

# Energie Verslag Nederland 1995

## Techniek en onderzoek

<a href="#">Afvalverwerking</a>	2
<a href="#">Archimedes Wave Swing</a>	3
<a href="#">Bio-ontzweveling van rookgas</a>	3
<a href="#">Combinatie koude- en warmteopslag</a>	4
<a href="#">Demonstratieproject brandstofcellen</a>	4
<a href="#">Eerste koudenet</a>	6
<a href="#">Gasgestookte en elektrische compressiewarmtepomp</a>	7
<a href="#">Gasgestookte micro warmte/kracht</a>	8
<a href="#">HR-glas</a>	8
<a href="#">Investering in R&amp;S-productielijn</a>	9
<a href="#">Megapower-project</a>	9
<a href="#">Ontwikkeling afzet en marktprijs zonneboilers</a>	10
<a href="#">Thermische zonne-energie en warmteopslag</a>	10
<a href="#">Toepassingen PV-systemen</a>	11

## Afvalverwerking

Bij afvalbeleid wordt een aanpak in vier thema's gehanteerd: storten, verbranden (met energieproductie), hergebruik en preventie (de 'ladder van Lansink'). Vanaf 1 januari 1996 zal een algeheel stort- en exportverbod gelden voor brandbaar afval. Verbranden wordt daarmee het laatste vangnet van afval. De huidige capaciteit van de afvalverbrandingsinstallaties (AVI's), goed voor 3 Mton brandbaar afval per jaar, is echter nog niet voldoende om het aanbod van brandbaar afval te verwerken. Tot begin 1997 geldt daarom nog een vrijstelling voor het storten van bepaalde soorten afval. De komende vijf jaar moet de capaciteit van AVI's toenemen tot ongeveer 5 Mton brandbaar afval per jaar, waarbij rekening wordt gehouden met het verwachte dalende aanbod van brandbaar afval. Verder komen enkele AVI's in aanmerking voor modernisatie dan wel vervanging. Vandaar dat nieuwe technieken voor afvalverbranding in de belangstelling staan.

AVI's maken op dit moment gebruik van de roosterverbrandingstechnologie. Het verbrandingsproces vindt plaats op een rooster, dat aan de onderkant wordt aangeblazen met verbrandingslucht. De warmte van dit verbrandingsproces wordt vervolgens benut door het hete rookgas te gebruiken voor de productie van stoom. De stoom kan direct gebruikt worden voor industriële toepassingen, maar wordt tot nu toe veelal indirect gebruikt voor de productie van elektriciteit. AVI's kunnen eveneens ingezet worden voor stadsverwarming. Door de inzet van AVI's in de energievoorziening draagt afvalverbranding niet alleen bij tot een oplossing van het afvalprobleem. Een ander belangrijk voordeel is dat op deze wijze de uitstoot van CO<sub>2</sub> en andere milieubelastende componenten door conventionele energieconversieprocessen wordt vermeden.

Landelijk wordt ongeveer 2.000 kg afval per hoofd van de bevolking geproduceerd, waarvan 400 kg huishoudelijk afval en 1600 kg industrieel afval. Het totaal opgesteld elektrisch vermogen van AVI's is 250 MW<sub>e</sub>. De warmtelevering bedraagt 2,5 PJ. Het gemiddelde rendement van de AVI's is ongeveer 23%, wat neerkomt op een productie van 440 kWh elektriciteit per ton afval.

De KEMA heeft samen met Haskoning een evaluatie uitgevoerd van de technische haalbaarheid van ruim 30 kansrijke technieken voor de verwerking van afval. Criteria voor de selectie van deze technieken zijn divers en kunnen onderling concurrerend zijn. Gekeken is onder meer naar de verwerkingskosten, rookgasemissies, de kwaliteit van reststoffen, de bedrijfsvoering en het energetisch rendement. Voor de komende tien jaar worden als veelbelovende verwerkingstechnieken genoemd: geoptimaliseerde roosterverbranding, pyrolyse gevolgd door verbranding, pyrolyse gevolgd door vergassing, wervelbedverbranding, wervelbedvergasning en een combinatie van scheiden, vergisten en verbranden. Alleen roosterverbranding en wervelbedverbranding zijn bewezen technieken. De verwachting is dat daarom de verwerkingskosten van deze technieken lager zullen zijn dan die van de andere relatief nieuwere technieken. Het energetisch rendement varieert van 12 tot 21%, waarbij roosterverbranding het hoogste uitvalt. Bovendien verwacht men met het roosterverbrandingsproces een rendement te kunnen halen van 27%. De effectscores van bovengenoemde verwerkingstechnieken voor milieugerelateerde criteria zijn vergelijkbaar. Daarom wordt gesteld dat voor de komende tien jaar roosterverbranding de aantrekkelijkste afvalverwerkingstechniek blijft. Voor de verwerking van afvalhout wordt het bijstoken in poederkoolgestookte centrales als een technisch haalbare optie gezien.

In 1995 wordt de AVI-Alkmaar in bedrijf genomen. De nominale capaciteit van deze installatie, die minder dan een half procent aan onverwerkbaar afval overhoudt (200 ton), wordt geschat op 385.000 ton afval; dat is goed voor een elektrisch vermogen van 38 MW<sub>e</sub>. Er zijn plannen om de AVI in te zetten bij de warmtelevering aan de Vinex-lokatie tussen Heerhugowaard, Alkmaar en Langedijk. Een ander opvallend project is de geplande levering van stoom, geproduceerd door de AVI-Moerdijk, aan de warmte/kracht-centrale die EPZ momenteel bouwt aan de Moerdijk.

### **Archimedes Wave Swing**

Op grond van een technische en economische haalbaarheidsstudie, verricht door ECN, wordt geconcludeerd dat de Archimedes Wave Swing (AWS) een rendabele duurzame energietechnologie kan worden, waarvoor een grote markt aanwezig is. De AWS maakt gebruik van de wisselende waterdruk die als gevolg van deining onder de zeespiegel voorkomt. De waterdruk wordt bepaald door de hoogte van de waterkolom tussen het betreffende meetpunt en de zeespiegel. Door de natuurlijk aanwezige deining varieert de waterdruk op dit meetpunt periodiek. De AWS zet deze wisselende waterdruk om in een op- en neergaande beweging door gebruik te maken van de Wet van Archimedes. Deze wet leert dat de opwaartse kracht in een fluïdum gelijk is aan het gewicht van het verplaatste fluïdum. Bij de AWS is lucht gevangen onder een soort paddestoelhoed, drijvend op ongeveer 20 meter onder de zeespiegel. Het volume van de luchtbel bepaalt de verplaatste hoeveelheid zeewater en daarmee de opwaartse kracht op de drijver. De wisselende waterdruk veroorzaakt een wisselend volume van de luchtbel en hiermee een periodiek wisselende opwaartse kracht op de drijver. De hierdoor optredende op- en neergaande beweging van de drijver wordt door middel van een schroefdraad omgezet in een draaiende beweging, zodat op directe wijze een generator kan worden aangedreven.

Het principe van de AWS, een vinding van Teamwork Techniek uit Purmerend, is verder uitgewerkt door uit te gaan van een ontwerp met drie drijvers. Deze zijn door een luchtleiding met elkaar verbonden, zodat de op- en neergaande beweging van elke drijver versterkt wordt. De diameter van de drijvers is 20 meter. Door de drijvers zwaar uit te voeren, gedacht wordt aan een massa van 1.000 ton, fungeren ze bovendien als vliegwiel. Hierdoor is de energieproductie van de AWS minder afhankelijk van het wisselende karakter van de deining.

Het potentieel van de AWS zou volgens Teamwork Techniek wereldwijd 48.000 MW<sub>e</sub> zijn. Hierbij is verondersteld dat 1.000 kilometer kustlijn geschikt is voor plaatsing van AWS-eenheden. Per kilometer kustlijn kunnen maximaal 6 AWS-eenheden van elk 8 MW<sub>e</sub> worden geplaatst. Voor de berekening van het kustlijnpotentieel is uitgegaan van een totale kustlijnlengte van 20.000 kilometer, waarvan bij 10% direct aan de kust een elektriciteitsnet aanwezig is. Bij de helft van deze gevallen komt de vereiste deining van circa 1 meter voor. Onderzoek aan een schaalmodel in het Waterloopkundig Laboratorium moet uitwijzen of een demonstratie-eenheid van 8 MW voor de kust van Portugal realiseerbaar is. Toepassing van de AWS is voor de Nederlandse kust vanwege de hier voorkomende deining niet mogelijk.

### **Bio-ontzwaveling van rookgas**

Door de introductie van chemische rookgasreinigingsinstallaties voor kolengestookte centrales zijn elektriciteitsproducenten bekender geworden met chemische processen.

De tijd lijkt nu rijp voor biotechnologie. Het bedrijf Biostar, een samenwerkingsverband tussen het in biotechnologie gespecialiseerde Paques en Hoogovens Technical Services (HTS), heeft een tweejarig project afgerond waarbij een deel van het rookgas van de kolengestookte centrale van Geertruidenberg biologisch is ontzwaveld. Het eindproduct is zuivere zwavel, wat gebruikt kan worden voor chemische processen. De massastroom van het ontzwavelde rookgas komt overeen met die van een eenheid van 2 MW<sub>e</sub>. Het project heeft geresulteerd in een biochemische installatie die sinds mei 1995 draait. Het ontzwavelingsrendement van het proces is meer dan 95%. De bedrijfskosten zijn 30% lager dan die van een conventionele rookgasontzwavelingsinstallatie.

Op laboratoriumschaal is bovendien aangetoond dat de bacteriën ook in staat zijn om gelijktijdig stikstofoxyden uit het rookgas te verwijderen. Tot nu toe worden gescheiden ontzwavelings- en DeNO<sub>x</sub>-installaties gebruikt voor de reiniging van het rookgas van fossiel gestookte energieconversieprocessen. Het biochemische proces is ook geschikt voor het reinigen van kleine rookgashoeveelheden afkomstig uit bijvoorbeeld petrochemische installaties en cokes-fabrieken. Biostar richt zich op de bouw van een demonstratie-eenheid in de VS, waar de kolengestookte elektriciteitsproductie-eenheden nog niet met een rookgasreinigingsinstallatie zijn uitgerust.

### **Combinatie koude- en warmteopslag**

Koudeopslag kan goed gecombineerd worden met een warmteopslagsysteem. Bij beide systemen is het opslagmedium immers grondwater. Het bij koeling tot omgevings-temperatuur opgewarmde grondwater wordt in het warmteopslagsysteem opgeslagen. Een warmtepomp gebruikt dit relatief warme grondwater voor de productie van comfortwarmte. De warmtepomp onttrekt hierbij warmte aan het grondwater, dat in temperatuur daalt en weer naar het koudeopslagsysteem wordt geleid. Deze gecombineerde koude- en warmteopslag wordt toegepast bij Anova Verzekeringen in Amersfoort. De temperatuur van het koel- en warmtemedium is resp. 8°C en 20°C. De energiebesparing wordt geschat op ongeveer 40%.

### **Demonstratieproject brandstofcellen**

In februari wordt bekend dat in 1997 een Solid Oxide Fuel Cell-eenheid (SOFC) elektriciteit gaat leveren aan het openbare net en warmte aan het stadsverwarmingsnet van Duiven en Westervoort. Het betreft een installatie met een vermogen van 100 kW, welke daarmee de grootste eenheid van dit type ter wereld is. In het demonstratieproject participeren het Amerikaanse Westinghouse, de leverancier van de brandstofcellen, EnergieNed, de energiedistributiebedrijven NUON, EDON, PNEM, ENECO, RED en MEGA Limburg en Elsam, een overkoepelende organisatie van 6 elektriciteitsbedrijven uit Denemarken. Het project heeft een looptijd van 2 jaar, waarbij de SOFC-eenheid gedurende 7500 uur aan een intensief testprogramma wordt onderworpen. De investeringskosten bedragen f. 20 miljoen.

In een brandstofcel wordt door een elektrochemische reactie van waterstof en zuurstof direct elektriciteit geproduceerd. Het reactieproduct is water. Het rendement van dit proces is niet thermodynamisch begrensd door het Carnot-rendement, zoals bij conventionele verbrandingstechnologieën, en kan daardoor veel hoger uitvallen. Netto rendementen van 65% zijn haalbaar. Brandstofcelsystemen voor elektriciteitsproductie hebben in de praktijk rendementen van 40 tot 55%. Verwacht wordt dat druksystemen in combinatie met een gasturbine zelfs een rendement van 70% kunnen halen.

Bij toepassing van brandstofcellen als warmte/kracht-eenheid is de temperatuur van de restwarmte bepalend voor het totale rendement. De milieubelasting van brandstofcellen is laag, ook als bijvoorbeeld aardgas wordt gebruikt voor de productie van waterstof en koolmonoxyde (stoomreforming). Verder heeft het achterwege blijven van bewegende delen een positieve invloed op de betrouwbaarheid. Brandstofcellen kunnen worden toegepast als een stationaire eenheid in de energievoorziening en, vanwege het goede deellastgedrag, als elektriciteitsproductie-eenheid voor elektromotoren in transportvoertuigen.

Het huidige brandstofcelonderzoek heeft betrekking op de ontwikkeling van de gehele systeemconfiguratie, bestaande uit de stack, de stapeling van brandstofcellen en randapparatuur, zoals bijvoorbeeld de reformer (gasvoorbereiding) en stroomomvormer. De vier onderscheiden typen brandstofcellen worden gekenmerkt door het toegepaste elektrolyet. Van de hieronder beschreven typen worden de Phosphoric Acid Fuel Cell (PAFC) en de Solid Polymer Fuel Cell (SPFC) toegepast voor de tractiemarkt.

De brandstofcel met fosforzuur als elektrolyet, de *PAFC*, is in de ontwikkeling het verst gevorderd en verkeert al in de pre-commerciële fase. Wereldwijd zijn ongeveer 100 stationaire eenheden van 200 kW<sub>e</sub> operationeel. De investeringskosten zijn met f. 5.000 per kW nog een factor twee tot drie hoger dan die van conventionele technieken voor elektriciteitsproductie, maar de bedrijfszekerheid van deze eenheden is al groot te noemen. In de VS wordt de PAFC ook toegepast in stadsbussen. Lokale smogproblemen hebben hier geleid tot een stimulerend overheidsbeleid voor de implementatie van milieuvriendelijkere transporttechnologieën. De tractie-PAFC moet echter concurreren met schone verbrandingsmotoren, waarvan de investeringskosten (tussen de 80 en f. 400 per kW) duidelijk lager zijn dan die van de PAFC. Het rendement van de PAFC is, afhankelijk van de toepassing, 40%. De gemiddelde werkt temperatuur van de PAFC ligt rond 200°C. De temperatuur van de restwarmte bedraagt 80-100°C.

De *Molten Carbonate Fuel Cell* (MCFC) bevindt zich nog niet in de pre-commerciële fase. Het rendement zal naar verwachting hoger zijn dan dat van de PAFC (50 tot 60%), bij een gemiddelde werkt temperatuur van 650°C. Er wordt wereldwijd gewerkt aan de ontwikkeling van de MCFC. Japan streeft naar een demonstratie-eenheid van MW-vermogen in 1997 en in de VS werken MC-Power en Energy Research Corporation toe naar commercialisatie van de MCFC. De investeringskosten van de in Californië operationele 2 MW<sub>e</sub> MCFC-eenheid van ERC bedragen f. 8.000 per kW<sub>e</sub>. Brandstofcel Nederland (BCN), een joint venture van Stork, Koninklijke Schelde Groep en ECN, heeft de kansen voor commercialisatie van de eerste generatie MCFC-technologie bekeken. Uit het onderzoek blijkt dat een tweede generatie MCFC-technologie meer kans heeft om in aanmerking te komen voor demonstratie. BCN richt zich daarom op de ontwikkeling van deze tweede MCFC-generatie. Op dit moment gaat de aandacht vooral uit naar materiaaltechniek en de mogelijkheid voor interne reforming van aardgas. In het MCFC-onderzoek, dat ondersteund wordt vanuit het Joule/Thermie-programma, speelt Nederland een belangrijke rol.

De *SOFc* heeft een rendement van 50 tot 60% en een restwarmtetemperatuur van 1000°C. In Japan, de VS en bij enkele Europese ondernemingen lopen onderzoeksprogramma's. De bijdrage van Nederland bestaat uit een samenwerkingsverband van ECN met Siemens in een EU-onderzoeksprogramma en de levering van SOFC-cellen door ECN aan Sulzer. De investeringskosten liggen nog een aantal factoren hoger en

de ontwikkeling is minder ver dan die van de MCFC. De eerder genoemde demonstratie-eenheid van Westinghouse moet worden gezien als een tussenstap op weg naar systemen met een vermogen van enkele MW's.

De brandstofcellen met een polymeer als elektrolyt, de *SPFC*, hebben een hoge vermogensdichtheid en zijn vanwege de compacte bouw geschikt voor de tractiemarkt. Het rendement is ongeveer 40%, bij een restwarmtetemperatuur van 80°C. De SPFC wordt onder meer toegepast in stadsbussen voor de Canadese markt. De SPFC komt ook meer in beeld voor stationaire toepassingen. Marktleider is het Canadese bedrijf Ballard, dat een ontwikkelingsprogramma heeft voor een aardgasgestookte warmte/kracht-eenheid van 250 kW<sub>e</sub>. Men denkt een kostprijs van ongeveer f 2.000 per kW<sub>e</sub> te kunnen bereiken.

### Eerste koudenet

De energiebedrijven EBA (Amsterdam) en Eneco (Den Haag) gaan via een koudenet koude leveren aan enkele nieuwe kantoorgebouwen. In Amsterdam wordt de koude geproduceerd door een absorptiekoelmachine, aangedreven met warmte van een warmte/kracht-eenheid. In Den Haag betreft het koudelevering via een koudeopslagsysteem. Met beide koudenetten wordt nu ook in ons land een begin gemaakt met stadskoeling. De aan de afnemers geleverde koude wordt verrekend volgens het 'niet-meer-dan-anders' principe. Het tarief is dus niet hoger dan de kosten die de afnemer zou maken indien zelfstandig koude zou worden geproduceerd met compressiekoelmachines. Het voordeel voor de afnemer is dat de investering en het onderhoud voor rekening zijn van het energiebedrijf. De investeringskosten van het koudenet worden door de energiebedrijven terugverdiend, doordat ze dezelfde kosten in rekening kunnen brengen bij de klant, maar minder elektriciteit afnemen bij de elektriciteitsproductiebedrijven.

In Amsterdam worden in het kader van het project De Omval bij station Amstel drie nieuwe kantoorgebouwen met een totaal vloeroppervlak van 130.000 m<sup>2</sup> worden voorzien van warmte, koude en noodstroom. Vier warmte/kracht-eenheden van totaal 2,6 MW<sub>e</sub> worden in de winter gebruikt voor de productie van warmte (3,9 MW warmte). In de zomer wordt de vrijkomende warmte benut voor de aandrijving van een absorptiekoelmachine (2,1 MW koude). De koudebehoefte is hiermee voor 40% gedekt. Aan een piekvraag naar warmte kan worden voldaan met een buffertank en ketels (8,8 MW warmte). Voor de restvraag naar koude zijn conventionele compressiekoelmachines beschikbaar. De investeringskosten van het project bedragen f. 12 miljoen. Men verwacht een terugverdientijd van zeven jaar.

Het energiebedrijf Eneco meent dat koudelevering door koudeopslag goedkoper is dan absorptiekoeling, aangedreven met warmte van een stadsverwarmingsnet. De investeringskosten zijn lager, de bereikte energiebesparing is groter. Inmiddels zijn in Nederland al 16 projecten met koudeopslag gerealiseerd. In Den Haag betreft het een koudenet voor het gebouw van het ministerie van VROM en drie nieuwe kantoorgebouwen (project De Resident), gelegen nabij het Centraal Station met een totaal vloeroppervlak van 200.000 m<sup>2</sup>. De koude wordt betrokken van een koudeopslagsysteem, dat met een capaciteit van 4,8 MW koude het opslagsysteem van het nieuwe stadhuis van Den Haag (3,5 MW koude) van de eerste plaats dringt. Het systeem maakt in de zomer gebruik van in de winter afgekoeld grondwater, afkomstig uit een op ongeveer 30 meter diepte gelegen zandlaag. Het water gaat via een gesloten circuit

terug naar een tweede put in de grond. In de winter worden koeltorens ingezet om het water te koelen. Bij buitentemperaturen boven de 22°C worden de al aanwezige koelmachines van het VROM-gebouw ook ingezet. De investeringskosten van het project bedragen f. 6 miljoen.

### **Gasgestookte en elektrische compressiewarmtepomp**

Warmtepompen onttrekken warmte aan een medium met een laag temperatuurniveau en pompen deze naar een medium met een hoger temperatuurniveau. Als het nut van de pomp toegekend wordt aan de hoge temperatuurzijde spreekt men van een warmtepomp, als het nut vooral aan de koude kant ligt wordt de pomp een koelmachine genoemd. Een warmtepomp bespaart energie doordat omgevingswarmte uit de atmosfeer of uit de bodem (direct via het koudemedium van de warmtepompcyclus of indirect via het grondwater) wordt benut. Het rendement van een warmtepomp, de Coefficient of Performance (COP), is daarom groter dan 100%. De gasgestookte compressiewarmtepomp en de elektrische compressiewarmtepomp, hierna genoemd warmtepomp, zijn in tegenstelling tot de absorptiewarmtepomp mechanisch.

Eén van de componenten van een warmtepomp is de compressor. Deze kan worden aangedreven door een gasgestookte verbrandingsmotor of een elektromotor. De energiebesparing van een gasgestookte warmtepomp en die van een elektrische warmtepomp is onderling vergelijkbaar. Ze valt in het voordeel uit van de elektrische warmtepomp indien elektriciteit wordt betrokken van een warmte/kracht-eenheid. Verder neemt de aantrekkelijkheid van de gasgestookte warmtepomp bij een verlaging van de warmtevraag af. Het vermogen van de gasgestookte verbrandingsmotor kan immers minder afnemen dan in het geval van de elektromotor. Dit schaaffect is daarom in mindere mate van toepassing voor elektrische warmtepompen. Bij elektrische warmtepompen treedt een verschuiving op van zuigercompressoren naar roterende compressoren. De roterende compressor heeft een kleiner aantal onderdelen, wat de levensduur en de COP verbetert. De COP wordt ook bepaald door het optredende temperatuurverschil (temperatuurlift) tussen het koude en warme medium. De maximale temperatuurlift van elektrische warmtepompen bedraagt ongeveer 40°C. Rendementsverbeteringen zijn te verwachten door ontwikkeling van de regeling van het expansieventiel en de regeling van de elektromotor van de compressor van de elektrische warmtepomp.

Op dit moment zijn de investeringskosten van een warmtepomp nog een factor twee tot drie hoger dan die van de gasgestookte HR-ketel (kosten verwarmingssysteem niet meegenomen). De warmtepomp moet zich terugverdienen door een lager gas- of elektriciteitsverbruik. Bij een hoge COP vallen de energiekosten lager uit. Een hogere COP kan worden bereikt door de temperatuurlift te beperken. De aantrekkelijkheid van de warmtepomp is daarom afhankelijk van de temperatuur van de geleverde warmte. Deze wordt mede bepaald door de configuratie van het totale verwarmingssysteem. Dit kan bijvoorbeeld een combinatie zijn van een warmtepomp, vloerverwarming, lage-temperatuurradiatoren en een gemeenschappelijke grondwaterbron. De elektrische warmtepomp kan ook worden gecombineerd met een warmtebuffer. Dit biedt de gebruiker de mogelijkheid gebruik te maken van het nachttarief voor elektriciteit en aldus te besparen op zijn elektriciteitsrekening.

Elektrische warmtepompen worden wereldwijd vooral toegepast als reversible air-conditioners. Deze kunnen in de wintermaanden voor ruimteverwarming worden in-

gezet. In ons land gaat de aandacht vooral uit naar de plaatsing van elektrische 'heating-only' warmtepompen in nieuwe woningen, die zowel voor ruimteverwarming als warm tapwater geschikt zijn. Men verwacht ook mogelijkheden voor elektrische warmtepompboilers voor uitsluitend warm tapwater. Op dit moment zijn er nog weinig elektrische warmtepompen voor individuele woningen geïnstalleerd. REMU heeft in Utrecht 1500 elektrische warmtepompboilers geplaatst. Men onderzoekt ook de mogelijkheden voor de ombouw van elektrische boilers tot warmtepompboilers. Verder heeft Remu in oktober 1995 6 woningen in Amersfoort voorzien van elektrische warmtepompen. De ervaringen van de bewoners met en de prestaties van de warmtepompen zullen zorgvuldig worden gemeten en geëvalueerd.

### **Gasgestookte micro warmte/kracht**

De exergieverliezen bij warmteoverdracht nemen toe bij een verhoging van het temperatuurverschil tussen het warme en koude medium. De exergieverliezen van de huidige aardgasgestookte CV-ketels zijn aanzienlijk te verminderen door de hogetemperatuurwarmte van het verbrandingsproces eerst te benutten voor elektriciteitsproductie en de restwarmte te gebruiken voor verwarming of warm tapwater. Een mogelijkheid is uitvoering van de ketel met een indirect gestookte gesloten gasturbinecyclus, met lucht als werkmedium. De gasturbine is gekoppeld aan een generator die elektriciteit produceert. Coman en Grontmij zijn betrokken bij de ontwikkeling van de NGF-HPT-systeem (Natural Gas Feedstock-Home Power Turbo), een aardgasgestookte combiketel met gesloten gasturbinecyclus. De ontwikkeling betreft een micro warmte/kracht-ketel met een nominaal elektrisch vermogen van 1 tot 3 kW<sub>e</sub>. Het gaat hierbij vooral om de integratie van al op de markt verkrijgbare componenten van het NGF-HPT-systeem. Men verwacht binnen twee jaar een demonstratieproject te kunnen starten. In een later stadium wordt de haalbaarheid van een NGF-HPT-systeem met een vermogensrange van 5 tot 80 kW<sub>e</sub> bekeken. Beide systemen kunnen in de volledige warmte- en elektriciteitsbehoefte van 1 respectievelijk 25 woningen voorzien.

### **HR-glas**

Een aantrekkelijke energiebesparende optie voor ruimteverwarming is Hoog Rendements-glas (HR-glas). Een maat voor de isolatiewaarde van glas is de warmteoverdrachtscoëfficiënt (U-waarde) van het glas. De U-waarde van enkel glas kan 6 W/m<sup>2</sup>K zijn. HR-glas wordt gedefinieerd als glas met een maximale warmteoverdrachtscoëfficiënt (U-waarde) van 2,2 W/m<sup>2</sup>K. Het HR-glas is dubbel uitgevoerd, waarbij één van de glasplaten inwendig van een isolerende coating is voorzien. Dit levert een U-waarde op van 2,0 tot 1,7 W/m<sup>2</sup>K. De spouw kan bovendien worden gevuld met edelgas in plaats van lucht. Bijbehorende U-waarden zijn in dat geval 1,7 tot 1,3 W/m<sup>2</sup>K. Afhankelijk van het type HR-glas is (voor een referentie-doorzonwoning met een glasoppervlak van 15 m<sup>2</sup>) de energiebesparing van HR-glas ten opzichte van enkel glas 16 tot 20 m<sup>3</sup> aardgas per m<sup>2</sup> glasoppervlak. De energiebesparing van HR-glas ten opzichte van dubbelglas is 7 tot 12 m<sup>3</sup> aardgas per m<sup>2</sup> glasoppervlak. De meerkosten van HR-glas ten opzichte van dubbelglas zijn f. 30 tot f. 50 per m<sup>2</sup>. Een bijkomend voordeel van de toepassing van HR-glas is dat de kosten voor het verwarmingssysteem lager kunnen uitvallen in verband met het hoge comfort van HR-glas. Bij bestaande woningen is HR-glas een rendabele optie als ook de gevel wordt geïsoleerd, inclusief vervanging van de raamkozijnen.



## Investering in R&S-productielijn

Het Nederlandse R&S Renewable Energy Systems produceert polykristallijn siliciumcellen (EVN 1994). Shell maakt in 1995 bekend 6,5 miljoen te gaan investeren in een nieuwe productielijn bij R&S. Shell was al betrokken bij de marketing van de PV-cellen, maar deze nieuwe investering lijkt tekenend te zijn voor de interesse van Shell in de productie van zonnecellen. De productie van de nieuwe lijn zou bij een drieploegendienst kunnen oplopen tot 2,5 MW (piek) aan PV-vermogen per jaar.

## Megapower-project

Tijdens de Novem Energieconversiedag van 7 december wordt door Seatec, Hoogovens, Stork Ketels Hengelo en Novem het Megapower-project gepresenteerd. De Megapower staat voor een energiecentrale met een hoogte van 5 tot 7,5 kilometer. Deze megatoren maakt gebruik van het op de Noordzee aanwezige temperatuurverschil van ongeveer 20°C tussen het zeewater en hogere luchtlagen. Het warmteoverdragend medium in de toren is ammoniak, dat ook als werkmedium wordt ingezet. De ammoniak verdampt op zeeniveau in de verdamper, stijgt vervolgens op om op grote hoogte tot vloeistof te condenseren. De ammoniak valt via een pijp naar beneden en turbines zorgen ervoor dat de potentiële energie van het in de condensor aanwezige ammoniak wordt omgezet in elektrisch vermogen. De Megapower-toren blijft draaien doordat het aanwezige temperatuurverschil de natuurlijke circulatie van het ammoniak in stand houdt. De drijvende kracht achter de natuurlijke circulatie is het in de richting van de zwaartekracht aanwezige positieve verschil in dichtheid van de ammoniak met zijn omgeving. Een verkennende haalbaarheidsstudie, uitgevoerd door medewerkers van bovengenoemde ondernemingen, heeft aangetoond dat het idee zowel fysisch als bouwtechnisch haalbaar zou zijn.

Door de enorme dimensies van de Megapower-toren zouden de turbines 7.000 MW elektriciteit kunnen produceren. De diameter van de valpijp van de twee miljoen ton wegende toren is 50 meter, de condensor heeft een massa van 300.000 ton en bevindt zich op 5 tot 7,5 kilometer boven zeeniveau. Drijflichamen gevuld met waterstof, uitwendig aangebracht (diameter tot 900 meter) of geïntegreerd in de pijp (diameter tot 165 meter), moeten zorgen voor het drijvend vermogen van de constructie. De kunststof tuikabels zijn 50 centimeter dik en 8 kilometer lang. De investeringskosten van het Megapower-project bedragen ongeveer f. 30 miljard. Daarmee zijn de bedrijfskosten vergelijkbaar met die van conventionele grootschalige energieconversietechnieken.

In de Megapower-toren worden bestaande technologieën met elkaar gecombineerd, echter in reusachtige afmetingen. De reacties zijn overwegend sceptisch, waarbij men vooral vraagtekens zet bij de praktische uitvoerbaarheid, de inpassing van een 7.000 MW<sub>e</sub>-eenheid in de (Nederlandse) energievoorziening, de milieubelasting van deze 'point-absorber', de bescherming tegen weglekken van ammoniak en het zeer hoge investeringsbedrag. Nog niet alle aspecten van het Megapower-project zijn bekeken. Een vervolgstudie, waarvoor circa f. 5 miljoen nodig is, moet meer duidelijkheid geven over de haalbaarheid van het project.

## Ontwikkeling afzet en marktprijs zonneboilers

De Nederlandse overheid streeft naar 300.000 zonneboilers in 2010. Deze doelstelling betekent dat de jaarproductie vanaf 1997 minimaal 15.000 per jaar zal moeten bedragen. In februari 1995 wordt de 10.000-ste zonneboiler geplaatst in de wijk 'De Werwen' in Gouda. Het streven van 15.000 geplaatste eenheden voor eind 1995 wordt niet gehaald (zie Trends). De energiebedrijven nemen 80% van de jaarlijkse afzet van zonneboilers voor hun rekening en zijn daarmee de grootste afnemers van zonneboilers.

Door de groei van de vraag, toenemende efficiëntie van productiemethoden en productinnovatie zijn de prijzen van zonneboilers de afgelopen jaren gedaald met ongeveer 20%. In 1991 was de prijs van geplaatste zonneboilers nog f. 3.800, eind 1995 bedraagt de prijs al minder dan f. 2.900. De zonneboilerfabrikanten lijken hiermee voor te lopen op de afspraken die gemaakt zijn in het kader van de meerjarenafpraak met het ministerie van EZ, enkele energiebedrijven, de branchevereniging Holland Solar, EnergieNed en Novem. In het kader van deze afspraak werd voor 1997 een marktprijs van f. 2.350 vastgesteld. In gulden van 1995 komt dit neer op een bedrag van f. 2.600. Een verdere prijsdaling van zonneboilers is noodzakelijk. De zonneboiler moet namelijk vanaf 1998 ook zonder subsidie van EZ/Senter in grote hoeveelheden op de markt kunnen worden afgezet.

## Thermische zonne-energie en warmteopslag

De rentabiliteit van thermische zonne-energiesystemen kan sterk vergroot worden door ze te combineren met warmteopslag. De reden hiervoor is dat het aanbod van thermische zonne-energie in de winter klein is, terwijl de warmtevraag in die periode juist het grootst is. In Lisse wordt in juni bij het agrarisch bedrijf Dames & Werkhoven een thermisch zonne-energiesysteem in gebruik genomen, gecombineerd met warmteopslag. De zonne-installatie wordt gebruikt voor het drogen en conditioneren van bloembollen. De installatie bestaat uit zonnecollectoren van de firma Zen met een oppervlak van 1.200 m<sup>2</sup> en een ondergrondse warmteopslag met een inhoud van 1.000 m<sup>3</sup>. De warmteopslag wordt gedurende het gehele jaar benut. In de zomer worden de bloembollen met warme lucht gedroogd. De hiervoor benodigde warmte wordt bij veel zon direct geleverd door de collectoren. 's Nachts, of bij een tekort aan zonnewarmte, wordt de warmte indirect geleverd via het warmteopslagsysteem. In de winter wordt voor het conditioneren van de bloembollen warmte onttrokken aan het warmteopslagsysteem. De conditioneer ruimte is hiervoor uitgerust met vloerverwarming. Het project werd financieel ondersteund door de EU en Novem.

De firma Zen is ook betrokken bij de eerste grootschalige toepassing van thermische zonne-energie in de industrie. Het gaat hierbij om de bereiding van warm tapwater bij het bedrijf Van Melle Nederland BV in Breda. De installatie, die in 1996 operationeel moet zijn, bestaat uit zonnecollectoren met een oppervlak van 2400 m<sup>2</sup> en een warmteopslag met een inhoud van 90 m<sup>3</sup>. Het warme water wordt gebruikt in het productieproces en voor reinigingswerkzaamheden. De warmteopslagtank is veel kleiner dan die van de installatie in Lisse, omdat het warme tapwater continu nodig is. Bij het bedrijf wordt ook een netgekoppeld PV-systeem met een vermogen van 25 kW (piek) geïnstalleerd.

## Toepassingen PV-systemen

In Nederland worden PV-cellen nu nog met name toegepast als autonome PV-systemen (bijvoorbeeld bij zomerhuisjes, boeien en drinkbakken voor vee). De toekomst van PV-cellen is echter vooral weggelegd voor toepassingen in de gebouwde omgeving. Een elektriciteitsnet is al aanwezig, en bovendien kunnen de zonnepanelen ook andere functies vervullen, zoals dakbedekking, zonwering en geluidswering. In de wijk Nieuwland in Amersfoort worden in 1995 32 woningen opgeleverd die met financiële ondersteuning van Novem door REMU zijn voorzien van zonneboilers en PV-cellen. De panelen hebben per woning een oppervlak van 22,5 m<sup>2</sup>, goed voor 3,2 kW piekvermogen. De panelen zijn in groepen van 18 in serie geplaatst.

In het bezoekerscentrum de Kleine Aarde in Boxtel zijn PV-cellen geïntegreerd in het glasdak van een corridor tussen twee gedeelten van het gebouw. De PV-cellen zijn 30% lichtdoorlatend. In de zomer kunnen ze dienen als zonwering, terwijl in de winter op verlichting wordt bespaard.

Het energiebedrijf REMU heeft in samenwerking met Rijkswaterstaat en Novem langs de rijksweg A-27 bij De Bilt PV-cellen geïntegreerd in een geluidsscherm over een lengte van 550 meter. Het netgekoppelde systeem dient als demonstratieproject en heeft een vermogen van 55 kW (piek).