

Oude wijn in nieuwe zakken

Organic Rankine Cycles

De belangstelling voor Organische Rankine Cycli (ORC) is cyclisch: hoewel reeds lang bekend is in de jaren 80 van de vorige eeuw met een aantal proef- en commerciële projecten getracht ORC een vast element in het ontwerpen van industriële installaties te laten zijn. Dat is niet gelukt en de belangstelling ebde weg. Op dit moment, 25 jaar later is de belangstelling voor deze vorm van elektriciteitopwekking enorm. Niet alleen door de ontwikkeling van de wereldenergieprijzen, maar vooral door het besef dat fossiele brandstoffen niet langer verantwoord zijn. De weg naar duurzame elektriciteit staat wagenwijd open, investeerders én fabrikanten ontwikkelen projecten op basis van ORC-technologie.

*- door ir. T.L.B. den Hartog**

Aandacht voor duurzame technieken:

Op Dé TVVL Techniekdag is de Organic Rankine Cycle (ORC) met focus op de techniek aan de orde geweest in de lezing van Dick van der Giezen. In het februari-nummer 2008 is de inhoud van deze lezing als artikel gepubliceerd. Dit artikel gaat verder in op de potentiële bijdrage die varianten op deze techniek mondiaal zou kunnen leveren op weg naar een duurzame(re) wereld: het geeft een visionair beeld. Met de publicatie van deze visie hoopt de TVVL mede een bijdrage te leveren aan het tot ontwikkeling komen en de toepassing van dergelijk technieken.

De redactie

Het gaat bij ORC om een bekend principe, om varianten die al lang bekend en bewezen zijn en om ideeën voor toepassingen die jaren op haalbaarheid zijn onderzocht. Nieuw is de opvallende vooruitgang in de ontwikkeling van technieken en uitvoeringen. Er is een verbeterde versie van de Kalina Cycle (variant op de ORC), er is betere en betaalbare equipment beschikbaar en er is een trend tot standaardisatie, die in een opwaartse cyclus zorgt voor lagere prijzen en dus snellere introductie van deze technologie.

Organische Rankine Cycli zijn bij uitstek geschikt als omzettingssystemen van lage brontemperatuur-energie, daar waar de inzet van stoom een te laag rendement geeft. Duurzame energiesystemen als geothermie en zonne-energie leveren veelal warmte op een temperatuurniveau onder 200 graden. Aangezien in dit temperatuurgebied ORC's juist hogere omzettingsefficiënties tonen, is duidelijk sprake van een enorm groeipotentieel in welke variant dan ook. Het is een duidelijke kans voor de industrie om snel te werken aan goede beschikbaarheid van

equipment (zoals turbine en pompen) en gehele standaardsystemen.

NIET TE DUUR

De toepassing achter een bron van duurzame energie vergt een eenmalige investering, kent geen brandstofkosten, heeft door de systeemeenvoud en lage temperaturen betrekkelijk lage onderhoudskosten, is eenvoudig en volautomatisch te bedienen en te bewaken, heeft voorts een lange levensduur en leidt daardoor tot een vaste productprijs zonder onzekerheden. Betrouwbaarheid moet worden bewezen door de grootschalige toepassing. De ORC en Kalina Cycle zijn door de aanhoudend relatief lagere energieprijzen beperkt tot integratie gebracht. In IJsland, Japan, Hawaï, Nederland en Duitsland zijn systemen operationeel. Het zijn bewezen technieken. De toepassingsmogelijkheden zijn velerlei: achter geothermie en zonnecentrales, voor de omzetting van stedelijke en industriële restwarmte die anders verloren gaat, en achter Oceaan Thermische Energie. Cumae heeft met VGK Honnun Ehf te IJsland een samenwerkingsovereenkomst voor de ontwikkeling van projecten op het gebied van de ORC/Kalina Cycle in de Benelux. VGK Honnun Ehf heeft een commerciële plant van 2,6 MW in IJsland in eigendom en in beheer, en heeft daarmee direct toegang tot de noodzakelijke operationele praktijkervaring.

TOEPASSINGEN IN NEDERLAND

CUMAE BV bestudeert sinds 2004 de mogelijkheden voor ORC als energiesysteem voor oceaanwarmte (Ocean Thermal Energy Conversion, OTEC), geothermie (GeoThermal Energy Conversion, GETEC) en restwarmte. Een brede oriëntatie, vooral gericht op

* Cumae BV

toepassing bij landinstallaties wordt thans uitgevoerd. Dit artikel beschrijft een aantal van deze toepassingen.

Daaraan vooraf gaan een algemene inleiding en een principebeschrijving van ORC. Aan het slot een beschouwing over de toepassingsmogelijkheden op het land.

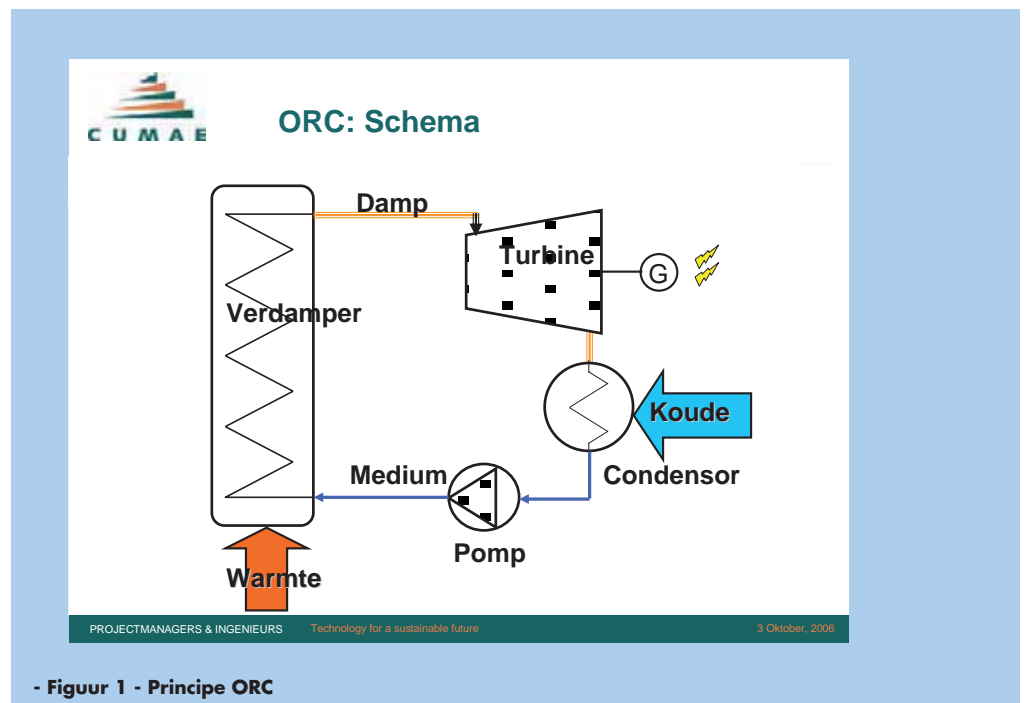
ORC's werken in principe op dezelfde wijze als stoomcycli (zie figuur 1).

Een organische vloeistof (medium) wordt onder druk door een verdamper gevoerd, waarin ze onder invloed van de warmtebron (vloeistof, rookgassen) verdampt. Vervolgens wordt de oververhitte damp naar de turbine geleid, waar het nuttige vermogen door de expansie van het medium in de vorm van mechanisch vermogen vrijkomt. De turbine drijft daarmee een generator of compressor aan. Na de turbine vindt condensatie en compressie plaats. In sommige gevallen kan ter verhoging van het cycluserendement het gebruik van een regenerator nuttig zijn.

Voor lagere temperatuurgebieden (bv. beneden 300 °C) heeft de stoomcyclus een lager rendement dan de ORC. Organische stoffen bezitten een lagere verdampingswarmte en kunnen - bij dezelfde warmtebroncondities - een hoger kookpunt bereiken, terwijl bovendien de expansie naar de oververhitte fase geschiedt. Beide fenomenen leiden tot een hoger rendement. Andere voordelen van deze media ten opzichte van water zijn: een grotere dichtheid, waardoor meestal kan worden volstaan met een ééntraps-expansiemachine; droge expansie, waardoor nauwelijks of geen oververhitting nodig is. Als werkmedia worden organische stoffen gebruikt. Daarbij kunnen voor het gebied onder 200 °C het beste freonen of ammoniak worden gebruikt. Voor het gebied 200-400 °C komen toluen, dowtherm A en fluorinol-85 in aanmerking. Bij deze beschrijving moet men zich realiseren: in technisch opzicht wordt vaak gestreefd naar een maximaal rendement, uit economisch oogpunt is een zo hoog mogelijk rendement niet altijd even gunstig en zullen concessies worden gedaan aan enkele ontwerpvarianten. Hierop wordt verder in dit artikel niet nader ingegaan.

KALINA CYCLE EN GEOTHERMIE

De Kalina Cycle (KC) is ontworpen voor de omzetting van lage temperatuur warmte naar elektriciteit. Elektri-



- Figuur 1 - Principe ORC

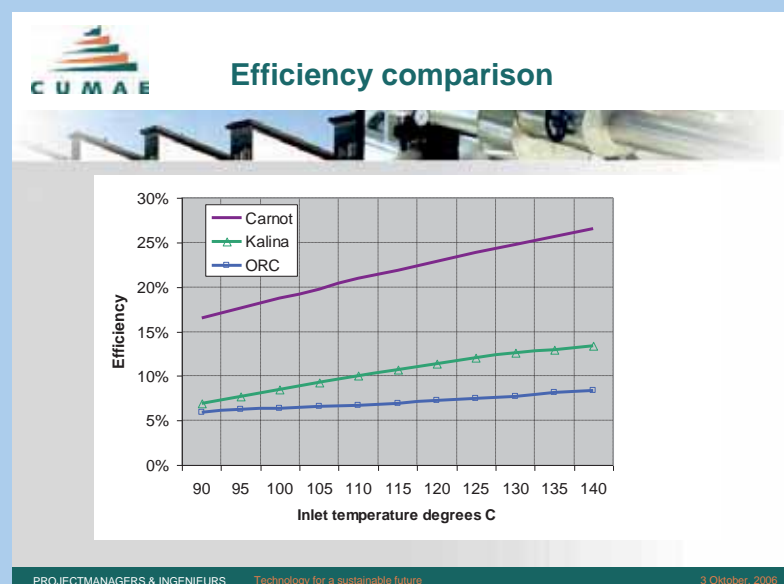
citeitsproductie vindt normaal plaats in conventionele gas- en kolengestookte centrales via een stoom- en watercyclus. Deze laatste cycli renderen in het temperatuurtraject van 250 tot 625 graden met technische omzettingsrendementen van 35 tot 60 procent. De KC is een bijzondere cyclus die door de bijzondere systeemschakeling en mediumkeuze vooral in het temperatuurgebied tot 180 graden max. 20 procent beter scoort dan de traditionele ORC. Zoals gezegd geven zowel de ORC als de KC een relatief hoog rendement bij lage brontemperaturen. Deze lage temperaturen komen als restwarmte bij industriële processen voor en als de bronwarmte bij duurzame energiesystemen, zoals geothermie, zonne-energie en oceaanwarmte.

Aangezien de investering van de installatie per opgestelde vermogensseenheid hoger ligt dan bij de conventionele ORC-systemen (klein- en grootschalig), zijn deze systemen bij uitstek de oplossing voor duurzame energie, als restwarmte en als naschakeling achter bestaande afval-, gas- en kolengestookte centrales: de brandstofcomponent in de economische berekening valt weg en daardoor zijn, ondanks de hogere investering, aantrekkelijke financiële rendementen mogelijk.

OMZETTINGSRENDEMENT

Figuur 2 geeft in het werkgebied van 90 tot 140 graden een goed overzicht van het verschil in omzettingsrendementen van de KC en de ORC. Zoals bekend vormt het CARNOT

- Figuur 2 - Efficiency vergelijking.



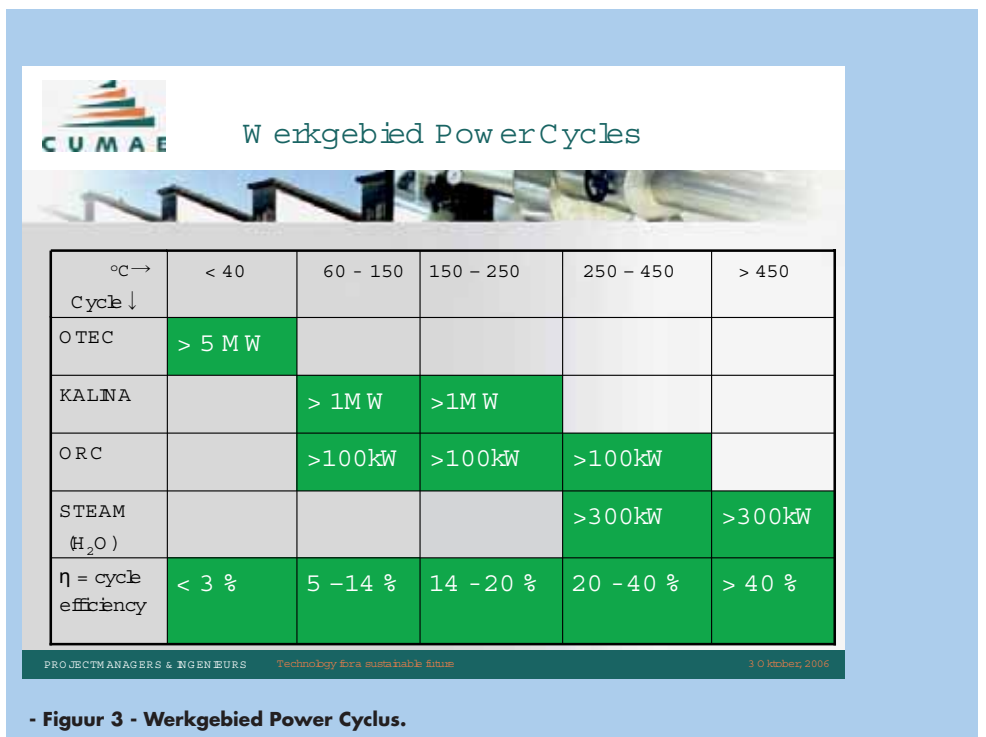
rendement de theoretische basis van de cycli, waarin de hoogste en de laagste temperatuur binnen de cyclus het theoretisch (dus maximaal) haalbare rendement bepalen volgens de formule: 1- T-laag / T-hoog. In de grafiek is een T-laag van 20 graden aangehouden. De grafiek toont dat de KC tot ver boven 10 procent efficiency scoort. De ORC komt ongeveer 15 procent lager uit en wordt in de hogere temperatuurgebieden interessant.

ECONOMISCH RENDEMENT

De ORC en KC zijn als energie-omzettingssysteem in het lage temperatuurgebied een uitstekende keuze. Zeker bij een hoge beschikbaarheid van de warmte in een jaar is een (relatief hoge) investering van de combinatie KC/geothermie zeer effectief. Als ook de restwarmte van de KC nuttig kan worden gebruikt, ontstaat een economisch zeer aantrekkelijk plaatje. Indien uitsluitend elektriciteitsproductie aan de orde is, is er (bij de huidige economische verhoudingen tussen de verschillende soorten energiebrandstoffen) financieel gezien een laag rendement: terugverdientijden van 17 tot 20 jaar. Hiervoor zijn de investeringen in de installaties, zeker bij geothermie, met de in Nederland verwachte opbrengsten te hoog. ORC en de KC bieden uitstekende rendementen bij toepassing achter restwarmte en door de levering van elektriciteit én warmte tegelijkertijd. Het effectieve temperatuurgebied ligt tussen 100 en 200 graden.

TOEPASSING

Figuur 3 toont de aanbevolen toepassingen van OTEC, KC, ORC en stoomcyclus afhankelijk van het temperatuurniveau en beschikbare grootte. Voor OTEC geldt the economy of scale: alleen grote installaties renderen enigszins. KC is thans nog uitsluitend als maatwerk verkrijgbaar (toepassingen alleen in de grotere vermogenssector vanaf 1 MW) en voorts beperkt in het temperatuurgebied tot 200 graden, omdat andere systemen daar concurreren zijn. De toepassing van OTEC vereist de allerbeste energetische rendementen vereist om nog een enigszins economisch rendement te genereren. ORC met een mono-medium kent een groot werkgebied vanaf 60 graden tot boven 400 graden. Het is ruim inzetbaar en kent reeds standaard



systemen. Maar let op: ook de overige, voor de economische berekening bepalende factoren moeten gunstig zijn (o.a. lange bedrijfstijden per jaar, hoge energieprijzen).

GEOTHERMIE GETEC

Geothermie zit letterlijk onder ons. Deze schone vorm van energie hebben we jarenlang in onze geest diep weggedrukt, omdat we dachten dat het een dure vorm van energie is, die bovendien in ons land niet zou voorkomen. Het is een prachtig en schoon en bovendien onuitputtelijk. Technieken zijn voorhanden en hebben hun prijs. Technieken als boormethoden kunnen worden verbeterd en worden goedkoper bij veelvuldiger inzet. Geothermie kan direct worden gebruikt als warmtebron voor industrie en woonomgeving. In enkele gevallen, bij hogere brontemperaturen, kan het worden omgezet naar elektriciteit, waarna de restwarmte op dezelfde wijze als hierboven geschetst kan worden gebruikt. Geothermie is duurzaam, vergt investering met risico's en is het waard om op grote schaal te worden ontwikkeld en geëxploiteerd, ook in Nederland. De Stichting Platform Geothermie Nederland zet zich daarvoor met succes in en houdt diverse proefprojecten. Geothermie is wereldwijd voorhanden en is eenvoudig winbaar in gebieden met natuurlijke bronnen als geisers, modderputten, heetwaterbronnen en vulkanen. In Nederland moeten we het dieper zoeken: 1.700 meter voor een temperatuur van ongeveer 60 graden, op dieptes vanaf 3 kilometer

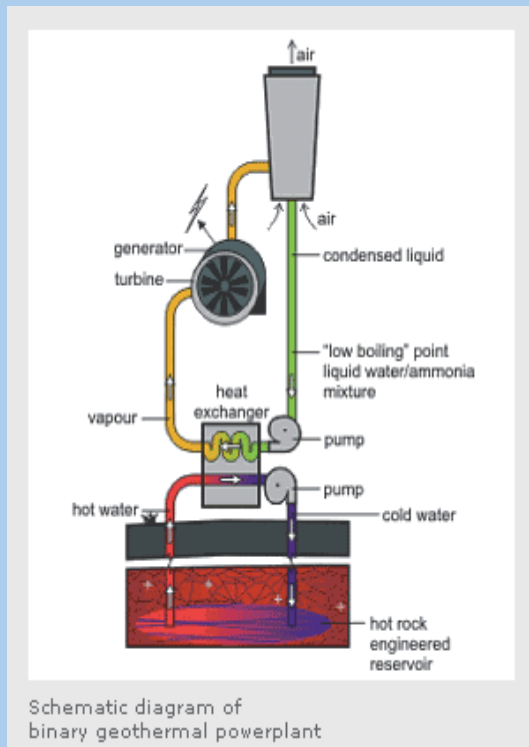
heersen temperaturen van 120 graden en hoger. Die lenen zich prima voor het combigebied van elektriciteit en warmte.

Geothermie is winbaar in watervoerende lagen of ondergrondse reservoirs. Dit warme water wordt naar boven gepompt, omgezet naar bruikbare energie/elektriciteit of naar een secundair systeem en vervolgens weer teruggevoerd naar ongeveer dezelfde diepte, op een afstand van enkele kilometers vanaf de bronput om recirculatie tegen te gaan. De KC is door het hoge omzetrendement zeer geschikt voor de combiproductie van elektriciteit en warmte (zie figuur 4).

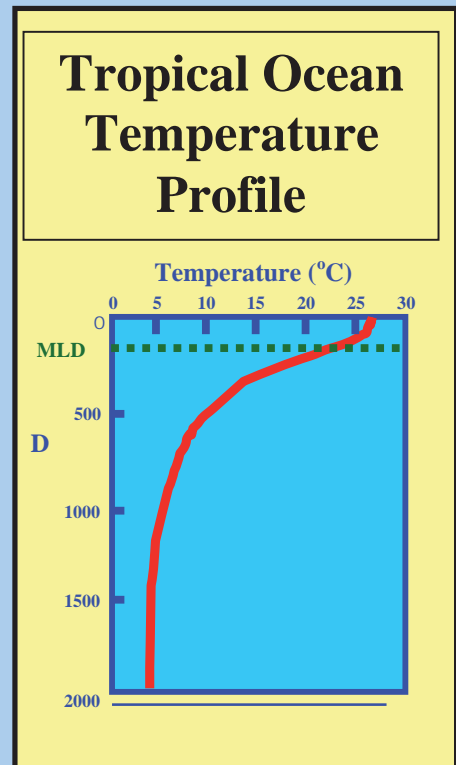
OTEC

Een van de – op langere termijn veelbelovende opties voor het gebruik van zonne-energie is OTEC: Ocean Thermal Energy Conversion. Deze gebruikt de natuurlijke temperatuurgradiënt van de oceaan en produceert naast elektriciteit ook drinkwater en koelwater voor airconditioning. OTEC is één van de meest belovende systemen die economisch haalbaar zullen zijn in de toekomst.

Op jaarbasis slaat de zon 10.000 keer meer energie op in de tropische oceanen dan de gehele jaarlijkse wereldenergiebehoefte. De tropische oceaan is dus een hele grote warmtebatterij. Als wij in staat zouden zijn om die energie om te zetten in een transportabele energievorm, is het wereldenergieprobleem opgelost. Alle inspanningen zouden dus in die richting moeten gaan. Duurzame energie als OTEC is in essentie bekend, projecten zijn



- **Figuur 4** - Schematische weergave van een 'binair geothermische powerplant.



- **Figuur 5** - Tropical Ocean Temperature Profile.

geïnitieerd en de eerste grootschalige commerciële plant is in voorbereiding. OTEC gebruikt het temperatuurverschil in de oceaan. Aan de oppervlakte heerst een gemiddelde temperatuur van 27 graden, op een diepte van 1.000 meter en meer is de gemiddelde temperatuur ongeveer 5 graden. Met dit temperatuurverschil is in een Kalina Cycle[®] de omzetting naar elektriciteit mogelijk.

OTEC kan op een buitengaats platform worden geplaatst of op het land. Het koude water kan na opwarming uitstekend dienst doen als koelwater voor airconditioning. Dit bespaart op de elektriciteitsconsumptie door de airco's en vermijdt de inzet van fossiele brandstoffen. Het diepe oceaan water is door de aanwezigheid van mineralen

een goede grondstof voor agricultuur en drinkwaterproductie. De investering van een OTEC-plant is door de lage omzettingsrendementen van ongeveer 3 procent alleen toepasbaar indien de economy of scale haar werk doet: vanaf 10-15 MW en met lange afschrijvingstermijnen. Let wel: de oceaan is schier onuitputtelijk. Dit maakt de toepassing van OTEC op lange termijn uiterst aantrekkelijk. De techniek is niet moeilijk en bewezen.

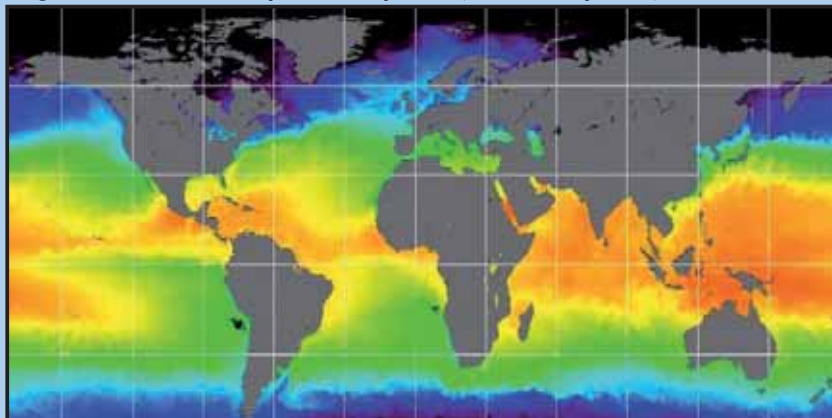
RESTWARMTE

Restwarmte kun je grofweg in drie categorieën opsplitsen: terugvoerbare energie (warmte voor warmte), omzetbare energie (warmte voor kracht) en onbruikbare restwarmte. Het is duidelijk dat bij het zoeken naar wegen om de afvalwarmte niet zonder meer

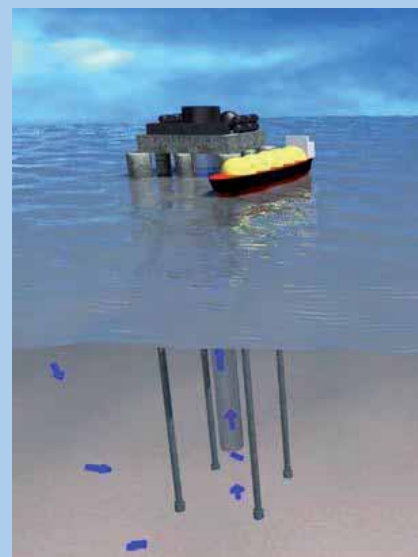
als restwarmte te verliezen prioriteit wordt gegeven aan projecten die de warmte voor warmtebenutting voor de procesvoering terugwinnen. Met betrekkelijk lage investeringen zijn in deze categorie redelijke terugverdientijden mogelijk. In vrijwel alle gevallen gaat het hierbij om proceswarmte van een redelijk temperatuurniveau (> 120 °C).

De proceswarmte met een lager temperatuurniveau komt dan voor de tweede categorie in aanmerking: warmte voor kracht of andere doeleinden. Juist door dat lage temperatuurniveau zijn mogelijke toepassingen

- **Figuur 6** - Heersende temperaturen op aarde (infrarood opname)



- **Figuur 7** - OTEC platform off shore





- Figuur 8 - OTEC plant on shore

singen voor ORC-installaties wél technisch interessant. Overigens voldoen ORC-systemen ook goed bij warmtebronntemperaturen boven 120 en beneden 200 graden, indien voor de eerste categorie (warmte voor warmte) geen toepassing mogelijk is. Warmte/warmterugwinning heeft bij veel bedrijven reeds aandacht of

prioriteit gehad. In Nederland wordt thans aangenomen dat een totaal van circa 8.000 MW als afval- en restwarmte benutbaar aanwezig is. Onder de vele mogelijkheden om deze warmte, of een deel daarvan, te benutten, komt de toepassing van een ORC in aanmerking. Gelet op de prioriteit,

gegeven aan de benutting van warmte voor warmte boven benutting voor kracht en bovendien gelet op de uit economisch oogpunt gestelde eisen aan temperatuurniveau en grootte van de warmtestroom, is aangenomen dat van de eerder genoemde 8.000 MW circa 15 procent mogelijk kan worden benut voor toepassing van ORC.

„ Als toonaangevend producent van componenten voor de koudetechniek, exposeren we daar, waar u ons zoekt: op de Chillventa in Nürnberg. „

Christine Bannert
Lid Chillventa beurscommissie
voor het aanbodsegment meet- en regeltechniek

Danfoss



Nürnberg, Duitsland

15 t/m 17 oktober 2008

CHILLVENTA
Nürnberg 2008

Internationale vakbeurs voor koude- ♦ klimaat- ♦ ventilatie- en warmtepompentechniek

Mis het niet:

ons begeleidende programma door experts voor experts met informatieve fora en praktijkgerichte presentaties!

Meer informatie:

www.chillventa.de/supportingprogramme

Informatie

Kenter & Co. B.V.
Tel +31 (0) 5 47. 27 50 05
Fax +31 (0) 5 47. 27 18 31
nederland@nuernbergmesse.com

Organisator

NürnbergMesse GmbH
Tel +49 (0) 9 11. 86 06-49 06
visitorservice@nuernbergmesse.de
www.chillventa.de

NÜRNBERG MESSE

