

Opwaardering restwarmte bespaart achttien pètajoule

P.W. Bach

Artikel Verschenen in Utilities, nr. 9, 2007, pag. 31-35

INNOVATIE Nederland wil het energieverbruik de komende jaren met twee procent per jaar verminderen. ECN werkt samen met apparatenbouwers aan thermoakoestische en thermochemische warmtepompen, waarmee de industrie nog eens vijf tot tien procent aan energie kan besparen.

Tekst: Eric te Roller

Opwaardering restwarmte bespaart achttien petajoule

'De industrie gebruikt energie vooral om fornuizen te stoken en stoom op te wekken. Dat maakt tachtig procent van het energieverbruik uit. Uiteindelijk komt de totale industriële warmtebehoefte van zo'n 580 petajoule per jaar grotendeels weer in de omgeving terecht en dat noemen we restwarmte', zegt Pieter Bach, Group Manager Industrial Heat Technology van ECN. 'Chemiebedrijven en raffinaderijen bijvoorbeeld moeten diverse processtromen van meer dan vijftig graden Celsius actief koelen. Daardoor verdwijnt zo'n 250 petajoule aan warmte per jaar via koelwater, koeltorens en schoorstenen naar de omgeving. Bij ECN zijn we geïnteresseerd in wat we allemaal nog met die restwarmte kunnen doen. Er zijn momenteel geen warmtepompen met voldoende temperatuurlift, waarmee je die restwarmte weer kunt benutten. Wel kun je met de zogenoemde Organic Rankine-installatie rest-

warmte gebruiken om een turbine aan te drijven waarmee je elektriciteit kunt genereren. De meeste vraag van de industrie gaat echter niet uit naar elektriciteit, maar naar warmte of koude.'

Potentieel 'Aangezien 1 petajoule overeenkomt met het energieverbruik van meer dan 10.000 huishoudens, komt de industriële afvalwarmte dus overeen met het verbruik van 2,5 miljoen huishoudens. De restwarmte correspondeert met acht miljard kubieke meter aardgas per jaar, oftewel meer dan anderhalf miljard euro per jaar op basis van de huidige aardgasprijs voor de industrie. Het mag duidelijk zijn dat een nuttig gebruik van enkele procenten van de industriële afvalwarmte al flink wat zoden aan de dijk zet. En alles wat we in Nederland aan energie kunnen besparen, hoeven we niet meer te importeren. Dat is belangrijk, omdat we de

komende jaren bij het slinken van de gasbel steeds afhankelijker worden van de import van energiedragers uit landen die vaak minder politiek stabiel zijn. Dat kost niet alleen meer geld, maar maakt onze energievoorziening ook kwetsbaarder. Daar komt nog bij dat de olieprijsen al maar stijgen. Kortom elke besparing op het gebruik van primaire energie is goed voor de portemonnee en geeft meer zekerheid omtrent de energievoorziening in de toekomst.'

Pinchtemperatuur Waarom gaat er nog zoveel warmte verloren? Bach: 'Bedrijven kunnen er op dit moment niks mee. De warmte is van een te lage temperatuur, of niet op het juiste moment of op de juiste plek beschikbaar. Als je daarentegen proceswarmte of lagedrukstoom van bijvoorbeeld 120 graden zo'n 50 graden in temperatuur kunt verhogen, dan kun je het op de locatie wel nuttig inzetten. Belangrijk is om bij de temperatuurverhoging boven de pinchtemperatuur uit te komen, dat is de temperatuur waarboven er een nettowarmtevraag in de fabriek is en waaronder een nettokoelvraag. De bestaande warmtepompen op basis van compressietechnieken kunnen dat niet aan. Die werken bij lagere temperaturen en kunnen maar een relatief klein temperatuurverschil overbrug-

KORT

ECN ontwikkelt samen met apparatenbouwers thermoakoestische en thermochemische warmtepompen die een flinke energiebesparing moeten opleveren. Het bedrijf gaat er vanuit dat ongeveer twintig tot dertig procent van de industriële restwarmte kan worden teruggevoerd bij een hogere temperatuur. Het systeem wordt momenteel getest op bruikbaarheid. ECN verwacht medio 2010 een grotere installatie te kunnen uittesten door deze aan een proces in een bepaald bedrijf te koppelen.



THERMOAKOESTISCHE WARMTEPOMP

Simon Spoelstra, onderzoeker op het gebied van industriële warmtetechnologie bij ECN, legt het principe van een thermoakoestische warmtepomp uit. 'Er wordt gebruikgemaakt van de natuurlijke compressie en expansie van een zeer sterke geluidsgolf. Bij expansie neemt het gas in de buis warmte op van een laag temperatuurniveau en bij compressie geeft het warmte af op een hoger temperatuurniveau. De kunst is om dat op de juiste plaatsen te laten gebeuren. De buis zorgt ervoor dat de golf resoneert net als in een orgelpijp. De geluidsgolf die nodig is voor de warmtepomp, wordt gemaakt door een omgekeerd proces waarbij het gas warmte opneemt bij hoge (restwarmte)temperatuur en afgeeft bij lage temperatuur. Aan de ene kant van de buis kun je op deze wijze een geluidsgolf genereren en aan het andere eind kun je met deze geluidsgolf warmte opwaarderen naar een hogere temperatuur. In de buis gebruiken we argon of helium onder een druk van 40 bar, omdat deze gassen veel beter presteren dan lucht onder atmosferische condities.

De geluidssterkte in de buis is 160 tot 180 decibel. Ter vergelijking: de geluidssterkte bij een normaal gesprek is 60 decibel. Hoewel het geluid in de buis dus vrij sterk is, is er buiten de buis weinig van te merken. Het is een stil apparaat en muisstil vergeleken met een industriële compressor.'

Het grote voordeel van de thermoakoestische warmtepomp is, dat hij bij hoge temperaturen kan werken en een lift van tien tot honderd graden kan halen. Naarmate de lift hoger is, neemt de effectiviteit echter wel af. Verder vergt de warmtepomp weinig onderhoud, omdat hij geen bewegende delen bevat. Alleen voor de aan- en afvoer van de warmtestromen zijn pompen nodig. Verder bevat deze warmtepomp geen drijfgassen die schadelijk zijn voor het milieu en is de constructie relatief eenvoudig. Het thermisch rendement van de warmtepomp is circa 25%, dat wil zeggen dat 25% van de restwarmte die beschikbaar is, bij hogere temperatuur kan worden afgegeven.

gen. Thermoakoestische en thermochemische warmtepompen kunnen dat wel.

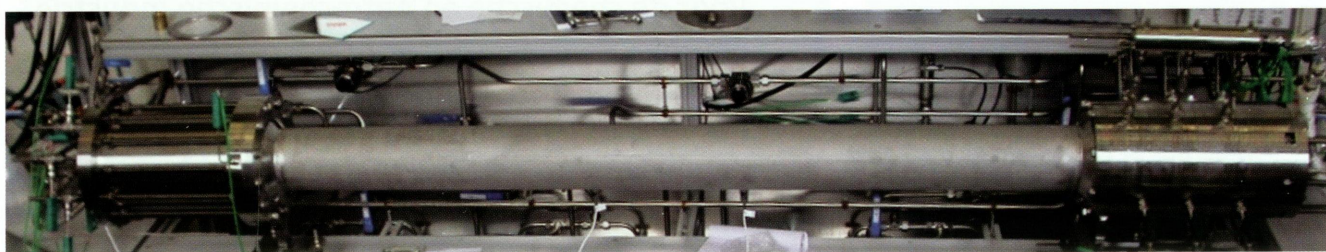
Bij ECN gaan we er vanuit dat ongeveer twintig tot dertig procent van de industriële restwarmte kan worden teruggevoerd bij een hogere temperatuur. Het potentieel voor energiebesparing is op deze manier 18 petajoule en dat komt overeen met het energiegebruik van meer dan 200.000 huishoudens. De fundamentele ontwikkeling van de thermoakoestische en thermochemische warmtepompen hebben we in samenwerking met de Technische Universiteit Eindhoven en de Universiteit van Utrecht gedaan. We testen het systeem nu op zijn bruikbaarheid en hebben daarover contact met eindgebruikers. Medio 2008 verwachten we deze fase van de zogenoemde proof of principle achter de rug te hebben en beginnen we aan de benchscale-fase, waarbij we een systeem, gericht op toepassing bij een eindgebruiker, met alles erop en eraan in het lab uittesten. We werken hierbij samen met de Bronswerk Heattransfer, Oostendorp en Dahlman. Medio 2010 hopen we een grotere installatie te kunnen uittesten door deze aan een proces in een bepaald bedrijf te koppelen. Uiteindelijk volgt dan een demonstratieproject bij een launching customer. De thermoakoestische warmtepomp zal een vermogen hebben van maximaal 1 megawatt. Voor meer vermogen moet je een aantal warmtepompen parallel zetten en doorlussen. De thermochemische warmtepomp heeft daarentegen geen fundamentele beperking in afmeting en kan een vermogen van bijvoorbeeld 5 megawatt hebben', aldus Bach.

Business cases Hoe rendabel zijn deze warmtepompen? Bach: 'We hebben een aantal business cases opgesteld, zoals bijvoorbeeld voor een destillatiekolom, waarbij warmte aan de topstroom onttrokken wordt door de warmtepomp en een temperatuurlift krijgt van 50 tot 170 graden Celsius voor de bodemstroom. Uitgaande van de stoomprijs van ongeveer 20 euro per ton van begin

2007 heb je de warmtepomp dan na een tot vijf jaar terugverdiend, afhankelijk van de investeringen en het energetisch rendement. Je bespaart op de operationele kosten, omdat er minder stoom opgewekt hoeft te worden. Ook kun je hiermee de

capaciteit van de fabriek vergroten zonder dat je de installaties hoeft uit te breiden. Als je immers met je stoomvermogen aan een bepaalde grens zit, kun je door het plaatsen van een warmtepomp dat vermogen nog verder opvoeren.

De ontwikkeling van deze warmtepompen voor deze toepassing is vrij uniek. Elders in de wereld worden de thermoakoestische systemen meestal ontwikkeld om te koelen. Bedrijven in de Verenigde Staten zijn bijvoorbeeld bezig met een project voor de productie van vloeibaar aardgas door fakkeldgas van olieplatforms met een dergelijk systeem af te koelen tot -160 graden Celsius. Verder werkt de Penn State University in opdracht van ijsfabrikant Ben & Jerry's in de Verenigde Staten



THERMOCHEMISCHE WARMTEPOMP

'Bij een thermochemische warmtepomp maak je gebruik van twee verschillende zouten met elk hun eigen dampspanningslijnen', zegt Robert de Boer, onderzoeker industriële warmtetechnologie bij ECN. 'Restwarmte gebruik je bij een lage temperatuur en druk om damp, in dit geval ammoniak, vrij te maken uit het lagetemperatuurzout (LTZ) lithiumchloride, waarin het geabsorbeerd zit. De ammoniak stroomt naar het hogetemperatuurzout (HTZ) magnesiumchloride en reageert daarmee. Hierbij komt warmte vrij, die bij een hogere temperatuur wordt afgegeven. Als het LTZ wordt gekoeld met water van de omgevingstemperatuur en het HTZ van restwarmte wordt voorzien, stroomt de ammoniak weer terug van het HTZ naar het LTZ en keert het systeem weer terug naar zijn oorspronkelijke toestand. Door een viertal vaten met HTZ en LTZ op een handige manier te schakelen is het mogelijk om een continuproces te bedrijven.

In Frankrijk is veel onderzoek gedaan naar de bruikbaarheid van verschillende zouten voor een dergelijke warmtepomp. Hier is ook geëxperimenteerd met actieve kool als dragermateriaal voor het zout, maar hierbij krijg je de ammoniak moeilijk op alle plekken in de poreuze kool. Ook de mechanische stabiliteit van het composiet was onvoldoende. Wij werken met metaalschuimen, die ook een relatief groot oppervlak hebben. Het zout zit als dunne laag aan dat oppervlak gehecht. Verder geleidt het metaal de warmte zeer goed. Bij onze afdeling research & development richten we ons onder andere op het verbeteren van het warmte- en stoftransport in deze metaalschuimen.

Met een thermochemische warmtepomp kun je hoge temperatuurliften realiseren. Het primaire proces bevat net als bij de thermoakoestische warmtepomp geen bewegende delen. Alleen de dampfase beweegt onder invloed van de drukverschillen tussen de twee zouten. Ook maakt deze warmtepomp geen gebruik van hcfk's. Bij de integratie van een thermochemische warmtepomp in een continuproces moet je het semi-continuproces van de warmtepomp nog afstemmen op het continuproces', aldus De Boer.

aan een thermoakoestisch systeem om conventionele koelers en vriezers te vervangen die werken met compressoren en hcfk/hfk's als koelmedium. Van deze media is bekend dat ze een sterk broeikas effect hebben en volgens de Montreal 2-afspraken worden ze voor 2020 uitgefaseerd. Ben & Jerry's streeft naar een groen imago en zoekt daarom naar alternatieve koelsystemen.'

Bach vraagt zich af hoe lang Nederland met warmtepompen nog een voorsprong kan houden. 'Als we niet oppassen haalt China ons in. Ze zijn daar vooral met koelmachines bezig, maar als ze hun zinnen op warmtepompen zetten, dan kunnen ze vrijwel moeiteeloos een lab met veel onderzoekers mobiliseren. Vanwege de beperkte financiële mogelijkheden kunnen wij hier maar met een handvol mensen aan deze ontwikkeling werken. Het geld komt van het EOS-programma van SenterNovem, van een EU-programma voor sorptiekoeling en van ECN zelf. Vanwege het grote belang van deze ontwikkeling voor de Nederlandse industrie en samenleving zou er best wel wat meer geld voor deze ontwikkeling op tafel mogen komen.' ■