



Energy research Centre of the Netherlands

Concept hybride warmtepomp: meer industriële restwarmte herbruikbaar

M. van der Pal
K. van der Heuvel¹
C. Infante Ferreira¹

¹TU Delft

Gepubliceerd RCC Koude & Luchtbehandeling, 104^e jaargang September 2010

Door dr. Michel van der Pal en ir. Korstiaan van den Heuvel, projectleiders in het programma Sustainable Processes & Heat Technology bij ECN in Petten met medewerking van dr. ir. Carlos Infante Ferreira van de TU Delft

Concept hybride warmtepomp: meer industriële restwarmte herbruikbaar

Hybrid heat pump technology applicable for reused industrial waste heat

ECN werkt al jaren aan warmtegedreven warmtetransformatoren. Hoewel deze apparaten het energiegebruik bijna kunnen halveren door het opwaarderen van restwarmte naar een hogere temperatuur kennen zij ook een belangrijke beperking: de restwarmte moet wel van tenminste 120°C zijn. Het concept hybride adsorptiecompressie warmtetransformator is het antwoord daarop.

ECN werkt al jaren aan warmtegedreven warmtetransformatoren. Hoewel deze apparaten het energiegebruik bijna kunnen halveren door het opwaarderen van restwarmte naar een hogere temperatuur kennen zij ook een belangrijke beperking: de restwarmte moet wel van tenminste 12°C zijn. Het concept hybride adsorptiecompressie warmtetransformator zorgt ervoor dat het warmtetransformatorproces bij een lagere restwarmtemperatuur wordt doorlopen. Hierbij wordt een beperkte hoeveelheid elektriciteit gebruikt. Deze lagere temperatuur zorgt ervoor dat veel meer processen in aanmerking komen voor hergebruik van restwarmte.

Naast ECN zagen ook apparaten- en systeembouwers Bronswerk Heat Transfer, Dahlman en GEA Gresco de mogelijkheden van deze technologie en samen met KWA Bedrijfsadviseurs en Kennis Centrum Papier en Karton werd in 2009 een consortium gevormd. Met subsidie van Agentschap-NL werd in Augustus 2009 het project HYbride Adsorptie-Compressie voor INdustriële Toepassingen, kortweg HYACINT, gestart.

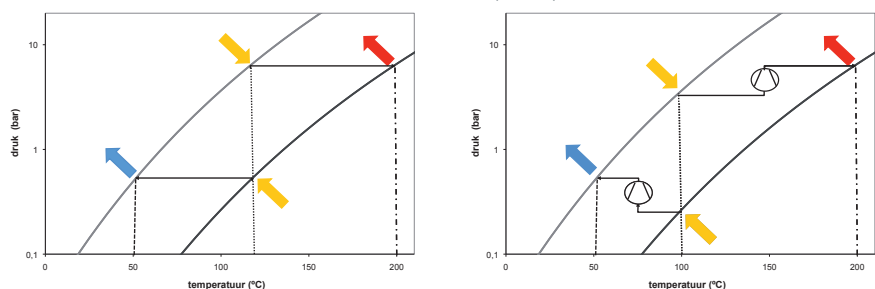
Dit project heeft als doel de economische en technische haalbaarheid van de hybride technologie te onderzoeken. De economische haalbaarheid wordt on-

derzocht door te inventariseren welke processen, bedrijven en/of bedrijfstakken restwarmte over hebben in het juiste temperatuurgebied en tegelijkertijd behoefte hebben aan warmte op hogere temperatuur. In dit onderdeel spelen vooral KWA Bedrijfsadviseurs en Kennis Centrum Papier en Karton met hun kennis van de markt een grote rol. Daarnaast wordt op basis van een globaal ontwerp van een fullscale hybride systeem, een kostenraming gemaakt en de terugverdientijd berekend. Verder wordt gekeken naar de technologische haalbaarheid van het hybride concept. Hierbij wordt gekeken naar het optimale temperatuurgebied waarin dit concept functioneert, welke configura-

ties en sorbentia het meest geschikt zijn en hoe een compleet systeem dient te worden samengesteld.

Om inzicht te krijgen in de (on)mogelijkheden van het concept met betrekking tot temperatuur, sorbentia en configuratie is samenwerking gezocht met de TU Delft en is een stage-opdracht geformuleerd. Het eerste deel van dit onderzoek door Korstiaan van den Heuvel uitgevoerde onderzoek betrof het opstellen van een rekenmodel, waarmee realistische prestaties van het hybride concept konden worden bepaald. Met de kennis en ervaring van ECN op het gebied van de thermochemische warmtetransformatoren en met de kennis van de TU Delft op het gebied

Warmtetransformator en hybride cyclus



Links toont de cyclus van de warmtetransformator. De druktemperatuurlijnen tonen het sorptiegedrag van de sorbentia: wanneer de druk hoger is dan de verzadigingsdruk vindt adsorptie (opname van gas + vrijkomen van warmte) plaats; wanneer de druk lager is dan de verzadigingsdruk vindt desorptie (vrijkomen van gas + opname van warmte) plaats. De pijlen tonen de warmtestromen. Bijna de helft van de restwarmte (gele pijlen) kan worden omgezet in nuttige warmte (rode pijl), de overige warmte (blauwe pijl) komt bij omgevingstemperatuur vrij. Rechts toont een hybride cyclus. Het gebruik van compressoren leidt ertoe dat restwarmte van een lagere temperatuur ook kan worden opgewaardeerd. Hiervoor moet wel arbeid aan het proces worden toegevoerd, in dit geval met compressoren.



Opstelling hybride silicagel-water compressiesysteem met links(voor) de compressor, in het midden de reactor en rechts de condensor en verdampert.

van compressoren kon al snel een werkend model worden samengesteld. De uitdaging lag echter vooral in het gebruik van het model. Een berekende prestatie op basis van een gegeven temperatuur, sorbent en configuratie is slechts de eerste stap, het vinden van de juiste sorbentia, het optimale temperatuurgebied en beste configuratie is een belangrijke tweede. De ECN-database met 50 voorgeselecteerde sorbentia levert alleen al $50 \times 50 = 2500$ mogelijke combinaties van sorbentia op. Tel daar de mogelijkheden voor temperaturen, zowel voor restwarmte als nuttige warmte en de configuraties bij op en er blijken tienduizenden combinaties mogelijk te zijn.

In een aantal stappen werd deze data gefilterd tot een handvol mogelijkheden overbleef. De eerste stap in dit proces was het bepalen van die configuraties die netto energiebesparing opleverden waarbij nog minstens 50°C temperatuurlift werd gerealiseerd. Deze waarde werd gekozen omdat voor kleinere temperatuurlift een compressiewarmtepomp vaak volstaat maar daarboven nauwelijks warmtepompen beschikbaar zijn en bovendien niet of nauwelijks nog netto energie besparen. Vervolgens werden systemen met extreem hoge of juist lage druk verwijderd. Te hoge druk levert te hoge eisen aan de constructie, terwijl erg lage drukken last hebben van weerstanden in het systeem en grote volumina door de compressor dienen te worden gecomprimeerd. Als laatste factor werd gekeken naar de bereikte vermogensdichtheid die – wanneer deze te laag

is – kan leiden tot grote reactorvolumes en daarmee hoge kosten. De hierna overgebleven combinaties werden vervolgens gerangschikt naar efficiëntie en toepasbaarheid. Hieruit kwamen twee sorbentia-combinaties als meest geschikt naar voren. Calcium-chloride met mangaanchloride en calcium-chloride met mangaansulfaat bleken respectievelijk het meest energie-efficiënt en het breedst toepasbaar. De configuratie waarbij de compressor in de hogedrukcyclus wordt geplaatst bleek duidelijk de beste resultaten op te leveren. De minimale restwarmtemperatuur, waarbij het systeem nog energiebesparing opleverde, bedroeg 70°C .

Toepassing

Een typische toepassing waar restwarmte met een temperatuur tussen de 70°C en 90°C beschikbaar is én nuttige warmte op 130°C tot 150°C direct opnieuw in het proces kan worden gebruikt, is de droogpartij van een papierfabriek. De Nederlandse papierindustrie kent een primair energiegebruik van 32 PJ per jaar waarvan ongeveer de helft wordt gebruikt voor de droogpartij. Binnen het huidige project wordt naar verwachting het principe voldoende aangetoond met zowel modelberekeningen als metingen aan sorbentia en compressoren om vervolgens naar de volgende fase van de ontwikkeling te gaan: de Proof-of-Concept. In deze fase word op relatief kleine schaal een prototype ontworpen, gebouwd en getest. Het belangrijkste doel van deze fase is het aantonen van het concept op

systemniveau. Om deze fase te kunnen financieren wordt gezocht naar mogelijkheden voor verdere samenwerking en ontwikkeling. Wanneer deze fase is afgerond, wordt de hybride warmtetransformator daadwerkelijk in de industrie geplaatst. In eerste instantie als relatief kleinschalige testopstelling, maar spoedig gevolgd door een fullsize commercieel apparaat.

Samenvatting

ECN is onlangs begonnen met onderzoek naar hybride adsorptie-compressie warmtetransformatoren. Deze technologie kan worden gebruikt om restwarmte op te waarden naar nuttige warmte. Hiermee kunnen grote besparingen worden behaald op primair energiegebruik. Een studie uitgevoerd in samenwerking met de TU Delft toont aan dat deze technologie bruikbaar is met restwarmte vanaf 70°C , bijvoorbeeld van een papierfabriek. Naast technologisch is de technologie ook economisch haalbaar gebleken.

Summary

ECN has recently started its research into hybrid adsorption-compression heat transformer. Using this technology low-temperature waste heat can be reused, yielding considerable primary energy savings. A study together with Delft University shows the hybrid technology can already be used with waste heat temperatures of 70°C , which can be found in paper drying, and still be economically as well as technological feasible.

Meer informatie:

ECN Energy Research Centre of the Netherlands

Westerduinweg 3, 1755 LE Petten

T: 0224 56 4837

F: 0224 56 8615

E: vanderpal@ecn.nl

W: www.ecn.nl