



Energy research Centre of the Netherlands

Warmte opwerken met geluid

S. Spoelstra

Gepubliceerd in Reformatorisch Dagblad juli 2009

Thermo-akoestische warmtepomp maakt industriële restwarmte exploiteerbaar

Warmte opwerken met geluid

Glasblazers weten het allang: als je een pijp glas in een felle vlam verhit, kan deze spontaan gaan zingen. Hoe langer de pijp, hoe lager de toon. Ingenieuze knutselaars maakten al in de 19e eeuw met dit effect een vuurorgel met hete orgelpijpen. Boeiend om te zien branden, luguber om te horen. Nu weten wetenschappers ook het omgekeerde effect te benutten: verwarmen, en zelfs koelen met geluid.

W. J. Eradus

Het Energie Centrum Nederland (ECN) laat zien dat dit geen science-fiction is, maar een veelbelovende technologie om superwarmtepompen te maken. Was voorheen de naam van het onderzoeksinstituut ECN gekoppeld aan onderzoek naar de opwekking van kernenergie, nu houden de onderzoekers in de duinen bij Petten zich vooral bezig met het duurzaam toepassen van allerlei andere vormen van energie. Een van uitdagingen daarbij is het beter benutten van industriële afvalwarmte, die nu nog massaal in het milieu verdwijnt.

Onderhoudsarm

Projectleider Simon Spoelstra schat dat hiermee alleen al in Nederland een miljoen huishoudens van warmte kunnen worden voorzien. „Energieomzetting met geluid is daar uitstekend geschikt voor. Daartoe hebben we de laatste tien jaar veel onderzoek gedaan aan de zogeheten thermo-akoestische warmtepomp. Waar in een gewone warmtepomp, zoals in een koelkast, een compressor mechanisch het koelmiddel rondpompt, maakt onze nieuwe ECN-pomp gebruik

van geluidsgolven voor de energieoverdracht. Zo'n warmtepomp heeft geen bewegende delen en is onderhoudsarm. In plaats van een milieubelastend koelmiddel gebruiken we heliumgas als werkmedium.”

Orgelpijp

Spoelstra laat een proefopstelling zien: een lange glazen buis met links een elektrisch verwarmingselement en een soort luchtdoorlatende metalen prop. Aan de andere kant is precies dezelfde constructie in de glazen buis aanwezig. Als het verwarmingselement wordt aangezet, gebeurt er aanvankelijk niets, maar als de temperatuur oploopt tot zo'n 120 graden, begint de buis zacht te brommen. Spoelstra legt uit dat de zingende buis van de glasblazer weer tot leven is geroepen.

Aan de andere zijde van de buis gebeurt nu iets verrassends: over de tweede prop ontstaat een toenemend temperatuurverschil. Zichtbaar op de thermometers en even later ook voelbaar op de twee metalen tastplaatjes op de glazen wand.

Spoelstra, glimlachend: „Iedereen die hier komt kijken, gelooft pas dat energieoverdracht met geluid echt werkt als ze het temperatuurverschil kunnen voelen. Eerlijk gezegd moesten wij ook overtuigd worden, toen uitvinder Kees de Bok in 1999 bij ons aanklopte met een demonstratiemodel. Een jaar later begonnen we met dit onderzoeksprogramma, waaraan hij ook verbonden was.”

„We werken hier in het laboratorium met akoestische vermogens tot ongeveer 1 kilowatt (kW). Maar om voor de industrie interessant te worden, moeten we het systeem sterk opschalen.



● Als een pijp glas in een felle vlam wordt verhit, kan deze spontaan gaan zingen. Hoe langer de pijp, hoe lager de toon.

Foto's ECN

Volgend jaar willen we ervaring opdoen met een 10 kW systeem, gevolgd door een veldtest in 2012 met 100 kW. Het uiteindelijke doel is om 1000 kW te testen op technische en economische haalbaarheid, maar dan zijn wel

weer wat jaartjes verder.”

Als belangrijkste toepassing ziet Spoelstra het opwerken van grote hoeveelheden restwarmte van de industrie. „Vloeistoffen of rookgassen van bijvoorbeeld 140 graden zijn nu te

'koud' om weer gebruikt te worden. De thermo-akoestische warmtepomp is echter in staat om deze waardeloze restwarmte een temperatuurverhoging te laten ondergaan van wel 100 graden. En met 240 graden warmte kan de in-

dustrie weer zinnige dingen doen”, weet Spoelstra.

Door het simpel omdraaien van de aansluitingen van de thermo-akoestische warmtepomp wordt de temperatuur juist 100 graden verlaagd. „Het is in de VS zelfs gelukt om aardgas vloeibaar te maken. Daarvoor moet het aardgas tot -160 graden worden afgekoeld. Wordt bij olieplatforms in zee het meekomende gas doorgaans als onbruikbaar afgefakkeld of gewoon in de atmosfeer geloosd, nu kan dit aardgas met een omgedraaide thermo-akoestische warmtepomp diep worden gekoeld en als vloeistof per schip getransporteerd. Het aardige daarbij is dat deze warmtepomp zelf door het verbranden van een klein deel van dit aardgas wordt aangedreven.”

In de elektronische industrie biedt kleinschalige thermo-akoestiek nieuwe perspectieven voor het koelen van chips. Een piezo-elektrisch element (een soort luidsprekertje, WJE) wekt de benodigde akoestische trillingsenergie op. In de spaceshuttle gebruiken de astronauten een thermo-akoestische diepvriezer om bloed en urine te conserveren voor biomedische experimenten.

Elektriciteit

Behalve als warmtepomp kan thermo-akoestische energieoverdracht voor elektriciteitsopwekking worden ingezet. In dat geval drijft akoestische trillingsenergie een lineaire motor (een speciale dynamo) aan die geluidsgolven omzet in elektrische stroom.

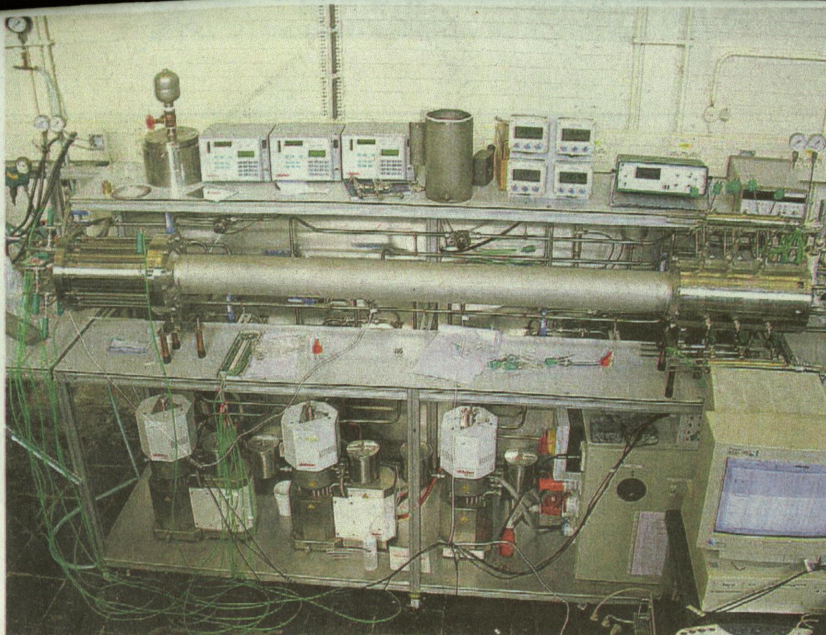
De mogelijkheid om industriële restwarmte zo om te zetten in elektriciteit wordt momenteel technisch uitgewerkt door Aster Thermoakoestische Syste-

men, het bedrijf van uitvinder Kees de Bok, en Huisman Elektrotechniek, in samenwerking met Innoforte voor de economische aspecten.

Dit initiatief werd op 16 april, tijdens de opening van het Nationaal Expertisecentrum Warmte, al door minister van Economische Zaken Van der Hoeven gehonoreerd met een oorkonde. Het is de bedoeling om volgend jaar een demonstratie-installatie te kunnen realiseren bij een Nederlandse papierfabriek.



● Het vuurorgel of de pyrofoon is in de 19e eeuw ontwikkeld als muzikale toepassing van thermo-akoestiek. De glazen pijpen worden voorverwarmd met kleine vlammetjes. Als een toets wordt ingedrukt, zal een vlammetje feller gaan branden en ontstaat in de desbetreffende orgelpijp een toon. Het curieuze orgeltje is te zien in het Science Museum te Londen.



● Proefopstelling van een thermo-akoestische warmtepomp bij ECN in Petten.

Zachtzoemende buis

De proefopstelling in het ECN-lab bestaat uit een lange glazen buis. Links bevindt zich een elektrisch verwarmingselement en een soort doorlatende metalen prop, opgebouwd uit meer dan honderd flinterdunne platen, de zogenaamde regenerator. Deze regenerator is ingeklemd tussen twee warmtewisselaars voor toe- en afvoer van warmte. Aan de andere kant is precies dezelfde constructie in de glazen buis te zien.

Als het verwarmingselement wordt aangezet, wordt de linkerkant van de prop opgewarmd. Dit geeft een temperatuurverschil. Als dit verschil is opgelopen tot zo'n 120 graden ontstaat er een akoestische trilling die over de lengte van de buis gaat resoneren, net als bij een orgelpijp. Dit is de zogenaamde thermo-

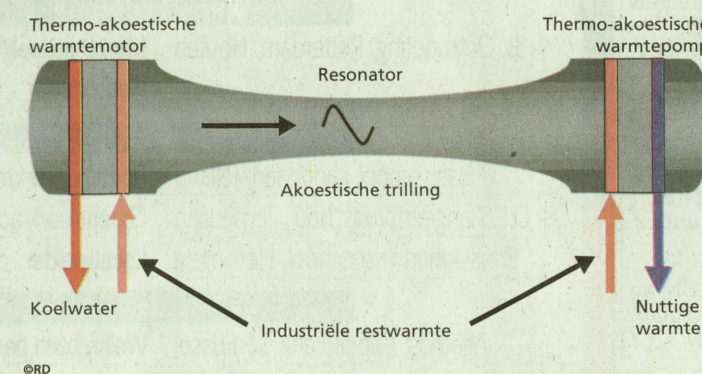
akoestische motor (TA-motor), die een warmteverschil omzet in een akoestische trilling.

Aan de andere zijde van de buis gebeurt precies het omgekeerde. De opgewekte akoestische trillingen doen tussen de warmtewisselaars aan weerszijden van de tweede regenerator een toenemend temperatuurverschil ontstaan. Dit is de zogenaamde thermo-akoestische warmtepomp (TA-warmtepomp). Met dit temperatuurverschil, dat kan oplopen tot 100 graden, kun je een vloeistof extra heet maken of, door simpel de aansluitingen van de TA-warmtepomp om te draaien, diep koelen.

In plaats van met een elektrisch verwarmingselement kan de TA-motor gevoed worden met industriële restwarmte.

De opgewekte akoestische trilling wordt versterkt in de lange buis, die als resonator fungeert. Als aan de andere kant van de buis dezelfde restwarmte wordt toegevoerd aan de TA-warmtepomp

ontstaat daar een temperatuurverhoging van de restwarmte met wel 100 graden. Door deze 'opwaardering' kan de restwarmte weer nuttig worden gebruikt. Het apparaat ziet er eenvoudig uit.



Bewegende delen, zoals compressors, ontbreken. „Maar de thermodynamische theorie erachter is vrij complex”, waarschuwt Spoelstra. „Als je een gas samenperst, zal het heter worden. Bij expansie, dus vergroting van het volume, koelt het juist af. Dat gebeurt ook bij geluidsgolven, daar wordt de lucht afwisselend opgewarmd en afgekoeld. Bij het gesproken woord is dat nauwelijks meetbaar, in de orde van 0,0001 graad. Maar hier in de glazen buis heeft de opgewekte, energierijke geluidstrilling een geluidsniveau van 170 decibel (dB), zoals dat heerst dicht bij de motor van een startende straaljager.”

Die akoestische power blijft echter binnen de buis. Er is slechts een zacht zoemen bij de testopstelling hoorbaar.