere condens-temperatuur eerder laag.

Restwarmte van een PPO-motor (250 kWe)

Deze warmtebron is te kleinschalig om binnen het huidige marktaanbod een geschikte ORC van 20 - 30 kWe te vinden. De steeds groeiende markt zorgt wellicht in de (nabije) toekomst voor dergelijke applicatiemogelijkheden.

Besluit

De Organische Rankine Cyclus werkt volgens het principe van de stoomcyclus maar gebruikt een ander werkmedium dan water. Hierdoor kan laagwaardige (rest)warmte aangewend worden voor elektriciteitsproductie. Dit zorgt voor een groot aantal applicatiemogelijkheden die de efficiëntie van het algemene warmtegebruik verhogen. Het is duidelijk dat ORC uiterst interessante perspectieven biedt binnen de duurzame energieproductie. Een lopend project aan de Hogeschool West-Vlaanderen (Kortrijk) onderzoekt de economische en technische haalbaarheid van ORC in Vlaanderen, onder andere door het uitwerken van een vijftal casestudies die als spiegelfunctie dienen voor andere installaties. De resultaten zijn alvast veelbelovend.

evelyn.defoer@howest.be
sergei.gusev@howest.be
bruno.vanslambrouck@howest.be