

TNO-rapport
TNO-MEP – R 2003/xxx

Meetrapport Robur Absorptiewarmtepomp

TNO Milieu, Energie
en Procesinnovatie

TNO-MEP
Business Park E.T.V.
Laan van Westenenk 501
Postbus 342
7300 AH Apeldoorn

Telefoon: 055 549 34 93
Fax: 055 541 98 37
Internet: www.mep.tno.nl

Datum
Juli 2003

Auteur(s)
Ing. A.A.L. Traversari, MBA

Projectnummer
33045.01.05

Aangezien het om een voorlopige rapportage van resultaten gaat, verzoeken wij u de resultaten alleen voor interne aangelegenheden te gebruiken en derhalve niet naar buiten kenbaar te maken, dat deze uit onderzoek door TNO zijn verkregen.

In dit verband attenderen wij nog op artikel 8 (aansprakelijkheid) en artikel 4 (rechten op resultaten) van de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO.

Trefwoorden
Absorptie warmtepomp
NH₃/H₂O
beproeving

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst. Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2002 TNO

Bestemd voor
Techneco B.V.
T.a.v. Ing. P.R. van Alphen
Kleveringweg 9
2616 LZ Delft

Het kwaliteitssysteem van TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie voldoet aan ISO 9001.

Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek TNO

TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie is een nationaal en internationaal erkend kennis- en contractresearch instituut voor bedrijfsleven en overheid op het gebied van duurzame ontwikkeling en milieu- en energiegerichte procesinnovatie.

Op opdrachten aan TNO zijn van toepassing de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, zoals gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank en de Kamer van Koophandel te 's-Gravenhage.

Inhoudsopgave

1.	Inleiding.....	3
2.	Werkwijze	4
3.	Resultaten	6
3.1	Type aanduiding warmtepomp.....	6
3.2	Functioneren	6
3.3	Prestaties	6
4.	Conclusies	9
5.	Literatuurlijst	10
6.	Verantwoording.....	11

1. Inleiding

In opdracht van Novem en met participatie en financiële ondersteuning van Techneco B.V. heeft TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie metingen uitgevoerd aan een gasgestookte absorptie warmtepomp van het merk Robur geschikt voor water/water toepassingen. Doelstelling van dit project is om de prestaties van grote warmtepompen beter inzichtelijk te maken waardoor de prestatie van deze toestellen op een nog hoger niveau wordt gebracht. De warmtepomp was gevuld met het stofpaar ammoniak water ($\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$). De metingen zijn uitgevoerd binnen het TNO-MEP Ontwikkel- en Testcentrum voor warmtepompen (OTC-WP). Er zijn beproevingen uitgevoerd bij 3 verschillende beproevingscondities. Bij deze condities is de “Gas utilization efficiency in heating mode” (η_h) bepaald volgens de definitie conform de NEN-EN 12309 deel 2. De warmtepomp was niet voorzien van een geïntegreerde circulatiepompen ten behoeve van het bron- en het afgiftesysteem .

2. Werkwijze

Voor de beproevingen is gebruik gemaakt van de warmtepompproefstand voor het beproeven van grote warmtepompen (tot circa 150 kW).

De grootheden die tijdens de metingen zijn bepaald zijn in tabel 1 weergegeven.

Tabel 1 Grootheden.

Grootheid	Eenheid	Nauwkeurigheid
Condensor intrede temperatuur	°C	± 0,1 K
Condensor uittrede temperatuur	°C	± 0,1 K
Verdamper intrede temperatuur	°C	± 0,5 K
Verdamper uittrede temperatuur	°C	± 0,5 K
Omgevingstemperatuur	°C	± 0,5 K
Condensordebiet	m ³ /h	± 5%
Verdamperdebiet	m ³ /h	± 5%
Elektrisch vermogen	kW	± 2%
Extern drukverschil condensor	Pa	± 5%
Extern drukverschil verdamper	Pa	± 5%
Volumestroom aardgas	dm ³	
Druk aardgas	Pa	± 5%
Temperatuur aardgas	°C	± 0,1 K

Voor de berekening van het thermisch afgegeven vermogen wordt gebruik gemaakt van geharmoniseerde formules [1].

Per beproevingsconditie wordt 30 minuten gemeten met een scaninterval van 30 seconden. Gedurende deze 30 minuten bedraagt het verschil tussen de minimale en maximale meetwaarde (condensor uittrede en verdamper intrede temperatuur) maximaal 3 K voor de condensorzijde en 0,4 K voor de verdamperzijde. De afwijking van de gemiddelde waarde over deze periode en de gewenste waarde bedraagt maximaal 0,5 K. De prestatie bij een beproevingsconditie is de gemiddelde waarde over deze meetperiode (30 minuten). Alle beproevingscondities zijn minimaal 2 maal doorlopen zodat de reproduceerbaarheid van de resultaten verzekerd is.

De beproevingen zijn uitgevoerd bij een condensordebiet waarbij de ΔT over de condensor maximaal 10K is en een verdamperdebiet waarbij de ΔT over de verdamper minimaal 3K is bij de condities 0_35 voor brine/water en 10_35 voor water/water. De resulterende debieten zijn in de tabellen in hoofdstuk 3 weergegeven.

$$\eta_h = \frac{P_{\text{thermischcondensor}}}{P_{\text{gas;onderwaarde}}}$$

$\eta_h = \text{Gas utilization efficiency in the heating mode}$

De “Gas utilization efficiency in the heating mode” (η_h) [2] is gebaseerd op de onderste verbandingswaarde van het aangeboden aardgas en exclusief het elektrisch opgenomen vermogen van het toestel en het theoretisch benodigde elektrische vermogen van de circulatiepompen om de drukverliezen in de verdamer en condensor te compenseren. Dit elektrische vermogen is voor de verschillende bedrijfscondities echter wel vastgesteld. Dit elektrische vermogen ($P_{elektrisch}$) is opgebouwd uit het aandrijfvermogen van de circulatiepompen (theoretisch bepaald volgens de methode weergegeven in de NEN-EN 255 deel 2 [3]) plus het vermogen dat wordt opgenomen door de regeling en de beveiligingen. Het elektrische vermogen dat nodig is om het medium door de verdamer/condensor te pompen is bepaald met de onderstaande formule [3]:

$$P_{pomp} [W] = \frac{q \left[\frac{m^3}{s} \right] * \Delta p [Pa]}{0,3}$$

3. Resultaten

3.1 Type aanduiding warmtepomp

De type plaatjes van de warmtepompen geven de volgende informatie:

Warmtepomp

Fabriekaat:	Robur
Type:	Robur W-serie
Fabr.nr:	
Koelmiddel:	NH ₃ /H ₂ O
Aansluitingen:	
– Elektrisch	540 watt, 230 Volt, 50 Hz
– Gas	25,7 kW

3.2 Functioneren

Tijdens de experimenten is gebleken dat de warmtepomp probleemloos functioneerde. Er zijn geen storingen opgetreden die te wijten waren aan de warmtepomp. De stabiliteit van de temperatuur aan uittredezijde, zowel bron- als afgiftezijde, liet echter te wensen over. Hierdoor werd niet aan de vereiste stabiliteitscriteria voldaan.

3.3 Prestaties

Tabel 2 geeft de resultaten van de beproevingen weer. In de 2^e tot en met de 5^e kolom van deze tabel zijn de temperaturen van de externe media weergegeven. Kolom 8 tot en met 10 geven de prestaties van de warmtepomp weer. De betekenis van symbolen is als volgt:

$T_{w_c_ou}$	Uitgaande watertemperatuur condensor
$T_{w_c_in}$	Ingaande watertemperatuur condensor
$T_{g_e_ou}$	Uitgaande temperatuur water/glycol mengsel verdamper
$T_{g_e_in}$	Ingaande temperatuur water/glycol mengsel verdamper
P_H	Thermisch afgegeven condenservermogen
P_T	Toegevoerde vermogen gaszijdig (belasting op onderwaarde)
P_E	Elektrisch aandrijfvermogen (theoretisch pompvermogen, oplossingspomp regeling, beveiligingen)
η_h	Gas utilization efficiency in heating mode
η_g	Indirect rendement generator op basis van de onderste verbrandingswaarde
$dP_{\text{verdamp}}^{\text{verdamp}}$	Extern drukverschil over de verdamper (bron zijde)
$dP_{\text{condens}}^{\text{condens}}$	Extern drukverschil over de condensor (afgifte zijde)

Tabel 2 Resultaten beproevingen.

Testconditie EN 255-2	$T_{w_c_ou}$ [°C]	$T_{w_c_in}$ [°C]	$T_{g_e_in}$ [°C]	$T_{g_e_ou}$ [°C]	F_{bron} [m ³ /uur]	$F_{afgifte}$ [m ³ /uur]	$dP_{verdamp}$ [kPa]	$dP_{condens}$ [kPa]	P_H [kW]	P_T [kW]	P_E [kW]	η_n [-]
10_50	50,01	40,80	9,98	7,32	5,00	3,60	108,89	52,08	38,17	25,81	1,22	1,48
10_35	35,01	24,74	10,00	6,81	4,99	3,50	108,37	51,81	41,66	25,68	1,20	1,62
15_50	49,99	40,23	15,00	11,87	4,99	3,60	104,76	51,98	40,47	25,93	1,18	1,56

Tabel 3 Indirect rendement generator (o.w.).

Testconditie EN 255-2	$T_{rookgas}$ [°C]	O ₂ rookgas [%]	η_g [-]
10_50	207	4,1%	81,4%
10_35	202	3,2%	82,0%
15_50	205	4,0%	81,6%

Het indirecte rendement van de generator is bepaald volgens de methodiek van het door TNO ontwikkelde ketel keurings programma. De onderste verbrandingswaarde van het toegevoerde aardgas bedraagt 32010 MJ/m³_n

De in tabel 2 weergegeven testcondities komen overeen met de beproevingscondities van een en een water/water warmtepomp in verwarmingsbedrijf uit de EN 12309-2 [2]. Hierbij dient t opgemerkt te worden dat de stabiliteitseisen zoals weergegeven in de NEN-EN 12309-2 niet zijn gehandhaafd. De stabiliteitseisen die zijn aangehouden zijn weergegeven in

Meetwaarde	Toegestane afwijking van de gemiddelde waarde t.o.v. de gewenste waarde		Toegestane afwijking van de momentane waarde t.o.v. de gewenste waarde	
	NEN-EN 12309-2	toegepast	NEN-EN 12309-2	toegepast

Intredebrontemperatuur	0,2	0,2	0,5	0,2
Uittreden condensortemperatuur (aanvoertemperatuur)	0,3	0,5	0,6	1,5
Volumestromen	2%	2%	5%	5%

4. Conclusies

De belangrijkste resultaten van de beproeving zijn in de onderstaande tabel opgenomen.

Testresultaten beproeving

Datum:	Juli 2003
Test instituut:	TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie Laan van Westenenk 501 Postbus 342 7300 AH Apeldoorn
Rapport	
Test volgens:	NEN-EN 12309-2
Fabrikant	Robur

Type:	Robur W-serie		
Circulatiepomp:	Bronpomp en afgiftepomp niet in de warmtepomp geïntegreerd		
Productnummer			
Testconditie	W10/W50	W10/W35	W15/W50
ΔT condensator [K]	9,20	10,27	9,76
Thermisch afgegeven condensator vermogen [kW]	38,17	41,66	40,47
η_h (Gas utilization efficiency in heating mode) [-]	1,48	1,62	1,56
P_E (elektrisch vermogen) [kW]	1,22	1,20	1,18
η_g (Indirect rendement generator o.w.) [%]	81	82	82

Elektrisch vermogen oplossingspomp, regeling, beveiligingen en theoretisch bepaald pompvermogen om de weerstand in de verdampers en condensator te overbruggen volgens de NEN-EN 255 deel 2.

5. Literatuurlijst

- [1] Full and part load efficiency measurements for boilers
Contract No MAT 1-CT92-009
WP 5 Harmonization of Formulae December 1994
- [2] EN-EN 12309 - 2
Met gas gestookte klimaatregelaars en warmtepomptoeestellen (werkend volgens het ad- of absorptieprincipe) met een belasting op onderwaarde tot 70 kW – Deel 2 Rationeel gebruik van energie
- [3] Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps with electrically driven compressors - Heating mode - Part 2: Testing and requirements for marking for space heating units

6. Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever:

Techneco B.V.
T.a.v. Ing. P.R. van Alphen
Kleveringweg 9
2616 LZ Delft

Namen en functies van de projectmedewerkers:

Ing. A.A.L. Traversari, MBA (projectleider)
Ing. M.B.W. Riekert
A.E.A. van Velde
J.B.A. Vijge

Namen van instellingen waaraan een deel van het onderzoek is uitbesteed:

n.v.t.

Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad:

April 2003

Ondertekening:

Goedgekeurd door:

Ing. A.A.L. Traversari, MBA
projectleider

Ir. S.M. van der Sluis
afdelingshoofd