

VAN RESTWARMTE TOT ELEKTRICITEIT

De almaar stijgende energieprijzen en de problematiek rond de opwarming van de aarde verplichten de mensheid alternatieve technologieën te integreren bij de toekomstige productie van elektriciteit en warmte. Hernieuwbare energiebronnen spelen hierbij een sleutelrol, maar minstens even belangrijk is het aspect 'energierecuperatie'. Zo wordt nog steeds heel veel afvalwarmte in de omgeving gedumpt wegens ter plaatse onbruikbaar, niettegenstaande hieruit elektriciteit te genereren valt via een bestaande, maar veel te weinig toegepaste technologie. Hoog tijd dus om deze 'vergeten' energiestromen te valoriseren! Lees verder over de 'Organische Rankine Cyclus' of kortweg 'ORC':

WAT IS ORC?

De Schotse natuurkundige William John MacQuorn Rankine (1820-1872) is grondlegger van de 'Rankine Cyclus', voorouder van de ORC en beter bekend als de stoomcyclus. Waar Carnot het maximaal mogelijk thermisch rendement beschrijft bij omzetting van warmte naar arbeid, wordt Rankine uiterst belangrijk voor grootschalige uitvoering in de praktijk: in elektriciteitscentrales is dit de meest toegepaste technologie. De cyclus start met het verwarmen van water tot oververhitte stoom op hoge druk (>500°C, >100bar), die vervolgens expandeert in een turbine. De hierbij geproduceerde arbeid wordt via een generator omgezet tot bruikbare elektriciteit. De geëxpandeerde stoom wordt gecondenseerd en teruggepompt naar de stoomketel, alwaar de cyclus zich opnieuw kan voltrekken.

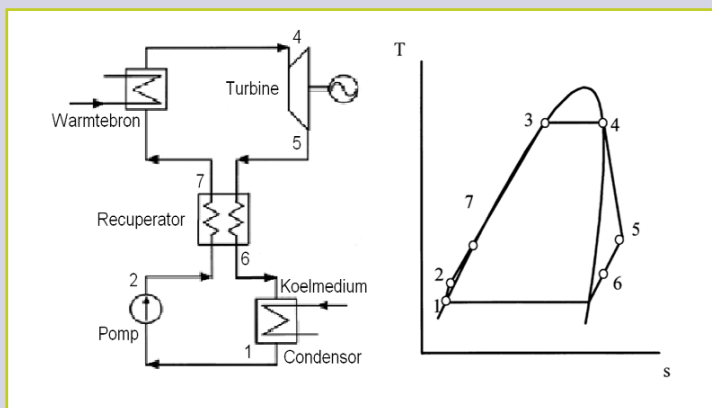
Het Rankine proces gebruikt water als circulerend werkmiddel, waarbij een hoge temperatuur vereist is om de gewenste stoomcondities te realiseren. Stoom moet namelijk oververhit worden om na expansie in de turbine het gehalte aan sterk eroderende vochtdeeltjes te beperken. Dit maakt het onmogelijk om hiervoor laagwaardige restwarmtestromen in te zetten. Het gebruik van een ander medium kan soelaas bieden: Er zijn toepassingen bekend met o.a. koolwaterstoffen, koelvloeistoffen en silicone-oliën. Daar dit (aanvankelijk) vooral organische verbindingen betreft, kreeg deze technologie de naam 'Organische Rankine Cyclus'. Doorgaans vereist de verdamping van deze media (veel) minder thermische energie en is er bovendien geen oververhitting nodig wegens de karakteristieke vorm van het coëxistentiegebied van het medium.

Hierdoor leent ORC zich uitstekend voor restwarmterecuperatie op lagere temperatuur. Warmtestromen vanaf 80°C kunnen zo omgezet worden in elektriciteit.

HET WERKMEDIUM

De keuze van een geschikt medium is van uitermate groot belang. Elk medium heeft een eigen druk-temperatuurrelatie (toestandsdiagram). Slechts indien de temperatuur van de warmtebron en gewenste condensortemperatuur overeenkomen met haalbare drukken (absoluut en verhoudingsgewijs), kan het medium in aanmerking komen. De bijhorende dampdruk, dichtheid en specifiek volume van het medium in de condensor en aan de ingang van de turbine zijn bepalend voor de constructie van de installatie. Grote specifieke volumes impliceren immers grotere condensoren en turbines, en als er tijdens de expansie een zeer grote drukval te overbruggen is, moet worden gekozen voor duurdere meertrapsturbines (zoals bij water/stoom).

Afhankelijk van de vorm van de grenskromme in het Ts-diagram (temperatuur, entropie - diagram), kunnen chemische stoffen gecatalogeerd worden onder natte, droge en isentrope fluïda. De verzadigde damplijn heeft dan respectievelijk een dalend, een stijgend en een vertikaal verloop. Natte fluïda zijn eerder ongewenst, omdat, omwille van reeds vermelde reden, oververhitting vereist is. Bij droge fluïda is dit probleem niet van toepassing, na expansie blijft het medium immers oververhit. Er komt dus voelbare



Figuur 1: schema van een ORC-installatie met bijhorend thermodynamisch Ts-diagram (droog fluïdum).

warmte vrij bij het afkoelen tot op condensortemperatuur. Via een extra warmtewisselaar, de recuperator, kan hiermee de vloeistof na de voedingspomp voorverwarmd worden (zie figuur 1).

Dit verbetert het rendement, maar zorgt tegelijk voor een duurdere installatie. Nog idealer zijn de isentrope fluïda, zowel oververhitting als recuperator zijn hier overbodig.

Pertinente vraag is welke fysisch/chemische randvoorwaarden tot deze goede eigenschappen leiden. De aanwezigheid van polariteit of waterstofbruggen is hierbij bepalend. Binnen kleine moleculen zorgen deze voor extra krachten en bindingen die tijdens de faseverandering gebroken moeten worden, wat resulteert in een verhoogde verdampingswarmte. Dergelijke chemische stoffen, vaak met een eenvoudige structuur en een lage molaire massa (MM), zijn doorgaans natte fluïda. Droge fluïda zijn meestal complex, apolair en hebben een hoge MM, terwijl de isentrope fluïda zich tussen beide in bevinden. Deze laatste groep is echter niet talrijk, zodat meestal droge fluïda worden toegepast in ORC's.

Andere gewenste eigenschappen zijn: hoge thermische stabiliteit, lange degradatietijd, lage viscositeit, milieuvriendelijk en compatibel met de andere componenten in de installatie. Ook de aspecten veiligheid, kostprijs en beschikbaarheid spelen een rol bij de keuze van een medium.

Vaak toegepaste media zijn: alkanen (bv. isopentaan), aromatische koolwaterstoffen (bv. toluen), gehalogeneerde koolwaterstoffen of koelvloeistoffen (bv. R134a, R245fa), siloxanen (bv. MDM, D4), perfluoropolyethers en mengsels van 2 of meer componenten (bv. Solkatherm). Zeotropische mengsels zijn wellicht de meest interessante, omdat de temperatuur stijgt tijdens het verdampingstraject en er zo een kleiner gemiddeld temperatuurverschil met de warmtebron kan aangehouden worden, wat leidt tot een hoger thermisch rendement.

TOEPASSINGEN

In principe komt elke warmtestroom, op aanzienlijk hogere temperatuur dan de omgeving, in aanmerking voor een ORC, waardoor de toepassingsmogelijkheden erg talrijk zijn. Op de markt zijn modules beschikbaar binnen een vermogenrange van 50kWe tot tientallen MWe. Het thermodynamisch rendement van een ORC ligt tussen ca. 8% en 20%, waarbij de temperatuur van de warmtebron meest bepalend is.

Binnen de industrie vindt men geschikte warmtebronnen bij allerhande ovens (cement-, papier-, staalproductie...), solventnavebranders, restgassen die momenteel afgefaald worden,...

Een ORC kan ook uitlaatgassen van motoren valoriseren. Indien de brandstof biogas of stortgas is, produceert de ORC groene stroom, waarvoor groenestroomcertificaten te verkrijgen zijn.

Bij biomassaketels kan eveneens een ORC geïntegreerd worden die groene stroom produceert. Zolang groene warmte niet ondersteund wordt, is dit een optie waarvoor vanuit de tuinbouwsector veel interesse bestaat.

Geothermische installaties gebruiken warm bodemwater (80°C tot 300°C) op grote diepte als warmtebron voor de ORC. Deze eenheden zijn ook inzetbaar bij vergelijkbare industriële restwarmtestromen.

Thermische zonne-energie kan reeds naar elektriciteit omgezet worden met behulp van fotovoltaïsche cellen. Deze zijn echter erg duur zodat ORC ook hier soelaas kan bieden als 'goedkoper' alternatief. De zonnewarmte wordt via spiegelsystemen gecollecteerd naar een buis waarin zich het te verhitten medium bevindt. Deze technologie heeft vooral in Australië verschillende referenties.

De OTEC – technologie (Ocean Thermal Energy Conversion) maakt gebruik van het temperatuurverschil tussen water op grote diepte (ca 6°C) en oppervlaktewater (ca 28°C) in tropische oceanen om een ORC mee aan te drijven. De rendementen liggen hier eerder laag, wegens het geringe temperatuurverschil, maar daar tegenover staan de enorme vrij beschikbare warmtehoeveelheden. Deze toepassing toont de limiet van het technisch realiseerbare aan. Door integratie van een ORC bij oudere WKK's (van voor 2002) kunnen deze soms de status 'vernieuwd' verkrijgen en opnieuw certificaatgerechtigd worden. Hiervoor zijn reeds enkele geschikte ORC's op de markt, bijvoorbeeld de module van Tri-O-Gen (zie figuur 2). De economische balans is in dergelijke gevallen bijzonder gunstig.



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

VAN RESTWARMTE TOT ELEKTRICITEIT

Een ORC vergt investeringen van € 1.500/kWe tot € 4.000/kWe, maar de economische troeven zijn meer dan gunstig. Bij hernieuwbare energietoepassingen berekenen wij een terugverdientijd van ongeveer 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.

In het voorjaar 2008 werd de allereerste ORC in België in gebruik genomen. Overschotten op het warmtenetwerk (180°C) bij de afvalverbrandingsinstallatie van MIROM (Roeselare) voeden de installatie van 2,5MWe (zie figuur 3).



Figuur 3: 2,5 MWe ORC-installatie van Turboden op overschotten warmtenetwerk bij afvalverbrandingsinstallatie MIROM, Roeselare.

In het voorjaar van 2009 organiseert de onderzoeksgroep een studiedag, waarbij een aantal projectresultaten zullen gepresenteerd worden. Gebruikers en (buitenlandse) leveranciers zullen hun ervaring of aanbod komen toelichten. Wenst u hiervan op de hoogte te blijven of wenst u meer info, aarzel niet om contact op te nemen met het projectteam (zie figuur 4).



Figuur 4: Het ORC-projectteam
(v.l.n.r.):

Bruno Vanslambrouck: bruno.vanslambrouck@howest.be

Evelyn Defoer: evelyn.defoer@howest.be

Sergei Gusev: sergei.gusev@howest.be

Tel: 056/24 12 27

WETENSCHAPPELIJK ONDERZOEK

Omdat het niet duidelijk is waarom deze technologie in België tot op heden weinig ingang vond, voert de Hogeschool West-Vlaanderen, departement PIH te Kortrijk, actief onderzoek binnen het domein van ORC, via het TETRA-project 'Restwarmte-recuperatie via een Organische Rankine Cyclus bij hernieuwbare energietoepassingen'. Dit onderzoeksproject loopt van 1/10/2007 tot 31/9/2009. De technologische stand van zaken wordt onderzocht en het huidig en in ontwikkeling zijnde marktaanbod wordt in kaart gebracht en geëvalueerd. Bovendien komt er een test- en demo-installatie in het labo en is de uitwerking van een vijftal case-studies voorzien. Vast staat dat industriële interesse sterk aanwezig is, een groep van 17 bedrijven en organisaties zetelt in de 'Gebruikerscommissie' en zorgt samen met IWT-Vlaanderen voor de projectfinanciering.

