

Nuttige restwarmte

Innovatieve technologieën voor verwarming, koeling en stroom

Restwarmte biedt meer mogelijkheden dan de industrie zich realiseert. Er is zelfs keus te over aan innovatieve technieken. Geld, goede wil en wetten blijven de beperkende factoren om het immense potentieel aan restwarmte daadwerkelijk te kunnen benutten.

ing. Klaas de Jong,
Energieprojecten.com

Warmtepomp van York Refrigeration die water van 30 graden opwarmt tot 75 graden.
(foto: Stefan Schroeter)

'Dat hebben we al eens bekeken, maar dat kan hier niet'. Een veelvuldig antwoord op ideeën om restwarmte te benutten. Met het lozen van warmte in oppervlaktewater en de buitenlucht wordt echter niet zo'n klein beetje energie verspild. De industrie loost meer restwarmte dan er op jaarbasis nodig is voor de verwarming van alle gebouwen in Nederland. Toch zijn weinig voorbeelden te vinden van benutting van restwarmte uit industriële processen.

Redenen genoeg waarom de benutting van deze restwarmte moeilijk van de grond komt. Het aanleggen van warmtetransportleidingen is razend duur, terwijl Nederland jarenlang vermeld is met lage prijzen voor aardgas.

Een ander knelpunt is dat de restwarmte meestal beschikbaar is op een vrij laag temperatuurniveau van 30 of 40 °C. Voor verwarming van gebouwen is 90-70 °C nodig. Tenslotte is er meestal een grote discrepantie in tijd tussen vraag naar en aanbod van warmte, met name tussen de seizoenen.

Lauw water

Niettemin zijn er goede redenen om opnieuw naar gebruik van restwarmte uit de industrie te kijken. De gasprijzen zijn door allerlei politieke ontwikkelingen in het Midden-Oosten maar ook in Venezuela en Afrika stevig gestegen, en de groeiende afhankelijkheid van gas buiten West-Europa geeft ook reden tot zorg.

Essentiële is dat verschillende technologische ontwikkelingen de genoemde knelpunten kunnen ondervangen.

Het is nog niet zo lang geleden dat bijna elke cv-installatie op een watertrajec van 90-70 °C werd ontworpen. Dat heeft de mogelijkheden voor het gebruik van afvalwarmte sterk beperkt. Meestal heeft de beschikbare restwarmte een veel lagere temperatuur. In moderne gebouwen winnen de laatste tijd echter verwarmingssystemen op lage temperatuur aan populariteit. Die zijn zuiniger en comfortabeler. De overheid heeft deze ontwikkeling bovendien een aantal jaren financieel gestimuleerd. Daardoor is nu behoorlijk veel keus in zogenaamde lage temperatuursystemen zoals vloerverwarming, gevelverwarming en een klimaatplafond. Deze systemen gaan niet alleen zuiniger om met energie, ze zijn door stralingswarmte ook comfortabe-

ler dan conventionele verwarming. Bij vloerverwarming is de watertemperatuur duidelijk lager dan 30 °C; hogere watertemperaturen zijn juist minder aangenaam.

Verwarming op zeer lage temperatuur is ook mogelijk in bestaande gebouwen. Bij het stadhuis in Apeldoorn heeft men recent ventilatorconvectoren aangebracht om 's zomers te kunnen koelen, maar ook om in de winter met een absorptiewarmtepomp te kunnen verwarmen met een watertemperatuur van slechts 35 °C.

Niet inpasbaar in bestaande gebouwen is een nieuwe techniek voor verwarmen en koelen: betonkernactivering. Bij betonkernactivering worden leidingen in de vloeren aangebracht om warmte c.q. koude op te slaan in de gebouwmassa. In de winter wordt warmte opgeslagen door water van slechts enkele graden boven de ruimttemperatuur door de leidingen in het beton te laten circuleren. In de zomer wordt water van maximaal enkele graden onder de gewenste ruimttemperatuur gebruikt. Het eerste gebouw met betonkernactivering in Nederland is het kantoor van DWA Energie- en Installatieadvies.

Warmtepompen

Niet overal is direct gebruik van afvalwarmte op lage temperatuur de oplossing. Daarom zijn warmtepompen ontwikkeld die restwarmte naar een hoger temperatuurniveau kunnen brengen. In Nederland zijn warmtepompen al behoorlijk populair, vooral in combinatie met seizoenopslag van warmte en koude in de bodem. Dergelijke warmtepompen werken met een brontemperatuur van zo'n 10 °C en kunnen warmte leveren van maximaal 50 tot 60 °C. Het nadeel van deze warmtepompen is dat ze beperkt zijn in de maximale verdampingsdruk en de maximale condensatiedruk. Voor restwarmte uit de industrie van bijvoorbeeld 30 °C is behoefte aan een hogere verdampingstemperatuur teneinde het energieverbruik van de compressor van de warmtepomp zo laag mogelijk te houden. Tegelijkertijd zou een hogere condensatietemperatuur wenselijk zijn om warmer water voor een proces of voor tapwater te kunnen bereiden.

Dankzij de ontwikkeling van hogedruk compressoren en het gebruik van

andere koelmiddelen dan de gebruikelijke freonen kan dat nu. Zo heeft York Refrigeration warmtepompen ontwikkeld die bijvoorbeeld een warmtebron van 30 °C efficiënt kunnen benutten om warm water tot een temperatuur van 75 °C te bereiden. Deze warmtepompen maken gebruik van het natuurlijke koelmiddel ammoniak. De bekende compressiewarmtepomp is bovendien niet de enige technologie voor het oppompen van warmte. Ook de warmtepomp die werkt met absorptietechnologie, is een optie. Het aantal fabrikanten van absorptiewarmtepompen is helaas nog klein. De gebruikelijke absorptiekoelmachines met lithiumbromide kunnen bovendien in een beperkt temperatuurgebied functioneren. Niettemin zijn er enkele fabrikanten van machines voor hogere temperatuur actief.

Aan absorptietechnologie en aan adsorptie voor warmtepompen wordt wereldwijd nog hard gewerkt. In Nederland houdt vooral ECN zich bezig met onderzoek naar hergebruik en opslag van restwarmte. Het systeem SWEAT (Salt Water Energy Accumulation and Transformation) is een concept, waarbij gebruik wordt gemaakt van sorptietechnologie voor warmtepomp en opslag van warmte in vaste zouten. Daarnaast werkt ECN bijvoorbeeld ook aan futuristisch aandoende thermoakoestische warmtepompen.

Sorptie voor hete HR

Bij de verbranding van een kubieke meter aardgas komt een kilogram waterdamp vrij. Het principe van de HR-ketel berust op condensatie van deze waterdamp. Dat lukt alleen met een lage cv-watertemperatuur. Naarmate de temperatuur van het water in de centrale verwarming verder onder het dauwpunt van de rookgassen ligt, kan een groter aandeel van de condensatiewarmte, die beschikbaar is in de waterdamp in de rookgassen, worden teruggewonnen. Als de watertemperatuur boven het dauwpunt van de rookgassen ligt, gaat uiteraard alle condensatiewarmte verloren. Daardoor verdwijnt in de industrie heel wat warmte in de buitenlucht. Het Duitse bedrijf BHF Verfahrenstechnik heeft een slim systeem bedacht om deze condensatiewarmte terug te winnen, ondanks een hoge temperatuur van het cv-water. Het bedrijf maakt

daartoe gebruik van een hygroscopische wasvloeistof in de rookgassen, waarin de waterdamp geabsorbeerd wordt. De wasvloeistof wordt bij 140 °C onder atmosferische druk geregeneerd. De waterdamp die in de regenerator ontstaat wordt in een condensor, die door het cv-water wordt gekoeld, weer vloeibaar gemaakt. Een eerste project met dit proces is gerealiseerd bij de twee gasmotoren van de warmtekrachtinstallatie in de Palmengarten te Frankfurt am Main. Deze installatie draait nu al anderhalf jaar met dit proces. De eigenaar van de installatie, energiebedrijf Mainova, heeft voor een nieuw warmtekrachtproject opnieuw deze open sorptiewarmtepomp besteld. Het proces lijkt tevens uitermate geschikt voor benutting van waterdamp uit drogers en biomassa centrales. Een interessant bijkomend voordeel van dit proces is dat de rookgassen een extreem lage relatieve vochtigheid krijgen. Hierdoor verdwijnt de vaak hinderlijke condenspluim uit de schoorsteen vrijwel geheel.

Containers

In verschillende processen voor benutting van restwarmte blijkt zout een hoofdrol te spelen. Dat geldt voor de hete HR, SWEAT, voor absorptiekoelmachines en voor absorptiewarmtepompen. Het Duitse bedrijf Eureka maakt gebruik van zout voor de opslag van warmte in transportabele containers. Bij het laden van de 'TransHeat'-container wordt een zout vanuit de vaste fase in de vloeibare gebracht, waarbij relatief veel warmte kan worden opgeslagen. De keus voor het type zout hangt af van de beschikbare restwarmtetemperatuur en de benodigde temperatuur bij de afnemer van de warmte. Per container kan het equivalent van circa 400 m³ aardgas worden getransporteerd. Doordat de meeste warmte in latente vorm is opgeslagen, treedt ook bij langdurige opslag weinig verlies op.

Bij wijze van proef worden op het grote industrieterrein Hoechst containers geladen met restwarmte van het chemieconcern Clariant. De containers worden vervolgens ongeveer tien kilometer verder naar een nieuw kantoor van Clariant gereden. De maximale afstand wordt niet bepaald door het energieverbruik bij het transport. Dat is minder dan 2 procent. De kosten van



ORC-installatie bij Zementfabrik Heidelberg.

vrachtauto met chauffeur zijn de beperkende factor in dit systeem. Overwogen wordt of vervoer per spoor grotere afstanden haalbaar maakt.

Schone elektriciteit

Gebruik van restwarmte voor verwarmingsdoeleinden ligt voor de hand. Het is in een aantal situaties ook mogelijk om elektriciteit op te wekken. Dat is handig omdat elektriciteit het hele jaar door gebruikt kan worden. Er zijn twee verschillende technologieën praktisch beschikbaar voor deze omzetting: de Organic Rankine Cycle en gas-expansie.

De klassieke elektriciteitscentrale werkt met een cyclus die bedacht is door de Schotse ingenieur Rankine. In een stoomketel wordt stoom onder zo hoog mogelijke druk geproduceerd en vervolgens oververhit. De stoom wordt vervolgens geëxpandeerd in een stoomturbine, waarbij arbeid wordt geleverd voor de aandrijving van een generator. De stoom wordt daarna in een condensor weer vloeibaar gemaakt. Een pomp brengt het water weer terug in de stoomketel. Het is duidelijk dat deze cyclus niet bruikbaar is bij restwarmte van betrekkelijk lage temperatuur. Bij de zogenaamde Organic Rankine Cycle (ORC) wordt het proces uitgevoerd met een organische stof, die bij een lagere temperatuur verdampt dan water. Voorbeelden van dergelijke media zijn propaan, butaan en toluen. Deze

media hebben voor restwarmtebenutting het bijkomende voordeel dat de verdampingswarmte veel lager is dan voor water, waardoor er meer warmte uitgewisseld kan worden voor opwarming van het medium. Verder hebben deze werkstoffen nauwelijks oververhitting nodig, omdat ze bij expansie in de turbine in het superkritische gebied blijven.

Met een ORC kan restwarmte vanaf ca. 100 °C worden benut. Uiteraard neemt het omzettingsrendement toe met de beschikbare temperatuur van de restwarmte. Momenteel wordt de ORC-techniek vooral toegepast in projecten met geothermie en biomassa. In het Oostenrijkse Altheim draait een ORC van Turboden met een vermogen van 1 MW op bronwater van ruim 100 °C en in Bad Blumau heeft Ormat de eerste bedrijfsklaar geleverde, compacte unit van 250 kW op water van 100 °C geplaatst. Deze unit heeft een ingebouwde luchtgekoelde condensor. Bij kleine biomassa centrales is een ORC aantrekkelijker dan de conventionele oplossing wegens een gunstiger (deellast)rendement, minder onderhoud en een minder complexe installatie. Men gebruikt hier thermische olie voor de overdracht van de warmte. De vuurhaard van de biomassaketel wordt hierdoor minder zwaar belast en het systeem werkt zonder overdruk. Ook is de Zementfabrik Heidelberg overgeschakeld van stoom naar ORC voor het gebruik van restwarmte uit het productieproces.

Opmerkelijk is het initiatief van het Nederlandse bedrijf Tri-O-Gen dat samen met een Finse universiteit aan

een compacte ORC-unit werkt, waarin een aantal nieuwe technologieën is verwerkt. Expansieturbine, generator en vloeistofpomp zijn op één as gemonteerd en draaien met extreem hoog toerental. Daardoor lukt het om ondanks een klein elektrisch vermogen van netto 150 kW toch een gunstig rendement te bereiken. De unit is ontwikkeld als 'bottoming cycle' voor gasmotoren. Integratie van deze ORC op het uitlaatsysteem van een gasmotor van 800 kW levert een vermogenswinst van 150 kW op. Het werkmiddel toluen is geschikt voor gebruik van relatief hoge temperaturen. In een eerste proefproject bij de afvalverwerking Stainkoeln in Groningen zal de Tri-O-Gen ORC worden gebruikt als elektriciteit producerende gasfakkel. Het gebruik van deze gassen, die kwaliteitsproblemen opleveren voor gasmotoren en gasturbines, is een interessante ontwikkeling. Gas, dat anders nutteloos afgefakeld wordt, wordt dan voor zo'n 22 procent in elektriciteit omgezet, terwijl de condensor van de ORC ook nog warmte kan leveren.

Aardgasdruk

Bij de Organic Rankine Cycle daalt het te behalen omzettingrendement van warmte naar elektriciteit met de temperatuur. Dat is logisch omdat de exergie afneemt. Bij het gebruik van restwarmte in een aardgasexpansiemachine wordt bijna evenveel elektriciteit opgewekt als warmte wordt toegevoerd. En dat terwijl die warmte maar een temperatuur van ca. 80 °C hoeft te halen. De drukdaling in het aardgas doet het meeste werk. Wel neemt het te bereiken vermogen toe

met de temperatuur waarmee het aardgas de expansiemachine ingaat. In de industrie zijn verschillende locaties waar een grote gasstroom in druk wordt gereduceerd om tegen een redelijke prijs schone elektriciteit op te wekken. Bij benutting van restwarmte blijven brandstofkosten bij deze vorm van opwekking achterwege. DWA Energie- en Installatieadvies onderzoekt momenteel de haalbaarheid van deze toepassing voor restwarmte bij een grote kunststofindustrie. Corus in IJmuiden maakt al jaren gebruik van deze slimme combinatie.

Absorptiekoeling

Absorptiekoeling is niet nieuw. De eerste waterkoelmachines werkten al volgens dit principe. Lange tijd hebben de ontwikkelingen van dit type koelmachine stilgestaan door het succes van de compressiekoelmachine. Vooral in Azië werkt men echter al een tijd aan de verdere perfectionering van absorptiekoelmachines voor airconditioning. Het gaat hier om koelmachines met water en lithiumbromide als werkstoffen. Deze kunnen water koelen tot circa 5 °C. Van groot belang voor de benutting van restwarmte is dat de benodigde temperatuur voor aandrijving steeds lager wordt. Er zijn inmiddels machines die met een goet rendement kunnen werken met water van 80 °C. Opmerkelijk genoeg zijn deze machines compacter en lichter dan de conventionele machines op heet water. Bovendien zijn ze in relatief kleine vermogens beschikbaar. Al met al bieden deze ontwikkelingen aanzienlijk meer kansen voor het gebruik van absorptiekoeling op restwarmte dan de traditionele absorptie-

koelmachines.

De absorptiemachine op lithiumbromide is niet altijd inzetbaar in de industrie. Wie ijswater nodig heeft of een glycolmengsel onder nul of wie moet vriezen, kan een dergelijke machine niet direct gebruiken. De absorptiekoelmachine op ammoniak kan dat wel. De Nederlandse bedrijven Colibri en Stork Thermeq werken samen met succes aan deze technologie. Hun machines worden vooral toegepast in de voedingsindustrie en procesindustrie met restwarmte als aandrijving. Uiteraard is de benodigde temperatuur van de restwarmte hoger naarmate sterker gekoeld moet worden. Recent heeft DSM een absorptiemachine laten bouwen met een koelcapaciteit van 6,5 MW voor koeling tot zelfs -55 °C. Bij een dergelijke temperatuur is stoom van een redelijke druk nodig. Een koelmachine voor het koelen van een glycolmengsel van -5 naar -10 °C bij Stegeman werkt op de restwarmte van een gasmotor met een maximum temperatuur van 120 °C. Het koelvermogen van deze machine is 300 kW.

Restwarmte is geen goudmijn. Wie bereid is om door te zetten en samen te werken met buren kan echter fraaie resultaten bereiken. ■

Literatuur

- Dr.-Ing. Th. Bergmann, Hochttemperatur-Brennwerttechnik, Euroheat & Power/ Fernwärme
- Ingwald Obernberger ea, Description and evaluation of the new 1000 kW ORC process integrated in the biomass CHP plant in Lienz, Euroheat & Power oktober 2002
- Hilel Legmann, ORC Heidelberger Zementplant Lengfurt one year of operating experience, IDA papers 3828
- Prof.ir. Jos van Buijtenen, ORC als bottoming cycle voor gasmotoren, CD-ROM stortgas Energieprojecten.com 2002
- Ing. K. de Jong, Transport van warmte per vrachtauto, NPT Procestechologie februari 2002
- Ing. K. de Jong, Koelen met restwarmte is best wel aantrekkelijk, Verwarming & Ventilatie april 2002
- Dr.ing. J. Klimstra en ing. K. de Jong, Optimaal profijt van aardgasdruk, Energietechniek maart 2002

Workshops benutting van restwarmte

Op 13 mei en 16 september 2003 organiseert Energieprojecten.com workshops over de benutting van restwarmte uit de industrie. In de workshop op 13 mei in Zaltbommel worden de ontwikkelingen besproken om restwarmte van lage temperatuur ook zinvol in te zetten. Op 16 september worden in Groningen de ontwikkelingen behandeld voor omzetting van restwarmte in elektriciteit of koude. Beide zijn tegen een geringe kostenvergoeding toegankelijk voor wie beroepsmatig betrokken is bij energie. Meer informatie is te vinden op www.restwarmte.nl. Hier kunt u zich ook via e-mail inschrijven. Inschrijven kan ook per fax: (0521) 52 34 21. Voor meer informatie: (0521) 52 25 70.