

# Organische Rankine Cyclus, een mogelijke methode?

*De energieproblematiek is zeer actueel. Met de 2020-doelstelling en het Kyoto-protocol worden we verplicht om hernieuwbare energiebronnen te integreren in de toekomstige productie van elektriciteit. Ook wordt nog heel wat afvalwarmte in de omgeving gedumpt, wegens ter plaatse onbruikbaar. Deze verloren warmtestromen zijn volledig in strijd met het concept 'energiebesparingen', dus wordt het hoog tijd om deze 'vergeten' energie te valoriseren.*

Een technologie die zich hiervoor uitstekend schijnt te lenen is de 'Organische Rankine Cyclus'. Momenteel voert de **Hogeschool West-Vlaanderen**, departement PIH te Kortrijk, actief onderzoek binnen het domein van 'Organische Rankine Cyclus', via het TRA-project 'Restwarmterecuperatie via een organische Rankine cyclus bij hernieuwbare energietoepassingen'. Voor *Industrie Technisch Management* schreven de onderzoekers een eerste verslag over dit project.

## VANUIT DE RANKINE THEORIE

We kennen allemaal de stoomcyclus zoals ze wordt toegepast in elektriciteitscentrales. Hierbij wordt oververhitte stoom op hoge druk (>500°C, >100 bar) geproduceerd die men dan laat expanderen in een turbine. De arbeid die de expanderende stoom levert, doet de turbine draaien. Hiermee wordt dan een generator aangedreven die elektriciteit produceert. De geëxpandeerde stoom wordt gecondenseerd, waarna het ontstane water via een pomp terug naar de stoomketel wordt gepompt, waar ze opnieuw wordt opgewarmd,

verdampt en oververhit via het toevoeren van warmte. De achterliggende theorie wordt toegeschreven aan de Schotse natuurkundige **William John MacQuorn Rankine** (1820–1872), en staat daarom ook bekend als de 'Rankine cyclus'.

In klassieke thermische centrales is deze warmte afkomstig van de verbranding van fossiele brandstoffen zoals steenkolen, aardgas, stookolie. De rendementen schommelen rond 35 à 40 procent. De modernere STEG-centrales (stoom- en gasturbine) hebben een dubbele cyclus: eerst een gasturbine (die wordt aangedreven door verbranding van aardgas) en de warme uitlaatgasen hiervan worden gebruikt om de oververhitte stoom voor de Rankine cyclus te maken. Beide turbines zitten vaak op dezelfde as en drijven dezelfde generator aan. Deze combinatie levert rendementen tot 58 procent op, maar men moet wel starten met 'edeler' brandstoffen: aardgas of lichte stookolie.

Men kan in de klassieke thermische centrales als brandstof ook biomassa of afval gebruiken en in

dit geval spreken we van 'groene energie'.

## ALTERNATIEVEN VOOR WATER?

Het gebruik van water/stoom als medium in de Rankine cyclus brengt twee belangrijke nadelen met zich mee. Zo is er voor de verdamping van water veel

volume. En dat is dan weer de reden waarom er in de centrales grootschalige turbines en condensors nodig zijn.

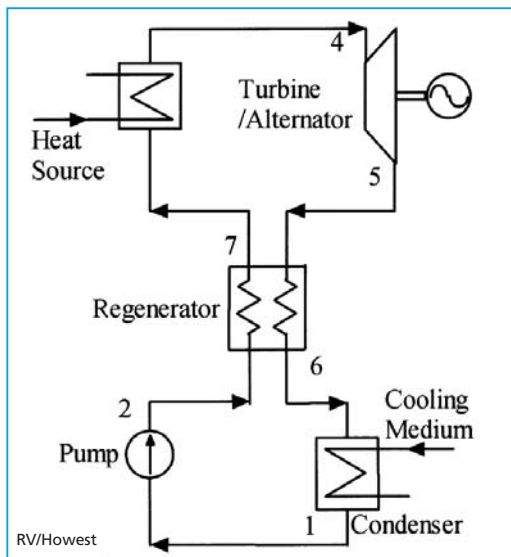
Deze nadelen, hoge temperatuur en grote installaties, kunnen (grotendeels) verholpen worden door het gebruik van een ander werkmedium dan water. Hierbij denkt



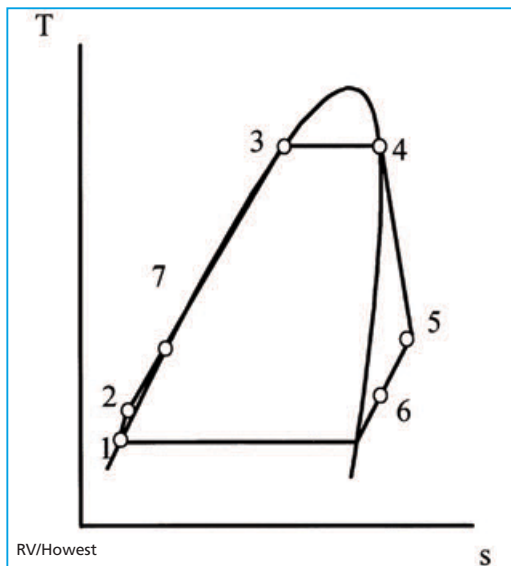
Het ORC-projectteam met (v.l.n.r.): Bruno Vanslambrouck, Evelyn Defoer en Sergei Gusev.

warmte nodig. Dat heeft te maken met de aanwezigheid van waterstofbruggen, een extra sterke binding tussen de watermoleculen onderling, die tijdens de faseverandering van water naar stoom 'gebroken' moet worden. Bovendien is het noodzakelijk de stoom te oververhitten om de aanwezigheid van vochtdruppeltjes (en de hierdoor veroorzaakte corrosie) in de turbine te beperken. Daarom zijn er zeer hoge temperaturen vereist om de gewenste stoomcondities te realiseren. Daarenboven heeft waterdamp bij omgevingstemperatuur een lage dampdruk en een lage dichtheid, dus een groot specifiek

men aan koolwaterstoffen (pentaan, toluen...), HFK's (gehalogeneerde koolwaterstoffen) en siliconenoliën. Omdat het vooral gaat om organische verbindingen die worden gebruikt, heeft men deze technologie de naam 'Organische Rankine Cyclus'-technologie gegeven, kortweg de 'ORC-technologie'. Er wordt nog veel onderzoek verricht naar de beste alternatieven. De chemische en thermodynamische eigenschappen van de ideale media zijn dusdanig dat ze minder verdampingswarmte vereisen en oververhitting overbodig is. Vergeleken met de water/stoomcyclus betekent het dat de Rankine Cyclus



Schema van een ORC-installatie.



Thermodynamisch Ts-diagram.

op lagere temperatuur kan afgevoerd worden, waardoor men de mogelijkheid krijgt om laagwaardige (rest)warmte in elektriciteit om te zetten. Men heeft werkmedia geselecteerd die een 'Organische Rankine Cyclus' kunnen opzetten met een warmtebron rond de 80°C. Heeft men toch hogere temperatuurbronnen (>300°C) dan kan men gebruik maken van een thermisch olie circuit als tussenschakel: via een warmtewisselaar kan men de beschikbare warmte overdragen aan het ORC-fluidum (waarbij via het aanpassen van de doorstroomsnelheid in de warmtewisselaar aan temperatuurregeling kan gedaan worden).

Nadeel van de meeste ORC-media is wel dat na expansie in de turbine de temperatuur van het medium (vaak) hoger is dan haar condensatietemperatuur. Om te condenseren moet men dan deze warmte extraheren, wat ten koste gaat van het thermische rendement. Dit verlies kan worden geminimaliseerd door de hiervoor benodigde extra warmtewisselaar te integreren in de installatie. De gerecupereerde warmte kan men gebruiken als voorverwarming van het gecondenseerde ORC-

fluidum, voor ze naar de stoomketel gaat om er via de warmtebron verder verdampt te worden. Deze warmtewisselaar noemt men dan de recuperator of regenerator.

### GEBRUIK VAN RESTWARMTE VAN EEN PROCES

Door de lage temperatuur (vanaf 80°C) hebben heel wat warmtestromen die nu verloren zijn, een voldoende hoge temperatuur om in aanmerking te komen als de 'warme bron' in een ORC. Dus leent ORC zich uitstekend voor het valoriseren van industriële restwarmte (denk aan koel-systemen, rookgassen na zuivering...). Ook de uitlaatgassen van motoren zijn een goede warmtebron. Gebruiken we als brandstof van de motor biogas of stortgas, dan zou de ORC erkend kunnen worden als 'groene stroom leverancier', waarvoor de Vlaamse overheid de zeer gegeerde groenestroomcertificaten uitreikt.

Er blijken in het buitenland reeds industriële elektriciteitsproductie-installaties te werken met ORC-media (dus met gemakkelijker dan water verdampbare media). In een cementfabriek in het Duitse Lengfurt produceert men

# VITO

## technologie voor ecologie en economie

VITO voert in opdracht van kmo's, grote bedrijven en overheid onderzoek uit in de domeinen **leefmilieu, energie en materialen** en **aardobservatie**. Als **onafhankelijke** en **klantgerichte** onderzoeksorganisatie verschaft VITO **innovatieve technologische oplossingen** en geeft wetenschappelijk onderbouwde **adviezen** en **ondersteuning** om **duurzame ontwikkeling** te stimuleren.

### VITO's expertise inzake geo-energetische toepassingen omvat:

- ▶ thermisch gebruik van de bodem via warmtepompen;
- ▶ ondergrondse energieopslag;
- ▶ koude-warmteopslag (KWO): opslag in watervoerende lagen of aquifers;
- ▶ boorgat-energieopslag (BEO): opslag via verticale warmtewisselaars.

### VITO biedt ondersteuning voor geo-energetische toepassingen via:

- ▶ evaluatie van de lokale geologie in functie van de verschillende technologieën;
- ▶ onderzoek naar technisch-economische haalbaarheid;
- ▶ begeleiding bij implementatie en integratie van systemen in de HVAC-installaties;
- ▶ advies bij ontwerp en opstellen lastenboek;
- ▶ uitvoering van thermische responstesten (TRT) om de thermische karakteristieken van de bodem te bepalen.

Bezoek onze stand tijdens IFEST - standnr 8419

Neem vrijblijvend contact op met:  
Hans Hoes - Boeretang 200 - 2400 MOL  
Tel. + 32 14 33 59 14 - Fax + 32 14 32 11 85  
hans.hoes@vito.be - www.vito.be



1,5 MWe op basis van een ORC-cyclus met als warmte deze van de uitlaatgassen die vrijkomen bij de productie van cementklinkers. Het aanwezige potentieel in de procesindustrie lijkt enorm. Struikelblok is echter de investeringskost: milieutechnisch is het misschien leuk om de restenergie te gebruiken, maar vandaag worden deze gewoon 'kosteloos' geloosd. Recuperatie kost geld.



**165 kWe ORC van Tri-O-Gen op de uitlaatwarmte van 2MWe gasmotor bij rozenkwekerij 'Olij' in De Kwakel, Nederland.**

De verbranding van biomassa en afval wordt al, via een klassieke (watergebaseerde) Rankine cyclus, ingezet om groene elektriciteit mee te maken. In Zwitserland, Italië, Oostenrijk en Duitsland zijn tevens Organische Rankine cycli op basis van afvalverbranding gerealiseerd. Maar we stellen ons vragen over het eventuele voordeel van het gebruik van deze ORC-fluïda tegenover water/stoom in de klassieke Rankine cyclus, omdat bij het verbranden van afval de hoge temperaturen toch sowieso beschikbaar zijn.

Het toepassen van ORC-installaties is zeker interessant als gebruik kan worden gemaakt van in de natuur beschikbare 'laagwaardige' warmte. In de VS, Oostenrijk en Duitsland zijn er geothermische installaties van 250 kWe tot 110 MWe opgesteld die warm bodemwater, gewonnen op grote diepte (80°C tot 300°C) gebruiken als warmtebron in ORC-installaties. Men gebruikt vandaag zonne-energie om via fotovoltaï-

sche cellen elektriciteit te produceren. Deze zijn echter erg duur en het is niet onmogelijk dat ORC een 'goedkoper' alternatief is. Men kan via spiegelsystemen zonnewarmte collecteren en hiermee het ORC-medium in een buis verhitten. Deze technologie heeft in Australië een aantal referenties. Dan is er de OTEC-technologie (*Ocean Thermal Energy Conversion*),

waar men gebruik maakt van het temperatuurverschil tussen water op grote diepte en oppervlaktewater in tropische oceanen om een ORC aan te drijven. De rendementen liggen hier eerder laag, wegens het geringe temperatuurverschil, maar daartegenover staan de enorme vrij beschikbare warmtehoeveelheden. Deze toepassing toont de limiet van het technisch realiseerbare aan.

### AANVAARBARE INVESTERING?

In tegenstelling tot in het buitenland vindt deze ORC-technologie in België weinig ingang. Pas in het voorjaar van 2008 werd de eerste Belgische ORC-installatie in gebruik genomen. Dat gebeurde bij de afvalverbrandingsinstallatie **MIROM** in Roeselare. Deze installatie wordt gevoed via overschotten op het warmtenetwerk (180°C) en levert een vermogen van 2,5 MWe.

Een ORC-installatie vergt een investering van € 1.500/kWe tot € 4.000/kWe. Toch volgt uit

theoretische berekeningen, gesteund op de buitenlandse ervaringen, dat de economische troeven in vele toepassingen gunstig zijn. Binnen een 'hernieuwbare energietoepassing' is de berekende terugverdientijd drie jaar, dankzij weliswaar de ondersteuning door groenestroomcertificaten. Bij industriële toepassingen met hoge temperatuur (dus boven de 300°C) is volgens VITO een terugverdientijd van vijf jaar mogelijk. Een IRR (investment return rate) van 15 procent is hiermee haalbaar, wat warmterecuperatie via ORC-toepassingen perspectieven biedt binnen benchmark-bedrijven.

Wordt een ORC-installatie geplaatst binnen oudere warmtekrachtinstallaties (van voor 2002) dan kan onder bepaalde omstandigheden een stijging van de relatieve primaire energiebesparing van vijf procent worden gerealiseerd. En hiermee krijgt de warmtekrachtkoppeling de status

werd aan de Hogeschool West-Vlaanderen, departement PIH te Kortrijk, het TETRA-project 'Restwarmterecuperatie via een organische Rankine cyclus bij hernieuwbare energietoepassingen' opgestart. Dit onderzoeksproject loopt van 1 oktober 2007 tot 31 september 2009. Hierbinnen zal een uitgebreid literatuuronderzoek gebeuren naar de stand van zaken. Men wil het marktaanbod (zowel technologie als bronnen van restwarmte) in kaart brengen en kritisch evalueren. Men wil een kleinschalige testopstelling bouwen uitgaande van gekochte systemen en tevens een vijftal industriële casestudies uitwerken. Het doel is om op die wijze ORC op de Vlaamse markt te introduceren. Nu reeds is er een sterke industriële interesse: een groep van 17 bedrijven en organisaties zetelt in de 'Gebruikerscommissie' van het TETRA-project en zorgen samen met **IWT-Vlaanderen** voor de pro-



**2,5 MWe ORC-installatie van Turboden op overschotten warmtenetwerk bij afvalverbrandingsinstallatie MIROM, Roeselare.**

'vernieuwd', wat toelaat om met dezelfde aangevulde installatie opnieuw certificaatgerechtigd te worden. De 165 kWe ORC-module van **Tri-O-Gen** is hiervoor uitermate geschikt.

### TETRA-PROJECT

Om de economische en technische toepasbaarheid aan te tonen,

jectfinanciering. In het voorjaar van 2009 zal de onderzoeksgroep de eerste resultaten presenteren tijdens een studiedag rond de ORC-technologie. ■

[www.industrie.be](http://www.industrie.be)  
[www.pih.be](http://www.pih.be)